

ÉPÜLETEK TARTÓSZERKEZETEINEK TERRORISTA ROBBANTÁS ELLENI KIALAKÍTÁSA

Balogh Zsuzsanna mk. őrnagy

Kivonat:

A terrorizmus ma már olyannyira jelen van a mindennapjainkban, hogy bárhol, bármikor előfordulhat, hogy közvetlenül érezzük a hatását. Épített környezetünkben számos olyan építmény van, mely olyan szimbólum – kormányzati épület, védelmi minisztérium, követségi épület-, aminek elpusztítása vagy csupán működésének megzavarása cél lehet.

Az épületek tartószerkezetei ellen irányzott robbantásos terrorcselekmény megelőzésén túlmenően fontos a szerkezetek építéskori vagy utólagos megerősítése. Ehhez tisztában kell lennünk a szerkezetek robbanás hatására történő viselkedésével, vizsgálnunk kell alakváltozásait. A megfelelő ellenálló-képesség kifejlesztése mellett azonban gyakran kell figyelni az esztétikus megjelenésre is, ami újabb kihívást jelent.

Cikkemben rövid ismertetést adok a szerkezetek viselkedéséről robbantás hatására, létrejött deformitásokról illetve azon új kutatási eredményekről, anyagokról, melyekkel épületeink tartószerkezete ellenállóbbá tehető a robbantásos cselekmények esetén.

Kulcsszavak: robbantás, tartószerkezet, deformitás, ellenálló képesség

EXECUTION OF BUILDING STRUCTURE AGAINST TERRORIST BLAST

Abstract:

The terrorism is the part of our everyday life that anywhere, anytime we can feel its effect on our skin. There are several buildings as symbols- government buildings, defense ministries, embassies- in our built surroundings that are aimed to be destroyed or they service are disturbed.

The initial or subsequent enforcement of building structure is as important as the prevention against terrorist blast. To solve this we need perfect knowledge of the reaction of structures for explosion, we have to examine how their shape changes. To develop proper blast-resistance we often have to take into consideration the esthetics-as a new challenge- as well.

This paper is about the behavior of structures in case of blast, their deformities and I make the latest solutions, materials for having more resistant buildings known.

Keywords: blast, building structure, deformity, resistance

Ma már senki nem kapja fel a fejét, ha a hírekben azt hallja, hogy a világ bármely részén terroristarobbantás történt. Nem mintha társadalmunk ennyire érzéketlenné vált volna –bár ennek is része van benne-, hanem sajnos az ilyen hír „megszokottá” vált. Pár évtizede még óriási szenzáció volt egy robbantásról szóló tudósítás, igaz kevésbé is jutottak el hozzánk.

Az információs társadalom óriási léptékű terjedése a terroristáknak kedvez, hiszen a szinte egyenes adásban közvetített szörnyűségek a képernyők előtt ülő embereket is rettegésben tartják, nemcsak azokat, akik közvetlenül a bőrükön szenvedik el a véres merényleteket. Mindenkinek azt sugallják, holnap talán a Te autód, házad mellett robbantunk, nem lehetsz biztonságban. Elsősorban a biztonsági szakemberek feladata, hogy megakadályozzák a paranoia terjedését, de minden kapcsolódó tudományág képviselőjének ki kell vennie a részét a fejlesztésekből, a lehetséges védelmi megoldások kialakításából.

Kevés kivétellel,- mint pl. az erdészek, bűvárok, pilóták stb.- épületekben töltjük életünk nagy részét. Mindegyikük elsősorban funkcionálisan vannak kialakítva, bár formájuk, szerkezeti kialakításuk igen eltérő, ebből adódóan eltérően is reagálnak egy olyan fizikai behatásra, mint a robbantás. Ahhoz azonban, hogy a szerkezetek viselkedését megértsük, tisztában kell lennünk a robbanás hatásmechanizmusával.

