

ROMÁN Zsolt<sup>1</sup>

## A VÉDETT LÉTESÍTMÉNYEK TERVEZÉSÉVEL KAPCSOLATOS SZÁMÍTÁSI ELJÁRÁSOKRÓL A DSWA DAHS-CWE<sup>2</sup> TÜKRÉBEN<sup>3</sup>

*A robbanások épületekre gyakorolt hatásai ellen több kézikönyv is készült az USA-ban az elmúlt században. Az idő és a hidegháború múlásával ezen anyagok közül sok került a titkosítás alól feloldásra. Az egyik legismertebb útmutató a titkosítás alól feloldott, véletlenszerű robbanások hatásaival foglalkozó TM5-1300 (újabbán UFC-3-340-02). Az UFC-3-340-01 jelű, fegyveres támadások robbanásaival foglalkozó kézikönyv jelenleg nem nyilvános, csak az USA védelmi szerveinek, és azokkal szerződésben álló NATO szervek számára elérhető. Ennek a műnek az elődje az 1998-ban lezárt DSWA DAHS-CWE. Ez a rövid ismertető vázlatosan bemutatja a DAHS-CWE-t, kitér a TM5-1300-tól való eltérésekre, a szabvány metodikájára, egy mintapélda bemutatására kézzel és géppel, valamint felsorol néhány, szabvány által támogatott szerkezet megerősítési, kialakítási eljárást.*

*Abstract*

*In the last century, the USA issued several manuals dealing with blast effects on buildings. As time passed by, many of these became unclassified. The most widely known manual is the unclassified TM5-1300 (UFC-3-340-02) which deals with accidental explosions. The UFC-3-340-01, which deals with conventional weapons effects, is not public, it can only be accessed by US Government Agencies, their contractors and militarily aligned NATO member countries. The origin of this manual is the DSWA DAHS-CWE, which was closed in 1998. This short review aims at a brief introduction into DAHS-CWE, it points out some differences to TM5-1300, introduces the methodology of the manual, shows an example solved by calculation and software, and shows some structural reinforcing and connection types recommended by the manual.*

### A DSWA DAHS-CWE HÁTTERÉRŐL

A DSWA DAHS-CWE [1] egy ún. Technical Manual (a továbbiakban használatra kerül a szabvány kifejezés, mindazonáltal kiemelendő, hogy a klasszikus értelemben a kiadvány nem bír szabványi státusszal), melyet az USA védelmi szervei alkottak. A DSWA a Defense Special Weapons Agency rövidítése, a projekt szponzorára utal, a DAHS-CWE jelentése: Design of Hardened Structures for Conventional Weapons Effects – Védett létesítmények tervezése hagyományos fegyverek hatásai ellen.

A témában, az USA-ban több dokumentum is született a XX. század során, ez a szabvány az 1959-es TM5-855-1-et, és az 1986-os USAF ESL-TR-87-57-et is felülírta. A szabvány elején nincs információ arra vonatkozóan, hogy milyen kapcsolatban áll a TM-5-1300 Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions [2] című 1990-ben nyilvánosságra hozott, közismert szabvánnyal. Míg utóbbi a baleset jellegű robbanásokkal foglalkozik, a DAHS-CWE a katonai robbanóanyagokkal, fegyverekkel elkövetett támadások elleni tervezéséről szól.

A DAHS-CWE itt vizsgált verziója 1998-ban került kiadásra. A szabvány a benne közölt eljárásokat és módszereket naprakésznek és a tudomány fejlettségének megfelelő szintűnek állítja. Az előszóban is említésre kerül, hogy konkrét kritériumokat, határállapotokat szab meg a védett létesítmények tervezéséhez. Kiemelendő, hogy tekintve a tervezési szituációk

<sup>1</sup>Okleveles építőmérnök, PhD. hallgató – ÓE BGBMK Biztonságtudományi Doktori Iskola – zsolt.roman@ymail.com

<sup>2</sup> Defense Special Weapons Agency: Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects

<sup>3</sup> Bírálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. alezredes, egyetemi docens, NKE HHK.

változatosságát, ezeket a kritériumokat mindig gondos mérnöki körültekintéssel kell értékelni, és alkalmazni (melyre a szabvány szintén felhívja a figyelmet.)

A dokumentum titkosítására vonatkozóan nincs egyértelmű kijelentés, a szoftverek a védelmi alkalmazásoknál megszokott „USA védelmi szervei és azok alvállalkozói számára, valamint a NATO tagországok védelmi szervei számára nyílt és ingyenes” jogállással bírnak. A DAHS-CWE 2002-ben UFC-3-340-01 kóddal került hasonló titkosítás alá, ez tekinthető a szabvány utódjának, ami egyébként címében, témájában és tartalmában is megegyezik elődjével.

## **A DAHS-CWE szerkezete**

A szabvány egy CD formájában érhető el, amin a szöveges rész mellett segédalkalmazások is elérhetők. A szabvány több helyen hivatkozik ezekre, és javasolja használatukat a jelzett korlátozó feltételek figyelembe vétele mellett. A szöveges részek terjedelme kb. 1000 oldalt tesz ki. Az ábrák külön is elérhetők és megtekinthetők. Érdemes megemlíteni, hogy több ábra megegyezik a más útmutatókban fellelhető ábrákkal, érezhető a korabeli szabványokkal való párhuzam. A szöveges részei a szabványnak az USA-beli anyagoknál megszokott módon kellően bőbeszédűek, magyarázóak, túlmutatnak a szabványos kijelentések egyszerűségén, inkább jellemezhető egy ismeretterjesztő, könyvszerű anyagként. A szabvány 17 fejezetből, 4 mellékletből és irodalomjegyzékből áll.

## **A FEJEZETEK TARTALMÁNAK ÁTTEKINTÉSE**

### **1. fejezet**

Bevezetés. Előszó, felülírt szabványok, a szabvány keletkezési háttere, általános információk. A szabvány céljának a bemutatása.

### **2. fejezet**

Az általános fegyverek felépítésének, működésének bemutatása, néhány konkrét típusra lebontva. Levegő–föld, és föld–föld fegyverekre koncentrálnak a szabvány (főként aknagránátokra és tüzérségi robbanófejekre, rakétákra), valamint a vegyi fegyverek és termobárikus bombák is megemlítésre kerülnek. Nukleáris fegyverekkel és azok hatásaival nem foglalkozik a DAHS-CWE.

