

Dr. Hlavicka-Laczák Lili Eszter* – Dr. Hlavička Viktor** – Prof. dr. Károlyi György*** –
Dr. Hajdú Ferenc**** – Dr. Salem Georges Nehme***** – Vozsech István*****

Betonszerkezetek károsodása lövedékbecsapódás hatására I. rész

REPÜLŐGÉP-BECsapÓDÁS HATÁSA A ROBUSTUS BETONSZERKEZETEKBE

A modern atomerőművek védelmének egyik legfontosabb mérnöki gátja a konténment. Ez egy vastag, robusztus betonszerkezet, amely hermetikusan zárja körbe az atomerőmű legfontosabb berendezéseit, egyrészt megvédve a benne elhelyezkedő berendezéseket a külső hatásoktól, másrészt légmentesen elzárva azokat a külvilágtól egy esetleges szivárgás esetén, amennyiben a többi mérnöki gát megsérül. A mai nemzetközi és hazai előírások alapján ennek a gyakran több méter vastag betonfalnak ellen kell állnia egy nagy méretű utasszállító repülőgép vagy nagy sebességű katonai repülőgép becsapódásából keletkező terheléseknek is úgy, hogy az építmény légmentessége megmaradjon.

Egy repülőgép robusztus betontárgynak (pl. atomerőmű konténmentjének) ütközése során elsőként – valószínűleg – a becsapódó repülőgép orra éri el a céltárgyat. A fellépő hirtelen lassulás hatására a tehetetlenségi erő letépi a hajtóműveket, amelyek külön lövedékként csapódnak neki a céltárgynak. A gép törzse az ütközés során sokkal nagyobb alakváltozásokat szenved, mint a betonból készült céltárgy, a törzs gyakorlatilag felmorzsolódik az ütközés során. Eközben addigi impulzusát átadja a célszerkezetnek, amely így mozgásba jön, így a közben fellépő globális hatásokra kell méretezni a szerkezetet (felborulás, a szerkezet egészét vagy nagy részét érő igénybevételek stb.). Az ilyen jellegű ütközést *puha ütközésnek* nevezzük, mivel a lövedék sokkal puhább a céltárgynál. Ezzel szemben a

sokkal merevebb, keményebb hajtóművek a konténmentbe csapódva elsősorban lokális roncsolódást okoznak (behatalás, repedések keletkezése, leválások, átfúródás stb.). Mivel az ilyen típusú ütközések során a lövedék keménysége jelentősen meghaladja a céltárgy anyagának ellenálló-képességét, ezért ezt a típust *kemény ütközésnek* nevezzük. Jelen tanulmányban ilyen kemény ütközések kísérleti vizsgálatával foglalkozunk.

Egy, az Amerikai Egyesült Államokban végzett kísérlet-sorozaton [4, 5, 6] kívül nem ismert publikusan elérhető eredmény olyan kísérletsorozatról, amely ilyen nagy, repülőgépnek, illetve annak hajtóművének megfelelő méretskálán vizsgálta volna lövedék betonfalnak ütközését. Ezért betonszerkezetek repülőgép-becsapódásból eredő terhelésének tervezése során rendszerint empirikus és félempirikus képleteket alkalmaznak [3]. Az ismert képletek rendszerint vagy azt adják meg, hogy adott paraméterekkel (pl. méret, geometria, sebesség) rendelkező lövedék milyen mélyen hatol be egy adott paraméterekkel (pl. szilárdság) rendelkező tömör céltárgyba (ez a behatolási, vagy penetrációs mélység), vagy azt, hogy milyen vastag az a céltárgy, amin még éppen nem tud áthatolni az adott lövedék (ez az átfúródási, vagy perforációs határvastagság).

A szakirodalomból ismert képletek általában kisebb skálájú lövedékek esetén elvégzett mérésekből származnak, és rendszerint nem jól dokumentáltak az alkalmazhatóságuk határai. Egy korábbi cikkben [1] megtörtént ezen képletek részletes összehasonlítása, amely arra a következtetésre vezetett, hogy a lövedék becsapódási sebes-

ÖSSZEFOGLALÁS: A 2001. szeptember 11-i terrortámadás óta a kiemelt építményeket megnövekedett biztonsági elvárások mellett szükséges tervezni. Ez az előírás az újonnan épített nukleáris létesítményekre, köztük a Paks II. atomerőmű-beruházásra is vonatkozik. Ezen megnövekedett biztonsági igények meghatározásak, hogy a tervezett atomerőmű konténmentjének ellen kell állnia egy repülőgép-becsapódásnak is. Ilyen léptékű ütközés során igen sokféle extrém terhelés éri az építményt, kezdve a géptörzs felmorzsolódásától, a leszakadó hajtóművek behatolásán át, a kiömlő hajtóanyag berobbanásáig. Kevés ilyen skálájú kísérlet eredménye ismeretes, ezért a tervezés során nagy szerep jut egyrészt az elméleti megfontolásoknak és numerikus vizsgálatoknak, másrészt különféle tapasztalati képletek alkalmazásának. A számítások validálásához azonban szükség van megbízható mérési eredményekre. Sajnálatos, hogy a szakirodalomban fellelhető eredmények érvényességi köre nincs kellően körülhatárolva, ezért a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem és a Magyar Honvédség Modernizációs Intézet együttműködésében lőtéri tesztek segítségével vizsgáltuk a lövedék becsapódásának és a beton minőségének a hatását beton céltárgyak károsodására.

