

Nagy energiaelnyelő képességű anyagok alkalmazása robbanás elleni védelemre

Application of High Energy Absorbing Materials for Blast Protection

Kovács Tünde,¹ Nyikes Zoltán,² Lucia Figuli³

¹ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék, Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, Budapest, Magyarország, nyikes.zoltan@phd.uni-obuda.hu

³ University of Zilina, Faculty of Security Engineering, Department of Technical Science and Informatics, Zilina, Slovakia, lucia.figuli@fbt.uniza.sk

Összefoglalás

Az épületek védelme századunk egyik igen fontos feladata, mivel egyre fokozódik a terrorfenyegetés. A történelmi, több száz éves épületek robbantással szembeni biztonságának megvalósítása fokozottan fontos feladat, hiszen körük a városkép és a városszerkezet miatt kerítést, falat emelni nem lehet. A robbanások jelentős károsodást okozhatnak az épületek falazatában, ezzel együtt a képződő faltörmelék a polgári lakosságot is veszélyezteti, fokozva a robbanás által okozott károsodásokat [1–3]. A robbanás okozta terhelés eltér az anyag kiválasztás és méretezés során eddig alkalmazott terhelésektől. A történelmi épületek esetében is olyan vékony védőréteg alkalmazása szükséges, mely csillapítja a repeszhatást és növeli a falak robbantással szembeni ellenálló képességét. Az anyagtudomány által kifejlesztett új anyagok jó megoldást jelenthetnek ezen feladatok megoldásában. Az új anyagok általában fémhabok vagy társított anyagok, szintaktikus habok, melyek vas vagy kerámia gömbhéjakat avagy szénszálerősítést tartalmaznak [4–6].

Kulcsszavak: fémhab, energiaelnyelés, épületvédelem, erősített kompozit.

Abstract

In the current century, building protection is very important in the face of terrorist attacks. The old buildings in Europe are not sufficiently resilient to the loads produced by blasts. We still do not fully understand the effects of different explosives on buildings and human bodies. Computing blast loads are different from that of traditional loads and the material selection rules for this type of impact load are diverse. Historical and old buildings cannot be protected simply by new walls and fences. New ways need to be found to improve a building's resistance to the effects of a blast. It requires sufficiently thin yet strong retrofitted materials in order to reinforce a building's walls.

Keywords: metal foam, energy absorbing, building protection, reinforced composite.

1. Bevezetés

Európában számos olyan merénylet történt, amely jelentős károkat okozott. Mind a NATO, mind a visegrádi országok (V4) komoly lépéseket

tesznek a lakosság, a kritikus infrastruktúra és az épületek védelme érdekében [6–8]. Napjaink új kihívása ezáltal az, hogy olyan igénybevételeknek is megfelelő anyagokat fejlesszünk, melyek

re az elmúlt évtizedekben nem volt még szükség. Ilyenek lehetnek például a robbanással szemben védelmet nyújtó anyagok, amelyeknek a lökéshullámok által, valamint a képződő repeszek miatt egy igen összetett és számos paramétertől függő igénybevételnek kell megfelelniük. A robbantás hatására, mely nagy sebességű dinamikus alakításként fogható fel, az anyagok viselkedése eltér a statikus igénybevételek során tapasztalttól.

A hagyományos anyagok statikus igénybevétel hatására történő változásait számos módon lehet ellenőrizni, a belőlük épített szerkezetek méretezése során ezek az ismeretek adnak irányt. A dinamikus és extrém igénybevételekre történő méretezés azonban még sem vizsgálati oldalról, sem az anyagok viselkedését tekintve nincs teljesen kidolgozva.

2. TNT-egyenérték számítása

A robbanás hatására lökéshullámok és hő keletkezik, a robbanóanyag mennyiségétől és minőségétől függ a robbanásból származó energia. A méretezés egyszerűsítéséhez TNT-egyenértéket használunk (1) [3, 8]:

$$W_{TNT} = \left(\frac{\Delta H_{EXP}}{\Delta H_{TNT}} \right) W_{EXP} \text{ (kg)} \quad (1)$$

ahol:

W_{TNT} (kg) a TNT-töltettel egyenértékű tömeg,
 ΔH_{EXP} (MJ/kg) robbanási hőmennyiség,
 ΔH_{TNT} (MJ/kg) a TNT robbanásából keletkező hő,
 W_{EXP} (kg) a számított robbanóanyag tömege.