### **3. fejezet**

Tervezési alapok. Az előtervezés folyamatát írja le. Kitér a működési követelményekre, a figyelembe veendő veszélyekre, álcázási lehetőségekre, az építési terület és környék felmérésének szempontjaira, a védett létesítmények fő kategóriáira (föld feletti, földalatti, alagút), alaprajzi elrendezésekre tesz javaslatot.

### **4. fejezet**

Anyagtulajdonságok bemutatása. Általános építőmérnöki, anyagtudományi fogalmak tisztázása, robbanóanyagok tulajdonságainak, anyagmodelljeinek leírása (csak általánosságban). Konkrét anyagmodellek és szilárdsági, dinamikai paraméterek az amerikai piacon elérhető beton és acéltermékekről.

### **5. fejezet**

Robbanások leírása. Ideális és nem ideális robbanások fogalmának leírása, lökéshullám fogalmának bevezetése, bejáratokban, alagutakban, járatokban való lökéshullám terjedés. Beltéri robbanások vizsgálata, lökéshullám és gáznyomás, törékeny felületek hatása, lökéshullám lecsengése. Robbanásvédő falak, burkolatok hatása a lökéshullám terjedésére. Lökéshullám kioltásának módszerei, lehetőségei. Lökéshullám paraméterek valószínűség-elmélet szerinti korrekciója.

## **6. fejezet**

Bemutatásra kerülnek az átütés vizsgálat (penetráció) alapegyenletei. Az átütő lövedékek jellemzése. Becsapódás talajba és sziklába. Kitüntetett figyelmet kap a vasbeton, külön kiemelésre kerül a betonacélok, szemcsenagyság, kor és szilárdság befolyása. Számítógépes eljárások. Kumulatív töltetek átütőképessége. Páncélzatok vizsgálata penetráció ellen. Lehetséges védekezési módok bemutatása (pl. robbantórétegek).

## **7. fejezet**

Repszhatás vizsgálata. Elsődleges repeszek jellemzése, osztályozása, tömeg és sebesség eloszlások, sebesség-távolság profilok, repesz alakok jellemzése. Elsődleges repeszek penetráció vizsgálata különböző anyagokba. Másodlagos repeszekről röviden szól a fejezet. Kombinált repeszhatások, repeszek gurulat hatása. Valószínűség elméleti modellek.

## **8. fejezet**

Lökéshullámok terjedése talajban, talajlengések számítása. Kráterképződés számítása.

## **9. fejezet**

Lökéshullámok és becsapódások szerkezeti elemekre működtethető terhekké konvertálásának módja. Különböző szerkezeti elemek, statikai vázak teherfelvétele. Földbe ágyazott szerkezetek, alagutak, termobárikus bombák esete. Teherfelvétel talajlengésekből. Lökéshullám és becsapódás együttes hatásának vizsgálata. Robbanási terhek teherkombinációba foglalása.

## **10. fejezet**

Vasbeton és acél szerkezeti elemek teherbírásának, teherbírás függvényének számítási módjai. A fejezet többnyire a hagyományos mérnöki szabványokban található eljárásokat ismerteti, de kitér olyan empirikus képletekre is, mint a beton lepattogzásának a vizsgálata. A szabvány határozottan többet foglalkozik a vasbeton elemekkel, mint az acéllal.

## **11. fejezet**

Dinamikai számítások alapjai. Dinamikus választ befolyásoló tényezők hatása. Egy szabadságfokú rendszerekké konvertálás, azok számítási módjai, alap egyenletei. Végeselem módszer leírása, vizsgálati lehetőségek és korlátok.

## **12. fejezet**

A védett létesítményekben lévő berendezések gyorsulási válaszspektrum alapján való vizsgálata. Lökéshullámok hatásának építmények belüli csökkentésének lehetőségei.

## **13. fejezet**

A védett építményt kiszolgáló elemek, közművek, rendszerek védelme. Robbanás biztos ajtók, levegőztetési rendszer védelme, vízellátást biztosító berendezések és műtárgyak védelme. Vegyi védelem.

## **14. fejezet**

Meglévő szerkezetek felülvizsgálati eljárása, szempontjai. Megerősítési eljárások penetráció és lökéshullámok hatásai ellen. Beltéri lökéshullám kioltási eljárások.

## **15. fejezet**

Elrejtési, álcázási technikák.

## **16. fejezet**

Alagútszerű védett létesítmények sajátosságai. Tervezési szempontok, építési eljárások, tervezési paraméterek. Alagutak vizsgálata hagyományos fegyverek hatásai ellen. Költséghatékonysági vizsgálatok.

## **17. fejezet**

Mintapéldák egy repülőgéphanagár tervezésére, egy földalatti létesítmény tervezésére és egy alagútszerű létesítmény vizsgálatára. Megerősítési és felülvizsgálati eljárások.

## A SZABVÁNY METODIKÁJÁNAK A BEMUTATÁSA

A szabvány alapvetően átfogó jellegű, rendszer szemléletű. Kimondottan a védett létesítmények megtervezésére szolgál, a kezdeti előtervezéstől egészen az apróbb részletekig. Sok más témát is érint, mint például a felülvizsgálatok, megerősítések. A szabvány megfelelően említi meg a szükséges helyeken, hogy a leírt eljárástól el lehet térni, mérnöki megfontolás alapján egyéb módszert lehet az adott részfeladatra alkalmazni.

A rendszerelvűség abban mutatkozik meg, hogy nem csak a konkrét számítási módszereket mutatja meg, hanem azt is taglalja, hogy a sok vizsgálat közül melyiket és a többivel milyen relációban alkalmazza a tervező.

