

ÜVEG AZ ÉPÍTÉSZETBEN, A TERRORISTA ROBBANTÁSOK TÜKRÉBEN

Balogh Zsuzsanna mk. alezredes

Absztrakt:

Hogy miért kell a robbantási szakembereknek foglalkoznia az üvegezett felületek problémájával? Egyrészt a robbantásos épületbontások esetén a szomszédos épületek üvegezett nyílászáróit meg kell óvni a lökéshullámok hatásaitól. Másrészt a terrorista robbantások ellen, a kiemelt biztonsági kockázatú épületek üvegezésének előzetes vagy utólagos megerősítését meg kell oldani, hiszen az üvegezés robbanás esetén súlyos repeszkárokat okoz.

Kulcsszavak: robbanás, üveg, repesz, hanghullám, biztonsági üveg

Glass and blast – the architectural dilemma

Abstract:

Why blasting experts need to deal with problem of glass structures? On the one hand in case of demolishing with explosives the glasses of neighboring buildings are in danger of breaking by air pressure. On the other hand against of terrorist blast attack experts have to solve the problem of glasses of high risk buildings from security point of view because glass fragmentation causes sever damage.

Keywords: blast, glass, fragmentation, sound wave, safety glass

Minden robbantómester és robbantással foglalkozó szakember tisztában van a robbanás fizikai-kémiai jellemzőivel. E folyamat során, a képződött energiának csak egy része fordítódik a kívánt cél (kőzetjővesztés, épületbontás stb.) elérésére, az energia másik része szeizmikus rezgések, léglökés és hanghatás formájában jelentkezik. Ezek a negatív hatások minden robbantás során előfordulnak, ezért is érdemes foglalkoznunk velük, hiszen a cél hogy mértéküket korlátozzuk, illetve a környezet számára elviselhetővé tegyük. A következőkben, a robbanás során keletkező léglökéssel és hanghatásokkal, illetve az általuk az építmények üvegezésében okozott károk mérséklésének a lehetőségeivel foglalkozunk.

1. Robbantások hanghatása

A robbantások potenciális energiájának egy része olyan akusztikus hullámokat kelt, amely a hallható hangok tartományába esik. Az üzemszerű, tervezett – nem bűnös célú, nem terrorista, nem véletlen – robbanások esetén, e hanghatások csökkentését szolgálják többek között, az alkalmazott technológiára vonatkozó előírások¹.

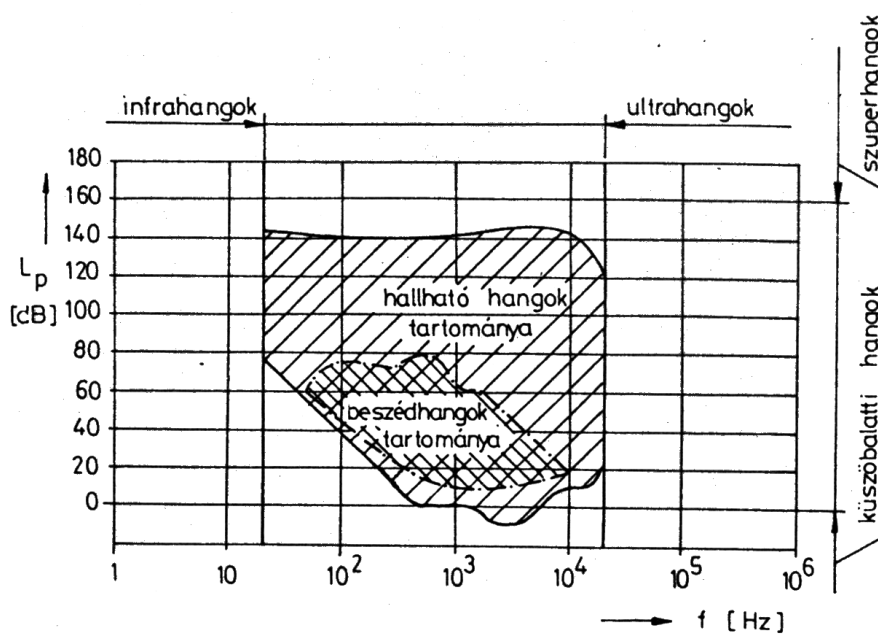
A korszerű eszközökkel, megfelelő szakmai felkészültséggel végrehajtott robbantás esetén, ezeket a káros hanghatásokat a megengedhető értékek alatt lehet tartani. Például, a robbantólyukakba helyezett és szakszerűen lefojtott töltetek, megfelelő késleltetés mellett jelentéktelen (még a szomszédos épületek ablaküvegeit sem károsító) léglökést idéznek elő. Ugyanakkor, a szerkezeti elemeken elhelyezett külső (rátett) töltetek, de egy terrorista merénylet során felrobbantott bomba esetén is, többek között jelentős léglökési hatással kell számolnunk.

