

Öszvérszerkezetű hidak Rövid történeti kronológia – I. rész

Steel-concrete Composite Bridges Short Historical Chronology – part I.

Poduri cu structura mixta otel-beton Scurta cronologie istorica – partea I.

MOLNÁR Lajos

doktorandusz
Kolozsvári Műszaki Egyetem
Közlekedésépítő szak

ABSTRACT

The document presents shortly the antecedents of the appearance of composite structure bridges, chronology of the appearance of steel-concrete composite structure bridges and their development phases up to 1975.

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

ÖSSZEFOGLALÓ

A tanulmány röviden ismerteti az öszvérszerkezetű hidak megjelenésének előzményeit, az acél-beton öszvérszerkezetű hidak megjelenésének kronológiáját és fejlődési fázisait 1975 évig.

Kulcsszavak: közlekedésépítés, öszvérszerkezetű hidak, történelmi kronológia

Az öszvérszerkezetű hidak a hídépítés több ezer éves történetének utolsó időszakában, mondhatni utolsó 150 évében, jelentek meg. 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/árú- és személyforgalom növekvő igényeinek kielégítésére.

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

1. ÖSZVÉRSZERKEZETEK ELTERJEDÉSÉNEK KRONOLÓGIÁJA

Emperger elképzelése a súrlódás/tapadásról a két anyag között jellemzi a kezdeti szakaszt (1850-1900 között). Ezt követte az 1900-1925 között kialakulási időszak, amely megalapozta a kerestelemek szerkezeti elkülönülését. A következő (1925-1950) szakaszban felismerték annak fontosságát, hogy a keresztartó elemeknek kötődniük kell a hossztartó elemekhez kezdetben a pozíció megtartása végett, később, mint mechanikus nyíró csatlakozó. A fejlődés klasszikus fázisában, 1950-1975 időszakban a keresztmetszeti kötőelemek számszerűsítésével a szabványosított kísérleteken, és az ezek alapján kialakított elméletek megteremtették a megfelelő körülményeket a több típusú acél-vasbeton kompozit szerkezetű építmények, ipari létesítmények és hidak megvalósítására.



1. ábra:

*Acélgerendák hegesztett csatlakozókkal
az új Herdecke hídon (1951) a Ruhr folyón át
(forrás: Német Szövetségi Közlekedési Minisztérium)*

1.1. Kezdeti szakasz (1850-1900): a kompozit tartó

Az első szerkezetek vas és beton felhasználásával készültek, amelyeket a Monier (Bracher 1949), a betont nem merev vasrudak erősítésével épített szerkezetek követték.

Már 1808-ban Ralph Dodd (1756 – 1822) megkapta a szabadalmat a felfüggesztett padlóra, amely: vas temperöntvény „csövek” fül vagy karimákkal „mesterséges kő”-vel kitöltve alkották az összetett szerkezetet. James Frost padló szabadalma már magában foglalja a „vas bordák” közötti „cement”-el töltött „rekeszek”-et. Nathaniel Beardmore (1816-1872), 1848-ban szabadalmaztatott felfüggesztett padlója szegecselt I-gerendákat és betonnal töltött köztes öblöket tartalmaz, állandó vas zsaluban. A „tűzálló” padló Henry Hawes Fox sikere volt; 1844-ben szabadalmaztatta, és James Barrett forgalmazta öntöttvas, majd 1851-től kovácsoltvas, fordított T- vagy I-gerendák (2. ábra) felhasználásával.

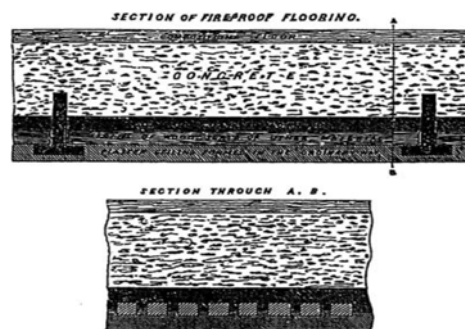
Fox a vasgerendákat a padló feszített részébe helyezte (Hurst 2001), és néha kívül, a padló beton részén, Fox és Barrett tisztában voltak azzal, hogy a padlóban mögöttes stressz folyik. Ezt a szempontot figyelembe véve, William E. Ward 1873-ban tökéletesítette a felfüggesztett padlóit a „Ward vár” emeleteiben, T-gerenda formájában, bár még mindig teljesen betonba foglalva.

Paul Christophe (1902) kortárs műszaki riporter bemutatja, hogy az európai piacon megtalálható számos lemez- és gerendafödemes szerkezet tartalmaz acél részeket, például a *Steinbalkenkonstruktion* (-Fritz Pohlmann), melyben egy aszimmetrikusan hengerelt perforált vaslemezen található a T-gerenda, a perforált lemezen átnyúló vasrudak biztosítják az együttműködést a két anyag között (Emperger 1904) (3. ábra).

Egy másik példa Mathias Koenen (1849 – 1924) káva, később (1892-től körülbelül) bordázott padlója, amelyben a mögöttes acélrészek hordozzák a nyújtófeszültséget, míg a kitöltési beton szakaszok felelősek a nyomóerők átvételéért. A nyírási csatlakozók hiánya ellenére a vizsgálatok igazolták Koenen feltételezéseit a szerkezet viselkedéséről (Christophe 1902).

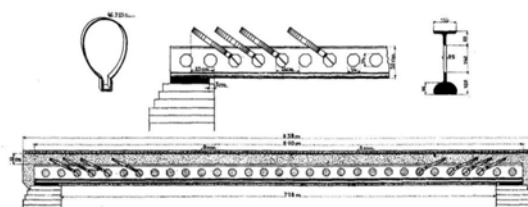
A bécsi mérnök, Josef Melan 1892-ben szabadalmaztatta új födémépítési módszerét, az eljárás azonban a hidépítés területén is gyorsan elterjedt. Merev, függőleges síkban, ellipsziszalakban hajlított, párhuzamosan futó I-gerendákat alkalmazott lágyvasalás helyett illetve annak kiegészítésére, ezeket pedig betonnal öntötte körül. Az újítás lényege, hogy a vas főtartókkal megspórolható a költséges fa állványzat. Az első Melan rendszerű hídszerkezet azonban nem Európában, hanem az Egyesült Államokban épült 1894-ben (4. ábra).

