MAGÉSZ®

2026
XXIII. évfolyam 2. szám

ACÉLSZERKEZETEK

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



utp by voestalpine

Személyre Szabott Védelem™

UTP ROBOTIC 600

Varratmentes rézbevonatos portöltetű huzal

Prémium varratmentes védőgázos fémpor töltetű huzal nagy igénybevételű alkamazások széles köréhez.

Az UTP ROBOTIC 600 egy innovatív, személyre szabott termék példája, amelyet úgy fejlesztettek ki, hogy optimálisan megfeleljen a szigorú ipari alkalmazások követelményeinek. Ez egy varratmentes, rézbevonatú, védőgázos fémpor töltetű huzal, amely olyan alkatrészek keménybevonatához alkalmas, amelyek rendkívüli nyomás-, ütés- és kopásterhelésnek vannak kitéve. A huzal minden hegesztési helyzetben használható, és kiváló tulajdonságokkal rendelkezik új berendezések robotizált hegesztéséhez, például aprító fogak hegesztéséhez. Ugyanilyen jól teljesít a kopott alkatrészek helyszíni javítóhegesztésnél is.

Több száz sikeres alkalmazásnak köszönhetően az UTP ROBOTIC 600 bebizonyította, hogy megfelel a hatékony karbantartási megoldások iránti növekvő igénynek, amelyek célja a gépek kopás elleni védelme és az alkatrészek élettartamának meghosszabbítása.

BS300 tekercs



Precíziós tekercselés

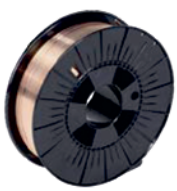
Méretek

Ø külső:	300 mm
Ø belső:	52 mm
Szélesség:	100 mm

Tekercs tömeg: 16 kg

Elérhető huzal átmérők:
1.2 mm
1.6 mm

S200 tekercs



Precíziós tekercselés

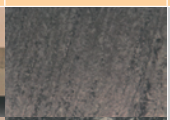
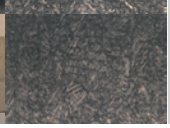
Méretek

Ø külső:	200 mm
Ø belső:	52 mm
Szélesség:	47 mm

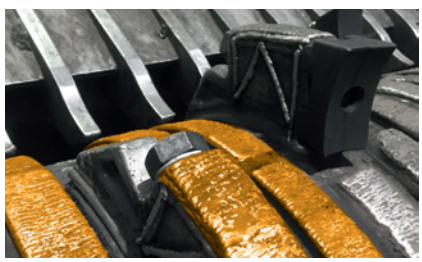
Tekercs tömeg: 5 kg

Elérhető huzal átmérők:
1.2 mm

Makró- és mikroszerkezeti képek

Réteg	Makró 2.3X	Mikró 400X	Megjegyzés	HRC
1			Dendrites szövetszerkezet; martenzites mátrix, karbidok	56
2				55
3				58





Típikus alkalmazások

- Újrahasznosító berendezéske aprító alkatrészei
- Földmunkagépek alkatrészei
- Törőgépek vagy prések
- Mezőgazdasági gépek

voestalpine Böhler Welding
www.voestalpine.com/welding

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

SZÖVETSÉGI HÍREK

BESZÁMOLÓ A MAGÉSZ KÖZGYŰLÉSRŐL

2026.05.06. – BME Hidak és Szerkezetek Tanszék

Aszmann Ferenc, a szövetség elnöke köszönti a megjelenteket, majd megállapítja, hogy a közgyűlés megkezdése a meghívó szerinti időpontban (10.00 óra) nem lehetséges, mivel a szavazásra jogosult 50% + 1 fő nem jelent meg és így a közgyűlés határozatképtelen. Azt a meghívóban közölt módon egy óra elteltével összehívottnak kell tekinteni, és a közgyűlés 11.00 órakor megtartható.

Napirenden kívül

A megismételt közgyűlés megkezdéséig az elnök javaslatára az idei diplomadíj-pályázat nyertesei ismertették pályázati anyagukat.