1.1.Fizikai hangtan alapjai

Fizikai értelemben a hang hangjelenséget jelent, ami nem más, mint valamely közegben (gázban, folyadékban vagy szilárd anyagban) hullámszerűen terjedő zavarási állapot. Ez a zavarás térben és időben megváltoztatja az adott közeg egyensúlyi helyzetét.

A hangjelenségek több szempontból csoportosíthatók, ezek egy részét az alábbi grafikon tartalmazza.

¹ 13/2010. (III. 4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról



1. ábra. Hangjelenségek csoportosítása frekvencia és intenzitás szerint²

A hangjelenségek csoportosítása a frekvencia alapján:

- infrahang (<20 Hz);
- hallható hang (16 kHz és 20 Hz között);
- ultrahang (16 kHz és 100 MHz között).

Az intenzitás³ szerint ismerünk:

- küszöb alatti hangot (<10⁻¹² W/m²);
- szuperhangot (> 1 W/m²).

Időtartam alapján megkülönböztetünk:

- hanglökést (10 ms-nál rövidebb időtartamú hang, időbeni lefolyásától függetlenül);
- rövid idejű hangot (10 ms és 1 s között);
- tartós hangot (1 s-nál hosszabb időtartamú hang, időbeni lefolyásától függetlenül).

² [1] 370.o. 13.17. ábra

³ Hangintenzitás - egységnyi felületre eső hangteljesítmény (W/m²)

Időbeli lefolyás szerint:

- állandó hang (jellegét megtartó rövid idejű vagy tartós hang);
- változó hang (jellegében változó rövid idejű vagy tartós hang).

Tudnunk kell még, hogy a hang szilárd testekben és a folyadékokban gyorsabban terjed, mint a levegőben. A 0°C-os, normális nyomású és nedvességtartalmú levegőben a hang terjedési sebessége 331.5 m/s, a 15°C-os levegőben 340 m/s. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy robbanáskor a helyszín közelében a hangsebesség a normális érték többszöröse is lehet, mivel ott rendkívüli nyomás⁴ és hőmérséklet uralkodik.

1.2. Hanghullámok tulajdonságai

A rezgőmozgásokról tudjuk, hogy a közegek halmazállapotától függetlenül, a részecskék közötti kölcsönhatásaik miatt nem maradnak meg a tér egy bizonyos pontjában, hanem tovaterjednek. A hullámmozgás tulajdonképpen nem más, mint rugalmas közegben tovaterjedő rezgőmozgás. Így tehát, a hullámmozgás esetén a tér valamely pontján keltett zavarás átterjed a tér más pontjaira is. [1.]

A hullámokban terjedő rezgések iránya szerint lehetnek:

- Transzverzális hullámok: a részecskék rezgési iránya merőleges a hullámterjedés irányára. Mechanikai hullám esetén ez csak szilárd halmazállapotú anyagban lehetséges. A kifeszített húron létrejövő hullámok is ilyenek. Nem mechanikai hullám (például a fény) esetén a terjedés szilárd (jég), gáznemű (levegő) és folyadék (víz) halmazállapotú anyagokban is lehetséges.

