

Hajós Bence[✦]

Vasbeton közúti híd kísérleti célú terheléses vizsgálata katonai járművekkel

DOI 10.17047/HADTUD.2025.35.3.71

Katonai műveletek tervezésekor a mobilitást alapvetően befolyásolja a hidak teherbírása. A meglévő közúti hidak teherbírásértékeléséhez pontos alapadatok és paraméterek szükségesek. Próbatерheléssel mérhető a hídszerkezet tényleges viselkedése, ami pontosabb válasz reakciót ad, mint a feltételezéseken alapuló numerikus számítás. A tanulmány bemutat egy magyarországi, katonai járművekkel, nehézgépszállító trélerrel és Leopard 2A7HU harckocsival végzett próbatерhelést és annak legfontosabb eredményeit. A vizsgálat hozzájárul a lánctalpas járművek dinamikus hatásának pontosabb számításához.

KULCSSZAVAK: kritikus katonai infrastruktúra, katonai mobilitás, közúti híd, teherbírás, próbatерhelés

Results of Experimental Load Tests on a Reinforced Concrete Road Bridge with Military Vehicles

When planning military operations, mobility is fundamentally influenced by the load capacity of bridges. Accurate baseline data and parameters are needed to assess the load capacity of existing road bridges. Test loading can measure the actual behaviour of the bridge structure, which gives a more accurate response than numerical calculations based on hypothetical assumptions. This paper presents a test loading carried out in Hungary with military vehicles – a heavy wheeled logistics vehicle and a Leopard 2A7HU main battle tank – and its main results. The study contributes to a more accurate calculation of the dynamic effects of tracked vehicles.

KEYWORDS: critical military infrastructure, military mobility, road bridge, load capacity, load test

✦ Első Lánchíd Bt. ügyvezető, hidász-mérnök, Év hidásza 2012 –
First Chain Bridge LP, director, Bridge Engineer of Year 2012;
e-mail: elsolanchid@elsolanchid.hu; <https://orcid.org/0009-0008-8621-470X>

Bevezetés

A mobilitás kritikus jelentőséggel befolyásolja a haderő sikereit. Katonai műveletek tervezésekor kulcsfontosságú a közlekedésre alkalmas útvonalak kijelölése.¹ A kiválasztáshoz ismerni kell a tervezett terhelési hatásokat és ebből eredő szükséges hídteherbírási követelményeket.

A meglévő közúti hidak teherbírásának katonai értékelésére Magyarországon a konzervatív méretezési ellenőrzés jellemző, amelynek alapja a civil hídnyilvántartás. A túlzott konzervativizmus a biztonság javára van, gyors és egyszerű értékelést tesz lehetővé, azonban korlátozóan hathat a katonai mobilitásra, különösen a nehéz haditechnika mozgatasakor.²

Részletes erőtan ellenőrzés érzékeny paramétere a megfelelő terhelési tényezők kiválasztása, amelyek közül legfontosabb a biztonsági tényező és a dinamikus többlethatás meghatározása. Több tanulmány³ rámutatott arra, hogy jelentősen eltér a lánctalpas és kerekes járművek dinamikus tényezője.

A katonai lánctalpas járművek hídszerkezetre ható terhelésének kísérleti vizsgálata eddig viszonylag kis figyelmet kapott. Ilyen célú hídpróbaterhelést Kanadában végeztek egy kétnyílású öszvér felszerkezetű hídon⁴ és egy moduláris katonai acélhídon.⁵ Ezen kívül kifejezetten lánctalpas terheléses tesztet készítettek két kis nyílású kompozit katonai hídrendszeren.⁶

Az eddigi publikált hídpróbaterhelések során elsősorban elektromos nyúlásmérő bélyegekkel meghatározott acél feszültségméréssel határozták meg az egyes terhelésekhez tartozó statikus és dinamikus értékeket, számítva ezekből a dinamikus többletet.

A lánctalpas járművek kísérleti vizsgálatának jelentőségét igazolja, hogy az eddigi vizsgálatok mind megerősítették: a lánctalpas járműveknél a kerekes járműveknél alkalmazott dinamikus többlethatás 50%-val elegendő számolni⁷ a lényegesen kedvezőbb híd–jármű dinamikai kölcsönhatás miatt. A hidat terhelő dinamikus többlet teher ugyanis a híd és a rajta közlekedő jármű tulajdonságaitól és ezek egymásra hatásától függ.

A lánctalpas járművek csökkentett dinamikus tényezőjének általános bevezetéséhez további vizsgálatok szükségesek, hogy részletes, statisztikai szempontból is elemezhető mérési eredményeink legyenek. Indokolt e vizsgálat kiterjesztése a hidak szélesebb körére (nyílásméret, felszerkezeti rendszer, alapanyag) és többféle katonai járműre.

A meglévő közúti hidak katonai teherbírásértékelését NATO szabvány⁸ szabályozza, amely megadja mind járművekre, mint hidakra elvégzendő besorolás szabályait.

1 Kovács 2004.

2 Lenner 2014; Hajós 2023; Hajós 2024a; Hajós 2024b.

3 Everitt 2019; Pinkney et al 2022; Everitt et al 2019.

4 Everitt et al 2019.

5 Pinkney et al 2022.

6 Kosmatka 2011; Robinson et al 2011.

7 Everitt et al 2023.

8 AEP-3.12.1.5 2024.

Az előírás alapján amennyiben a jármű besorolási száma (*Military Load Classification – MLC*) kisebb, mint a híd besorolási száma, akkor a jármű biztonságosan áthaladhat. A műszaki szabvány az erőtani ellenőrzéshez alkalmazandó tényezőkre nem ad meg pontos értéket, azok felvételét az alkalmazó nemzet saját hatáskörébe utalja. Ez is igazolja, hogy a katonai járművekkel végzett kísérleti célú próbaterhelésekkel meghatározott pontosabb tényezőkkel érdemben javítható a hidak teherbírás besorolása.