A ROBBANÁS ENERGIÁJA

Gépjárművekbe rejtett robbanóanyag robbanásakor az energia egy része hőáramlás formájában, egy része légnyomás formájában másik része szeizmikus rengésként terjed tovább. Ezeket figyelembe véve a föld feletti épületrészeket (felépítményeket) a robbanásból eredő légnyomás okozta plusz terhelésekre kell elsődlegesen tervezni, míg a föld alatti részeket (alépítményeket) a földrengés

jellegű terhelésre. Az első különbség a szeizmikus rengés és a robbanás okozta föld rázkódás között a terhelés jellegéből adódik. Földrengés esetén a földben lévő szerkezetet közvetlenül éri a terhelés, míg robbanás esetén egy lökőhullám nyomásaként érkezik és kevésbé intenzív.

Különbség van a terhelés időtartamában is. A földrengés okozta mozgások néhány másodperctől néhány percig tarthatnak. Az utórengések pluszterhelést jelenthetnek ugyan, de általában gyengébbek az első rengéseknél. A robbantásból eredő lökőhullámok csak néhány ezredmásodpercnyi ideig terhelik a szerkezetet. Ezek a terhelések nem a teljes szerkezetre hatnak, csak a robbantáshoz legközelebb eső szerkezeti elemekre, mind vízszintes, mind függőleges irányban, tekintet nélkül azok merevségére. [1.]

A légnyomás okozta kár két féle lehet: a felületet közvetlenül érő nagyon erős nyomás és a teljes összeomlás. Míg az első, az intenzív nyomás inkább helyi károkat okoz, betöri az ablakok üvegezését, repedést okoz a födémen, falakon és az oszlopokon, addig a teljes összeomlásnál az első sérült szerkezeti elem dominó módjára magával rántja a többi csatlakozó elemet.

Az épület homlokzatát érő nyomás nagysága többszöröse lehet annak, mint amire az épületet tervezték. Azon túl valószínűleg a padozatot (födémet) az alulról érő emelő jellegű nyomásra sem méretezték.

A légnyomás először az épület külső (fal)felületét éri. Ez a nyomás hullám a külső falat nyomva szerkezeti sérülést ill. az üvegezett felületek (ajtók, ablakok) törését –valójában szétrobbanását- okozza. Ahogy a nyomás terjed, beljebb jutva megemeli a födémet ill. lenyomja a padló szerkezeteket. [2.]

A SZERKEZET REAKCIÓJA A ROBBANTÁSRA

Ha teljességében szeretnénk vizsgálni a szerkezet robbantásra adott választát, figyelembe kellene vennünk számtalan tényezőt, mint pl. az

alakváltozási sebességet, a szerkezetet érő terhelés számításának bizonytalanságát stb. Hogy egyszerűsítsük az elemzésünket, idealizált modellt használunk.

A robbantás szerkezeti elemekre gyakorolt terhelés kétféle lehet: helyi vagy globális terhelés. A szerkezet általános tönkremenetele bekövetkezhet hajlítás vagy nyírás miatt, a helyi rongálódás inkább repedéseket, lepattogzásokat jelent.

A szerkezeti elemekre hosszan ható nyíróerő következtében a felépítményekben az erő vonalában törés keletkezik. Akár statikus, akár dinamikus terhelés éri a szerkezetet a terheléseket négy csoportba oszthatjuk:

- nyomás,
- húzás,
- pecsétnyomás és
- közvetlen nyírás.

Az első két típussal gyakran találkozunk vasbeton elemek statikus terhelésekor, a harmadik típusnál gondoljunk egy oszlop által átlukasztott vasbeton födémlemez képére. Ez a jelenség azonban nem gyakran előforduló szerkezeti károsodás robbantások esetén, ezért figyelmen kívül is hagyhatjuk vizsgálataink során. Viszont a negyedik típusú terhelés jellegzetesen a rövid idejű, tranziens dinamikus terheléseknél (robbanás) van jelen és hatása elsősorban a lökőhullám erejétől függ. Mivel ez a fajta terhelés sokszor nagyobb, mint egy le-, meghajlást okozó erő és közvetlenül, a lökőhullám első ezredmásodperceiben éri a homlokzati szerkezeti elemeket, így képes azokon jelentős meghajlást, maradandó alakváltozást okozni. [3.]

