



GÁVAY GYÖRGY VIKTOR* – SZABÓ BENCE**

AZ M2 BRADLEY HARCJÁRMŰ

1. ÁBRA. Amerikai M2A4 Bradley érkezik az észtszországi Tartuba, 2025. máj. 8-án
(Forrás: Jaidyn Moore / www.dvidshub.net)

Összefoglalás: Az M2 Bradley harcjármű (Bradley Fighting Vehicle, BFV) az amerikai hadsereg páncélozott dandár harccsoportjának (Armored Brigade Combat Team, ABCT) alapeszköze, amelynek elsődleges célja a gyalogság biztonságos szállítása, valamint harci támogatása. A mai napig alkalmazzák, de az eredeti alapkoncepciója szerint az európai hadszíntéren való alkalmazására évtizedek elteltével került sor az orosz–ukrán háborúban.

Abstract: The M2 Bradley Fighting Vehicle (BFV) is the backbone of the US Army's Armored Brigade Combat Team (ABCT). Its primary purpose is to safely transport infantry and provide combat support. The vehicle is still in use today, and decades after its original design concept, it is deployed where it was originally intended to: on the European battlefield, in the Russo-Ukrainian war.

Kulcsszavak: M2 Bradley harcjármű, harcjárműfejlesztés, páncélvédelem

Keywords: M2 Bradley fighting vehicle, fighting vehicle development, armour protection

BEVEZETÉS

Az M2 Bradley harcjármű 1982 óta áll szolgálatban az Amerikai Egyesült Államok szárazföldi haderejében. Fő feladata a gyalogság biztonságos szállítása, valamint harci támogatása. [1][2]

Számos nagyobb konfliktusban vett részt, többek között az öbölháborúban (1990–1991) és az iraki háborúban (2003–2011). A harci tapasztalatok alapján folyamatosan korszerűsítették, különös hangsúlyt fektetve a páncélvédelemre és az elektronikai rendszerek modernizációjára, ahogyan azt az M2A2 és M2A3 változatok is mutatják. Számos ellentmondás került már napvilágra a jármű megítélésével kapcsolatban, de az alkalmazó országok vélemény-

nye többnyire pozitív, és a mai napig meghatározó szerepet tölt be olyan műveleti területen, ahol a lánctalpas járszerkezet az optimális.¹

AZ M2 BRADLEY HARCJÁRMŰ FEJLESZTÉSE

A harcjárműfejlesztés folyamata igen hosszúra nyúlt, ami több évtizedes koncepció és prototípusfázist foglalt magába. Az első specifikációkat már 1958-ban megfogalmazták, amelyek alapján az új harcjármű tömege mindössze 8 t lett, tornyába 20 mm űrméretű géppuskát, illetve 7,62 mm űrméretű géppuskát terveztek beépíteni, és a toronyban két fő kezelő számára alakítottak ki helyet. A szállítható gyalogos deszant létszáma öt fő volt.

* Alezredes, PhD,
Nemzeti Közsolgálati
Egyetem, Hadtudományi
és Honvédtisztképző Kar,
adjunktus. ORCID:
0000-0003-0632-5650

** Mesterleveles
harcjármű-makettező.
ORCID:
0009-0000-7871-2655

¹ A kerekes harcjárművek a fagyott, sziklás hegyes területeken jobban alkalmazhatónak bizonyultak, illetve a kísérő feladatok, nagy sebességet igénylő tevékenységek esetében, szintén előnyösebb a kerekes megoldás.

A cél az M113 harcjármű leváltása volt. Utóbbi még viszonylag friss típusnak számított, és az elődtípusok, az 1952-től gyártott M75, illetve az azt leváltó alacsonyabb felépítésű és úszóképes M59 sem számítottak idősek, [3] hiszen a haditechnikai eszközök életciklusa általában több évtized hosszú lehet. A csapatszállító eszközök tervezése és alkalmazása mindig ellentmondásos szempontok alapján történik, mivel egyszerre kell többek között a gazdasági és a korszerű alkalmazási (harcászati és hadművelleti) szempontokat figyelembe venni. A gazdasági szempontok eredményezhették például azt, hogy az említett M75 a második világháborús M18 Hellcat páncélvadász alapjaira épült, de az is említésre méltó, hogy az M113 harcjármű több modernizáció után a mai napig rendszerben áll több nemzet fegyveres erőinél. A fentiekből levonható az a következtetés, hogy nemcsak az új szempontok megjelenésének, hanem a meglévő szempontok jelentőségének a változása eredményezi egy új típus fejlesztésének megkezdését. A tény, hogy a fejlesztés irányelvei az 1960-as évekre nyúltak vissza, a Bradley fizikai megvalósításában is megmutatkozik. [4] A fejlesztés szempontjait a hidegháborús doktrínákban megfogalmazott igények diktálták. Az 1950-es és 1960-as években az Egyesült Államok hadserege olyan járművet igényelt, amely képes hatékonyan működni egy esetleges magas intenzitású európai összecsapásban, ami magában foglalhatta az atom-, biológiai vagy vegyi (ABV – NBC) fegyverek használatát. A harcjármű fő feladata a gyalogság védett szállítása terepen és vízi akadályokon keresztül (ez utóbbi előkészítést igényel). Ezenfelül kiemelt szerepet kapott a légi szállíthatóság, illetve a 12,7 mm űrméretű lövedékek elleni ballisztikai védelem. [5] Fontos volt még egy olyan teljesítményű fő fegyverzet, amely alkalmas a könnyen páncélozott eszközök leküzdésére. A mobilitás szempontjából a harckocsik mozgékonyágát kellett elérnie.