A rock rapids-i híd tervezője Melan barátja és amerikai megbízottja, a cseh származású, von Emperger, aki később továbbfejlesztette Melan elképzeléseit és saját szabadalmat is jegyzett.



2. ábra

Lebegő emeleten öntött vas gerendák Fox & Barrett, pre-1851 (Hurst 2001.)



3. ábra

A Pohlmann emelet, 1901 (Emperger 1904)



4. ábra

Rock Rapids Bridge (1894), Rock Rapids, Iowa, U.S., az első Melan rendszerű híd

1.2. Kialakulási fázis (1900 – 1925): a keresztmettszeti elemek elkülönülése

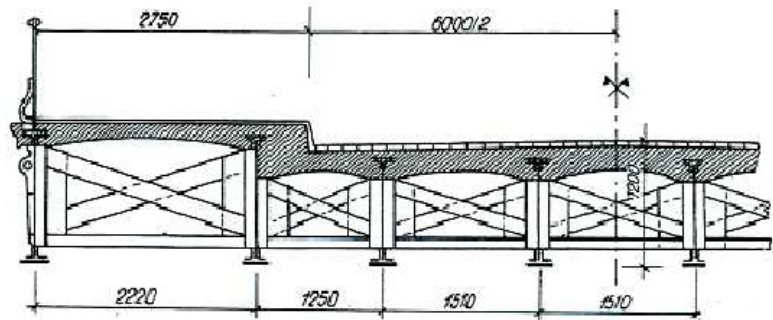
Amint a vasbetont mint szerkezeti anyagot kezdtek el használni (kezdeti dátumnak 1886-ot tekintjük, amikor Mathias Koenen közzétette a vasbeton lemezek tervezési egyenleteit), ezt kompozit anyagnak tekinthettük. Nem tettek különbséget nem-merev és merev megerősítés között; ehelyett, a kompozit akció mérete volt a fontos. Következésképpen mindkét típusú megerősítés teljesen a betonba volt ágyazva.

Hamarosan Európában is megjelentek az első vasgerenda betétes ívhidak, egy szép példa rá az 1888 - 1901 között készült ljubljanai 33,34 m támaszközü Sárkány-híd (5. ábra), melyet Jurij Zaninovics tervezett



5. ábra

A háromcsuklós, vasgerenda betétes beton szerkezetű Sárkány-híd (1904)



6. ábra

A Toulouse melletti öszvérszerkezetű híd (1907), Franciaország

A világ első két együttműködő szerkezetű hídja – ahol már tudatosan kihasználták és törekedtek a két elem együttműködésére – Chambéryben, illetve Toulouse mellett a Canal du Midi felett épült. Az utóbbit $L=30,25\text{m}$ jelentős támaszközzel 1907-ben adták át a forgalomnak, és amint azt a 6. ábrán látható keresztmetszet is mutatja, igen kis szerkezeti magassággal ($L/27$).

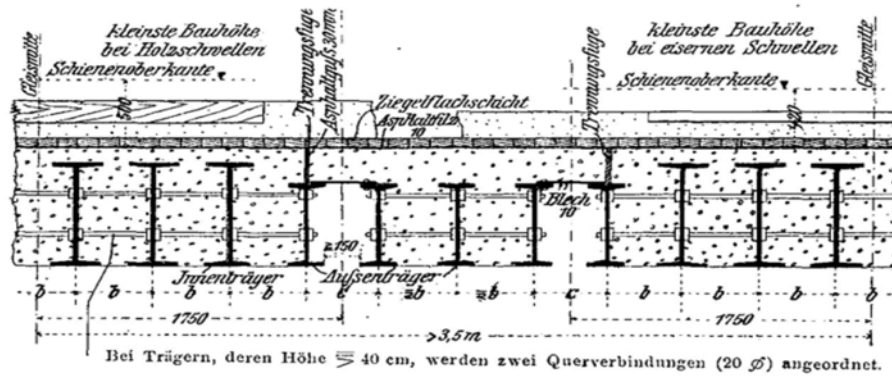
A számításnál az együttműködést csak a hasznos teher egy részénél vették figyelembe, mert szerelésnél állványozást nem készítettek, tehát a betonlemez megszilárdulásáig minden terhet (önsúly, zsaluzat, szerelési terhek) a vasszerkezetnek kellett viselnie. Az első együttműködő szerkezetű hidak megépítésekor a tervezők már tisztában voltak azok gazdasági és műszaki előnyeivel. Ennek ellenére ezek a szerkezetek nem csak, hogy nem terjedtek el, de néhány évtized múlva az acélhiány és a vasbeton szorongató versenye miatt úgyszólván újból fel kellett fedezni őket. Térhódításukat elsősorban a kísérletek hiánya, az elméleti megalapozatlanság és az óvatosság gátolta. Az első világháború kitörése valamint a beton lassú alakváltozásának felfedezése (1915) tovább halasztotta a probléma megoldását

Kiterjedt vizsgálatokat végzett 1907 és 1909 között Carl von Bach (1846–1931) a stuttgarti Anyag-Vizsgáló Intézetben (Emperger 1912) melyek azt eredményezték, hogy sokkal kisebb a „csúszási ellenállás” az acél keresztmetszetekben, mint a nem merev acélrudak esetében.

Ráadásul, mozgás kezdetén az acél részek „megnyitják” a beton felületet. Egy rövid beadványban Koenen is felhívta a figyelmet a „veszélyes nyíró viselkedésre” a betonba foglalt acél elemek esetében. Von Bach és Koenen ezen aggályai elégségesek lehetnek mint az első jelzések a különböző merev elemek kölcsönös elmozdulásának. Mindketten felismerték, hogy a kapcsolat a merev beton és az acél részek között nem kielégítő.