A kanadai hídpróbatérheléshez kapcsolódik 2024 novemberében elvégzett katonai próbaterhelésünk. 36 m szabad nyílású vasbeton vonógerendás ívhídon végzett kísérleti vizsgálatunkban 37 féle teherállásban mértük a híd lehajlási alakváltozásait kerek és lánctalpas katonai járműterhelés hatására, illetve összehasonlításként egy civil mezőgazdasági járművön is.⁹

Próbatérhelés helyszíne, kiválasztott hídszerkezet

A próbaterhelésre kiválasztott közúti hídszerkezet Kecskéd település határában fekszik az Által-ér felett. A hidat 1965-ben építették, mert az előző kisebb nyílású híd egy nyári villámárvízben összeomlott.

A híd szabad nyílása 36 m, közbelső alátámasztás nélkül hidalja át a vízfolyást. Szerkezeti rendszere monolit vasbeton alsópályás ívhíd, utófeszített vasbeton pályalemezzel, ami felveszi az ívszerkezet vízszintes terhelését is. A híd különlegessége, hogy a két vasbeton főtartó ív a kocsiút feletti felső keresztirányú nélkül épült meg, így nincs a hídon úrszelvény magassági korlát (1. ábra). A hidat az építéskor hatályos, 1956. évi magyar közúti hídszabályzat szerinti B-jelű hasznos teherre méretezték, ami egyetlen 30 tonna ösztömegű, kéttengelyes gépkocsiból állt, a híd teljes felületét egyidejűleg terhelő 300 kg/m² megoszló terheléssel. A hídszerkezet civil nyilvántartási teherbírása 40 tonna.¹⁰

A híd kiválasztásakor szempont volt, hogy lehetőleg vasbeton hídszerkezet legyen, szemben a korábbi hasonló tesztek acél szerkezeteivel. A helyszín mellett szólt, hogy közel (19 km) van Tatához, a próbaterhelésen közreműködő Magyar Honvédség Klapka György 1. Páncélosdandár laktanyájához. A méréstechnika szempontjából kedvező, hogy e hídnak jelentősebb a nyílásmérete (36 m), így a vizsgálandó mozgásai is nagyobbak, továbbá a híd alatti tér jól megközelíthető a próbaterheléshez szükséges eszközök telepítéséhez, és a hídon éjszaka elenyésző a civil forgalom, amelynek óhatatlan zavarásával jár a mérések elvégzése.

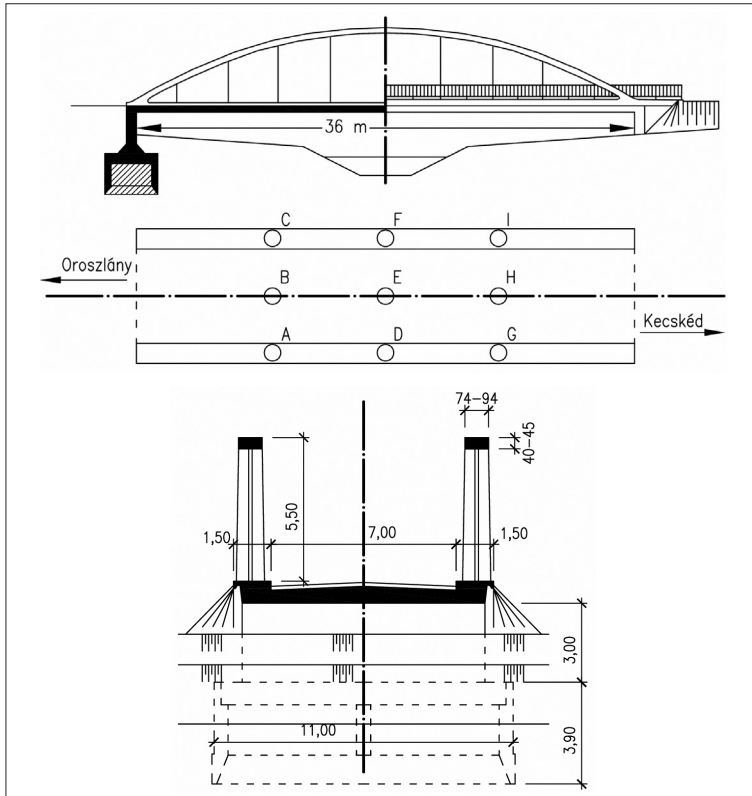
A hidat 2011-ben teljesen felújították. Ekkor elbontották a régi pályaburkolatot, és szigetelést, az új kiegyenlítő rétegre új szigetelés és aszfaltburkolat épült, valamint a látható vasbeton felületeket javították és korszerű korrózióvédelemmel látták el.¹¹

A híd jó állapotban van, a próbaterhelés előtt és után részletes szemrevételezéses vizsgálatot végeztünk. Érdemi károsodást nem tapasztaltunk.

⁹ Hajós 2025.

¹⁰ Záradékolat építési tervek (Hídépítő Vállalat, 1964), Magyar Közút Nonprofit Zrt. tervtára.

¹¹ Záradékolat felújítási tervek (Főmterv Zrt. tervszám: 31.08.186), Magyar Közút Nonprofit Zrt. tervtára.



1. ábra.

*A kecskédi Által-ér-híd hosszmeteszete-oldalnézete,
felülnézete a próbaterhelés mérési pontjaival és keresztmetszete*
(A szerző szerkesztése)

Alkalmazott mérés technika

A híd alakváltozásait összesen kilenc pontban vizsgáltuk. A függőleges elmozdulásokat számítógépes mérőrendszerre csatlakoztatott induktív útdóval észleltük. A kijelölt mérési helyek azonosak voltak a híd építésekor, 1966 januárjában végzett próbaterhelés észlelési helyeivel az összehasonlíthatóság érdekében.

A mérési pontok hosszirányban a híd negyedében, felében és háromnegyedében lettek kijelölve, kereszt irányban a két főtartó tengelyében és hídközépen.