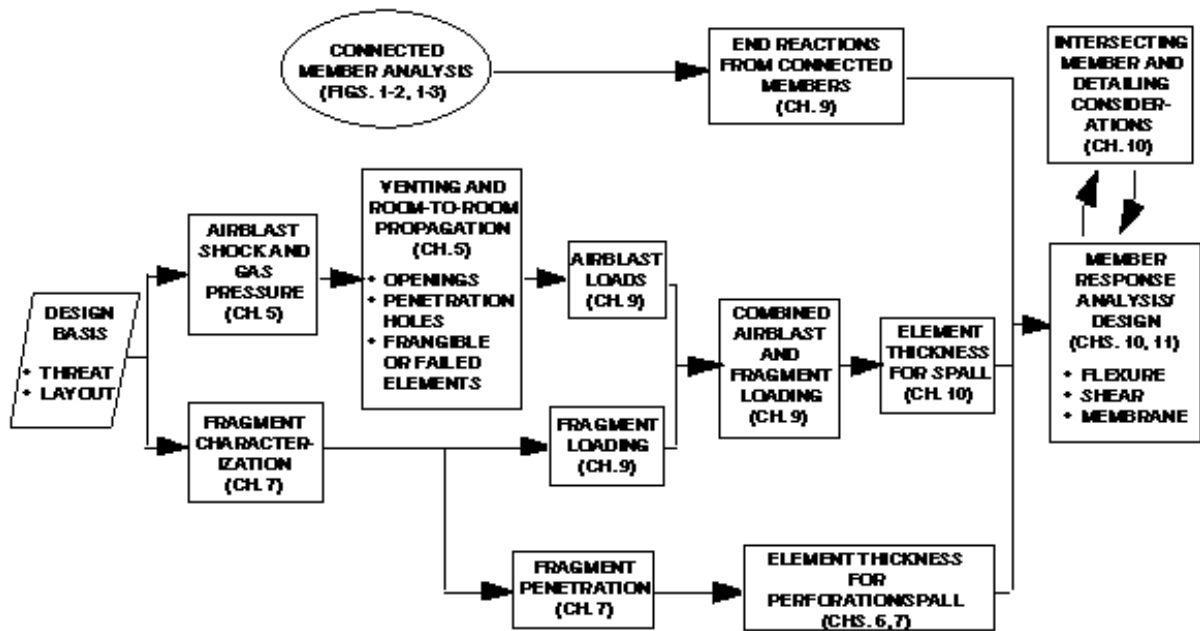


Figure 1-4. Design Consideration Flowchart -- Internal Structural Walls, Floors, and Columns.

1. ábra Beltéri szerkezeti elemek tervezési folyamatábrája [1]

Az 1. ábrán a beltéri elemek tervezési folyamatábrája látható. A folyamat tiszta és követhető, világos, könnyen alkalmazható. Letisztult folyamat, amelynek minden eleme megvizsgálható a szabványban leírtak alapján. A folyamat tulajdonképpen 3 hatás vizsgálatából indul ki a beltéri elemek esetén, az egyik a külső szerkezeti elemekről leadódó reakciók, második a lökéshullám okozta terhelés, végül a repeszek okozta terhelés. Az ábrán követhető, hogy hogyan kell külön hatásaikat vizsgálni, és melyik vizsgálati szakaszban kell a kombinált hatást figyelembe venni. Például még mielőtt a szerkezeti elem dinamikai vizsgálatához érkezünk, már két lepattozás vizsgálat el lett végezve, amelyek előre befolyásolják az elem vastagságát. A módszerből kitűnik a vizsgálatok hierarchiája. Ez a folyamat ábra a „member response” (szerkezeti elem dinamikai elmozdulása) résznél szakad meg, illetve azt egy folyamatú lépésbe sűríti, majd utána már a részlettervezést említi.

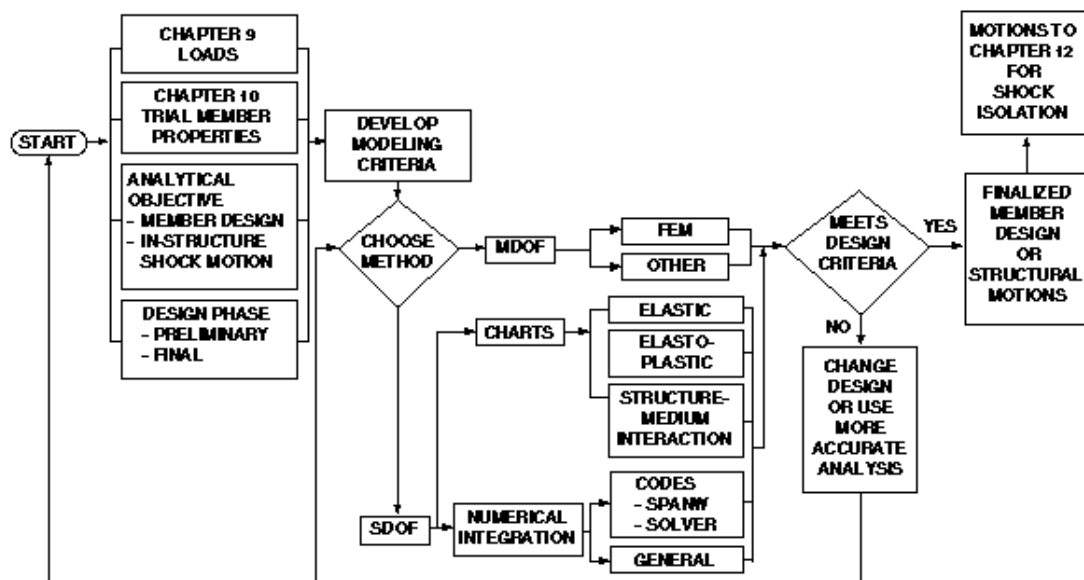


Figure 11-1. Dynamic Analysis Process.

2. ábra Dinamikai vizsgálat folyamatábrája [1]

A „member response” kibontása egy másik fejezetben megtalálható (2. ábra), ez a dinamikai számítás folyamatábrája. Tehát az előző folyamatban empirikus előméretezést hajt végre, és egyszerű vagy kombinált terheket határoz meg, míg ebben a folyamatban az előzőleg meghatározott terhekre történik meg a dinamikai vizsgálat.

Ez a folyamatábra is jól követhető, a dinamikai méretezés alapjait ismerő mérnök számára világos. A teher meghatározás, kezdeti méretfelvétel és kritériumrendszer felvétele után a számítási módszer döntésének meghozatala következik: egy szabadságfokú (SDOF) vagy több szabadságfokú (MDOF) modellel lehet számítani. Mindkettőnek több allépcsője van, de az eredmény tekintetében hasonló a következő lépés: a szerkezet megfelel-e a kritériumoknak vagy sem. Ha igen, akkor véglegesítés következik, ha nem, akkor vagy a pontosabb analízishez, vagy más méretek, statikai váz stb. igazításához kell visszanyúlni. Ebben az utolsó pontban hiányosság fedezhető fel. A „meets design criteria” egy döntésként van ábrázolva, ám ez később nem kerül kibontásra, nincs külön folyamatábrája annak, hogy a különböző igénybevételekre milyen sorrendben, hogy történjen a méretezés. Más forrásban fellelhető ilyen útmutató [3].

