

ACÉLSZERKEZETEK

Magyar Acélszerkezeti Szövetség lapja – Journal of the Hungarian Steel Structure Association

FOLYAMATOSAN ÉPÜL A MOHÁCSI DUNA-HÍD



Fotó: Erdeti Mihály – Magyarépitők

A TARTALOMBÓL:

- *Mohácsi Duna-híd – Bal parti ívhidak gyártása*
- *Szakmai beszámolók konferenciákról*
- *Acélszerkezetek korrózióvédelme és tűzvédelme tűzihorganyzással*
- *Nagyméretű és komplex keresztmetszetek sajátfeszültségének mérése kontúrmódszerrel*
- *Innovatív vasút feletti gyalogoshidak*
- *Ferde kábeles hidak pilonjainak kihajlásvizsgálata*
- *Egy világváros hídjai – Isztambul*

GO WELD IT!
WITH CORE.

A hegesztőgépek új
korszaka.

További információért
keressen minket



A MAGÉSZ 2025. december 3-án tartotta szokásos évzáró ülését a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén. Az ülésen az elnökség beszámolt a 2025. év eseményeiről, és egyben vázolta a 2026. év várható munkatervét. Az évzáró ülést Aszmann Ferenc elnök vezette.

➔ A XVIII. Acélszerkezeti konferencia rendezése

2024. júniusában rendezte meg a szövetség XVII. Acélszerkezeti konferenciáját a Dunaújvárosi Egyetemen. A konferencia megmutatta, hogy a szövetség tagjai is fontosnak tartják ezt a kétévente megrendezett eseményt. A tagok aktív közreműködése, a nagyszámú és szakma fejlődését bemutató előadások hozzájárultak a sikeres lebonyolításhoz. Az idei évben, május 27-én tervezzük megrendezni a XVIII. Acélszerkezeti konferenciát. A helyszín a Dunaújvárosi Egyetem. A tradícióknak megfelelően a konferencia előtti estén egy vacsora keretében kívánunk a tagságnak lehetőséget adni egy kötetlen beszélgetésre. Ezúton kérjük a tagságot, hogy a konferencia időpontját rögzítse naptárában, és aktív részvéte-

lével járuljon hozzá a konferencia sikeréhez. Az előadások összegyűjtése már folyamatban van. Aki még csatlakozni kíván az előadókhoz, kérem, jelezze felém:

ferenc.aszman@gmail.com

➔ Az elnökség március 25-én tervezi éves első ülését

Az elnökségi ülés tervezett napirendi pontjai:

- az „Év Acélszerkezete Nívódíj” pályázati anyagok bemutatása, az elnökség döntése a díj odaítéléséről;
- a „Diplomadíj pályázat” pályamunkáinak értékelése, döntés az MSc- és BSc-kategóriák díjainak odaítéléséről
- 2025. év zárása: közgyűlés előkészítése, munkaterv elfogadása. A közgyűlés tervezett időpontja: 2026. május 6.

Szövetségi hírek 1

Mohácsi Duna-híd
– Bal parti ívhidak gyártása 2

Szakmai beszámoló
a 12th International Conference
on Advances in Steel Structures
(ICASS 2025)
& 4th International Symposium
on Industrialized Construction
Technology (ISICT 2025)
konferenciákról 8

Beszámoló
az SDSS'2025 konferenciáról 14

Acélszerkezetek korrózióvédelme
és tűzvédelme tűzihorganyzással . 18

Nagyméretű és komplex kereszt-
metszetek saját feszültségének
mérése kontúrmódszerrel 23

Innovatív vasút feletti
gyalogoshidak. Integrált korlát-
tartószerkezet-érintésvédelem
rendszer két megvalósult példán
keresztül 32

Ferde kábeles hidak pilonjainak
kihajlásvizsgálata 42

Egy világváros hídjai
– Isztambul 51



 **MAGÉSZ**[®]
Magyar Acélszerkezeti Szövetség

A MAGÉSZ Acélszerkezeti Szövetség megrendezi a

XVIII. ACÉLSZERKEZETI KONFERENCIÁT

Dunaújvárosban.

Helyszín: Dunaújvárosi Egyetem.
Időpont: 2026. május 26–27.

Várjuk az előadók jelentkezését
név és előadástéma megjelölésével a
ferenc.aszman@gmail.com
e-mail-címre.

Aszmann Ferenc
elnök

 **MAGÉSZ**[®]
ACÉLSZERKEZETEK
Magyar Acélszerkezeti Szövetség lapja – Journal of the Hungarian Steel Structure Association

MOHÁCSI DUNA-HÍD – BAL PARTI ÍVHIDAK GYÁRTÁSA

Cikksorozatunk előző részében a Mohácsi Duna-híd legnagyobb szerkezeti egységének, a mederhíd acélszerkezetének gyártási kihívásait mutattuk be. Jelen írás ezzel szemben az ártér felett átívelő bal parti ívhidak gyártását ismerteti, amelyek azonos szerkezeti kialakításúak, azonban hosszuk és magasságuk ütemesen csökken. Bár a bal parti ívhidak egyenként kisebb támaszközzel rendelkeznek, gyártásuk és szerelésük komplexitása nem kizárólag a méretükből, hanem a mennyiségükből is adódott. Míg a mederhíd esetében a rendkívüli szerkezeti méretek jelentették a legnagyobb kihívást, addig a bal parti hidaknál az azonos időtartamon belül két hasonló méretű, teljes értékű acél ívhíd gyártása adta meg a feladat nehezét. Az ívhidak geometriai hasonlósága azonban lehetőséget teremtett a sorozatgyártási elvek alkalmazására, még ha a keresztmetszeti kiosztások, az elemek gyártási hossza és a lemezzavastagságok változása miatt minden szerkezeti egység egyedi technológiai megközelítést is igényelt.

A GYÁRTÁS SZEREPLŐI

Az Építési és Közlekedési Minisztérium megrendelése alapján a Duna Aszfalt Zrt. végzi a projekt kivitelezését. A projekt generáltervezője a SPECIÁLTERV Kft. A bal parti ívhidak gyártási munkáit a Duna Csoport gyártóüzeme, a WKS Duna Polska Sp. z o.o. végzi a Duna Aszfalt Zrt. műszaki felügyelete mellett.

AZ ÁRTÉRI HIDAK ALAPADATAI

A 756 méter teljes hosszúságú Duna-híd három kéttámaszú, alsópályás acél ívhíd sorozatából áll, amelyek ívei kosárfül alakban rendeződnek el, és kábelekkal függesztett pályaszerkezetet tartanak. A legnagyobb mederhíd 270 méter, a bal parti két ártéri

híd 250 és 230 méter hosszúságú. A merevítőtartó szerepét maga a pályaszerkezet tölti be. A merevítőtartók 1,65 méter szélesek és 1,80 méter magasak, az ívtartók mérete 1,60 méter széles és változó, 1,60–3,80 méter magasságú. Az ívtartók 13 fokos szögben befelé dőlnek, egymást merevítve, az ívtartók között sűrű felső keresztkötések helyezkednek el. A merevítőtartókat a nagy szilárdságú ferde kábelpárok függesztik fel a hídtengely felé dőlő acélívekre.

Az ortotrop acél pályalemez a közúti pálya alatt 300 milliméter magas trapézbordák erősítik, 600 milliméteres bordatávolsággal. A felfüggesztési rendszert 65 és 70 milliméter átmérőjű „FLC – full locked coil” típusú, villás bekötésű függesztőkábelek alkotják. A kábelrendszer segítségével az ívek karcsúak, a híd oldalnézete pedig légies és arányos. A kábelként működő, valójában sodronyból álló elemek áttetsző megjelenést biztosítanak.

A híd ív- és végkereszttartóinak, továbbá az erősített merevítőtartó-szakaszoknak és a kábelbekötés csomólemezeinek anyagminősége az MSZ EN 10025-4 szabvány szerinti S460 ML, a további tartószerkezetek az MSZ EN 10025-2 szabvány szerinti S355, míg a keresztkötések anyaga az MSZ EN 10210-1 szabvány szerinti S460 MH.

A HÍDÉPÍTÉSI SZOROZAT- GYÁRTÁS BEVEZETÉSE

Minden sorozatgyártás alapja az előzetes gyártástechnológiáknak a meghatározása és részletes megtervezése. A Mohácsi Duna-híd acélszerkezetének gyártása esetében ez különösen indokolt volt, mivel a híd méretéből és szerkezeti kialakításából adódóan ismétlődő gyártási részegységeket és szerkezeti elemeket terveztek. A B2 jelű ártéri hidat az általános keresztmetszeteknél kilenc, míg a támaszkereszttartókat tartalmazó keresztmetszeteknél tizenegy gyártási egységre bontották.

A sorozatgyártás tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a különböző keresztmetszetekhez tartozó elemek

gyártási hossza eltérő, továbbá több esetben lemezzavastagság-változások is történnek. Ennek következtében a hegesztési varratok mérete és kialakítása is módosul, ami a sorozatgyártási jelleg ellenére az elemek gyártását egyedivé teszi.

A gyártás megkezdése előtt hónapokon át folytak egyeztetések a tervezőkkel a gyártmánytervekről, hogy a gyártási dokumentáció minden olyan információt tartalmazzon, amely a későbbi munkafolyamatokat egyértelművé és átláthatóvá teszi az irodai és műhelyi munkatársak számára.

Ezzel párhuzamosan folyamatos technológiai egyeztetések zajlottak a termelési és gyártástechnológiai területek között. Az egyes elemtípusok gyártási folyamatait lépésről lépésre áttekintették, meghatározva az egyes technológiai lépéseket úgy, hogy a felesleges munkafázisok kizárhatóak legyenek. Egy ilyen volumenű projekt esetében már a legkisebb felesleges munkafázis is jelentősen megnövelheti a gyártási időt és költséget. Meghatározták a legideálisabb csarnokrendezést, valamint azt, hogy az egyes összeállítási műveleteket mely síkpadokon és összeállító sablonokon készítsék, figyelembe véve azt, hogy a projekt több éven keresztül tart (1. kép).

A gyártás-előkészítés során a hegesztési osztály a gyártmánytervek alapján meghatározta az egyes alkatrészek, adott hegesztési művelethez szükséges előkészítési módját. A gyártástechnológia rögzíti az adott lemezek esetében alkalmazandó bázisokat és gyártási ráhagyásokat, figyelembe véve a további megmunkálási és szerelési folyamatokat. Ezen információk birtokában elkészítették a lezárási programokat, valamint elhelyezték a szükséges lelezési utasításokat az előkészítő csarnokokban, annak érdekében, hogy a gyártásban dolgozók naprakész és pontos információkkal rendelkezzenek.

A technológiai egyeztetések eredményeként részletes összeállítási és hegesztési utasítások készültek, amelyek egyértelműen meghatározzák, hogy az adott munkaállomáson mely alkatrészek összeállítása és hegesztése





1. kép: Csarnokrészlet kialakítása pályaszerkezetek gyártásához

történik, valamint kiegészítő információkat tartalmaznak az összeállítás során figyelembe veendő egyéb szempontokról.

Az elemek gyártása a különböző alkatrészek előállításával kezdődik. A sorozatgyártás alapelve, hogy az alkatrészek a megfelelő időben és a megfelelő helyen álljanak rendelkezésre. A csarnokon belüli állomásokat és összeállító sablonokat – ahol az alkatrészek összeállítása és hegesztése történik – már korábban meghatározták, ezért az előkészítő csarnok ütemezését ennek megfelelően alakították ki, annak érdekében, hogy minden alkatrész a megfelelő időpontban a kijelölt csarnokrészbe kerüljön.

30 mm lemezvastagságig 3D plazmavágó berendezést alkalmaztak, mivel az élkiképzés nagy része a gép programozási lehetőségeinek kihasználásával elvégezhető. A plazmavágó segítségével a lemezeken feljelölték a különböző bordák és lemezek pozícióit is. A pályalemezek esetében feljelölték a trapézbordák helyeit, míg a kereszttartók és gerinclemezek esetében a merevítőbordák pozícióit. Ez a lépés jelentősen megkönnyíti az elemek összeállítását és növeli a termelékenységet. A vastagabb lemezek esetén lángvágásos technológiát alkalmaztak, a későbbi előkészítéseket pedig félautomata lángvágó traktorral végezték.

VÉGKERESZTTARTÓK GYÁRTÁSA

A Mohácsi Duna-híd gyártása során az egyik legnagyobb nehézséget a végkereszttartók, valamint a hídfők közelében elhelyezkedő egyéb szerkezeti elemek gyártásának megkezdése jelentette. Az elemek jelentős vastagságú, S460M minőségű szerkezeti acélból készültek. A bordák, a gerinclemezek és az övlemezek vastagsága jellemzően 50 és 80 mm közötti volt. A nagy lemezvastagság és az S460M

alanyag együttesen indokoltá tette a hegesztést megelőző előmelegítés alkalmazását a repedésveszély csökkentése és az egyenletes hőbevitel biztosítása érdekében. Különös figyelmet igényelt az összeállítási és hegesztési sorrend pontos meghatározása, mivel a bordák közötti távolság mindössze 350 mm volt. A hegesztőnek körülbelül 700 mm mélységben kellett a felmelegített lemezek közé benyúlnia, úgy, hogy hozzáférjen és lássa az ívet ahhoz, hogy minőségi varratokat készíthessen (2. kép).



2. kép: Végkereszttartó bordák hegesztése



3. kép: Végkeresztartós elem kiszállítás előtt

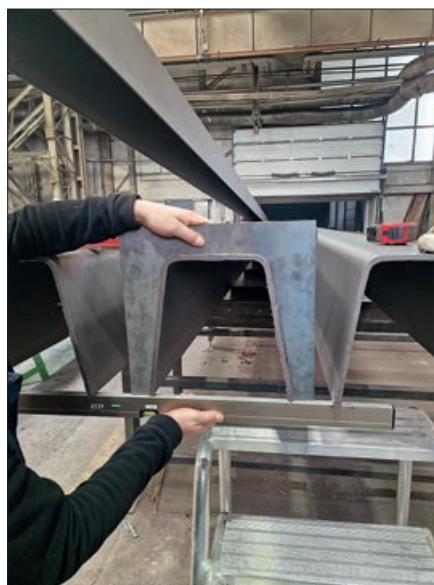
A hegesztési munkák során kiemelt figyelmet kapott a hegesztési sorrend meghatározása, mivel a jelentős varratmennyiség és a többretegű varratkialakítások fokozott torzulási kockázatot hordoztak. A megfelelő hegesztési sorrend és technológiai következettség biztosította, hogy a gyártás során a geometriai eltérések a megengedett tűréseken belül maradjanak, minimalizálva az utómunkálatok szükségességét. Az elemeken kialakított hegesztési varratok döntő többsége teljes beolvadású varrat volt, ezért a minőségi követelményeknek megfelelően az ellenőrzést ultrahangos vizsgálat (UT), adott esetben radiográfiai vizsgálat (RT) végezték (3. kép).

PÁLYASZERKEZET-GYÁRTÁS I. ütem

A tömör gerincű főtartók és az ortotrop pályaszerkezetek gyártását a lemeztoldásokkal kezdték. A nyersanyagok közúton érkeztek az alapanyagraktárba, ami méretkorlátokat szabott a beszállított elemeknek. Ennek következtében a gyártmányterven szereplő alkatrészek egy része gyakran terven kívüli toldásokat igényelt. Ezekhez a lemeztoldásokhoz a tervező külön előírásokat határozott meg. Például tilos volt a toldásokat a trapézbordák által takart területeken kialakítani, illetve a bordáktól számított 100 mm-es környezetben sem lehetett elhelyezni őket. A lemeztoldások elkészítését követően az elemeknél a hosszmerítő bordák összeállítása és hegesztése következett.

A trapézbordák pályalemezekkel történő összeállítása a gyártási folyamat fontos lépése, amely során különös hangsúlyt kap a bordák pontos pozicionálása. Ennek oka, hogy a későbbi szerelési fázisok során a kereszt-

tartóknak hézagmentesen kell csatlakozniuk a trapézbordákhoz. Az ártéri híd pályaelemein összesen hat darab hosszmerítő borda található. A gyártás megkezdése óta a trapézbordák geometriáját folyamatosan ellenőrizték a beszállító által megadott tűréshatárok figyelembevételével (4. kép). A hosszmerítő bordák elhelyezését és beállítását követően azokat meghegesztették.



4. kép: Trapézborda geometriájának ellenőrzése sablon segítségével

A gyártási és fejlesztési folyamatok összefüggéseinek bemutatása érdekében a következőkben rövid kitérőt teszünk, majd a későbbiekben visszatérünk a pályaszerkezet összeállításának részleteire.

FEJLESZTÉS A PROJEKTRÉ

Az ortotrop hídszerkezetek gyártása hosszú, ismétlődő hegesztési varratok elkészítését igényli, amelyekkel szemben magas minőségi, ismételtetőségi és termelékenységi követelmények

állnak. A trapéz alakú merevítők esetében a feladatot tovább nehezítik az elemek méretei. Az egyes pályaelemek hossza elérheti a 20 métert, szélességük pedig jelentős kihívást jelent a hegesztőberendezések mobilitása és a technológiai stabilitás szempontjából.

A Mohácsi Duna-híd projekt jól szemlélteti ezt a problémát. Csak a trapézbordák hegesztési varratainak összhossza meghaladja a 42 kilométert, amelyhez a tömör gerincű főtartók merevítőbordáinak varratai is hozzáadódnak, tovább növelve a hegesztési varratok teljes hosszát. Ekkora volumen esetén a megfelelő hegesztési technológia kiválasztása és a gépesítés mértéke kulcsfontosságú a gyártási hatékonyság, a kezelők biztonsága és a projekt kivitelezhetősége szempontjából. Korábban a hasonló hegesztési feladatokhoz az ESAB A6DK gépet alkalmazták, amely előnye ellenére több hátránnyal is rendelkezett. Minden hegesztés megkezdése előtt precíz beállításokra volt szükség, hogy a gép megfelelően illeszkedjen a trapézbordákhoz. A hegesztési folyamat közvetlenül nem volt megfigyelhető, mivel az ívet fedőpor takarta. A hegesztőfej geometriájának beállítása nehézkes volt, és bármilyen módosítás a hegesztés megszakítását, majd újraindítását igényelte. A gép mobilitása korlátozott volt. Minden egyes trapézbordahegesztés megkezdése előtt a gépet daruval kellett áthelyezni és pontosan pozicionálni. A kezelőnek továbbra is a bordázott lemezen kellett közlekednie, ami munkavédelmi szempontból kockázatot jelentett. További hátrány volt, hogy a gép közvetlenül a hegesztett szerkezeten haladt, így a felületi egyenetlenségek közvetlen hatással voltak a varrat minőségére. Emellett a hegesztőanyag-költségek magasabbak voltak a hagyományos MAG eljáráshoz képest. A Mohácsi Duna-híd projekt hegesztési volumene és a korábban alkalmazott technológia korlátai miatt úgy döntöttek, hogy a csarnokba kifejezetten hegesztésre kialakított állomást telepítsenek oszlop-gémes (column boom) hegesztőrendszerrel, kiváltva a korábban alkalmazott nehéz hegesztőtraktort (5. kép). A cél nemcsak a termelékenység növelése, hanem a folyamatstabilitás, a rugalmasság és a kezelői biztonság javítása volt. A tervezés kezdeti szakaszában több alapvető követelményt rögzítettek. A rendszer munkaszélességének le kellett fednie a Mohácsi híd legszélesebb pályaelemeit. A koncepció kidolgo-

zása során az oszlop és a karok kinyúlását 3800 mm-ben határozták meg, ami szükségessé tette egy, a hegesztendő elemek geometriájához igazított, egyedi alátámasztó szerkezet kialakítását. Az állomást úgy tervezték, hogy egyszerre legalább két pályalemez befogadására legyen alkalmas. Az oszlop-gém rendszer egy 42 méter hosszú sín pályán mozog, amely 40 méteres effektív munkahosszt biztosít. Ez a kialakítás lehetővé teszi a hosszú, megszakítás nélküli varratok készítését minimális áthelyezéssel (6. kép). A rugalmasság kiemelt szempont volt a rendszer tervezése során. A rendszer átkonfigurálható különböző szerkezeti elemek, például merevítőbordák, dobozszerkezetek és kisebb H tartók hegesztésére is. Sarok- és tompavaratok egyaránt készíthetők PA és PB helyzetben, így az állomás nem csak a Mohácsi Duna-híd projekt elemeinek gyártására alkalmas. Az oszlop-gémes rendszer egyik legnagyobb előnye, hogy az egész hegesztőállomás egyetlen kezelővel üzemeltethető. A funkciók többsége függesztett kezelőpanelnél vezérelhető, ami jelentősen javítja az ergonómiát és minimalizálja a kezelő mozgását a hegesztett szerkezeten (7. kép). A fedőporvesztés minimalizálása érdekében a rendszer visszanyerő egységgel és központi tárolótartállyal rendelkezik, csökkentve az anyagfelhasználást és növelve az utántöltések közötti időtartamot. A stabil hegesztési körülmények biztosítása érdekében a tartály fűtött kivitelű. A huzaladagolás hordós kiszerelésből történik a hagyományos tekercsek helyett, növelve a folyamat folytonosságát és csökkentve az állásidőt.

MEREVÍTŐTARTÓK GYÁRTÁSA

A merevítőbordák hegesztését követően, a főtartók összeállítása során a következő lépés a dobozszerkezet összeállítása és hegesztése (8. kép). A doboz alakú szerkezetek hegesztése során kiemelten fontos volt a hegesztési sorrend előzetes meghatározása, mivel a szerkezet könnyedén megcsavarodhat, és a geometriai eltérések később nehezen vagy egyáltalán nem javíthatók. A kérdést a technológiai megbeszéléseken előzetesen tisztázták és az első gyártott elemeknél nemcsak a hegesztési utasítások álltak rendelkezésre a dolgozók számára, hanem folyamatos mérnöki felügyelet is biztosított volt. Az első gyártá-



5. kép: Oszlop-gémes (column boom) hegesztőrendszer



6. kép: Trapézborða hegesztése



7. kép: Oszlop-gémes hegesztőrendszer kezelőpanel



8. kép: Dobozszerkezet összeállítása és hegesztése

si lépéseknél a mérnöki felügyelet kiemelten fontos volt, mivel kérdés vagy probléma esetén azonnali beavatkozásra nyílt lehetőség, továbbá az észrevételek alapján lehetőség volt a későbbi gyártási folyamatok optimalizálására. A dobozszerkezetek belsejében végzett hegesztés külön kihívást jelentett a hegesztők számára. Munkavédelmi szempontból a zárt térben végzett munka fokozott kockázatot hordozott, emellett nehézséget jelentett a hegesztőgép és a vezetékek dobozon belüli mozgatása. A könnyebb munkavégzés érdekében, a tervező engedélyével, a felső öveken további búvónyílásokat alakítottak ki, amelyet az üzemben, a belső hegesztési munkák befejezését követően lezártak.

Az egyik legnagyobb kihívást a főtartók gyártása során a kábelbekötő furatok és a körülöttük elhelyezkedő alátétlemezek összeállítása jelentette.

A főtartó kialakítása olyan volt, hogy a felső övlemezekon található kivágásokon keresztül kellett átvezetni a gerinclemezekon elhelyezett kábelbekötéseket. A kivágások mérete azonban nem volt elegendő, ha az alátétlemezeket előre felhegesztették. Ezért olyan megoldást kellett kidolgozni, amely lehetővé tette a fülek tűrésezett furatainak kialakítását a gyártás végső lépéseiben. Ennek érdekében egy hordozható tengelyfurat-fúró gép beszerzése mellett döntöttek, amely biztosítja a terv szerinti furatok elkészítését a megadott tűréshatárokkal (9. kép). A dobozszerkezet lezárását követően az elemekre felhelyezték a keresztartókat, valamint a konzoljárda-elemeket. A hegesztések befejezését követően a varratok tömörségét nyomáspróbával ellenőrizték, igazolva, hogy a hegesztett kötések megfelelnek a vonatkozó műszaki előírásoknak (10. kép).



9. kép: Hordozható tengelyfurat-fúró gép



10. kép: Tömörésgvizsgálat

PÁLYASZERKEZET-GYÁRTÁS II. ütem

A pályaelemek trapézbordáinak hegesztését követően a gyártás következő lépése a keresztartókkal történő összeállítás. A keresztartók időben párhuzamosan készültek a pályaelemek hegesztésével. A keresztartókra több merevítőbordát, kivágási övlemez, búvónyílást és járdafogadó lemezt kellett elhelyezni. Mivel a trapézbordákat a korábban említett, megfelelő pozícióba állították és geometriai kialakításuk egységes volt, a módosítással ellátott keresztartók az összeszerelés során kellő pontossággal illeszkedtek a trapézbordákhoz. Ez különösen fontos volt, mivel a legtöbb esetben kétoldali a4-es sarokvarrat volt előírva. A hegesztések során a pályaelemek síklapúságának tűréshatáron belül tartása érdekében különféle segédszerkezeteket alkalmaztak (11. kép). Ezáltal csökkenteni lehetett a gyártás végén szükséges egyengetési munkálatokat, és biztosították, hogy a helyszíni szereléshez megfelelő geometriájú elemek álljanak rendelkezésre. A készre hegesztett elemeket a pozícióba forgatást követően gyártmánytervi méretre vágták, ekkor vágták le a kezdeti alkatrészgyártás során hozzáadott gyártási ráhagyásokat is. Mivel a pályaelemek önmagukban nem kellően merev szerkezetek, a szállítás során további merevítőgerendákat alkalmaztak.

KORRÓZIÓVÉDELEM

A mederhíd korrózióvédelmének műszaki követelményeit korábbi cikkünk már részletesen ismertette. A korrózióvédelmi előírások megegyeznek



11. kép: Segédszerkezet a pályalemez merevítéséhez

mindhárom hídnál. Az acélszerkezetek gyártása szempontjából viszont fontos megjegyezni, hogy a zárt szekrénytartók varratait légzáró módon kellett kialakítani, ezért a tartót a gyártási folyamat során külön lezárt szakaszokra bontották. A lezárás előtt a tartó belsejében minimalizálni kellett a levegő páratartalmát. A zárt teretek nyomáspróbája biztosította, hogy a rendkívül alacsony oxigéntartalom miatt belső korrózió ne alakuljon ki,

így belső festés nem szükséges. A beépített távfelügyeleti rendszer folyamatosan méri az oxigénszintet.

ZÁRSÓ

A bal parti ártéri ívhidak gyártása során a hangsúly nem a rendkívüli méreteken, hanem a gyártási folyamatok összehangolásán, az ismétlődő szerkezeti elemek következetes kezelésén és a geometriai pontosság folya-

matos biztosításán volt. A projekt jól megmutatta, hogy a sorozatjellegű gyártás még egyedi hídszerkezetek esetén is alkalmazható, amennyiben a technológiai előkészítés kellő alapos-sággal történik.

A hegesztési technológiák tudatos megválasztása, a gyártási sorrendek optimalizálása, valamint a minőségi szempontok szigorú ellenőrzése lehetővé tette, hogy a hídelemek nagy mennyiségben és megbízható minőségben, időben elkészüljenek. A gyártás során szerzett tapasztalatok nemcsak a Mohácsi Duna-híd megvalósításához járultak hozzá, hanem hosszú távon is értékes iránymutatást adnak.

A cikksorozat következő része a befele dőlt ívek és a X rácsozású, cső ívösszekötők gyártását, előszerelését fogja bemutatni.

A borítókép Erdei Mibály – Magyar-építők felvétele, a további képek a szerzők saját képei.



12. kép: Bal parti ívhíd elemei a helyszínen

SZAKMAI BESZÁMOLÓ

a 12th International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS 2025) & 4th International Symposium on Industrialized Construction Technology (ISICT 2025) konferenciákról

2025. december 9–12. között rendezték Szingapúrban az ICASS 2025 és az ISICT 2025 konferenciákat (1. ábra). A konferenciákon 280 előadás hangzott el a 3 nap során 7 párhuzamos szekcióban. A konferenciák résztvevői elsődlegesen Délkelet-Ázsiából és Kínából jöttek. A rendezvény mottója: *Az intelligencia, a technológia és a teljesítmény integrálása a következő generációs acélszerkezetek és az építőmérnöki technika területén.* A szervező a Szingapúri Nemzeti Egyetem Építő- és Környezetmérnöki Tanszéke volt.

Az ICASS2025 konferencia témakörei

Nagy teljesítményű acélananyagok és -szerkezetek

- Újszerű szerkezeti acélprofilok, elemek és csatlakozások;
- Konstitutív modellezés;
- Csavarozott és hegesztett csatlakozások, az elemek viselkedése;
- Extrém terhelések.

Ütés és robbanás

- Tűz;
- Acél magas hőmérsékleten;
- Acél alacsony környezeti hőmérsékleten;
- Fejlett kísérleti módszerek;
- Fejlett numerikus elemzések.

Acél-beton kompozit szerkezetek

- Teljesítményalapú tervezés;
- Hidegen formált acélok;
- Alakmemória ötvözetek;
- Rozsdamentes acélok;
- Additív gyártás;
- Fáradás és törés;
- Hegesztési maradó feszültségek.

Mesterséges intelligencia acélszerkezeteknél

- Károsodásérzékelés és állapotfigyelés;
- Moduláris építés;
- Stabilitás és dinamika;
- Kihajlásnak ellenálló rácsrudak;
- Acél szeizmikus terhelés alatt;
- Nagyméretű acélszerkezetek.

Az ISICT 2025 konferencia témakörei:

Fejlett és fenntartható építőanyagok

- Építési automatizálás és robotika;
- Digitális építkezés;
- Épületinformációs modellezés;
- Fenntartható és környezetbarát építési gyakorlatok;
- Építési biztonság és egészségügyi monitoring;
- Moduláris és helyszínen kívüli építkezés.



1. ábra: A konferenciák nyitóelőadásán készült kép

Intelligens építkezés

- Additív gyártás az építkezésben;
- Gyártás- és összeszerelés tervezése;
- Előregyártott szerkezetek;
- Volumetrikus építkezés;
- Moduláris szerkezetek kapcsolatai;
- Előregyártott vagy moduláris szerkezetek szeizmikus tervezése;
- Robbanás és ütközés.

Az alábbiakban néhány cikket ismertetek, melyek érdekesek lehetnek szakmai szempontból.

Tanulmány az I szelvényű acélgerendák kombinált tűz- és ütésterhelésnek való kitettségről

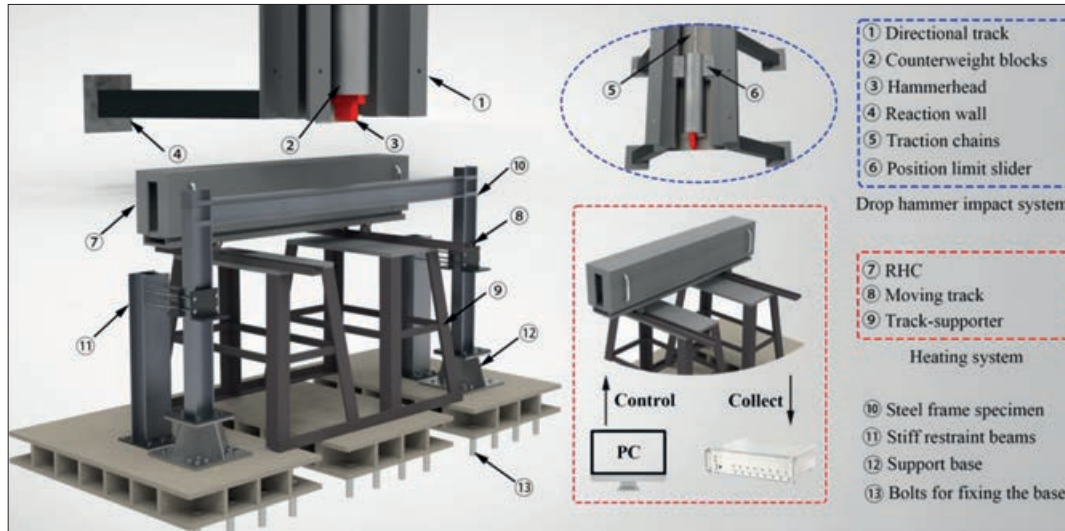
Yuxu Guo, Feng Xi és Bo Yang, Chongqing University, Shandong Jianzhu University, Kína

Az acélgerendák magas hőmérsékleten való dinamikus viselkedésének és a hőmérséklet hatásának vizsgálata érdekében acélgerendákon magas hőmérsékleten ütőkalapácsos vizsgálatokat és numerikus szimulációkat végeztek (2. ábra). Három végeelem-modellt hoztak létre az elemkapcsolási módszer segítségével, és numerikus eredmények ütésdinamikai viselkedése előrejelzésének megbízhatóságát és alkalmazhatóságát vizsgálták. A kísérletekben megfigyelt tönkremeneteli módok alapján egy általánosított képlékeny folyási kritériumot javasoltak az I szelvényű keresztmetszetekhez, amely figyelembe veszi az axiális erő és a hajlítónyomaték szinergikus hatását, és a teljes keresztmetszet képlékeny deformációját veszi alapul.