Elsőként ***Szabó Bence,*** az MSc kategória nyertese ismertette pályázati anyagát. Az előadás címe: *A Széchenyi Lánchíd láncelemeinek szobasztikus vizsgálata N+M interakcióra.*

Másodikként ***Gulyás László*** BSc I. díjas tartott előadást *Acélszerkezetű repülőgép-hangár tervezése* címmel.

A két díjnyertes mellett az elnökség különdíjjal jutalmazta ***Baksa Bátor*** BSc és ***Váradi Márton*** MSc pályázatát.

Az előadások után Aszmann Ferenc elnök átadta a diplomadíjasoknak a kitüntető okleveleket.

A napirend folytatása

A szövetség elnöke a megismételt közgyűlést 11 órakor megnyitva megállapítja, hogy a megismételt közgyűlés a meghívó szerint közölt napirendi kérdésekben határozatképes. A megismételt közgyűlés megkezdi munkáját.

Ezt követően a közgyűlés megválasztja a közgyűlés tisztségviselőit:

Levezető elnök személyére *Aszmann Ferenc,* jegyzőkönyvvezetőnek *dr. Borókai László* ügyvéd, hitelesítőknek pedig *dr. Kövesdi Balázs* és *dr. Dunai László* a javasolt közgyűlési tisztségviselő.

Közgyűlési tisztségviselőkre további javaslat nem lévén, a közgyűlés nyílt szavazással az alábbi egyhangú határozatot hozta.

1/2026. sz. Közgyűlési határozat

A közgyűlés egyhangú határozatával levezető elnöknek Aszmann Ferencet, jegyzőkönyvvezetőnek dr. Borókai Lászlót, jegyzőkönyv-hitelesítőnek dr. Kövesdi Balázst és dr. Dunai Lászlót egyhangúlag megválasztotta.

Levezető elnök ismerteti a közgyűlési meghívóban meghirdetett **napirendi pontokat,** mely szerint

1. A közgyűlés határozatképességének megállapítása.
2. Az elnökség beszámolója.
3. A 2025. évi pénzügyi beszámoló és mérleg elfogadása.
4. A 2026-os munkaterv jóváhagyása.



A 2026. évi diplomadíjasok

TARTALOM
CONTENTS

Szövetségi hírek 1

Köszöntő a 2026. május 26–27-én megrendezésre kerülő XVIII. Acélszerkezeti Konferencia alkalmából 3

Az első hazai vasúti network ívhíd építése 4

Európa legnagyobb fesztávú elforgatható hídja, a Friesenbrücke ... 8

Adminisztratív intézkedések az EU ipar- és kereskedelempolitikájával összefüggésben 15

Határhíd a Luapula folyó fölött a Kongói Demokratikus Köztársaság és Zambiai Köztársaság között 20

A Mohácsi Duna-híd mederhídjának építéstechnológiája – Tervezési kérdések 34

A Mohácsi Duna-híd – Ívek, kereszttartók parametrikus & BIM-tervezése 42

Gerinclemezís tartók nyírási ellenállása 54

Shear resistance of plate girders 54

Csúcstechnológia a tűzihorganyzásban: a NAGÉV Csoport új tűzihorganyzója Tiszacsegén 64

Üveg tartószerkezet – Citadella 69

Fenntartható öszvérszerkezetek fejlesztése és méretezési háttere 78

Különleges kérdések a Gyulafirátóti völgyhidak átépítésének tervezésénél 86

M7 autópálya feletti Velencei gyalogos-kerékpáros híd kivitelezésének tervezési támogatása .. 94

Korrózióálló acélok felületkezelésének fontossága 100

Mohácsi Duna-híd komplex ívszerkezetek gyártása 108

Nagy fesztávolságú conveyor-híd modellalapú tervezése ipari környezetben 118

Biztonság új szinten: hidegalakító szerszámok robbanásveszélyes környezetben 122

Megbízhatóság és modernizálás a CLOOS-tól – Robotrendszer retrofit a SAF-HOLLAND-nál 124

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

5. A 2026. évi tagdíjak megállapítása.
6. A 2026. évi költségvetés elfogadása.
7. Egyebek.

További napirendi javaslat nem volt, a levezető elnök szavazásra hívta fel a tagokat, majd kihirdette a közgyűlés határozatát.

2/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés a beterjesztett javaslattal egyezően, egyhangú szavazattal elfogadta a közgyűlési napirendi pontokat.