A szabvány a „balanced survivability” (kiegyensúlyozott túlélési valószínűség) tervezési elvét javasolja, ami azáltal valósul meg, hogy az építmény minden elemét azonos védelmi szinten kell megvalósítani. A költségek szempontjából is kedvezőbb, és biztonságosabb is, hogy nincs az építménynek egy „Achilles sarka”.

## ÖSSZEHASONLÍTÁS MÁŠ SZABVÁNYOKKAL

A DAHS-CWE jellemzése talán úgy a leghatásosabb, ha rámutatunk a kontrasztra a hasonló témában íródott könyvekkel vagy szabványokkal. Fontos kiemelni, hogy a DAHS-CWE 1998-ban készült el, míg az összehasonlításhoz vett TM5-1300 1990-ben lezárva. A DAHS-CWE bár sok helyen ismeret terjesztően magyaráz, mégis megmarad szabványszerűnek és lényegre törőnek, míg más USA-beli kiadványok tankönyvszerűen mutatják be ugyanazon feladatra a sokadik elméletet is, ami gyakorlati tervezésnél nehézkesen használható.

A legelső különbség az, hogy míg a TM5-1300 az első sorokban rögzíti, hogy nem célja tervezési kritériumok felállítása (tehát nem jelenik meg a felelősség vállalás), addig a DAHS-CWE inkább a másik irányba tolódik ezen a téren, igyekszik releváns forrásként feltüntetni magát, és bár a felelősségvállalás az nem szakmai, hanem jogi kérdés, mégis egyértelmű útmutatást igyekszik adni, határozottabb hangnemben, mint a TM5-1300.

Mint az előszóban is említésre került a két szabvány közt elsősorban témabeli különbség van, a publikus TM5-1300 a baleset jellegű robbanásokkal, a DAHS-CWE a haditechnikai eszközökkel való támadás hatásaival foglalkozik. Mindazonáltal nagyon sok az átfedés, hiszen a robbanás hatásai hasonlóak, hasonló a dinamikai számítás, hasonló a szerkezetek teherbírásának meghatározása is. A két szabvány közti különbségek egy részéért a köztük eltelt 8 év is felelős lehet.

A DAHS-CWE természetesen több információt nyújt a védett létesítmény alaprajzával, álcázásával, berendezésével, gépészetével, vegyi támadások elleni védelmével kapcsolatban, míg a TM5-1300 ezekről egyáltalán nem szól. Szintén csak szűkszavúan említi a TM5-1300 a védett létesítmények típusait, a földbe ágyazott és alagútszerű létesítményekről pedig nem szól egyáltalán.

Ahol metsződik a két szabvány témája, ott azonban csak kisebb eltérések tapasztalhatók. Például a DAHS-CWE az építményre ható teherfüggvények meghatározásánál figyelembe veszi a szívó fázist is, míg a TM5-1300 ezt elhanyagolja. Máshogyan számítja a két szabvány a beton és az acél dinamikus szilárdságnövekedését, és a betonnyírási teherbírását is. A beton lepatogzásáról szóló fejezetben azonban találni szóról szóra megegyező bekezdést is.

A TM5-1300 nem foglalkozik a robbanófejek penetrációjával, kombinált penetráció és lökéshullám terheléssel, valamint a repeszek okozta többlet impulzussal sem. (Megjegyzendő, hogy utóbbi jelenség mind a mai napig a kutatások témájául szolgál.) Jelentős többlet információt jelent a DAHS-CWE-ben megjelenő, lökéshullám terjedését módosító geometriai viszonyok taglalása (3. ábra). Ez a téma nagyon elnagyoltan szerepel az TM5-1300-ban.

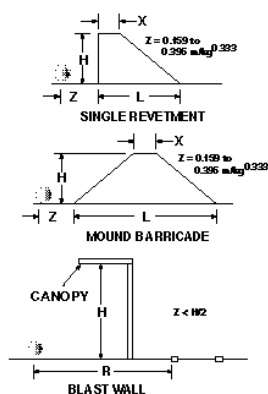


Figure 5-37. Blast Wall and Revetment Configurations.

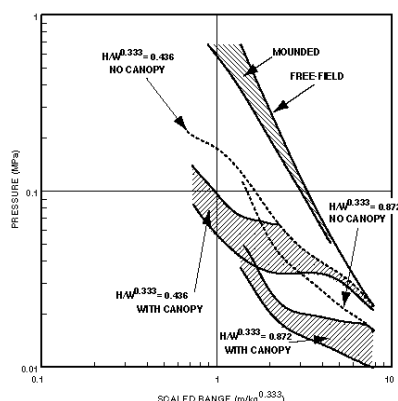
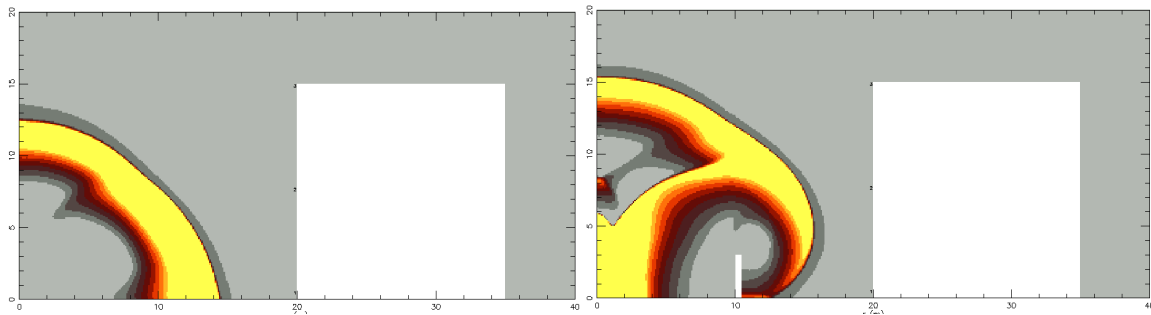


Figure 5-38. Peak Pressure Behind Blast Walls and Revetments (Target at Height, H).

### 3. ábra Robbanásvédő falak kialakítása, és a lökéshullám csökkentését leíró diagram [1]

Itt érdemes megemlíteni, hogy a DAHS-CWE kiadása idején 1998-ban a számítástechnika lényegesen magasabb színvonalon járt, mint 1990-ben, és a végeelem módszert már valós alternatívaként kínálja a szabvány, sőt vázlatos elméleti összefoglalást is ad róla, illetve a különböző földbe ágyazott szerkezetek modellezési lehetőségeire is kitér. Átfogó listát közöl az akkor piacon lévő explicit és implicit végeelem szoftverekről. Miután ezekben a robbanóanyag modellezésének az alapja a Jones-Wilkins-Lee típusú robbanóanyagok adiabatikus expanziójának leírására használt állapotegyenlet, így erről is szó esik. A TM5-1300 nem említi a JWL egyenletet, holott az már 1973-ban publikálásra és elfogadásra került.