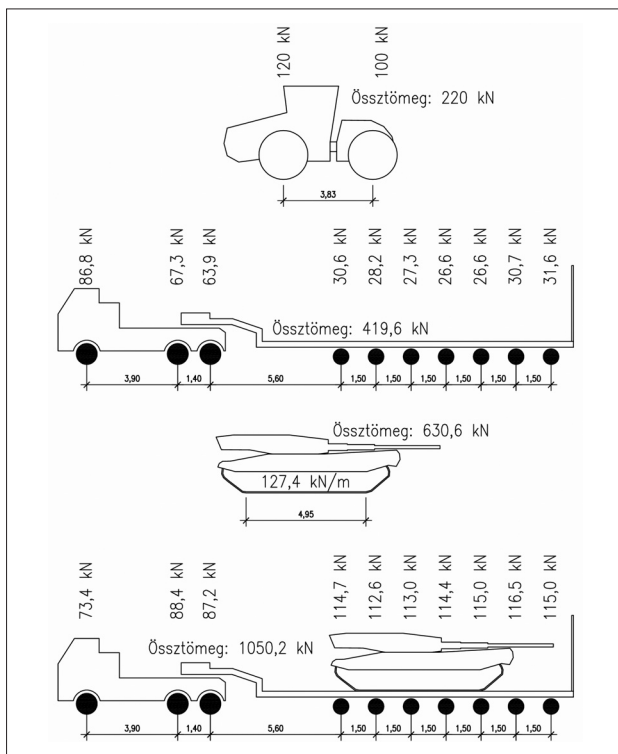
A kalibrált mérőrendszer érzékenysége 0,06 mm volt. A mérési helyeken a vasbeton pályalemez alsó felületére kis acéllapokat ragasztottunk fel, aminek függőleges elmozdulását mágnessel rögzített huzal továbbította a híd alatti tartóállványon fixen rögzített elektronikus szenzorhoz. Az előzetesen számított mozgásokhoz igazodóan 50 mm mérési tartományú szenzorokat használtunk. A kilenc érzékelő egy központi adatgyűjtőhöz volt csatlakoztatva. Az alkalmazott mintavételi sebesség a dinamikus mérések során 60,1 Hz volt.

Terhelő járművek

A próbaterheléshez négyféle járművet használtunk. A telepített mérőrendszer tesztelésére, ellenőrzésére és a katonai járművekkel való összehasonlíthatóságához 22 tonna össztömegű mezőgazdasági traktort használtunk.

A katonai próbaterhelést háromféle járművel végeztük. Össztömegük sorrendjében: tíztengelyes, üres nehézgépszállító trélerrel (42 tonna), láncalpas harcjárművel (63 tonna) és a harcjárművel megrakott trélerrel (42 + 63 = 105 tonna). A négy tesztjármű jellegrajzát és terhelési adatait mutatja a 2. ábra. A próbaterheléshez alkalmazott láncalpas harcjármű egy magyar Leopard 2A7HU típusú harckocsi volt, amely a teljes vizsgálat idején szállítási pozícióban lévő lövegtoronnyal közlekedett. A jellegrajzát ennek megfelelően adtuk meg.

A próbaterhelés előtt a Magyar Közút Nonprofit Zrt. mobil tengelysúlymérő gépkocsival elvégezte Tatán az indulásra előkészített üres tréler, majd rakott tréler szabatos mérlegelését. A terhelési adatokat ezen mérlegelés¹² szerint vettük számításba.



2. ábra.

A próbaterheléshez igénybe vett négyféle jármű jellegrajza és terhelései
(A szerző szerkesztése)

¹² A mérlegelés esetleges bizonytalansága miatt szokásos, fuvarozónak kedvező tengelyenkénti mínusz 200 kg mérési korrekciót nem alkalmaztuk.

Próbaterhelési program

A hatályos jogszabályok szerint a próbaterhelésről részletes tervet kellett készíteni, ami tartalmazta a tervezett terheléseket, méréstechnikát és a várható alakváltozásokat. Mivel a híd civil nyilvántartott teherbírását (40 tonna) lényegesen meghaladta a tervezett terhelés (63 és 105 tonna), a próbaterheléshez részletes erőtanai számítás is készült két egymástól független modellszámítás szerint.

A próbaterhelési tervre kiadta a híd kezelője¹³ a közútkezelői hozzájárulását, illetve az illetékes közlekedéscéltörvényi hatóság¹⁴ a jóváhagyását. A próbaterhelési terv alapján a Honvédelmi Minisztérium döntött a katonai részvétel biztosításáról. A Klapka György 1. Páncélosdandár a Honvéd Vezérkartól megkapta a feladatleírórendelést, ami nélkül a kísérleti célú vizsgálat nem valósulhatott volna meg.

A mérések idejére szükséges volt a híd teljes lezárása. A hídon átvezetett országos közút forgalma napközben közepes, éjszakai órában minimális, ezért a teljes próbaterhelést az éjszakai órákra ütemeztük, hogy a lehető legkisebb legyen a lakosság zavarása. A mérések kezdetét úgy időzítettük, hogy az utolsó menetrendszerinti autóbusz a lezárás előtt áthaladhasson a hídon. Az egyes mérések között néhány alkalommal a két irányból várakozó civil járműveket átengedtük.

A terv szerinti mérőrendszer telepítéséhez a híd alatt segédállványzatot építettünk. A híd környezetében és a híd alatt reflektoros világítást telepítettünk a biztonságos munkavégzés és a próbaterhelés dokumentálása (fénykép, video, drónfelvétel¹⁵) érdekében.

Az előkészítő munkákat még nappali világosságban végeztük el, majd a kora esti órákban, még a katonai járművek érkezése előtt teszteltük a mérőrendszert a 22 tonna össztömegű mezőgazdasági traktor segítségével. Ez a vizsgálat egyúttal a civil és katonai terhelések összehasonlítását is lehetővé tette.

Összesen 37 féle teherállást vizsgáltunk (1. táblázat) a terheletlen (üres) híd méréseit nem számítva. Az egyes teherállásokat növekvő igénybevétel szerint állítottuk sorba. Az első három járművel (22, 42 és 63 tonna) végeztünk statikus és dinamikus méréseket is, a negyedik, legnehezebb tesztjárművel (105 tonna) csak egyetlen dinamikus mérést készítettünk.