Mindezek ellenére Emperger (1912) mindkét szerkezetre ugyanazon tervezési szabályokat határozott meg, azonban, megemlítette, hogy a merev megerősítés kevésbé van összhangban a vasalt beton természetével, mivel az anyagok befolyásolják egymást – tény, amely sajnos kimarad a tervezési javaslatból. Hager pontosabb volt (1916); ő kifejtette, hogy a nagy gerendában a betonba foglalt elemekben kialakuló feszültségek csak további vizsgálatok elvégzésével határozhatók meg. Így a végső terhelés modell maradt a klasszikus acélszerkezet viselkedése: a hosszanti teherbíró képességet kizárólag az acél, míg a keresztirányú teherbíró képességet a vasalatlan beton biztosítja. A betonba foglalt acélgerendában magasabbra helyezett semleges tengely megengedte, hogy az acélban 10 %-kal nőjön a feszültség

Körülbelül ugyanabban az időben, mivel gazdaságosabb volt a rövid nyílások esetében, a tiszta acéltartós hidakat kezdték felváltani a betonba foglalt hengerelt acélgerendás hidak (7. ábra) (Wolff 1907).

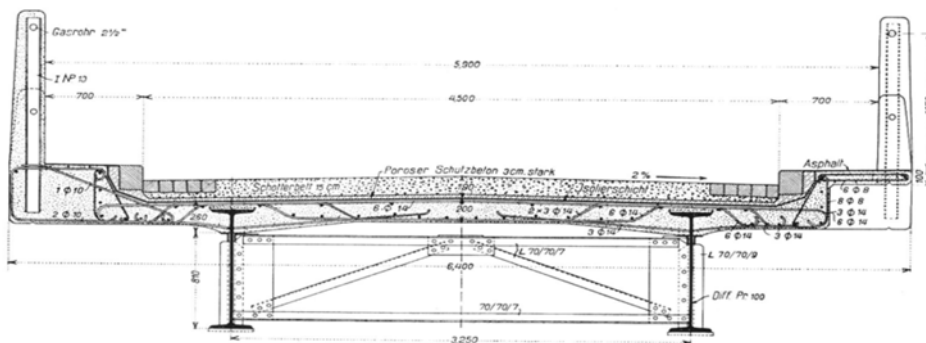


7. ábra

Tipikus vasúti híd keresztmetszet – betonba zárt acélgerendák (Kommerell 1911)

Az Acheregg híd (1914) (Svájcban a Luzerni-tónál), volt az egyik első acélgerendás vasbeton pályalemez híd Európában amely a terhelést egy súrlódás-köteléken keresztül továbbítja (Rohn 1915).

A modern megjelenésű gerenda- és pályalemez keresztmetszet a következő képen látható: kb. 23 cm vastag pályalemez fekszik két 800 mm magas hengerelt acél tartón 3250 mm távolságra (8. ábra). Könnyű acél kereszttrudak kötik össze a hengerelt Differdinger-„Greyträger100 B” tartókat minden 1,10 m-en. A tartók felső talpai körülbelül 20 cm-es mélységben foglaltatnak a vasbeton pályalemez aljába.



8. ábra

Acheregg híd – Luzerni-tó, 1914-ben (Rohn 1915)

1.3. Megerősödés (1925-1950): strukturális kapcsolat az elemek között a keresztmetszetben – áttérés a pozicionálás korlátozásáról a nyíró csatlakozókra

Azon vasbeton földmecnél, amelyek kiöntése nem a tartókkal együtt történik, biztosítani kell az elmozdulás megakadályozását. Ezért szükségessé vált a szerkezeti nyíró csatlakozó rendszer.

Fejlemények Európában

Kezdetben Európában a két anyag súrlódás/tapadás kötelék kölcsönhatása volt a kutatások középpontjában. Az első jelentős méréseket 1924 és 1926 között a svájci Bühler Adolf (1882 – 1951) mérnök végzi a svájci szövetségi vasút (Emperger 1931) égíse alatt. Ezt követte a francia vasúti mérnök, L. Cambournac (1932), és végül R. C. Kolm Svédországban (1936).

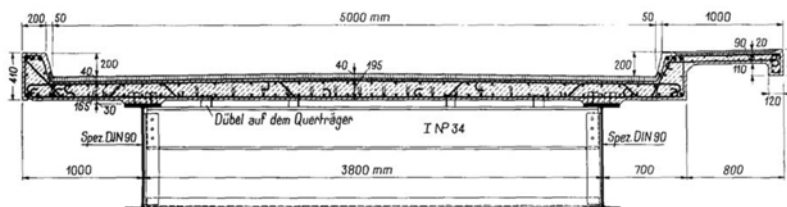
Ugyanebben az időben Otto Schaub, a svájci Biel város vezető mérnöke kidolgozta az „Alpha” acélbeton kompozit építési formát (Voellmy 1934) – egy teljesen kifejlett öszvér megoldás, amelyben az acél tartók nyírásiálló, hullám alakú kerek betonacél elemeken keresztül csatlakozik a fedő vasbeton lemezhez. Mirko Roš kísérletei (1879 – 1962) megerősítették az ilyen nyíró csatlakoznak hatékonyságát. 1934 előtt Schaub már használt erősítésként hegesztett hélixeket közúti hidak esetében – kis közúti híd a Birs folyó felett Laufen-nél és a Jäger híd-nál a Biel-Sonceboz vasútvonal felett (Voellmy, 1934).