A közgyűlés megkezdte a napirend megtárgyalását:

2. napirend: Az elnökség beszámolója

Az elnök megtartotta az elnökségi beszámolót,

Hivatkozott arra, hogy annak részletes ismertetése a szövetség 2025-ös évzáró rendezvényén is megtörtént, és megismerhető volt az Acélszerkezetek című újság 2026. 1. számából. Kérdés, észrevétel a beszámolóval kapcsolatban nem volt.

3/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés egyhangú szavazattal a szövetség elnökségének 2025. évi beszámolóját elfogadta.

3. napirend: A 2025. évi pénzügyi beszámoló és mérleg elfogadása

A MAGÉSZ 2024. évi gazdálkodását az elnökség megvitatta és azt a közgyűlés elé terjesztésre megfelelőnek ítélte. Az egyszerűsített mérleget és a gazdálkodásról szóló beszámolót minden jelenlévőhöz a meghívóval együtt eljuttatták. Ebben az összes bevétel és az összes kiadás részletezésre került. A mérleg, „tervezetben”, aláírás nélkül



Aszmann Ferenc, a MAGÉSZ elnöke megtartja beszámolóját

került átadásra, mivel azt csak a közgyűlés elfogadása után lehet véglegesíteni.

4/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés egyhangú határozattal elfogadta a szövetség 2025. évi gazdálkodásáról készített beszámolót és a 2025. évi egyszerűsített mérleget 16 000 E Ft mérleg-főösszeggel, valamint –271 E Ft mérleg szerinti eredménnyel.

4. napirend: 2026. évi munkaterv jóváhagyása

Az elnökség a közgyűlést megelőző ülésén előzetesen áttekintette a 2026. évi munkatervet és az elnökségi ülésen megfogalmazott ajánlásokból elkészített 2026. évi munkaterv-tervezetet. Kisebb javításokkal és időpont-módosításokkal a dokumentumot a közgyűlés elé terjeszthetőnek ítélte. A munkatervet a tagok a meghívóval megkapták.

5/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés egyhangú szavazattal elfogadta a MAGÉSZ 2026. évi munkatervét.

5. napirend: A 2026. évi tagdíj megállapítása

A MAGÉSZ elnöksége a tagdíj mértékét a 2025. évre elfogadott tagdíj-táblázat alapján javasolja változtatás nélkül a 2026. évre is megállapítani és elfogadni.

6/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés egyhangú szavazattal a tagdíj mértékét a 2025. évre elfogadott tagdíj-táblázat alapján, változtatás nélkül 2026. évre is megállapítja és fenntartja.

6. napirend: A 2026. évi költségvetés elfogadása

Az elnökség a MAGÉSZ 2025. évi költségvetését 22 100 E Ft bevétellel és 23 260 E Ft kiadással javasolja elfogadni a közgyűlés által. A költségvetés-tervezetet a tagok a meghívóval együtt megkapták.

7/2026. sz. Közgyűlési határozat
A közgyűlés egyhangú szavazattal elfogadta a MAGÉSZ 2025. évi költségvetését, 22 100 E Ft bevételi és 23 260 E Ft kiadási összeggel.

7. napirend: Egyebek

A levezető elnök megkérdezi a jelenlevőket, hogy kívánnak-e közérdekű bejelentést tenni, vagy a napirenden nem szereplő kérdés megtárgyalását kezdeményezni.

Hozzászólás hiányában a közgyűlés munkáját a levezető elnök 12 órakor berekesztette.



A közgyűlés résztvevői

KÖSZÖNTŐ

a 2026. május 26–27-én megrendezésre kerülő XVIII. Acélszerkezeti Konferencia alkalmából

Az acélszerkezeti szakma május végén rendezi meg tizennyolcadik alkalommal dunaújvárosi konferenciáját. A szövetség közel harmincéves működése alatt ezek az alkalmak ünnepnek tekinthetők.

A szövetség tagjai, köztük egyetemek, tervezőintézetek, gyártó- és szerelőtársaságok képviselői együtt tekintik át az elmúlt két év elméleti és gyakorlati fejlődését, együtt örülnek az újdonságoknak és a sikeres projekteknek.