Az első három jármű dinamikus mérési programjában szerepelt egyenetlen útburkolatot modellező pallóakadályos vizsgálat is. Kanadai katonai próbaterhelés metodikájával azonosan a híd közepén öt pallóakadályt helyeztünk az aszfaltburkolatra, ami jelentősen megnövelte az áthaladó járművek dinamikus terhelését. Korábbi kanadai próbaterheléssel azonos pallóakadályt alkalmaztunk. A hídközépre szimmetrikusan a kocspályára helyeztük az 5x20 cm keresztmetszetű pallókat, amelyek tengelytávolsága egymástól rendre 3-3 m volt.

13 Magyar Közút Nonprofit Zrt. Komárom-Esztergom Vármegyei Igazgatósága.

14 Budapest, Főváros Kormányhivatala, Országos Közúti és Hajózási Hatósági Főosztály, Hídügyi Osztály.

15 <https://www.youtube.com/watch?v=Smt1yQMnsWM> (Letöltés: 2025. 04. 02.)
<https://www.youtube.com/watch?v=oDGcl3HyZFU> (Letöltés: 2025. 04. 02.)

1. táblázat.

*A próbaterhelés teherállásai tematikus sorrendben*¹⁶

Ssz.	Teher	Típus	Teherállás	Idő
1	Traktor 220 kN	statikus	Üresállás	18:54
2		statikus	1/4-ben traktor	18:55
3		statikus	1/2-ben traktor	18:58
4		statikus	3/4-ben traktor	19:02
5		dinamikus	Traktor 5 km/h visszafelé	19:06
6		dinamikus	Traktor 10 km/h odafelé	19:10
7		dinamikus	Traktor 20 km/h visszafelé	19:14
8		dinamikus	Traktor vegyes odafelé	19:16
9		dinamikus	Traktor 30 km/h visszafelé	19:17
10		dinamikus	Traktor 5 km/h PADLÓVAL odafelé	19:21
11		dinamikus	Traktor 10 km/h PADLÓVAL visszafelé	19:25
12		dinamikus	Traktor 20 km/h PADLÓVAL odafelé	19:27
13	Üres tréler 420 kN	statikus	Üresállás	21:07
14		statikus	1/4-ben üres tréler tengelyben	21:08
15		statikus	1/2-ben üres tréler tengelyben	21:10
16		statikus	3/4-ben üres tréler tengelyben	21:12
17		dinamikus	Üres tréler 5 km/h visszafelé	22:24
18		dinamikus	Üres tréler 5 km/h odafelé (tolatva)	22:28
19		dinamikus	Üres tréler 10 km/h visszafelé	22:30
20		dinamikus	Üres tréler 20 km/h visszafelé	22:37
21		dinamikus	Üres tréler 30 km/h visszafelé	22:42
22		dinamikus	Üres tréler 40 km/h visszafelé	22:54
23		dinamikus	Üres tréler 5 km/h PADLÓVAL visszafelé	23:00
24	Leopard 630 kN	statikus	Üresállás	21:36
25		statikus	1/4-ben Leopard tengelyben	21:37
26		statikus	1/2-ben Leopard tengelyben	21:39
27		statikus	3/4-ben Leopard tengelyben	21:41
28		statikus	Üresállás	21:48
29		statikus	3/4-ben Leopard befolyási oldalon	21:46
30		statikus	1/2-ben Leopard befolyási oldalon	21:48
31		statikus	1/4-ben Leopard befolyási oldalon	21:49
32		statikus	Üresállás	21:53
33		statikus	1/4-ben Leopard kifolyási oldalon	21:54
34		statikus	1/2-ben Leopard kifolyási oldalon	21:57
35		statikus	3/4-ben Leopard kifolyási oldalon	21:59
36		dinamikus	Leopard 5 km/h visszafelé (tolatva)	22:06
37		dinamikus	Leopard 5 km/h odafelé	22:09
38		dinamikus	Leopard 5 km/h visszafelé (tolatva)	22:20
39		dinamikus	Leopard 5 km/h odafelé	23:16
40		dinamikus	Leopard 5 km/h PADLÓVAL visszafelé (tolatva)	22:13
41		dinamikus	Leopard 5 km/h PADLÓVAL odafelé	22:16
42	1050 kN	dinamikus	Rakott tréler Leoparddal 5 km/h visszafelé	23:37

16 A 2. és 3. táblázatban az itt megadott sorszámokkal azonosan hivatkozunk az egyes teherállásokra.

A próbaterhelést eredetileg úgy terveztük, hogy a láncalpas harckocsival tudunk különböző sebességű dinamikus méréseket készíteni, amennyiben a híd előtti rövid nekifutási távolság lehetővé teszi, akár 40 km/h sebességgel is. Sajnos a mérés idején műszaki okokból, a próbaterheléstől függetlenül a Leopard 2A7HU harckocsi sebességét 5 km/h-ban korlátozták, így a nagyobb sebességgel tervezett láncalpas terhelések elmaradtak.

A próbaterhelés során csak a kilenc pont függőleges lehajlását mértük, a lehajlásból lehetett számítani a dinamikus viselkedés paramétereit is. Ez eltér a korábbi láncalpas katonai próbaterhelésektől, ahol a dinamikus viselkedést az acélszerkezetre ragasztott elektromos nyúlásmérő bélyegekkel vizsgálták. Esetünkben, vasbeton szerkezeten nyúlásmérő bélyeg alkalmazása nehézkes lett volna.

A statikus próbaterhelés eredményei

A próbaterhelés nyers mérési eredményei már a helyszínen is az adatgyűjtő számítógépből folyamatosan ellenőrizhetőek voltak. Ez lehetővé tette a mért és számított lehajlások azonnali ellenőrzését. A mért értékek az előzetes számított alatt maradtak, sok esetben 50% körüli mértékben. A híd lényegesen merevebben viselkedett az előzetes várakozásainkhoz képest.

A mért statikus lehajlásértékeket mutatja a 2. táblázat. A kilenc mérési pont elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.

2. táblázat.