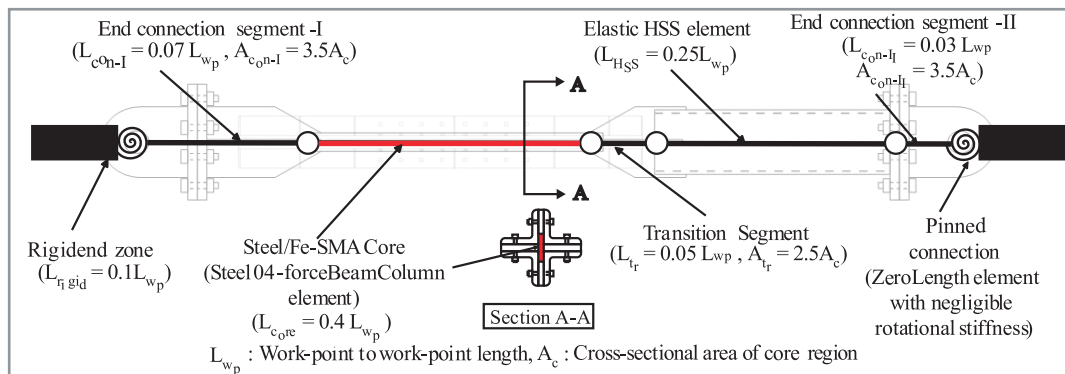
Különböző utómerevségű, kihajláskorlátozott merevített vázszerkezetekre vonatkozó szeizmikus követelmények

Subbrajyoti Jena és Dipti Ranjan Saboo, Indiai Műszaki Intézet, Új-Delhi, India

A kihajlásnak ellenálló rácsrudak (buckling-restrained braces BRB) közel szimmetrikus hiszterézis tulajdonságaik miatt segítik a magasabb szeizmikus terhelések enyhítését. A folyáshatár feletti nagy merevségű BRB-k segíthetnek csökkenteni a maradó alakváltozásokat, amelyek gyakran megfigyelhetők a hagyományos, acélmagon alapuló BRB-knél. Az innovatív anyagok, mint például a vasalapú alakmemória-ötvözet (Fe-SMA), előnyt jelentenek magasabb folyás utáni keményedési jellemzőikkel. Az OpenSees segítségével 20, a törésvonal közelében mért talajmozgás-készlet alapján vizsgálták a Fe-SMA és az acélmaggal ellátott BRB-kkel felszerelt alacsony és magas épületek szeizmikus viselkedését. A tanulmányban csökkentett maghosszúságú és rugalmas viselkedésű hibrid BRB-ket használtak. Megvizsgálták a Fe-SMA maggal rendelkező BRB-k (FSBRB) előnyeit, amelyek magas folyás utáni merevséggel rendelkeznek, és csökkentik a maradó alakváltozásokat az acélmaghoz képest, valamint az emelt közötti alakváltozásokat a keretek magassága mentén. A BRB-k magas utómerevségi jellemzője azonban megnöveli a többi keretelemre nehezedő igénybevételeket, ami nagyobb elem méreteket tesz szükségessé. Ezért a FSBRB-k hatását a maximális merevítőerő és az oszlopok tengelyirányú terhelésének növelésére is vizsgálták és összehasonlították az acélmagos BRB-kkel (SBRB) ellátott keretek eredményeivel (3. ábra).



2. ábra: Az ejtőkalapácsos ütésvizsgálat kísérleti felépítése



3. ábra: Hibrid BRB-k numerikus modellje

Acélszerkezetek újrahasznosítása az életciklus környezeti szempontjából

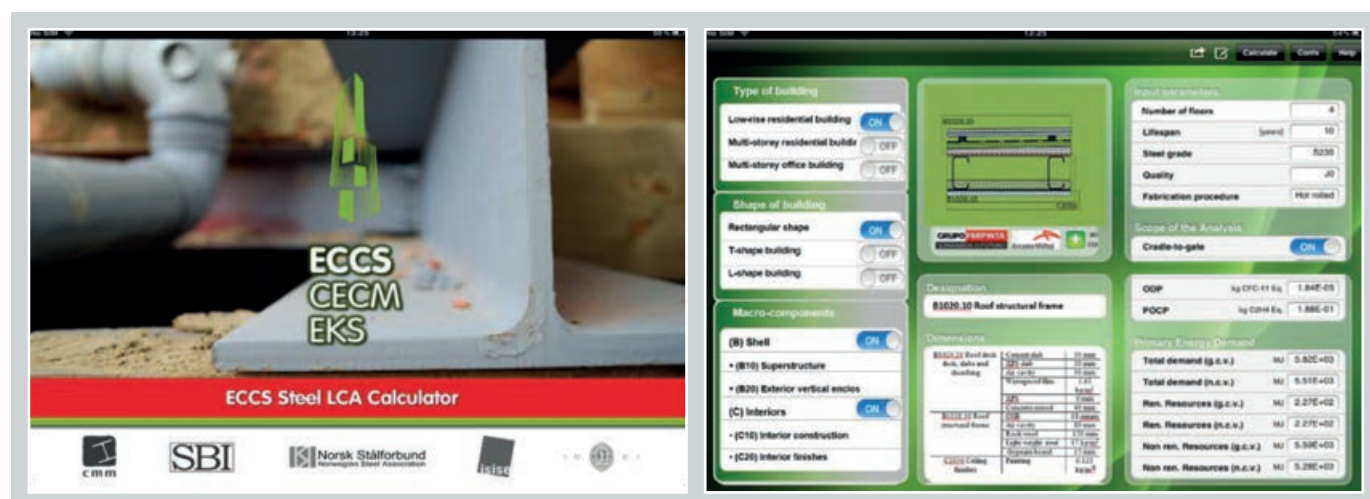
Helena Gervasion, Luis Simões da Silva és Petr Hradil, *ISISE, Coimbrai Egyetem, Coimbra, Portugália, VTT Műszaki Kutatóközpont, Espoo, Finnország*

Az ADVANCE projekt a szerkezeti acélelemek újrahasznosításának lehetőségeit vizsgálja, mint a hagyományos újrahasznosítás kiegészítő stratégiáját. Útmutatást nyújt az integrált termelési és ellátási láncok kialakításához, lehetővé téve a beépített energia jelentős csökkentését a körforgásos gazdaság elveinek alkalmazásával. Ez a tanulmány a projekt legfontosabb eredményeit ismerteti, különös tekintettel az életciklus-környezetvédelmi megközelítésre, amely az acél újrahasznosítását és újrafelhasználását egyaránt kezeli az élettartam végi szakaszban (4. ábra). Bemutatja továbbá az ADVANCE projekt keretében továbbfejlesztett eszközt, amely magában foglalja ezt az LCA alapú módszertant. Egy esettanulmány bizonyítja, hogy az acélszerkezetek újrahasznosításának és újrafelhasználásának kihasználása jelentős CO₂-kibocsátás-csökkenéshez vezethet, támogatva ezzel Európa éghajlat-politikai céljait.

Acélkorrózió észlelése egy újszerű Bayes-féle U²-Net segítségével

Yangxiao Zheng, Zhiyuan Fang *Mérnöki Kar, Waikato Egyetem, Hamilton, Új-Zéland*

Ez a tanulmány egy újszerű szemantikai szegmentációs keretrendszert javasolt, amely egy megvilágításhoz alkalmazkodó előfeldolgozási folyamatot, a Global-Local Fusion + Low-Light Image Enhancement (GLF + LIME) és a Bayesian U²-Net (BU²-Net) kombinációját mutatta be, hogy elősegítse a pilóta nélküli légi járművek (UAV)-alapú korróziós ellenőrzés két fő területének fejlődését: (1) a teljesítmény csökkenése egyenetlen megvilágítás esetén és (2) a prediktív bizonytalanság. Változatos Bayes-féle konvolúciós rétegeket építettek be az U²-Net kódolóba, hogy javítsák annak robusztusságát és enyhítsék a regularizációt egy kis mintavételi hullámban, amely nem alkalmaz teljes valószínűségi következtetést. A tanulmány egy nagy felbontású adatbázist használt, amelyet pixel szintű annotációval láttak el az értékeléshez. A 45 független betanítás kísérleti eredményei azt mutatták, hogy a BU²-Net átlagosan 75,1% F1-pontszámot, 60,4% metszéspont-átfedést (IoU) és 71,5% visszahívási arányt ért el, miközben az összes futás során



4. ábra: Az épületek életciklus-elemzéséhez használt egyszerűsített eszköz műszerfala



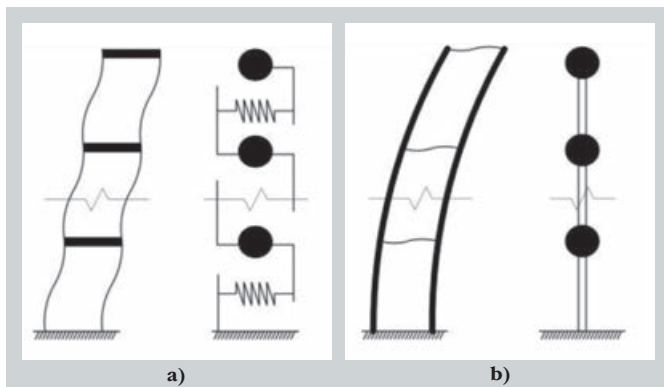
5. ábra: Hasonló mintázatú háttérinterferencia esetén történő észlelés

a legalacsonyabb szórásértékeket mutatta. Az eredmények megerősítették, hogy a keretrendszer segíthet javítani mind a betanítás stabilitását, mind a prediktív konzisztenciát vizuálisan komplex megvilágítási körülmények között (5. ábra), ezáltal a korrózió helyének azonosítását.

Egységesített és egyszerűsített modell épületekhez: költséghatékony szerkezeti elemzés magasépületeknél

Jingjing Wang and Yuqiang Zheng,
Guangzhou University, Guangzhou, China

A magasépületek numerikus szimulációi kihívásainak kezelése érdekében ez a tanulmány egy újszerű, egyszerűsített modellt javasol, amely minden emelet magasságán diszkretizálja a szerkezeti tömeget, és a függőleges komponenseket – például az oszlopokat és a nyírófalakat – párosított hajlítógerendákként egyszerűsíti. A modell nyíró-, hajlító- és hajlító–nyíró típusú deformációkat is figyelembe vesz, így egységes megközelítést kínál, csökkentve a számítási igényt (6. ábra). A hatékonyság további növelése érdekében a szabadságfokokat (DOF) Guyan-redukcióval sűrítik, csak az emeletek elmozdulásait tartva meg. A Taipei 101



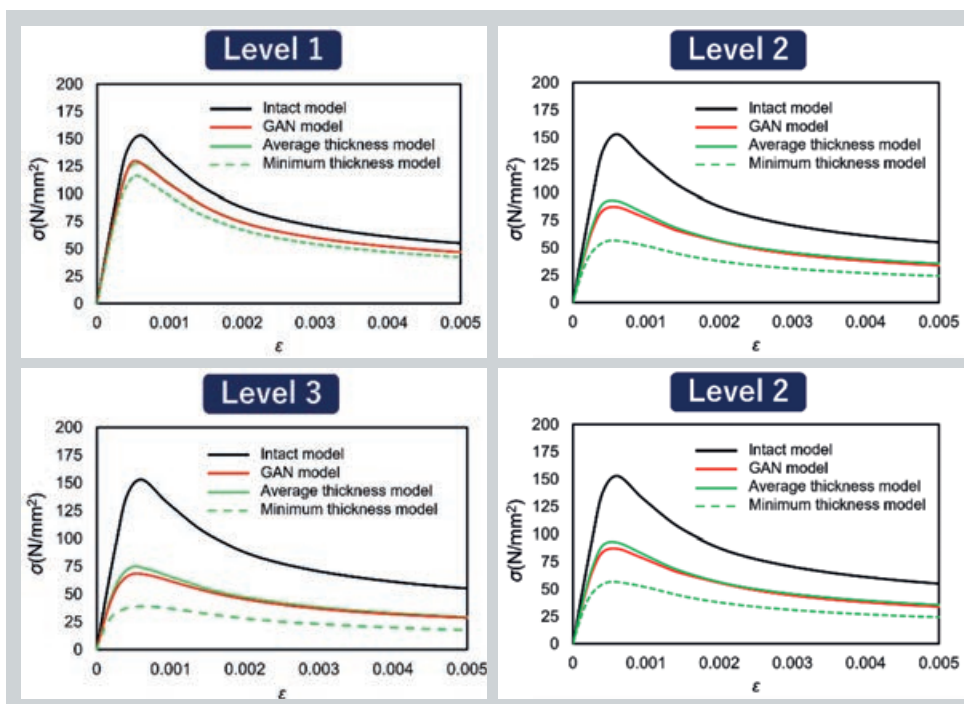
6. ábra: Egyszerűsített modellek: a) nyíró típusú modell és b) hajlító típusú modell

torony esettanulmányként szolgál a modellezési folyamat bemutatására és a deformációtípusok és a szabadságfokok hatásának értékelésére. Különböző DOF-okkal rendelkező nyíró típusú, hajlító típusú és hajlító–nyíró típusú modelleket hoztak létre, és összehasonlították a válaszokat, beleértve a legfelső emelet elmozdulásait és az emeletek közötti eltolódási arányokat, amikor a szerkezetet szeizmikus talajmozgásnak teszik ki. Az eredmények hasonló legfelső emeleti elmozdulásokat, de jelentősen eltérő emeletek közötti eltolódási arányokat mutatnak a különböző modellek között, ami aláhúzza a megfelelő deformációtípusok és a pontos szerkezeti elemzéshez szükséges DOF-ok kiválasztásának fontosságát.

A korrózió okozta vastagságcsökkenés hatása az acéllemezek nyomószilárdságára

Ayane Sato, Feng Jiang és Mikihito Hirohata,
Mérnöki Kar, Oszakai Egyetem, Japán

A korrózió jelentősen befolyásolja az acélszerkezetek szerkezeti integritását, ami gyakran a teherbíró képesség jelentős csökkenéséhez vezet, és komoly biztonsági kockázatot jelent. A korrózió okozta romlás pontos előrejelzése és értékelése ezért elengedhetetlen a proaktív karbantartás és a szerkezeti megbízhatóság szempontjából. Ebben a tanulmányban generatív ellentétes hálózat (GAN) alapú megközelítést alkalmaztak a különböző súlyosságú korróziós felületi profilok valósághű ábrázolásához. A GAN egy gépi tanulási modell, amelynek célja, hogy a meglévő képzési adatkészletekből mintákat tanulva valósághű adatokat generáljon. Ezeket a GAN által generált szabálytalan felületi profilokat ezután integrálták a végelemelemzésekbe, hogy átfogóan vizsgálják azok hatását az acéllemezek rugalmas-képlékeny viselkedésére monoton nyomóterheléses körülmények között. Összehasonlítást végeztek a részletes korróziós modellek és a hagyományos, egyenletes vastagságcsökkentési megközelítések között (7. ábra). Az eredmények azt mutatták, hogy a szabálytalan korróziós mintázatok jelentősen megváltoztatják a



7. ábra: Feszültség–nyúlás diagramok minden korróziós súlyossági szint esetében

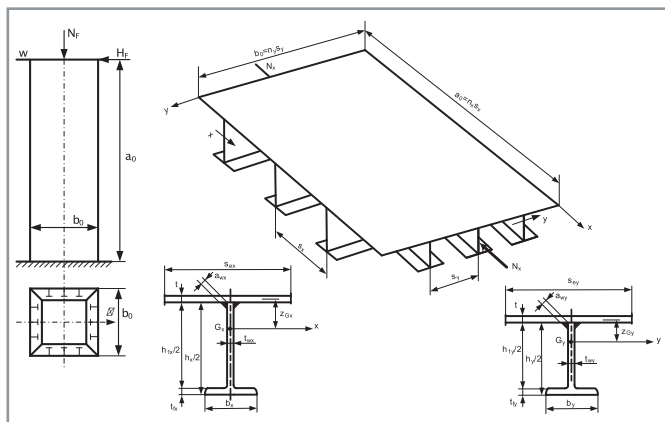
szerkezeti teljesítmény előrejelzéseit, különösen közepes vagy súlyos korróziós körülmények között, rámutatva az egyszerűsített módszerekben rejlő túlbecsülés kockázatára. Ez az integrált megközelítés, amely a mélytanuláson alapuló korróziós előrejelzést numerikus szimulációkkal kombinálja, nagyobb pontosságot biztosít a szerkezeti integritás értékelésében, és értékes információkat nyújt az infrastruktúra karbantartásához.

| | | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Level 4 |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Corrosion depth (mm) | Average | 0.662 | 1.686 | 2.319 | 2.719 |
| | Max | 1.046 | 2.910 | 3.678 | 5.740 |

Ortogonalisan merevített szekrényszelvényű oszlop tervezése minimális költségre

Jármai Károly, Miskolci Egyetem, Magyarország

Egy négyzetes keresztmetszetű, ortogonalisan merevített oldallemezekkel ellátott, konzolos oszlop költségminimálását mutatták be (8. ábra). A méretezési feltételek az oldallemezek kihajlását, a lemezelemek helyi horpadását, valamint a vízszintes erő által az oszlop tetejénél okozott



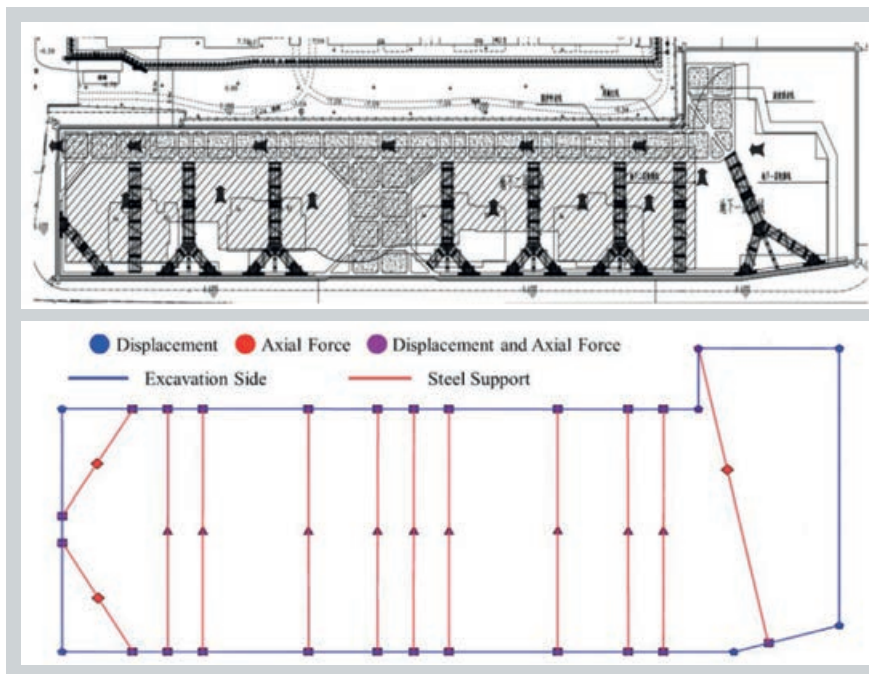
8. ábra: A szekrényszelvényű oszlop és a bordázott lemezfal kialakítása

vízszintes elmozdulását tartalmazták. Mindkét irányban félbevágott hengerelt I profilból készült merevítőket használtak. A költségfüggvény figyelembe veszi az anyag-, hegesztési és festési költségeket. A változók a fedőlemez vastagsága és szélessége, valamint a merevítők mérete és darabszáma mindkét irányban. Különböző acélminőségeket használtak. Különböző gyártási költségeket hasonlítottak össze. Az optimalizálási folyamatnál a részecske csoport algoritmust (PSO) alkalmazták. Kimutatták, hogy a folyáshatár növelésével (355, 460, 690 MPa) kismértékben csökkenthető a szerkezet tömege, valamint azt, hogy növelve a fajlagos gyártási költségeket (növekvő munkabér) ez hogyan befolyásolja a szerkezeti méreteket.

Mélyalapozásos acélmerevítő rendszerek intelligens monitoringrendszerének optimalizálása gráfkonvolúciós hálózatok használatával

Qian Guo, Yongding Tian és Zhixiang Yu, Építőmérnöki Kar, Southwest Jiaotong Egyetem, Chengdu, Kína

A mélyalapozásos acélmerevítő rendszerek monitoringrendszerének tervezése régóta a mérnöki tapasztalatokra támaszkodik, ami észszerűtlen érzékelő-elhelyezést, túlzott monitoringköltségeket és a kritikus területek elégtelen lefedettségét eredményezi. Javasolnak egy grafikus konvolúciós hálózatokon (GCN) alapuló intelligens monitoring-pont-optimalizációs módszert, amely a monitoringtervezési problémát grafikus csomópont-osztályozási feladattá alakítja. Létrehoztak egy 192 ásatási algráfot tartalmazó mérnöki adatbázist, és egy többfeladatos GCN modellt terveztek, amely egyszerre képes előrejelezni az axiális erő monitoringját, az elmozdulás monitoringját és a monitoring prioritását (9. ábra). A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a javasolt módszer jelentős javulást ér el a hagyományos megközelítésekhez képest. A magas visszahívási arány biztosítja a kritikus pontok teljes lefedettségét, miközben jelentősen csökkenti a redundáns megfigyelési pontok számát. A mérnöki esetek elemzése azt mutatja, hogy a módszer jó gyakorlatiassággal és gazdasági előnyökkel rendelkezik.



9. ábra:
a) Mérnöki acél tartószerkezet elrendezési terv,
b) GCN által generált ellenőrzési pontok és élcsatlakozások

Néhány kép a konferenciáról



BESZÁMOLÓ AZ SDSS'2025 KONFERENCIÁRÓL

BEVEZETÉS

2025. szeptember 8–10. között Barcelona adott otthont az acélszerkezetek kutatóinak és tervezőinek egyik legjelentősebb nemzetközi eseményének, az **International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures (SDSS'2025)** konferenciának. A konferencia célja, hogy fórumot biztosítson az acél- és öszvérszerkezetek stabilitása és duktilitása területén elért legújabb elméleti, numerikus és kísérleti kutatási eredmények megvitatására és terjesztésére. Kiemelt szerepe volt az acélszerkezetek elemzésével és tervezésével kapcsolatos új koncepcióknak és eljárásoknak, valamint a közelmúltban közzétett szabványokban és előírásokban szereplő, illetve azok következő verzióiba felvételre kerülő szabályok és ajánlások háttérének, kidolgozásának és alkalmazásának.



1. ábra: A konferencia helyszíne, a World Trade Center

Az SDSS'2025 konferencián több mint kétszázan vettek részt, közel 30 országból. Az esemény valódi nemzetközi fórum, ahol Európa szinte minden régiója, valamint Amerika, Ázsia és Ausztrália is képviseltette magát.

A rendezvényt a Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) szervezte, a Structural Stability Research Council (SSRC) és az European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) szakmai támogatásával. A rendezvényt a World Trade Center (WTC) kikötő konferenciaközpontban tartották. Az SDSS-sorozat hosszú múltra tekint vissza: az első eseményt 1972-ben Párizsban rendezték, majd az elmúlt évtizedekben olyan helyszínek követték egymást, mint Lisszabon (2006), Rio de Janeiro (2010), Temesvár (2016), Prága (2019) és legutóbb Aveiro (2022). Hazánk korábban már több alkalommal házigazdája volt a rendezvénynek, és a sorozat következő állomása 2028-ban is Budapesten lesz.

A TÉMAKÖRÖK

A tengerparti városban három napon át több mint kétszázan vettek részt összesen hat délelőtti plenáris előadáson, hét tematikus szekcióban és egy kerekasztal-beszélgetésen. A klasszikus acél- és öszvérszerkezetek szerkezeti és stabilitási kérdésektől kezdve a fenntarthatóságon és a 3D-nyomatott acélszerkezeteken át egészen a mesterséges intelligencia építőipari alkalmazásáig minden témába betekinthtünk.

A rendezvényt a konferencia főszervezője, Esther Real Saladrigas, az UPC professzora nyitotta meg. A délelőtti plenáris előadásokat neves professzorok tartották, melyek jelentősen növelték az esemény színvonalát. Elsőként Prof. Katherine A. Cashell (University College London) a reziliens acélszerkezetek fejlesztésének új irányait, valamint a tüzesetekből levont tanulságokat mutatta be. Prof. Leroy Gardner (Imperial College London) a hibrid acélszerkezetek és az additív gyártás ötvözésének lehetőségeiről beszélt, bemutatva, miként kapcsolható össze a hagyományos építéstechnológia és a jövő 3D-nyomatott világa. Prof. Helena Gervásio (University of Coimbra) a körforgásos gondolkodás fontosságát hangsúlyozta előadásában, rávilágítva az acélszerkezetek újrahasznosítási, de legfőképpen az újrahasználati potenciáljára. Prof. Daniel G. Linzell (University of Nebraska-Lincoln) az amerikai gyakorlat példáin keresztül mutatta be, hol tart jelenleg az acélstabilitási kutatás az Egyesült Államokban, míg Prof. Kim Rasmussen (University of Sydney) a huzalíves additív gyártás (Wire-Arc AM) szerkezeti modellezésének és megbízhatóságának legújabb kutatási eredményeit ismertette. Végezetül Belén Riveiro (University of Vigo) előadása a digitális adatfeldolgozáson alapuló módszerek fejlődését mutatta be régi acélhidak szerkezeti állapotának biztonságos és hatékony felmérése témában.

A konferencia gyakorlatorientált kerekasztal-beszélgetését Prof. Esther Real (UPC) vezette, amelynek célja az volt, hogy közelebb hozza egymáshoz az mérnöki gyakorlati innovációt és a szabványalkotást, hiszen a két világ gyakran

más tempóban és más logika szerint fejlődik. A panel izgalmas esettanulmányokkal indult: Alejandro Lorca (L35 ARCHITECTS) bemutatta a madridi Santiago Bernabéu Stadion rozsdamentes acélhomlokzatának kulisszatitkait, ahol a formai innováció és a szerkezeti racionalitás ritka, látványos egyensúlyt alkot. Jose Serna (ESTEYCO) a különböző iparágakból hozott példákat az acél sokoldalúságáról, míg Guillem Baraut (SOCOTEC) a fenntarthatóság jegyében azt hangsúlyozta, hogy az innováció ma már nemcsak lehetőség, hanem környezetvédelmi kényszer is. Kiemelte, hogy gondos tervezéssel akár 40%-kal csökkenthető a tartószerkezetek karbonlábnyoma, míg a költségek változatlanok maradnak. Előadásában különös hangsúlyt fektetett arra, hogy a szerkezeti elemek közvetlen újrafelhasználása (reuse) fenntarthatósági szempontból messze hatékonyabb megoldás, mint az újrahaznosítás (recycle). Hangsúlyozta, hogy a hulladék valójában a tervezés hibája, ezért a körforgásos szemléletnek már a tervezési fázisban érvényesülnie kell – például az előregyártás, a szétszerelhetőség (Design for Manufacture and Disassembly, DfMAD) és a tartós körforgás („circular eternity”) alapelveinek alkalmazásával. Markus Knobloch (Universität Stuttgart) az Eurocode 3 második generációjának aktuális fejlesztéseiről és a tervezési normák jövőbeli irányairól számolt be. Kiemelte, hogy a fenntartható tartószerkezetek tervezési alapelvei már közvetlenül be fognak épülni a harmadik generációs szabványsorozatokba. A beszélgetés során kiderült: a jövő acélszerkezetei nem csupán biztonságosabbak vagy gazdaságosabbak lesznek, hanem intelligensebbek,

fenntarthatóbbak, és olyan szabályozási háttérrel rendelkeznek majd, amely képes lépést tartani a kutatás és a gyakorlat által diktált tempóval. A közönség kérdései pedig jól mutatták, hogy a szakma számára az egyik legnagyobb kihívás ma is az, hogyan lehet az új technológiákat és az új mérnöki szemléletet biztonságosan és gyorsan beépíteni a globálisan alkalmazott szabványrendszerekbe.

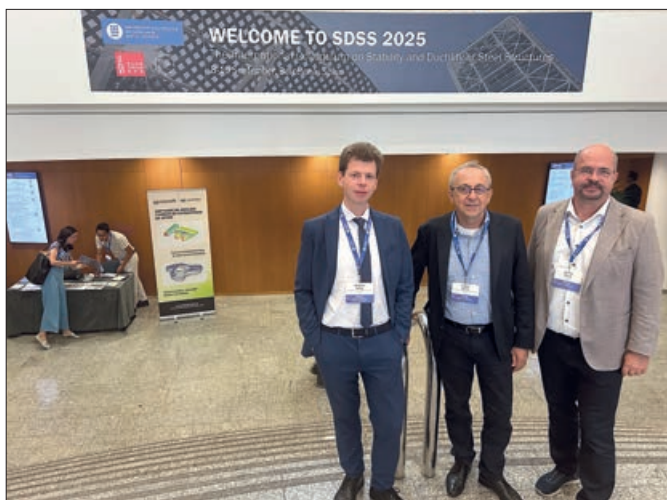
A párhuzamos szekciókban megjelentek a klasszikus kutatási területek, mint a szerkezeti elemek, hidak, kapcsolatok, öszvértartók, hidegen alakított profilok, valamint a lemezek és héjak vizsgálata. A program olyan kulcsfontosságú témákra is kitért, mint a fáradás, a robusztusság és a progresszív tönkremenetel, valamint a tűzterherre és földrengésre való tervezés kérdései, kiegészítve a fejlett tervezés, megbízhatóság és biztonság vizsgálatával. Külön szekció foglalkozott a nagy szilárdságú és rozsdamentes acélszerkezetekkel, míg a digitális fejlődést a digitalizáció és mesterséges intelligencia mérnöki alkalmazásait bemutató előadások képviselték. Egyre hangsúlyosabbá vált továbbá a tartószerkezetek újrafelhasználása és felújítása, amely a fenntartható építés egyik kulcsterülete. A szekciók sokszínűsége jól mutatta, hogy az acélszerkezetek jövője egyszerre épül a hagyományos mérnöki tudásra és a modern innovációkra.

MAGYARORSZÁG KÉPVISELETE A KONFERENCIÁN

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszékéről nyolcan jelentünk meg a konferencián. Dr. Dunai László és dr. Kövesdi Balázs a lemezek és héjak szekció elnökei voltak, valamint bemutatták egy felújítás alatt álló acélhídra vonatkozóan a közvetlen teherbírás-ellenőrzés módszerét. Dr. Somodi Balázs és Bärnkopf Erzsébet hegesztett hibrid zárt szelvényű gerenda kísérleti és numerikus vizsgálatáról tartott előadást. Horváth András hegesztett zárt szelvények sajátfeszültségéről, míg Pap Tibor öszvértartók integrált nyírási viselkedését, valamint különböző szilárdsági övű és gerincű hibrid trapézlemez-gerincű tartók hajlítás–nyírási interakció vizsgálatáról tartott előadásokat. Dr. Kovács Nauzika együttműködő övű rácsos tartó kutatási eredményeit ismertette. Király Krisztián és Kocsis András Balázs a BME és a KÉSZ Csoport, bim.GROUP Kft. együttműködésével szétszerelhető öszvérgerenda kísérleti és numerikus vizsgálatának eredményeit mutatták be. A Széchenyi István Egyetemről dr. Hajdú Gábor mutatta be a rozsdamentes acélból készült, hullámos gerincű gerendák nyírási ellenállását. A Kolozsvári Egyetemről Nagy Őrs előadásában a rögzítőelemek hatását elemezte a trapézlemez gerincének nyírási teherbírására vonatkozóan.

