

Öszvérszerkezetű hidak
Rövid történelmi kronológia – II. rész*

Steel-concrete composite bridges
Short historical chronology – part II.

Poduri cu structură mixtă oțel-beton
Scurta cronologie istorica – partea II.

MOLNÁR Lajos

Kolozsvári Műszaki Egyetem

ABSTRACT

The document presents shortly the evolution of the development of composite structure bridges, chronology of the development of steel-concrete composite structure bridges from 1975 up to nowadays.

Keywords: civil engineering, steel-concrete composite bridges, chronological history

ÖSSZEFOGLALÓ

Az anyag röviden ismerteti az öszvérszerkezetű hidak megjelenésének előzményeit, az acél-beton öszvérszerkezetű hidak megjelenésének kronológiáját és fejlődési fázisait 1975-től napjainkig

Kulcsszavak: közlekedésépítés, öszvérszerkezetű hidak, történelmi kronológia

Az öszvérszerkezetű hidakat a hidépítés több ezer éves történetének utolsó időszakában, mondhatni utolsó 150 évében, kezdték alkalmazni. Rövid áttekintést szeretnék nyújtani ezen időszakról valamint ezen időszak építőmérnöki tervezés és építőanyag minőségi fejlődésének fontos sarokpontjairól, amelyek hozzájárultak az öszvérszerkezetű hidak alkalmazásához és ennek elterjedéséhez azon országokban, amelyekben az ipari fejlődés kényszerhelyzetbe hozta a közlekedésfejlesztéssel foglalkozó szakembereket az alapanyag/áru- és személyforgalom növekvő igényeinek kielégítésére.

A szakirodalom keveset írt eddig az acél-vasbeton merev elemek „összeolvasztásával” készült kompozit szerkezetek történelmi fejlődéséről.

A modernkori öszvérszerkezetű hidak fejlődésével és napjainkban való alkalmazásával folytatjuk a kronológiát.

1.5 Pre-modern korszak (1975-2000)

Ez az az időszak, amelyben az öszvérszerkezetű struktúrák felhasználásának a határait feszegetik.

1.5.1. Alkalmazások Németországban

A „Deutsche Bahn”, a német vasutak használatában levő vasúti hidakat a XX. század elején épült klaszikus, valamint a „Rahmenplanung” keretében kifejlesztett típusú hidak jellemzik. Az utolsó időszakban viszont sok érdekes hídszerkezet fejlesztettek ki és építettek meg, bizonyítva, hogy a német vasúti hídtervezés újra az élvonalba került. A Deutsche Bahn által létrehozott Vasúti Híd Tanács, „Brückenbeirat” és az általa létrehozott „Leitfaden – Gestalten von Eisenbahnbrücken”, vasúti hidak tervezési útmutatója, komoly impulzust és befolyást jelentett ezen időszak németországi vasúti híd fejlődésében.

A nantenbachi vasúti Majna híd (1993) egyik példája a fentieknek – dupla rácsos-tartós, háromnyílású öszvérszerkezetű híd, amely a negatív nyomaték tartományokban duplán-kompozit szerkezetű (a negatív tar-

* A cikk első része megjelent a Műszaki Szemle 70. számában.

tományok is beton övbe foglaltak). A 208 m központi nyílással a Hannover–Stuttgart új építésű vasúti pálya leghosszabb nyílású hídja valamint a német vasúti hálózat leghosszabb nyílású hídja (1. ábra)



1. ábra

Rácsostartós kompozit híd a Majna fölött, Nantenbachnál, 1993 (Foto: tur)

Egy újabb innovatív lépéssel a német vasutak engedélyezték a magasépítésben és a gyalogos felüljárókban már sikeresen alkalmazott, acél öntvény (Cast Steel, Stahlguss) termékek használatát a vasúti hidak építésében. Ezen alapanyag használatával robusztus acél hídszerkezeteket lehet létrehozni alacsonyabb gyártási és karbantartási költségekkel. Ezen anyag felhasználásával forradalmi struktúrák és formák létrehozására kapnak lehetőséget az építészek, a tervezők és a statikusok. Élő példája az előbbieken felsoroltaknak a berlini Humboldt kikötő vasúti hídja (1999), amelyen vékony acél íveket és elosztó csomópontokat alkalmaztak hossz-szasz tesztelési folyamat után (2. ábra). A híd 2008 elnyerte a Német Híd díjat.