A tagok egymáshoz való viszonyát a konferencia idejére nem a presztízsharc, a konkurenciától való félelem jellemzi, hanem a kíváncsiság.

Az újdonságok iránti érdeklődés és a szakma új kihívásainak megismerése jellemzi a jelenlévőket. A folyamatosan változó gazdasági környezet új kihívások elé állítja a szakma szereplőit. Az elmúlt évtizedek megpróbáltatásaira a tagvállalatok többsége eredményesen reagált. Ahol ez nem sikerült, ott sem tűnt el a szakmai tudás, hanem más formációban más zászló alatt újra – alkotó módon – összeállt.

A konferencia meghirdetése után rövid időn belül tagjaink jelentkeztek az előadásaikkal. A konferencia előadásait egy konferenciakiadvánnyal (Acélszerkezetek újság 2026/2. szám) kívánjuk megörökíteni.

Hisszük, hogy a konferencia programja hasznosan szolgálja egyrészt az elmúlt időszak eseményeinek összefoglalását, és hasznos lesz a résztvevők jövőbeni fejlődése, iránymutatása végett.

Kívánjuk az előadóknak az ismeretek sikeres közvetítését, a résztvevőknek a kapcsolatok közvetlen bővítését és az újdonságok befogadását és hasznosítását.

Az elnökség nevében



Aszmann Ferenc
elnök

MAGÉSZ®
Magyar Acélszerkezeti Szövetség

Szabó Gábor *projektvezető*
Duna Aszfalt Zrt.

AZ ELSŐ HAZAI VASÚTI NETWORK ÍVHÍD ÉPÍTÉSE

A Villány–Mohács vasútvonal éles szögben keresztezi az M6 autópálya nyomvonalát, ezért egy különleges geometriájú és nagy teherbírású vasúti műtárgy létesítése vált szükségessé. Ennek eredményeként valósult meg Magyarország első network rendszerű vasúti ívhídja. A híd nemcsak mérnöki szempontból úttörő, hanem megjelenésében is karakteres alkotás, karcsú ívei, hálós kábelrendszere és könnyed arányai korszerű, elegáns összhatást adnak.

A KIVITELEZÉS SZEREPLŐI

A projekt a NIF Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. megrendelésére valósult meg, amelynek jogutódja az Építési és Közlekedési Minisztérium. A projekt fővállalkozója a S-D 2020 M6 Konzorcium volt. A híd engedélyezési és kiviteli szintű szerkezettervei, az acélszerkezeti gyártmánytervek, valamint a megvalósításhoz szükséges technológiai tervek az MSc Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft. tervezői műhelyében készültek. A vasúti pályaterveket az autópálya-szakasz főtervezője, az UNITEF ’83 Zrt. készítette. A vasúti híd vasbeton szerkezeteinek megépítését, az acélszerkezetek gyártását és szerelését a Duna Aszfalt Zrt. végezte. A híd acélszerkezeti elemeit elsősorban a Weinberg ’93 Kft. gyártóművében készítették. A legyártott hídelemek alapozó, és közbenső korrózióvédelmi rétegeinek felhordását a Duna NRG Kft. telephelyén végezték. A híd helyszíni szerelése és tolása a Steel Millennium Kft. közreműködésével történt. A kábelek és saruk gyártását, valamint szerelését a Pannon Freyssinet Kft. végezte.

A PROJEKT ALAPADATAI

A Bóly és Ivándárda (országhatár) közötti, mintegy 21 kilométer hosszú autópálya-szakaszt 26,6 méteres koronaszélességgel, középső fizikai elválasztással, valamint burkolt leállósávokkal építették meg. A pálya tervezési sebességét 130 km/órában határozták meg. A beruházás keretében összesen 16 műtárgy létesült, amelyek közül kiemelendő a Villány–Mohács vasútvonal felett átvezető vasúti híd, továbbá a Majsi-vízfolyás és a Szilvás-patak felett megvalósított völgyhidak. A kapcsolódó létesítmények részeként Nagynyárád térségében komplex pihenőhelyet, Ivándárda közelében komplex ellenőrzőhelyet, Babarc térségében pedig mérnökségi telepet alakítottak ki.
A fejlesztés elsődleges célja a Duna menti és a mohácsi térség közlekedési kapcsolatainak javítása, valamint az Észak- és Dél-Európa közötti tranzitforgalom biztonságos és gyors lebonyolításának biztosítása volt. Az M6 autópálya országhatárig vezető utolsó szakaszának megépítésével teljessé vált az Adriai- és a Balti-tenger térsége közötti közúti kapcsolatot biztosító TEN-T közlekedési folyosó magyarországi nyomvonala.