KÖZÖSSÉGI PROGRAM

A konferenciát több jól szervezett társasági esemény is kísérte. Az első napon a konferenciaközpont adott otthont az ünnepélyes fogadásnak, amely oldott légkört teremtett a résztvevők első informális találkozásához. A galavacsorát az impozáns Estació de França épületében rendezték meg, amely elegáns környezetet biztosított a nemzetközi kutatók kötetlen beszélgetéseikhez. A programot a szekciók közötti rendszeres kávészünetek és ebédszünetek tették teljessé, amelyek további lehetőséget nyújtottak a kapcsolatépítésre és szakmai eszmecserékre. A programok között jutott idő arra is, hogy megcsodáljuk Barcelona ikonikus látnivalóit:



2. ábra: Szakmai program az SDSS'2025 konferencián

a lenyűgöző Sagrada Familiát, a történelmi belváros hangulatos utcáit, valamint a tengerpartot, melyek sajátos fényt adtak az egész eseménynek.



3. ábra: Csoportkép a Sagrada Familiában

ÉRTÉKELÉS

Az SDSS'2025 konferencia a korábban megszokott, magas színvonalat hozta, és átfogó képet adott az acélszerkezetek kutatásának aktuális irányairól. A plenáris előadások, a kerekasztal-beszélgetések és a párhuzamos szekciók alapján jól látható, hogy a terület továbbra is gyors ütemben fejlődik, ahol a hagyományos mérnöki megközelítések és a modern technológiák egymást kiegészítve haladnak előre. A következő években várhatóan a fenntarthatóság, a digitalizáció és az új anyagok alkalmazása kerül előtérbe, amelyek eredményei egyre hangsúlyosabban jelennek meg az Eurocode következő generációjának fejlesztésében.

A konferenciacikkek külön kiadványban jelentek meg a ce/papers kiadónál.

A soron következő konferenciát 2028-ban Magyarországon rendezni a fővárosban, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem szervezésében.



5. ábra: A következő konferencia bejelentése



4. ábra: A gálavacsora



XXXIII. Nemzetközi Hegesztési Konferencia

Időpont: 2026.06.18-19.

Helyszín: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem „K” épület

Bővebb információ, programtervezet, jelentkezési lap: <https://maheg.hu>

Szekció témák:

Gyártás és automatizálás

Lézeres technológiák

Új trendek a hegesztésben

Egészségvédelem

Szimuláció és modellezés

Hegesztés rokontechnológiái

MAGÉSZ tagok számára kedvezményes részvételi lehetőséget biztosít a MAHEG.



MCE
part of the family
HABAU GROUP

MCE Nyíregyháza
hidak kivitelezője

www.mce-fig.com

Az MCE Nyíregyháza Kft. 37 éve kivitelez közúti, vasúti és gyalogos forgalomra tervezett hidakat Magyarországon, Európában, de valósultak meg hídszerkezetei Afrikában és Ázsiában is. Gerendahidak, ívhidak, függőhidak, ferde kábeles hidak, rácsos hidak éppúgy termékei közé tartoznak, mint a mozgatható hidak, amelyek sorát egy felnyíló híd után a nemrégben Németországban megvalósult elforgó vasúti híd folytatta. A kft. fennállása óta most gyártja 144. hídprojektjét.

(foto: TRILITE STUDIO)

ACÉLSZERKEZETEK KORRÓZIÓVÉDELME ÉS TŰZVÉDELME TŰZIHORGANYZÁSSAL

A tűzihorganyzott acél tartószerkezetek kiváló korrózió-állóságát évtizedek óta kihasználjuk a magasépítésben, sőt ma már a hídépítésben is. A horganybevonat gazdaságos és hatékony, mert hosszú élettartama alacsony fenntartási költségeket eredményez, még szabadtéri, időjárásnak kitett szerkezeteknél is. Kutatási eredmények bizonyították, hogy a tűzihorganyzott acélfelületek tűzvédelmi szempontból is kedvező viselkedésűek. Így lehetségessé válik, hogy egyetlen bevonattal mindkét célnak megfelelő acél tartószerkezet készüljön.

A TŰZIHORGANYZOTT ACÉLFELÜLETEK FELMELEGEDÉSE

Az acél és acél-beton együttműködő (öszvér) tartószerkezetek felmelegedése a teherbírás és a merevség csökkenésével jár. 15 perces tűzállóság elérhető a tartószerkezeti acélelemek kismértékű túlméretezésével, de a 30 perces tűzállósági követelmény teljesítéséhez általában passzív tűzvédelmi intézkedésekre szükség van (felhabosodó festékbepvonat, szórt habarcsok vagy burkolólemezek), ami jelentős költségnövelő tényező.

A tűzhatásnak kitett szerkezeti elemek felmelegedése áramlás és sugárzás útján történik. A sugárzás útján történő energiaátvitel a felmelegedés kezdeti szakaszában jelentős, amikor nagy a hőmérséklet-különbség a szerkezeti elem és a környezetében égő tűz között. A felület energiafelvételét az emissziós tényező fejezi ki, amely azt mutatja, hogy egy anyag vagy test milyen mértékben cserél hősugárzást a környezetével. Értékét ε ($0 \leq \varepsilon \leq 1$), a vonatkozó Eurocode (EC3-1-2) általános szerkezeti acélok esetében $\varepsilon_m = 0,7$ -re írja elő. Ez azt jelenti, hogy a felület a rá ható sugárzó hő 70%-át veszi fel.

Mivel ez a tényező a tényleges felületi tulajdonságoktól függ, és a tűzihorganyzás – normál esetben – fényes acélfelületet eredményez, ami tükröként hat, így kevesebb sugárzó hő melegíti fel az acélszerkezeti elemet. Ennek vizsgálatára részletes kutatást végeztek a Münchener Műszaki Egyetemen. Összesen 135 próbatestenen mérték különböző kategóriájú (az EN ISO 14713-2 szerinti A, B, és D acélanagú) horganyzott acélfelületek emissziós tényezőjének alakulását a hőmérséklet függvényében. Azt tapasztalták, hogy az A és B kategóriájú acélanagyon készült tűzihorganyzott felületek emissziós tényezője a felmelegedés során végig alacsonyabb, mint a szabad acélfelületé, sőt a hőhatás kezdeti szakaszában az EC szerinti $\varepsilon_m = 0,7$ felénél is kisebb (4. ábra). Mintegy 530 °C felületi hőmérséklet elérése után növekszik meg az emissziós tényező jelentősebben, és mintegy 650–700 °C hőmérsékletnél közelíti meg a 0,7 értéket.

A továbbiakban 30 perces szabványos tűzhatásnak kitett hengerelt acél szelvények felmelegedését mérték folyamatosan, hőelemek segítségével. A horganyzott próbatestek lényegesen lassabban melegedtek fel bevonat nélküli mintákhoz képest, különösen a tűzhatás kezdeti szakaszában.

A kutatási eredmények alapján javaslatot dolgoztak ki a tűzihorganyzott acélelemek felmelegedésének számítására. A javaslat alapján megjelent a DASt Richtlinie 027 [1] előírás, amely az és EN ISO 14713-2:2020 [5] szabvány 1. táblázata szerinti A és B kategóriájú tűzihorganyzott acélelemek esetében az emissziós tényezőt két fokozatban állapítja meg: 500 °C alatt $\varepsilon_m = 0,35$ míg a felett $\varepsilon_m = 0,7$ használható. Ugyanezen szabályt befoglalták a második generációs Eurocode szabványba is, az MSZ EN 1993-1-2:2024 [3] 5.1 táblázata az emissziós tényezőre az alábbiakat tartalmazza:

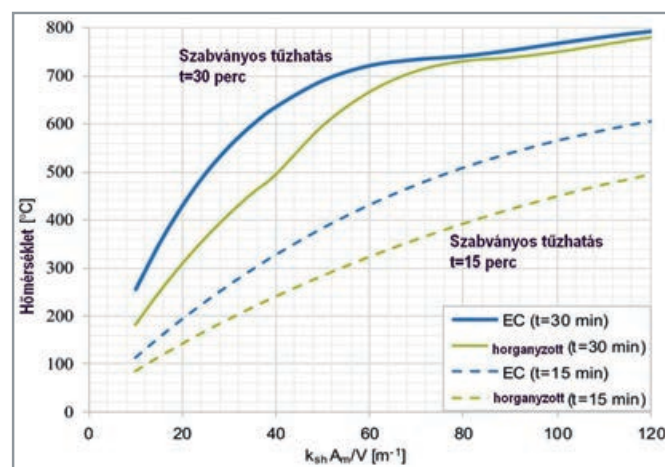
1. táblázat

| Acélkategória az EN ISO 14713-2 szabvány 1. táblázata szerint* | $\varepsilon_m \leq 500 \text{ °C}$ | $\varepsilon_m > 500 \text{ °C}$ |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| A és B | 0,35 | 0,7 |
| C és D | 0,7 | 0,7 |

TŰZIHORGANYZOTT ACÉL TARTÓ-SZERKEZETI ELEMÉK TŰZÁLLÓSÁGA

A tűzihorganyzott és horganybevonat nélküli acél szerkezeti elemek 15 és 30 perc szabványos tűzhatás után elért hőmérsékletét hasonlítja össze az 1. ábra, a szelvénytényező (masszivitási tényező) függvényében. Jól látható a tűzihorganyzás kedvező hatása, ami 15 perces tűzkitét esetében a teljes tartományban, míg 30 perces tűzhatás esetében különösen a masszívabb keresztmetszeteknél érvényesül.

Az ilyen módon meghatározott szelvényhőmérséklet alapján az MSZ EN 1993-1-2 szabvány szerint számítható a tartószerkezeti elemek ellenállása a megadott R15 illetve R30 tűzhatásra.



1. ábra: Acél elemek hőmérséklete 15 és 30 perc szabványos tűzhatás végén [4]

Összehasonlítóképpen 30 perces 3 oldali tűzhatásnak kitett különböző acélszelvények (IPE, HEA, HEB) számított hajlítási ellenállását mutatja a 2. táblázat, horganyzott il-

2. táblázat: Gerendák hajlítási ellenállása
30 perces 3 oldali szabványos tűzhatásra

| | | Hajlítási ellenállás $M_{pl,y,fi,Rd}$ | | |
|-----------------|-----|---------------------------------------|--------|-----|
| Tűzhatás ideje | | 30 perc | | |
| Tűzihorganyzott | | nem | igen | |
| Profil | | [kNm] | [kNm] | [%] |
| IPE | 360 | 48 | 54,6 | 114 |
| | 400 | 65,8 | 75 | 114 |
| | 450 | 90,8 | 103,1 | 114 |
| | 500 | 125,7 | 140,5 | 112 |
| HEA | 300 | 84,4 | 96,9 | 115 |
| | 400 | 183,1 | 266,6 | 146 |
| | 500 | 292,4 | 467,2 | 160 |
| | 600 | 393,3 | 615,6 | 157 |
| HEB | 300 | 147,2 | 262,3 | 178 |
| | 400 | 290,8 | 554 | 191 |
| | 500 | 451,2 | 871,5 | 193 |
| | 600 | 576,3 | 1097,7 | 190 |

letve anélküli kivitelben. Hasonlóképpen 15 perces szabványos tűzhatásnak kitett IPE gerendák hajlítási ellenállásait veti össze a 3. táblázat.

15 perc időtartamú tűzhatás esetén 3 oldali tűzhatásnál a HEA240 ill. HEB160 méret feletti, míg 4 oldali tűzhatásnál HEA360 ill. HEB 240 feletti tűzihorganyzott gerendák ellenállása nem csökken, annyi marad, mint a normál hőmérsékleten!

A tűzihorganyzott elemek hajlítási ellenállása jelentősen nagyobb a horganybevonat nélkülieknél, néhány esetben majdnem a duplája. Ez lehetővé teszi, hogy – különösen 3 oldali tűzkitét és kisebb szelvénytényezőjű profilok esetében – a tartószerkezeti elemek R30 tűzállóságát számításal igazolni lehet, ami *jelentős gazdasági előnyt* jelent. Csak tűzihorganyzás szükséges, ami egyszerre biztosítja a korrózióvédelmet és a tűzvédelmet, nincs szükség további passzív tűzvédelemre, festésre, burkolásra!

GYAKORLATI ALKALMAZÁS, FELTÉTELEK

Bár a tűzvédelem tűzihorganyzással csak rövid ideje alkalmazott módszer, Németországban máris számos megvalósult projekt bizonyítja a gyakorlati alkalmazási lehetőségek sokszínűségét. A nagyobb projektek, mint például csarnokok, többszintes épületek és parkolóházak mellett kisebb alkalmazások is szerepelnek, mint például pergolák, tűzgátló falak, valamint kisebb beépítések, megerősítések. Példákat mutat be a <https://www.feuerzinken.com/anwendungen/brandschutz> oldal.

A tűzhatásra való méretezés támogatását szolgálja egy eszközkészlet, amelyben táblázatokat, excel-ben kidolgozott méretező rutinokat találhatnak a statikusok. Az eszközkészlet német nyelvű, és ingyenesen letölthető a következő oldalról: <https://www.feuerzinken.com/praxiswissen/download-toolbox-brandschutz>.

A hazai tervezők számára elérhető számítógépi méretező programokban már van, vagy a közeljövőben lesz lehetőség a tűzihorganyzás előnyös hatását figyelembe véve elvégezni az acél tartószerkezet tűzhatásra való méretezését.

A tűzihorganyzás felmelegedést gátló kedvező hatását csak akkor tudja kifejteni és akkor vehető figyelembe, ha a horganyzott felület szabadon marad, nem kerül rá festékbevonat, nincs duplex védelem, ami számos környezetben problémamentesen elfogadható.

A HORGANYZOTT FELÜLET EMISSZIÓS TÉNYEZŐJÉT (ϵ) BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az emissziós tényezők fent vázolt alakulásának feltétele a horganybevonat szükséges szerkezete is. Nemcsak a védő fémréteg felületi jellemzői, hanem a bevonat metallurgiai tulajdonságai, szerkezete is befolyásolják a horganyzott acélszerkezet tűzállóságát. Fentebb említett kutatásoknál a már készregyártott acélszerkezetekre vonatkozó MSZ EN ISO 1461 [6] szabvány szerinti technológiával tűzihorganyzott próbatesteken végezték a tűzállósági tulajdonságokra vonatkozó vizsgálatokat. Az A és B-típusú acélok kémiai összetételeit a 4. táblázatunkban mutatjuk be, melyek megfelelnek a melegen hengerelt termékekre vonatkozó MSZ EN 10025:2020-2-től-6-ig szabványkötetek 7.4.3 előírásának.

4. táblázat: Acélminőségek főbb tulajdonságai

| Acélkategória az EN ISO 14713-2 szabvány 1. táblázata szerint* | Szokásos rétegvastagság (μm) | A horganyréteg megjelenése, felülete |
|--|---|--------------------------------------|
| A típusú acél ($\text{Si}\% \leq 0,03$)*** | 50–100 | fényes → világosszürke, matt |
| B típusú acél ($0,14 \leq \text{Si}\% \leq 0,25$) | 100–200 | fényes → világosszürke, matt |
| C típusú acél ($0,03 < \text{Si}\% < 0,14$) | > 200** | matt, lehet erősen érdes |
| D típusú acél ($\text{Si}\% > 0,25$) | > 200 | matt, szürke, lehet érdes |

* Ezek az acélkategóriák megfelelnek az EN 10025:2020-2 és-6 szabványok 7.4.3 pontjai értékeinek is.

** A horganyfürdő összetételének függvényében erősen változhat (speciális horganyötvözetek).

*** $\text{Si} + 2,5\text{P} \leq 0,09\%$ szigorítással (lásd a szabványban).

3. táblázat: IPE Gerendák hajlítási ellenállása 15 perces szabványos tűzhatásra

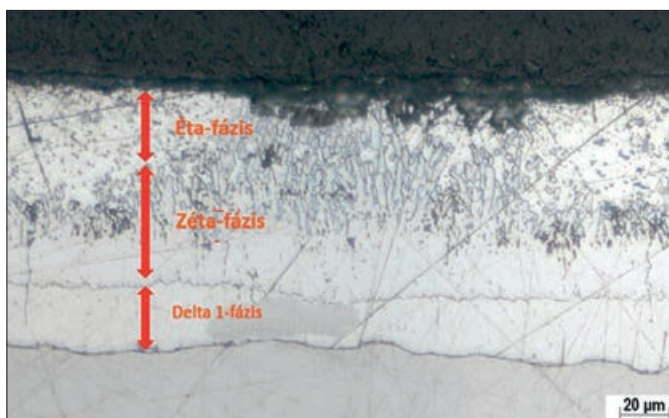
| | | Hajlítási ellenállás $M_{pl,y,fi,Rd}$ | | | | | |
|-----------------|-----|---------------------------------------|-------|-----|-------------------|-------|-----|
| Tűzhatás | | 15 perc, 4 oldali | | | 15 perc, 3 oldali | | |
| Tűzihorganyzott | | nem | igen | | nem | igen | |
| Profil | | [kNm] | [kNm] | [%] | [kNm] | [kNm] | [%] |
| IPE | 360 | 151 | 250 | 166 | 185,1 | 302,8 | 164 |
| | 400 | 206,2 | 354,7 | 172 | 254,9 | 402,5 | 158 |
| | 450 | 286 | 486 | 170 | 353,5 | 540,9 | 153 |
| | 500 | 406,8 | 659,3 | 162 | 494,8 | 727,6 | 147 |



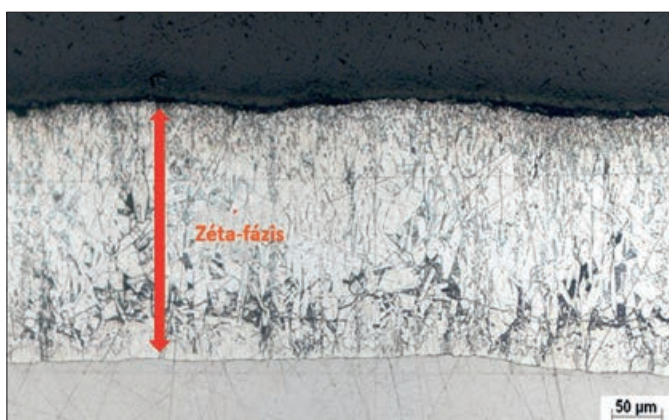
A kutatások igazolták, hogy az emissziós tényező nagyságát – a horganyréteget tekintve – a következő paraméterek befolyásolják [4]:

- a horganyréteg sajátos tulajdonságai (ötvözetfázisok, bevonat felületi érdessége),
- a horgany–vas ötvözetfázisok olvadáspontja,
- a bevonat oxidációs állapota,
- a horganyozott acél hőfoka (erős hatás).

A 2. és 3. ábráinkon A és D típusú acél (1. táblázat) horganybevonatának metszeti csiszolatainak mikroszkópos fotóit mutatjuk be. Ezen jól látszik, hogy a 2. ábrához tartozó acélminőségénél (A-acél) a horganybevonat optimális, legtöbbször kívánatos szerkezetű, jól elkülöníthetők a szabályos ötvözetrétegek ($\zeta - \delta_1$) és a ζ -fázist borító tiszta horganyréteg (η -fázis). Ez a bevonat tapintásra leginkább sima, még melegen hengerelt felületeknél is. Míg a 3. ábrán, látható fémréteg (D-acél) jelentősen vastagabb és csak Zn–Fe-ötvözetekből áll, tapintásra legtöbbször érdes, vagy erősen érdes. A D jelű acél felületén hiányzik a legkülső, az η -fázis és jól láthatóan nem, vagy alig mutatható ki a δ_1 -fázis.



2. ábra: A típusú acélok horganybevonat csiszolatai (mikroszkópi felvételek) [7]



3. ábra: D típusú acélok horganybevonat csiszolatai (mikroszkópi felvételek) [7]

A normál szerkezetű horganyréteget alkotó cink–vas ötvözetfázisok jellemzőit az 5. táblázatban mutatjuk be.

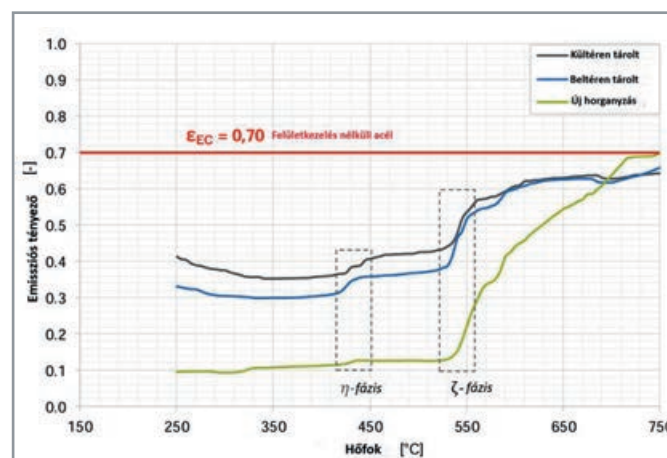
Az 5. táblázatban látszik, hogy az egyes fázisok vastartalmának növekedésével növekszik a stabilitási (olvadási) pontjuk hőfoka, ami szintén szerepet játszik az emissziós tényező nagyságának alakulásában.

5. táblázat: A normál szerkezetű horganybevonatot alkotó fémfázisok

| Tűzhorgany bevonatot alkotó fázisok | Olvadáspont (°C) | A fázisok Fe-tartalma (%) |
|---|------------------|---------------------------|
| Éta (η)-fázis | 419 | 0,08 |
| Zéta (ζ)-fázis (Zn–Fe ötvözet) | 530 | 6–6,2 |
| Delta1-fázis (δ_1) (Zn–Fe-ötvözet) | 620–630 | 7–11,5 |
| Gamma (Γ)-fázis* | 670–700 | 21–28 |

* A gamma-fázis kis vastagsága miatt a 2–3. ábrán nem látható

Befolyásolják még az ϵ értékét a horganyzott felület oxidrétegének tulajdonságai, az oxidáció foka. Egy frissen horganyzott sima, fényes acélfelület (A, vagy B típusú acél) emissziós tényezője kisebb, mint egy sokáig kültéren tárolt, oxidálódott, durva felületű, esetleg fehérrozdás acélé (4. ábra).

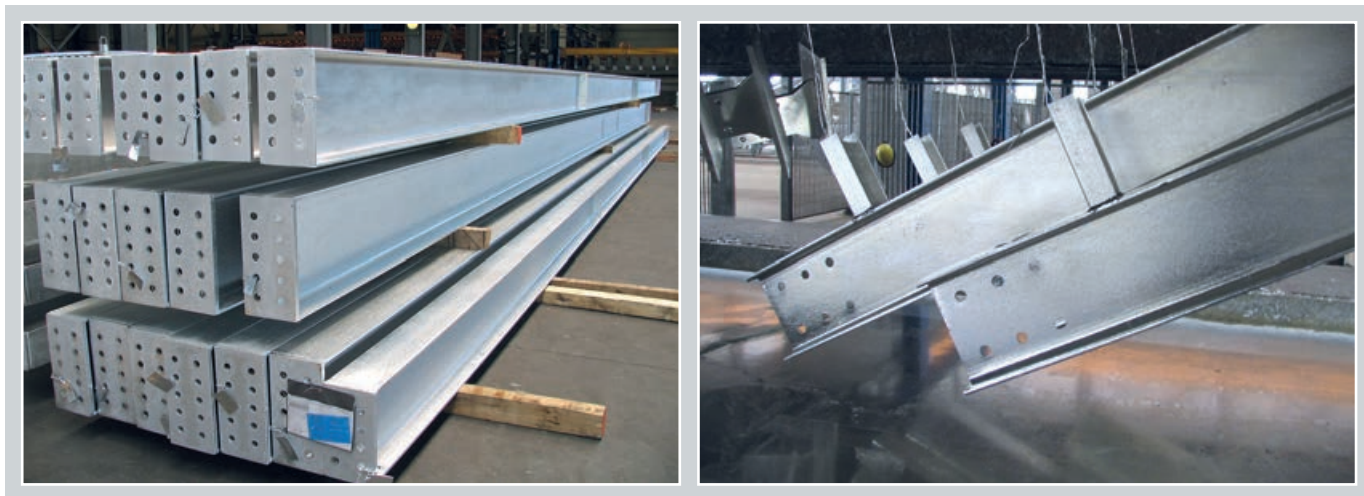


4. ábra: Az emissziós tényezők középértékének változása a hőfok függvényében, A típusú tűzhorganyzott acélnál. Közvetlenül új tűzhorganyzás után, továbbá új tűzhorganyzást követő 8 hetes kedvezőtlen beltéri tárolás után és kültéren történt 8 hetes, kedvezőtlen körülmények közötti tárolás után [4]

Felhívjuk a figyelmet az ϵ – egyes ötvözet fázisoknál az emissziós tényező – jól láthatóan ugrásszerű változásaira, melynek háttérében metallurgiai, termodinamikai törvényszerűségek húzódnak meg. Az egyes ötvözetfázisok stabilitásának megszűnéséhez többletenergia-felhasználásra van szükség, ami befolyásolja ϵ értékét. Összességében megállapíthatjuk, hogy egy horganybevonatnak minél kedvezőbb a szerkezete, fényesebb és simább, annál kisebb lesz az adott tűzhorganyzott felület emissziós tényezője (ϵ).

ÉVTIZEDEK ÓTA TŰZIHORGANYZOTT ACÉLMINŐSÉGEK

Az EN ISO 1461 szabvány szerinti tűzhorganyzással készült acélszerkezetek bevonatvastagságai általában megfelelnek az említett A és B típusú acélokénak, melyek kémiai összetételére vonatkozó követelményeket az MSZ EN 10025:2020 szabványsorozat vonatkozó részeinek 7.4.3 pontjai mutatják. Ezek az acélfeleségek kereskedelmi forgalomban kapható tömegacélok. A tűzhorganyzók tapasztalatai szerint az A és B típusú acélok kifejezetten gyako-



5. ábra: Tűzhorganyzott kivitelű EURO-szelvények (B-típusú acél: $0,14 \leq \text{Si} \leq 0,25$, EN ISO 14713-2)

ri minőségek a melegen hengerelt, vastagfalú szelvények kínálatában. A rajtuk képződő horganyrétegek színezete leginkább fényes-ezüstös (5. ábra). Mivel a vastagabb falú szelvények, lemezek melegen hengereltek, a horganyzott felületek kissé nagyobb érdessége természetesen lehetséges, de ez érdemben nem befolyásolja a tűzhatás szempontjából várható eredményt.

GAZDASÁGI POTENCIÁL – EGY FÉMBEVONAT, KETTŐS VÉDELEM

A tűzhorganyzott acélszerkezetek használatával nemcsak a hosszú távú és felújításmentes korrózió elleni védelem valósítható meg, hanem a szükséges feltételek teljesítése esetén – járulékos védelmi intézkedések nélkül is – biztosítható akár 30 perces tűzállósági érték (R30). A megoldással jelentős költséget lehet megtakarítani nemcsak az első beruházás alkalmával, hanem kisebbek lesznek majd a fenntartási kiadások is.

Egy már „használt” tűzhorganyzott acélszerkezet lebontását követően új felhasználási célhoz újból felépíthető, de feldolgozása esetén, az acél és a rajta levő horgany is teljes egészében visszanyerhető. Egy régen horganyzott, megfelelő bevonattal rendelkező acélszerkezetnél a cinkpatinával borított (oxidálódott) horganyrétegek is jó tűzállósági tulajdonságokkal rendelkeznek.

IRODALOM

- [1] DASt Richtlinie 027:2020
- [2] H.1 Brandschutz durch Feuerverzinken – Arbeitsblätter Feuerverzinken, Institut Feuerverzinken GmbH, 2025
- [3] MSZ EN 1993-1-2:2024
- [4] Feuerwiderstand von feuerverzinkten, tragenden Stahlkonstruktionen im Brandfall. Bericht Nr. 169. GAV
- [5] MSZ EN ISO 14713-2:2020
- [6] MSZ EN ISO 1461:2023
- [7] M. Mensinger; C. Gaigl; S. Pfenning: R30 ungeschützt – mit feuerverzinkten Stahlkonstruktionen, Duisburg, 2018



Gépek és Rendszerek
Szolgáltató Kft.
H-6000 Kecskemét,
Irínyi u. 29.

www.geper.hu

Messer
Cutting
Systems
Magyarországi
Képviselője



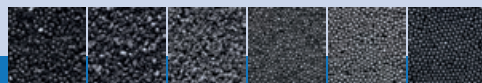
Termikus vágógépek
Lézer- – Plazma- – Lángvágó
Forgalmazás – Vevőszolgálat – Szerviz

messer.geper@t-online.hu

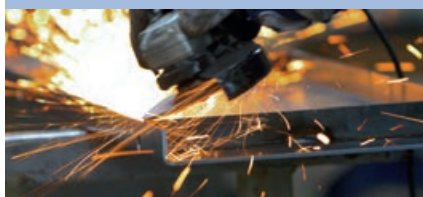


IPARI MECHANIKUS FÉMFELÜLET TISZTÍTÁS

- SZEMCSESZÓRÓ BERENDEZÉSEK
- SZEMCSESZÓRÓ ANYAGOK
- SZERVIZ ÉS PÓTALKATRÉSZEK



Innovation. Together.



CLOOS

Kollaborálj a csúcstechnológiával

Bemutató robotok, kobotok és hegesztőgépek készletről,
akár 20-30% kedvezménnyel.

Lehetőség bemutató és használt berendezések vásárlására gyors szállítási határidővel, kedvező áron! Készletről elérhető a legújabb kollaboratív robotok, (kobotok), QINEO hegesztőgépek, CLOOS bemutató és használt hegesztőrobot rendszerek – most akár 20-30% kedvezménnyel. Ez a különleges ajánlat nemcsak gyorsabb beszerzést tesz lehetővé, hanem komoly előnyöket is nyújt a termelésben.

CLOOS

#CONNECTWITHUS

Ajánlatkérés:

+36 20 290 5582
robot-welding@cloos.hu
www.cloos.hu/keszletunk/

NAGYMÉRETŰ ÉS KOMPLEX KERESZTMETSZETEK SAJÁTFESZÜLTSGÉNEK MÉRÉSE KONTÚRMÓDSZERREL

A cikk bemutatja egy újszerű sajátfeszültség-mérési technológia, a kontúrmódszer alkalmazását az építőmérnöki gyakorlatban széles körben alkalmazott nagyméretű és komplex hegesztett keresztmetszetek esetére fókuszálva. A mérések T-szelvényeket, zárt bordákkal merevített ortotrop pályalemezdarabokat, illetve zárt szelvényeket érintenek. Az eredmények – melyek kétdimenziós, hosszirányú sajátfeszültség-eloszlásokat takarnak – azt mutatták, hogy a hegesztési varratok közelében a feszültségcsúcsok meghaladhatják az alapanyag folyáshatárát. A hegesztés közvetlen hatásán túl a melegen hengerlést, a termikus vágást, valamint a hidegalakítás hatását is kiértékeltek. A statisztikai elemzés megerősíti a kontúrmódszer eredményeinek megbízhatóságát, mely szerint a mérési eljárás pontossága jól összehasonlítható a röntgendiffrakciós mérés, valamint a lyukfúrásos mérés pontosságával. A kontúrmódszer eredményei egyrészt felhasználhatók gyártásszimulációs célokra kifejlesztett végeelemes modellek (VEM) validálása során, valamint segítségükkel újszerű sajátfeszültség-modelleket dolgoztunk ki. Utóbbiak közvetlenül tartalmazzák olyan gyártási paramétereket, mint a hegesztés során alkalmazott hőbevitel, a hozaganyag és az alapanyag szilárdsága. Mindezek fényében kijelenthető, hogy a kontúrmódszer alapú sajátfeszültség-modellek komoly potenciállal rendelkeznek a hegesztett szerkezetek teherbírásának pontosabb meghatározásában, a fejlett VEM alapú tervezésben.