2. ábra

A Humboldt kikötői híd, Berlin főpályaudvarnál 1999 (Foto: sbp)

Kisebb nyílások estében nagy sikert könyvelnek el az előregyártott kompozit (öszvérszerkezetű) hidak (VFT-VerbundFertigTeil) építésében. A könnyű kompozit tartók alacsony előállítási költséggel rendelkeznek, valamint gyorsan beépíthetőek a helyszínen. Ezzel a megoldással eddig több mint 600 híd készült el (3. ábra)



3. ábra
VFT típusú híd a Lech folyó fölött Schongaunál, 2001 (Foto: ssf).

1.5.2 Alkalmazások Kínában

Ezen periódus vége felé kezdődik a kínai infrastruktúra fejlesztése. Határozat születik a közúti és vasúti infrastruktúra fejlesztése az országba áramló külföldi beruházások mielőbbi abszorpciója érdekében. Az európai szemmel óriásinak tekinthető projektek közül csak néhányat említünk.

Nanpu híd a Hangpu folyó felett, Shanghai (1991). $L=765$ m, központi nyílás 423 m, pilonmagasság 150 m.



4–5. ábra
Nanpu híd, Hangpu folyó (1991)

Yangpu híd a Nanpu testvérhídja, Shanghai (1993) ($L=8354$ m, központi nyílás 602 m, pilonmagasság 223 m)



6. ábra
Yangpu híd, Hangpu folyó (1993)

Kap Shui Mun híd (1997), Lantau sziget - Hong Kong, $L=820$ m központi nyílás 430 m pilonmagasság 133 m. (7. ábra). Ting Kau híd (1998), Hong Kong, $L=1170$ m, központi nyílás $448/478$ m, pilonmagasság 194 m. (8. ábra)



7. ábra. Kap Shui Mun híd, Hong Kong (1997)



8. ábra. Ting Kau híd, Hong Kong (1998)

1.5.3 Alkalmazások Magyarországon

Az előző részben bemutatott hidak kivitelezési munkái 1975 után befejeződnek.

Megkezdődik az üzemeltetési időszak és az öszvérszerkezetek viselkedésének tanulmányozása, mérések elvégzése, amelyek kielemezése után az alábbi megállapításokra jutottak:

- a maximális lehajlások nem feleltek meg a kiszámított értékeknek,
- az alátámasztásoknál az elhajlás nagyobb volt 5%-al mint a számított érték.

A fenti adatok arra a következtetésre utaltak, hogy az előregyártott pályalemezek használata esetében a híd merevsége kisebb, mint a helyszínen öntött vasbeton pályalemez kivitelezésénél.

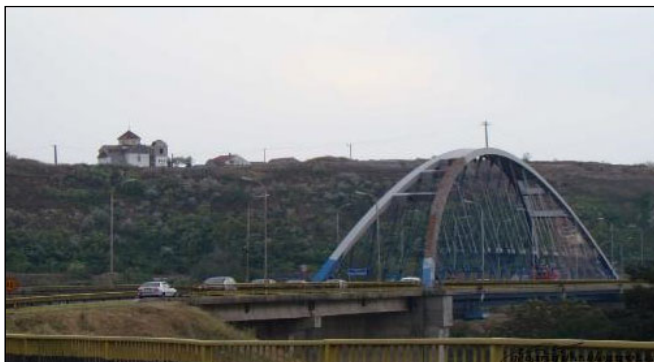
1.5.4 Alkalmazások Romániában

Ebben az időszakban épültek a legfontosabb Duna–Fekete-tenger csatorna hidak a kor legmodernebb követelményei szerint. 1983-ban adják át a medgidiai hidat íves öszvérszerkezetű Langer típusú felfüggesztéssel, $L=131$ m, $B=1,50+14,50+1,50$ m, az acél keresztartók együttműködnek az előfeszített pályalemezzel (9. ábra). 1981-ben adták át a másik, forradalmi, kosárfül tartós öszvérszerkezetű, Nielsen típusú felfüggesztésű közúti hidat, a Basarabi hidat Medgidianál a Duna–Fekete-tenger csatorna fölött, $L=130$ m, $B=1,50+14,50+1,50$ m (10. ábra).