1998 óta szintén nagyot fejlődött a számítástechnika, és a szoftverek is, így ma már lényegesen gyorsabban megoldható egy-egy egyszerű probléma a végeelem módszerrel. Példaként hozva az előbb bemutatott robbanásvédő fal esetét, ez a vizsgálat kellő megbízhatósággal akár percek alatt is elvégezhető egy jól optimalizált euleri hálón (4. ábra).



4. ábra Robbanásvédő fal véges elemes modellezése (bal: nincs fal, jobb: van fal) [4]

Érdekes és hasznos információ a DAHS-CWE-ben a robbanási paraméterek valószínűségi változóval való módosítása. Miután az empirikus képletek nagy szórású kísérleti eredmények középértékeként lettek meghatározva, ezért a sok bizonytalansági faktort a komoly tervezésben még figyelembe érdemes venni. Ez egy egyszerű szorzótényezővel történik (5. ábra), amely a kívánt megbízhatósági szinthez van rendelve. Az alábbi táblázatból kitűnik, hogy a 100%-os bizonyossághoz a felől, hogy a számításban meghatározott túlnyomást ne lépje túl az adott mennyiségű robbanóanyag robbanása, majdnem 2-szeres értéket kell figyelembe venni. Ezzel a korrekcióval a szabvány más forrásokhoz képest többlet információt tartalmaz, mert ebben a korrekciós tényezőben megjelenik a kísérleti robbantások eredményeinek a szórása.

Reliability	Load Factor, $\lambda^1$			
	Surface-Tangent		Half-Buried <sup>2</sup>	
	Pressure	Impulse	Pressure	Impulse
0.05	0.59	0.74	0.68	0.78
0.10	0.66	0.81	0.76	0.85
0.25	0.79	0.94	0.90	0.99
0.50	0.96	1.12	1.10	1.16
0.75	1.17	1.32	1.34	1.37
0.90	1.40	1.53	1.60	1.60
0.95	1.55	1.67	1.79	1.75
0.99	1.90	1.98	2.18	2.06

5. ábra Robbanási paraméterek valószínűségi módosító tényezője [1]

## EGY KIEMELT VIZSGÁLAT VÉGREHAJTÁSA

A [1] 6.4.6.1.1. pontja szerint bemutatásra kerül egy penetráció vizsgálat. Az alább megadott fiktív lövedék adatok esetén meghatározásra kerül a végtelen beton féltérbe való behatolási mélység.

Becsapódási sebesség:	$V := 300 \frac{m}{s}$	$P_1 := \left[ \frac{56.6 \cdot \left[ \frac{\frac{m_g}{kg}}{\left(\frac{D}{mm}\right)^3} \right]^{0.075} \cdot N \cdot \frac{m_g}{kg} \cdot \left(\frac{V \cdot s}{m}\right)^{1.8}}{\left(\frac{D}{mm}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{f_c}{MPa}}} \cdot \left(\frac{D}{c}\right)^{0.15} \cdot f + \frac{D}{mm} \right] \cdot mm = 265 \cdot mm < 2 \cdot D = 400 \cdot mm$ <p>Nem ez az érvényes a képlet.</p>
Lövedék tömege:	$m_g := 15 \text{kg}$	
Lövedék átmérője:	$D := 200 \text{mm}$	
beton nyomószilárdsága:	$f_c := 25 \text{MPa}$	
maximális szemcseátmérő:	$c := 32 \text{mm}$	
lövedék orrának a hossza:	$L_n := 300 \text{mm}$	$P_2 := \frac{15.1 \cdot \left[ \frac{\frac{m_g}{kg}}{\left(\frac{D}{mm}\right)^3} \right]^{0.038} \cdot \left(\frac{V \cdot s}{m}\right)^{0.9}}{\left(\frac{f_c}{MPa}\right)^{0.25}} \cdot \left(\frac{D}{c}\right)^{0.075} \cdot \left( \frac{N \cdot \frac{m_g}{kg}}{\frac{D}{mm}} \cdot f \right)^{0.5} \cdot mm = 228 \cdot mm < 2 \cdot D = 400 \cdot mm$ <p>Ez az érvényes képlet.</p>
orkialakítási tényező:	$N := 0.72 + 0.25 \cdot \frac{L_n}{D}$	
	$N = 1.095$	
beton korának tényezője:	$f := 1$	

### Fal perforációs határvastagsága

Légüres teret elválasztó fal:  $\left( \frac{P_2}{D} \cdot 1.239 + 1.132 \right) \cdot D = 509 \cdot \text{mm}$

Homokkal támasztott fal:  $\left( \frac{P_2}{D} \cdot 1.092 + 0.541 \right) \cdot D = 357 \cdot \text{mm}$

Minimum falkárosodási határvastagság  $\left( \frac{P_2}{D} \cdot 1.375 + 2 \right) \cdot D = 714 \cdot \text{mm}$

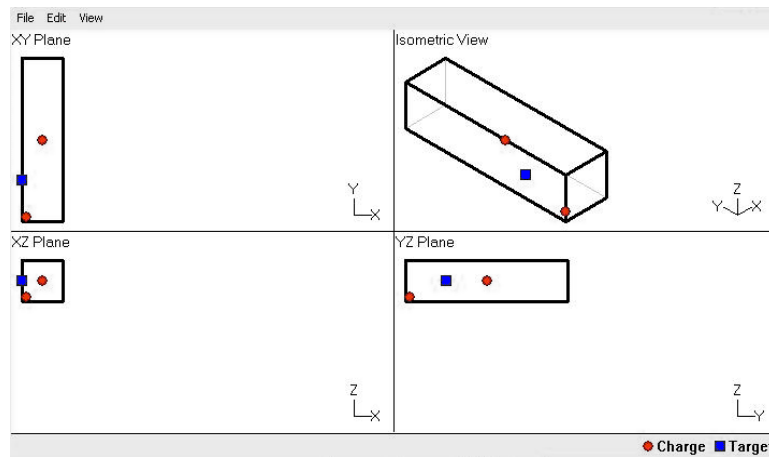
Érdeemes rámutatni, hogy a behatolási mélység a sebességgel és a tömeggel nő, de például a lövedék átmérőjének növelésével csökkeni fog. A szemcseátmérő növelésével is csökken a behatolási mélység, ami elsőre nem egyértelmű, hiszen a klasszikus mérnöki gyakorlatban a kisebb szemcseátmérő a beton szilárdságának a növekedését okozza.