A helyi károsodás, azaz a terhelések továbbterjedése a szerkezetben először is attól függ, hogy a felülettől milyen távolságra történt a robbanás, másodsorban pedig a szerkezeti elemek anyagától, azok alakváltozási képességétől. Ezek a károsodások különböző formában jelenhetnek meg: lehetnek kisebb repedések, felületi kitöredeзések, kis- vagy nagy sebességgel leváló betonszilánkok. [4.]

A szerkezet átszakadása, mint ismeretes, egy gyors folyamat és jellemzően a betonfelület lepattogzásával, lerepedezésével jár, aminek következtében a darabok repeszként repülnek le. (1. ábra)



1. ábra: 6000 kg TNT egyenértékű robbanóanyag okozta repedés

ALKALMAZHATÓ SZERKEZETI MEGERŐSÍTÉSEK

Az alábbi táblázat az épületek tartószerkezeteinek ellenálló képességének fokozására napjainkban kifejlesztett anyagok, technológiák alkalmazását mutatja be.

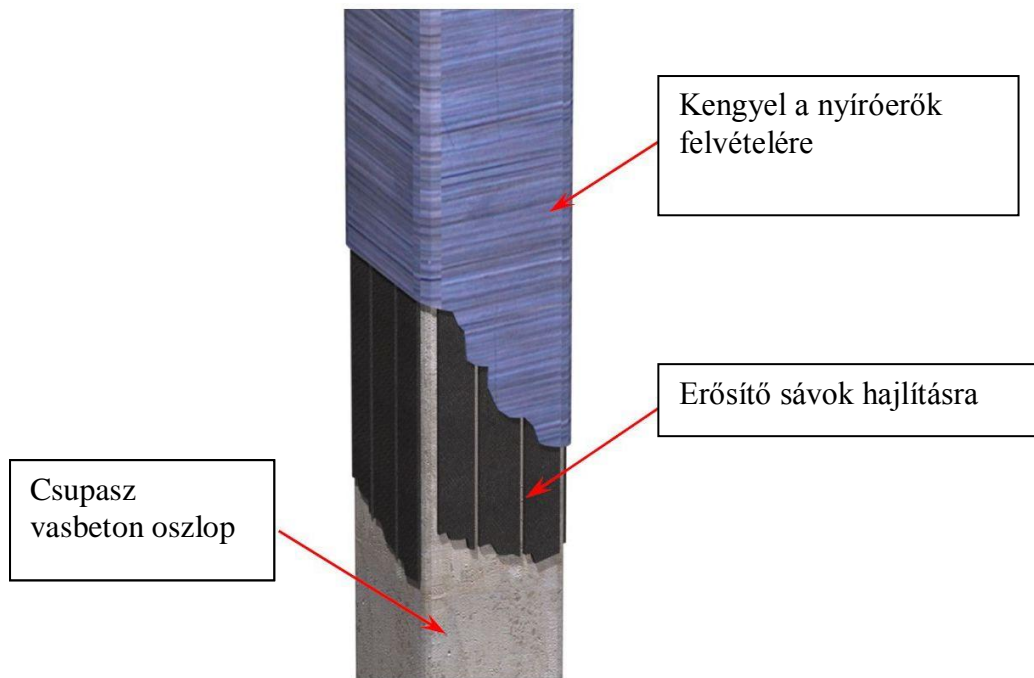
Védendő szerkezet	Alkalmazott megoldás	Alkalmazás célja
Teherhordó falak	FRP ¹ Erősítő panelek Egyéb belső megerősítések ²	Hajlékonyság fokozása Robbanás-állóság fokozása Beinjektált anyaggal való erősítés
Acélvázás szerkezetek	Oldallemezes erősítés Kábelezés	Sarokkapcsolat erősítése Vízszintes merevítés
Vasbeton oszlopok	Szálerősítéses tekercselés Fémborítás	Hajlékonyság fokozása Robbanás-állóság fokozása

Az egyik nagyon hatásos utólagos megerősítést egy kaliforniai cég³ fejlesztette ki még 1999-ben, kifejezetten a vasbeton oszlopok oldalirányú megerősítésére. Kísérletek bizonyítják, hogy ezzel a szálerősített szövetes megoldással az összeomlás elkerülésére nagyobb esély van a vasbeton vázas épületek ellen elkövetett robbantásos merényletek esetén, ezáltal kevesebb lesz a halálos áldozatok száma. Az alkalmazott szálerősítésekkel vagy a fém burkolattal az oszlopokat érő nyíró erőt kell felvennünk. (2. ábra)