9. ábra

Medgidia, Duna–Fekete-tenger csatorna híd (1983)



10. ábra

Basarabi, Duna–Fekete-tenger csatorna híd (1981)

A Duna–Fekete-tenger északi ágán a Poarta Alba–Midia Navodari ágon 1987-ben két, íves tartós, Langer felfüggesztésű öszvérszerkezetű hidat adtak át Poarta Alba és Ovidiu helységek mellett (11-12. ábra), $L=110$ m, $B=14,50$ m



11–12. ábra. Poarta Alba-Midia-Navodari csatorna, Poarta Alba híd és Ovidu híd (1987)

1983-ben a fő csatorna ág felett átadták az ország első ferdekábeles öszvérszerkezetű hídját, Medgidianál a DN39 Constanta-Mangalia főúton. $L=40,50+162,00+23,00+40,50\text{m}$, aszimmetrikus központi nyílásokkal, két szekrénytartós acél tartóval, acél keresztartókkal és együttműködő vasbeton pályatartóval, $B=1,50+14,80+1,50\text{m}$ (13. ábra)



13. ábra

Duna–Fekete-tenger csatorna, Agigea híd (1983)

1.6 Modern korszak (2000-2025)

Ebben a korszakban teljeseedik ki az öszvérszerkezetű hidak felhasználása, innovatív módon használják fel ezen szerkezet adottságait kihangsúlyozva az esztétikai lehetőségeket, amelyeket ez a megoldás rejteget

1.6.1 Alkalmazások Németországban

Az íves acélhidak alternatívájaként az ezredfordulón kidolgoztak egy, a forgatónyomaték ívet követő tartókkal együttműködő pályalemez öszvérszerkezetet, melyet sikeresen alkalmaztak vasúti hidak kivitelezésénél. Példaként említhetjük az ingolstadti Duna-hídat (2001) (14. ábra) $L=13,42+19,00+22,30+55,15+54,72+19,50\text{ m}$ valamint a brémai Stephanitor felüljárót (2006) (15. ábra). $L=13,00+30,20+13,00\text{ m}$, $M=0,81 - 3,60\text{ m}$



14. ábra

Duna vasúti híd Ingolstadt (2001)
(photo: R Halbe)



15 ábra

Stephanitor vasúti fölüljáró, Bréma (2006)
(photo: M Zimme)

A „Bundesautobahn A46” Nuttlar viaduktot 2015-ben adták át, $L=660$ m ($77,00 + 95,00 + 95,00 + 115,00 + 97,50 + 97,50 + 83,00$), $B=28,6$ m, magassága 115 m (16–17. ábra)



16–17. ábra. Nuttlar viadukt, Nordrhein-Westfalia, A46 Bundesautobahn

2011-ben megszavazták a „Stuttgart 21” fejlesztési programot, amely keretében megépül két új híd a Rosensteinpark és Bad Cannstatt között a Neckar folyó fölött. Az egyik egy új, négy-sávú közúti híd, két, egyenként 75 m központi és három rövidebb nyílással – az öszvérszerkezetű híd a ferdekábeles és az „extradosed” feszített szerkezetek felhasználásának az ötvözetéből alakul ki. A másik pedig egy új öszvérszerkezetű vasúti híd, amely egy vékony acél tartószerkezetre támaszkodik, amely követi a forgató nyomtérkép alakját, $L=345$ m, $B=25$ m (18.-19. ábra). A munkálatok 2014-ben kezdődtek, és 2021-ig tartanak, szakaszos átadással – 2019-ben már gyalogos és kerékpáros forgalom engedélyezésével.



18–19. ábra. Neckar híd Stuttgart-Bad Cannstatt (2021) (animáció: sbp)

1.6.2, Alkalmazások Spanyolországban

Ebben a korszakban kezdődött el a spanyol gyorsvasút (AVE - Alta Velocidad España) hálózat kiépítése. A tervezett 300 km/h sebesség új tervezési megközelítéshez, a műtárgyak merevségi előírásainak betartásához, és új anyagok felhasználásához vezetett. Két példája a fenti követelmények teljesítésének:

- a Sant Boi de Llobregat (2007) viadukt (20. ábra) $L=870$ m : 340m : 44+63+63+63+63+44 öszvérszerkezet + 530 m feszített betontartós szerkezet, $B=17,0$ m, központi nyílás 63 m,
- az „Arroyo las Piedras” (2005) viadukt a Cordoba–Malaga szakaszon Barcelona mellett (21. ábra), amely az első öszvérszerkezetű vasúti híd a spanyol vasúti hálózatban, $L=1208,9$ m ($50,4 + 17 \times 63,5 + 44 + 35$), $H=93,4$ m, központi nyílás 63,5 m.