KULCSSZAVAK: ballisztikai fegyver, ballisztikai puska, ipari ágyú, betonszerkezet, Paks II., védett objektum

ABSTRACT: From the terror-attack of September 11, 2001, the design of new high-priority buildings demands improved safety requirements. This applies to newly built nuclear facilities, including the Paks 2 major investment. These increased safety requirements require that the reactor containment of the planned nuclear power plant must also resist significant aircraft collisions. During such a large collision, a wide range of extreme encumbrances load the structure, from the crushing of the fuselage, the penetration of the detached engines, to the explosion of the leaking propellant. Only a few results of such experiments are known, therefore, theoretical considerations and numerical studies play important roles, as well as the application of various empirical formulas during the design. However, reliable measurement results are required to validate the calculations. Unfortunately, the scope of the results found in the literature is not sufficiently defined, so in a cooperation the Budapest University of Technology and Economics and the Hungarian Army Institute for Modernization was investigated the damage of concrete targets as a function of projectile velocity and concrete quality.

KEY WORDS: ballistic gun, industrial gun, concrete structure, Paks 2, protected facility

* Egyetemi adjunktus, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék. ORCID: 0000-0002-8435-3764

** Egyetemi adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. ORCID 0000-0001-5435-4400

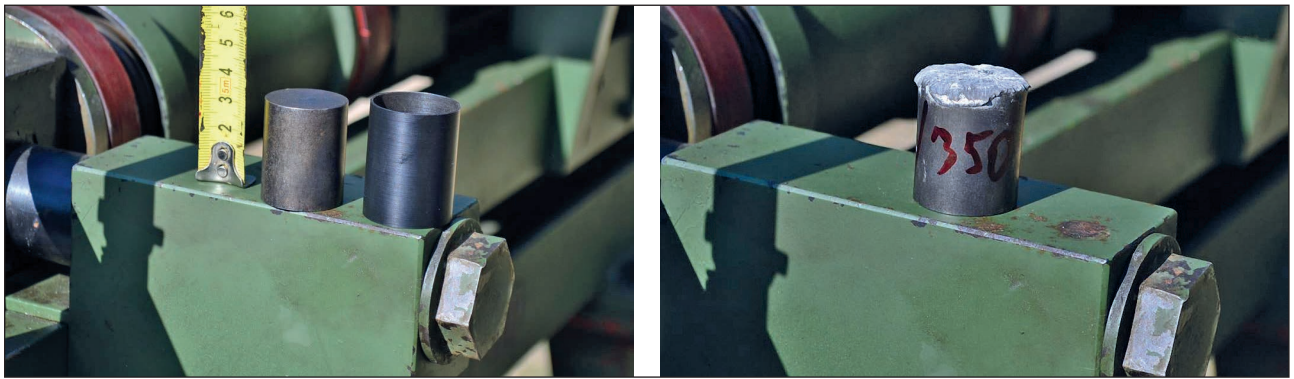
*** Egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, BME Nukleáris Technikai Intézet. ORCID: 0000-0002-1021-9554

**** Egyetemi docens, NKE HHK Haditechnikai Tanszék. ORCID 0000-0003-0449-7678

***** Egyetemi docens, tanszékvezető, BME Építőanyagok és Magasépítés Tsz. ORCID 0000-0003-4729-5048

***** Gépészmérnök, Magyar Honvédség Anyagellátó Raktárbázis. ORCID: 0000-0001-9818-7755





1. ábra. Az alkalmazott lövedék használat előtt és 350 m/s-os becsapódás után

ségének és egyéb paramétereknek különböző tartományokban más-más képletek lehetnek alkalmazhatók, egyik képlet sem alkalmas a károsodás megfelelő előre jelzésére a lehetséges paraméterek minden tartományában. Numerikus szimulációk segítségével egy olyan formulát is javasol ez a tanulmány, amely skálafüggetlen, azaz nem az egyes paraméterek mértékegységgel leírt értékétől függő eredményeket ad, hanem a behatolási mélység és az átfúródási határvastagság értékét a lövedék és a céltárgy paramétereinek mértékegység nélküli kombinációi függvényében adja meg. Skálafüggetlenségük miatt a javasolt képletek a lehetséges paraméterértékek egy szélesebb tartományában adhatnak használható eredményt, erre utalnak numerikus szimulációkkal és korábbi mérésekkel való összevetések is.