Statikus teherállások részletes lehajlás értékei

Ssz.	Teherállás	Lehajlások [mm]								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	1/4-ben traktor	0,86	1,05	0,97	0,14	0,25	0,15	-0,37	-0,25	-0,33
3	1/2-ben traktor	0,61	0,70	0,61	1,15	1,49	1,09	-0,05	-0,09	-0,05
4	3/4-ben traktor	-0,30	-0,24	-0,25	0,52	0,70	0,52	0,99	1,24	0,96
14	1/4-ben üres tréler tengelyben	0,91	1,1	0,97	0,89	1,16	0,92	-0,25	-0,24	-0,25
15	1/2-ben üres tréler tengelyben	0,33	0,59	0,33	1,13	1,47	1,16	0,73	0,97	0,73
16	3/4-ben üres tréler tengelyben	-0,14	0,01	-0,11	0,92	1,27	0,96	0,89	1,1	0,85
25	1/4-ben Leopard tengelyben	2,92	3,62	2,85	0,82	1,06	0,77	-1,03	-0,89	-1,04
26	1/2-ben Leopard tengelyben	0,95	1,34	0,87	3,46	4,39	3,32	0,66	1,01	0,61
27	3/4-ben Leopard tengelyben	-1,13	-0,86	-1,1	1,09	1,49	1,03	3,04	3,72	2,99
30	1/4-ben Leopard befolyási oldalon	3,57	3,32	2,2	0,86	0,95	0,52	-1,18	-0,8	-0,94
29	1/2-ben Leopard befolyási oldalon	1,11	1,1	0,59	4,27	4,25	2,48	0,81	1,08	0,44
31	3/4-ben Leopard befolyási oldalon	-1,35	-1,08	-1,05	1,29	1,35	0,71	3,9	3,78	2,25
33	1/4-ben Leopard kifolyási oldalon	2,29	3,75	3,72	0,61	1,06	1,03	-1,09	-1,04	-1,34
34	1/2-ben Leopard kifolyási oldalon	0,53	1,1	0,95	2,53	4,06	4,14	0,48	0,97	0,89
35	3/4-ben Leopard kifolyási oldalon	-1,01	-0,86	-1,16	0,71	1,19	1,1	2,25	3,37	3,59

A mérési eredmények rendre kisebbek a számítotttnál, mezőközepen annak 56–82%-a. A szignifikánsan kisebb lehajlás tipikus jelenség a vasbeton hidak próba-terhelésekor. Ennek egyik legfontosabb oka az egyes anyagtulajdonságok figyelembevételéből származik. A híd későbbi felújításainak kiegyenlítő rétegei is növelhették a híd merevségét. A nagyobb merevség egyúttal nagyobb globális teherbírást is jelent.

Az egyes mérési értékek jól korrelálnak egymáshoz, ami igazolja az alkalmazott mérés-technika megfelelő működését is és a hídszerkezet jó állapotát is. Bár a híd szimmetrikus mind hossz-, mind keresztirányban, az egyes értékpárok között kisebb különbségek láthatók. Ezek megegyeznek más próbaterhelések tapasztalataival.

Előzetes várakozásunk és erőtanai számításunk ellenére lényegesen kisebb volt az ívszerkezetekre igen jellemző féloldalas terheléskor megfigyelhető szinuszhullám lehajlási alak. Tiszta ívekre jellemző, hogy a legnagyobb függőleges lehajlások nem a nyílásközépen, hanem a statikai szempontból is mértékadó féloldalas terheléskor az ívnegyedekben jelentkeznek. Számításunk szerint a kocsipálya szélén álló harc-kocsi terhelésre számított legnagyobb nyílásközépi lehajlás 7,15 mm; ívnegyedben viszont 10,63 mm. Ezzel szemben a mért érték a híd nyílásközén 4,21 mm (59%), a negyedben csak 3,70 mm (35%) volt. Az ívnegyedek kisebb elmozdulásai azt mutatják, hogy a vasbeton pályalemez (gerenda-hatás) jelentősen merevíti a főtartó íveket (ív-hatás). A felszerkezet mint Langer-tartó viselkedik, a pályalemez felhajlások értékei is ennek megfelelően kisebbek. A legnagyobb pályalemez felhajlás a statikus mérés során 1,35 mm volt (31. sz. teherállásban).

A merev pályalemez viselkedés megfigyelhető a mérési keresztmetszeteken számítható kereszttartó lehajlásokon is. A 63 tonnás harc-kocsi terhelésre az egymástól 8,90 m-re fekvő két főtartó közötti keresztirányú lehajlás a híd középső keresztmetszetében statikus mérésnél 1,00 mm, dinamikus mérések során 0,95–1,01 mm volt. A legnehezebb terhelésnél (105 tonna) észlelt legnagyobb kereszttartó lehajlás 1,12 mm volt.

A dinamikus próbaterhelés eredményei

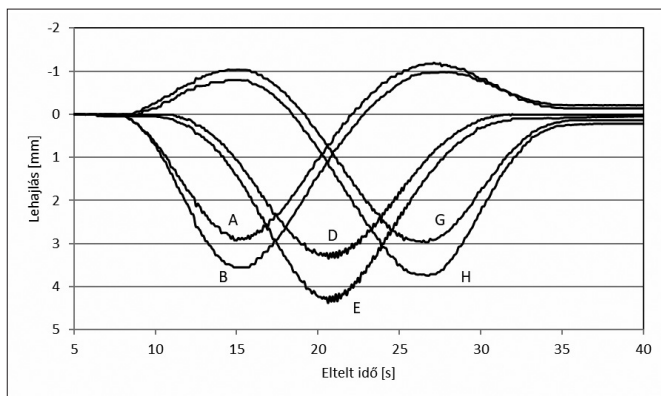
A nyers dinamikus adatok elemzése során jól szétválasztható a lehajlás kvázi statikus komponense és erre rakódó dinamikus oszcilláció. Bevett gyakorlat a kis dinamikus hatások elkülönítése szűrő alkalmazásával (például mozgóátlag). Az adatok értékelésekor ilyen szűrést nem alkalmaztunk, így a mért lehajlás vizsgált szélsőértékei tartalmazták a dinamikus oszcilláció többlet értékét is. Szűrővel a legnagyobb lehajlásokra kisebb értékeket kaptunk volna eredményül.