Az acél tartókat együttműködő előregyártott betonlemezekkel tették zárt szelvénné, ezáltal jelentősen növelve a felszerkezet merevségét és a torziós ellenállást.



20. ábra
Sant Boi de Llobregat (2007) viadukt
Barcelona mellett



21. ábra
Arroyo las Piedras (2005) viadukt
Cordoba–Malaga

Közúti öszvértartós hidakra az alábbi két példát említhetjük, amelyeknél, a támaszokon dupla-kompozit metszetet létrehozva növelték a dinamikus elválkozás ellenállását mind hajlásra mind torzióra.

Az öszvérszerkezetű, dupla-kompozit hidak fő strukturális előnye a hídnak az utolsó határállapotra adott válaszával függ össze. A híd keresztmetszetek az 1. vagy a 2. osztályba tartoznak, nem csak a nyílásokban, hanem pilléreknél is. Így elkerülhetők a végső határállapotban lévő instabilitási problémák: nem csak a tartók alsó részén a betonnal való együttműködésnél, hanem a felső pályalemezt tartó hálóban is, mivel az alacsony semleges tengely pozíciója előnyére válik egy utolsó határállapotban.

Ennek eredményeképpen biztonságosan és gazdaságosan tervezhető, rugalmas keresztmetszeti elemzésel mind a nyíláson, mind az alátámasztásoknál. Még akkor is elegendő kapacitással rendelkezik, ha globális plaszticitást ér el az utolsó határállapotban az elasztó-plasztikus forgás megfelelő szabályozásával, annak érdekében, hogy elkerülje a törekeny instabilitás kockázatát. Ez a dupla-kompozit keresztmetszet strukturális előnye a klasszikus kettős gerenda alternatívájával szemben.

Mijares folyó feletti közúti híd (2004) $L=48+64+48$ m Betexi-Borriolnál (Castellón) (22. ábra) valamint a Jarama folyó feletti híd (2001) Madrid mellett (23. ábra) központi nyílás 75 m.



22. ábra
Mijares híd, Betexi-Borriol, Castellón (2004)



23. ábra
Jarama híd, Madrid (2001)

1.6.3 Alkalmazások Franciaországban

Az öszvérszerkezetű hidak tervezésében és építésében a francia mérnökök kiemelkedőt alkottak ebben a korszakban mind a vasúti mind a közúti szerkezetek esetében. A gyorsforgalmi vasúti hálózat, TGV- Ouest Europa keleti bővítése (1997-2007) során, a Párizs–Strasbourg vonalon, maximálisan igénybe vették a modern, öszvérszerkezetű megoldásokat.

Canal de l'Ourcq (24. ábra) feletti viadukt, $L=452$ m, maximális nyílás 60 m, 8 nyílás valamint a Canal de l'Ouest (25. ábra) feletti viadukt, $L=395$ m, maximális nyílás 41 m, 11 nyílás.



24. ábra
Canal de L'Ourcq viadukt (2004)



25. ábra
Canal de L'Ouest (2005)

A Moselle folyó feletti viadukt (26. ábra) $L= 1510$ m, maximális nyílás 75 m, 27 nyílás valamint a Mosel csatorna feletti viadukt (27. ábra) központi nyílások 54+82+55 öszvérszerkezet a rövid nyílások vasbeton szerkezettel.



26. ábra. Moselle viadukt (2005)



27. ábra. Mosel csatorna viadukt (2005)

1.6.4 Alkalmazások Kínában

Ebben a korszakban is folytatódott a közlekedési hálózat gyors bővítése mind bonyolultabb mérnöki feladatok megoldásával, többek között az együttműködő öszvérszerkezetek előnyös tulajdonságainak a felhasználásával. A Beipanjiang vasúti felsőpályás íves híd (28. ábra) $L=486$ m, nyílása 236 m, $M=275$ m valamint a Wushan, közúti, középpályás íves híd a Yangtze folyó fölött, amely cső elemes tartószerkezete együttműködő acél-beton CFST öszvérszerkezet, $L= 616$ m, nyílás 460 m, $M= 130$ m.