BEVEZETÉS

Problémafelvetés

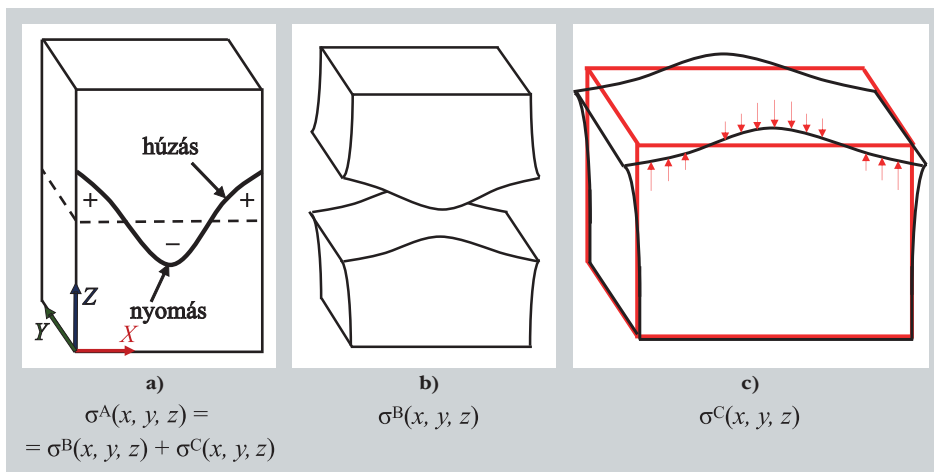
A hegesztés az építőmérnöki szerkezetek gyártási és szerelési folyamatának elengedhetetlen része, amely ugyanakkor elkerülhetetlenül kezdeti imperfekciókat, nevezetesen sajátfeszültségeket és torzulásokat okoz. Ezek a hibák a lokális felmelegedés és gyors lehűlés által okozott, rendkívül egyenlőtlen hőciklusokból származnak [1]. Ennek eredményeként a hegesztett kapcsolatokban és hegesztett T-szelvényekben gyakran komoly hosszirányú sajátfeszültségek halmozódnak fel, amelyek esetenként megközelíthetik vagy meghaladhatják az alapanyag folyáshatárát [2]. A sajátfeszültségek és a geometriai imperfekciók jelentősen befolyásolják a szerkezet ellenállását, beleértve a teherbírási és a stabilitásvesztéssel szembeni ellenállást, emellett növelik a fáradás, a ridegtörés, a feszültségkorrózió és a hidrogén okozta repedések kialakulásának valószínűségét is [3, 4]. Bár ezen hatásoknak a szerkezeti teljesítményre gyakorolt hatása jelentős, a jelenlegi tervezési szabványok és numerikus modellek gyakran egyszerűsített feltételezéseken és idealizált sajátfeszültség-eloszlásokon alapulnak, amelyek nem veszik figyelembe a gyártási folyamatok specifikumait. Ennek következtében az ilyen jellegű

hatások pontos figyelembevétele, modellezése továbbra is jelentős kihívást jelent a szerkezettervezés területén. A probléma megoldása érdekében fejlett kísérleti technikák és numerikus szimulációk integrálására van szükség a szerkezettervezés megbízhatóságának és biztonsági szintjének növelésének érdekében. Ebben az összefüggésben a sajátfeszültség-mérési módszerek – mint például a kontúrmódszer – döntő szerepet játszanak a gyártási folyamatokból eredő sajátfeszültségek kialakulásának megértésében. Azonban az építőmérnöki gyakorlatban alkalmazott nagyméretű és gyakran összetett keresztmetszeti kialakítással rendelkező szelvények mérési szempontból jelentős kihívásokat rejtenek. A gyakorlatban az ilyen mérési módszerek alkalmazása során több, a megvalósíthatósággal és pontossággal kapcsolatos probléma kezelésére van szükség.

Elméleti háttér

A nemzetközi szakirodalomban ismertett sajátfeszültség-mérési technikák három kategóriába sorolhatók: teljes roncsolásos, helyi roncsolásos és roncsolásmentes eljárások. A mechanikai módszerek – beleértve a teljes roncsolásos és helyi roncsolásos megközelítéseket – az anyag eltávolításakor keletkező deformációk mérésével teszik lehetővé a sajátfeszültségek meghatározását. Ezzel szemben a roncsolásmentes technikák segítségével a próbatest károsítása nélkül értékelhetjük ki a sajátfeszültségeket. A mechanikai módszerek közé tartozik a feldarabolás, felhasítás és lemunkálás, a kontúrmódszer és a hagyományos lyukfúrásos módszerek, míg a roncsolásmentes technikák általában röntgendiffrakciót, neutrondiffrakciót és ultrahangos módszereket takarnak. A cikk rövid áttekintést ad a tanulmányban alkalmazott kontúrmódszer elméleti háttéréről.

A roncsolásos kontúrmódszer, amelyet Prime [5] vezetett be Bueckner szuperpozíciós elvének [6] egy alkalmazásaként, a sajátfeszültségmezők kétdimenziós térképét adja eredményül. Kezdetben a próbatest tartalmazza a gyártási folyamatokból származó egyensúlyi sajátfeszültségeket [A lépés, 1. a) ábra]. Az eljárás első lépéseként egy előre meghatározott sík mentén vágják két részre a próbatestet, általában huzalos szikraforgácsolás segítségével (WEDM), ezzel minimalizálva a vágás indukálta feszültségeket és felszabadítva a gyártás során keletkező sajátfeszültségeket, melyek rugalmas deformáció (visszarugózás) révén jelentkeznek a vágás felületén [B lépés, 1. b) ábra]. Az így a felület mentén keletkező deformációkat gyakran koordinátamérő gépekkel (CMM) [7] vagy alternatív szkennelési módszerekkel [8] regisztrálják. Lineáris rugalmas relaxációt feltételezve, a deformált felületet virtuálisan visszaállítják eredeti alakjába, ezzel visszakapva az eredeti sajátfeszültségmezőt [C lépés, 1. c) ábra], mely feszültség a gyakorlatban



1. ábra:
Kontúrmódszer elméleti háttere:
a) kezdeti maradófeszültség-állapot,
b) a vágás utáni deformált alak
(rugalmas deformációk), valamint
c) a deformált felület virtuális vissza-
kényszerítése az eredeti alakjára

általában a vágási síkon fellépő normál feszültségkomponensre (σ_z) korlátozódik.

Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalmi áttekintés során kiemeljük a kontúrmódszerrel kapott sajátfeszültség-mérésekkel kapcsolatos kísérleti eredményeket. Fontos megjegyezni, hogy a korábbi tanulmányok többsége vastag, tompahegesztett lemezekre vagy viszonylag kis teljes méretű (jellemzően ~500 mm-nél kisebb) kompakt keresztmetszetekre összpontosított.

Balakrishnan és társai [9] kontúrmódszerrel, valamint neutrodiffrakciós technikával sajátfeszültség-méréseket végeztek ívhegesztéssel, lézerhegesztéssel és elektronnyalábhegesztéssel előállított, 30 mm vastag SA508 szilárdsági osztályú acélmintákon. A mért hosszirányú sajátfeszültségek összehasonlítása jó egyezést mutatott a módszerek között. DeWald és társai [10] kontúrmódszeres mérést alkalmaztak különböző fémekből készült, hegesztett, tengelyesen szimmetrikus nyomásleeresztő csomókokon. A mért axiális és gyűrűirányú sajátfeszültségek megerősítették a módszer megbízhatóságát. Achouri és kutatótársai [11] sikeresen alkalmazták a kontúrmódszer egy továbbfejlesztett változatát maradófeszültség-mérések pontosságának javítására. A módszer alapja a feszültségek fokozatos felszabadítását eredményező, több egymást követő vágás. A NeT TG6 jelű benchmarknak tekintett próbatesten ez a típusú megközelítés négy szekvenciális vágás alkalmazásával 12,2%-ról 4,2%-ra csökkentette a négyzetes középhibát (a teljes feszültségtartományhoz viszonyítva), ami jelentős javulást mutatott a hagyományos, egyszeri vágáson alapuló módszerhez képest. Chu és társai [12] kutatásukban rozsdamentes acélső T csomópontját vizsgálták feszültségmentesítő hőkezelést és felrakóhegesztést követően. Kontúrmódszeres méréseik alapján kimutatták, hogy a felrakó hegesztés kedvező hatású nyomó sajátfeszültségeket hozott létre a javított varratban. Murugan és Narayanan [13] kutatásukban a kontúrmódszer és hegesztésszimuláció eszközeit kombinálva vizsgálták hegesztett szénacél T-szelvények övének hosszirányú sajátfeszültség-eloszlását a középső keresztmetszetében. Gadallah és társai [14] kontúrmódszer segítségével vizsgálták a varratgyök környezetében kialakuló nyomó maradó feszültségeket, eltérő síkokban végzett hosszirányú vágásokkal. Kutatásukban megállapították, hogy a különböző vágási síkok hatással vannak a feltérképezett maradó feszültségek eloszlására, míg a vizsgált peremfeltételek hatása csekély.

Olson és társai [15] kutatásukban megállapították, hogy alumíniummintákon végzett kontúrmódszeres méréseik bi-

zonytalansága megközelítőleg a 10 MPa-os nagyságrendbe esik. A vizsgálat figyelembe vette a mért deformációkban jelen lévő, normális eloszlású zajból eredő hibákat is, amelyeket Monte Carlo-módszerrel becsültek meg. Ezenfelül Hill és Olson [16] a kontúrmódszer ismételhetőségét is bemutatták: edzett 7050 jelű alumíniumötvözet rudaknál az élek közelében mintegy 20 MPa-os szórást mutattak ki. Másrészt [16] publikációjában a maradó feszültségek szórását lyukfúrásos technikával is becsülték alumínium próbatesteneken végzett kavarási dörzshegesztés esetén (kb. 40 MPa), illetve szemcse-szórással kezelt rugóacél esetén (a felületközelben több száz MPa).

KUTATÁSI CÉL

A jelen tanulmány célja a kontúrmódszer alkalmazhatóságának bemutatása az építőmérnöki gyakorlatban használt, komplex geometriával rendelkező és viszonylag nagy méretű keresztmetszetek, szerkezeti elemek sajátfeszültségmodelljeinek kidolgozásában. A tanulmány T-szelvények, zárt bordával merevített ortotrop pályalemezek és zárt szelvények elemzésére fókuszál, elsősorban a témában megjelenő korábbi kutatások hiányosságai miatt. A szakirodalomban elérhető korábbi tanulmányok főként pontos mérési technikákra támaszkodtak, és nem tartalmazták a kritikus keresztmetszetek teljes kétdimenziós feszültségeloszlás-mezőjét. E hiányosság pótlására jól alkalmazható a korábbiakban elméleti háttérrel együtt bemutatott kontúrmódszer. A tanulmány egyik legfontosabb eredménye a T-szelvények és ortotrop pályalemezek egyszerűsített sajátfeszültségi modelljeinek kidolgozása, amelyek figyelembe veszik az összes releváns gyártási folyamat hatását, az egyensúlyi feltételek kiegyenlítése mellett. Ezek mellett a kutatás újdonsága az átfogó sajátfeszültség-mérési adatok alapján kidolgozott sajátfeszültség-modell, mely elsőként alkalmazható dedikáltan hibrid (normál és nagy szilárdságú szerkezeti acélok kombinációja) hegesztett zárt szelvények esetén is.

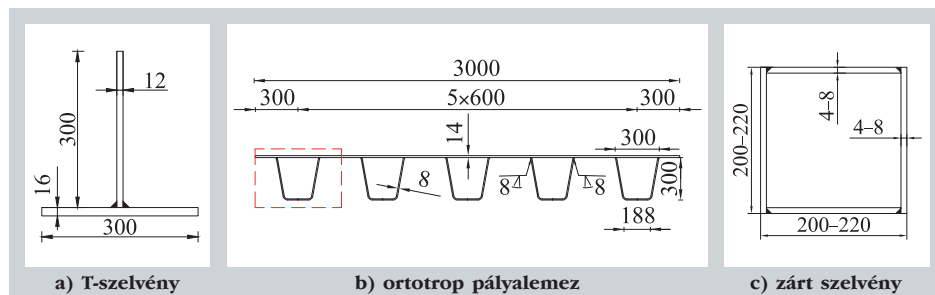
LABORKÍSÉRLETEK

Kísérleti program

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Hidak és Szerkezetek Tanszék ipari körülmények között gyártott, reprezentatív szerkezeti elemeken végezte el sajátfeszültség-méréseket [17–19]. A tanulmány egyrészt összefoglalja a korábbi kontúrmódszerrel végzett mérések módszertanát és azok legfőbb eredményeit he-



2. ábra: Monostori híd Magyarország és Szlovákia között a próbaterhelés idején [17]



3. ábra: Kontúrmódszerrel vizsgált keresztmetszetek geometriai dimenziói

gesztett T-szelvények (kereszttartó gerinc és alsó öv) és ortotrop pályalemezek esetében, amelyek a Magyarország és Szlovákia közötti Duna folyón átívelő Monostori híd (2. ábra) fontos szerkezeti részletei. Másrészt az építőmérnöki gyakorlatban széles körben alkalmazott, normál szilárdságú, nagy szilárdságú és hibrid kialakítású, hegesztett zárt szelvények is elemzésre kerültek. A vizsgálatok összesen három T-szelvényt, négy ortotrop pályalemezdarabot és kilenc különböző zárt szelvényt érintettek. A vizsgált próbatestek keresztmetszeti méreteit a 3. ábra foglalja össze. A minták több lépcsőből álló gyártási folyamatokon estek át, amely magában foglalta többek között a termikus vágást, a hidegalakítást, a hegesztést és esetlegesen a sablonban történő előfeszítést. Ezen gyártási folyamatok hatása mind hozzáadódik a szerkezeti elemek végső sajátfeszültség-eloszlásához. A T-szelvények, ortotrop pályalemezek és zárt szelvények további részleteit a [17–19] publikációk részletezik.

A T-szelvények, valamint az ortotrop pályalemezek gyártásánál használt összes alkotólemez és profil S355J2+N szilárdsági osztályú szerkezeti acél, amely a hídépítésben használt szabványos anyagok egyike. A zárt szelvények esetében a normál szilárdságú acéllemezeken termomechanikusan hengerelt, finom szemcsés S355MC szilárdsági osztályú szerkezeti acélból készültek, ferrit–perlit mikroszerkezettel. Ezzel szemben a nagy szilárdságú acéllemezekhez S700MC szilárdsági osztályt használtak, amely szintén termomechanikusan hengerelt, mikroötvözött, ferrit–bénit finomszemcsés mikroszerkezettel rendelkező alapanyag. A kereszttartó öv–gerinc kapcsolatok (T-szelvény) aktív védőgázos, huzalelektrodás kézi ívhegesztéssel (MAG) készültek, kétoldali sarokvarrattal, tömör huzallal (135 jelű eljárás). A fajlagos hőbevitel 1,40 és 1,62 kJ/mm között mozgott, a hegesztési sebesség 20–25 cm/perc volt. A merevítőborda–pályalemez kapcsolat automata, porbeles huzalelektrodás, fedett ív hegesztéssel (SAW, 125 jelű eljárás) készültek. A 45°-os leélezést követően, fél-Y tompavarrattal, gyökhézag

nélkül és 2 mm-nél gyökshalmagassággal alakították ki a kötéseket. A merevítőborda–pályalemez kapcsolat varratai szimultán készültek mindkét oldalon, 2,68–3,06 kJ/mm fajlagos hőbevitellel és 52–57 cm/min hegesztési sebességgel. A zárt szelvények esetében a sarkok csatlakozásánál készült fél-Y tompavarratok – az övlemezeken 45°-os éllemunkálását követően – 1 mm gyökshalaggal, kézi MAG-hegesztéssel (135 jelű eljárás) készültek. A gyártás során a lemez vastagságától függően egy vagy két varratsort alkalmaztak.

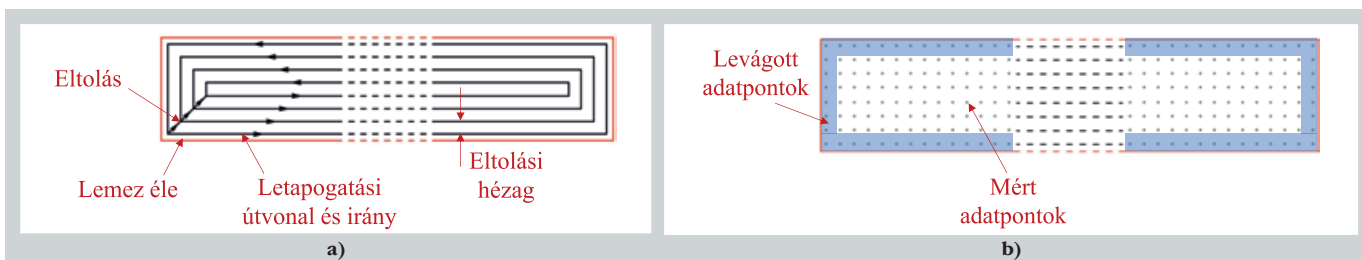
Kontúrmódszer

A kontúrmódszer huzalos szikraforgácsolása során a mintákat 150 μm átmérőjű sárgaréz huzallal és 0,08 mm/s vágási sebességgel vágtuk szét. A próbatesteket a művelet során – az esetleges bemozdulást elkerülendő – mereven rögzítettük. A huzal esetleges szakadása esetén a WEDM-vágás zavartalan folytatásának érdekében a gépet automatikus huzalbefűző rendszerrel látták el. A szakadást észlelve a rendszer újra befűzi a huzalt a munkadarabba, és folytatja a vágási folyamatot. A vágást követően a háromdimenziós, torzult felületeket koordinátamérő géppel (CMM) mértük le, melyre Zeiss UMC 850 típusú eszközt alkalmaztunk (4. ábra) 6 mm átmérőjű rubin tapintófejvel, 1200 mm \times 850 mm \times 600 mm mérési tartománnyal. A gyártó a mérési pontosságot 3 μm + $L/200$ μm értékben határozta meg, ami a $L \approx 600$ mm mérési tartomány esetén (az egyenletbe [mm]-ben behelyettesítve) hozzávetőleg 6 μm pontosságot eredményez, 0,1 μm felbontás mellett. A méréseket hőmérséklet-szabályozott laboratóriumban végeztük, 20–20,5 °C levegő-hőmérsékleten, így minimalizálva a hőmérséklet-ingadozásának hatását.

A CMM szkennelési útvonalát a keresztmetszet kontúrjának 0,5 mm-es eltolással határoztuk meg [5. a) ábra]. A mérést különböző pontsűrűségekkel végeztük el az egyes régiókban: a hegesztés közelében a szomszédos pontok közötti átlagos távolság 0,2 mm, míg a varrattól távolabb



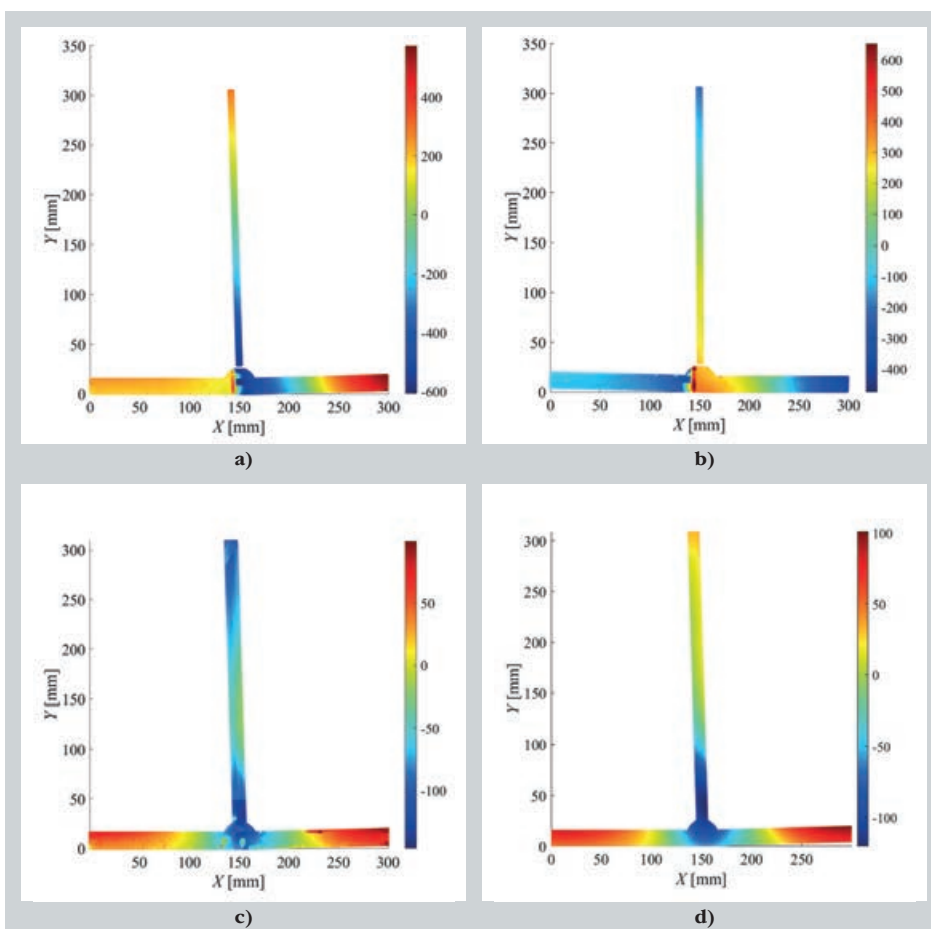
4. ábra: Hegesztett szerkezeti részletek CMM mérései Zeiss UMC 850 gépen [17–19]



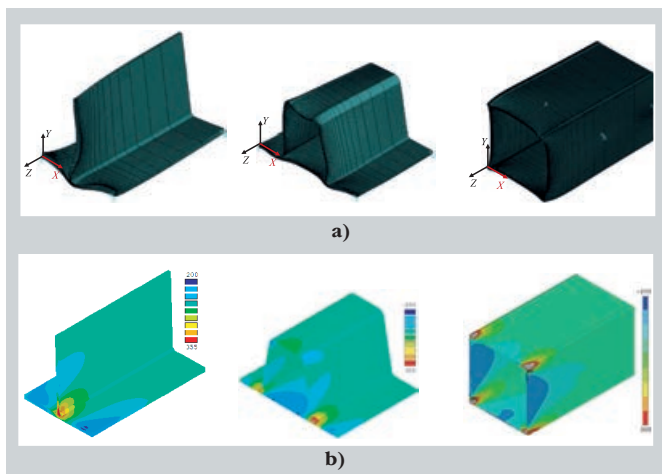
5. ábra: a) A CMM-letapogatósi útvonal sematikus ábrája eltolással, valamint b) az adatok levágása a lemez széleinél [17]

eső régiókban 0,5 mm. A CMM-méréseket mindkét vágási felületen (a WEDM-vágás bal és jobb oldalán) elvégeztük. Az adatok utólagos értékelését MATLAB [20] programmal hajtottuk végre. A két koherens vágási felület pontfelhőit, mint nyers adatokat a szélek levágása után [5. b) ábra], a 6. a) és 6. b) ábrán mutatjuk be, $X = \sim 140$ mm-nél a

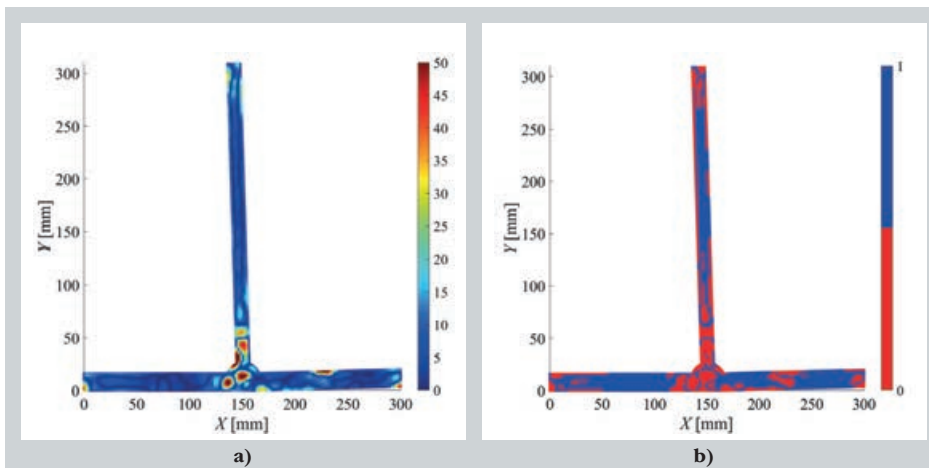
huzalszakadás jelzésével. A nyírófeszültség hatását és az aszimmetrikus vágási hibákat a két fél kontúradatainak átlagolásával [6. c) ábra] szüntettük meg. A lokális vágási egyenetlenségeket – például a huzalszakadást (valószínűleg elektromosan nem vezető zárvány miatt) – valamint a mérési zajt az átlagolás utáni adatsimítással távolítottuk el.



6. ábra:
Pontfelhők
a–b) T szelvények vágási síkjainak nyers adatai (egyik és másik fél) a WEDM vágást követően,
c) átlagolást követően, és
d) adatsimítást követően.
A Z-koordináták mértékegysége μm



7. ábra:
 a) Végeselemes hálók skálázott elmozdulásokkal és megtámasztásokkal, és
 b) hosszirányú maradó feszültségek σ_z [MPa] áttekintése a különböző modellekben [17–19]



8. ábra:
 a) Pontonkénti modellhiba [MPa] egy hegesztett T-kötésre (a 6. ábrának megfelelően), valamint
 b) az átlagos modellhiba határán belül (68%-os konfidenciaintervallum) elhelyezkedő pontok (kék)

Utóbbihoz vékonylemez spline-t – poliharmonikus spline egy speciális esete – alkalmaztunk [6. d) ábra]. A spline alapú algoritmus elnevezése a pontszerű kényszerekkel terhelt, vékony lemez hajlítási energiájának fizikai analogiájára utal.

A simított deformációs adatokat háromdimenziós végeselemes modellbe implementáltuk inverz deformációként, ezzel kiszámítva a kétdimenziós hosszirányú sajátfeszültség-eloszlást a vágási síkra vonatkozóan. Az alkalmazott numerikus modell geometriája a kísérleti keresztmetszetek mért átlagos vastagságain alapult, és tartalmazta a hegesztés okozta kezdeti torzulásokat is. A végeselemes szimulációkat ANSYS [21] programban végeztük el, 8 csomópontos testelemek (SOLID185) felhasználásával. A lineáris analízis során a kis alakváltozások elmélete mellett lineáris izotrop anyagmodellt alkalmaztunk (rugalmassági modulus $E = 210\,000$ MPa, Poisson-tényező $\nu = 0,3$). Az eljárás során használt numerikus modellekben keresztmetszeti értelemben átlagosan 1–2 mm-es elemméretet alkalmaztunk nem egyenletes tengelyirányú hálófelosztással (20 elemmel, 50-es osztásarány mellett), ami finomabb felbontást biztosít a WEDM vágási felület közelében. A 7. a) ábra mutatja be a felskálázott deformált modellt a merevtest-szerű elmozdulást megakadályozó megtámasztásokkal, míg a 7. b) ábra a hosszirányú sajátfeszültségek eloszlását szemlélteti.

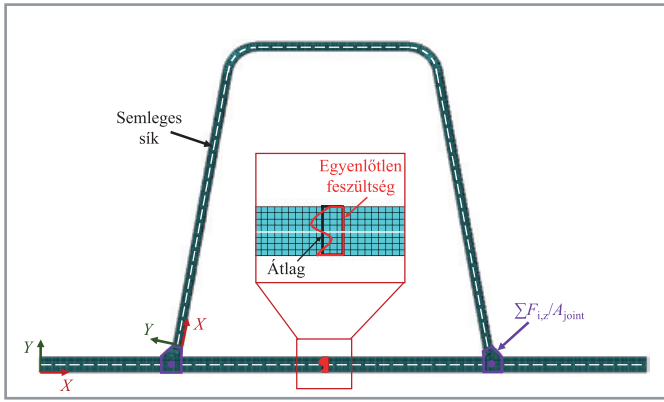
Az Olson és társai [22] által bevezetett módszertannel összhangban – azzal az eltéréssel, hogy kétváltozós felületillesztés helyett vékonylemez spline-t alkalmaztunk – kiértékeljük a simítási modelltől származó modellhibát, $U_{\text{model}}(x, y)$. A p ($0 \leq p \leq 1$) simítási paraméter – amelyet a szoftver alapvetően az adatpontok átlagos távolsága alapján ad

meg – állítható. A modellhiba meghatározásához öt különböző simítási paraméterrel leírt maradó feszültségállapotot értékeltünk ki, míg a becslt maradó feszültségek szórását a modellhibára feltételeztünk Gauss-eloszlás mellett határoztuk meg. A 8. a) ábra a modellhiba térbeli eloszlását mutatja a 6. ábrán bemutatott T-szelvény esetén (huzalszakadással $X \approx 140$ mm-nél). Az elemzett keresztmetszetre vonatkozó átlagos modellhiba 7,8 MPa (ami 68%-os konfidenciaintervallumnak felel meg). A 8. b) ábra kiemeli azokat a tartományokat, ahol az átlagos modellhiba átfed (kék), illetve nem fed át (piros) a pontonkénti $U_{\text{model}}(x, y)$ modellhibával. A pontok mintegy 65,4%-a – a keresztmetszetben egyenletes eloszlás mellett – teljesíti ezt a kritériumot, ami közel esik a várható 68%-os lefedettséghez: ez arra utal, hogy az alkalmazott simítási modell megbízható.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

Hosszirányú membrán sajátfeszültségek

A további elemzéshez a hosszirányú sajátfeszültségeket az ANSYS-ből MATLAB-be exportáltuk, a membrán sajátfeszültségek ($\sigma_{rs,m,z}$) értékelése érdekében. Ezek a membránfeszültségek a tervezés során héjmodellek maradó feszültség-eloszlásaként egyszerűen implementálhatók. A membrán sajátfeszültségeket az 1. egyenlettel határoztuk meg. A hegesztési varratok környezetében a membrán feszültségek számítása helyett összegeztük a hosszirányú belső erőket ($\sum F_{1,z}$), majd a sajátfeszültségek átlagos értékét a csatlakozási területtel (A_{joint}) történő osztással számítottuk ki. Erre az egyszerűsítésre azért volt szükség, mert a membránfeszültségek kiszámítása akadályokba ütközik a varra-



9. ábra: A membrán sajátfeszültségek számításának bemutatása az ortotrop pályalemez numerikus modellje alapján [18]

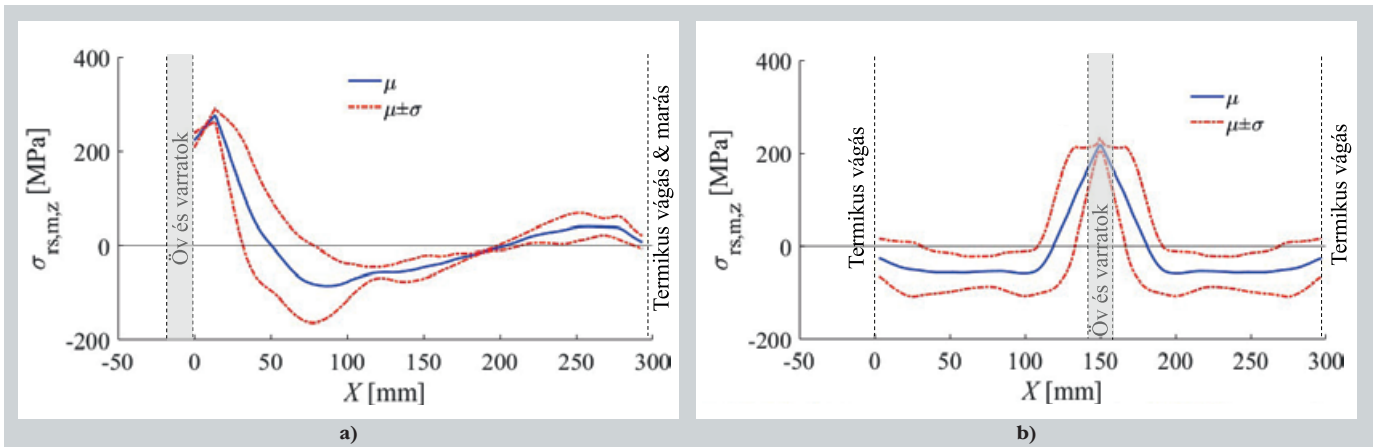
tok környezetében a geometria változásai miatt (9. ábra). A numerikus számításokat MATLAB program segítségével végeztük el lokális x és y koordinátatengelyek felvételével az egyes alkotólemezekben.

$$\sigma_{rs,m,z}(x) = \frac{1}{t} \int_{-\frac{t}{2}}^{\frac{t}{2}} \sigma_{rs,z}(x, y) dy \quad (1)$$

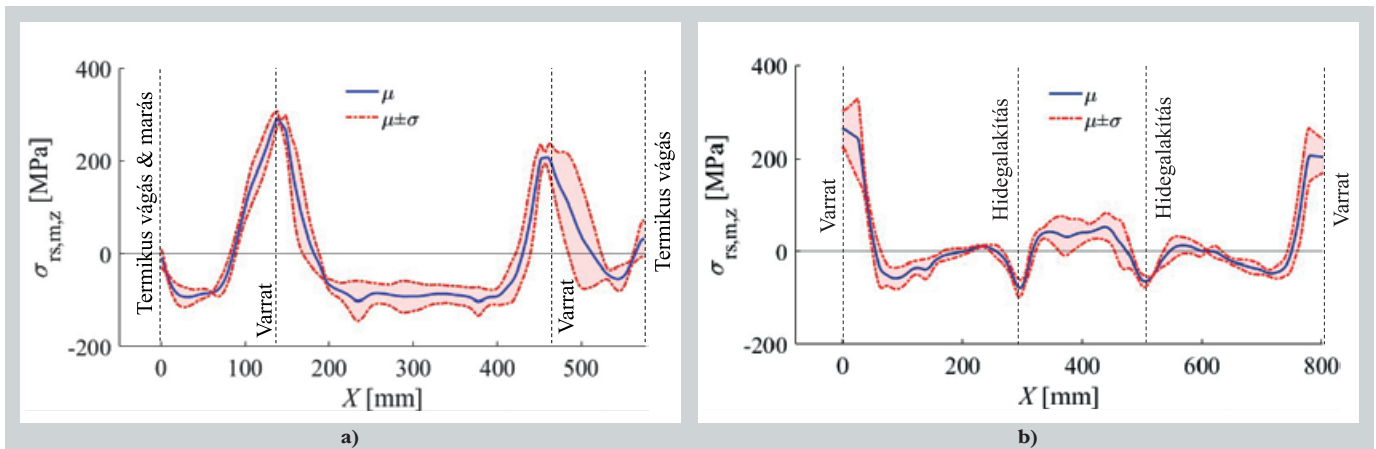
A hosszirányú membrán sajátfeszültségeket mind a hegesztett T-szelvények gerincén, mind az övében (10. ábra) lokális koordinátarendszerek segítségével (X és X') értékeltük ki. A feszültegeloszlás nagy gradiensekkel rendelkező húzófeszültségcsúcsokat mutattak a hegesztési varratok környezetében, míg a hegesztésektől távolabb

első területeken a nyomófeszültségek domináltak (kivéve a gerinc felső részét a belső nyomatékok egyensúlya miatt). A három próbatestre vonatkozó mérések alapján a változékonyság számszerűsítéséhez az alkotólemezek mentén kiszámítottuk a sajátfeszültségek átlagát (μ) és szórását (σ). Ezeket az értékeket a mérési konzisztencia és a térbeli változékonyságának értékeléséhez szemléltetjük. A hegesztés környezetében kisebb szórás figyelhető meg, mivel egy nagyobb tartományon történik az átlagolás. A 2σ szélességű sávot ($\mu \pm \sigma$) használtuk az adatok szórásának szemléltetésére. Az öv területén kapott eredményeket a sajátfeszültség-modell kidolgozása előtt tükröztük, így biztosítva a belső feszültségek kiegyensúlyozott reprezentációját.