⁴ Hangnyomás - a hang által a közegben keltett váltakozó nyomás $N \times m^{-2} =$ Pascal (Pa)

- Longitudinális hullámok: a részecskék a terjedési iránnyal párhuzamosan rezegnek. Például ilyen a legtöbb hanghullám. Gázokban csakis ilyen hullámok jöhetnek létre.

2. Az üveg, mint anyag

2.1. Normál üveg

Az üveg egyik elődje minden bizonnyal a félig átlátszó, üvegesre dermedt láva, az obszidián volt. Más elméletek szerint, a sivatag homokjába csapó villám hozta létre, mikor a magas hőmérséklet hatására egy áttetsző, üvegszerű anyag, a fulgurit keletkezett. Ez a csőszerű képződmény elérheti a 4 méter hosszt is!



2. ábra. Obszidián és fulgurit

A ma ismert üveg egy olyan túlhűtött folyadékoldat, melyben szilárd állapotban vannak jelen a fémoxid összetevők. Különböző fémoxidokból különféle üvegek készülnek. Az ablaküveg alapanyagaként használatos kalcium-nátrium üveget mész, szóda és kvarc összeolvasztása által nyerik. Az üvegyártás során a kvarcot⁵ először égetik, és izzó állapotban vízbe teszik miáltal törékennyé, tehát könnyen apríthatóvá válik. A megolvadt üveg a kemencében folyós lesz és megtisztul. Majd az olvadt üveget fémlapra öntik,

⁵ Kvarc helyett sokszor homokot használnak

ahol sima lappá folyik szét, ebből lesz a tábla-, azaz az ablaküveg. Egy másik gyártási eljárás a húzás, amikor az olvadt üveget szerszám segítségével húzzák lassan és egyenletesen felfelé, ami a levegőn lehűlve dermed üvegtáblává.

A torzításmentes üveglapokat, a Pilkington által 1952-ben feltalált, ún. „úsztatott” (angolul: *float*) üveg eljárásával készítik. Az „úsztatott” kifejezés abból ered, hogy a gyártás során a körülbelül 1000°C hőmérsékletű olvadt üveget, a kazánból egyenletesen egy sekély ónfürdőbe öntik. Azáltal, hogy az üvegalapanyag úszik az ónon, kiterjed és egyenletes felületű lesz. Az üveglap vastagságát a szilárduló üvegszalag húzásának sebességével változtatják. Hőkezelés (ellenőrzött hűtés) után az üveglap felhasználható. [2.]

2.2. Biztonsági üveg

A biztonsági üveg feltalálását egy kis ügyetlenségnek köszönhetjük. Edouard Benedictus, francia tudós 1903-ban egy szokásos laboratóriumi munkanapján, egy reagens után kutatva a polcon levert egy üvegpalackot. Hallotta a csörrenést, de amikor lenézett – legnagyobb meglepetésére – üvegszilánkok helyett, a hálósan összeropedt egész palackot találta a padlón. Kiderült, hogy előzőleg a palackban cellulóz nitrát, egyfajta folyékony műanyag volt, ami elillant. A felfedezést követő héten súlyos autóbalesetről lehetett olvasni a párizsi napilapokban, melyben a vezető súlyosan megsérült a törött szélvédő darabjaitól. Ekkor Benedictus rájött, hogy az ő felfedezése életet menthet meg.

A véletlenszerű felfedezés annyira fellelkesítette, hogy 24 óra múlva már el is készítette az első, folyékony műanyaggal bevont üveget, amit töréskereszteknek vetett alá. Ezt követte a Triplex nevű biztonsági üvege, amihez nagy reményeket fűzött. Ám az autógyártók vonakodtak beépíteni ezt a költséges találmányt a járművekbe.