Magyarországon komoly előrehaladást jelentett, hogy 1925-től kezdve több elavult közúti híd pályaszerkezetét a régi vas hossztartókhoz mereven kapcsolódó új vasbeton-lemezes pályatáblával erősítették meg. Az együttdolgozásra való tudatos törekvés komoly formában a harmincas években indult meg világszerte

Fejlesztések Svájcban

Annak érdekében, hogy magyarázza a kompozit működését, a svájci Hidak & Vasúti Szerkezetek Gyártóinak Egyesülete (T.K.V.B.H.) úgy döntött, hogy vizsgálatokat indít 1929 körül betonba ágyazott hengerelt acél tartók esetében (Stüssi 1932). Ez volt az első jelentés a kompozit keresztmetszet rugalmas-képlékeny viselkedéséről és egy hatékony súrlódás/tapadási kapcsolat hiányáról a terhelés utolsó fázisában. Az anyag, a csatlakozók teljes mértékben való kihasználása érdekében, Stüssi a „szerkezeti csúszáskorlátozások” beépítését javasolja a felső peremre hegesztett acél elemekkel. Az 1944 évi T.K.V.B.H. konferenciáján beszámoltak a svájci mérnökök vezető pozíciójáról Európában az acél-beton kompozit építkezések vonatkozásában.

A Stahlbau Zschokke AG társaságnál, Fritz Bühler (1891–1959), vezetése alatt az elmélet valósággá vált Európában: a Willerzell viadukt a Sihl tó fölött, (Svájc – 1936) volt az első európai híd amely, csatorna alakú hegesztett nyíró csatlakozókat tartalmazott (9. ábra).



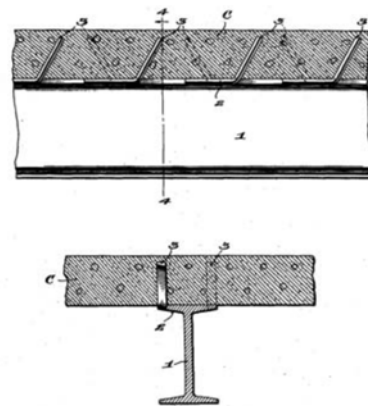
9. ábra

Willerzell viadukt a Sihl tónál 1936-ban – keresztmetszet
(Eitzelwerk, 1934-1935-ben AG)

Fejlesztések az USA-ban

Az első világháborút követően az USA-ban a személygépkocsi- és a gépipar már rendkívül hatékony, karcsú felfüggesztett födém rendszereket igényelt. Julius Kahn már 1921-ben szabadalmi kérvényt nyújtott be egy kompozit tartóra, melyet 1926-ban (Kahn 1926) meg is kapott. Váltakozó, hajlított karimás tartó-szakasz csatlakozik a vasbeton födém formában. Egy modern megjelenésű acél-beton kompozit keresztmetszet (10. ábra) hozott létre: váltakozó, felfelé hajlított, kivágásos elemekkel csatlakozik az acéltartó a felette levő vasalt betonlemezhez.

Nagy léptékű kompozit hídgerenda kísérletekbe fogott Searcy B. Slack 1930 és 1932 között (Slack 1948). Slack tartózkodott attól, hogy tiszta súrlódás/kötélék-et használjon és a nyíró feszültségek átvételére kampó alakú betonacél elemeket hegesztett az acéltartó betonnal érintkező felső talpára. Közvetlenül ezután, 1933-ban a Oregon Állami Autópálya Igazgatóság egy kb. 21.7 m nyílású közúti hidat építtetett, amelynek öt acél tartóját vasbeton kereszt tartókkal kötötték össze, egy rácsot hozva létre. Szegecselt, Z-alakú fülek biztosítják a mechanikus kötést a vasbeton pályaszerkezethez (Paxson-1934).



10. ábra

Kompozit gerenda (Kahn 1926)

1.4 Klasszikus fázis (1950 – 1975): az elemek számszerűsített kapcsolata a keresztmetszetben és a kompozit acél-beton építkezések megjelenése

Röviddel ez után az USA-ban megjelentek az első sikeres acél-beton kompozit hidak a „födém és hosszmerítő híd” formájában, 6 és 24 m közötti nyílásokkal. Ezekben az egyenes vagy ferde acél gerendás vasbeton pályaszerkezetes hidak esetében a vasbeton födém biztosítja a terhek megfelelő keresztirányú elosztását, és ellenáll a nehézgépjárművek „lyukasztó kerékhatás”-ának (Richart 1948). Newark volt az, aki 1938-ban kezdte az ilyen típusú hidak elméleti alapjait kidolgozni, és ezek alapján 1943-ban kiadni az első tervezési elgondolásokat (Newmark és Siess 1943). Kiterjedt vizsgálatokra alapozva Newmark (1948), Richart (1948) és Siess (1948) képes volt röviddel a második világháború után befejezni és közzétenni ezen hidak gyakorlati tervezési elméletét.

Az Állami Autópálya Hivatal Amerikai Egyesülete (AASHO) 1944-ben tette közzé először az acél-beton kompozit híd szabványt.

1948. április 27-én újjáalakult a Szerkezeti Beton Német Bizottsága (DAS_t). Tudva azt, hogy a háború alatt sok acélhíd megsemmisült, és ezek újjáépítése gazdaságosabb és könnyebb lenne az új típusú öszvértartókkal, arra sarkalta a DAS-t, hogy létrehozza a „kompozit tartó” albizottságot, Wilhelm Klingenberg (1899 – 1981) vezetése alatt, aki már 1929-ben, Hugo Junkers mellett belekóstolt a kompozit szerkezetek építésébe. 1949 májusában kezdte el a munkát (Klingenberg 1949) és azonnal meghatározta két nemzetközi konferencia segítségével, 1949 decemberében és 1950 áprilisában (Schleicher & Mehmel 1950) a kompozit építkezés nemzetközi státuszát. Klingenberg átfogó tesztsorozatokat szervezett, hogy megoldásokat nyújtson a még tisztázatlan kérdésekre és két évvel később bemutatta megállapításait (Klingenberg 1952.). Az albizottság első szabvány tervezetét a „közúti hidak kompozit tartóinak tervezését”, már 1950-ben benyújtották. A DIN 1078-at (acél-beton kompozit hídgerendák) 1955-ben valamint a DIN 4239-et (kompozit gerendák épületekben) 1956-ban vezették be.