28. ábra. Beipanjiang vasúti híd (2001)



29. ábra. Wushan híd a Yangtze folyó fölött (2005)

1.6.5 Alkalmazások Japánban

Ebben az időszakban kísérleteznek vele, majd széles körben alkalmazzák az öszvérszerkezetek előfeszítését az acél elemekben eredendő feszültségeket hozva létre. Ilyen példa a Himi Yume híd Nagasaki-ban (2004) $L = 365$ m, központi nyílás 180 m (30. ábra). A hidat „extradosed” rendszerben Dywidag technológiával utófeszítették. A Tomoegawa autópálya ikerhidak (2009) Shizuokánál, Kelet: $L = 59,50 + 3 \times 119,00 + 59,50$ m, Nyugat $L = 57,00 + 3 \times 119,00 + 62,00$ m (31. ábra). Ebben a régióban hasonló technológiával készültek a Sarutagawa hidak is.



30. ábra. Himi Yume híd, Nagasaki (2004)



31. ábra. Tomoegawa ikerhidak, Shizuoka (2009)

A Shinkasen gyorsvasúti hálózat kiépítésénél alkalmazott CFST (2000) típusú híd (32. ábra)



32. ábra
CFST típusú híd a Shinkasen gyorsvasút vonalon (2000)

1.6.6 Alkalmazások Magyarországon

Oszlári Tisza-híd (2002) az M3 autópályán (33. ábra), $L=405$ m, a központi (72+112+72 m) a nyílásokat a meder felett öszvérszerkezetű megoldással építették. Budapest nyugati kijáratánál az M1 autópálya felett a Tópark íves felüljáró (2017) $L=50$ m öszvér-szekerénytartós szerkezettel épült meg (34. ábra)



33. ábra. Oszlári Tisza-híd, M3, (2002).



34. ábra. Tópark felüljáró Budapest, M1, (2017)

A Szent István ikerhidakat 2x3 vasúti pálya felett $L=60$ m nyílással építették, helyszínen hegesztett 3 darab I tartóból, monolit a széleken és előre gyártott pályalemezzel a közepén.



35 – 36. ábra

Szent István ikerhidak, Érd (2018)

1.6.7. Alkalmazások Romániában

Pitesti város, A1 autópálya elkerülő szakaszán 12 műtárgy épült (2004-2007), amelyből 3 az Arges folyó (37. ábra) és a Doamnei folyó fölött többtámaszú öszvérszerkezettel készültek el. Az Arges-hidak $L=50+70+50$ m a Doamnei híd pedig 2 külön pályalemezzel 3×60 m, keresztmetszetükben két nyitott szekrénytartóra öntött, együttműködő, vasbeton pályalemezzel rendelkeznek alacsony építési magassággal.



37. ábra
Arges-híd (A1) autópálya (2007)

Az öszvérszerkezetű kerethidakra látványos példa a Campina - DN1, balesetveszélyes útkereszteződés átépítésénél használt megoldás (38 – 39. ábra). A statikai szerkezet 5 darab, egyenként 3x30 m nyílású kerethidat képviselt. A pálya teljes hossza 360 m az 1. valamint 361 m a 2. pályán. A keretek egymásra Gerber típusú alátámasztással fekszenek a pilléreknél. Az acél és a beton közötti együttműködést merev acél csapokkal biztosították. Hosszmetszetben a tartók követték a pálya bonyolult ívét.



38 – 39. ábra
DN1 közúti felüljáró, Campina (2012)

Az együttműködő öszvérszerkezetek további példái a ferdekábeles hidak, amelyekből több is megépült ebben az időszakban.

Az új Agigea híd a Duna–Fekete-tenger csatorna felett (40. ábra), $L=80+200+80$ m központi nyílásokkal, ahol $47+267+46$ m arányban oszlik meg a központi részen együttműködő öszvérszerkezetű – a széleken pedig előfeszített pályalemezzel, melynek keresztmetszete $B=1,00+14,80+1,00$ m. A felszerkezet két zárt acél szekrénytartóból és ezeket összekötő keresztartókból áll, az öszvér részen az acélelemek rugalmas acélcsapokon keresztül kötődnek a beton pályalemezhez. Ezen struktúráknál az öszvérszerkezetű tartók használata lehetőséget ad háromnyílású folytonos tartók szélső nyílásai hosszának a csökkentésére, ezáltal komoly anyagfelhasználás megtakarítást biztosítva.