¹ Fiber Reinforced Polymer - szálerősítéses műanyag

² Ilyen lehet még a duplafalú acéllemez erősítés lsd. 5.kép

³ Karagozian & Case 2550 N. Hollywood Way, Suite 500, Burbank, CA 91505



2. ábra: Vasbeton oszlop erősítése

Az oszlopok megerősítéséhez szénszálás műanyagot használnak, mellyel egészen közeli robbantás esetén is szinte rugalmasan viselkedik az egyébként merev szerkezet. Szénszálak helyett használnak még üvegszálat vagy Kevlár szálakat. A szénszálak rugalmassági modulusa 230 GPa, húzószilárdsága 3-3,7 Gpa. A függőleges csíkok száltartalma 65%. A hatékonyság érdekében a csíkokat az oszlopok húzásra igénybevett oldalán túlnyújtják, egészen a födémcsatlakozásig. [5.]

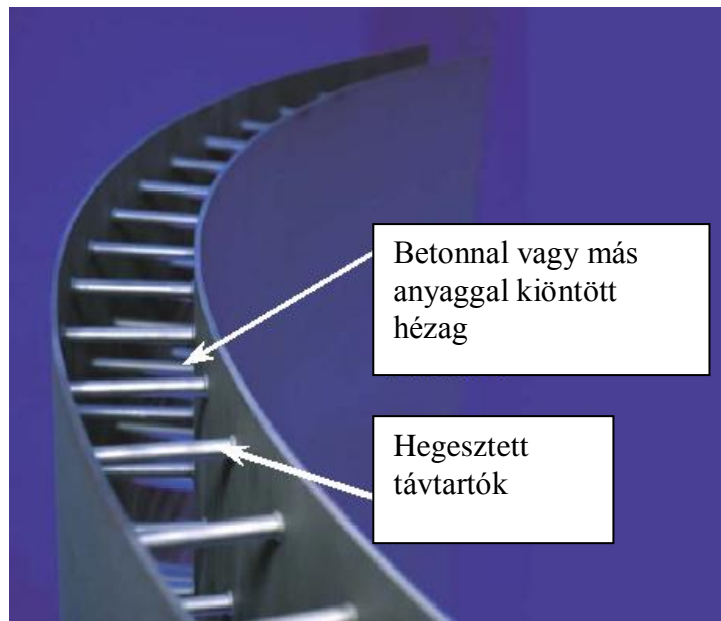


3. ábra: Erősítőcsíkok túlnyújtása

A 3. ábrán jól látható, hogy az oszlop nem szenvedett kárt, de a födémen, ami nem kapott megerősítést, repedések jelentek meg.

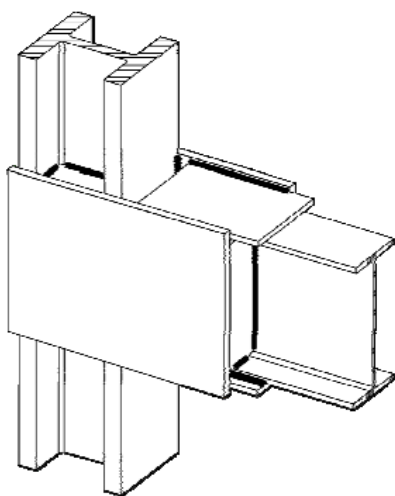


4. ábra: A megerősített oszlopok végső megjelenésükben, semmiben sem különböznek a normál szerkezetektől