Franz Dischinger alapvető munkája 1936 és 1939 között szilárd keretet biztosított a tervezéshez, figyelembe véve a kúszás és zsugorodás jelenségét, egyúttal lehetővé tette Dischinger (1949) számára, hogy feszített és feszítés nélküli kompozit tartókat tervezzen

Mintegy 20 évvel később, Sattler (Németország) kiállt az acél-beton kompozit tartó elmélet mellett (Sattler 1953). Sokkal praktikusabb és átfogó számítási javaslatait, az idealizált elasztikus modulus alkalmazásáról, Bernhard Fritz (Schleicher & Mehmel-1950) egy könyvben, „a hídépítő gyakorlat”-ban (Fritz 1961) foglalta össze, melyet örömmel és gyakran használtak.

A kivitelezés megelőzte a kutatást az építőiparban.

Hellmut Homberg (1909 – 1990) (Schleicher & Mehmel 1950) a német acél-beton kompozit hídépítő számára két korai szerkezet formájában újdonságot nyújtott: híd az Agger folyó felett Ehreshoven-nél (1946-1947-ben épült és 1991-ben elbontották és áthelyezték - 11. ábra) és egy másik, az Erft folyó felett Bad Münstereifel-nél (1948-1949-ben épült).



11. ábra
Agger brücke

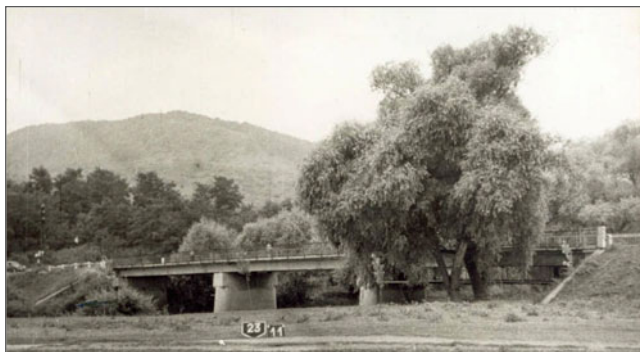
Klingenberg (1949) öt korai szerkezetet nyújt, 1949-ben alsó majnai híd Frankfurtban – építés alatt feszített beton szerkezettel, figyelembe véve az önsúlyt és a hasznos terheléseket.

A Homberg és Dietrich Fuchs által 1951 márciusában átadott Herdecke híd a Ruhr folyón (1. ábra) nagyban hozzájárult az előfeszített acél-beton kompozit hídépítés elterjedéséhez. 1957-re már több mint 60 nagy acél-beton kompozit híd állt a német közúti főútvonalakon. Az 1950-es évek végére a rövid – közép méretű acél-beton kompozit hidak már nem tudnak versenyezni a hasonló nyílású feszített beton hidakkal, ezért ettől kezdve a nagyon karcús, nagy nyílású gerenda hidak építésénél veszik figyelembe őket.

Az öszvérszerkezetek igazi korszaka a második világháború befejezése után kezdődött. Alkalmazási területük a háborús pusztítások és a nagyfokú acélhiány miatt jelentősen megnőtt Európában. Az ötvenes éveket követően az öszvérhidak alkalmazásában lassú, de folyamatos növekedés mutatkozott egészen a nyolcvanas évekig.

Alkalmazások Magyarországon

E korszak Magyarországon is komoly fejlődést jelentett az öszvérszerkezetű hidak alkalmazása területén. A szó mai értelmében vett öszvérhidak Magyarországon a II. világháborút követő óriási méretű helyreállítási munkában épültek először nagy számban, olyannyira, hogy e munkához mintaterv is készült. A szerkezet-választást a háborút követő építőanyag hiány, mindenek előtt a hengerelt acél és az állványanyagként használható fa hiánya indokolta. A jelentős számú (pl. Borsod-Abaúj-Zemplén megyében kb. 40 db), jellemzően 10-20 m támaszközű hídból jó néhány ma is szolgálja a forgalmat. Példa-



12. ábra
A hosszúrégi Sajó-híd

ként érdemes megemlíteni a Vadna közelében épült ún. *hosszúrévi Sajó-hídat*, (12. ábra), amely katonai készletből származó 4 db I 800 melegen hengerelt tartókból épült, vasbeton pályalemezzel folytatólagos háromnyílású szerkezetként. A híd 2003-ig állt szolgálatban, ekkor vált esedékessé egy új híd építése, elsősorban a rávezető út igen rossz, balesetveszélyes nyomvonala és a híd elégtelen teherbírása miatt.

Ma is szolgálatban áll az egymáshoz igen hasonló *szalonnai és edelényi Bódva-híd* (13. és 14. ábra). Ezek érdekessége, hogy bontásból származó 6-6 db I 360 tartó képezi az acél tartó-vázat, amelyen elhelyezkedik a vasbeton pályalemez. A hossztartók együttműködésének javítására a nyílás közepén vasbeton keresztgerendát készítettek. Mivel a 13,00 m támaszközkhöz képest a 360 mm acél-tartó magasság ($l/h=40$) viszonylag csekély, a szalonnai hídnál a vasbeton pályalemez erőteljes kiékelést kapott, így biztosítva a szükséges szerkezeti magasságot. Mindkét hidat a közelmúltban a Pannon Freysinnet Kft. szabad-kábeles feszítéssel megerősítette.



13. ábra
A szalonnai Bódva-híd



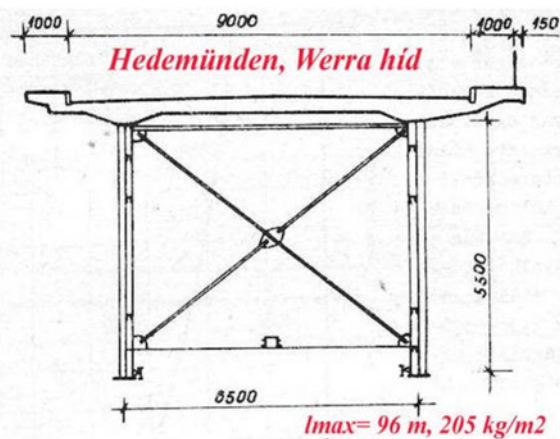
14. ábra
Az edelényi Bódva-híd

A háborús pusztítások zömének helyreállítása után az öszvérhidak építésében szünet állt be. Ennek nyilvánvaló oka az elméleti kérdések tisztázatlansága és a szabályozás hiánya volt. A háború után kiadott első állandó, 1956-ban megjelent Közúti Hídszabályzat egyáltalán nem tesz említést erről a szerkezeti rendszerről. Így a megépült öszvérszerkezeteknél (elsősorban közúti hídpályák) a tervezők nem támaszkodhattak biztos elméleti, szabályzati háttérre.