Néhány robbanóanyag teljesítményét mutatja az 1. táblázat.

1. táblázat. Robbanási energia néhány gyakori robbanóanyag esetén [8, 9]

Robbanóanyag neve	Robbanási energia (MJ/kg)
TNT	4,1–4,55
C4	5,86
RDX	5,13–6,19
PETN	6,69
Pentolite 50/50	5,86
Nitroglicerín	6,30
Nitrocellulóz	10,60
Amon/Nitrát	1,59

3. Robbanási nyomás meghatározása

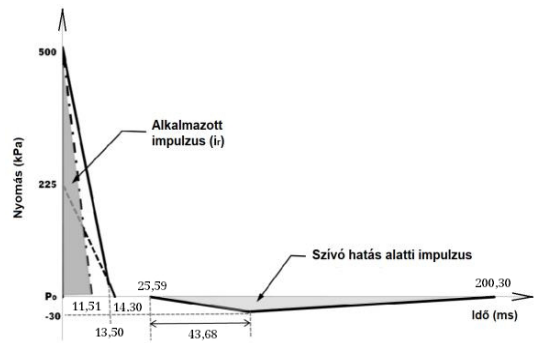
A robbanási terhelés hatásának számítására több elmélet ismert. Ezek közül méretezéshez jól alkalmazható a Hopkinson–Cranz-törvény (2) [8, 9] a robbanás-hatótávolság Z (m·kg^{-1/3}) meghatározására, ahol W (kg) a robbanóanyag tömege TNT-egyenértékre számítva, R (m) a robbanóanyag távolsága az objektumtól.

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{W}} \left(m \cdot \text{kg}^{-\left(\frac{1}{3}\right)} \right) \quad (2)$$

A képződő gáz csúcsértékének meghatározására elfogadott a Mills-összefüggés (3), ahol W a robbanóanyag töltettömege TNT-egyenértékben (kg), R a robbanóanyag távolsága az objektumtól (m):

$$P_{so} = \frac{R}{Z^3} - \frac{R}{Z^2} + \frac{R}{Z} \text{ (kPa)} \quad (3)$$

A robbanás során rövid ideig tartó, nagy energiájú, nyomó igénybevétel jön létre, majd egy hosszabb ideig tartó húzó (szívó) igénybevétel. A nyomásértékekből számítható a méretezési igénybevétel. A robbantási paraméterek, irodalmi adatok [8] felhasználásával a maximális nyomásra az 1. ábrán láthatóak. A nyomó és húzó igénybevételek egy robbanás esetén kerülnek bemutatásra [8].



1. ábra. Falra merőleges irányú támadási nyomásgörbe és a hatásidő [8]

4. Klasszikus kompozittervezési elmélet (CLT)

A kompozitanyag tervezése során jól ismert a klasszikus tervezési elmélet. Erre az elméletre és tervezési szabályokra alapozva új kompozitokat állíthatunk elő statikus és dinamikus terhelésekre, de a robbanási terheléshez nem találhatók még tervezési szabályok. Kutatásunkban a klasszikus tervezési szabályok képezik a robbanásveszélyes anyagok tervezésének alapját. A gyakor-

lati hatásvizsgálat alapján a robbanásveszélyes kompozitok tervezési szabályait megtervezhetjük.

A tervezési lépések a következők [4]:

1. a merevség mátrix (Q) elemeinek minden rétegre történő meghatározása,
2. a terhelések meghatározása,
3. a rétegek sík deformációjának kiszámítása (ϵ_{xx} , ϵ_{yy} , γ_{xy}),
4. a feszültség meghatározása minden rétegben (σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy}),
5. a rétegek elasztikus állandójának kiszámítása (E_{xx} , E_{yy} , ν_{xy} , ν_{yx} , G_{xy}),
6. az átlagos hatáserősség meghatározása a károsodási paraméterek alapján.

A következő speciális anyag esetében alkalmazott ez az elmélet (CLT). A terhelés összetett a nagy nyomás és a nagy energiahatás miatt.