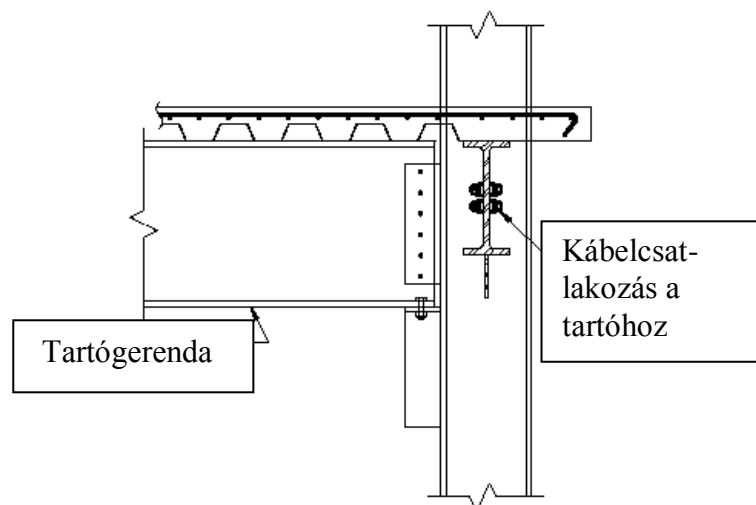


5. ábra: Duplafalú acélszerkezet

Az 5. ábrán látható duplafalú acélszerkezettel összetett szerkezetet hozhatunk létre, mely kiválóan alkalmas a teherhordó falak belső megerősítésére. A két acéllemez hegesztett távtartók kötik össze, és a lemezek közti üreges részt betonnal vagy egyéb anyaggal tölthetjük ki. A panel vastagsága kb. 75 cm, magassága 2 m és egészen 12 méter hosszan csatlakoztatható egymáshoz. Az így létrejött szerkezet lehet akár sík, akár íves kialakítású lehet. [6.]



6. ábra: Oldallemezes erősítés

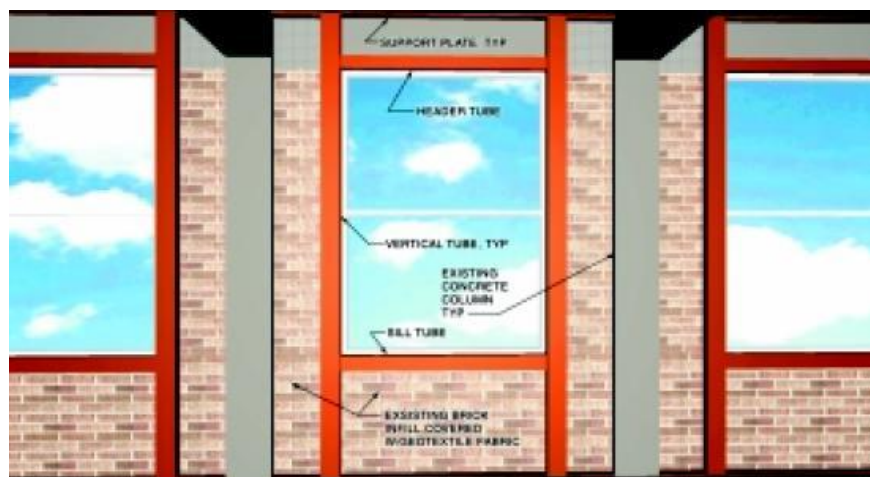


7. ábra: Kábeles erősítés

Az acél tartószerkezetek esetén a megerősítéseket a sarokcsatlakozásoknál mindkét oldalra hegesztett plusz lemezzel érhetjük el. (6. ábra)

A másik módszerrel, mintegy körbefutó koszorú, egy acélkábel vezetünk az épület külső oldalán végig, ami a szerkezet folytonosságát hivatott elősegíteni. (7. ábra) Ez az egyes tartók sérülése esetén a hirtelen leomlást akadályozza meg.

A 8. ábrán látható „kihorgonyzás” technikáját a Pentagont ért támadás utáni helyreállítási munkák során alkalmazták. A szerkezeti kialakítás lényege az, hogy az ablakok körül egy merevítő vázat hoznak létre, amit nem a vázkitöltő falazathoz, hanem az alsó és felső födémhez kötnek, így a robbantás következtében azoknak továbbítja, a szerkezetet érő terhelést. Ehhez a kialakításhoz megfelelő kapcsolatot kellett létrehozni. A függőleges váznak nagy hajlékonyságúnak kell lennie, hogy képes legyen az eredeti funkcióját betölteni, azaz elnyelni a robbanás erejének egy részét. A vázszerkezetet aztán alul-felül acél talplemezekhez hegesztik, majd ezeket a talplemezeket rögzítik a födémlemezekhez.