Az 1950-es évek végén – elsősorban a németországi példák nyomán indult meg a fejlesztő, tervező munka. Az elméleti háttér felderítésében, magyar nyelvű megjelenítésében, a műegyetemi oktatási tananyagként való bevezetésében elévülhetetlen érdemei vannak Dr. Platthy Pálnak.

Az első ízben 1963-ban megjelent, a mérnökképzés céljára írt jegyzete először ad átfogó ismereteket az öszvérhidak szerkezetéről, számítási és elméleti problémáiról, építési módszereiről és hívja fel a figyelmet a szerkezettípus gazdaságos építhetőségére (15. ábra). Részletesen taglalja a rugalmas számítás alapelveit, a méretezési módszer problémáit és megoldását. Foglalkozik a különböző anyagból összetett keresztmetszet rugalmas számításának lehetőségeivel, felvázolja a beton lassú alakváltozásából fakadó problémákat és ezek megoldási lehetőségeit.

Platthy professzor egy 1965-ben kiadott szakmérnök jegyzetben részletesen bemutatja az öszvértartók számításának elméleti hátterét a beton kúszásának és zsugorodásának figyelembevételével. Hozzáférhetővé és számpéldákon keresztül használhatóvá teszi a Fröhlich-féle differenciálegyenlet megoldását kéttámaszú, állandó keresztmetszetű öszvértartóra, majd ennek Sontagtól származó közelítését. Világossá teszi, hogy a gyakorlati munkára ezek az eljárások nem alkalmasak, azonban fontos ellenőrzési és kiindulási pontot jelentenek a közelítő eljárásokhoz. Bemutatja a beton „képzelt” rugalmassági tényezőjével dolgozó Fritz-féle megoldást annak elméleti hátterével együtt, megnyitva az utat a gyakorlati analóg számítás végrehajtásához (ebben az időben hatékonyan használható numerikus számítás még nem létezett!).



15. ábra
Részlet a Platthy jegyzetből

Felvázolja a rugalmas kapcsolóelemekkel készülő öszvértartók számításának elveit és ennek alapvető egyenleteit. Módszert ad a kapcsolóelemek méretezésére.

A tervezési munka szabályozására a KPM Hídosztálya 1958-ban irányelveket („Irányelvek együttdolgozó szerkezetű közúti hidak tervezéséhez,”) adott ki, jórészt a német előírások és tapasztalatok figyelembevételével. Ekkor már 6 éve érvényben volt a vasúti hídszabályzat (VH) és 2 éve az 1956-ban kiadott közúti hídszabályzat (KH). Mind a kettő a méretezés alapjául a mértékadó és a határ-igénybevételek összevetését rendeli el, tehát osztott biztonsági tényezőkkel dolgozik. Mivel az öszvértartók rugalmas méretezésében nincs értelmezve a határ-igénybevétel fogalma (sőt az ezeket leíró keresztmetszeti jellemzők sem), az irányelvek készítésében visszaléptek a feszültségek kimutatásának szintjére, megtartva azonban a mértékadó és határfeszültség összehasonlítását (tehát az osztott biztonsági tényezőket).

Az 1967. évi Közúti Hídszabályzat az első állandó előírás, amely az öszvérhidak tervezésével foglalkozik. A legfontosabb, máig érvényes változtatás, hogy visszatér a megengedett feszültségen alapuló (ún. egységes biztonsági tényezős) méretezési eljárásra. A bevezetést kommentáló cikkében Apáthy Árpád, a közúti hídszabály vezetője így ír erről:

„Acéltartóval együttdolgozó vasbeton szerkezetek továbbá különböző időpontokban készült betonrészekből álló tartót nem lehet a mértékadó és a határ-igénybevétel összehasonlítása alapján méretezni, mivel az egyes igénybevételek esetében más-más tartókeresztmetszet-részek (acél, beton) szélső széleiben keletkező feszültségeket kell kiszámítani, s ezeket összegezni. Ennél az eljárásnál az egyes feszültségek tanítása nem adna megfelelő eredményt, különösen akkor nem, ha ellentétes előjelű feszültség-összetevők fordulnak elő. „

E megfogalmazás a mai napig teljesen helytálló, nem igényel kiegészítést.

A szabályzat az akkori igényeknek megfelelően rendezi a főtartó és pályalemez-hatás vizsgálatát, a vasbetonlemez együttdolgozó szélességének számítását, a szóba jöhető együttdolgoztató kapcsolatfajták számítási módját. A megalkotott szabályozás színvonalát jelzi, hogy az egészen a 80-as évek végéig hatályban maradt. A szakirodalmi, elméleti és szabályzat-készítési munka eredményeként megindul és rohamosan fejlődik az öszvérhidak tervezése és építése az 1960-as évek elejétől mintegy 10 évig, majd csökkenő lendülettel folytatódik 1983-ig. E munka során – a kor adottságaiból következően – szinte kizárólag az UVATERV tervező csapatának alkotásait valósítják meg a kivitelezők. E tervező csapat olyan alkotásokat hoz létre, amelyek úttörők a magyar hidépítés történetében. Az első nagyobb híd az 1962-ben épített *letenyei Mura-híd*, amely magyar-jugoszláv kooperációban jött létre UVATERV tervek alapján (16. ábra)

A folytatólagos gerendahíd teljes hossza 141 m, a nyílásbeosztása 46,50 + 47,0 + 46,50 m. Mint szinte minden hasonló, azonos nyílásokat tartalmazó híd – ez is a régi, kéttámaszú rácsos hidak helyén épült. A híd 4 db. acél I keresztmetszetű főtartón támaszkodó monolit vasbeton lemezből áll. Noha az M7 autópályán a közelmúltban elkészült új Mura-híd leveszi a forgalom egy részét, a híd ma is szolgálatban áll.