A féltérbe becsapódó lövedék P értéke alapján meghatározható a fal vagy födém perforációs határvastagsága, melynél a lövedék még éppen nem hatol át a falon, illetve egy minimális károsodáshoz tartozó határvastagság, ami ebben az esetben több mint 700 mm-re adódik. A perforációs határvastagság 360 mm homokkal támasztott falnál és 500 mm üres teret elválasztó falnál. A szabvány egy jóval bonyolultabb analitikus képletet is tartalmaz a betonba való becsapódási mélység meghatározására.

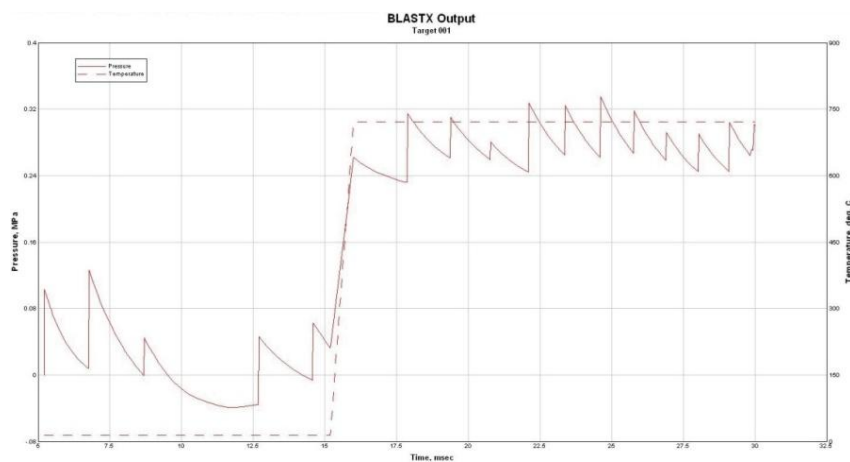
## A BLASTX SZOFTVER

A csomaggal járó BlastX szoftver egy régi (1996), de jó képességekkel bíró program. Belső terekben történő lökeshullám lefutást tud modellezni. Mind a lökeshullám, mind a gáznyomás fázist meg tudja határozni, tetszőleges helyekre lehet töltetet helyezni és tetszőleges pontokban lehet mérni a nyomás alakulását. A szoftver kezelése nehézkes, nem felhasználóbarát, de igazi előnyét az egyszerűsége adja. Nagyon gyorsan számol, nem véges elemes számítási eljárás alapján. Példaként egy elnyújtott szobába elhelyezett két töltet okozta lökeshullám lefutása kerül bemutatásra (6. ábra).



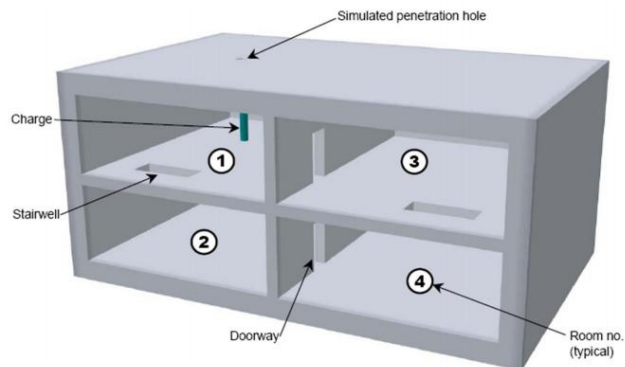


6. ábra Az adatmegadás, és megjelenítés a BlastX-ben



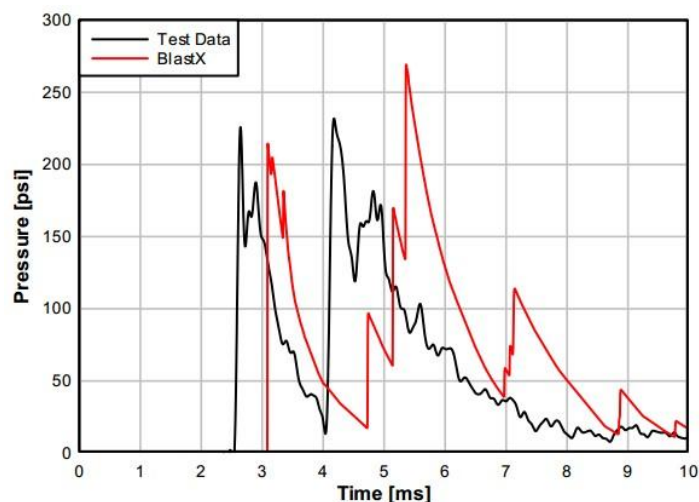
7. ábra A mérési pontban a túlnyomás alakulása

Látható a belső térben a visszaverődések hatása (7. ábra). Az így kapott tehergörbére lehet méretezni a falakat, födémeket, attól függően, hogy hol lett felvéve a monitor pont. A programmal több szobát is egybe lehet kapcsolni nyílásokkal, egy komplexebb modellt ábrázol a 8. ábra.



8. ábra Összetett BlastX modell

A 9. ábrán egy összehasonlító kísérleti vizsgálat eredménye is látható, amiből kitűnik, hogy a visszaverődések hatását összetett térben is jól modellezi a szoftver. A szoftver kellő pontossággal határozza meg a terhelési függvényeket, anélkül, hogy nagy gépigényű végeelem szoftverekkel kellene dolgozni.