8. ábra: Kihorgonyzott szerkezetek kialakítása

A helyreállítás során, a Pentagon mind, a közel 8000 ablaktábláját kicserélték kettős üvegezésűre, amelyeket hő- és ultraibolya szűrőréteggel is elláttak.

A válaszfalak megerősítéséhez egy rendkívül erős anyagot használtak fel. Ez az általában autópályák rézsűinek megerősítéséhez használt geotextil (háló) remekül alkalmas a repeszképződés megakadályozására robbantás esetén. A keretszerkezet acél talplemez-végeit tekercselik be ezzel a geotextillel, és ezt követően csavarozzák a talpgerendákhoz és az ablak alatti födémlemezhez. A meglévő vasbeton oszlopokhoz is ilyen módon csatlakoztatják a keret szerkezetet. A geotextil olyan laza szövésű, hogy látható a mögötte lévő szerkezet, de ez megtévesztő. Ez a fátyol meghajlásával képes elnyelni a robbanás energiáját, ha sérül a falazat. [7.]

A FEJLESZTÉS FOLYTATÓDIK

A magas kockázati tényezőjű épületek, mint kormányzati épületek, vagy magas középületek ill. kereskedelmi épületek esetén már a tervezés fázisában számításba kell vennünk extrém behatásokat is, mint amelyet pl. egy robbantás vagy egy nagy sebességű becsapódás okozhat. Ajánlott lenne mind a kivételes terhelésre, mind az anyagtulajdonságra vonatkozó értékeket már a szabványokba belevenni, ezzel is elősegítve az épület helyes kialakítását merev terhelések esetére.

Mint a fentiekből is kitűnik, a szakemberek folyamatosan azon dolgoznak, hogy ha sem adminisztratív eszközökkel, sem külső elektronikus/mechanikus eszközökkel nem sikerül távol tartanunk a robbantásokat és annak hatása eléri az épületet, megakadályozzák a teljes összeomlást, és minél hatásosabban megvédjék a bent tartózkodókat. A kutatások, fejlesztések még korántsem értek véget, amíg a terror elleni küzdelem az élet minden más területén is folytatódik.

IRODALOM JEGYZÉK:

- [1.] Balogh Zsuzsanna: BLAST RESISTANT DESIGN - *Vth International Symposium on Defence Technology 21-22 April 2008, Budapest, Hungary-* Angol nyelvű előadás és cikk a konferencia kiadványában - ISSN 1416-1443
- [2.] Portland Cement Association- An Engineer's guide to: Concrete Buildings and Progressive Collapse Resistance
http://www.cement.org/pdf_files/IS545.pdf (2008.12.10)
- [3]. T. Ngo, P. Mendis, A. Gupta & J. Ramsay: Blast Loading and Blast Effects on Structures – An Overview *The University of Melbourne, Australia, EJSE Special Issue: Loading on Structures (2007)*
<http://www.civenv.unimelb.edu.au/ejse/Archives/Fulltext/2007/Special/200707.pdf> (2008.12.05.)
- [4]. CENE 437 Wood and Masonry Design- Civil Engineering course
<http://jan.ucc.nau.edu/~dsl/egr437/class/masonrybeams/shear/behavior.html>
(2008. 12. 06.)
- [5]. J.E.Crawford, L.J.Malvar, K.B. Morrill, J.M.Ferrito: Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings; *10th International Symposium on Interaction of the Effect of Munitions with Structures, May 2001.*
http://www.kcse.com/pdfs/P-01-13-r_f.pdf (2008. 12. 06.)
- [6]. J.E.Crawford, S. Lan: Design and Implementation of protective technologies for improving of blast resistance of buildings; *Enhancing Building Security Seminar, March 2005, Singapore*
<http://www.kcse.com/pdfs/P-05-5.pdf> (2008. 12. 06.)
- [7.] Michael N. Biscotte, P.E., and Keith A. Almoney: Retrofitting the Pentagon for Blast Resistance
<http://911research.wtc7.net/mirrors/guardian2/pentagon/pentagon-retrofit.htm>
(2008. 12. 12.)