40. ábra
Új Agigea híd (2016)

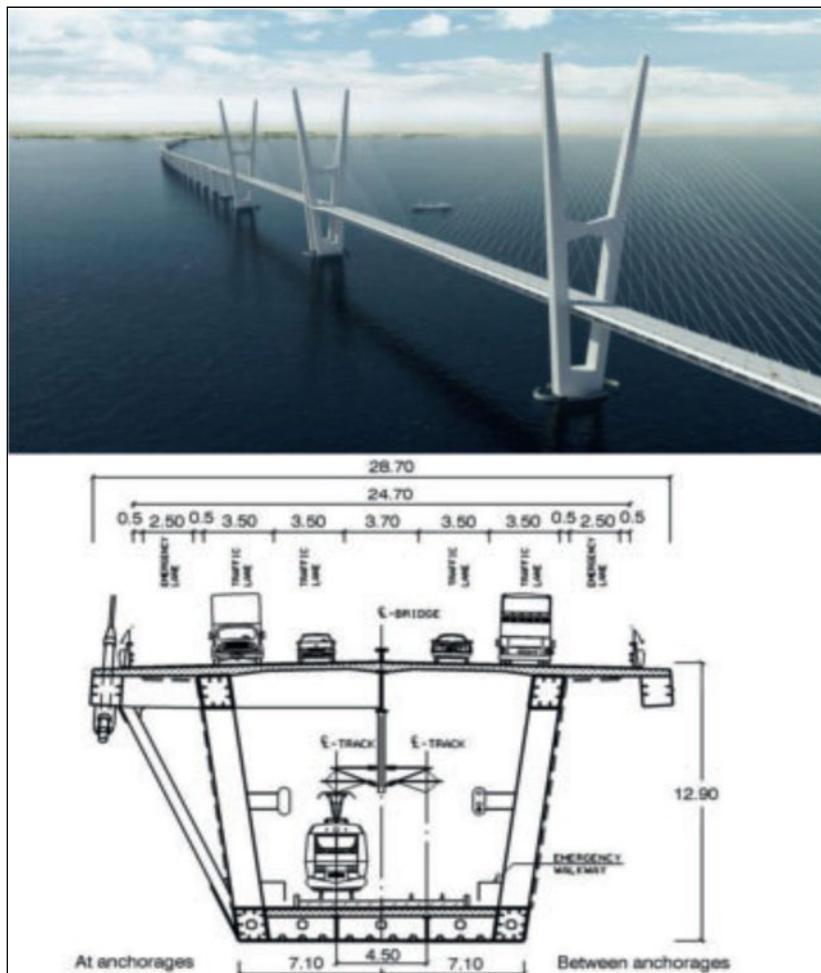
Bukarest, Északi elkerülő, Otopeni felüljáró $L=720$ m, pilonmagasság 47,50 m valamint a Basarabi átjáró Bukarestben a Dambovita folyó és az Északi Vasúti pályaudvar vasút vonalai fölött, $L=1900$ m, pilonmagasság 84 m, pályalemez szélesség 44,50 m



41. ábra. Bukarest Északi elkerülő, Otopeni felüljáró (2011) 42. ábra. Bukaresti, Basarabi átjáró (2011)