Feltétlenül meg kell említeni az 1968-ban épült *endrődi Hármaskörös híd* mederszerkezetét. Az UVATERV tervei szerint a szerkezet kéttámaszú gerenda, 49 m támaszközzel, két szekrény keresztmetszetű főtartóval és 16 cm vastag pályalemezzel (17. ábra). Az akkori idők törekvéseinek és adottságainak megfelelően (rendelkezésre állt az Erzsébet-híd kábeleinek gyártásához beszerzett gépsor) a hidat szabad kábelekkel feszített acélszerkezetként tervezték és építették meg. A feszítés várható pozitív hatásait – mai vélemény szerint – erősen túlbecsülve, az acélszerkezet magasságát, és ezzel a teljes szerkezeti magasságot igen kicsire választották (ez utóbbi 1,55 m, a támaszköz 1/32-ed része), aminek következtében a híd lengésre igen hajlamos volt. Az acél szekrénytartók alsó övét is igen gyengére tervezték, mert az arra jutó húzóerő felvétele a kábelekre volt bízva. A tervezett összes feszítőerő $8 \times 1540 = 12320$ kN volt.



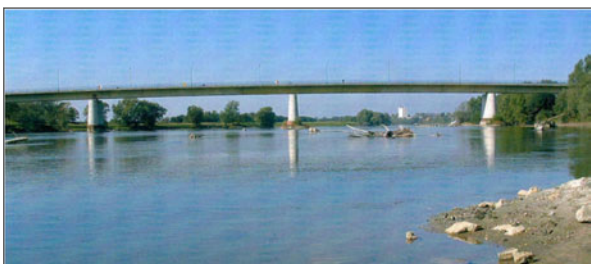
16. ábra
A letenyei Mura-híd



17. ábra
Az endrődi Hármaskörös-híd bontás közben

Mivel az erősítési munkák gazdaságos megvalósítása nem látszott reálisnak, a híd – szerkezetet 2009 nyarán elbontották.

Az öszvérhidak magyarországi építésben fontos mérföldkő az 1969-ben átadott *barcsi Dráva-híd*. A híd az UVATERV tervei alapján, közös magyar-jugoszláv kivitelezésben épült négynyílású folytatólagos gerenda, 69,80 + 70,60 + 70,60 + 69,80 m támaszközzel, 280,8 m összhosszúsággal. Ez ma is az ország második leg-hosszabb öszvérhídja (18. ábra). A támaszköz által indokoltan egy cellás szekrénykeresztmetszet épült (a vasbeton pályalemez alkotja a felső övet), viszonylag nagy ($l/23$) szerkezeti magassággal. A vasbeton lemez elkészítése két ütemben történt: a mezőben segédjármon feltámasztott állapotban, majd a támaszok felett a segédjármokat eltávolítva készült el a lemez. A lemezt a negatív nyomatékkal terhelt szakaszokon a repedések elkerülésére a lemezben vezetett injektált kábelekkel megfeszítették.



18. ábra
A barcsi Dráva-híd



19. ábra
A győri Rába-híd

1970-ben készült el UVATERV tervek alapján a *győri Rába-híd*, amely szintén fontos darabja a magyar öszvérhíd építésnek (19. ábra).

A tervező – kihasználva az elméleti háttér és a hazai ipar adta lehetőségeket – egy különleges hidat tervezett. A híd 57,00 + 67,00 + 57,00 m támaszközzel, 700-as ferdeséggel, 3 db hegesztett I keresztmetszetű főtartóval épült, teljes hosszúsága 181,00 m. Az acélszerkezetet a hídfő mögé szerelték, és hosszirányú behúzással jutatták a helyére. A vasbeton pályalemezt a nyílásokba elhelyezett 1-1 jármon fekvő acélszerkezeten készítették el, majd a beton megszilárdulása után a jármokat elbontották, és a pályalemezt a támaszok felett hosszirányban megfeszítették. Ezen kívül e hídnál (a hazai hidak közül másodikként) szabadkábeles feszítést is alkalmaztak, első ízben tört vonalú kábelvezetéssel. A teljes feszítőerő a három főtartón $3 \times 6 \times 1035$ kN = 18630 kN volt.

Az építésben a bonyolult építési manőverek eredményeinek ellenőrzésére helyszíni mérésekkel a BME Acélszerkezetek Tanszéke is részt vett, Dr. Szittner Antal vezetésével. E mérés során alkalmazták először Magyarországon kiterjedten a beütött acélgolyókon mérő felrakható nyúlásmérőt, az un. Pfender-Setzdehnungsmesser-t. A 18 db. kábelben a terv szerinti kábelerő mérése és beállítása ugyancsak a tanszék feladata volt, amelyet a betervezett menetes száron futó, talpcsapágyon forgó anyával és nyomatékmérő kulccsal valósítottak meg.

A próbaterhelés eredményei közül három megállapítást érdemes kiemelni:

- a kábelerők a járműteher változását csak nagyon lustán követik (azaz nem nagyon vesznek részt annak viselésében);
- a mért lehajlás csak kb. 70%-a a számításnak;
- a vonathatásábrán jól látszik a két szélső főtartó eltérő viselkedése, amit a korabeli számítási módszerek nem tudtak követni. A híd jelenleg is jól működik.