Nagy szükség van azonban olyan mérési eredményekre, amelyek jól dokumentált módon tudják az elméleti becsléseket alátámasztani, a [1] tanulmányban javasolt képleteket kísérletileg is alátámasztani. Egy korábbi vizsgálat során a betonban elhelyezett adalékanyag típusának hatását vizsgáltuk lőtéri tesztek során [1]. Most a beton szilárdságának és a lövedék sebességének hatását vizsgáltuk beton céltárgyak roncsolódására, lőtéri tesztek során.

A LŐTÉRI VIZSGÁLATOK ELŐKÉSZÍTÉSE

A kísérleteket, ahogy azok előzményeit [2] is, a Magyar Honvédség Modernizációs Intézet Kutatás-Fejlesztési Igazgatóság Lőkísérleti Vizsgáló Osztályánál, Táborfalván végeztük el. Korábbi tesztjeink során [2] betontáblák lövészes vizsgálatainak első fázisaként pisztolyból és 12-es kaliberű sima csövű puskából kilőtt vizsgálólövedékeket alkalmaztunk. Az első vizsgálati fázist követően merült fel az igény, hogy nagyobb lövedékek alkalmazásával szisztematikusan vizsgáljuk a betontáblák ellenállását.

A LÖVEDÉKEK ADATAI

A lövedék átmérőjét és tömegét előzetes számításaink alapján választottuk ki, a Laczák – Károlyi [1] tanulmány alapján. A lőtéri kísérletek során a tervezett lövedék-becsapódási sebességeket úgy választottuk meg, hogy a kisebb szilárdságú betoncéltárgy esetén a legnagyobb sebességű lövedék közel kerüljön az átfúródáshoz, de alacsonyabb becsapódási sebességek esetén a kisebb szilárdságú beton céltárgy csak minimális sérülést szenvedjen. Ezen megfontolások alapján kísérleteink során közel merev testként viselkedő, hozzávetőlegesen 28 mm névleges átmérőjű és 169,2 g elméleti tömegű szénacél vizsgálólövedékeket

alkalmaztunk, a tervezett becsapódási sebességek tartománya 100–400 m/s tartományba esett. A céltárgyakat hét különböző tervezett becsapódási sebesség (100 m/s, 150 m/s, 200 m/s, 250 m/s, 300 m/s, 350 m/s és 400 m/s) esetén vizsgáltuk. A lövedékek becsapódása a céltárgy felületére merőlegesen történt, táblánként három tervezetten azonos sebességű lövéssel.

A kemény vizsgálólövedéket az alkalmazott károsodási modell (*kemény ütközés*) követelte meg, a lövedékek keménységét külön laboratóriumi mérésekkel ellenőriztettük. Az 1. ábra mutatja a lövedéket eredeti állapotában, illetve becsapódás után. Megállapítható volt, hogy a lövedék roncsolódása elhanyagolható volt a beton céltárgy roncsolódásához képest.

A BETON CÉLTÁRGYAK KIALAKÍTÁSA

A beton anyagú céltárgyak 12 cm vastag, 70×70 cm felületű (a szállítás és mozgatás megkönnyítése érdekében gyenge vasalást, vagyis elő és hátlapi, mind a két irányban 4 mm átmérőjű, 5 cm kiosztású acélhálót tartalmazó) betontáblák voltak. A céltárgyak mozgatása így még lehetséges volt a lőtéri tesztek során, de a céltárgy vastagsága lehetővé tette viszonylag széles sebességtartományba eső becsapódások vizsgálatát. A céltárgy kiterjedése a becsapódások többsége esetén elegendő volt ahhoz, hogy a céltárgy peremének hatása elhanyagolható legyen. Annak érdekében, hogy a betoncéltárgyak anyagi jellemzőinek és a becsapódási sebességnek a hatását vizsgálni tudjuk, négyféle, eltérő szilárdságú céltárgy készült a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában (2. ábra). Egy

2. ábra: Betontáblák készítése, (a) előkészített acélsablonok; (b) sablonok feltöltése



receptúrából 7 db betontáblát (cél tárgyat), és a különféle szilárdsági vizsgálatokhoz több kisebb próbatestet is készítettünk, ügyelve arra, hogy mindegyik próbatest és tábla egy azon keverésből készüljön (egy-egy receptúrából így közel 1 m³ keverék készült). A kisebb próbatesteket elkészültük után 7 napon keresztül víz alatt, majd utána a vizsgálatokig laboratóriumi körülmények között táruztuk (szokványos vegyes tárolási eljárás). A betontáblák nagy mérete nem tette lehetővé a víz alatti tárolást, ezért a táblákat az első 7 napban a sablonban tartva, a szabad felületet vizes szövet hulladékkal letakarva akadályoztuk meg a cement hidratációjához szükséges víz elpárolgását. A keverékek szilárdsági tulajdonságait az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. A vizsgált betonkeverékek szilárdsági értékei a szabványos 28 napos állapotban, illetve a lőtéri vizsgálatkor (A szerzők szerkesztése)