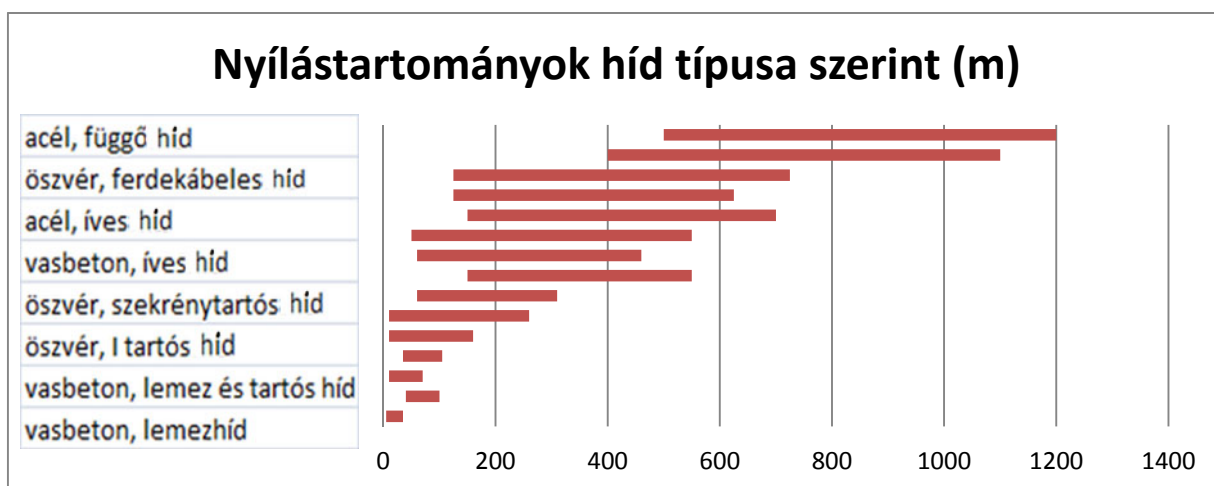
1.6.8. Alkalmazások a jövőben

Fehmarn Belt híd, Németország/Dánia, $L=20$ km, L híd 3 központi nyílás 724 m, $H=280$ m, $B=26,7$ m (43. ábra)



43. ábra
Fehmern Belt híd Németország és Dánia között

2. Optimális, központi nyílás hossz tartományok, hídszerkezetek szerint



3. Következtetések

Az acél-beton kompozit- vagy öszvérszerkezetek a hídepítésben fontos előrelépést jelentenek a fejlődés útján. A két anyag harmonikus együttműködése fontos műszaki-gazdasági előnyökhöz vezet, mint:

- növekszik a szerkezet merevsége a tisztán acél szerkezetekhez képest;
- csökken a szerkezet önsúlya a tisztán vasbeton szerkezetekhez képest;
- lényegesen csökken az állandó és egyben a földrengések által okozott megterhelések mértéke, egyúttal kedvezőbb hatással az alapokra és a felmenőszerkezetre;
- az acélelemek gyárban történő előállításával valamint az egy időben elkezdett infrastruktúra munkálatokkal lényegesen csökken a kivitelezési idő;
- lehetőség közepes és nagy nyílások kivitelezésére komoly akadályok vagy vízfelületek fölött;
- a kivitelezési költségek csökkentése az említett műszaki előnyök figyelembevételével;
- minőségi, esztétikai szempontokat is figyelembe vevő szerkezetek kivitelezése;
- a felhasznált anyagokat a legfontosabb tulajdonságaikat kihasználó helyre lehet helyezni (acélhúzott, beton-nyomott részen);
- eredendő feszültségeket keltve a szerkezetben (feszítettacél-gerenda), csökkenteni lehet a magasságot, és növelni a hasznos terhelést.

Ezen szerkezet negatívumaként az alábbiakat említhetjük:

- magas kezdeti és karbantartási költségek;
- igényes és költséges technológia alkalmazása a kivitelezés során.

FÜGGELÉK

A legfontosabb öszvérszerkezetű hidak (structurae.de)

Neve	Év	Ország	Nyílás
Queensferry Crossing	2017	Egyesült Királyság	650 m
Yangpu Bridge	1993	Kína	602 m
Xupu Bridge	1997	Kína	590 m
Rio-Antirrio Bridge	2004	Görögország	560 m
Ting Kau Bridge	1998	Kína	475 m
Wushan Bridge	2005	Kína	460 m
Queen Elizabeth II Bridge	1991	Egyesült Királyság	450 m
Kap Shui Mun Bridge	1997	Kína	430 m
Nanpu Bridge	1991	Kína	423 m
Fourth Xiangtan Bridge	2007	Kína	400 m

Szakirodalom

- 1 / Régi – és új típusú öszvérhidak
Rózsás Árpád – Bachelor of Science thesis in Structural Engineering, 2010
- 2 / Poduri cu structure mixte cu conlucrare executate in Romania.
Dr. ing. Victor Popa – Revista constructiilor, ianuarie-februarie 2015
- 3 / Integral Railway Bridges – New Bridges in Germany "Die neuen Brücken der deutschen Bahn"
Mike Schlaich, schlaich bergemann und partner, Germany
"22. Dresdener Brückenbausymposium", 2012, Germany
- 4 / Composite bridge design (EN 1994-2)
Miguel Ortega Cornejo, *IDEAM S.A., University "Europea de Madrid", Spain*
Joel Raoul, Large Bridge Division, Setra/CTOA, Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, Paris, France
- 5 / Composite steel-concrete cablestayed bridges: Developments and future trends
Jose J. Oliveira Pedro, Antonio J. Reis – Conference Paper 2013
- 7 / structurae.de – Die größte internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure
- 8 / Wikipédia