Az első konkrét prototípus-fejlesztés 1963-ban kezdődött meg a Pacific Car and Foundry vállalatnál. A MICV-65 (Mechanized Infantry Combat Vehicle: gépesített lövész harcjármű) prototípusait 1965-ben szállították le, ezek azonban nem váltak be. A MICV-programot pár év múlva összevonták az Armored Reconnaissance Scout Vehicle (páncélozott felde-

rítő jármű) programmal. Ennek eredménye lett az XM2 és az XM3, ebből fejlesztették ki a későbbi Bradleyt, amelynek gyártása csak 1981-ben kezdődött meg.

A harcjármű motorját az M113 elrendezésével azonos módon a jármű elejébe, jobb oldalon helyezték el. A 367 kW (500 LE) teljesítményű, VTA-903T típusjelzésű, dízelüzemű 8 hengeres motort a Cummins cég szállította. A harcjárművezető a motortér mellett, a jármű elejének bal oldalán, a parancsnok a torony jobb, míg az irányzó a bal oldalán kapott helyet. A deszanttér oldalán lönyilásokat alakítottak ki, és a torony oldalára felszerelték a BGM-71 TOW (Tube-Launched, Optically-Tracked, Wire-Guided: csőből indított, optikailag rávezetett, huzalvezérlésű) rakétaindító konténereket. A harcjárműtest komplex páncélatát tekintve korszakalkotónak is tekinthető, bár az alumínium és a kerámia már az M113 típuson is megjelentek. [6] Az első verzió hengerelt alumíniumötvözet lemezekből kialakított üreges páncélatot kapott, melyet később alumínium-acél-alumínium szerkezetre cseréltek.

KÍSÉRLETEK A BALLISZTIKAI VÉDŐELEMFEJLESZTÉSÉRE

A harcjármű tömegének csökkentése és a ballisztikai védelem növelése érdekében egy érdekes kísérlet- és teszt sorozat kezdődött el 1983-ban, melynek első lépcsője egy kompozit torony fejlesztése volt. [7] Ennek alakja és minden részfunkciója megegyezett az eredeti toronyéval; a konstrukciók közötti különbség abból adódott, hogy a kísérleti torony két félből állt, melyeket fémkeretre építettek. A tömegcsökkentés mintegy 15%-os volt. 1987-ig öt toronyváltozatot kísérleteztek ki. Mivel az üvegszál/poliésztergyanta alkalmazása sikeresnek bizonyult, megkezdődhetett a harcjárműtest áttervezése is. Ennek során első lépésben egy padlólemezre rögzített alumíniumötvözet-keretet alakítottak ki, amely kellően merev volt, hogy a futóművet, az erőátvitelt, a hátsó lenyíló oldalfalat (rámpa) és a toronygyűrűt is megtartsa. A külső héj ismét két, egyenként 22–69 rétegből felépített darabból állt, amelyek egyenként 2,4 × 6,7 m nagyságúak és egyenként 820 kg tömegűek voltak. Az oldalpanelek tömegcsökkentése mintegy 25% volt, és a teljes tömegcsökkentés elérte a 15,5%-ot.

A ballisztikai és robbantásos teszteken az új fejlesztés jobban szerepelt, mint az első Bradley-verzió,

2. ÁBRA. M2A3 Bradley az iraki Fallúdzsa közelében, 2004 novemberében
(Forrás: Johancharles Van Boers / Wikimedia)





3. ÁBRA. Célkeresés az M2A3 Bradley hőkameráján át
(Forrás: Wikimedia / David Poleski)

ennek ellenére a kutatás eredményei közvetlenül nem épültek be a gyártási, fejlesztési folyamatokba.

AZ ÖBÖLHÁBORÚ TAPASZTALATAI

Az 1991-es öbölháború során az M2 Bradley kiváló harctéri teljesítményt mutatott, ami megerősítette a fejlesztési koncepció sikerét. A harcjármű megbízhatóságát bizonyítja, hogy a hadrafoghatósági mutatója a katonai műveletek során 92–96% között mozgott. A sivatagi terepen gyorsnak és jól manőverezhetőnek jellemezték, képes volt együtt mozogni az M1 Abrams harckocsikkal. A kezelőszemélyzet pozitívan nyilatkozott az M2A2 modell előnyösebb menetdinamikai tulajdonságaival és a jármű manőverezhetőségével kapcsolatban. [8] Arról is beszámoltak, hogy

a 25 mm-es M242 géppágyú rendkívül hatékony volt különféle célpontok ellen, és a TOW rendszere képes volt megsemmisíteni az ellenséges harckocsikat. Elemzések szerint az öbölháborúban az M2 Bradley harcjárművek több iraki tankot pusztítottak el, mint az M1 Abrams harckocsik. [9]

FEJLESZTÉSI LÉPCSŐK ÉS TECHNIKAI JELLEMZŐK

Az M2 Bradley harcjármű kezelőszemélyzete 3 fő, és az alapváltozat 7 fő deszantot szállíthat. Fegyverzete egy M242 Bushmaster típusú 25 mm űrméretű géppágyú és egy M240C MG típusú 7,62 mm űrméretű párhuzamosított géppuska. A deszant számára a küzdőtérből való tüzelés biztosítása céljából tüzelőnyílásokat alakítottak ki a jármű oldalán.