Jel	Minősítés	28 napos		Lőtéri vizsgálatkor
		Nyomószilárdság [N/mm ²]	Hajlító-húzószilárdság [N/mm ²]	Nyomószilárdság [N/mm ²]
IA	C30/37	40,03	4,99	50,30
IB	C30/37	39,70	5,56	49,07
II	C35/45	51,70	8,59	59,24
III	C55/67	68,31	7,25	73,39

A VIZSGÁLÓFEGYVER KONSTRUKCIÓS ELŐTERVEZÉSE

A vizsgálófegyver kialakítását tekintve két lehetőség közül választhattunk. Vagy valamely létező fegyvert alakítunk át, vagy megtervezünk és megépítünk egy ennek a vizsgálatnak a végrehajtásához optimális mérőfegyvert. Mivel a vizsgálólövedékek előre meghatározott sebességgel, tömeggel, ebből következően kinetikus energiával kellett rendelkezzenek, és ezen energiataromány úgy felső, mint alsó határa a szokásos 30–40 mm-es (gép)ágyúlövedékek torkolatienergia-szintjétől lényegesen kisebb, valamint létező fegyver módosítása visszafordíthatatlan átalakításokkal járt volna az alapfegyverre nézve, ezért egy, – a feladat végrehajtásához optimalizált, és nem utolsósorban költségekre minimalizált – fegyver tervezése mellett döntöttünk. Elsődleges koncepciónk volt, hogy a polimer csészébe ágyazott lövedéket a csőszáj felől töltjük be a huzagolatlan fegyvercsőbe, amely a töltényűrt tartalmazó tömb véglapján felütközik, majd a töltényűrbe illesztjük a hajlítóöltetet tartalmazó szabványos csappantyúzott hüvelyt, amelyet UZs-rendszerű ballisztikai puskából átvett zártömbbel lezárunk. Így a szóba jöhető kaliberek a 12,7×107 mm-es szovjet, vagy a 12,7×99 mm-es amerikai (.50 BMG) lehet, esetleg betétezással kisebb kaliberek.

AZ ÉGÉSTÉR TERVEZÉSE, A VIZSGÁLÓLÖVEDÉK PARAMÉTEREI

A lövedékek átmérője 28 mm, hosszukat 35 mm, anyaguk egységesen C45 acél² lett, amelynek számított tömege 169 g. A kívánt becsapódási sebességek rendre a következők voltak: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 m/s. A legnagyobb elérendő lövedékenergia 400 m/s becsapódási se-

besség esetén adódik, amelyet 10–15 méteren elhelyezett céltárgyon kell elérni, így a legnagyobb torkolati sebesség hozzávetőlegesen 410 m/s. A minimálisan szükséges hüvelytér fogat innentől kezdve már kiszámíthatóvá vált, amely számítását alább részletezzük. A fegyvercső, kialakítását tekintve huzagolatlan simacsövű. Ebből löjük ki a stabilizálatlan, poliamid csészébe ültetett lövedéket, de megtartva azt a lehetőséget is, hogy a lövedéket szárnyakkal látjuk el, ha ez szükségessé válik. Mindezeket a lövedéktömeget növelő összetevőket számításaink során figyelembe vettük, így az energetikai számítások alkalmával 200 g lövedéktömeggel kalkuláltunk, valamint 35%-os körfolyamat-hatásfokkal. A valóságos hatásfok ennél valamivel magasabb, de az előszámítások során a hatásfok alulról történő becslése biztonsági tartalékot ad a hüvelytér fogatunknak. Az előszámításokhoz szükséges löporjellemzők az ömlesztett sűrűség, valamint az égéshő, ezeket 900 kg/m³, valamint 4200 kJ/kg értékkel vettük számításba. A számításokat az alábbiak szerint végeztük:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m_{löv} \cdot v_{max}^2 = \frac{0,2 \cdot 410^2}{2} = 16\ 810 \approx 16,8 \text{ [kJ]},$$

$$E_{lőpor} = \frac{E_{kin}}{\eta_{lövés}} = \frac{16,8}{0,35} = 48 \text{ [kJ]},$$

$$m_{lőpor} = \frac{E_{lőpor}}{Q_{lőpor}} = \frac{48}{4200} \approx 11,4 \text{ [g]},$$

$$V_{min} = \frac{m_{lőpor}}{\rho_{ömlesztett}} = \frac{0,0114}{900} \cdot 10^6 \approx 12,7 \text{ [cm}^3\text{]}.$$