A biztonsági üveget – mint oly sok más érdemtelenül mellőzött találmányt is – a hadiipari alkalmazás terjesztette el szélesebb körben. Az első világháborúban alkalmazták gázmaszkok lencséjéhez, mintegy a katonák személyi védőfelszerelésének részeként. Csak ezt követően kezdte alkalmazni az autóipar olyannyira, hogy napjainkban a biztonsági üvegek elsőszámú alkalmazását ez jelenti.[3.]

3. Az üvegszerkezetek robbanási hatások elleni védelmének lehetőségei

Minden épületszerkezet rosszul viseli a rendkívüli terhelést jelentő robbanási hatásokat, de anyag- és keresztmetszeti tulajdonságuk miatt, az üvegezett szerkezetek fokozottan sérülékenyek. Anyagukat tekintve elmondhatjuk, hogy a dinamikus terhelések – mint a földrengések vagy a robbanás – felvételére, a nagyobb rugalmassági modulussal bíró anyagok alkalmasabbak. Amíg az acél rugalmassági modulusa 210 GPa, addig az üvegé ennek mindössze negyede, 60 GPa.

Keresztmetszeti méreteiket vizsgálva elmondhatjuk, hogy az üveglapok 4-10 mm-es vastagságához, gyakran szintmagasságú (2500 mm) függőleges méret tartozik, ami ennek 3-600-szorosa. Ugyanez az arány a jóval merevebb acéltartónál, egy átlagos 300 mm-es mérethez tartozó 3-4000 mm-es hossz esetén, mindössze a 10-szeresét jelenti. Ez a két fizikai jellemző okozza a két anyag, merőben eltérő viselkedését robbanás esetén, ill. a dinamikus terhek felvételének eltérő képességét.

3.1. Üvegszerkezet védelme robbantásos épületbontásnál

A II. világháború után, az újjáépítések megkezdése és a sérült épületszerkezetek eltakarítása idején terjedt el, a robbantással történő

épületbontás. Magyarországon 1960-80 között öltött jelentős méreteket ez a módszer. Mivel a robbantás jellemzően városias környezetben, sűrűn beépített területen történik, fokozott figyelmet kell fordítani a nem rombolandó épületek védelmére.

Az ipari robbantástechnikában – eltérően a katonai gyakorlattól – nem alkalmaznak ún. közbehelyezett tölteteket. Ezeknél a robbanási lökéshullám energiája minden irányban, gömb alakban terjed, és hatása a robbanás középpontjától mérve, a távolság arányában közel négyzetesen csökken. Így a robbantás egyébként is csak kis hatásfokú lenne, viszont a közvetlen környezetben jelentős károkat okozna⁶. Szabadon felfektetett (rátett) töltetet is csak életveszélyes épület robbantására használnak, és ebben az esetben is a töltet légnyomási hatását, megfelelő védő burkolatokkal (pl. geo-textíliával) csökkentik.

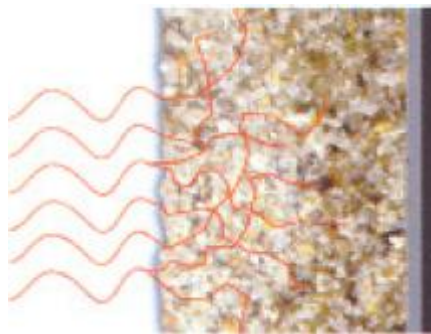
Épületek robbantásos bontásánál a legelterjedtebben használatos töltet elhelyezési mód, amikor a robbantandó szerkezetbe fúrt lyukakba helyezik a robbanóanyagot, a technológiának megfelelő fojtás mellett. A lyukak elhelyezkedését gondosan megtervezik. Ideális esetben, a robbanási kúp (tölcsér) mélysége és az alapkörének sugara egyenlő. Ha a robbanási tölcser sugara kisebb a robbanási tölcser mélységénél, a robbantást alulméreteztük és a szerkezet nem omlik össze. Ha azonban a robbanási tölcser sugara nagyobb, mint a mélysége, akkor túlméreteztük a robbantást, így nemcsak a szerkezet megy tönkre, hanem a környezetben is károkat okozunk a szétrepülő repeszek, és az igen jelentős hang- és léglökési hatás által⁷. [4.]