1. kép: Ívszerelés középről kezdve

A HÍD

A hídfők kialakításánál a hazai vasúti hídépítésben ritkán alkalmazott, úgynevezett milánói módszert használták. A megoldás lehetővé tette, hogy a szerkezet jelentős része munkagödör kiemelése nélkül, a terepszintről épüljön meg, gyorsabb és gazdaságosabb kivitelezést biztosítva. Az alapozást 100 cm átmérőjű CFA-cölöpökből álló, hézagos cölöpfal alkotja, amely egyszerre lát el teherhordó és földmegtámasztó funkciót. A hídfők homlokfala hengerpalást alakú, esztétikus, rondellaszerű formát kapott. A háttöltés megtámasztását vasbeton térdfal, a pálya rugalmas átmenetét bordás kiegyenlítőlemez biztosítja.

A híd egyedi kialakítású, 72,00 m támaszközű acél felszerkezete statikai rendszerét tekintve hálós függesztésű, merevítőtartós ívhíd. A megoldás különlegessége, hogy a hagyományos függőleges függesztőrudak helyett ferde elrendezésű, egymást keresztező kábelrendszer kapcsolja össze az ívet és a merevítőtartót. Ez a kialakítás kedvezőbb erőjátékot, kisebb hajlító igénybevételeket és gazdaságosabb anyagfelhasználást eredményezett. A két főívet függőleges síkban helyezték el. Tengelytávolságukat – a kábelek ütközésvédelme érdekében – a szokásosnál nagyobbra, 5,60 m-re hagyták. A felszerkezet teljes szélessége a kétoldali üzemi járdákkal együtt 8,20 m. A zárt szelvényű acélívek jellemző keresztmetszeti magassága 640 mm, amely az ívvállak közelében fokozatosan kiszélesedik. Az ívek nyílmagassága megközelítőleg 11,50 m, így karcsú, kedvező arányú szerkezet jött létre. A főíveket nyolc helyen, Vierendeel-rendszerű kereszttartók merevítik. A pályaszerkezet alatt ortotrop acél pályalemez készült, amelyet hossz- és kereszttartók merevítenek. A szerkezeti magasság minimalizálása érdekében nem épülhetett hagyományos zúzottköves ágyazatátvezetésű vasúti pálya, ezért korszerű, hosszvályús, folyamatos rugalmas ágyazású felépítményt alkalmaztak. Ennek eredményeként a teljes szerkezeti magasság mindössze 900 mm-re csökkent. A merevítőtartó kétoldali szegélytartói 1,40 m magas, aszimmetrikus kialakítású „kalap” szelvényű főtartók, amelyek a pályalemezzel együtt kompakt, nagy torziós merevségű rendszert alkotnak. A kereszttartók optimalizált kiosztással, 4,50 m tengelytávolsággal készültek.

Az ívek és a merevítőtartó kapcsolatát nagy szilárdságú FLC függesztőkábelek biztosítják. A villásfejes–csapos végkapcsolatú, állítható hosszúságú elemek két párhuzamos függőleges síkban, sugaras rendszerben helyezkednek el. Főtartónként 2 × 22 darab, összesen 88 darab kábel épült be. A teljes kábelrendszer hossza megközelítőleg 940 m, össztömege mintegy 8,0 tonna. A kábelek névleges szakítószilárdsága 1570 MPa. A network rendszer előnye, hogy az ív és a merevítőtartó elsősorban nyomó-, illetve húzóerőkkel dolgozik, miközben a hajlító igénybevételek jelentősen csökkennek. Ennek köszönhetően a szerkezet egyszerre vált karcsúvá, könnyeddé és nagy merevségűvé, ami vasúti alkalmazás esetén kiemelten kedvező tulajdonság. A próbaterhelések a számított viselkedést maradéktalanul igazolták. A teherhordó acélszerkezet nettó tömege – a függesztőkábelekkel együtt – mintegy 340 tonna, míg a teljes üzemi tömeg a vasúti pályával, terelőberendezésekkel és üzemi járdákkal együtt megközelítőleg 420 tonna volt. A nagy szilárdságú kábeleken kívül a teljes acélszerkezet S355+N minőségű acélból készült. A felszerkezet gyártási egységeit teljes mértékben hegesztett kivitelben alakították ki, a kábelcsatlakozások kivételével, amelyek villás–csapos kötéssel készültek. A szerkezeti részletek kialakításánál kiemelt szempont volt a korszerű hegesztéstechnológia alkalmazása, a gyárthatóság, valamint a kifáradással szembeni ellenállás növelése.