A minimálisan szükséges szabad hüvelytér fogat tehát 12,7 cm³-re adódott, amely kisebb, mint a .50 BMG, vagy a 12,7×107 hüvely szabad térfogata. Kézenfekvőnek látszott, hogy a szovjet kalibert válasszuk, mivel a zárszerkezet is ehhez a kaliberhez készült, de a töltényűr kialakításához szükséges rajzdokumentációk nem álltak rendelkezésünkre, valamint csappantyúzott hüvely kinyeréséhez pánccéltörő-gyújtó löszert kellett volna szétszerelni. A .50 BMG kaliberű löszerekből rendelkezésre állt FMJ típusú³, szétszerelés tekintetében veszélytelen löszertípus, valamint CIP szerinti⁴ dokumentáció úgy töltényűrre, mint ellenőrző idomszerekre, ezen kívül szükség esetén a csappantyúzott hüvely mindkét alkateleme könnyen beszerezhető. Választásunk tehát az amerikai kaliberre esett, az esetleges üritési problémákat pedig a hüvelyvonó cseréjével, vagy az előlött hüvely csőszáj felőli kitolásával szándékoztuk megoldani.

BALLISZTIKAI TERVEZÉS

A ballisztikai tervezés során meghatároztuk, hogy az egyes sebességértékek eléréséhez milyen típusú és mennyiségű löportöltet alkalmazása szükséges. A rendszerparaméterek felvétele után szimulációs szoftver segítségével kiszámítottuk az egyes sebességértékekhez tartozó löportöltet-tömeget, a löporjellemzőket pedig létező és raktáron lévő löporok tulajdonságaival vettük azonosnak. A számítások során megállapítást nyert, hogy az optimális nyomásviszonyok eléréséhez élénk pisztolylőporok használata szükséges, egyrészt a .50 BMG hüvely magas szabad térfogata, másrészt a 30 mm-es csőátmérő miatt. Ez a relatív magas hüvelytér fogat 200 m/s lövedéksebességig nem okoz problémát, mivel rendelkezünk gyors égésű pisztolylőporral. A fő gondot ettől kezdve a 150 m/s és az alatti lövedéksebességek jelentették, mivel rendkívül intenzív égésű löpor használata esetében is igen csekély gáznymások



kialakulására lehetett számítani, amely jelenség már az égés és ezzel a rendszer stabilitását is veszélyeztette. Megoldásnak kínálkozott a töltényűr betétezése pl. 7,62×39 kaliberre, vagy az égési (hüvely-) térfogat lecsökkentése fojtással, inert anyag betöltésével. A költségek minimalizálása érdekében a töltényűr betétezését elvetettük. Elvégezve a részletes számításokat, meghatároztuk az egyes sebességekhez tartozó lőportöltetek mennyiségét, és a lőpor fajtáját. A ballisztikai simulációk során meghatároztuk a szükséges minimális csőhosszúságot is, amelynek értéke 500 mm-re adódott.

DINAMIKAI SZÁMÍTÁSOK

Az előtervezési folyamat utolsó lépéseként elvégeztük a fegyver dinamikai számításait, figyelembe véve, hogy a fegyver egy már meglévő, 12,7×107 mm kaliberű mérőcső alkalmazására készült amortizátoros befogópadra kívánjuk csatlakoztatni. A hátrasiklási energiák egyenlőségéből kiindulva kiszámoltuk, hogy az új fegyvernek hozzávetőlegesen 70 kg tömegűnek kell lennie, így elkerülhető a befogóállvány amortizátor-rúgójának cseréje.

A VIZSGÁLÓFEGYVER TERVEZÉSE

Az előzetes és a ballisztikai számítások végeztével, valamint a konstrukció kialakítás véglegesítésével lehetővé vált a fegyver műhelyrajz szintű megtervezése. Adott volt tehát a

- lövedék átmérője, hossza, tömege,
- a cső névleges belső átmérője, minimális hossza,
- a hajtótöltetet tartalmazó hüvelybe, vagy
- a fegyver szükséges tömege,
- a fegyver zárolási, töltési-ürítési rendszere.