A harcjárműcsaládnak 2000-ig több változata jelent meg: az A1 1987-ben, az A2 1988-ban, az A3 2000-ben, az A4 pedig 2022-ben. Az összes fejlesztést terjedelmes lenne felsorolni, de néhányat említsünk meg. Az M2A1 típusnál már opcionális volt a reaktív páncél (Explosive Reactive Armour – ERA) használata. Az M2A2 esetében repeszfogó takarót alkalmaztak a páncélzat belső oldalán, és Halon tűzoltó rendszert szereltek be. Az A2-esnek egyébként volt egy ODS (Operation Desert Storm: Sivatagi Vihar művelet) jelzésű verziója, mely az öbölháború tapasztalatai alapján kapott fejlesztéseket: passzív védelmét fejlesztették, illetve felszerelték GPS berendezéssel és lézertáv mérővel, továbbfejlesztették a passzív páncélzatot, emellett acél- és kompozit elemek jelentek meg az oldal-, tető- és haspáncélzaton. Erre a változatra még nem lehet teljes mértékben az M2A3 előfutáraként tekinteni: bár fő és kiegészítő fegyverzete ugyanaz, az A3 változatnak már digitális tűzvezető rendszere és „Hunter-Killer” („vadász-gyilkos”) eszköze

1. TÁBLÁZAT. Az M2 Bradley harcjárművek technikai adatai és fejlesztései (Gávy Viktor szerkesztése a [2] [13] [14] [15] [17] alapján)

Típusváltozat	M2	M2A1	M2A2	M2A2 ODS	M2A3	M2A4
Gyártás kezdete	1981	1987	1988	1996	2000	2022
Személyzet (fő)	3 (parancsnok, irányzó, harcjárművezető)					4 (parancsnok/töltő, irányzó, harcjárművezető, másodvezető)
Deszant létszáma (fő)	7	7	6	6	7	6
Harci tömeg (kg)	22 797	22 798	27 135	29 165	34 200	35 920
Magasság (m)	2,97			3	3,3	2,98
Hosszúság (m)	6,45		6,55			
Szélesség (m)	3,2		3,28			3,3
Hasmagasság (m)	0,457				0,381	0,406
Motor teljesítménye (kW/LE)	367/500		441/600			503/675
Maximális sebesség (km/h):	66		56	61		66
Fő fegyverzet	M242 Bushmaster 25 mm űrméretű géppágyú					
Másodlagos fegyverzet	M240C MG 7,62 mm űrméretű párhuzamosított géppuska					
Kiegészítő fegyverzet	2 db BMG-71 TOW páncéltörő rakéta egy konténerben					
Álcázás, rejtés	2 × 4 kódgránátvető					
Ballisztikai védelem	alumínium, acél és kompozit ballisztikai védőelemek					
	12,7 mm űrméretű, AP lövedék ellen		4569 Level 4			
Úszóképesség	van	van	nincs			

van, amely jelentősen hatékonyabbá teszi a célok felderítésében és a tűz megnyitásban. Emellett már ERA felfogatási pontokkal együtt készült el, illetve a haspáncélt is továbbfejlesztették, de a tüzelőnyílások erről már eltűntek. Az M2A4 nagyobb teljesítményű motort kapott, de a diagnosztikai és a tűzoltó rendszer, továbbá az IED²-zavaró képesség kapcsán is történtek fejlesztések.

AZ M2 BRADLEY UKRAJNÁBAN

Az ukrajnai háború révén az M2 Bradley – eredeti céljának megfelelően – az európai hadszíntéren is bevetésre került, először 2023 áprilisában. Több mint 300 darab M2A2 ODS-SA változat érkezett ide. A túlélőképesség növelése érdekében az eszközöket gyakran kiegészítő páncézzal (Bradley Urban Survivability Kit: BUSK – Bradley városi túlélőkészlet) és reaktív páncélati lapokkal (Bradley Reactive Armour Tiles – BRAT) szerelték fel.

A típus a 2023 tavaszi ellentámadás során debütált a Zaporizzsjai régióban, ahol az orosz mély védelmi vonalak áttörésében vett részt. [15] A kezelőszemélyzet dicsérte a jármű felépítését és terhelhetőségét. A 25 mm űrméretű géppágyúja meglepő hatékonysággal küzdött le a páncélozott célpontokat (beleértve egy modern orosz T-90M harckocsit is), ami bizonyítja a Bradley létjogosultságát a gyalogságiharcjármű-szerepkörben. [9]

Az orosz–ukrán háborúban a kis méretű drónok fegyverként való használata nagyon gyorsan elterjedt, illetve fejlődik, minek eredményeként az M2 Bradley harcjárművek is jelentős veszteségeket szenvedtek. Ukrajna a jelentések

szerint 2025 januárjáig több mint 179 Bradley harcjárművet veszített el, beleértve a sérült, hátrahagyott vagy zsákmányolt járműveket. A harctéri elemzések szerint a harcjármű maga nem „vallott kudarcot,” de a nagy veszteségi ráta jelzi, hogy az új harctéri körülmények (nagy intenzitású tűzérzési tűz, drónok és a jól felépített többlépcsős védelem) túlterhelik a rendelkezésre álló nyugati rendszereket és eszközöket. Fontos megjegyezni, hogy a Leopard 2, illetve az orosz T-90M harckocsik is hasonló veszteségeket szenvedtek. [15]

Az ukrán harctéri tapasztalat igazolja az M2 Bradley harcjármű kialakításának alapelveit – a légénység védelmét és a harctámogató képességet –, de megmutatja a kiegészítő védőelemek, különösen az aktív védelmi rendszerek (Active Protection System – APS) kritikus hiányát a drónok és páncéltörő rakéták nagy számú alkalmazásával szemben. Az M2A2 ODS, bár kiegészítő páncézzal rendelkezett, passzív védelemre támaszkodott. Ez a tapasztalat igazolja az Iron Fist APS-t integráló M2A4E1 változat gyors fejlesztésének igényét a jövőbeli harctéri eredmények biztosításához. [16]