A korrózióvédelmi bevonatrendszer fedőrétege RAL 5023 „distant blue” színárnyalatot kapott, míg a kábelek és korlátok RAL 7001 „silver gray” bevonattal készültek. Az alkalmazott színvilág a hazai vasúti hidaknál megszokott megjelenéstől eltérően korszerű és karakteres arculatot biztosított a műtárgynak.

ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIA

A híd tartószerkezetét 6 darab ívelemre, 8 darab pályaelemre és 8 darab ívösszekötő elemre bontották. Elsőként a szerelőterületen elhelyezték a pályaelemeket, beállították az alakjukat, meglakatolták a pályalemezt, a kereszttartókat és a kereszttartó alsó övlemezeket. Méret- és alakellenőrzést követően meghegesztették a pályaszerkezetet. Ezután a pályalemezre elhelyeztek 4 darab ívalátámasztó járművet, melynek a tetejére hőmérséklet okozta mozgás lehetőségét biztosító, ideiglenes csúszkákat helyeztek el. A járművek szerelésével párhuzamosan összehegesztették az ív középső két elemét és az ívösszekötő gerendákat. Egyben beemelték a „középső” ívrészt *(1. kép),* majd a szélső íveket, amit beállítást követően meghegesztettek. Ekkor elhelyezték a szélső ívelemek közötti ívösszekötő gerendákat, és azokat is meghegesztették. A teljes ív elkészülte után kibontották az ívalátámasztó állványokat, beállították a pályalemez és az ív tervezett alakját, majd bemérték az elméleti kábelhosszokat. Kiterített állapotban beállították a kábelek hosszát, majd beépítették őket. Fontos követelmény volt, hogy a kábelekben közel azonos erő ébredjen, ezért a feszítés különböző fázisaiban mérték a kábelekben ébredő erőt, és ez alapján helyenként korrigálták a kábelhosszokat.

Miután szerkezetileg elkészült a híd, felszerelték a járdákat, a kábelburkoló csöveket, a korlátokat, az acél sínvályút és a terelőelemeket. Ekkor a híd készen állt a keresztbe tolásra.

A keresztbe tolás egy fél évvel előre megkért, rövid vágányzári időszakban történt. A vágányzár kezdetekor lebontották a régi vasúti felépítményt, a régi zúzottkő ágyazatot, és elkezdték a töltés kibontását. Ezzel párhuzamosan tolási magasságra emelték a hidat, elhelyezték a tolópályákat, beállították a tolóhidraulikákat és megkezdték a tolást. A keresztbe tolást rendkívül gyorsan, 4 óra alatt elvégezték *(2.* és *3. kép).* A tolást 100 tonnás hidraulikus munkahengerrel, tolópályára hegesztett ütközők segítségével hajtották végre. A hidat a tolópályákon egyszerre, azonos sebességgel tolták, hogy elkerüljék a tolás közbeni esetleges befeszülést. A keresztbe tolást követően végleges magasságra állították és besarozták a hidat. Ezzel a hidat szerkezetileg késznek lehetett tekinteni, így felhúzták a síneket, beállították és aláöntötték, végül elhelyezték a dilatációkat és meghegesztették a síncsatlakozásokat.