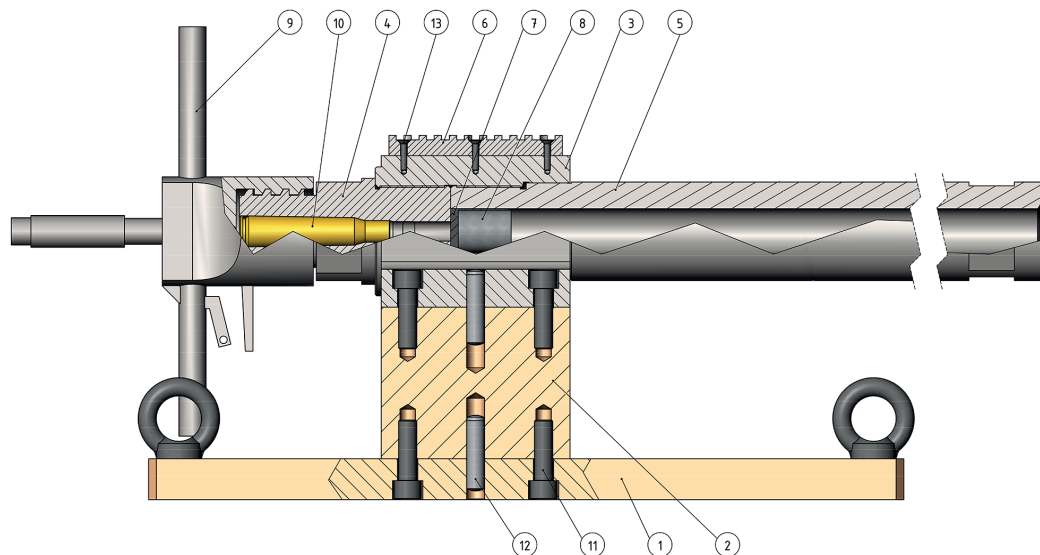
A tervezési folyamat teljes egészében 3D CAD rendszerben történt, amely folyamat során elsődleges szempont volt a lehető legegyszerűbb konstrukció kialakítása. A legegyszerűbb és egyben legolcsóbb konstrukció érdekében a zárszerkezet egy létező 12,7×107 mérőcső átalakítás nélkül átvett alkatrésze. A fegyver – a zárszerkezetet, a lövedéket és az akcelerator csészét nem számítva –

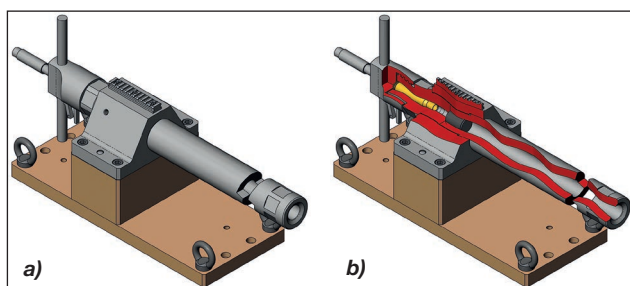
2. táblázat. Az elkészült fegyver főbb műszaki paramétereit (A szerzők szerkesztése)

A fegyver hosszúsága:	1221 mm
A fegyver magassága:	312 mm
A fegyver szélessége:	212 mm
A szerelt fegyver tömege	77 kg
A csőfurattengely magassága:	177 mm
A cső névleges úrmérete:	30,00 mm
A cső tényleges úrmérete:	29,89 mm
A cső aktív hosszúsága:	930 mm
A cső belső kialakítása:	sima falú (hónolt)
A hajtótöltet kaliberjelzése:	.50 BMG, (.50 NATO)
A hajtótöltet kialakítása:	Csappantyúzott .50 BMG hüvelybe töltött piroxilines (gyérfüstű) lőpor, EPS hab-dugóval, vagy pamutvattával lezárva, vagy azzal fojtva és egyben lezárva.
Irányzás, célzás:	Irányzás a Nyírbátor-pad saját irányzó elemeivel, célzás a csőfuronaton átnézve, vagy a felső sínen elhelyezett célzóeszközzel.
Alkalmazható nyomásmérő fej:	M10×1 menetű piezo fej, furat lezárására M10×1 inert fej

3. ábra. A fegyver metszeti összeállítási rajza

1. alaplap;
2. magasztó tömb;
3. befogó tömb;
4. hátsó betét;
5. fegyvercső;
6. sín;
7. csésze;
8. penetrátor;
9. zárszerkezet;
10. .50 BMG csappantyúzott hüvely;
11. DIN 912 csavar (M12×40);
12. DIN 6325 illesztőszeg (12×50);
13. DIN 7902 csavar (M4×20).





4. ábra. A fegyver axonometrikus nézete a) és metszeti axonometrikus nézete b)



5. ábra. Az elkészült fegyver

mindösszesen 6 db gyártott, 3 fajta kereskedelmi tételből és 1 db piezo záródugóból áll, amely gáznomásmérés nélküli lövések esetén és tároláskor használható. A piezoelektromos nyomásméréshez a furat a befogótömb bal oldalán helyezkedik el, a CIP előírásainak megfelelő távolságra a hüvelyszájtól. A fegyvert fegyverállvány illesztőfelületéhez további 2 fajta kereskedelmi kötőelemmel lehet rögzíteni. A gáznomásból származó közvetlen igénybevételnek kitétt fegyveralkatrészek, valamint az optikai sín 42CrMo4 minőségű³, előnemesített acélból, az alárendeltek szerkezeti acélból készültek. Műszaki esztétikai szempontok figyelembevételével, az alaplap kivételével minden nem csatlakozó felület szemcseszórt, valamint a fegyvercső furatától eltekintve minden alkatrész barnítást kapott. A fegyver zárolási hézagjának beállításához zárolási idomszerkészletet is terveztünk, majd a fegyvert, a lövedékeket, és az idomszerkezetet, az elkészült tervdokumentáció alapján gyártották le. Az elkészült fegyver főbb műszaki paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

A fegyver metszeti összeállítási rajzát az 3. ábra tartalmazza. A fegyver mozgását elősegítendő az alaplap négy sarkában M12-es menetes furatok találhatóak, amelyekbe DIN 580 szemescsavart lehet rögzíteni (4. ábra). Az elkészült fegyvert az 5. ábra szemlélteti.