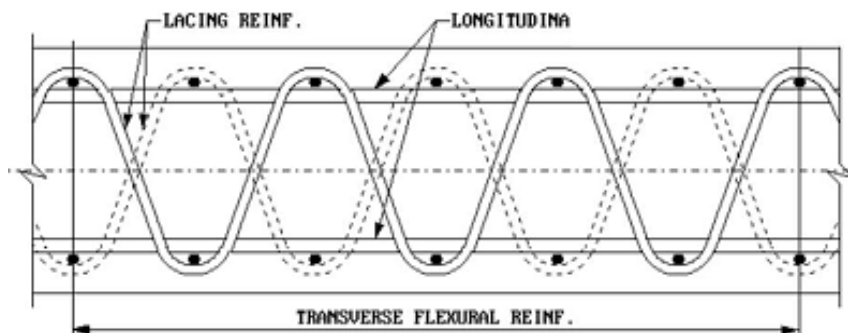


9. ábra Kísérleti robbantás és BlastX eredmények összehasonlítása

## CSOMÓPONTOK KIALAKÍTÁSA, SZERKEZETEK MEGERŐSÍTÉSE

A DAHS-CWE több ajánlást is ad a keresztmetszetek és csomópontok kialakítására. Megjegyzendő, hogy néhány javaslat nem a robbanásvédelmi tervezői szakmának a sajátossága, vannak olyan javaslatok, amely a klasszikus vasbetontervezés része (pl. nyíló keretsarok vasalása). A duktilitási feltételen kívül a mezőnyomatékok felvétele ugyanúgy történik, mint statikus terhek esetében, ilyen téren bármilyen megszokott módszerrel (lőtt beton, plusz elemek hegesztése, stb.), az inercia növelés megfelelő megoldás.

A nagy alakváltozások biztosításához és a duktilitás érdekében speciális vasalást javasolnak a szabványok, a fűzött vasalási eljárás (10. ábra) kifejezetten duktilissá teszi a vasbeton lemezt és a falakat, de nagyon nehéz kivitelezni és a beton bedolgozása is nehezzé válik.



10. ábra Fűzött vasalás a duktilitás növelése céljából [2]

A csomóponti kialakításoknál tulajdonképpen hasonlóak a szabályok, mint a földrengés elleni tervezésnél. A kapcsolatoknak biztosítaniuk kell a szerkezet kellő duktilitását. Minden csomópontnak teljes szilárdságúnak kell lennie, a képlékeny csuklók kialakulását még a szerkezeti elem bizonyos pontján szándékosan ejtett szelvénygyengítéssel is szokás biztosítani.

Vasbeton részlettervezési alapszabály, hogy a beton integritását megőrizendő, a kengyelek végét az oszlop, vagy más szerkezeti elem közéjébe be kell hajtani, különben alakváltozáskor felhasítja a betonfedést. A betonnal való együttműködés megszűnése folytán kialakuló tönkremenetelt mutat a 11. ábra. Tisztán látható, hogy a hosszvasalás kihajlott.



11. ábra Elégtelen vasalás miatt tönkrement vasbeton oszlopok [4]

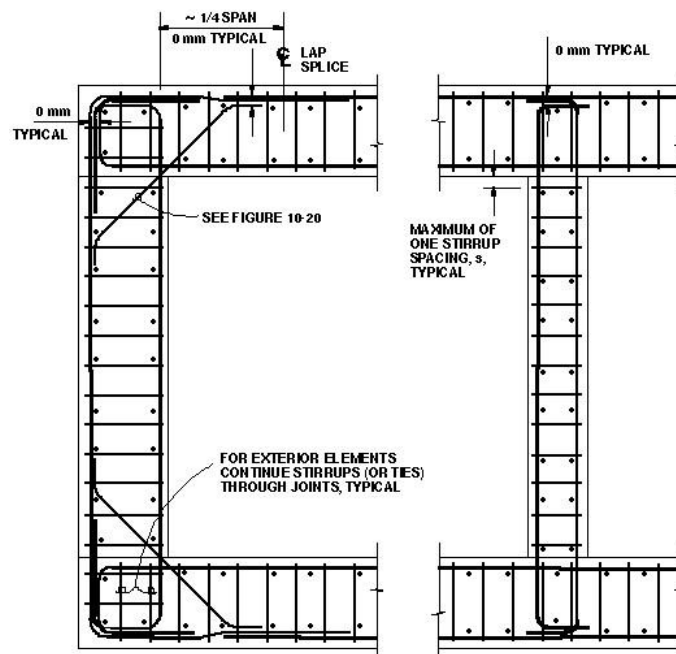
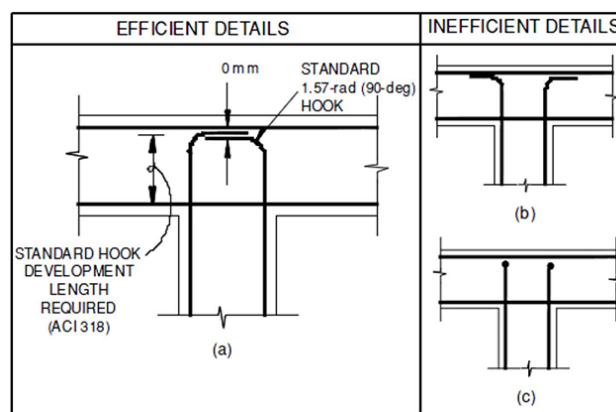


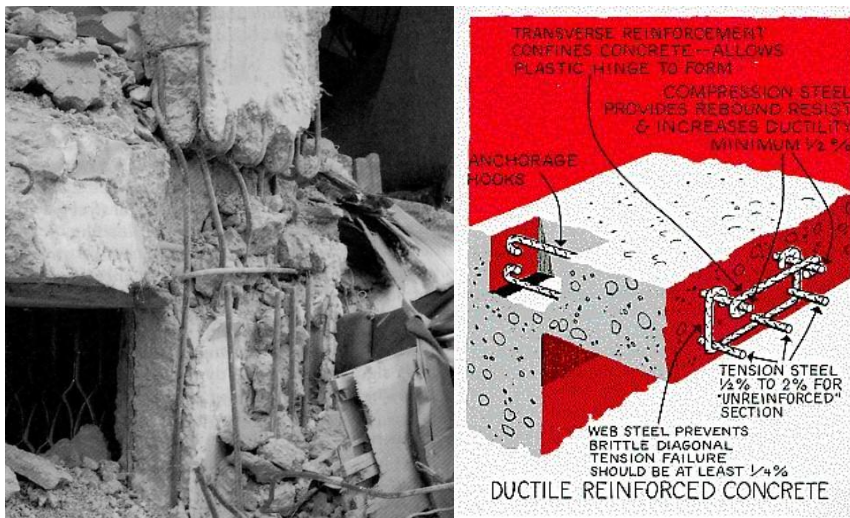
Figure 10-22. Typical Structure Cross Section Showing Recommended Reinforcement Details.