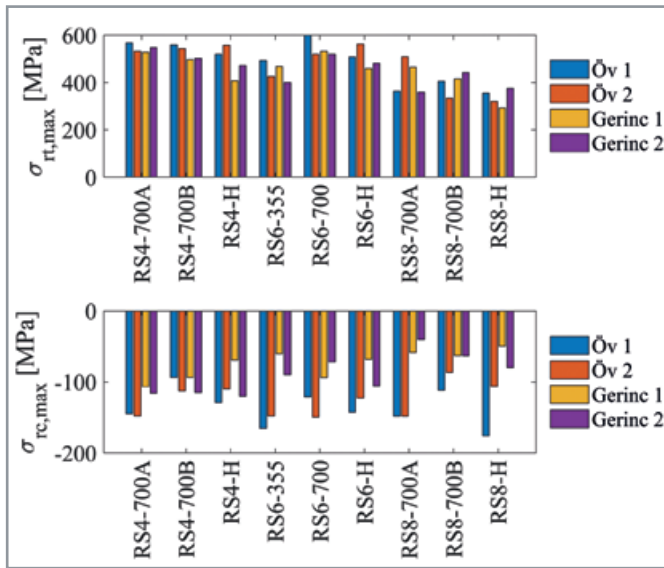
Ugyanezt a módszert alkalmaztuk az ortotrop pályalemezdarabok esetében is (11. ábra). Az átlagos szórás 22 MPa-ra adódott a merevítőbordában és 34 MPa-ra a pályalemez esetében, ami összhangban van az egyéb mérés-technikákra – például röntgendiffrakcióra (± 30 – 37 MPa), neutrondiffrakcióra (± 20 – 40 MPa), vagy a lyukfúrásos módszerre (± 12 – 40 MPa) – vonatkozó, a szakirodalomban közölt pontossági tartományokkal [16, 23, 24]. Az eredmények megerősítették, hogy a cikkben bemutatott kontúrmódszer hasonló, esetenként nagyobb pontosságot és jobb megbízhatóságot biztosít, mint a röntgendiffrakciós, neutrondiffrakciós, vagy lyukfúrásos mérési eljárások. Emellett azt is ki kell emelni, hogy a módszer lehetővé teszi a teljes sajátfeszültség-mező kiértékelését, amely komoly előnyt jelent a legtöbb pontszerű kiértékelést lehetővé tevő eljárással szemben.



10. ábra: Hosszirányú membrán maradófeszültségek T szelvények a) gerincében és b) övében [17]. A maradó feszültségek átlagát (μ) és szórását (σ) három próbatest eredményei alapján ábrázoltuk



11. ábra: Hosszirányú membrán maradófeszültségek az ortotrop pályalemez a) fedlemezében és b) merevítőbordájában [18]. A sajátfeszültségek átlagát (μ) és szórását (σ) négy próbatest eredményei alapján ábrázoltuk



12. ábra: A zárt szelvény övében ('Flange') és gerincében ('Web') kialakuló maximális hosszirányú membrán nyomó és húzó sajátfeszültségek [19]

A hegesztett zárt szelvényekben meghatároztuk a maximális húzó ($\sigma_{rt,max}$) és nyomó membrán maradó feszültségeket ($\sigma_{rc,max}$) (12. ábra) mind a kilenc próbatest esetében, mind az övlemezekben, mind a gerinclemezekben. A húzó membránfeszültségcsúcsok 292 MPa-tól (RS8-H, $t = 8$ mm, hibrid keresztmetszet) 600 MPa-ig (RS6-700, $t = 6$ mm, nagy szilárdságú acéllemezek) terjedtek. Bár a membrán maradó feszültségek általában nem haladják meg az alapanyag folyáshatárát, egyes lokális tartományokban mégis a névleges folyáshatárt meghaladó értékeket mérhetünk (részletekért lásd [19]). Az adatok szórása jellemezhető a négy sarokban mért maximális húzófeszültségek tartományával. Például ez a tartomány ± 19 MPa az RS4-700A (nagy szilárdságú acéllemezek) esetében, míg a hibrid keresztmetszetű RS4-H esetén elérte a ± 75 MPa-t. Az ábrán látható szórás a maradó feszültségek kialakulását meghatározó források változatosságát tükrözi. Ezek közé tartozik a különböző szilárdságú acéllemezek egyetlen keresztmetszeten belüli kombinálásának markáns hatása, valamint a négy sarok nem egyidejű hegesztése, a varratsorok fajlagos hőbevitelének eltérése.

Sajátfeszültség-modell fejlesztése

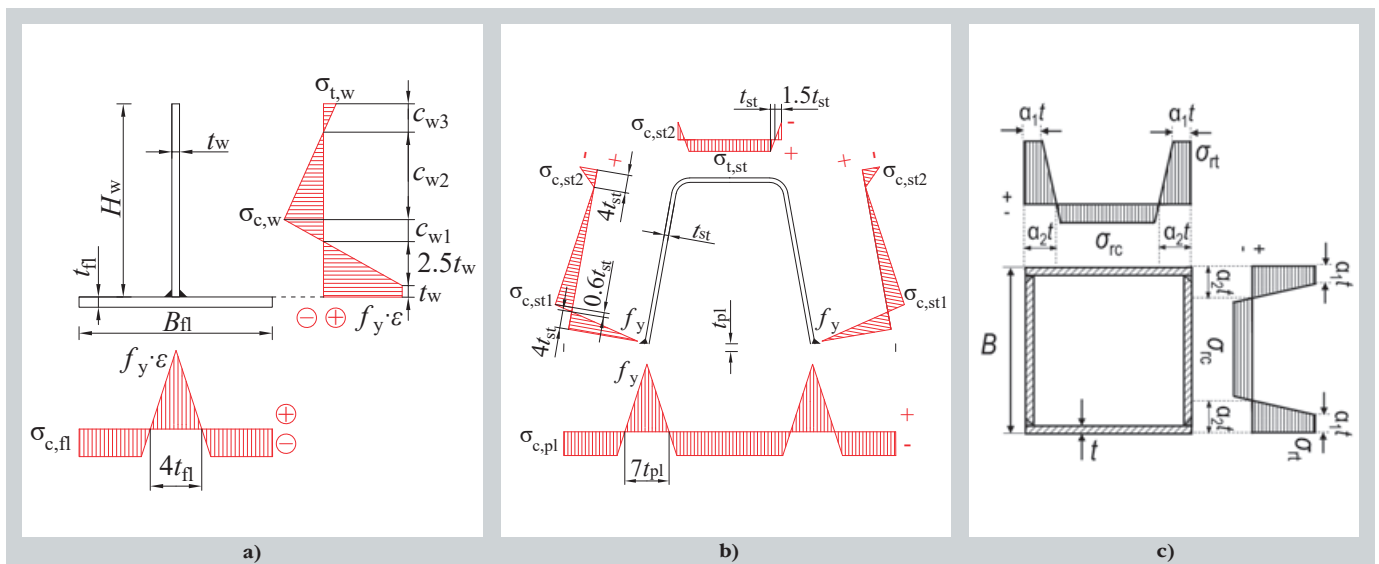
A sajátfeszültség-modellek kidolgozása kizárólag a kísérleti mérési eredmények alapján történt. Hegesztett T-szelvények esetében a javasolt modell [13. a) ábra] hasonló megközelítést követ, mint Schaper és társai [25] által bevezetett, hegesztett I profilok sajátfeszültség-modellje, amely a módosított folyáshatár $f_y \cdot \varepsilon$ segítségével veszi figyelembe az acél szilárdsági osztályát, ahol $\varepsilon = (235/f_y)^{1/2}$. Ez a számítási mód figyelembe veszi a varratok közelében csökkenő húzómembrán sajátfeszültségeket, amit a nagy feszültséggradiens és a vastagságrányú feszültségek csökkenése okoz. A modell a T-szelvény lemezvastagságait (t_{fl} és t_w) is figyelembe veszi. A nyomó és húzó sajátfeszültségek nagyságára ($\sigma_{c,fl}$, $\sigma_{c,w}$, $\sigma_{t,w}$) és a kapcsolódó geometriai paraméterekre (c_{w1} , c_{w2} , c_{w3}) vonatkozó kifejezéseket a [17] tartalmazza.

Ezenkívül egy egyszerűsített sajátfeszültség-modellt is kidolgoztunk az ortotrop pályalemezek belső bordáinak környezetére [13. b) ábra]. A modell figyelembe veszi a lemezvastagságokat (t_{st} és t_s), a merevítőlemezek közötti távolságot (s_{st}) és az alapanyag folyáshatárát (f_y). A merevítőben fellépő nyomó sajátfeszültségek $\sigma_{c,st1} = 0,15f_y$ és $\sigma_{c,st2} = 0,21f_y$, ami lineáris átmenetet eredményez a hegesztés környékén fellépő húzó- és nyomó feszültségek között.

A merevítőben fellépő húzó sajátfeszültséget $\sigma_{t,st} = 0,14f_y$ (azaz $2/3 \sigma_{c,st2}$) értékkel számoljuk. A pályalemezben fellépő nyomó sajátfeszültségek nagyságát az egyensúlyi állapot alapján a 2. egyenlettel számoljuk. További részletek a [18] forrásban találhatók.

$$\sigma_{c,pl} = f_y \left(\frac{s_{st} - \sqrt{s_{st}^2 - 28s_{st}t_{pl}}}{14t_{pl}} - 1 \right) \quad (2)$$

A zárt szelvények [13. c) ábra] húzott zónáinak (α_{1t} és α_{2t}) szélességét és a húzó-nyomó sajátfeszültség nagyságát (σ_{rt} és σ_{rc}) a főbb hegesztési paraméterek – többek között a fajlagos hőbevitel, a varratsorok száma és a hegesztési varrat mérete – függvényeként határoztuk meg. A modell figyelembe veszi a hozaganyag, az öv és a gerinc alapanyagainak szilárdsági osztályát is, így alkalmazható normál és nagy szilárdságú acélok kombinációjából álló hibrid zárt szelvényekre is [19].



13. ábra: Javasolt sajátfeszültség-modellek hegesztett a) T szelvény, b) ortotrop pályalemez és c) zárt szelvény esetén [17–19]

KONKLÚZIÓ

A cikk összefoglalót ad az építőmérnöki gyakorlatban alkalmazott hegesztett szerkezeti elemek hosszirányú sajátfeszültségeinek kísérleti vizsgálatáról, érintve mind a módszertant, mind a mérési eredményeket. A gyártás során keletkező sajátfeszültségeket kontúrmódszer segítségével határoztuk meg. A kutatás során az alábbi főbb megállapításokat tettük:

- A sajátfeszültség-mérések jó megismételhetőséget mutatnak: az átlagos szórás 22–34 MPa volt, ami összemérhető a korábban közölt diffrakciós technikák (20–40 MPa) és a lyukfúrásos módszer (12–40 MPa) pontosságával.
- A kontúrmódszer újszerű alkalmazása nagyméretű, komplex építőmérnöki keresztmetszetekre lehetővé tette olyan sajátfeszültség-modellek kidolgozását, amelyek kielégítik a belső erők és nyomatékok egyensúlyát, miközben közvetlenül figyelembe veszik a gyártás során alkalmazott hegesztési paramétereket.
- Normál szilárdságú, nagy szilárdságú és hibrid zárt szelvények esetén egy új sajátfeszültség-modellt javasoltunk, amely beépíti a hegesztéstechnológiai paramétereket és az anyagtulajdonságokat.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti a Magyar Tudományos Akadémiát, hogy lehetővé teszi az MTA–BME Lendület Új Generációs Acélhidak Kutatócsoport anyagi finanszírozását, és a Lendület programon (LP2021-06/2021) keresztül erkölcsi megbecsülést ad a hídépítési témájú acélszerkezeti kutatásoknak. A Doktoranduszi Kiválósági Ösztöndíj Program (DKÖP) által támogatott projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem közös támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatallal kötött támogatási szerződés alapján valósult meg.

REFERENCIÁK

1. Radaj, D., *Heat Effects of Welding: Temperature Field, Residual Stress, Distortion*, Springer (Berlin, 1992)
2. Gilles, P., et al., “Robustness analyses of numerical simulation of fusion welding NeT-TG1 application: Single weld-bead-on-plate”, *Int J Press Vessel Pip*, Vol. 8 (2009), p. 3–12, doi:10.1016/j.ijpvp.2008.11.012
3. European Convention for Constructional Steelworks, *Manual on Stability of Steel Structures: Part 2.2. Mechanical properties and residual stresses*, ECCS (Brussels, 1976)
4. Masubuchi, K., *Analysis of Welded Structures*, Pergamon Press (Oxford, 1980)
5. Prime, M.B., “Cross-sectional mapping of residual stresses by measuring the surface contour after a cut”, *J Eng Mater Technol*, Vol. 123 (2001), p. 162–168, doi:10.1115/1.1345526
6. Bueckner, H., “The Propagation of Cracks and the Energy of Elastic Deformation”, *Trans Am Soc Mech Eng*, Vol. 80 (1958), p. 1225–1230
7. Prime, M.B., DeWald, A.T., “The Contour Method”. In: Schajer, G.S., editor, *Practical Residual Stress Measurement Methods*, Wiley (Chichester, 2013), p. 109–138. doi:10.1002/9781118402832.ch5
8. Prime, M.B., et al., “Laser surface-contouring and spline data-smoothing for residual stress measurement”,

Exp Mech, Vol. 44, No. 2 (2004), p. 176–184, doi:10.1177/00144851039762

9. Balakrishnan, J., et al., “Residual stress distributions in arc, laser and electron-beam welds in 30 mm thick SA508 steel: A cross-process comparison”, *Int J Press Vessel Pip*, Vol. 162 (2018), p. 59–70, doi:10.1016/j.ijpvp.2018.03.004
10. DeWald, A.T., et al., “Measurement of Welding Residual Stress in Dissimilar Metal Welds Using the Contour Method”, *ASME 2011 Pressure Vessels and Piping Conference*, July 2011, Baltimore, MD, p. 1599–1605, doi:10.1115/PVP2011-57720
11. Achouri, A., et al., “The incremental contour method using asymmetric stiffness cuts”, *Materials and Design*, Vol. 197 (2021), Paper 109268, doi:10.1016/j.matdes.2020.109268
12. Chu, Q., et al., “Introducing compressive residual stresses into a stainless-steel T-pipe joint by an overlay weld”, *Metals*, Vol. 11, No. 7 (2021), p. 1–11, doi:10.3390/met11071109
13. Murugan, N., Narayanan, R., “Finite element simulation of residual stresses and their measurement by contour method”, *Mater Des*, Vol. 30 (2009), p. 2067–2071, doi:10.1016/j.matdes.2008.08.041
14. Gadallah, R., et al., “Residual stress measurement at the weld root of rib-to-deck welded joints in orthotropic steel bridge decks using the contour method”, *Eng Struct*, Vol. 219 (2020), Paper 110946, doi:10.1016/j.engstruct.2020.110946
15. Olson, M.D., et al., “Assessment of weld residual stress measurement precision: Mock-up design and results for the contour method”, *J Nucl Eng Radiat Sci*, Vol. 1, No. 3 (2015), doi:10.1115/1.4029413
16. Hill, M.R., Olson, M.D., “Repeatability of the Contour Method for Residual Stress Measurement”, *Exp Mech*, Vol. 54 (2014), p. 1269–1277, doi:10.1007/s11340-014-9867-1
17. Kollár, D., et al., “Assessment of residual stresses in welded T-joints using contour method”, *Thin-Walled Struct*, Vol. 190 (2023), Paper 110966, doi:10.1016/j.tws.2023.110966
18. Kollár, D., et al., “Development of residual stress model of orthotropic steel decks using measurements”, *Structures*, Vol. 58 (2023), Paper 105601, doi:10.1016/j.istruc.2023.105601
19. Horváth, A., et al., “Distortions and residual stresses of NSS, HSS and hybrid box sections with single-bevel butt welds: An experimental study”, *Thin-Walled Struct*, Vol. 208 (2025), Paper 112834, doi:10.1016/j.tws.2024.112834
20. MATLAB R2020b, version 9.9.0.1453 (2020). Natick, Massachusetts, USA: The Mathworks Inc.
21. ANSYS, version 19.5 (2020). Canonsburg, Pennsylvania, USA: ANSYS Inc.
22. Olson, M.D., et al., “Estimation of Uncertainty for Contour Method Residual Stress Measurements”, *Exp. Mech.*, Vol. 55, No. 3 (2015), p. 577–585, doi:10.1007/s11340-014-9971-2
23. Lord, J.D., et al., *A UK Residual Stress Intercomparison Exercise – An Examination of the XRD and Hole Drilling Techniques*, NPL Rep MATC(A)98, National Physical Laboratory (Teddington, 2002)
24. Schajer, G.S., Whitehead P.S., “Hole Drilling and Ring Coring “. In: Schajer, G.S., editor, *Practical Residual Stress Measurement Methods*, Wiley (Chichester, 2013), p. 29–64. doi:10.1002/9781118402832.ch2
25. Schaper, L., Tankova, T., Simões da Silva, L., Knobloch, M., “A novel residual stress model for welded I-sections”, *J Constr Steel Res*, Vol. 188 (2022), Paper 107017, doi:10.1016/j.jcsr.2021.107



Nullifire
Smart Protection

Teljeskörű termékínálat!
Nullifire acél tűzvédő bevonatok



ETA
21/0683

SC605

Az SC605 oldószeres, borátmentes, magas szárazanyag-, alacsony VOC -tartalmú, tűzvédő bevonat. Bel és kültéri acélszerkezetek 60 perces tűz elleni védelmére optimalizálva.

SC803

Az SC803 vízzel hígítható tűzvédő bevonat. Beltéri és időjárás behatásától védett kültéri acélszerkezetek tűzvédelmére, 90 perces tűzállóságig.

SC902

Szabadalmaztatott hibrid technológián alapuló, alacsony VOC-tartalmú, kétkomponensű, egyrétegű tűzvédelmi bevonat. Gyors száradás, acélszerkezetek hatékony tűzvédelme, 120 perces tűzállóság.



ETA
20/1210

mipa

Professional Coating Systems

MIPA HUNGARIA KFT
8000 SZÉKESFEHÉRVÁR,
ZSÚRLÓ UTCA 2.

Tel: +36 22 514 510

Fax: +36 22 514 517

info@mipahungaria.hu

www.mipahungaria.hu

A termékek gyártója:



ETA
20/1216

INNOVATÍV VASÚT FELETTI GYALOGOSHIDAK

Integrált korlát-tartószerkezet-érintésvédelem rendszer két megvalósult példán keresztül



1. ábra: A híd alapmodellje

FELCSAPÓDÁS ELLENI ÉS ÉRINTÉSVÉDELEM – A PROBLÉMA

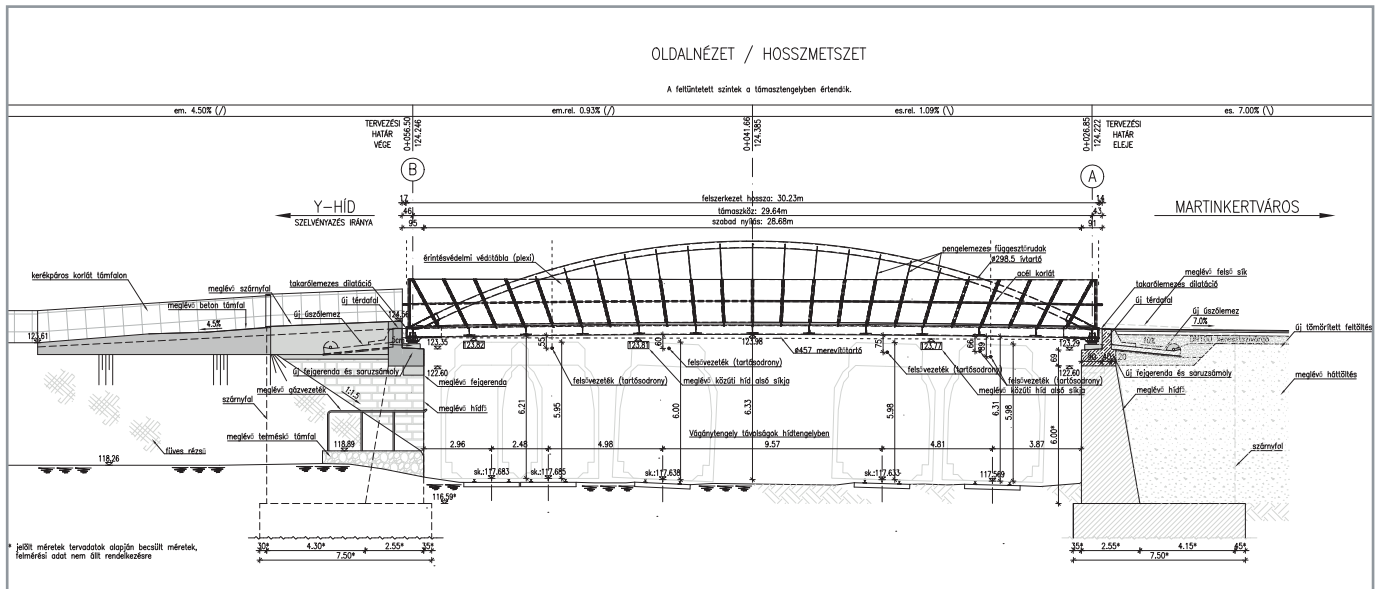
A vasútvonalak fölött átívelő gyalogos- és kerékpárosshidak tervezése egyedi kihívást jelent. A teherbírasi és használhatósági követelményeken túl a villamosított vasútvonal közelsége külön biztonsági igényeket támaszt: a felsővezeték felcsapódása elleni védelmet és az ehhez kapcsolódó érintésvédelmi kialakítást kötelezően biztosítani kell. Ezeket a funkciókat a hagyományos megoldások jellemzően önálló, tömör és zárt falszerű elemekkel oldják meg, amelyek utólag „ráülnek” a tartószerkezetre.

Az eredmény sokszor kiszámítható: a híd elveszíti szerkezeti karakterét, nehézkes és zárt hatást kelt, és inkább megtűrt műtárgyként illeszkedik a városi térbe, minsem azt gazdagítaná. A védelmi elemek sok esetben elfedik azokat a formai finomságokat, amelyeket a tervező épített a szerkezetbe.

Az általunk alkalmazott megközelítés ezzel szemben integrált szemléleten alapul: a korlát, a felcsapódás elleni védelem és az ívhíd tartószerkezete egységes rendszerként jelenik meg.



2. ábra: Felcsapódás elleni érintésvédelem – hagyományos és innovatív megoldás



3. ábra: A miskolci Kisfaludy utcai híd általános terve

A cél nem a védelmi elemek elrejtése volt, hanem azok szerves beépítése – úgy, hogy a funkció és a forma ne egymás ellen dolgozzon, hanem együtt.

VASÚT FELETTI GYALOGOS-HIDAK JELLEGZETESSÉGEI

Szerkezet vs. szerkezeti magasság (alsó vs. felsőpályás)

Vasút feletti átkelőknél az egyik legmeghatározóbb tervezési kényszer a szerkezeti magasság minimalizálása. A csatlakozórámpák, a városi kötöttségek és a szomszédos műtárgyak sokszor igen szűk mozgásteret hagynak. Ebben a helyzetben az alsópályás tartószerkezet kézenfekvő választás: a tartószerkezet magassága a pályaszint alá nem nyúlik, a pályaszint felett pedig az ív felfelé nő, így az átvezetési magasságból nem kell feláldozni semmit.

A felsőpályás megoldásokhoz képest az alsópályás ív előnyösebb ott, ahol a szabad szelvény szűkös, a csatlakozószerkezetek kötöttek, vagy ahol a híd vizuális tömegét is minimalizálni kell. Az ív ugyan megjelenik a pályaszint fölött, de épp ez adja a szerkezet karakterét – feltéve, hogy a felette megjelenő korlát- és védelmi elemek nem rontják el a képet.

Könnyen építhető alsópályás szerkezet

Az alsópályás acél ívhíd kivitelezési szempontból is kedvező: a felszerkezet a vágányoktól távolabb, biztonságos területen előre összeállítható, majd viszonylag rövid vágányzárban, daruval

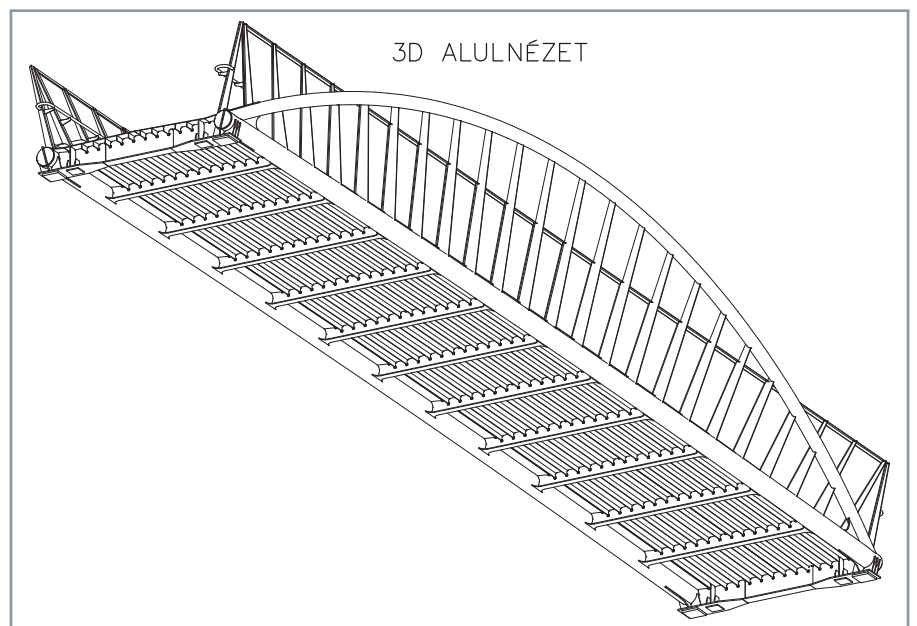
beemelhető a helyére. Ez különösen fontos aktív vasúti vonalak esetén, ahol a vágányzár ideje és szervezése kritikus tényező.

INNOVATÍV SZERKEZET – INTEGRÁLT RENDSZER

A Speciálterv tervezési gyakorlatában az acél csőszelvényekből kialakított ívhíd visszatérő alaptípus: egyszerű, gazdaságos és esztétikusan formálható tartószerkezet. A csőszelvény különösen alkalmas térbeli ívkialakításhoz, jól viseli a döntött síkú geometriát, és a csomópontképzés is letisztuló, karcsú részleteket eredményez.

Az integrált rendszer lényege az, ahogyan a függesztőrudak szerepe kibővül. A pályalemez és az ív közötti teherátadáson túl a függesztők a korlát tartószerkezeti elemei is: a kézléctartó konzolok közvetlenül a pengelemezes függesztőrudakhoz csatlakoznak. A trapéz alakú, az ívtartó felé karcsúsodó függesztőlemezek így nem csupán teherhordók, hanem a híd vizuális ritmusát is meghatározzák.

Az érintésvédelmi védőablak szintén a függesztőrudak fogadólemezeihez rögzülnek. A táblák átlátszó, UV-álló műanyagból készülnek, zárt kialakítással – de mivel a tartószerkezetbe integráltan helyezkednek el, és nem önálló falként jelennek meg, a híd átlátható és könnyed marad.