Az 1974-ben átadott algyői Tisza-híd (20. ábra) volt az első olyan folyami híd a háború után, amelyet új nyomvonalon, új átkelési lehetőségként, nem egy régebbi híd kiváltására, pótlására építettek. Elsőként épült öszvérhíd szabad betonozással, vagyis az acélszerkezetet a pályalemez készítésekor segédjármok nem, csak a végleges megtámasztások támasztották alá. Az így készült szerkezetben értelem szerűen a vasbeton pályalemez súlyát teljes egészében az



20. ábra
Az algyői Tisza-híd

acéltartók viselik, ami többlet acél-felhasználással jár, ugyanakkor elmarad a segédjármok építésének költsége. Az algyői híd acélszerkezetét is ennek megfelelően szintén szabad szereléssel, úszódaru segítségével építették.

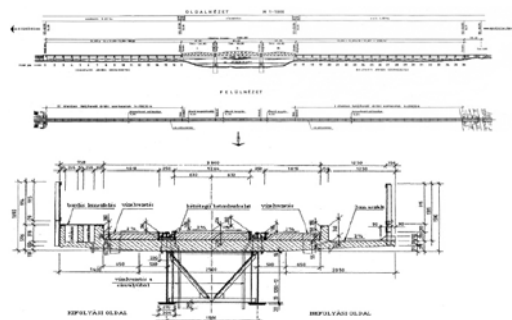
Előrelátó tervezéssel a hidat egy 2x2 sávós átkelés egyik feleként építették meg.

A korát legalább két évtizeddel megelőző koncepció eredményeként született 1976-ban az UVATERV tervei alapján a 20-30 m nyílás áthidalására az ún. *kettős betonövű öszvér gerenda*, melynek néhány példányát az M3 autópálya akkor épült szakaszán építettek be felüljáróként (21. ábra). A terv lényege, hogy az üzemben olyan légmentesen zárt acél szekrénytartókat készítenek, amelyek a helyszínen nem igényelnek vasszerkezeti szerelőmunkát. A gerenda felső, nyomott övét monolit beton, a pályalemezt előregyártott vasbeton panelek képezik. A panelek kialakítása olyan, hogy a helyszíni kapcsolatokat zsaluzás-mentes betonozással lehessen létrehozni. (Németországban néhány évvel ezelőtt kezdtek hasonló acéltartókat alkalmazni, de a pályalemezt ilyenkor az acéltartókon mozgó zsaluzó-kocsin készítik.)

Klasszikus öszvérhíd a Tisza felett átívelő kiskörei vasúti híd (22 ábra).



21. ábra
Az M3 autópálya felüljárója



22. ábra
Kiskörei vasúti híd, hossz-
és ártéri híd keresztmetszete

1974-ben kezdődött meg az öszvértartós ártéri nyílások építése. A hegesztett, egyenként 8 tonnás gerinclemezes ártéri acélszerkezeteket a MÁV Hídépítési Főnöksége gyártotta. A két ártéri hídszakasz kéttámaszú, vasbetonlemezzel együttműködő acélszerkezetű (öszvér) gerendahidak sorozatából áll. A tartók támaszköze általában 11,85 m, ettől csak a két szélső támaszköz tér el kis mértékben. 1976-ban készült el a híd, melynek bár gyártási és szerelési tapasztalatai kedvezőek voltak, máig a MÁV első és egyetlen öszvértartóshídja.



23. ábra
A tahiótfalui Duna híd

Az M3 autópálya felüljáróin kívül ezzel a szerkezettel készült el később két siófoki Sió-híd is.

A *tahiótfalui Duna-híd* (23. ábra), amely az UVATERV tervei alapján 1977-ben készült el, mindmáig egyetlen folyami hídként, amelyen a pályalemez teljes egészében előregyártott, feszített betonelemekből áll. A szerkezet kialakításával kapcsolatban felmerült számos probléma megoldásában laboratóriumi kísérletekkel (az együttműködő kapcsolat célszerű kialakítására), valamint építés közbeni mérésekkel a BME Acélszerkezetek Tanszéke is közreműködött. Az acélszerkezetet segédjármokon szerelték össze, majd a teljes szélességű, kb. 3 m hosszú

előregyártott pályatáblákat autódaru rakta le maga elé, a már elkészült szakaszon haladva előre. A pályatáblákban kihagyott lyukakban hozták létre a kapcsolatot az acéltartóval egyedi, különleges kialakítású, dobozszerű fogakkal, helyszíni kibetonozással. A pályalemezeket a hossz tengely irányában összefeszítették.

Az építés befejezése után a BME Acélszerkezetek Tanszéke a szokásosnál lényegesen kiterjedtebb mérési programmal végezte el a híd próbaterhelését. Ebből két tényt érdemes kiemelni:

- a legnagyobb lehajlások szinte teljesen egyeztek a számítással (öszvérhidaknál a mért érték általában csak a 70-80%-a szokott lenni a számítotttnak);
- a támaszok feletti görbület mintegy 5%-kal meghaladta a számított értékeket, jelölül a feszített pályalemez szakasz számítottól eltérő viselkedésének.

E két tény azt mutatta, hogy a híd merevsége kissé alacsonyabb a monolit pályalemezzel készült hidakénál. Az 1980-as évek fordulóján épült két Szamos-híd (Csengeren és Tunyogmatolcson), majd hosszabb szünet következett.

A modern kori öszvérszerkezetű hidak fejlődését és napjainkban való alkalmazását a következő részben tárgyaljuk

SZAKIRODALOM

- [1.] *On the evolution of steel-concrete composite construction*
Dipl.-Ing. Eberhard Pelke1, Dr.-Ing. Karl Eugen Kurrer – 5th International Congress on Construction History, Chicago, 2015
- [2.] *Steel-concrete composite bridges. General concepts*
David Collings – Published by Thomas Telford Publishing, 2005
- [3.] *Vasbetonlemezzel együttműködő acéltartók*
Dr. Platthy Pál – Műegyetemi Kiadó, 1995, Jegyzet azonosító: 90 363
- [4.] *Öszvér híd építés Magyarországon*
Dr. Szatmári István - BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, 2009
- [5.] *Régi – és új típusú öszvérhidak*
Rózsás Árpád – Bachelor of Science thesis in Structural Engineering, 2010
Wikipédia