ÖSSZEZGÉS

Az M2 Bradley harcjármű az elmúlt négy évtizedben a hidegháborús doktrínák termékéből egy folyamatosan modernizált, korszerű tűzvezető rendszerrel felszerelt, megfelelő védelmi képességgel rendelkező eszközzé alakult át. A harcjármű képességeit jól mutatja az 1991-es öbölháborúban tanúsított megbízhatósága, hatékonysága, majd az ukrajnai konfliktusban

² IED: Improvised Explosive Device (rögtönzött robbanószerkezet)



4. ÁBRA. Az ukrán 47. önálló gépesített dandár Bradley-je és légénysége 2023 júliusában (Forrás: Wikimedia)



5. ÁBRA Amerikai M2A2 Bradley Szomáliában, a UNOSOM II békefenntartó művelet keretében, 1994-ben (Forrás: Wikimedia / James Mossman)

játszott szerepe. Az M2 platformba vetett bizalmat jelzik a folyamatos fejlesztési célú beruházások, melyek 2027-ig mintegy 668 millió dollárt tesznek ki. A jelenlegi M2A4 és a legfejlettebb M2A4E1 változatok célja, hogy jól alkalmazhatóak maradjanak a közeljövőben mindaddig, amíg az USA haderejének jövőbeli harcjárművét, az XM30-ast (korábban Optionally Manned Fighting Vehicle: OMFV – opcionálisan távirányítású vagy ember vezette harcjármű) be nem veze-

tik a terv szerint 2029-ben. [16] Az M2A4E1 frissítések biztosítják, hogy a Bradley ne csak túlélőképes maradjon a drónok és modern páncéltörő rakéták korában, hanem továbbra is növelje hálózati és helyzetfelismerő képességét. A fejlesztés egyik legfontosabb területe az említett Iron Fist APS rendszer. Ez a fejlesztési filozófia kulcsfontosságú annak biztosítására, hogy a Bradley képes maradjon a többdimenziós hadviselés kihívásaira reagálni a közeljövőben.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Bradley Fighting Vehicle. BAE Systems. <https://www.baesystems.com/en-us/product/bradley-fighting-vehicle> (Letöltve: 2025.10.03)
- [2] Foss, Christopher F. (szerk.): IHS Jane's Land warfare platforms: Armoured fighting vehicles 2016-2017. IHS Jane's, 2016, 600–607.
- [3] Szócikk: tank. Britannica. <https://www.britannica.com/technology/tank-military-vehicle> (Letöltve: 2025.10.22.)
- [4] Fleischer, Wolfgang: 1000 katonai jármű. Alexandra kiadó 2010, 292.
- [5] Schmidt Zoltán: Az M-2 Bradley amerikai lövészpáncélos. Haditechnika 1985/3, 18–21.
- [6] Hills, Andrew: Composite M2 Bradley IFV. The Online Tank Museum. <https://tanks-encyclopedia.com/coldwar-usa-composite-m2-bradley-ifv/> (Letöltve: 2025.06.10.)
- [7] Paone, Chuck: Composite Infantry Vehicle Unveiled. Army RD&A Bulletin. 1990. jan-febr. 29–31
- [8] NSIAD-92-94 Operation Desert Storm: Early Performance. United States General Accounting Office, 1992.01.10. <https://www.gao.gov/assets/nsiad-92-94.pdf> (Letöltve: 2025.09.20.)
- [9] The US Army's M2 Bradley Fighting Vehicle Summed Up in 4 Words. National Security Journal. <https://nationalsecurityjournal.org/the-armys-m2-bradley-fighting-vehicle-summed-up-in-4-words/> (Letöltve: 2025.10.23.)
- [10] Bradley M2 Tracked Armored Infantry Fighting Vehicle. Army Recognition Group. <https://www.armyrecognition.com/military-products/army/infantry-fighting-vehicles/tracked-vehicles/bradley-m2-united-states-uk> (Letöltve: 2025.10.20.)
- [11] Bradley M2A2 ODS. Army Recognition Group. <https://www.armyrecognition.com/military-products/army/infantry-fighting-vehicles/tracked-vehicles/bradley-m2a2-ods> (Letöltve: 2025.10.20.)
- [12] Bradley M2A3 Infantry Fighting Vehicle tracked armored – United States. Army Recognition Group. <https://www.armyrecognition.com/military-products/army/infantry-fighting-vehicles/tracked-vehicles/bradley-m2a3-united-states-uk> (Letöltve: 2025.10.28.)
- [13] Army TB 55-46-1 Navy NAVFAC P-1055 Standard Characteristics (dimensions, weight, and cube) for transportability of military vehicles and other outsize/overweight equipment (in toe line item number sequence). <https://web.archive.org/web/20241206101009/https://www.sddc.army.mil/sites/TEA/Functions/SystemsIntegration/DataAndSysManagement/Documents/TB%2055-46-1%20-%202023.pdf> (Letöltve: 2025.10.28.)
- [14] Bradley Fighting Vehicle. BAE Systems. <https://www.baesystems.com/en/product/bradley-fighting-vehicle> (Letöltve: 2025.10.18.)
- [15] Did the M2 Bradley Fighting Vehicle Fail in Ukraine? National Security Journal. <https://nationalsecurityjournal.org/did-the-m2-bradley-fighting-vehicle-fail-in-ukraine/> (Letöltve: 2025.10.18.)
- [16] The 'New' Bradley A4 Infantry Fighting Vehicle Has the Army's Full Attention. National Security Journal. <https://nationalsecurityjournal.org/the-new-bradley-a4-infantry-fighting-vehicle-has-the-armys-full-attention/> (Letöltve: 2025.10.18.)
- [17] M2A2ODS / M3A2ODS (Operation Desert Storm) Bradley. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/m2a2ods.htm> (Letöltve: 2026.01.13.)