A lökőhullám terjedését és a szerkezetről leváló anyagok okozta repeszképződést csökkenthetjük, ha a szerkezetet geo-textíliával körbefogjuk. A hanghullám terjedését – és az általa okozott üvegtöréseket – ez azonban nem

⁶ A katonai robbantástechnikában is csak akkor kerülnek alkalmazásra ezek a töltetek, amikor nincs elég idő a robbantás előkészítésére, annak végrehajtása viszont harcászati szempontból elengedhetetlenül szükséges. Minden más esetben, a katonai gyakorlatban is – az egyébként lényegesen robbanóanyag takarékosabb, viszont sokkal munkaigényesebb – belső töltetekkel való robbantást részesítik előnyben.

⁷ Az optimálishoz képest túlméretezett töltet kitör, és a felesleges energia okozza a jelzett káros hatásokat.

akadályozza meg. Gyakran elégséges, ha az ablakokat kinyitjuk, így a merevségüket csökkenthetjük⁸. De előfordulhat, hogy a robbantással bontandó épületünk szomszédságában, pl. egy műemléki templom ólomüveg ablakait kell megóvjuk. Ilyenkor olyan anyagokkal kell körülvennünk a védendő üvegszerkezeteket, amelyek elnyelik ezeket a rezgéseket. Ilyen anyag lehet az AIGIS cég paneljén alkalmazott granulátum, mely a robbanási hullámok 90%-át elnyeli és 30%-kal csökkenti azok visszaverődését.



3. ábra. A TABREshield⁹ panel elnyeli a rezgéseket¹⁰

3.2. Üvegszerkezetek és a terrorista robbantás

Robbantás esetén az épület homlokzatának, szerkezetének a leggyengébb pontja fog először sérülni, és ez pont az üvegezett felület. Egy, az építmény előtt leállított gépkocsiban elhelyezett bomba esetén szembesülünk a robbanás két fázisának, egymástól eltérő irányú hatásával. Az első fázisban, a lökéshullám által összetörő üveg, a robbanás második fázisában, amikor a negatív (szívó) hatás lép fel, a kitört üvegezés 1/3-a az épületben marad, mintegy 2/3 része viszont kirepül az utcára, komoly sérüléseket okozva.

Az ilyen cselekmények elleni védekezéskor az első, és legfontosabb a megfelelő biztonsági távolság létrehozása.¹¹ Vagyis olyan biztosított zóna

⁸ Ebben az esetben viszont számolnunk kell, az építmény összeomlását követő nagymennyiségű por miatt, a környéken lévő nyitott ablakú ingatlanok takarítási költségével.

⁹ TABRE = Technology for Attenuating Blast Related Energy- Robbanási energia csillapítás technológiája

¹⁰ <http://www.aigis.co.uk/building-blast-protection.aspx>

kialakítása, melyen belül nincs lehetőség gépjármű leállítására. Ennek biztosítása azonban nem mindig kivitelezhető. Egy jellemző példa lehet erre, a meglévő épületek, eredetitől eltérő funkcióra való használata, amikor a városias környezetbe, villaépületekbe telepített követségeknél kellene megoldást találni, egy ilyen jellegű fenyegetés elhárítására.

Természetesen amennyire lehet, csökkenteni kell az üvegezett felületek homlokzati arányát, de meglévő épületeknél ez sem kivitelezhető. Új építés esetén is meg kell találni az egyensúlyt a biztonsági követelmények (behatolás elleni védelem) és az építészeti előírások, mint pl. a benapozás vagy a minimális bevilágított felületek aránya között.