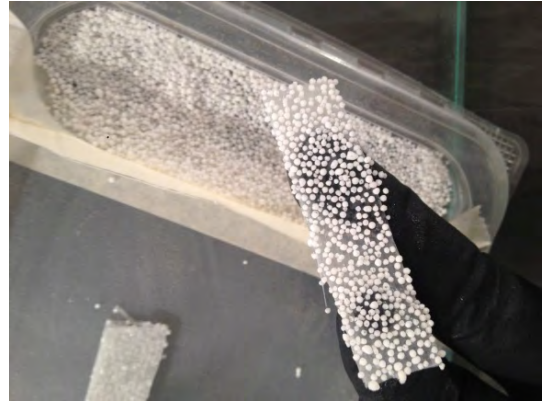
5. Speciális kompozit bemutatása

Az épületek védelme miatt új technológiák alkalmazására van szükség. Az új anyagok fejlesztésére az anyagtudomány jó megoldást adhat. Ezek az anyagok általában kompozitok, úgymint a szintaktikus habok, a gömbhéjakkal vagy szénuszálakkal erősített polimerok [4–6]. Néhány általános technikát már bemutattuk az előző munkákban, melyek az épületvédelem gyakorlati megvalósítására fókuszáltak. Számos ilyen technika került már ismertetésre [12, 14]. Az ismertetett igénybevétel esetén nagy kinetikaenergia-elnyelő képességű anyagot kell választani vagy tervezni. A fémhabok és kompozitok alkalmazása megfelelő lehet.

A következő fejlesztésben egy polimer szendvicsszerkezetű kompozitot mutatunk be, kerámia gömbhéjakkal és üvegszövetrel erősítve.

A szendvicsszerkezetű polimer gyártási folyamatának egy lépése a 2. ábrán látható, míg a kész darabot a 3. ábra mutatja be. A darabok dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállása Charpy-vizsgálattal történt. A bemutatott kompozit esetén jól látható az alkalmazott rétegrendszer. Az alkalmazott kerámia gömbhéjakat (átlagosan 0,8 mm átmérő) és az üvegszövetet (390 g/m²) epoxi gyantába (Araldite LY 1564) ágyazták, 15 rétegben.

A Charpy ütve hajlító, dinamikus vizsgálat eredménye a 4. ábrán látható, a darab nem tört el és nem szakadt részekre. Természetesen ez a vizsgálat nem helyettesíti a valós igénybevételt, de a dinamikus hatást közelíteni képes erősített polimer vizsgálatok során [10].



2. ábra. Kerámia gömbhéjakkal és üvegvászonnal erősített polimer mátrixú kompozit gyártása [10]



3. ábra. Réteges szerkezet kerámia gömbhéjakkal és üvegszövetrel erősítve



4. ábra. A dinamikus igénybevételt követően a próbatestről készült felvétel [11]

6. Összefoglalás

Megfigyelhető volt a különböző méretű gömbhéjak alkalmazása esetén, hogy a nagyon kis méretű kerámia-gömbök nem tudták lényegesen növelni a kompozitanyag energiaelnyelő képességét, míg a nagyméretű gömbök sok esetben nyitottak voltak, így a gyártás során megteltek gyantával,

ami csökkentette az energiaelnyelő képességüket. A bemutatott szendvicskompozit-fejlesztési irány a robbanási terhelésre méretezve, a dinamikus igénybevétellel szemben jó ellenálló képességet és irányadó tapasztalatot szolgáltatott a további tervezéshez. A robbanással szemben ellenálló anyag tervezése során tehát elsődleges szempont a nagy energiaelnyelő képesség, valamint a repeszhatás megakadályozása. További fejlesztési irány, hogy a felhasznált anyagok minél nagyobb hányada újrahasznosítható legyen. Ez a bemutatott szendvicsszerkezetű kompozit esetében igen korlátozottan valósul meg.