4. ábra: Könnyen építhető alsópályás szerkezet a miskolci Kisfaludy utcai híd példáján

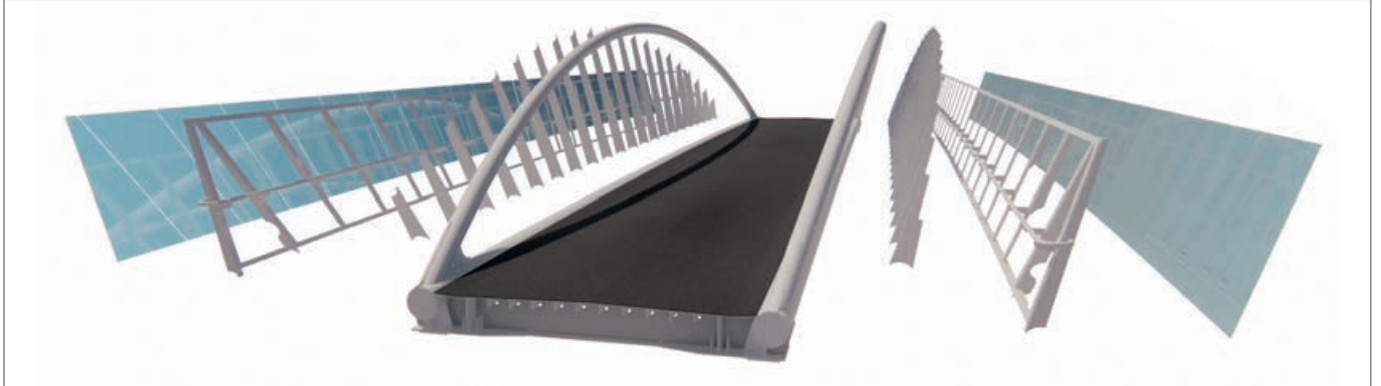
Integrált korlátvédelem és függesztőrendszer

A szabályozási háttér konkrét méreteket határoz meg. Az e-UT 07.01.11 előírása alapján az érintésvédelmi védőtábla magassága a korlátmagasságnál 60 cm-rel több. Kerékpáros átvezetésnél az előírt korlátmagasság 140 cm, így az érintésvédelmi védő-

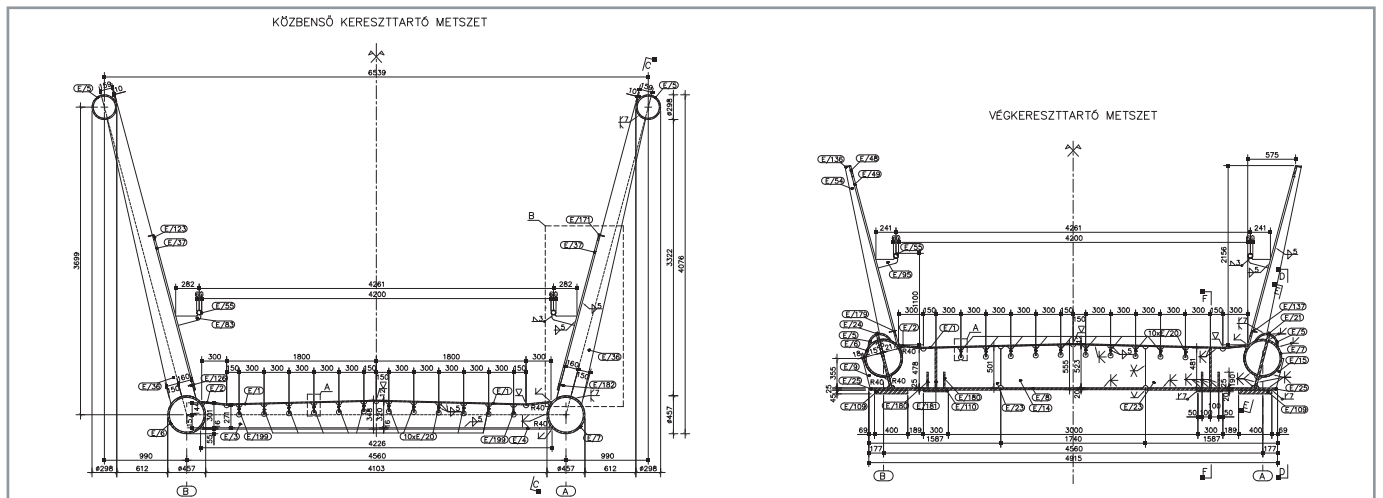
tábla felső széle 200 cm-re kerül a pályalemez felett. A védőtábla oldalsó szélét a felsővezeték tengelyétől legalább 2,00 m távolságra kell elhelyezni.

Az integrált megoldás előnye itt mutatkozik meg igazán: a korlátmagasságot az érintésvédelmi védőtábla önmagában biztosítja, különálló korlátszerkezeti elem elhelyezése nem

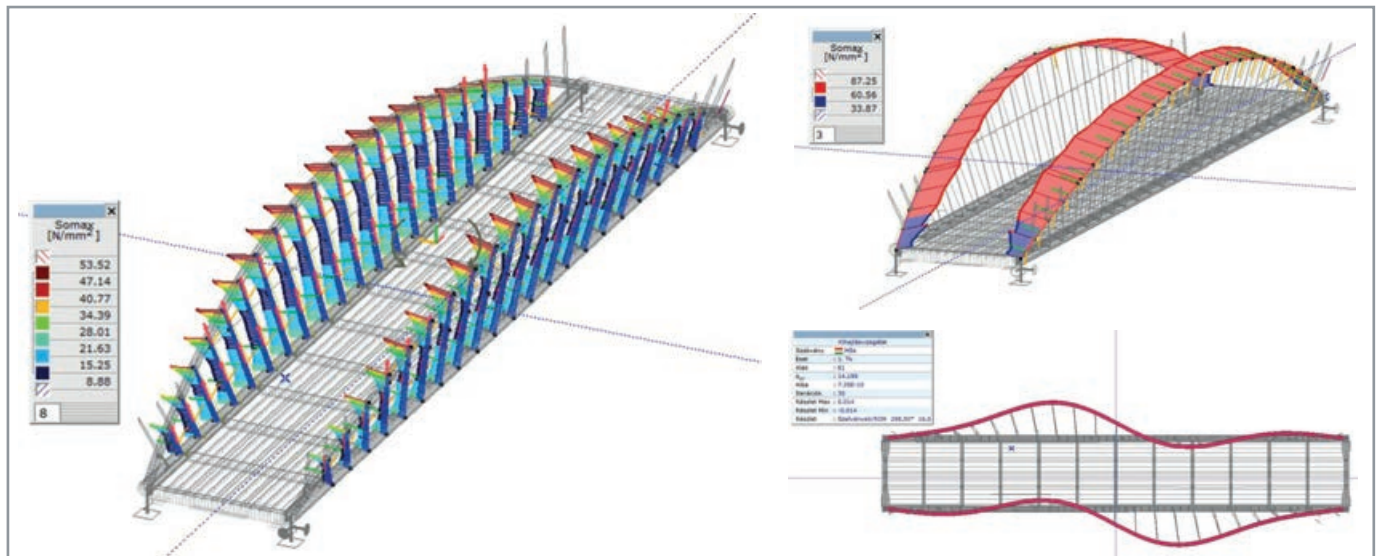
szükséges. A kézléc 1,10 m magasságban, acél csőszelvényből hegesztett kivitelben készül, közelítőleg 6 méterenkénti csúszó dilatációkkal. Ez a megoldás egyszerre felel meg a gyalogos-kerékpáros vegyes forgalom követelményeinek, és tartja meg a szerkezet transzparens, elegáns megjelenését.



5. ábra: A függesztőrúdak nemcsak a pályaszerkezetet kapcsolják az ívhez, hanem a korlát szerepét is betöltik



6. ábra: A végkeresztartó és a közbenső keresztartó metszetei



7. ábra: Rúd feszültség, ívfeszültség és sajáthalak

ALKALMAZÁSI PÉLDÁK

Kisfaludy utcai kerékpárhíd – Miskolc

A miskolci Kisfaludy utcai gyalogos- és kerékpárhíd a 80. számú villamosított vasútvonal fölött, a Martinkertvárost a Belvárossal összekötő utcában helyezkedik el. A létesítmény egy meglévő, régi közúti hídszerkezet meghagyott hídfőire támaszkodik, az újonnan épülő Y-híd kerékpáros fejlesztési programjának részeként valósult meg. Beruházó: NIF Zrt., generálkivitelező: HE-DO Kft., híd szak-kivitelező: SA Sziget Kft., acélszerkezet-gyártó-szerelő: Darusín Kft.

Az új felszerkezet tervezésénél alapvető szempont volt a műszakilag elérhető legkisebb szerkezeti magasság. A hídszerkezet kéttámaszú, acélszerkezetű, függesztett alsópályás, döntött síkú kétfőtartós ívhíd ortotrop pályalemezzel. A hídpályát kétoldali függesztőrudak kapcsolják az ívekhez, 2,47 m-es ritmusban.

A híd legfontosabb adatai: támaszköz 29,64 m, felszerkezet hossza 30,23 m, útpálya hasznos szélessége 4,20 m, felszerkezet szélessége 6,86 m, szerkezeti magasság 0,348 m, acélszerkezet össztömege 60 t.

Ez az arány – közel 30 méteres fesztáv mellett alig 35 cm szerkezeti magasság – az ortotrop acél pályalemeznek és a tudatosan optimalizált keresztmetszetnek köszönhető. A merevítőtartó ortotrop pályalemezének peremtartói $\text{Ø}457$ mm, 20 mm falvastagságú csőszelvények, míg az ív $\text{Ø}298,5$ mm, 16 mm falvastagságú csövekből készült. A pályalemez 12 mm vastag, bordái 300 mm-enkénti kiosztásban 120×12 mm laposacél szelvények.



8. ábra: A Kisfaludy utcai híd építése



9. ábra: A Kisfaludy utcai híd beemelése



10. ábra: A Kisfaludy utcai híd beemelése

A keresztartók 1,235 m-enkénti ritmusban, minden második függesztőrúdnál merevítik a lemezt. A függesztőrudak 16 mm vastagságú acéllemezről készültek, az ívtartó felé karcsúsodó trapéz alakúak.

A szerkezet teherbírása az e-UT 07. 01.12:2011 szabvány szerint 5 kN/m² egyenletesen megoszló terhelésre igazolt. A tervezés során eseti gépjárműterhelést is figyelembe vettünk, amely az áthaladó karbantartó járművek és a mentőautó áthaladásának lehetőségét biztosítja.

A híd íveit kifelé döntöttük. A döntött síkú geometria oldalirányú stabilitási előnyt jelent, ami különösen fontos viszonylag karcsú ívgeometria esetén. A stabilitásvizsgálatot AXIS VM programban végeztük; az első pozitív sajátérték $\alpha_{cr} = 14,2$ -nek adódott, ami az ívhíd kielégítő kihajlási tartalékát igazolja. A gyalogosdinamikai vizsgálatokat a Sétra [1] útmutató alapján végeztük el. A gyártmánytervek készítéséhez a teljes szerkezetet Tekla acélszerkezeti programban modelleztük.

A kivitelezés során az acélszerkezet előregyártása párhuzamosan folyt az alépitményi munkákkal. A kész felszerkezetet két mobil daruval, teljes vágányzárban, éjszaka emelték be a vasúti vágányok fölé – a szomszédos közúti hídon folyó párhuzamos munkák miatt a logisztika különösen precíz szervezést igényelt.



11. ábra: A Kisfaludy utcai híd



12. ábra: A Török utcai híd beemelése



13. ábra: A Török utcai híd beemelése

Török utcai kerékpáros- és gyalogoshíd – Budapest, Soroksár

A rendszer második megvalósult példája a budapesti soroksári Török utcánál épült fel. A felszerkezeti elemek beemelése nemrégiben zajlott le, mely egy újabb mérföldkő az integrált szemléletű vasút feletti hídszerkezetek sorozatában.

A két híd között az alapvető szerkezeti logika azonos: döntött síkú csőszelvényes, alsópályás ív, ortotrop pályalemez, pengelemezes függesztőrudak, integrált korlát és érintésvédelmi rendszer. A helyszíni adottságok ugyanakkor eltérőek: más alépítményi feltételek, más városi környezet, más csatlakozási geometria. Az a tény, hogy a rendszer mindkét helyzetben alkalmazható volt és azonos minőségű eredményt adott, maga az igazolás: nem egyedi megoldásról, hanem adaptálható típusszerkezetről van szó.

Vizuálisan a két híd testvéreknek hat. Az ívek ritmusa, a fehér acélszerkezet megjelenése, a transzparens védelmi felület – mind ugyanazt a szerkezeti nyelvet beszéli. Ez tudatos és vállalt: a cél nem az volt, hogy minden projektben más legyen a híd, hanem hogy egy következetes, felismerhető és megalapozott tervezési szemlélet jelenhessen meg az épített környezetben.

NEMZETKÖZI PÁRHUZAM

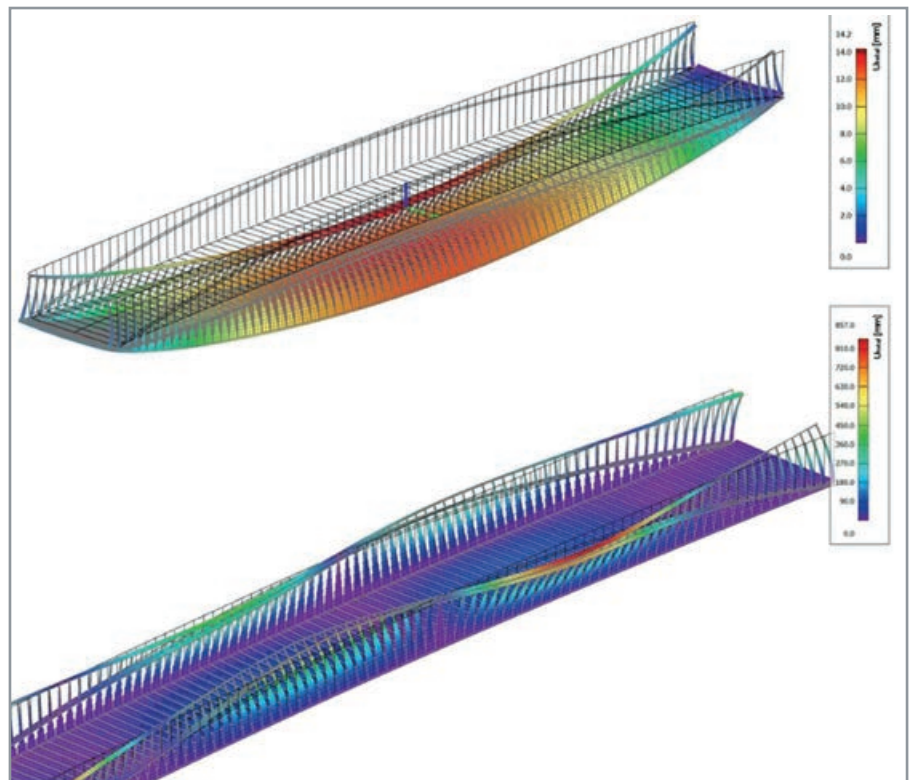
– Footbridge Toerdomp, Belgium

A belgiumi Laarne közelében, a Natura 2000 védett természeti területen átívelő Footbridge Roerdomp (tervező: SEA+Partners, statikai elemzés: SCIA Engineer) megmutatja, hogy az integrált ívhíd-szemlélet nem egyetlen tervezői iskola sajátossága. A híd a Kalkenvaart-csatorna fölött ível, természetes tájképi kontextusban – vasúti kényszerek nélkül, egészen más funkcionális feltételek között –, mégis ugyanarra a konstruktív következtetésre jut: az ív, a korlát és a szerkezet nem rétegelhető szét egymástól független elemekre, hanem egységes rendszerként működnek a legjobban.

A stabilitásvizsgálatot SCIA Engineer programban, nemlineáris analízissel végezték, az első instabilitási módhoz tartozó kezdeti imperfekcióval – az ívkihajlási ellenállás igazoltnak bizonyult. A gyalogosdinamikai komfortvizsgálatot szintén a Sétra útmutató alapján végezték, a rezgési kockázat mini-



14. ábra: Török utcai híd



15. ábra: SCIA stabilitási és dinamikai modellek



16. ábra: Footbridge Roerdomp, beemelés

málisnak adódott [2]. A felszerkezet egyetlen egységként, daruval került a helyére – ugyanaz a kivitelezési logika, amelyet a hazai projekteknél is alkalmaztunk. A párhuzam nem erőltetett: ahol a szerkezeti feltételek hasonlóak, a mérnöki gondolkodás hasonló irányba tart.

RENDSZERSZINTŰ ALKALMAZHATÓSÁG ÉS SKÁLÁZÁS

A két megvalósult hazai híd azt mutatja, hogy az integrált alsópályás csőszelvényív-rendszer nem egyetlen projekt terméke, hanem reprodukálható típusszerkezet. A rendszer lényege nem egy konkrét méret, hanem a konstruktív logika: az ív, a függesztés, a korlát és a védelmi funkció egyetlen, egymásra épülő szerkezeti rendszerben jelenik meg.

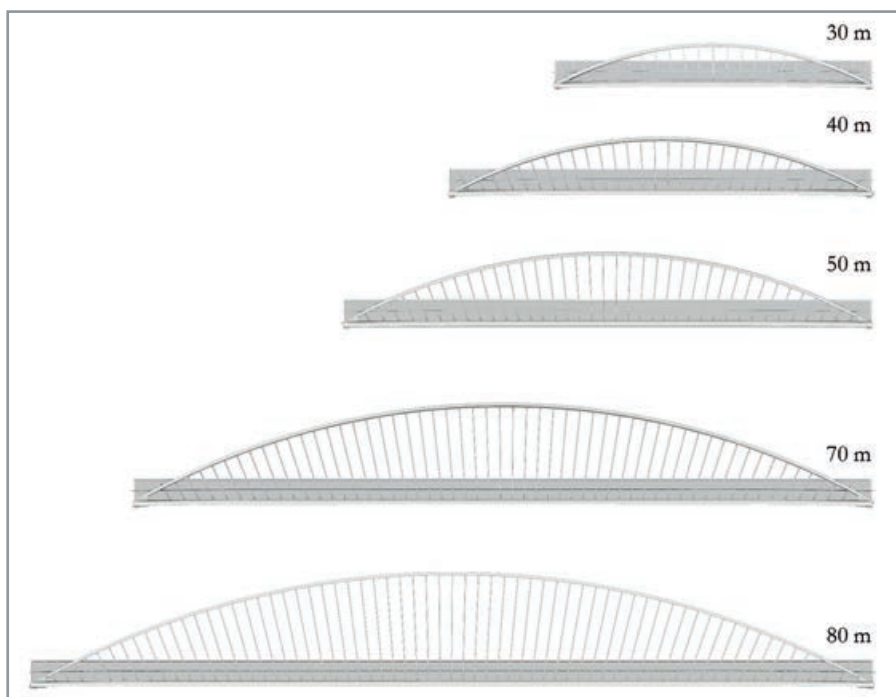
A paraméterek széles tartományban változtathatók. A fesztáv növelhető, az ív emelkedése és döntési szöge módosítható, a függesztők kiosztása a terhelési és stabilitási igényekhez igazítható, a pályaszélesség a forgalmi funkciótól függően variálható.

A jelenlegi megvalósulások ~30 méteres tartományban mozognak, de a rendszer ennél lényegesen nagyobb nyílásokra is alkalmas. A csőszelvényes alsópályás ív, ortotrop pályalemezzel és integrált függesztőrendszerrel, megfelelő arányokkal és szelvényméretekkel akár 80 m fesztávig is skálázható. Ez már középtartományú fesztávnak számít, ahol számos városi és elővárosi vasúti keresztezési feladat adódik, amelyek eddig kompromisszumos vagy esztétikailag nehezen vállalható megoldásokkal valósultak meg.

ÖSSZEGZÉS

A vasút feletti gyalogos- és kerékpárosshidaknál a biztonsági és üzemi követelmények sokszor a szerkezet rovására érvényesülnek: a kötelező védelmi elemek tömör, zárt megjelenést kényszerítenek ki, amelyek elfedik a tartószerkezet karakterét.

A miskolci Kisfaludy utcai és a budapesti Török utcai híd példája azt mutatja, hogy ez nem törvényszerű. Az integrált korlát-érintésvédelem-függesztő rendszer olyan tervezési szemléletet képvisel, amelyben a biztonsági funkciók nem ráépülnek a szerkezetre, hanem annak részévé válnak. Az eredmény: transzparens, könnyed, mégis előírászerű és tartós hídszerkezet, amely minőségi



17. ábra: Skálázhatóság – a paraméterek széles tartományban változtathatók



18. ábra: A Török utcai híd

elemként illeszkedik a városi térbe. A nemzetközi párhuzamok azt erősítik meg, hogy a szemlélet szélesebb körben is időszerű. A két megépült híd a koncepció validációja – a következő lépés a rendszer tudatos kiterjesztése, nagyobb fesztávok és változatos helyszíni feltételek felé.

HIVATKOZÁSOK

- [1] SETRA/AFGC: Passerelles piétonnes – Evaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons. Sétra, 2006.
[2] Pál, G.; Borzai, T., Kemenczés, A. (2022) Kisfaludy kerékpáros híd tervezése. MAGÉSZ Acélszerkezetek XIX/4. pp. 20–26.

[3] e-UT 07.01.11: Vasút feletti hidak tervezési előírásai

[4] e-UT 07.01.12:2011: Gyalogos és kerékpáros hidak teherbírásai előírásai

KÉPJEGYZÉK

SPECIÁLTERV: 1., 2. a),3–7. 13–14. 17–20. képek;

Google Earth: 2. b) kép;

Darusín: 8. ké;

Magyar Építők: 9–11. képek;

Youtube – Pampalini Adventures: 12-kép;

Allplan Case Study: 15. kép;

SEA+Partners / Allplan International: 16. kép.



19. ábra: A Török utcai híd



20. ábra: A Kisfaludy utcai híd

FERROKOV

VAS ÉS FÉMIPARI KFT.

MÁR TÖBB MINT 30 ÉVE ÁLL A TÖKÉLETES FELÜLETVÉDELEM SZOLGÁLATÁBAN.

A folyamatos fejlesztéseknek, a magas szintű műszaki kultúrának, valamint a vevői minőségi elvárások mindenkor szem előtt tartásának köszönhetően mára a cég térségének egyik legjelentősebb munkáltatójává nőtte ki magát, és a dél-somogyi, segesi központ mellett Észak- és Kelet-Magyarországon is bír telephelyekkel.

Legfőbb erőssége acélszerkezetek, acélalkatrészek és kötőelemek sorozatgyártása, valamint azok felületvédelemmel (tűzhorganyzás, galvanizálás, porfestés, hagyományos festés) történő ellátása

A fentiekhez szükséges gyártási technológiák – (cső- és lemez)lézervágás, hajlítás, stancolás, kézi- és robothegesztés, CNC marás és -fúrás, felületvédelmi eljárások – alkalmazásához modern, folyamatosan frissülő géppark párosul.

A Ferrokov Kft. természetesen rendelkezik a megfelelő nemzetközi tanúsítványokkal, mind a minőségbiztosítás, mind a környezetirányítás, mind pedig a horganyzási-, hegesztési- és acélszerkezet gyártási technológiák tekintetében.

Mindezeknek köszönhetően a Ferrokov Kft nemzetközi elismertsége és keresettsége rendkívül magas szintű, ennek megfelelően forgalmának több mint 90%-át a nyugat-európai és tengerentúli exportpiacokon bonyolítja. Főbb partnerei között megtalálhatók globális piacvezető építőipari és energetikai cégek, de a cég által gyártott alkatrészek agrárparban, közlekedésiparban és egyéb gépipari környezetben is felhasználásra kerülnek.

PROFIL:

-acélszerkezet gyártás
-tűzhorganyzás mártásos és centrifugális technológiákkal
(EN ISO 1461/2000)
Horganyzó kádaink:
4000 x 1200 x 2300 mm-es acélkád
4900 x 900 x 1200 mm-es acélkád
2600 x 900 x 1200 mm-es kerámikád
-Manuális- és robothegesztés
(EN 1090-1:2009/AC:2010, DIN 18800-7 D osztály
és DIN EN 3834-2)
-galvanizálás automatizált soron

-kötőelem gyártás (5.6-8.8-10.9) anyagminőségig:
M8-M36 méretig.)
Egyenes és hajlított rúdcsavarok M8-as mérettől.
-lézervágás (CNC) – lemez és cső
-esztergálás (CNC)
-élhajlítás (CNC)
-festés, porfestés
-szemcseszórás
-nagy pontosságú CNC marás, megmunkálás

FERROKOV Vas-és Fémipari Kft.

H-7562 Segesd, Pálmaház utca 1.

Tel.: +36 82 598-900 vagy +36 82 598-919

Fax: +36 82 598-910

E-mail: info@ferrokov.hu

Web: www.ferrokov.hu

Gelicz József - termelési igazgató

(+36 20 9492-463)

Kocsis Péter - kereskedelmi vezető

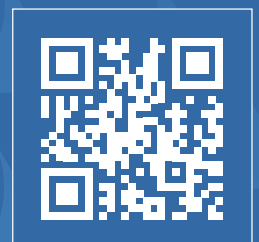
(+36 20 6166-462)



A HORIZONTOT ÉPÍTJÜK!

#DunaGroup
#BuildingHorizons

www.duna.group



FERDE KÁBELES HIDAK PILONJAINAK KIHAJLÁSVIZSGÁLATA

Ferde kábeles hidak méretezése során mértékadó vizsgálat a külpontosan nyomott pilonok stabilitási ellenőrzése. A kihajlási vizsgálat, a geometriai, befogási és terhelési sajátosságok miatt azonban legtöbbször csak pontosított végeselemes modellezéssel és analízissel hajtható végre. A közelítő számítások során a karcsúság számításához szükséges kihajlási hossz csak sok közelítést alkalmazva becsülhető meg. A jelen cikk keretein belül bemutatott TDK-kutatás fő célkitűzése volt megadni ferde kábeles hidak tipikus pilonformáinak kihajlási hosszait különböző paraméterek függvényében, numerikus modellek segítségével. Így ezen pilonalakokra az előtervezés szakaszában történő kihajlási vizsgálat akár numerikus modellalkotás nélkül is megfelelő pontossággal elvégezhető.

1. A KUTATÁSI TÉMA ISMERTETÉSE

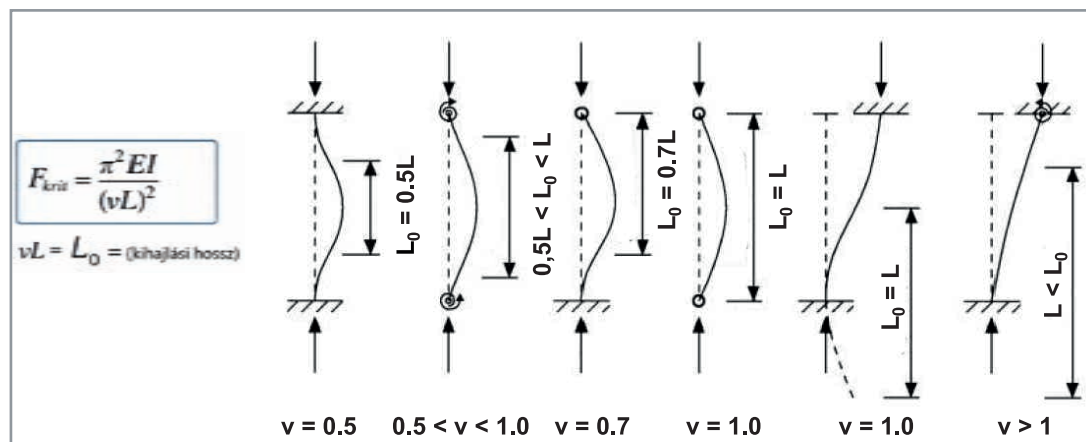
A ferde kábeles hídszerkezet-típus fontos teherhordó elemei a pilonok, amelyek a pályaszerkezet és a ferde kábelek által közvetített terhek döntő részét viselik, jellemzően jelentős normálerő és hajlító igénybevétel együttes hatása mellett. Szerkezeti viselkedésük stabilitási szempontból összetett, mivel a kábelek excentrikus bekötései, a nem állandó normálerő-eloszlás, valamint a globális és lokális merevségi viszonyok együttesen befolyásolják a tönkremeneteli módot. A pilonok tipikus stabilitásvesztési formája a síkbeli vagy síkra merőleges kihajlás kétszeresen szimmetrikus, zárt szelvényű acélpilonok esetén. A kihajlási teher és az ahhoz tartozó kritikus állapot meghatározása ezért a ferde kábeles hidak méretezésének egyik mértékadó vizsgálata.

Egyszerűbb esetekben a kihajlás analitikus módszerekkel is vizsgálható. A stabilitásvesztéshez tartozó kritikus erő meghatározásához szükséges a **kihajlási hossz** ismerete, amely a kihajlási alakban megjelenő egy fél szinuszhullám

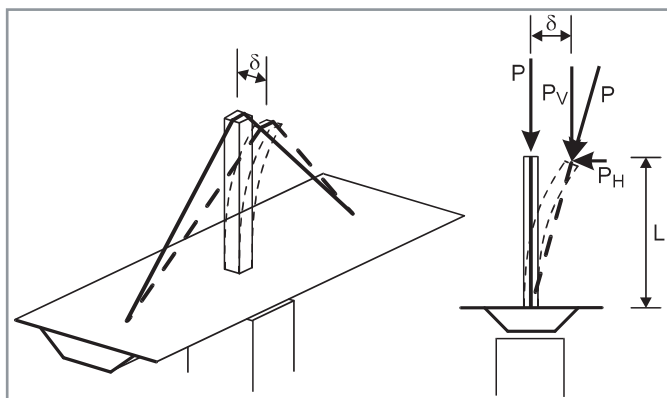
In the design of cable-stayed bridges, a governing verification is the stability check of eccentrically compressed pylons. Due to geometric, boundary condition, and loading characteristics, buckling analysis can in most cases only be performed using refined finite element modelling and analysis. In approximate calculations, the buckling length required for the determination of slenderness can be estimated only by applying numerous assumptions. The primary objective of the TDK research presented in this paper was to determine the buckling lengths of typical pylon geometries of cable-stayed bridges as a function of various parameters using numerical models. As a result, for these pylon configurations, buckling verification in the preliminary design stage can be carried out with adequate accuracy even without the use of numerical modelling.

(helyettesítő csuklós-csuklós Euler-rúd) hosszát jelenti, valamint a szerkezeti elem megtámasztási viszonyaitól és geometriai kialakításától függ (1. ábra). A ferde kábeles hidak pilonjai esetében ezek a feltételek általában nem feleltethetők meg a klasszikus alapeseteknek, így a kihajlási hossz csak jelentős közelítésekkel becsülhető. Ennek következtében az analitikus kézi számítások pontossága korlátozott, ugyanakkor az előtervezési fázisban továbbra is fontos szerepet töltenek be egyszerűségük és gyors alkalmazhatóságuk miatt.

A tervezői gyakorlatban a pilonok stabilitásának pontos ellenőrzése jellemzően részletes végeselemes modellek segítségével történik, amelyek képesek figyelembe venni a geometriai nemlinearitásokat, a kábelek és a merevítőtartó kölcsönhatását, valamint a valós megtámasztási feltételeket. Egyik specifikus nemlineáris jelenség a **nem-iránytartó terhek hatása**, ahol a pilonok síkra merőleges kihajlása esetén kábelekről átadódó vízszintes erőkomponens jelenik meg, ami kedvező a stabilitás szempontjából (2. ábra).



1. ábra:
Kihajlási hossz különböző megtámasztási módok esetén [1]



2. ábra: Nem-iránytartó terhek hatása [6]

Ezek a modellek azonban idő- és erőforrás-ráfordítást igényelnek, ezért az előzetes méretezési szakaszban nem feltétlen állnak rendelkezésre. Ebből adódóan hasznos lehet olyan tervezési segédletek kidolgozása, amelyek a tipikus szerkezeti kialakításokra vonatkozóan megbízható becslést adnak a pilonok kihajlási hosszára.

A jelen cikk alapját képező kutatás témája végeeselemes modellekben elvégzett **numerikus kihajlásvizsgálattal** tipikus pilonalakok elemzése stabilitás szempontjából. Pontosabban adott ferde kábeles hídszerkezeti kialakítások esetén modellalkotás és pilonformánként a mértékadó paraméterek függvényében a kihajlásihossz-értékek terjedelmének meghatározása.

2. TIPIKUS PILONFORMÁK ÉS SZERKEZETI JELLEMZŐIK

A pilonok stabilitási viselkedését alapvetően a globális geometria, megtámasztási mód, a kábelek elrendezése/sűrűsége, valamint a pilon és a kapcsolódó szerkezeti elemek merevségarányai határozzák meg. Ezen szerkezeti jellemzők megfelelő megválasztása fontos tulajdonságai/értékei fontosak ahhoz, hogy a későbbi eredmények használhatóak legyenek. A kutatás alapvetően egy átfogó forrásmunkán alapszik, amelyben nagyszámú, már megvalósult ferde kábeles hidak és releváns tulajdonságait ismertetik. Fő szempont, hogy egy-egy pilongeometria mennyire tipikus, hiszen érdemes a gyakran megtalálható formákat vizsgálni.