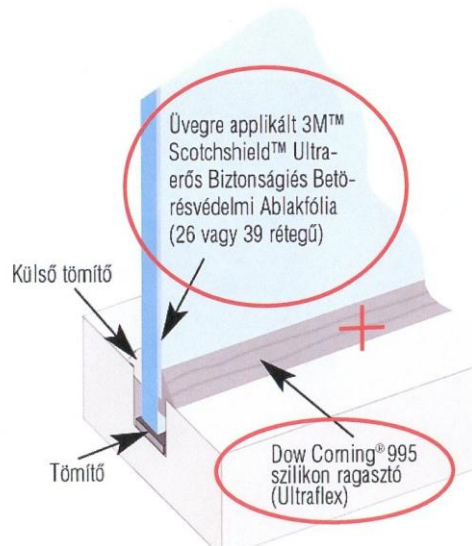
A földszint+1. emelet magasságáig mindenképpen ajánlott biztonsági üvegezéseket alkalmazni. Ez persze leginkább az épületen kívüli robbantás esetén segíthet csökkenteni a károkat. Az épületen belüli robbantás viszont bármelyik belső helyiségben is történhet, így azok belső üveg térelválasztóit, üvegezett nyílászáróit biztonsági fóliával ellátni, rettentően költséges és értelmetlen lenne.

3.2.1. Meglévő szerkezetek utólagos fóliázása

A meglévő szerkezetek megerősítése általában bonyolultabb és költségesebb, mint a korszerűbb szerkezetek eredeti beépítése. Üvegezett felületeket, utólagosan rájuk ragasztott fóliával erősítenek. Lényegében a belső felületükre ragasztott biztonsági fólia biztosítja, hogy az üveg ellenállóbb legyen. Több fajtájuk ismert, van, amelyik véd a betekintés ellen is, megakadályozva, hogy illetéktelenek bepillantssanak az üveg mögött lévők életébe.

¹¹ Balogh Zsuzsanna: Blast resistant design (DEFENCE TECHNOLOGY 2008. - Nemzetközi Konferencia kiadvány)

Másik fajtája már komolyabb adatvédelmet is biztosít a vezeték nélküli hálózatok számára. Az alacsony emissziós fóliák csökkentik a rádiófrekvencián keresztüli adatszerzést, ill. az interferenciát az arra érzékeny berendezések számára.



4. ábra. Fóliázott üveg rögzítése a keretszerkezethez

A betörések elleni fóliák megnövelt szakítószilárdsága, tépés- és lyukasztóállósága megnöveli a bejutás idejét, ezáltal a behatolás bekövetkeztének esélyét is csökkenti.

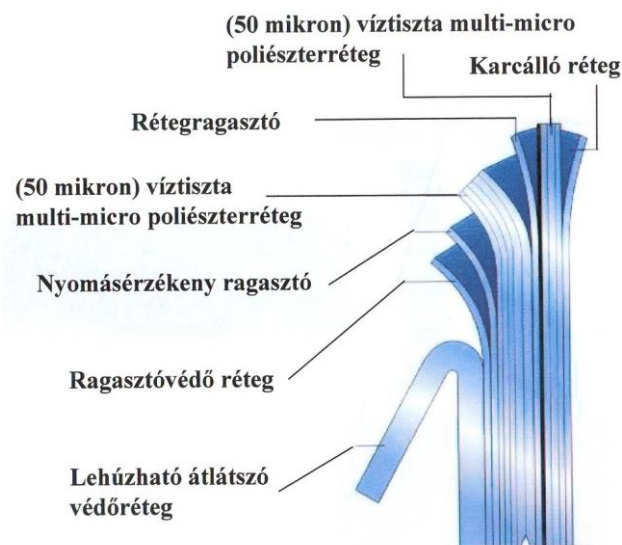
A robbanáskor keletkező szilánkok akár 40 m/s sebességgel is repülhetnek. Az ennek s megakadályozására szolgáló fólia, a törést nem tudja kivédeni, de a szilánkok szétszóródását igen, ami jelentősen csökkenti a repeszhatás miatti, gyakran súlyos vagy halálos sérülések keletkezését. Még inkább javítható a hatékonysága, ha az üveget szilikon anyagú ragasztóval a kerethez rögzítjük. [5.]