Terveink szerint a tapasztalatok felhasználásával új kompozitanyagokat fejlesztünk az ismertett igénybevételnek megfelelően.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Bezzeg Andrásnak, Végh Ákosnak (KANDSI Kft., AKOBEZ) a kompozit gyártásáért, valamint Balázs Ágostonnak a Charpy-vizsgálatok elvégzéséért.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Lu G., Yu T.: *Energy absorption of structures and materials*. Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2003. 317–351.
- [2] Uddin N.: *Blast protection of civil infrastructures and vehicles using composites*. Woodhead Publishing Limited, 2010.
- [3] Conrath E. J. et al.: *Structural Design for Physical Security State of the Practice*. Structural Engineering Institute, US, Virginia, 1999. Chapter 2. 1–34.
- [4] Ashby M.F. et al.: *Metal Foams: A design Guide*. Butterworth-Heinemann, 2000.
- [5] Vaidya U. K.: *Impact Response of Laminated and Sandwich Composites*. In: *Impact Engineering of Composite Structures*. (Szerk.: Serge Abrate et al.). CISM 526., Springer, Vienna, 2011. 97–191. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0523-8_4
- [6] Kovács T.: *Épületvédelem nagy energia elnyelő képességű anyagokkal*. In: A XXII. Fialat műszakiak tudományos ülészaka előadásai, Kolozsvár/Cluj, Románia, Műszaki Tudományos Közlemények 7., Erdélyi Múzeum-Egyesület, 2017. 247–250. <https://eda.eme.ro/handle/10598/29793>
- [7] Balázs Á., Nyikes Z., Kovács T.: *Building Protection with Composite Materials Application*. Key Engineering Materials, 755. (2017) 286–291. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.755.286>
- [8] Karlos V., Solomos G.: *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*. Publication Office of the European Union (2013) 1–49. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC87200>
- [9] Figuli L., Jangl Š., Papán D.: *Modelling and Testing of Blast Effect On the Structures*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 44. (2016). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/5/052051>
- [10] Bezzeg A., Végh Á.: *Kompozit gyártási jegyzőkönyv*. AKOBEZ, Budapest, 2018.
- [11] Balázs Á.: *Épületvédelem kompozit anyagokkal*. MSc diplomaterv, OE-BGK, Budapest, 2018.
- [12] Figuli L., Štaffenová D.: *Practical aspect of methods used for blast protection*. Key Engineering Materials, 755. (2017) 139–146. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.755.139>
- [13] Figuli L., Magura M., Kavický V., Jangl Š.: *Application of recyclable materials for an increase in building safety against the explosion of an improvised explosive device*. Advanced Materials Research, 1001. (2014) 447–452. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.447>
- [14] Štoller J., Dvořák P.: *Field Tests of Cementitious Composites Suitable for Protective Structures and Critical Infrastructure*. Key Engineering Materials, 722. (2016) 3–11. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.722.3>

ERRATUM

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület mint kiadó és az Acta Materialia Transylvanica szerkesztősége sajnálattal értesíti a szerzőket és az olvasókat, hogy a folyóirat 2018-as évfolyam 1 és 2. lapszámaiban a cikkek magyar nyelvű változatainál a DOI-azonosítók prefixei hibásan jelentek meg.

A cikkek fejléceiben a magyar nyelvű változatnak megfelelő DOI prefix helyesen: **10.33923**, nem 10.2478.

A prefixek 2023 szeptemberében a lapszámok honlapján:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

és

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> illetve

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

minden cikkben javításra kerültek, feltüntetve az eredeti, hibás és az új, helyes azonosítót is.

A DOI-azonosítók helyes számra történő cserélése a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) is megtörtént.

A hibáért minden szerző és olvasó szíves elnézését kérjük és tisztelettel kérjük, hogy ezentúl az új, helyes azonosítót legyenek szívesek használni!

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Kiadó és az Acta Materialia Transylvanica Szerkesztősége nevében:


Bitay Enikő
főszerkesztő

ERRATUM

The Erdélyi Múzeum-Egyesület as Publisher, and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica regret to inform the authors and readers that the prefixes of the DOI identifiers of the Hungarian versions of the articles in issues 1 and 2 of the journal in 2018 were incorrectly published.

In the article headings, the DOI prefix corresponding to the Hungarian version of the article is **10.33923**, not 10.2478.

In September 2023, the prefixes were corrected in all articles on the websites of the journal issues:

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-1.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-1.htm>

and

<https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/acta2018-2.htm> respectively

<https://eme.ro/publication/acta-mat/acta2018-2.htm>

showing the original incorrect one crossed out and the new, correct identifier.

The replacement of the DOI identifiers with the correct number has also been done in the Hungarian Repository of Scientific Works (MTMT).

We apologize to all authors and readers for this error, and respectfully request that you use the new, correct identifier from now on!

On behalf of the Erdélyi Múzeum-Egyesület Publisher and the Editorial Office of Acta Materialia Transylvanica:



Bitay Enikő

Editor-in Chief