A forrásmunkában közel 50 ferde kábeles híd feldolgozása történt meg régiók szerinti bontásban. A leggyakrabban előforduló kialakítások a **szabadon álló** egyoszlopos (10 darab, 3. ábra), a **H** alakú (9 darab, 4. ábra), az **A** alakú (12 darab, 5. ábra), valamint a **fordított Y** alakú (8 darab, 6. ábra) pilonok. A ferde lábak és a kereszt-kötések síkra (hídtengelyre) merőleges kihajlás (amely általában mértékadó) szempontjából kedvezően viselkednek, gyakori alkalmazásuk ennek is köszönhető. A numerikus modellek építéséhez szükséges szerkezeti jellemzők a megépült példák tulajdonságaira alapszanak.

A pilonok keresztmetszeti kialakítása általában összetettebb. Szinte minden esetben magasság mentén változó keresztmetszetűek, valamint hossz- és keresztirányban más hajlítómerevséggel rendelkeznek. A kutatásban magasság mentén állandó, kétszeresen szimmetrikus, zárt acélpilon négyzetkeresztmetszet alkalmazása volt célszerű. Ez egyszerűíti a későbbi számításokat. A globális geometriai méreteket (pilonmagasság, közbelső és szélső támaszköz) adott hídszerkezeti kialakításhoz tartozó átlagértékekből határoztam meg.



3. ábra: Fengyi híd, Kína [2]



4. ábra: Rügeni híd, Németország [3]



5. ábra: Severins híd, Németország [4]



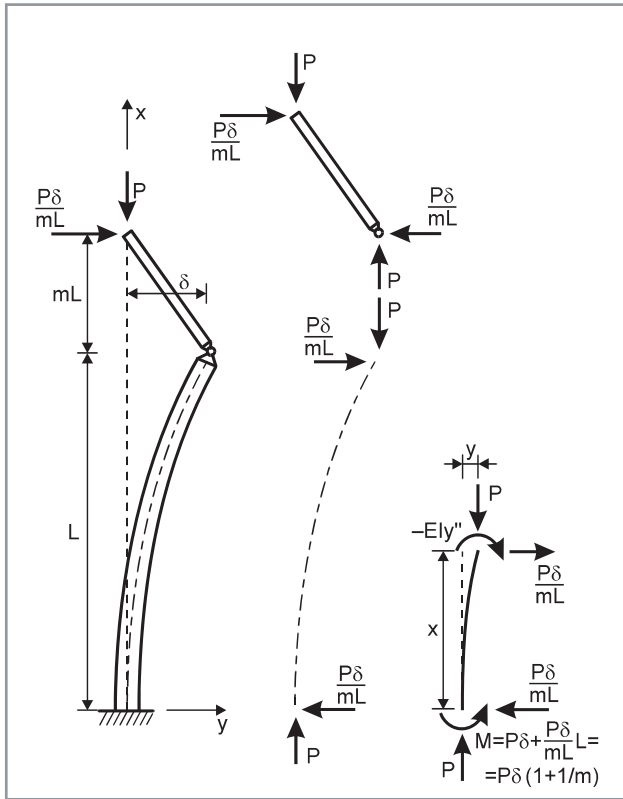
6. ábra: Tatara híd, Japán [5]

3. NUMERIKUS MODELLEZÉS

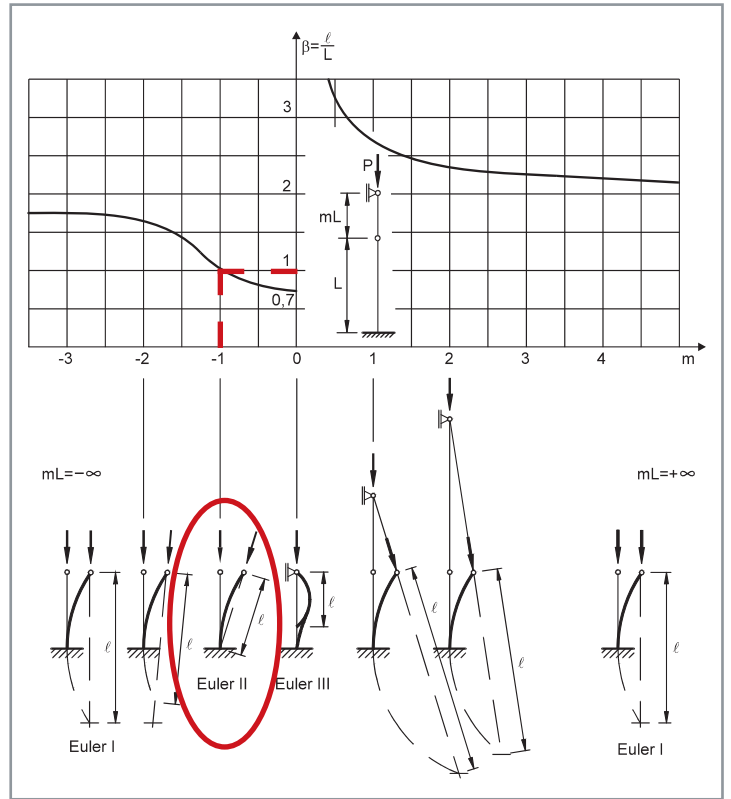
A pilonstabilitás végeeselemes analízissel történő végrehajtásához szükséges, hogy az adott numerikus modell eredményeit valamilyen módon ellenőrizni lehessen.

Elsőként érdemes egy olyan ferde kábeles hídszerkezeti rendszer numerikus modelljét megépíteni, ahol a pilon befogási viszonyai lehetővé teszik az analitikus kézi módszerrel történő megoldási módot [6].

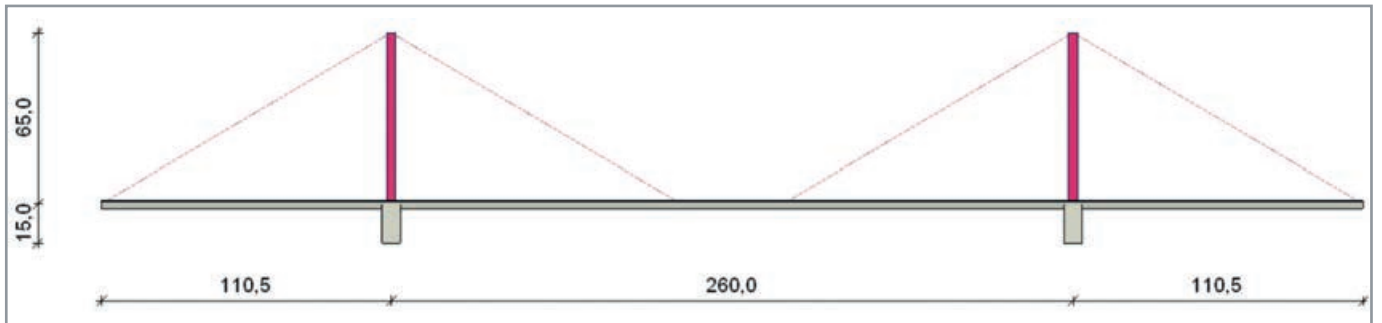
Ilyen szerkezeti rendszer az egykábelsíkos, egyszeres nyaláb kábelképpel rendelkező, befogott, szabadon álló pilonos kialakítás (2. ábra). A 7. ábrán látható kihajlási modell (alul befogott oszlop, felül ingarúddal) figyelembe veszi a nem-iránytartó terhek hatását. Az egyensúlyi differenciálegyenlet grafikus megoldásának (8. ábra) bekarikázott esete mutatja az egykábelsíkos, egyszeres nyaláb kábelképpé kialakítás pilonjának kihajlási hosszát, amely ebben az esetben megegyezik a pilon magasságával, azaz a **befogási tényező** 1-gyel egyenértékű ($v = 1,0$). Egy ezzel azonos szerkezeti rendszerű numerikus modell megoldása így ellenőrizhető.



7. ábra: Nem-iránytartó teher kihajlási modellje [6]



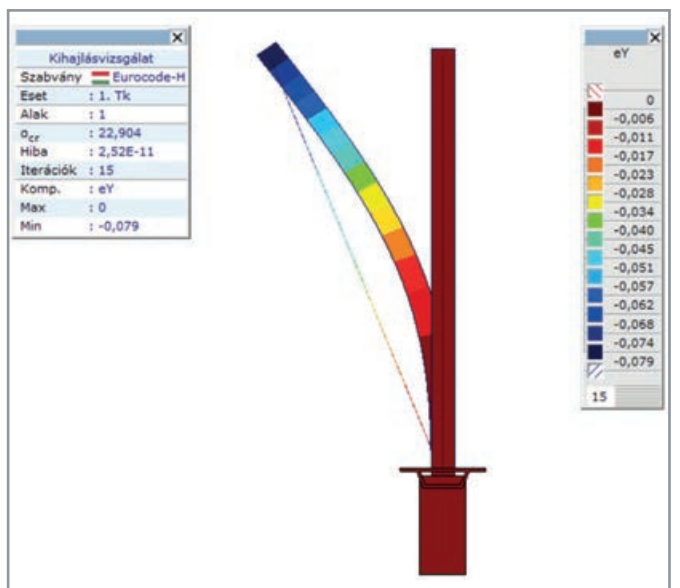
8. ábra: Kihajlási modell grafikus megoldása [6]



9. ábra: Szabadon álló pilon, egykábteles kialakítás numerikus modellje és globális méretei

A validáláshoz használt végeselemes modell (9. ábra) rúdelemekből épül fel a forrásmunka alapján meghatározott keresztmetszeti és anyagjellemzőket alkalmazva. A függesztőkábeleket csökkentett rugalmasságai modulusal vettem figyelembe, valamint kezdeti feszítés alkalmazása is indokolt a megfelelő globális viselkedés modellezéséhez. A terhelés figyelembevétel a pilonra ható normálerők szempontjából mértékadó, a merevítőtartón egyenletesen megoszló totálteherként valósult meg, amely magában foglalja az állandó és a hasznos terheket.

A lineáris numerikus kihajlásvizsgálat eredménye síkra merőlegesen a 10. ábrán látható. A pilon első kihajlási alakjához tartozó kritikus teherparaméter-szorzó, illetve a pilon lábánál keletkező normálerő alapján számolható a kritikus erő (F_{cr}), majd a geometriai és anyagjellemzők (EI) segítségével a kihajlási hossz (L_0), illetve a befogási tényező (v). A kihajlási hossz itt is közel megegyezik a pilon magasságával ($v = 0,99 \approx 1,00$), így kijelenthető, hogy a numerikus modell helyesen működik. A különböző pilonformák vizsgálatához ezen modell megfelelő módosításai használhatóak.



10. ábra: Szabadon álló pilon, egykábteles kialakítás síkra merőleges kihajlási alakja

4. PARAMÉTERVIZSGÁLATOK PILONALAKONKÉNT

A ferde kábeles hídmodellek szerkezeti elemei számos geometriai és statikai paraméterrel rendelkeznek. Az összes lehetséges kombináció részletes vizsgálata nem indokolt, mivel léteznek olyan specifikumok, amelyek a kihajlási hosszra nem, vagy csak csekély mértékben befolyásolják. Ennek feltárása **paraméterérzékenység-vizsgálatok** keretében történt, amelyek célja a kihajlási hosszra nem vagy kevésbé befolyásoló paraméterek kiszűrése, valamint azok azonosítása volt, amelyekre a rendszer érzékenyen reagál.

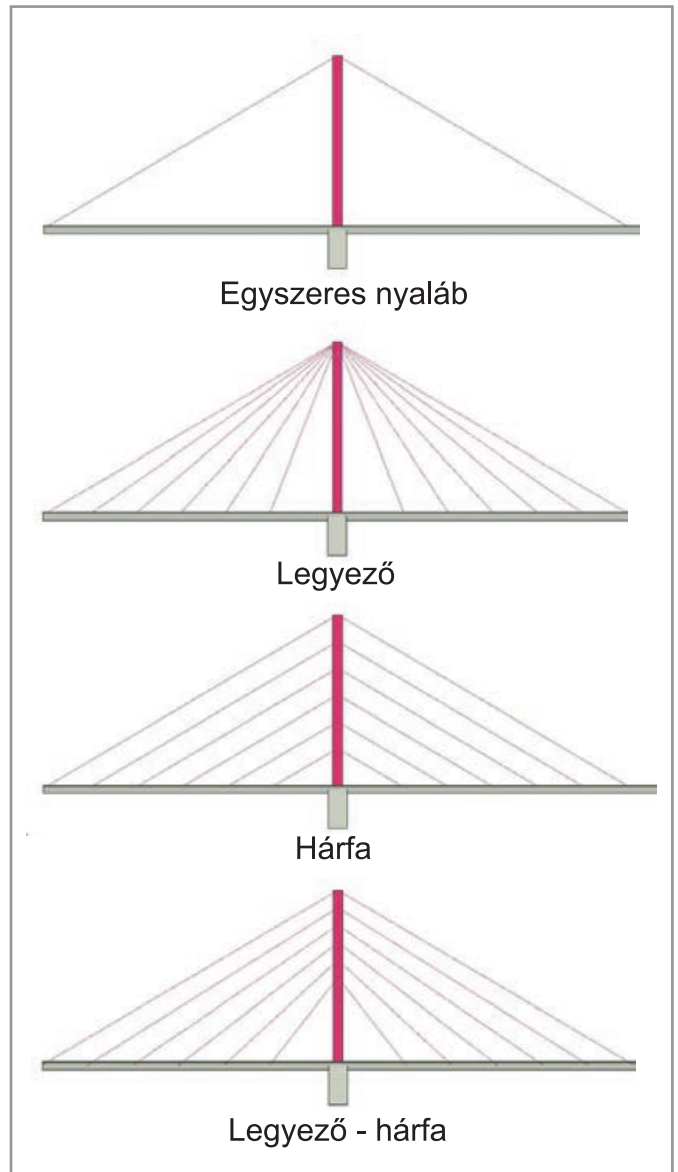
Ezt követően az érzékenyebb paraméterek változtatásának függvényében, adott megtámasztású és kialakítású pilonformák esetén a befogási tényezők jellemző tartományának meghatározása valósult meg.

A szabadon álló, egyoszlopos pilonok paramétervizsgálata két fő szerkezeti csoportra terjedt ki: egykábelű és kétkábelű kialakításokra, utóbbi esetben térbeli modellek alkalmazásával. A vizsgálatok során a pilon alsó megtámasztásaként csuklós és befogott eseteket is figyelembe vettem. A részletes elemzést megelőző paraméterérzékenységi vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy a merevítőtartó hajlítómerevsége, a kábelek keresztmetszeti területe, valamint a pilon hajlítómerevsége a síkra merőleges kihajlási hossz alakulását csak korlátozott mértékben befolyásolja.

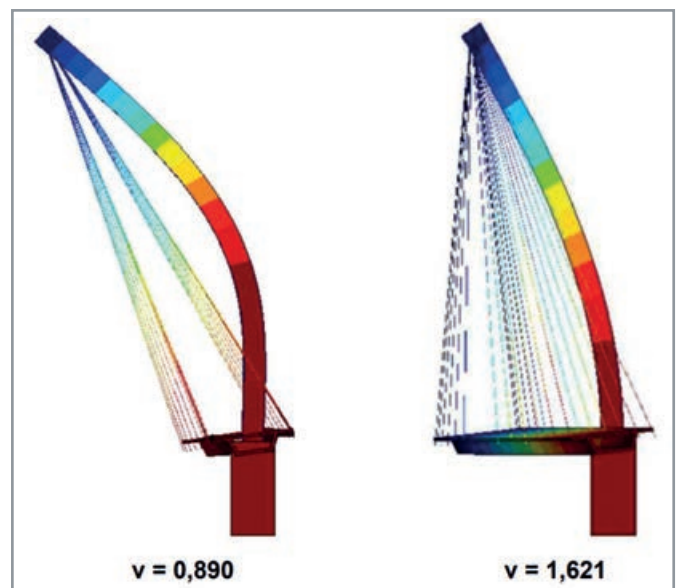
Az egykábelű rendszerek részletes vizsgálata – egyszeres nyaláb, legyező és hárfa kábelképek (11. ábra) esetén – rámutatott arra, hogy a hárfa kialakítás számottevően eltér a többitől. Előbbi esetben a pilonra ható nyomóerő a magasság mentén fokozatosan növekszik, ami a befogási tényező változásával is figyelembe vehető. A kábelcsoportok sűrűségének paraméteres vizsgálata kimutatta, hogy egy bizonyos kiosztási sűrűség felett a befogási tényező értéke stagnálni kezd. Ez arra utal, hogy megfelelően megválasztott kábelrendezés mellett az azonos szerkezeti rendszerű, szabadon álló pilonok befogási tényezője jól közelíthető, és a paramétervizsgálatok alapján jellemző tartományba sorolható. Alapvetően a teljes felfüggesztés (a merevítőtartó nincs megtámasztva a pilon síkjában) befolyásolta eddig legjobban a befogási tényezők értékeit, főként keresztirányban (12. ábra). Ennek fő oka, hogy a merevítőtartó a pilonokkal együtt oldalra kilendül, így a nem iránytartó terhek hatása nagymértékben lecsökken. Alapvetően a forrásmunka példáiban a merevítőtartó oldalirányban szinte mindig megtámasztott a pilonok síkjában, azonban elméleti síkon hasznos lehet ennek vizsgálata a kihajlási hosszok értékeiben mutatkozó különbségek miatt.

A H alakú pilonok vizsgálata kétkábelű, térbeli modelleken történt, a szabadon álló pilon esetében alkalmazott globális méretarányok megtartásával. Ezen pilonalak esetén a kihajlási hosszra egy pilonoszlopra volt érdemes meghatározni. A forrásmunka alapján e pilonformánál elsősorban hárfa, illetve legyező-hárfa átmeneti kábelképek fordulnak elő, így a vizsgálatok is ezekre terjedtek ki.

A paraméterérzékenységi elemzés eredményei alapján a keresztmetszetek hajlítómerevsége keresztirányban jelentős hatással van a befogási tényezőre: a keresztmetszet nélküli és a nagy merevségű eset között számottevő eltérés adódott. A pilon hajlítómerevségének növelése a befogási tényező növekedését eredményezte, ami a kihajlási alakok változásával is összhangban áll. A merevítőtartó oldalirányú befogási viszonyai – a szabadon álló pilonhoz hasonlóan – szintén meghatározó tényezőnek bizonyult, hasonlóan a

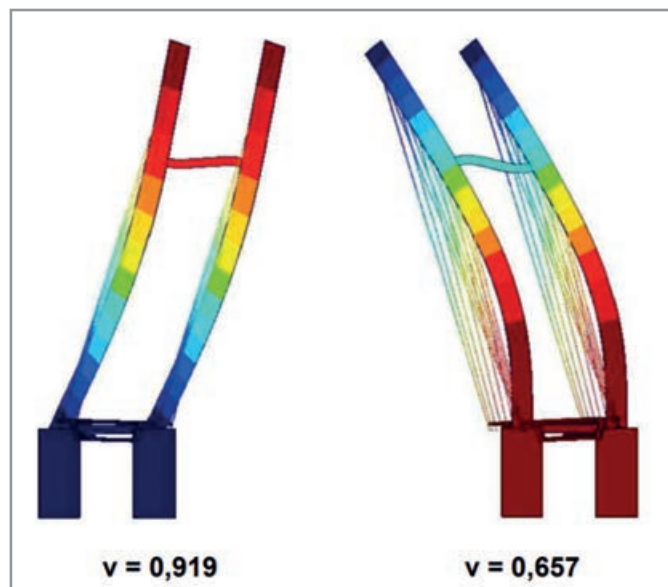


11. ábra: Kábelképek típusai



12. ábra: Szabadon álló pilon síkra merőleges kihajlási alakjai a merevítőtartó megtámasztásának függvényében

pilonlábak megtámasztási módjához (13. ábra). A kereszt-kötés magassági elhelyezése a felső pilonszakaszon belül csak mérsékelt befolyással bírt. A részletes paramétervizsgálatok a stabilitásra érzékeny paraméterek kedvező és kedvezőtlen eseteire terjedtek ki, amelyek alapján különböző megtámasztási módok mellett a H alakú pilonok befogási tényezőinek jellemző tartománya meghatározhatóvá vált.

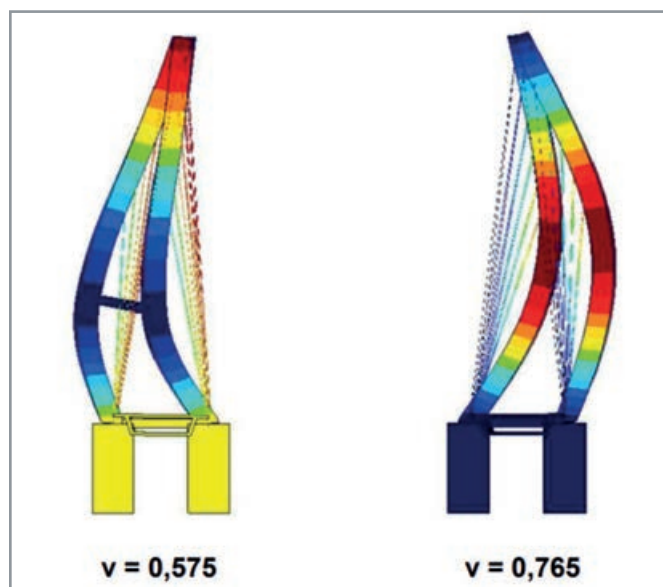


13. ábra: H alakú pilon síkra merőleges kihajlási alakjai csuklós és befogott megtámasztás esetén

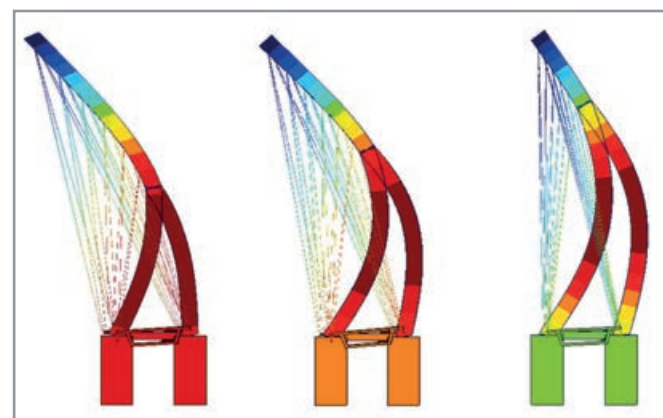
Az A alakú – illetve a vele szerkezeti szempontból rokon fordított V alakú – pilonok vizsgálata egységesen történt, mivel a két kialakítás stabilitási viselkedése hasonló. A forrásadatok alapján e pilonformák esetében elsősorban legyező-hárfa átmeneti kábelképek fordulnak elő, így a stabilitási vizsgálatok is ezekre a kialakításokra terjedtek ki. A számított befogási tényezők minden esetben az egyes ferde pilonoszlopok hatásos kihajlási hosszához tartozó értéket jelentették, a felső csomóponti kapcsolat sarokmerekv feltételezésével. A paraméterérzékenységi vizsgálatok eredményei összességében hasonló tendenciát mutattak, mint a H alakú pilon esetében, ugyanakkor az A alakú pilon keresztirányban nagyobb globális merevséggel rendelkezik. Mint ahogy várható volt, a keresztirányú kihajlási alakokat a kereszt-kötés mivolta számottevően befolyásolja (14. ábra). Ennek következtében a ferde oszloprész stabilitási viselkedése közelíti a befogott–befogott rúd esetét, így a befogási tényezők értékei közötti változások kisebb mértékűek.

A fordított Y alakú pilonok stabilitási vizsgálata az előző pilonformákhoz képest összetettebb feladatot jelent. A szerkezet három fő elemből – egy felső oszloprészből és két ferde lábszárból – épül fel. Ideális esetben a stabilitásvesztés globális módon, a teljes pilonszerkezet együttes kihajlásával következik be, azonban a szerkezeti elemekben ébredő normálerők jelentősen eltérnek egymástól. A vizsgált kialakításoknál, ahol a kábelek az oszloprészhez csatlakoznak, az oszloprészben ébredő maximális normálerő megközelítőleg kétszerese a lábszárakban kialakuló értéknek. A cél a pilon oszloprésze és lábszáraira külön-külön vonatkozó befogási tényezők jellemző tartományának meghatározása volt.

A forrásadatok alapján fordított Y pilonok esetében elsősorban legyező-hárfa átmeneti kábelképek fordulnak elő,



14. ábra: A alakú pilon síkra merőleges kihajlási alakjai kereszt-kötéssel és kereszt-kötés nélkül



15. ábra: Y alakú pilon síkra merőleges kihajlási alakjai közbelső csomópont elhelyezkedésének függvényében

így a paramétervizsgálatok is ezekre a kialakításokra terjedtek ki. A meghatározó vizsgálati paraméter a pilon közbelső csomópontjának magassági helyzete volt, amely közvetlenül befolyásolja az oszloprész és a lábszárak geometriai hosszát (15. ábra). A paramétervizsgálatok eredményeiből megállapítható, hogy a szerkezeti elemek hosszának csökkenésével a hozzájuk tartozó befogási tényezők növekednek, ami összhangban áll a globális kihajlási viselkedéssel. A fordított Y pilonok stabilitási viselkedése erősen függ a geometriai arányoktól, és bár a pilonforma részletesebb elemzése további vizsgálatokat igényelne, a jelen eredmények alapján a szerkezeti elemek befogási tényezőinek jellemző tartománya jó közelítést adhat.

5. PARAMÉTERVIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A paramétervizsgálatok eredményeinek feldolgozása összefoglaló táblázatok segítségével történt (1. táblázat), amelyek a vizsgálatok során meghatározott kihajlási hossz szorzók minimum és maximum értékei alapján adják meg a különböző pilonformákhoz tartozó befogási tényezők jellemző tartományát. Az eredményeket a pilon alsó megtámasztási módja (befogott vagy csuklós pilon–alépitmény kapcsolat), valamint a merevítőtartó vízszintes befogási viszonyainak módja (pilonoknál megtámasztott vagy teljesen felfüggesz-

1. táblázat: Paramétervizsgálatok eredményeinek összefoglaló táblázata

Befogott pylon-aléptítmény kapcsolat, pylonok síkjában vízszintesen megtámasztott merevítőtartó

| Kihajlás síkja | Szabadon álló pylon | H alakú pylon | A alakú pylon | Fordított Y alakú pylon | |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------|
| | | Pillérek | Ferde lábak | Oszloprész | Ferde lábak |
| Keresztirány | 0,66–1,00 | 0,47–0,84 | 0,37–0,74 | < 2,29 | < 1,24 |
| Hosszirány | 0,42–0,75 | 0,40–0,60 | 0,43–0,84 | < 3,29 | < 1,73 |

Csuklós pylon-aléptítmény kapcsolat, pylonok síkjában vízszintesen megtámasztott merevítőtartó

| Kihajlás síkja | Szabadon álló pylon | H alakú pylon | A alakú pylon | Fordított Y alakú pylon | |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------|
| | | Pillérek | Ferde lábak | Oszloprész | Ferde lábak |
| Keresztirány | 0,75–1,00 | 0,84–1,40 | 0,58–0,77 | 1,20–2,29 | 0,66–1,24 |
| Hosszirány | 0,46–1,00 | 0,72–0,82 | 0,73–1,00 | 1,50–3,29 | 0,82–1,73 |

Befogott pylon-aléptítmény kapcsolat, teljesen felfüggesztett merevítőtartó

| Kihajlás síkja | Szabadon álló pylon | H alakú pylon | A alakú pylon | Fordított Y alakú pylon | |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------|
| | | Pillérek | Ferde lábak | Oszloprész | Ferde lábak |
| Keresztirány | 1,20 < | 0,74–1,27 | 0,47–0,83 | < 2,60 | < 1,38 |
| Hosszirány | 0,51–0,75 | 0,50–0,60 | 0,43–0,84 | < 3,29 | < 1,73 |

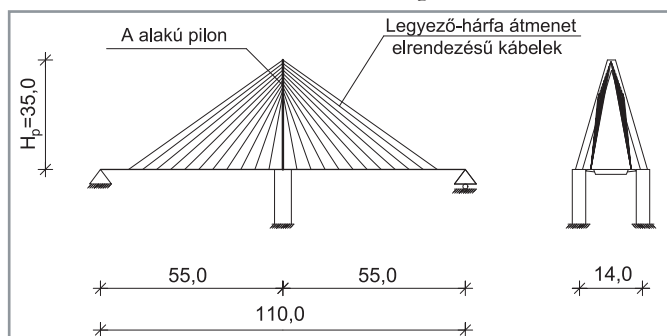
Csuklós pylon-aléptítmény kapcsolat, teljesen felfüggesztett merevítőtartó

| Kihajlás síkja | Szabadon álló pylon | H alakú pylon | A alakú pylon | Fordított Y alakú pylon | |
|----------------|---------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------|
| | | Pillérek | Ferde lábak | Oszloprész | Ferde lábak |
| Keresztirány | – | 1,32 < | 0,58–1,00 | 1,33–2,60 | 0,70–1,38 |
| Hosszirány | 0,68–1,00 | 0,72–0,82 | 0,73–1,00 | 1,50–3,29 | 0,82–1,73 |

tett rendszer) szerint rendszereztem. A meghatározott tartományok pylonformánként a gyakorlatban leggyakrabban előforduló kábelrendezésekre érvényesek, és lehetővé teszik, hogy az adott szerkezeti kialakítás esetén a nyomott pylonlemek hatásos kihajlási hossza közelítő pontossággal meghatározható legyen.

Az összefoglaló táblázatokban bemutatott befogási tényező értéktartományokon belül a megfelelő szerkezeti rendszerhez tartozó pontosabb értékek kiválasztásához a TDK-dolgozatban ismertetett paramétervizsgálatok táblázatos eredményei segítenek.

A táblázat alkalmazását az alábbi példa szemlélteti:



16. ábra: Mintapélda szerkezeti kialakítása

Adott a 16. ábrán látható szerkezeti kialakítás, valamint szerkezeti jellemzői. A pylonlábak hajlítási merevsége EI hossz- és keresztirányban is: $5 \cdot 10^7 \text{ kNm}^2$,

egy pylonláb hossza: $\sqrt{35,0^2 + 7,0^2} = 35,7 \text{ m}$,

a pylon alsó felének kapcsolata az aléptítménnyel: **befogott**, merevítőtartó megtámasztási módja: **merev merevítőtartó-aléptítmény kapcsolat**.

Az 1. táblázat „A alakú pylon” oszlopában látható, hogy egy befogási tényező értékek terjedelme egy ferde láb hosszára vonatkozik. Keresztirányban **0,37–0,74**, hosszirányban **0,43–0,84**. Abban az esetben, ha nagyon a biztonság javára szeretnénk számolni, akkor a 0,74 és 0,84 érték alkalmazható.

Pontosabb érték megadásához a dolgozatban végrehajtott paramétervizsgálatok segítenek. Az adott megtámasztási viszonyokhoz, illetve geometriai és anyagjellemzőkhöz (EI) legközelebb álló paramétervizsgálati eredmény értékének felvétele javasolt. Ebben az esetben a befogási tényező síkra merőlegesen és síkban: $v_y = 0,495$; $v_x = 0,515$. Egy pylonláb síkra merőleges kihajlási hossza: $L_{0,y} = 35,7 \cdot 0,495 = 17,7 \text{ m}$, illetve síkbeli kihajlási hossza: $L_{0,x} = 35,7 \cdot 0,515 = 18,4 \text{ m}$.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott TDK-dolgozat kitűzött célja volt a gyakorlatban általánosságban előforduló statikai és geometriai tulajdonságokkal rendelkező, ferde kábeles hidak különböző pylonformáinak kihajlási hosszait jellemző paraméterek változtatásának függvényében megadni. A vizsgálatok során a stabilitási jelenség elméleti hátterének áttekintését követően a tipikus pylonformák és szerkezeti jellemzőik azonosítása történt meg egy forrásmunka keretében, majd ezekre alapozva egységes numerikus modell alkalmazásával valósultak meg a stabilitási vizsgálatok. A konstruált modellekben végzett paraméterérzékenységi és paramétervizsgálatok tették lehetővé a pylonok kihajlási hosszát meghatározó tényezők rendszerezett értékelését.