BEFOGÓÁLLVÁNY, KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS

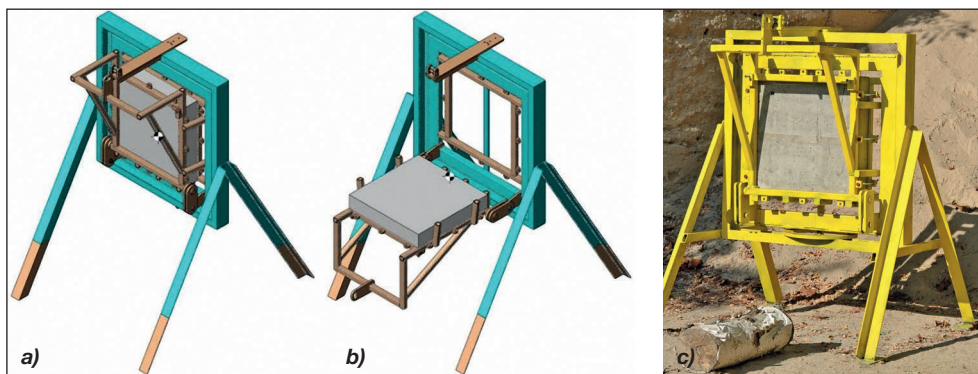
A vizsgálatok végrehajtásához megterveztük a 70×70×12 cm-es beton-táblák merev befogását és biztonságos cserélhe-

3. táblázat. A befogóállvány műszaki paramétereit (A szerzők szerkesztése)

Teljes mélység csukott állapotban	1696 mm
Teljes mélység nyitott állapotban	2142 mm
Teljes magasság	2165 mm
Teljes szélesség	1375 mm
A befogható minta szélessége	700 mm
A befogható minta magassága	700 mm
A befogható minta vastagsága	120 mm
A befogható minta középpontjának magassága csukott állapotban	1458 mm
A forgástengely magassága	978 mm
Tömegközéppont mélysége csukott állapotban	901 mm
Tömegközéppont mélysége nyitott állapotban	1157 mm
Tömegközéppont magassága csukott állapotban	1348 mm
Tömegközéppont magassága nyitott állapotban	1125 mm
Az állvány saját tömege	417 kg

tőségét biztosító befogó állványszerkezetet is, egy létező állványszerkezet átalakításával. Ennek részletes ismertetésétől eltekintünk, alapvető műszaki paramétereit a 3. táblázat, axonometrikus CAD-modelljét és az elkészült állványt a 6. ábra szemlélteti, a CAD-modell esetében kék színű elemek az eredeti állvány részei, barnák az újonnan készült elemek. A lövések során a céltárgy egészének elmozdulása nem volt észrevehető, a befogóállvány kellően merev volt.

A vizsgálat során a lövedék sebességét fotocellás fénykapukkal (7. ábra) regisztráltuk. A céltárgy a fegyver csőtorkolatától mérve 13 m-re, az első fénykapu 1,75 m-re állt, a fénykapuk közötti távolság 1150 mm volt. A becsapódási sebesség a detektálnál alacsonyabb volt a közegellenállás miatt, így a mért értékeket számítással korrigáltuk. Fontos volt annak biztosítása, hogy a henger alakú lövedékek hossz tengelyükre merőlegesen, homlokfelületükkel csapódjanak a céltárgyba, ezt a céltárgy elé helyezett vé-



6. ábra. Axonometrikus nézet a CAD-modellben csukott állapotban a), céltárgy cseréje közben, nyitott állapotban b), és az elkészült befogóállvány csukott állapotban c)



7. ábra. Fotocellás sebességmérők

kony furnérlemezen keletkezett lyuk szemrevételezésével ellenőriztük, valamint azt a lövedék becsapódáskor keletkezett roncsolódásának hengerszimmetrikus volta is jól mutatta.

A FEGYVER EGYÉB FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

A fegyver alapvetően az adott vizsgálat végrehajtására készült „célgép”, de más jellegű vizsgálatok elvégzésére is alkalmas, vagy alkalmassá tehető. A lehetőségeket a fegyver alkalmazási korlátai határozzák meg. A korlátozások a következő műszaki paramétereket jelentik:

A fegyverrel legfeljebb 28 mm-es átmérőjű és legfeljebb 200 g tömegű lövedék lőhető ki, ahol a maximális lövedékimpulzus 150 kg m/s, a maximális gáznyomás pedig 4200 bar.