A MAKETT

MAKETT



ADATLAP

Készlet:	M2A2 Bradley w/ERA
Gyártó:	Dragon
Cikkszám:	7415
Lépték:	1:72
Anyagok:	műanyag, réz, gumi
Alkatrészszám:	kb. 100
Kiadási év:	2020 (szerszám: 2004)

A TÉMA KIVÁLASZTÁSA

Az orosz–ukrán konfliktusban részt vevő harcjárművek rendkívül változatosak, mivel sokszor messziről is jól látható javításokon és helyszíni módosításokon estek át. Hasonló jelenség a legtöbb modern konfliktusban megfigyelhető, mindenhol a saját jellegzetességekkel. A háború aktualitása miatt eldöntöttem, hogy nem egy konkrét egység járművét építem meg, hanem egy olyan verziót készítek, amely hűen tükrözi ezen járművek különlegességeit. Az USA-ból frissen importált és immár az ukrán haderő részét képező M2A2 Bradley-k egyik jellegzetessége a kamuflázs mintázata: a legtöbb jármű a közel-keleti hadszíntérről ismert homoksárga színben érkezett, amit sokszor egyszerű maszkolással – vagy anélkül –, kevésbé precíz módon festettek át telizöldre, felemásra vagy éppen sehogy. Ez a réteg azonban gyorsan kopott, így egy-egy terepakadályon vagy bozótban való áthaladás után ismét kezdtek előtűnni az eredeti színek. Azt is eldöntöttem, hogy a modern hadviselésre jellemző újítást, a drónfogó

ketrecet már nem fogom megépíteni, mert túl sokat takart volna a legfontosabb elemekből – ahogy azt az eredeti is szolgálja a valóságban.

Ebben a projektben a Dragon 1:72 méretarányú M2A2 Bradley (cikkszám: 7415) makettjét alakítottam át egy Ukránban exportált gyalogsági harcjárművé. Ez a folyamat jelentős módosításokat és feljavítást igényelt, hiszen az alapként használt készlet fontos elemei nagyban eltértek a valóságtól.

DOBOZBONTÁS ÉS ELSŐ BENYOMÁSOK

A Dragon készlete 2004-es kiadás, ami önmagában nem mond semmit, de az azóta eltelt időben a makettgyártás technológiája jelentős fejlődésen ment át, így a húsz évvel ezelőtti csúcsmakett felett kicsit eljárt az idő. A készlet egyik fő problémája az elnagyolt részletei: a futómű épp csak jelzésértékű; a gumiláncalp már a dobozban megtekeredett; a kis alkatrészek aránytalanul vastagok. Félreértés ne essék, dobozból építve is megállná a helyét

6. ÁBRA. Ukrán Bradley 1:72-es makettje (A fotók Szabó Bence felvételei)



7. ÁBRA. Az arányokon jól látható, hogy az 1:72-es makettek hiteles részletezése és feljavítása méretük ellenére is lehetséges



8. ÁBRA. A 3D
nyomtatással
előállított darabok

a vitrinben, azonban ezek a hiányosságok jó lehetőséget biztosítanak a javításoknak. Az alkatrészek vizsgálata során hamar világossá vált, hogy ha magam számára elfogadható végeredményt szeretnék kapni, számos elemet újra kell terveznem és saját gyártású, 3D nyomtatású kiegészítővel helyettesítenem.

A 3D MODELLEZÉS ÉS NYOMTATÁS SZEREPE AZ ÁTALAKÍTÁSBAN

Évek óta foglalkozom 3D modellezéssel és nyomtatással, ezért természetes volt, hogy ebben a projektben is szerepet kap majd. Nehéz ezt összehasonlítani a hagyományos scratchbuilddel (vagyis a teljesen önálló, alapanyagokból való építéssel). Mindkettőnek megvan a létjogosultsága, de más jellegű gyakorlatot igényelnek. A makett vizsgálata során azonnal megkerestem azokat a pontokat, ahol szükség lesz javításra vagy teljes alkatrészcserére. Ennek ellenére túlzásba sem szerettem volna esni, mert az a végletekig el tudja nyújtani az építési fázist.

A teljesség igénye nélkül a következő részeket terveztem újra és nyomtattam ki: egy teljes készlet T161-es láncalpat; a meghajtó-, futó- és feszítőgörgőket; a toronykosarat, az antennalapakat és a hátsó deszanttér ajtaját; a TOW rakétavetőt; az első sárvédőket és az oldalkötényeket.

3D TERVEZÉS ÉS NYOMTATÁS A GYAKORLATBAN

A makettezés világa folyamatosan fejlődik. A modern technológiák, például a 3D nyomtatás és szkennelés egyre nagyobb teret nyernek a mindennapi életben, ezáltal a makettezésben is hozzáférhetőbbek a nyomtatással készült kiegészítők vagy akár komplett szettek is. Az utóbbi években egyre több gyártó csomagol termékeik mellé 3D nyomtatással készült alkatrészeket is.

Eszközparkom legújabb tagja egy hobbicélú 3D szkennér (Creality Raptor), amellyel apró alkatrészeket is rendkívüli pontossággal lehet digitalizálni. Egy ötforintos érmét beszkennelve például látszanak a fémbe lévő vésetek.

Ezt a projektet is ezzel kezdtem: az alváz ragasztás nélküli összeállítása után beszkenneltem az alapmodellt, hogy a módosításokat pontosan el tudjam végezni. A szkennelés már digitális térben forgatható 3D modellt eredményez, így az új alkatrészek tervezése során minden illesztés precízebb lehet, tolómérőt viszont mindenképp tartunk a közelben.