12. ábra Nyíló keretsarok helyes vasalása [1]



13. ábra Helyes és helytelen T-csatlakozás vasalásának kialakítása [1]

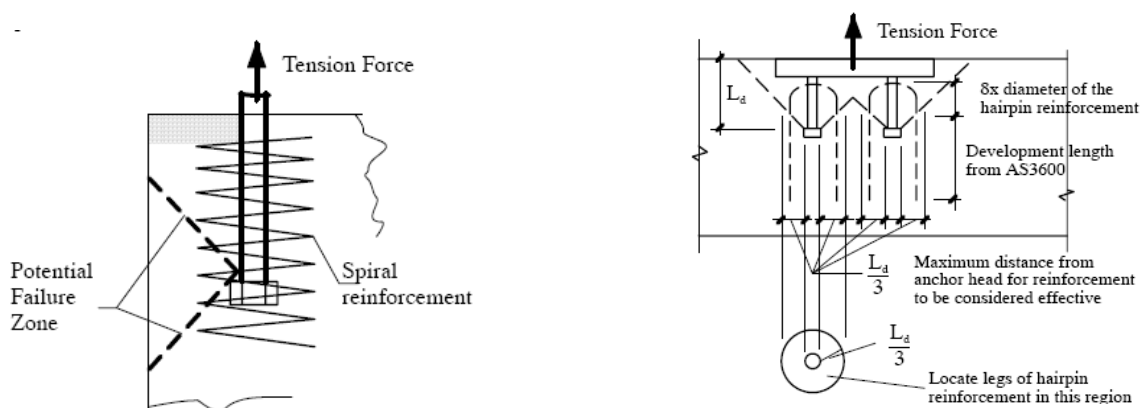
A szerkezet duktilis viselkedéséhez szükséges szerkesztési szabályok, valamint különleges vasalások tulajdonképpen egyeznek a földrengés ellen való tervezési útmutatókban és szabványokban foglaltakkal. Megjegyzendő, hogy ezek az eljárások korántsem új keletűek. A vasbeton elemek duktilitásához megfelelő mennyiségű kengyelezés, szimmetrikus vasalás elengedhetetlen (12. 13. 14. ábrák).



14. ábra Csomóponti tönkremenetel (bal), és zárt kengyelezési javaslat (jobb) [5]

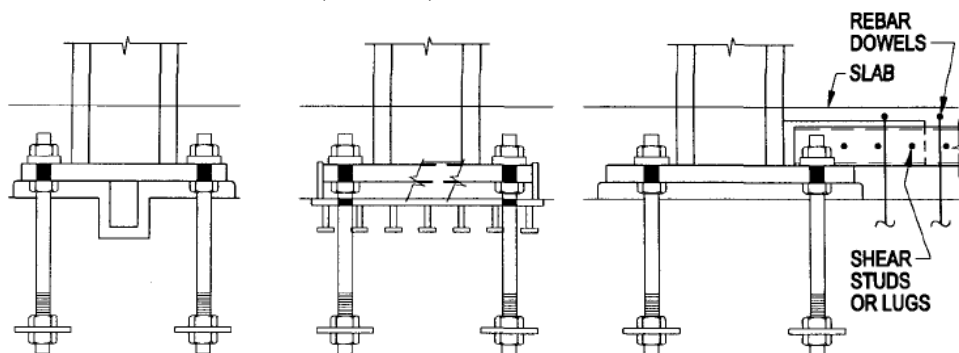
Az acél csomópontok kialakításánál kerülni kell a hegesztéseket, előnyösebbek a csavarozott kapcsolatok. A hegesztéseknél indokolt a teljes beégésű tompavarrat használata.

A vázszerkezetekben fellépő nagy húzóerők felvételére speciális lehorgonyzási eljárások szükségesek. Ha a lehorgonyzó csavar közel van az alaptest széléhez, akkor a beton oldalirányú lerepedő tönkremenetelével kell számolni, ennek megelőzésére spirálkengyelezést érdemes alkalmazni. A függőleges irányú kiszakadást megelőzendő gyakori megoldás a hajtúvasakkal történő lekötés (15. ábra).



15. ábra Spirálkengyelek és lekötő hajtúvasak alkalmazása a lehorgonyzásban [6]

A nagy nyírás felvétele, illetve átadása az alapozásra szintén speciális megoldásokat igényel. Az elterjedtebb megoldások között szerepel a nyírési tuskók, illetve a nyírési csapok használata. Az alaptest átmenő vasalással az alaplemezbe van kötve és a kapcsolat az alaplemez által be van betonozva (16. ábra).



16. ábra A nyírórő alapozásra való átadásának lehetséges módjai [5]

## ÖSSZEFOGLALÁS

A DAHS-CWE alapvetően abban különbözik a publikus szabványoktól, hogy kifejezetten a katonai fegyverek általi támadások esetén fellépő robbanások hatásaival foglalkozik. Vannak témák, melyekkel részletesebben foglalkozik, például az akadályok körüli lökéshullám terjedés vagy a kombinált repesz-, átütés- és lökéshullám vizsgálat. Ugyanakkor vannak témák, melyek lényegében megegyeznek a más forrásokban felellhető tartalmakkal, például a szerkezeti elemek teherbírásának, dinamikai viselkedésének a számítása. A DAHS-CWE egy komplex rendszer, nem szükséges más források használata ahhoz, hogy a kezdetektől a végső fázisig végigvihető legyen egy védett létesítmény megtervezése. Bár 1998-ban került kiadásra, a mai modern végeelem módszerről kellő pontossággal és elméleti megalapozottsággal ír, de ebben a témakörben nem tekinthető kézikönyvnek, inkább egy kitekintést nyújt az explicit végeelem megoldók által kínált lehetőségekbe.

## IRODALOMJEGYZÉK

[1] Design and Analysis of Hardened Structures to Conventional Weapons Effects (DAHS CWE Manual). *Defense Special Weapons Agency, USA* 1998.

[2] Structures to resist the effects of accidental explosions TM 5-1300. U.S. Department of Defense 1990.

[3] G. C. MAYS, P. D. SMITH: Blast effects on buildings. Thomas Telford 1995 ISBN: 0 7277 2030 9.

[4] ROMÁN Zs. – NAGY R.: Áramlástani megközelítés alkalmazása a robbantások elleni védekezésben. Fúrás-Robbantástechnika 2012 Konferencia, Balatonkenese. HU ISSN 1788-5671.

[5] ROMÁN Zs.: KÜLSŐ ROBBANTÁSOK MODELLEZÉSE ÉS ALKALMAZÁSA VÁZAS ÉPÜLETEK ESETÉN. BSc Diplomamunka. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2010.

[6] Design of Pinned Column Base Plates. Journal of the Australian Steel Institute Vol. 36, Nr. 2. September 2002. ISBN: 0049-2205.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások,, A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”