Egyik lehetőségként kínálkozik valós, vagy adott morfológiájú repeszek kilövése, azok külső vagy célballisztikai vizsgálataihoz, ezzel a megoldással vizsgálhatóvá válnak a robbanásnál kialakuló repeszek, biztonságos és kontrollált körülmények mellett.

Másik lehetőség különböző konstrukciójú szárnystabilizált nyíllövedékek külső és célballisztikai vizsgálata, gömb formájú, vagy előre gyártott repeszek ballisztikai alaktényezőinek meghatározása.

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Laczák Lili Eszter, Károlyi György, „Local Effects of Impact into Concrete Structure” *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 60., 4. sz. (2016): 573–582. <https://doi.org/10.3311/PPci.8605>;
- [2] Laczák Lili Eszter, Hlavicka Viktor, Hajdú Ferenc, Salem Georges Nehme, Károlyi György. „Adalékanyag hatása a beton lövedékekkel szembeni ellenállására”. *Haditechnika* 52, sz. 3 (2018): 7–13. <https://doi.org/10.23713/HT.52.1.02>;
- [3] Li, Q.M., S.R. Reid, H.M. Wen, A.R. Telford, „Local impact effects of hard missiles on concrete targets” *International Journal of Impact Engineering* 32, sz. 1-4. (2005): 224–284. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.04.005>;
- [4] Sugano, T., H. Tsubota, Y. Kasai, N. Koshika. S. Orui, W.A. von Riesemann, D.C. Bickel, M.B. Parks, „Full-scale aircraft impact test for evaluation of impact force” *Nuclear Engineering and Design* 140, 3. sz. (1993): 373–385. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(93\)90119-T](https://doi.org/10.1016/0029-5493(93)90119-T);
- [5] Sugano, T., H. Tsubota, Y. Kasai, N. Koshika, H. Ohnuma, W.A. von Riesemann, D.C. Bickel, és M.B. Parks. „Local Damage to Reinforced Concrete Structures Caused by Impact of Aircraft Engine Missiles Part 1. Test Program, Method and Results”. *Nuclear Engineering and Design* 140, sz. 3 (1993. június): 387–405. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(93\)90120-X](https://doi.org/10.1016/0029-5493(93)90120-X);
- [6] Sugano, T., H. Tsubota, Y. Kasai, N. Koshika, C. Itoh, K. Shirai, W.A. von Riesemann, D.C. Bickel, és M.B. Parks. „Local Damage to Reinforced Concrete Structures Caused by Impact of Aircraft Engine Missiles Part 2. Evaluation of Test Results”. *Nuclear Engineering and Design* 140, sz. 3 (1993. június): 407–23. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(93\)90121-O](https://doi.org/10.1016/0029-5493(93)90121-O).

JEGYZETEK

- 1 A .50 BMG (Browning Machine Gun) egy .50-es kaliberű töltény, amelyet az 1910-es évek végén fejlesztettek ki az M2 Browning géppuska számára. A NATO-erők szabványos (STANAG 4383) szolgálati tölténye (a szerk.).
- 2 A C45 minőségű acél általános rendeltetésű, ötvözetlen, nemesíthető szénacél. Annak érdekében, hogy felületi keménysége megfelelő legyen, és a közepes kopásállóságot biztosítani tudja, lángedzéssel vagy indukciós edzéssel kezelik. Széles körben használt acélminőséget képvisel, hiszen hatalmas súly- és nyomásterhelést is elvisel (a szerk.).
- 3 Az FMJ (Full Metal Jacket – teljes köpenyes lövedék) kézfegyverek lövedéke, amely egy puha magból (gyakran ólomból) áll, amelyet keményebb fémből készült külső héj, általában tombak – CuZn10, vagy CuZn20 ötvözet – vesz körül (a szerk.).
- 4 C.I.P.: az 1973. évi 19. tvr.-rel kihirdetett, a kézfegyverek próbabélyegeinek kölcsönös elismeréséről Brüsszelben, 1969. július 1-jén kötött nemzetközi egyezmény végrehajtási utasításainak kidolgozására, felülvizsgálatára és ellenőrzésére létrehozott Nemzetközi Állandó Bizottság francia elnevezésének (Commission Internationale Permanente) rövidítése.
- 5 A 42CrMo4 gyengén ötvözött nemesíthető acél, amely elsősorban magas szívóssággal rendelkező, nagyobb igénybevételű gép- és jármű-, illetve szerszámalkatrészek, készülékek elemeinek gyártásához ajánlott. Szilárdsága 1100N/mm² feletti, tehát a különféle acélminőségek sorában is rendkívül szívós.