A műgyanta nyomtatás rendkívüli részletességet tesz lehetővé, akár 0,01 mm-es rétegvastagsággal is dolgozhatunk, ami a finom részletek elkészítésénél óriási előny. A méretarányból adódóan egyes megtervezett darabok mindössze 0,25 mm vastagságúak, így a nyomtatás során fontos volt a megfelelő 3D gyanta használata is; ez a kulcsa a legjobb végeredménynek. A legnagyobb előnye a technológiának, hogy olyan alkatrészek is legyárthatók, amiket fröccsönteni nem lehetne. A szemenkénti láncalpat a legjobb példa erre – ebben a méretben nem tudom elképzelni, hogy mi mással lehetne realizáltikusan mozgó láncokat gyártani. Az összes alkatrész megtervezése nagyjából 10-15 órát vett igénybe, majd kb. 10 órányi nyomtatás után már a kezemben is fogtam a kész darabokat. A nyomtatáshoz használt anyagok folyékony formában természetesen ártalmasak lehetnek az egészségre, így mindenképp fordítsunk fokozott figyelmet a megfelelő szellőzésre, a gumikesztyű használatára és a fröccsenésvédelemre. A műgyanta UV fény hatására keményedik meg, így lesz belőle kész munkadarab. Ezekkel minimális utómunka mindig van – a nyomtatási támasztórudakat (supportok) és az esetleges szemmel látható rétegvonalakat viszont sokkal könnyebb eltüntetni, mint a fröccsöntött darabok kilökötüske-nyomait.

AZ ÉPÍTÉS FOLYAMATA

A munkát a már sokszor említett láncalpat és a futómű összeállításával kezdtem. Oldalanként kb. 400 alkatrészből áll, ennek összerakására el is ment egy egész nap. Cserébe nagyon szépen mozog. A kész maketten ebből termé-

szetesen semmi sem fog látszani, de most már az olvasó is tudja, hogy ott van.

A test építésénél az útmutató lépéseit követtem, azonban minden olyan alkatrészt, amely nem felelt meg a referenciafotóknak – vagy a szubjektív minőségellenőrzésemenek –, saját gyártású verzióra cseréltem. A részletesség érdekében a Hauler–Revell készlethez gyártott fotómaratást is felhasználtam, gyakran kombinálva azt saját nyomtatott alkatrészeimmel. Az egyik legjobb példa erre az oldalkötény, amit a vastagsága miatt modelleztem újra, erre maratásból kerültek fel a fogantyúk. A réz és a saját 3D-s kiegészítők, feljavítók ragasztásához pillanatragasztót használtam.

Ügyeltem arra, hogy az építés során a lehető legtöbb, számomra elérhető technikát alkalmazzam, miközben megtartottam a hagyományos tuningolási megoldásokat is. A koaxiális géppuskát injekciós tűre cseréltem, illetve néhány vékony elemet sztirollapból helyettesítettem, valamint a torony elején lévő ponyvát Green Stuffből formáztam meg. A fekete csúszásmentes bevonat a Mig Productions Anti-Slip pasztájából készült. Ezeket az apróbb feljavításokat meg lehetett volna oldani 3D nyomtatással is, de sosem szabad elfelejteni, hogy nem mindig az a legkézenfekvőbb megoldás.

Mielőtt a festési folyamatot részletezném, fontos megemlíteni, hogy egy makett festése számos különböző módon teheti azt érdekesebbé. Az első benyomás akkor éri az embert, amikor asztaltávolságból néz rá egy maketre, hiszen ekkor az összkép az, ami elsőként megragadja a figyelmet. Csak később, amikor közelebb hajolunk, fedezük fel a finomabb részleteket. Az emberi szem számára mindig az a legérdekesebb, amit szépnek lát, de nem tudja azonnal meghatározni, hogy milyen apró elemekből tevődik össze. 1/72-es méretarányban kifejezetten nagy kihívás ezt a vizuális hatást elérni, hiszen a részletek sokkal kisebbek, és minden egyes apró elemnek – vagy hibának – kiemelt szerepe van az összképben.

ALAPOZÁS ÉS FESTÉS

A festés első lépése a makett előkészítése. Ennek során a felületek zsírtalanítása és alapozása kulcsfontosságú, hiszen ezek az alapvető lépések biztosítják, hogy a festék megfelelően tapadjon minden anyagon. Első lépésben világosszürke Mr. Surfacer 1500-as alapozót használtam. Ez ki is dobott néhány építési, felületi és ragasztási hibát, amelyeket kijavítottam, mielőtt a következő réteget felvittem volna. Ezután Mr. Surfacer Mahogany (sötétbarna) alapozót alkalmaztam, amely sötétebb alapszínt biztosított a modellnek, és segített a következő lépésben; így lehetőségem volt arra, hogy a világos alapszínek tudatos felvitelével hangsúlyozzam az árnyékos és fényes részeket, ami elengedhetetlen az 1/72-es méretarányban.

Az alapozás után az AK RC686A Carc Tan színt használtam a jármű fő színének. Ezt az árnyalatot vi-

szonylag egységesen alkalmaztam a maketten, de odafigyeltem arra, hogy a legsötétebb részeken ne fessek túl vastag rétegeket, így természetes árnyékhatást biztosítva a járműnek. Ezt követően még két réteg homokszínt vittem fel, amelyet fokozatosan világosítottam krémfehérrel. A világosítás során az elképzelt fényforrás irányába, főként a jármű felső részére koncentráltam, közel a panelek széléhez.