A kvázi statikus lehajlásra rakódó oszcilláció¹⁷ függ a jármű gerjesztési paramétereitől, a kocsipálya felületének simaságától, a jármű felfüggesztési rendszerétől, futómű típusától (lánc- vagy kerekes), tengelyek számától, össztömegtől és a jármű sebességétől.

17 A lehajlás statikus komponensének periódusideje attól függ, mennyi idő alatt halad át a jármű a vizsgált nyílásban, ez a sebességtől függ, 5 km/h esetén a vizsgált hídon kb. 25 másodperc. Erre rakódó kis amplitúdójú dinamikus lengés periódusideje lényegesen rövidebb (esetünkben kb. 0,2 másodperc), ezt neveztük dinamikus oszcillációnak.

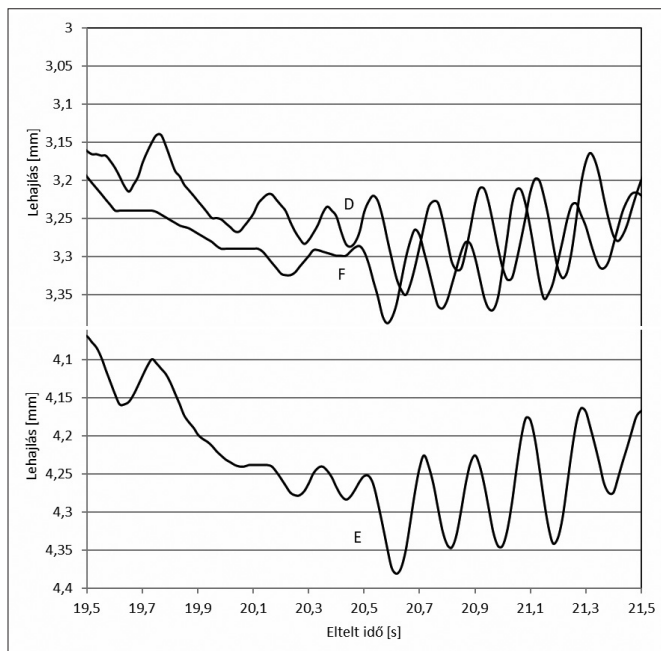
Leopard harckocsival végzett dinamikus méréseknél a lehajlásra rakódó oszcilláció frekvenciája az áthaladás során mindegyik teherállásban 5 Hz körül volt (4,8 – 5,4 Hz). A mezőgazdasági traktornál ehhez hasonló, 5,2 Hz értéket számítottunk. A tréler áthaladásakor a járulékos oszcillációnak nem volt számítható szignifikáns frekvenciája.

A lehajlás két komponensét szemlélteti a 3. és 4. ábra. A 3. ábra egy áthaladás mérési adatsorát tartalmazza, áttekinthetőség érdekében a kifolyási főtartó alatti



3. ábra.

37. teherállás: Leopard 2A7HU harckocsi 5 km/h sebességgel, lehajlások
(A szerző szerkesztése)



4. ábra.

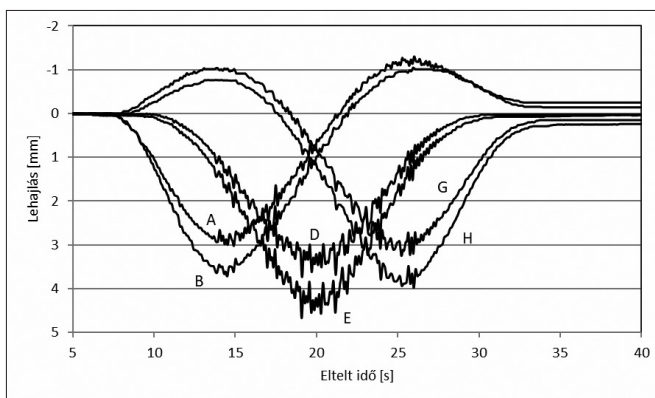
37. teherállás: Leopard 2A7HU harckocsi 5 km/h sebességgel, lehajlások (részlet)
(A szerző szerkesztése)

mérőpontok nélkül. Jellemzően minden áthaladás után, elsősorban a nyílásnegyedekben maradó alakváltozás volt, az áthaladás irányának megfelelően az egyik negyedben maradó lehajlás, a másik negyedben maradó felhajlás. Ezek a maradó alakváltozások ismételt terhelés hatására (újabb teherállás, vagy civil forgalom) gyorsan leépültek. További kutatás során ez a zavaró hatás minimalizálható, ha minden dinamikus teherállás azonos paraméterű oda és vissza áthaladásból áll.

A 4. ábrán a 3. ábra kicsi részletének nagyítása látható. A 2 másodpercnyi adatsor a nyílásközépi keresztmetszet három mérési pontjának lehajlására rakódó oszcillációt mutatja. A dinamikus oszcilláció amplitúdója a befolyási oldali főtartó hídközépi keresztmetszetében (D jelű mérési pont) 0,12 mm volt. A kis rezgés a kvázi statikus lehajláson +1,87% lehajlás többletet okoz.

Megfigyelhető volt, hogy a láncalpas harckocsi hátramenetben jobban gerjeszti a hidat, és nagyobb oszcillációk mérhetők, mint előremenetben.

Az egyenetlen kocspályát palló akadályokkal modelleztük (5. ábra). Ez rendkívüli többlet dinamikus terhelést eredményezett.



5. ábra.

41. teherállás: Leopard 2A7HU 5 km/h sebességgel, palló akadályokkal

(A szerző szerkesztése)

Összehasonlítva a pallókkal és pallók nélkül végzett láncalpas méréseket, megállapítottuk, hogy a kvázi statikus lehajlásértékek nem változtak, ugyanakkor az erre rakódó dinamikus oszcilláció közel ötszörösére növekedett, ezáltal a legnagyobb lehajlások átlagosan 7%-kal nőttek.