3.2.2. Laminált üvegezések alkalmazása

A laminált üvegfelületek feltalálása óta egy évszázad telt el, mely alatt jelentős technológiai fejlődést ért el ez a tudományterület. Az eleinte használt

0,8-0,4 mm vékony ragasztóréteg, amivel a két üvegréteget erősítették, egyre vékonyabb lett. Ma már a 26, ill. 39 rétegű „üvegek” is mindössze 100-150 μ vastagságúak.

Napjaink fejlesztése az irányba halad, hogy csökkentse az üvegezés súlyát. Ennek érdekében a rétegek közötti „normál” műanyagot (általában polikarbonát vagy polivinil) üvegszállal erősített műanyaggal váltják fel.



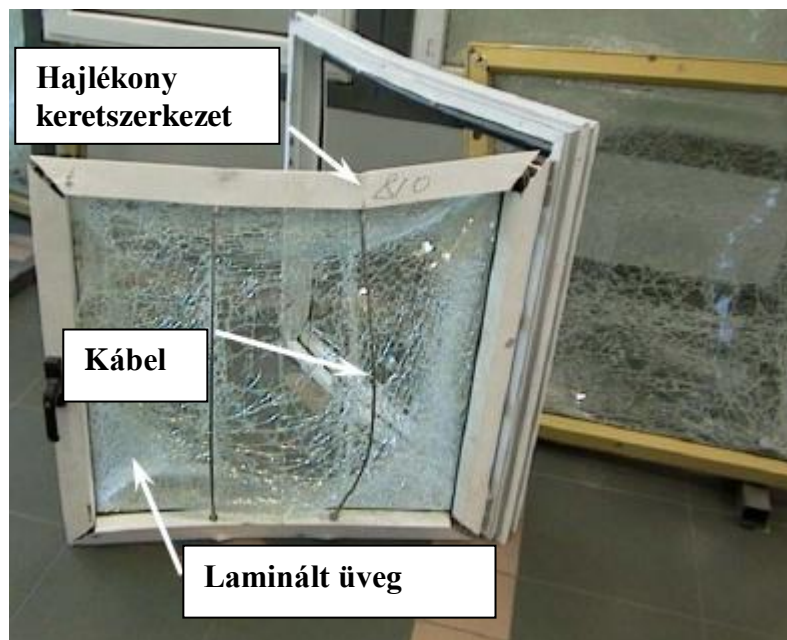
5. ábra. Schotchshield™ Ultra SCLARL 400 fólia rétegfelépítése

Egyes lövedékálló üvegek kívülről sérthetetlenek, mivel az onnan érkező lövedék először az üvegréteget éri el, ami szétszlatja a behatás erejét, és annyira lelassítja a löszert, hogy az a következő, azaz a fóliaréteget már nem képes átszakítani. Ugyanakkor a belső felület felől leadott választűz lövedéke először a fóliát éri, így képes azt átszakítani és az üvegen áthatolni.