Ez a világosítási technika rendkívül fontos, mert lehetővé teszi, hogy a makett különböző paneljei és élei kiemelkedjenek, és a fények, illetve az árnyékok még természetesebbé váljanak. Az alapfestés után jött egy réteg Mig Productions koptatófolyadék (chipping fluid), amely segítette a kopások előállítását (lásd később). A referenciaanyagokból tudtam, hogy a harcéri használat során a zöld festék alaposan visszakopott, ezért elengedhetetlen volt ez a lépés. Ennek felvitele után kimaszkoltam a digitális kamuflázst, és az AK RC900 Forest Green zöld színt alkalmaztam, majd ezt is kivilágosítottam.

A KOPÁS ÉS A WEATHERING

Miután a zöld festék megszáradt, elkezdtem a kopások megjelenítését. Ehhez egy merev sörtéjű ecsetet és vizet használtam. A koptatófolyadék után felvitt zöld színt a vizet ecsettel átdörzsöltem, míg vissza nem kopott a festék, így elértem a kívánt, képeken látott hatást. Ha valahol vastagabbra sikerült a fedőszínt felvinni, hegyes tűvel óvatosan rá lehet segíteni a koptatófolyadék munkájára. A kopásokat a referenciafotók alapján próbáltam reprodukálni, figyelve arra, hogy a jármű mely részei voltak a leginkább igénybe véve.

Ezután 1:1 arányban kevert matt + félfényes lakkréteg-gel fixáltam az eddigi munkát. Ha valamilyen szín nem tetszett, itt volt a lehetőség, hogy olajfestékekkel vagy hígított enamel termékekkel filterezzem a színeket, azaz vékony, nagyon híg festékrétegeket vittem még fel. Homoksárga filtert alkalmaztam a drapp (Tan) felületen, illetve olívvzöldet, hogy kiemeljem a zöld területek árnyalatait és finomabbá tegyem a színátmeneteket. Sötétebb zölddekkel és barnákkal, kicsit sűrűbbre kevert olajjal ilyenkor rá lehet dolgozni az árnyékos részekre is. Mindig vegyük

9. ÁBRA. Jól kivehetők a toronykosárban málházott holmik, az ukrán zászló, illetve a koptatás és a koszolás léptékhez igazodó mértéke



figyelembe, hogy a weathering befejezése után ezek a színek és kontrasztok tompulni fognak, így nyugodtan lehet egy fokkal erősebbre venni a koszolás előtti lépéseket.

Az egyik legkevésbé kedvenc technikám a kopások, karcolások festése. Ez egy rendkívül aprólékos munka, nagy türelmet igényel. Mivel nagyobb projektek esetén ez akár napokat is igénybe vehet, én szivacsból tépett darabokkal gyorsítottam a folyamatot. A kopás színéhez AK Interactive 3rd Gen Cremeweiß színt használtam, amelyet AK Drying Retarderrel hígítottam, hogy áttetszőbb hatást érjek el – ez segít abban, hogy a festett kopás optikailag ne „essen le” a makettől. Miután a festékbe mártott szivacsdarabokkal végigmentem minden panelen és élen, egy 2/0-ás ecsettel finomítottam a részleteken, emellett az éleket szárazecseteléssel is kiemeltam, ahol szükségesnek találtam.

A felségjeleket kézzel festettem fel, ahogy azt az eredeti példányokon is sokszor csinálták. A fényszórókat és lámpákat bevett módon készítettem el: belsejüket krómszínűre festettem, majd UV fényre keményedő áttetsző gyantával töltöttem ki a lámpatesteket. Ez a technika élethűen imitálja az igazi lámpákat. A periszkópok felületét hologramos körmös fóliából ragasztottam fel. Ezután az Abteilung 502 szépia olajfestékéből készítettem egy bemosót, amivel minden panelvonalat befuttattam. Figyeljünk arra, hogy ne az egész makettet áztassuk át, használjunk vékony ecsetet, hogy csak a kívánt helyre kerüljön bemosás, máskülönben az egész makettet be fogja sötétíteni az effekt. A lánctalpakat először sötétbarnával alapoztam, amire rozsdaszínnel dolgoztam rá. A gumiabecéket az AK új Rubber Black markerével (filctollával) festettem meg. A lánctalp és az oldalkötények felkerülése után a toronykosárba némi 3D nyomtatott málhát, a jármű hátuljára Green Stuffból gyúrt zászlót helyeztem el, hogy egy kis plusz színt vigyek az összképbe.

A makettet téli környezetben képzeltem el, így a sár és a havazás hatásait igyekeztem minél élethűbben ábrázolni. A sötét talaj jó kontrasztot ad a járműnek is. A sár textúráját az AK Interactive Heavy Mud akril pasztájával hoztam létre, amit vízzel hígítva finomítottam, és felvittem a maketre azokon a pontokon, ahol az a valóságban is vastagon leragadna. A teljes száradást követően Tamiya Buff + szürke keverékével átködöltem a járművet, figyelve a koszosabb részek kiemelésére, hogy megadjam az alapot a többi enamel effektnek. A végleges színt AK Dust & Dirt Deposit, AK Fresh Mud, AK Heavy Mud és AK Wet Effects enamelokkal értem el, egymásra rétegezve azokat. Minél sötétebb színt használtam, annál kevesebbet vittem fel belőle a „legfrissebb” részek felé koncentrálni. Ne felejtjük el összhangban tartani a jármű tetejét az aljával!

Legvégül a vignettának álltam neki. Ennek a keretét 2mm vastag sztirol lapokból ragasztottam össze. Habszivacsból vázlatot vágtam, és a VMS Smart Mud 2.0 termékéből alakítottam ki a mini domborzatot. A járművön is használt színekkel, de sokkal inkább a sötétebbekre fókuszálva kezelésbe vettem a terepet. Végül egy kis extra kontraszt elérése érdekében AK Snow Sprinkles és AK Snow effektokkal olvadásnak indult havat imitáltam. Miután minden részlet a helyére került, a makettet az alapra ragasztottam.