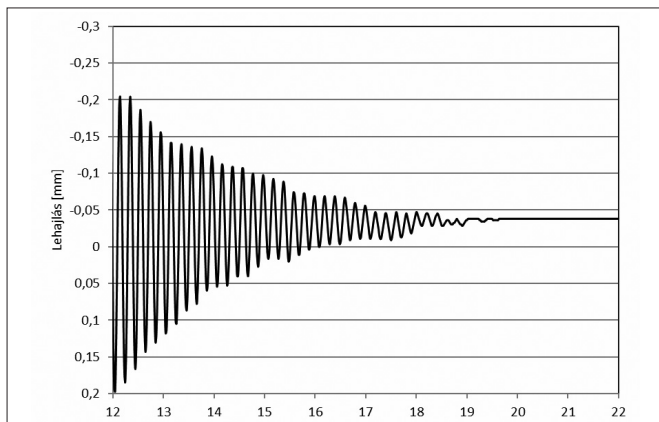
A palló akadályokkal végzett mérések közül (3. táblázat) a mezőgazdasági traktornál volt a legnagyobb a mért dinamikus többlet (+81%) a palló nélküli mérésekhez viszonyítva. Ennél a teherállásnál a dinamikus oszcillációjának amplitúdója meghaladta a 2 mm-t, 2,5 mm-es legnagyobb lehajlás mellett. Ugyanez a többlet üres tréler esetén +58-59% volt, láncalpas harckocsi esetén pedig csupán +9% (0,6 mm amplitúdóval). Tréler esetén a nagy dinamikus többlet hozzájárult, hogy az úthibákat modellező, egymástól 3-3 m-re fektetett pallókkal megegyezett a tréler hátsó tengelytávolságának kétszeresével, így a pallóakadályokon egyszerre akadtak meg váltakozva a tengelysor páratlan, majd páros tengelyei.

A legnagyobb hídlengéseket a mezőgazdasági traktorral végzett, 20 km/h sebességű, pallóakadályokkal végzett 12. teherállás okozta. A belengetett híd tehermentesülés utáni főtartó lengését és annak időbeli csillapítását szemlélteti a 6. ábra. A lengés e hosszabb referenciamintából számított frekvenciája 4,83 Hz volt, ami a híd saját-frekvenciájának tekinthető.

3. táblázat.

Egyenetlen útpálya (pallóval) többlet dinamikus lehajlása hídközépen

Ssz.	Teherállás	Mérési pont	
		D [mm]	F [mm]
5	Traktor 5 km/h visszafelé	1,22	1,15
10	Traktor 5 km/h PADLÓVAL odafelé	1,43	1,38
	Dinamikus többlet	117%	120%
6	Traktor 10 km/h odafelé	1,17	1,13
11	Traktor 10 km/h PADLÓVAL visszafelé	1,75	1,67
	Dinamikus többlet	150%	148%
7	Traktor 20 km/h visszafelé	1,22	1,11
12	Traktor 20 km/h PADLÓVAL odafelé	2,02	2,02
	Dinamikus többlet	166%	181%
17	Üres tréler 5 km/h visszafelé	1,16	1,09
23	Üres tréler 5 km/h PADLÓVAL visszafelé	1,84	1,74
	Dinamikus többlet	158%	159%
36	Leopard 5 km/h visszafelé (tolatva)	3,40	3,35
37	Leopard 5 km/h odafelé	3,35	3,39
38	Leopard 5 km/h visszafelé (tolatva)	3,48	3,44
39	Leopard 5 km/h odafelé	3,12	3,51
	Leopard 5 km/h átlag érték	3,34	3,42
40	Leopard 5 km/h PADLÓVAL visszafelé (tolatva)	3,52	3,62
41	Leopard 5 km/h PADLÓVAL odafelé	3,73	3,58
	Leopard 5 km/h PADLÓVAL átlag érték	3,63	3,60
	Dinamikus többlet (átlag értékekből számítva)	109%	105%



6. ábra.

Mezőgazdasági traktor egyenetlen kocsipályán való 20 km/h sebességű áthaladását követő főtartó mezőközépi lengés csillapodási szakasza terheletlen hídon

(A szerző szerkesztése)

A próbaterhelés eredményei alapján megállapítható az is, hogy a hídnegyedek alakváltozásait kis mértékben befolyásolja a terhelő jármű áthaladási iránya is. Haladási irányban a mértékadó teherállás szempontjából először érintett nyílásnegyed lehajlása jellemzően kisebb, mint a másodsorra érintett. Ennek oka, hogy a másodsorra érintett negyed keresztmetszete a lehajlás előtt felhajlást szenved, így könnyebben kiépülhet a nagyobb lehajlás érték.

A láncaltalpas terhelésnél a legnagyobb dinamikus lehajlások és a statikus teherállások hányadosából számított többlet a 4. táblázat tartalmazza. Ennek részletes vizsgálatához hiányoznak a nagyobb sebességgel való tesztek, ami műszaki okok miatt esetünkben elmaradt. Kis sebességnél a dinamikus többlet legnagyobb mértéke 1,08 volt.

4. táblázat.

Mért láncaltalpas dinamikus tényező a hídközép keresztmetszetében

Ssz.	Teherállás		Sebesség	Dinamikus többlet	
				átlag	max
26	S	1/2-ben Leopard tengelyben	0 km/h	100%	100%
36-39	D	Leopard 5 km/h átlag	5 km/h	101%	108%
40-41	D	Leopard 5 km/h PADLÓVAL átlag	5 km/h + padló	107%	114%

A hatályos magyar műszaki előírások¹⁸ a híd tervezésekor alkalmazott szabvánnyal azonosan a dinamikus tényezőt a támaszköz (L) függvényében definiálja:

$$\mu = 1,05 + 5 / (L + 5) = 1,05 + 5 / (37 + 5) = 1,169$$

A próbaterhelésen mért dinamikus tényező ennek fele volt. A rendkívüli úthibákat modellező pallóakadályokkal mért dinamikus hatás is alatta maradt a szabványos értéknek, míg ugyanez a traktor esetében a statikus alapértékre számítva 1,85, az üres tréler esetében pedig 1,63 volt. Mindkettő kerek jármű lényegesen túllépte a szabványban szereplő értéket, mert a szabvány normál simaságú útburkolatra vonatkozik.