3.2.3. Robbanásálló üvegezett szerkezetek

A következő megoldandó probléma onnan ered, hogy a jelenlegi építési technológiák során, a nyílászárók tokszerkezetét a körülöttük lévő falszerkezethez rögzítik. Ezáltal még kisebb robbanás is, ami más esetben talán

csak a nyílászárók sérülését okozná, óhatatlanul a fal egy részét is rombolja. A Pentagon épületét 2001. szeptember 11-én ért támadás után, közel 8000 ablakot erősítettek meg. Azon túl, hogy kétrétegű üvegezést építettek be, ekkor dolgozták ki azt a rendszert, amivel a teljes ablakkeretet függetlenítették a homlokzati faltól. A módszer lényege, hogy a tokot egy olyan keretszerkezetbe fogják, amely alul és felül a tartószerkezetekhez (padló-, ill. födémszerkezet) van rögzítve. Az ablakszerkezetet érő dinamikus (robbantási) terhelések felvételére, a keret két függőleges szára hivatott, míg az őket összefogó vízszintes elemek a vázkitöltő falakat ért hatásokat csökkentik.



6. ábra. A kerethez rögzített kábel robbanás utáni állapota¹²

A biztonsági fóliák alkalmazása viszont egy újabb problémát vetett fel: a robbanás után kirepülő üveglapok „megfogását”. Erre is több módszert alkalmazható. Az egyiknél az ablak keretéhez rögzített kábelek csökkentik a tábla méretét, ezáltal a berepülő felület nagyságát is. Hasonló elven alapul,

¹² <http://www.kcse.com/pdfs/P-05-5.pdf>

mikor a függőleges kábeleket a mennyezetbe, ill. a padlószerkezetbe rögzítik és közéjük átlátszó szövetet feszítenek. Olyan megoldással is találkozhatunk, amikor ezek a „megfogó szerkezetek” belső oldali függőleges osztású speciális relaxák, vagyis egyfajta merev szalagfüggönyökként működve, vízszintes irányú mozgatással nyithatóak vagy zárhatóak. Ezek mindegyike a már laminált üveglapok extra kirepülés elleni védelmét szolgálják. [6.]

4. Összegzés

Láthatjuk, hogy az üvegezett felületek robbantásos cselekmények elleni védelme területén, óriási előrelépés történt az évek során. Igaz, a fejlesztések nagy része kényszerűségből keletkezett, hiszen világszerte egyre inkább terjednek a terrorista cselekmények, és a terroristák körében még mindig a robbanóeszközök alkalmazása a legnépszerűbb.

A prevención túl – ami nem csak a robbanóanyagok megbízható detektálását jelenti, hanem a tudatos épület elhelyezést, környezet választást is – gondolnunk kell a robbantások hatásait csökkentő korszerű építészeti anyagok alkalmazására is. Szerencsére elmondhatjuk, hogy nem csak az üvegezés, de a többi építőanyag kapcsán is folynak sikeres kísérletek, azok robbanás-állóságának növelésére.

Tekintve, hogy nem csak a beépítésre szánt anyagok tulajdonságait javítjuk, hanem a szerkezetbe való elhelyezésüket, egymáshoz történő mind tökéletesebb kapcsolódásukat is fejlesztjük, végeredményként az épületünk egészének robbanás-állóságát kapjuk.

Környezetünkben még mindig nagyon sok „puha” célpont van a terrorizmus számára, ezáltal még mindig az elkövetők vannak előnyben. És bár a védekezés jelentős anyagi áldozatokkal jár, be kell látnunk, hogy a fejlett technika és technológia a legjobb esélyünk a terrorizmus legyőzésére.

IRODALOMJEGYZÉK:

- [1.] Dr. Földesi János: Bányászati robbantástechnika II. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1988, J 14-1664)
- [2.] <http://www.kislexikon.hu/uveg.html> (2010. május 20.)
- [3.] <http://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%9Cveggy%C3%A1rt%C3%A1s>
(2010. május 20.)
- [4.] Mueller Othmár: Korszerű épületbontás (IV. fejezet) (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985, ISBN 963 10 6097 7)
- [5.] www.3M.com (2010. május 15.)
- [6.] J.E.Crawford, S. Lan: Design and implementation of protective technologies for improving blast resistance of buildings; Enhancing Building Security Seminar, March, 2005, Singapore
<http://www.kcse.com/pdfs/P-05-5.pdf> (2010. május 10.)