A makettet a 2025-ös MosonShow Nemzetközi Makettkiállítás és Versenyen 1/72 harcjármű (1945 után) mester kategóriában, ill. a 2025-ös Bolyai Makettépítő Kupán 1/72 és kisebb harcjármű mester kategóriában aranyéremmel díjazták.

A technikatörténeti leírás Gávay György Viktor, az építési leírás Szabó Bence munkája.



10. ÁBRA. Egy egyszerű vignetta is szépen kiemeli a témát

MIRE A TÉMÁBÓL MAKETT LESZ ...

A makettgyártó ipar mindig is reagált a legjelentősebb politikai és popkulturális eseményekre. Más szóval a jelentős háborúk, illetve a népszerű filmek és sorozatok nyomot hagytak az egyre szélesedő makettkínálaton is – bár mindig eltérő mértékben. A legjobb példa erre a második világháború, amely hatásánál fogva a katonai vonatkozású termékkínálatot évtizedeken át uralta (és uralja mind a mai napig). Persze speciálisabb példákat is találhatunk, akár már a hatvanas évekből is, amikor a nyugati világban komoly népszerűsége tette szert a makettezés. Ilyen termék volt az Airfix cég által 1967-ben kiadott 1:24-es léptékű autogyro, a James Bond-sorozat *Csak kétszer élsz* című epizódjából. Ugyanebben az esztendőben a Revell az akkor éppen Vietnámban debütáló AH-1G Cobra harci helikopter 1:32-es makettváltozatát jelentette meg. Az amerikai AMT és a Monogram a filmes felhozatalból válogatva a '80-as években a *Csillagok háborúja* járműveit, vagy a *Kék villám* és az *Airwolf* helikoptereit is kiadta.

A magyarországi makettezők a rendszerváltozás éveitől kezdve már könnyebben követhették a kínálatot, amikor a hazai kis- és nagykereskedők egyre nagyobb számban jelentek meg. Számukra az első aktuálpolitikai indíttatású készleteket az 1991-es öbölháború nyomán történt kiadások jelentették, amelyek első képviselői egy-két éven belül már helyet is követeltek a katalógusokban. Természetesen az egyes gyártók nem voltak ugyanolyan mértékben aktívak e téren. Az akkor fiatal cégnek számító hongkongi Dragon például minden évben számos újdonsággal jelentkezett, és ezek közül több olyan is akadt, amelyet az öbölháború inspirált, a gyalogosoktól a repülőkhöz (ideértve például az 1:35-ös Scud-rakétát vagy a koalíciós figurásort). Az egyik „nagy öreg”, a japán Tamiya ezzel szemben inkább csak a „kötelező lelkesedést” mutatva korábbi készleteket aktualizált, alapszínű változtatásokkal, néha közepes színvonalon (lásd például a *Challenger 2* harckocsi sivatagi verzióját). Magyar viszonylatban akkortájt volt még egy slágertéma, hiszen az ideológiai korlátok megszűnése, a hazai légierő jelzésrendszerének megváltozása, illetve a típusváltás nyomán több magyar vonatkozású matricakészlet is megjelent a HADmodels jóvoltából, s ez a vállalkozás azóta is lépést tart az eseményekkel (elég itt a Gripen- és Leopard-matricsasorokra gondolni).

A tendencia az elmúlt néhány évben sem változott, noha a cégek reakcióideje és lendülete továbbra is igencsak eltérő. A Revell például a *Top Gun – Maverick* című filmet meglovagolva minimális ráfordítással 2020-ban kiadta néhány korábbi F-14-es és F/A-18-as készletét új dobozban és új, filmes matricakészlettel. Az ukrán ICM ennél jóval merészebb és aktívabb: eleve sokféle témával és műfajjal foglalkoznak, s igen gyakran adnak ki újabb készleteket. Olyan ritkaságokat vállaltak fel, mint a Délkelet-Ázsiában bevetett amerikai repülőeszközök (AH-1G, CH-54, B-26 stb.), a csernobili katasztrófa szereplői és járművei (mobil sugármérő állomás vagy épp kitelepített civilek), de az orosz–ukrán konfliktus témájában is számos makettet adtak ki (a „Kijev szelleme” nevű MiG-29-estől az ukrán használatú Leopard 2 A6-ig). A kisszerű, műgyanta vagy 3D nyomtatott készleteket gyártó cé-



gek vagy magánemberek is jelen vannak a piacon: az egykori SEAL-mesterlövész, Chris Kyle figurája, nagy sikerű tévésorozatok szereplőinek mellszobra, esetleg a magyar használatú Leopard 2 harckocsik speciális alkatrészei is mind megtalálhatók a mára szinte átláthatatlanná váló kínálatban.

A makettezők érdeklődését értelemszerűen befolyásolják a globális események, illetve a popkulturális újdonságok, hiszen manapság egy-egy háború képei órákon vagy napokon belül elérik a hírfogyasztókat, az új filmekről és sorozatokról pedig már megjelenésük előtt is könnyen tájékozódhatnak. Az ilyen tartalmak – például frissnek ható technikai megoldások vagy épp érdekes festési sémák – kétségtelenül megindítják egyes építők fantáziáját – már csak azért is, mert bizonyos témaköröket már unalmasnak találnak, és keresik az újdonságokat –, míg mások ezután is maradnak jól bevált témáiknál. Így tehát az, hogy az új tematikák megérintik-e annyira a vásárlókat, hogy ilyen készleteket be is szerezzenek, mindig kérdéses. Mert a döntés mindig a vevőé.

Az összefoglalót Havasi Máté készítette.