Összegzés

A katonai járművekkel végrehajtott hídpróba terhelés a közúti hidak katonai teherbírásértékeléséhez hasznos adatokat, eredményeket nyújtott. Újdonságnak számít a vizsgált hídszerkezet típusa (vasbeton, ívhíd) és az alkalmazott mérés technika is (elmozdulás-mérés). Tanulmányunkban a próbaterhelés legfontosabb eredményeit ismertettük.

A vizsgálatokkal igazoltuk, hogy kerek járművekhez képest a láncaltalpas járművek okozta dinamikus hatás vasbeton hidakra lényegesen kedvezőbb, ami lehetővé teszi kisebb dinamikus tényezők használatát. Ez növeli a meglévő közúti hidak igazolható hasznos teherbírását, ezáltal a katonai mobilitást.

¹⁸ e-UT 07.01.12:2011

A próbaterheléssel bizonyítottuk, hogy a kerekes járműveknél alkalmazott dinamikus tényező fél értékével lehet számolni lánctalpas járművek ellenőrzése során.

A vizsgált hatvanéves hídszerkezet lényegesen merevebben viselkedett, mint az előzetes számítások szerint az várható volt. A merevebb hídnak ez többletterebírás-tartalékot jelent, ami további mérésekkel validált számításokkal beépíthető a terhelés ellenőrzésbe is.

A híd alakváltozásai tökéletesen rugalmasak voltak, tartós maradó alakváltozás nem volt, egyes teherállások után visszamaradó látszólagos maradó alakváltozások a híd újabb terhelésével mind leépültek.

Javasolt a megkezdett kutatás folytatása, elsősorban különböző sebességekkel való lánctalpas dinamikus mérések pótlása. Indokolt a kutatás kiegészítése más felszerkezeti rendszerekre (pl. előregyártott előfeszített hídgerendák) és konvojban közlekedő katonai járművekre is. A próbaterhelés és a további kutatási eredmények a katonai közlekedési szakemberek figyelmébe ajánlhatók.

* * *

Ezúttal is köszönöm a Honvédelmi Minisztérium (próbaterhelés engedélyezése), a Magyar Honvédség Klapka György 1. Páncélosdandár (katonai terhelő járművek, katonai biztosítás), a Magyar Közút Nonprofit Zrt. (terhelő járművek szabványos mérlegelése), a FAÉK Méréstechnika Kft. (méréstechnika), a Cardium Kft. (segédszerkezetek) és Rák Tibor (mezőgazdasági terhelő jármű) önzetlen támogatását, segítségét a próbaterhelés zökkenőmentes végrehajtásához.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- AEP-3.12.1.5 NATO Standard Military Load Classification of bridges, ferries, rafts and vehicles. Edition B Version 1, November 2024.
- e-UT 07.01.12:2011 Erőtani számítás, Közúti hidak tervezése (KHT) 2.
Online: <https://ume.kozut.hu/dokumentum/205> (letöltve: 2025. 04. 04.)
- Everitt, A. 2019. *Dynamic load effects of tracked and wheeled military vehicles from bridge load testing*. A Thesis Submitted to the Division of Graduate Studies of the Royal Military College of Canada, MASC Thesis Document.
- Everitt A.; Wight, G.; Dagenais, M. 2019. *Dynamic Load Allowance for Military Tracked and Wheeled Vehicles: Experimental Results*. International Conference on Military Technologies (ICMT) 2019 May 30 – 31, 2019, Brno, Czech Republic.
- Everitt, A.; Dagenais, M.; Wight, G. 2023. Comparative Dynamic Load Effects of Tracked and Wheeled Military Vehicles on Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 28 (11): 04023085
<https://doi.org/10.1061/JBENF2.BEENG-6394>
- Hajós Bence 2023. Szempontok és javaslatok a közúti hídtervezés hasznos ideális jármű teherszintjének meghatározásához a készülő új Útügyi Műszaki Előírásban. *Útügyi Lapok*, 11 (18).
<https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.03>
- Hajós Bence 2024a. Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában Katonai alapterhek helyett polgári járműterhek bevezetéséről. *Műszaki Katonai Közöny*, 34 (2): 5–16.
<https://doi.org/10.325 62/mkk.2024.2.1>

- Hajós Bence 2024b. A közúti hidak dinamikus tényezőjének csökkentési lehetőségei túlsúlyos civil járművek és nehéz katonai szállítások esetén. *Útügyi lapok*, 12 (19).
<https://doi.org/10.36246/UL.2024.1.03>
- Hajós Bence 2025. Kísérleti célú közúti híd próbaterhelés Leopard 2A7HU harckocsival. *Haditechnika*. megjelenés alatt.
- Kosmatka, J. B. 2011. "Dynamic behaviour of the composite army bridge (CAB): Field testing." In *Proc., 8th Int. Conf. on Structural Dynamics, EURO-DYN 2011*, edited by G. Roeck, 1559–1565. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven.
- Kovács Ferenc 2004. *Egyes közlekedésfejlesztési feladatoknak a NATO Biztonsági Beruházási Programjába történő integrálása lehetőségének vizsgálata*. Tanulmány a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium részére. Budakeszi: Actual Mérnökiroda Bt.
- Lenner, R. 2014. *Safety Concept and Partial Factors for Military Assessment of Existing Concrete Bridges*. PhD dissertation, Universität Der Bundeswehr München, Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften;
- Pinkney, B.; Dagenais, M.; Wight, G. 2022. Dynamic load testing of a modular truss bridge using military vehicles. *Engineering Structures*, 254. 113822.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113822>
- Robinson, M. J.; P. E. Kosmatka. 2011. "Experimental dynamic response of a short-span composite bridge to military vehicles." *Journal of Bridge Engineering*, 16 (1): 166–170.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000134)