A dolgozat eredményeképpen összeállított tervezési táblázat – illetve pontosabb becsléshez a cikkben terjedelmi korlátok miatt nem közölt, további paramétervizsgálati eredmények – gyakorlati alkalmazhatósága abban rejlik,

hogy ferde kábeles hidak előtervezési szakaszában, részletes végelelemes modell felépítése nélkül lehetséges a pilonok kihajlási hosszára megalapozott érték felvétele. Ez hozzájárul a közelítő számítás pontosságához, csökkenti a szükséges iterációk számát, és gyorsítja a szerkezeti rendszer kialakításának folyamatát, valamint különösen hasznos lehet oktatási környezetben, ahol a gyors és megbízható becslések kiemelten fontosak.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton fejezi ki köszönetét konzulenseinek a TDK-dolgozat elkészítéséhez szükséges közös munkáért. Dr. Dunai László tanár úrnak, aki segített a kutatási téma kijelölésében, és iránymutatásával jelentős mértékben hozzájárult a munka előrehaladásához, továbbá dr. Kövesdi

Balázs tanár úrnak, aki a numerikus modellek konstruálásában vállalt meghatározó szerepet.

8. HIVATKOZÁSOK

- [1] <https://thebridgequestion.org/exam-folder/flexural-buckling-eurocode-3>
- [2] <https://www.newcivilengineer.com/latest/worlds-widest-multi-tower-cable-stayed-bridge-in-china-opens-17-07-2024/>
- [3] <https://www.ruegenmagic.de/Sehenswertes/images-ruegenbruecke/ruegenbruecke-strelasund.jpg>
- [4] <https://stock.adobe.com/search?k=%22severin+bridge%22>
- [5] <https://azumi.co/experiences/onomichi-tatara-bridge-setoda-cycling-tourone-way-50km/>
- [6] Iványi Miklós: Hídépítéstan: Acélszerkezetek, Műegyetemi Kiadó (1998)



MAGYAR KORRÓZIÓS SZÖVETSÉG
Az Európai Korróziós Szövetség (EFC) tagja
A Korróziós Világszervezet (WCO) tagja

BATTA TUDOMÁNYOS TECHNOLÓGIAI PARK

2440 Százhalombatta, Iparos u. 11.

2441 Pf. 86

e-mail: hunkor1992@gmail.com

www.hunkor.hu

HUNGAROKORR 2026 Korrózió elleni védelem a vegyiparban

Értesítjük a tisztelt olvasókat, hogy az előző számban meghirdetett Hungarokorr 2026 szakmai konferencia rendezési jogára beérkezett pályázatokat a Hunkor elnöksége kiértékelte és a pályázatok közül a Százhalombattai helyszín lett a győztes.

Gratulálunk!

A többi pályázónak tisztelettel köszönjük a részvételt.

A Hungarokorr 2026 konferencia

házigazdája:

Rozsdalovag Kft.

Tervezett helyszín:

Százhalombatta Városi Rendezvényközpont

A konferencia címe:

Korrózió Elleni Védelem a Vegyiparban



Előzetes jelentkezéseket kérjük az alábbi linken, illetve a QR kód használatával adják le:

<https://docs.google.com/forms/d/14d2ZVlcWDy0ThwxKn1YQQk44SGKtc4bzijfRCxOjxYQ/edit>



Tisztelettel:

Dr. Ostorházi László
a Magyar Korróziós Szövetség elnöke



NORD-LOCK® ÉKZÁRAS ALÁTÉTEK ACÉLSZERKEZETEKHEZ

MEGFELELŐ ÉS JÓVÁHAGYOTT

Egyedül a Nord-Lock ékzárás alátétek rendelkeznek épületgépészeti engedéllyel az acélszerkezeteknél használt valamennyi csavarkötéshez. Függetlenül attól, hogy előfeszített vagy előfeszítés nélküli, HV-, HR- vagy SB-csavaros szerelvényről, átmenő vagy zsákfuratról, esetleg anyával ellátott menetes rúdról van szó.



MIÉRT ÉS MIKOR?

Ha a csavarkötésen belül relatív elmozdulás lép fel, a csavar a menetemelkedés következtében automatikusan kilazulhat. Ez az alkatrészek szétesését, vagy csavartörést okozhat. Az ok elsősorban ütés vagy dinamikus terhelés, illetve rezgés lehet, de az eltérő hőmérsékletek is kiválthatják. A Nord-Lock ékzárás alátétek könnyen ellenállnak ezeknek a terheléseknek, megbízhatóan és hosszú távon biztosítják a csavarkötéseket.



Nord-Lock s.r.o. • Tel: +420 412 150 157 • office.czech@nord-lock.com • www.nord-lock.com
© Copyright 2025 Nord-Lock Group.

FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEK



NORD-LOCK
GROUP

ZSENIÁLISAN EGYSZERŰ BRUTÁLISAN HATÉKONY

X3S FASTMIG



Corweld+

Hivatalos magyarországi képviselő
2049 Diósd, Balatoni út 21/e

www.corweldplus.hu



SALZGITTER MANNESMANN ACÉLKERESKEDELEM

A Salzgitter Csoport vállalata

Jelenlét a világ minden pontján



SALZGITTER
MANNESMANN
ACÉLKERESKEDELEM

A Salzgitter Csoport vállalata



SALZGITTER
MANNESMANN
HANDEL

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe



SALZGITTERAG
Mensch, Stahl und Technologie

www.salzgitter.hu

H-1027 Budapest, Horvát u. 14-24.

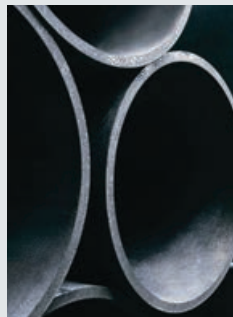
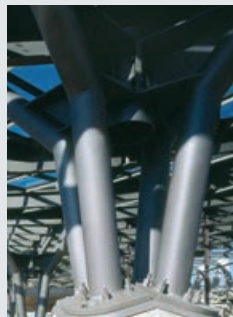
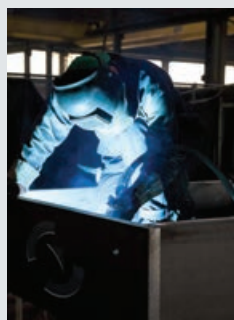
Telefon: +361 393-5220

info@salzgitter.hu

ACÉL

TERMÉK, LOGISZTIKA, SZOLGÁLTATÁS

- melegen hengerelt lapostermékek
- hidegen hengerelt lapostermékek
- hosszútermékek és rúdanyagok
- szerkezeti és precíziós acélcsövek, csődarabolás



EGY VILÁGVÁROS HÍDJAI – ISZTAMBUL

Az Európa és Ázsia határán fekvő, 15 millió lakosú török nagyváros történelmi emlékei turisták millióit csábítják évente. Írásomban a csodálatos fekvésű Isztambul Arany-szarv-öböl és a Boszporusz-szoros partjait összekötő 7, továbbá a Dardanellák-szorosban épített világrekorder hídjai mellett két különleges építményét mutatom be lapunk olvasóinak. A cikk fotóit – a 2., a 9., 13. és a 18. kép kivételével – a szerző készítette 2025-ben.

A 7 km hosszú Aranyszarv- (Halic) öböl mentén északnyugatról délkelet felé haladva négy híd közül az első, a **Halic autópályahíd**. A nagyvárost elkerülő O–1 autópálya hídja 1971–1974 között épült. A terveket a japán IHI Corporation és a német Julius Berger-Bauba cég készítette. A mocsaras talaj miatt az építők mélyre fúrt cölöpözést alkalmaztak. A 995 méter hosszú acélszerkezet két önálló pályatestből áll, amelyeken 4, illetve 5 forgalmi sáv vezet át. A 22 pilléren nyugvó műtárgy szélessége 22 méter, tengerszint feletti magassága 32 méter. Mindkét hídfőnél bonyolult csomópontrendszert építettek ki.

Ettől mintegy 2,5 km-re áll az **Atatürk híd**. Nevadója Mustafa Kemal Atatürk (1881–1938), a Török Köztársaság alapítója és első elnöke. A jelenleg forgalomban álló szerkezet a ne-



2. kép. Atatürk híd, forrás: Internet

gyedik ezen helyszínen. Az első fából ácsolt hidat 1836-ban építették, ezt követően 1875-ben és 1912-ben már vashidak készültek. A jelenlegi többpilléres acélhíd 1936–1940 között létesült, hossza 477 méter, szélessége 25 méter, amelyen 2×3 forgalmi sáv és 2 gyalogos járda vezet át. Amint a 2. képen is látható, a híd a környékbeliek kedvelt horgászhelye is.

Az Atatürk hídtól mindössze 200 méteres távolságra áll a **Halic metróhíd**, az Aranyszarv-öböl legújabb műtárgya. A híd ötlete már az 1950-es években felmerült, konkrét lépésekre azonban csak a 2000-es évek közepén, a város 2. Metróvonalának tervezésével összefüggésben került sor. Ekkor nemzetközi tervpályázatot írtak ki.

A beérkezett 21 pályamű közül a bírálóbizottság dr. Michel Virlogeux francia hídépítő mérnök tervét hirdette ki győztesnek. A mintegy 100 hídtervezett hidász munkái közül a liszaboni Vasco da Gamma, a franciaországi Millau viadukt, a Normandia híd és a cikkünkben később bemutatásra kerülő harmadik Boszporusz-híd – a Yavuz Szultán Selim híd – a legismertebb. A tervezési munkákat török részről Hakan Kirán építés koordinálta. A kábelhíd első terve még 82 méter magas tornyokkal számolt, amellyel az UNESCO városképi szempontból nem értett egyet és felvetette, hogy megépítése esetén törlik Isztambult a világörökségi helyszínek listájáról. Az átdolgozott terv szerinti 65 méteres magasságot a nemzetközi szervezet



1. kép: Halic autópályahíd

jóváhagyta, és 2009-ben megkezdték a négy évig tartó építést. Hossza 936, szélessége 13 méter. Az építés költsége 146,7 millió euró volt. Középen helyezték el az isztambuli 2. Metró 180 méter hosszú állomását. A hídon két gyalogos járda is fut.

A metróhídtól 600 méterre vezet át a **Galata híd**, névadója a világváros egyik legrégebbi és egyben legismertebb épülete, a Galata torony. Helyén már 528-ban világítótorony állt, amely többszöri átépítést követően nyerte el jelenlegi képét. A 66,9 méter magas, 16,45 méter átmérőjű, 3,75 méter falvastagságú torony tetején kilátó, kávézó-étterem, valamint egy night-club is található. Az öböl feletti átkelő közel 1500 éves múltra – Juszticiánus császár korára – tekint vissza, ezt követően az adott kor technikai színvonalának megfelelő hidakat építettek. A ma álló 490 méter hosszú, 80 méter széles szerkezetet 25 éve adták át a forgalomnak. A híd kétszintes, az alsó szinten halpiac és halétermek működnek. A felső hídpályán két vasúti vágány, 2 × 3 közúti sáv és 2 széles gyalogos járda fut.



3. kép: Halic metróhíd

A város modern kori büszkeségei a forgalmas Boszporusz-szorost átvelő hidak. Közülük az első, a **Július 15. vértanúinak hídja** (korábban Boszporusz-függőhíd), amelyet 1973-ban nyitottak meg. Tervezője Sir Gilbert Roberts (1899–1978) brit építész volt, aki világszerte számos függőhidat tervezett. 1970-ben kezdték építeni, a munka négy évig tartott. A kivitelező, a török Enka Insaat ve Sanayi építőipari vállalat volt. Irodalmi adatok szerint a bruttó 200 millió dollár értékű

projekten 35 mérnök és 400 munkás dolgozott. Az elkészült acélhíd hossza 1560 méter, legnagyobb áthidalása 1074 méter. A pilonok magassága 165 méter. A hídpálya tengerszint feletti magassága 64 méter, amely lehetővé teszi a magas építésű hajók biztonságos áthaladását. A 39 méter széles hídon 3+3 forgalmi sáv van, amelyet a mindenkori forgalom igényeinek megfelelően 2+4 sávra változtathatnak. Átadásakor – 1974-ben – a világ 4. leghosszabb függőhídja volt.



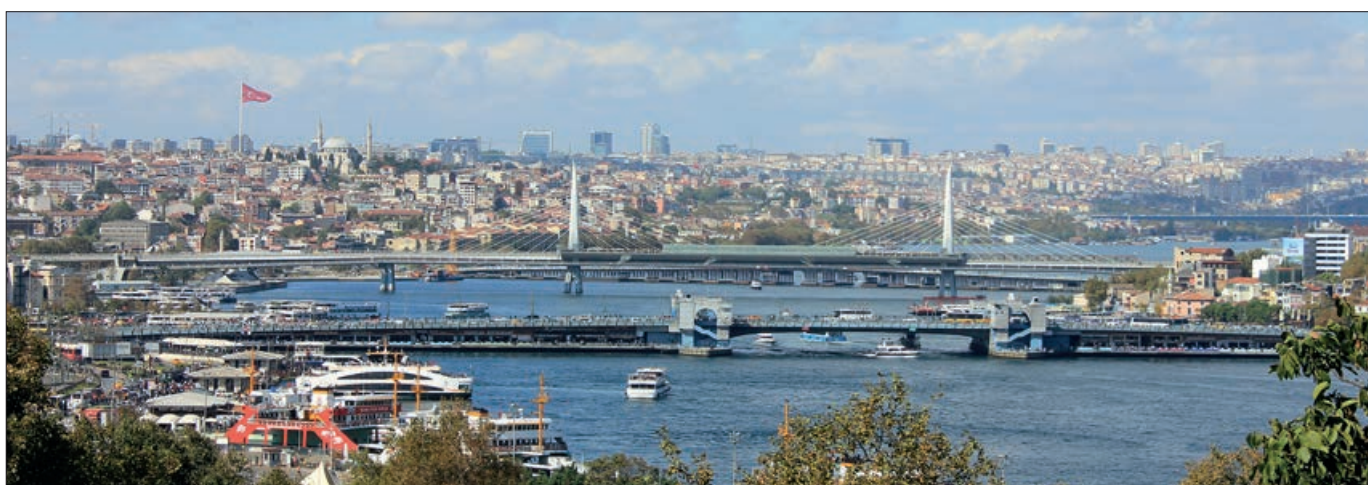
4. kép: Galata híd



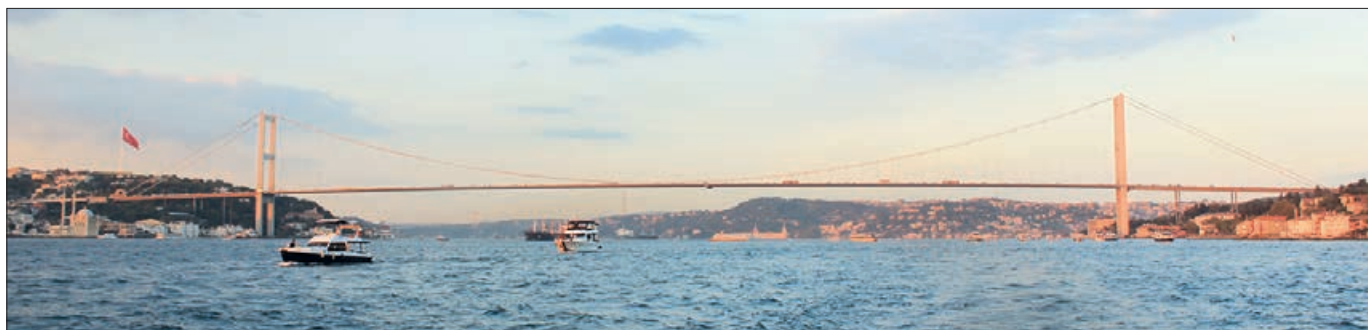
Isztambul második Boszporusz-hídja, a Július 15. hídtól északra mintegy 5 km-re álló **Fatih szultán híd**. Az 1510 méter hosszú, 1090 méter támaszközü híd pilonjainak magassága 110 méter. 1986–1988 között épült, tervezője a Freeman Fox & Partners cég. [A tervező cég alapítója Sir Ralph Freeman (1880–1950) legismertebb munkája a világhírű Sydney Harbour híd terveinek elkészítése volt.] A 39 méter széles függőhídon 2×4 forgalmi sáv vezet át.



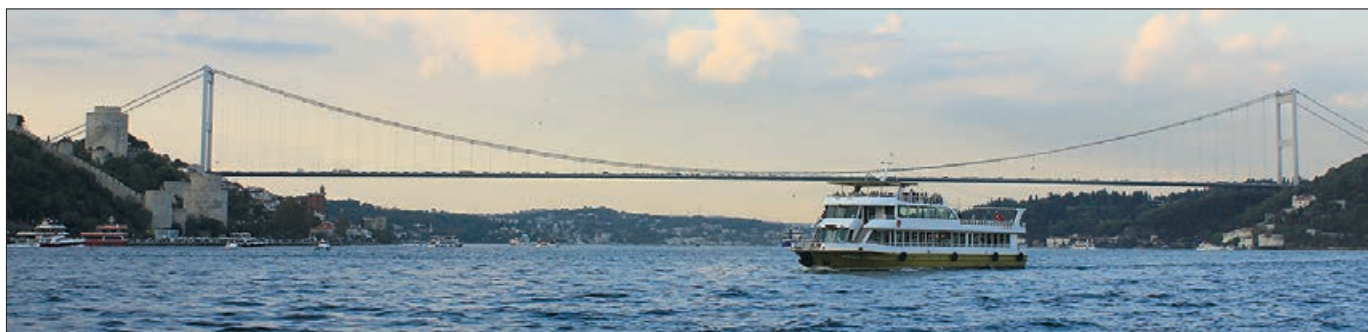
5. kép:
A Galata híd névadója, a Galata torony



6. kép: Az Aranyszarv-öböl hídjai



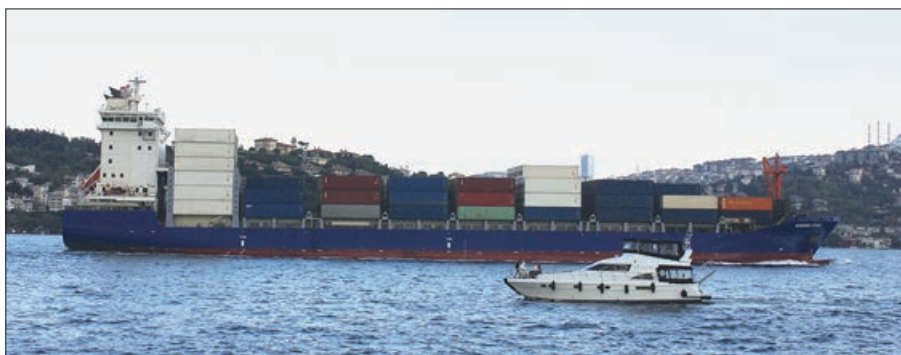
7. kép: Július 15. vértanúinak hídja



8. kép: Fatih Szultán híd



9. kép: Yavuz Szultán Selim függőhíd, forrás: Internet



10. kép: Konténerszállító hajó a Boszporusz-szorosban



11. kép: Ömlesztett árut szállító hajó a Boszporusz-szorosban



12. kép: Teherszállító hajó a Boszporusz-szorosban

Isztambul 3. Boszporusz-hídja, a Fatih Szultán hídtól 14 km-re északra köti össze Európát Ázsiával. A nagyváros járműforgalma a 2000-es évek elejére oly mértékben megnőtt, hogy szükségessé vált egy harmadik átkelő építése, ezzel tehermentesítve a belvárost az átmenő forgalom alól. A **Yavuz Szultán Selim függőhíd** terveit Michel Virlogeux és Jean-François Klein készítették. Az építésre kiírt tender nyertese egy török-olasz konzorcium volt. A kivitelezés 2013–2016 között folyt. A híd méretei imponálóak: teljes hossza 2164 méter, legnagyobb áthidalása 1408 méter, a hídpálya szélessége 59 méter, 2×4 sávval. A pályatest közepén két vasúti vágány későbbi átvezetéséhez készítették elő az átkelőt. További két adat: tornyainak magassága 322 méter és útpályája 73 méter magasan ível át a tengerszint felett. A Yavuz Szultán Selim híd az O–6 autópálya részét képezi, a tervezők napi 135 ezer jármű forgalmával számoltak.

Miután megnéztük Isztambul történelmi és újkori hídjait, a 240 kilométerre délnyugatra, az Európát és Ázsiát elválasztó, Márvány- és az Égei-tengert összekötő, 70 km hosszú Dardanellák-szorosban emelt világrekorder hidat látogatjuk meg. Az **1915 Canakkale híd** építését 2017-ben kezdték meg a közlekedési és ipari létesítmények tervezésére szakosodott török Tekfen Engineering Inc cég tervei alapján. Az építésre kiírt nemzetközi pályázatot a dél-koreai Daelim, az SK E&C, a török Limak Holding és a Yapı Merkezi cégek nyerték el. Az ünnepélyes hídavatást 2022. március 18-án tartották. A szerkezet méretei félelmetesek, hossza 3563 méter, a fel- és lehajtó pályákkal együtt 4608 méter. A két, egyenként 318 méter magas pilon közötti távolság 2023 méter, amely a Török Köztársaság kikiáltásának 100 éves évfordulójára utal. A „H alakú” tornyok közötti hídpálya tengerszinttől számított magassága 70 méter. A 45 méter széles pályatesten 2×3 közúti sáv kel át, kerékpáros és gyalogos közlekedés nem lehetséges. A hídon, az Isztambult elkerülő 321 km hosszú, O–6-os (Kınalı-Balıkesir-Otoyolu) autópálya vezet át, amely részét képezi az E84, E87 és E90 európai úthálózatnak.

2011-ben hozták nyilvánosságra a nagy ívű „Kanal Isztambul” tervet, amely az Isztambulon áthaladó, egyre növekvő hajóforgalom mérséklését



13. kép: Az 1915 Canakkale híd 1., forrás: Internet



14. kép: Az 1915 Canakkale híd 2.

célozza. Évente mintegy 41 000 különböző méretű hajó halad át az Isztambuli-szoroson, közülük 8000 tanker, amelyek 145 millió tonna kőolajat szállítanak. A gigantikus vállalkozás keretében a várostól keletre egy 45–50 km hosszú, 150–200 méter széles és 25 méter mély hajózható csatornát építenek, összekötve a Fekete-tengert a Márvány-tengerrel. A csatorna 350 méter hosszú hajók átkelését biztosít-

ja majd. Az elképzelések szerint a vízi út mentén lakó- és ipari negyedeket, raktárbázisokat, valamint konténerterminált építenek.

Isztambul, fantasztikus műemlékei és rekorder hídjai mellett, magasházai-
val, tornyaival egy modern nagyváros. A Budapestről érkező látogatókat a város 2018-ban megnyitott, 3., egyben legnagyobb repülőtere fogadja. A légitikötő 80 milliós utasforgalmá-

val 2025-ben Európa második legnagyobb repülőtere volt. (A kontinens listavezetője a londoni Heathrow 90 milliós forgalmával).

A város legmagasabb építménye az ázsiai oldalon álló, 369 méter magas, tulipánvirágot formázó **Camlica TV- és rádiótorony**. A 218 méter magas hegyen korábban hatalmas – a városképet rontó – antennák álltak. Ezek he-



15. kép: Antennatornyok 2008-ban



16. kép: Camlica TV- és rádiótorony

lyére épült, a hírközlő funkció mellett, turisztikai célt is szolgáló látványosság. A létesítésre kiírt tervpályázat győztese a Zaha Hadid Építészeti Iroda egykori munkatársnőjének, Melike Altınışık-nak a tervezőcége volt. A torony 2015–2020 között épült, és 2021 óta fogad látogatókat. Egyszerre 4500

turista számára nyújt maradandó élményt a látvány. (A cégtulajdonos számára újabb elismerést jelentett, hogy tervei alapján épült meg Szöulban a Robotika és Mesterséges Intelligencia Múzeuma 2024-ben.)

A Boszporusz-szoros mindkét partján modern, egyedi magasházak épül-

tek, amelyek a mecsetekkel és minarettekkel sajátos, egyedi képet kölcsönöznek Isztambulnak.

Törökország legmagasabb épülete a 2024-ben átadott Török Köztársaság Központi Bankjának 350 méter magas, 62 szintes irodatornya.



17. kép: Magasházak a Boszporusz-szoros európai oldalán



18. kép: A Török Köztársaság Központi Bankjának épülete,
forrás: <https://www.skyscrapercenter.com/building/central-bank-of-the-republic-of-turkiye/4114>

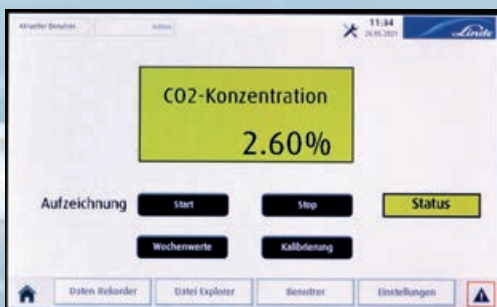


Online digitális gázkeverő és gázelemző készülék

A legmagasabb minőségi követelményeknek megfelelő gázösszetétel. A gázelemző nemcsak megvásárolható, hanem bérelhető is. Most ingyenes tesztelési lehetőséggel!

A gázelemző készülék leírása:

- Az online analizátor nagy pontosságú gázérzékelőt és nedvességmérőt tartalmaz.
- A készülék kompakt méretei ellenére bővíthető, moduláris felépítésű, GSM, LAN, USB és opcionális Wi-Fi kapcsolattal.
- Az adatgyűjtő folyamatos mérést biztosít. Lehetőség van a rögzített adatok felhő alapú szinkronizálására és az adatok látványos megjelenítésére böngészőben.
- A távoli hozzáférés okostelefonon vagy számítógépen keresztül is lehetséges. A készülék a gázösszetétel választható határértékek túllépése esetén a beállítástól függően riasztást, SMS vagy e-mail üzenetet küld.
- A beépített automatikus kalibrációs funkciónak köszönhetően az érzékelők pontossága mindig ellenőrizhető.
- A készülék minőségbiztosítási rendszerbe integrálható és segítségével a helyben kevert gázkeverék összetétele a vonatkozó szabványoknak megfelelően (MSZ ÉN ISO 3834-2, vagy MSZ EN 1090-2) bizonyítható. Az intuitív érintőképernyőn keresztül történő vezérlés könnyű kezelhetőséget és teljeskörű áttekintést biztosít.



Példák a készülék funkcióira:

- 0 - 30 tf.% CO₂ mérés
- B&R ipari vezérlőegység
- 7" érintőképernyő
- Automatikus kalibrálás
- Adatgyűjtő
- GSM modul távoli hozzáféréshez
- Riasztás SMS-en/e-mailen keresztül
- Automatikus tanúsítvány létrehozása

Linde Gáz Magyarország Zrt.

www.linde.hu

Fehérvári Gábor, gabor.fehervari@linde.com

Tel.: +36 20 264 6765

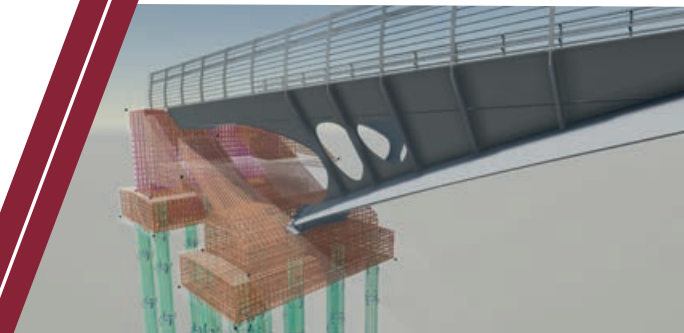
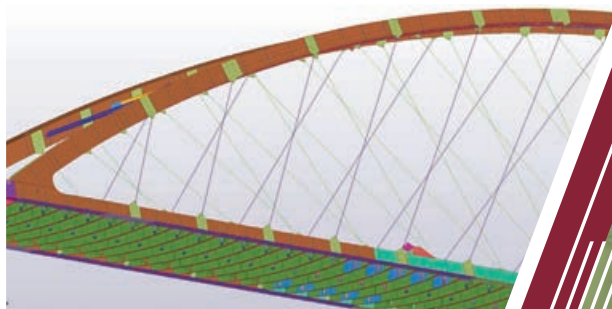
FOMTERV

.... mert az alkotás
a tervezéssel kezdődik ...



- Tervezés BIM környezetben
- Közúti, vasúti alul- és felüljárók
- Gyalogoshidak, gyalogos-aluljárók, csarnokok
- Közúti, vasúti folyami hidak
- Föld alatti műtárgyak, szerkezetek
- Csarnokok, ipari létesítmények, magasépítési szerkezetek
- Műtárgyak felújításának optimalizálása, élettartam tervezés
- Támfalak, bélésfalak
- Hagyományos és különleges alapozások
- Hidak és műtárgyak szerkezeti vizsgálata

Úton a megvalósulás felé ...



www.fomterv.hu

MEGRENDELŐLAP

Előfizetésben megrendelem a MAGÉSZ Acélszerkezetek című folyóiratot példányban.

Előfizetési díj: 1 évre 10 000 Ft+áfa és postaköltség.

Megrendelő:

Számlázási cím:

Postacím:

Telefon/fax/e-mail:

Kelt:

P.H.

aláírás

A megrendelőlapot

MAGÉSZ 1025 Budapest, Boróka utca 10. I. em. 3.

E-mail: ferenc.aszman@gmail.com címre kérjük.

H I R D E T É S

1 oldal (A/4) színes:

MAGÉSZ tagoknak 100 000 Ft+áfa

külső cégeknek 140 000 Ft+áfa

1/2 oldal (A/5) színes:

MAGÉSZ tagoknak 50 000 Ft+áfa

külső cégeknek 70 000 Ft+áfa

Nagy József

Telefon:

06 20 468-4680

Telefon/fax:

06 25 581-623

E-mail:

jnagy62@freemail.hu

Azon partnereink részére,
akik minden számban hirdetnek (4 db/év),
10% kedvezményt adunk.



MAGÉSZ[®]

ACÉLSZERKEZETEK

Magyar Acélszerkezeti Szövetség lapja – Journal of the Hungarian Steel Structure Association

www.magesz.hu

Kiadja a Magyar Acélszerkezeti Szövetség, 1025 Budapest, Boróka u. 10. I/3.

Mobil: +36 30-1378332, E-mail: magesz@t-online.hu

Felelős kiadó: a MAGÉSZ elnöke

Felelős szerkesztő: Aszmann Ferenc

A szerkesztő munkatársa: Nagy József

Kérjük szerzőinket, hirdetőinket, hogy a fényképeket, ábrákat ne Word-be ágyazva küldjék. Ajánlott formátum fotóknál: eredeti jpg, tif; ábráknál: eps, pdf. A képek jó minőségét csak így lehet biztosítani.

ISSN: 1785-4822

A tördelést és a nyomdai munkákat a TEXT Nyomdaipari Kft. készítette.

2400 Dunaújváros, Papírgyári út 49., 2401 Pf. 262

Telefon: 25/283-019, E-mail: studio@textnyomda.hu; andrea@textnyomda.com

Ha a
tartósság a cél.

Wagner magasnyomású pumpák és szórópisztolyok

- Kimagasló teljesítmény a vastag bevonatokhoz
- Masszív, megbízható kialakítás
- Könnyű tisztítás és karbantartás
- Szakszervíz




NAGÉV CINK KFT.

HASZNOS KÁDMÉRET:

 15x1,8x3 M

LEGNAGYOBB MÁRTHATÓ SZERKEZET TÖMEGE:

 MAX 6000 KG

 H-2364 Ócsa,
Hammerstein Péter u. 1.

 +36 20 233 0129

 kontakt@nagev.hu

- MSZ EN ISO 1461:2023
- MSZ EN ISO 9001:2015
- MSZ EN ISO 14001:2015
- DAST-Richtlinie 022 (2016-06)




NAGÉV

CSOPORT

NAGEV.HU



MAGYARORSZÁG

KÉT LEGMODERNEBB

TŰZIHORGANYZÓ ÜZEME



NAGÉV KFT.

HASZNOS KÁDMÉRET:

9,2X1,2X2,8 M 

LEGNAGYOBB MÁRTHATÓ SZERKEZET TÖMEGE:

MAX 4000 KG 

H-4066 Tiszacsege, 
Ipar utca 30.

+36 20 227 0129 

csege@nagev.hu 

- MSZ EN ISO 1461:2023
- MSZ EN ISO 9001:2015
- DAST-Richtlinie 022 (2016-06)