A forgalomba helyezés előtt elvégezték a statikus és a dinamikus próbaterhelést. A híd érdekessége, hogy a különösen csekély önsúly ellenére nagy terhelhetőségű, már a próbaterhelés során is 2 darab M62 mozdony terhelte meg 232 tonna hasznos teherrel, a mindösszesen 335 tonna tömegű teherhordó acélszerkezetet.

A hidat a sikeres próbaterheléseket követően 2022.07.22-én forgalomba helyezték *(4. kép).*

A híd keresztbe tolásával, vasútipálya-építésével és forgalomba helyezésével egy időben elbontották a híd alatti töltést, és megépítették az autópálya pályaszerkezetét is.



2. kép: Vasúti pálya bontása tolás előtt



3. kép: Helyére tolták a hidat

ZÁRSZÓ

A B1968 jelű vasúti híd a hazai hídépítés kiemelkedő mérnöki teljesítménye, amelyben a korszerű statikai rendszer, a gazdaságos acélszerkezeti kialakítás, a gyors kivitelezhetőség és az igényes megjelenés egyszerre érvényesül. Magyarország első vasúti network rendszerű ívhídjaként új fejezetet nyitott a hazai vasúti acélhidak fejlesztésében.

A beruházás további értéke, hogy a tervezés, a gyártás és a kivitelezés meghatározó része magyar szakemberek közreműködésével valósult meg. A B1968 jelű híd így nemcsak egy sikeres infrastruktúra-fejlesztés része, hanem a hazai acélhídépítés innovációs képességének és szakmai felkészültségének is méltó bizonyítéka *(5. kép)*.

A 4. képet Dernovics Tamás készítette, a többi kép a szerző saját felvétele.



4. kép: Próbaterhelés



5. kép: Vasúti forgalom alatt elkészült az autópálya pályaszerkezete

Szabó Zoltán ügyvezető
Kiss János műszaki igazgató
Deák László műszaki igazgató
MCE Nyíregyháza Kft.

EURÓPA LEGNAGYOBB FESZTÁVÚ ELFORGATHATÓ HÍDJA, A FRIESENBRÜCKE

A PROJEKT HELYE ÉS JELENTŐSÉGE

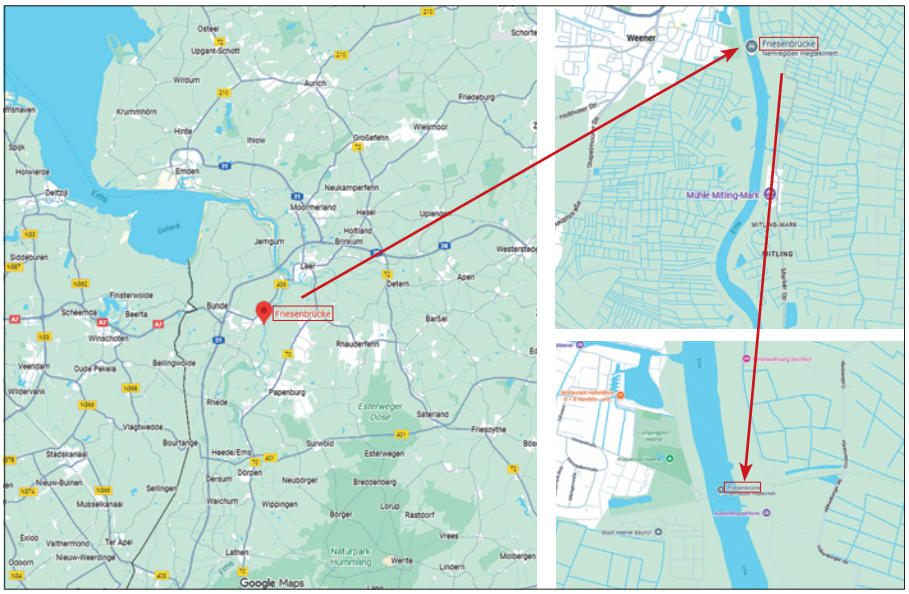
Németország északnyugati részén, Alsó-Szászország tartományban, a kelet-frízföldi régióban található a Friesenbrücke. A híd az Ems folyó felett ível át, összekötve Weener és Leer városokat. Bár a híd hivatalosan Weener közelében található, mégis, mivel a híd a Meyer Werft hajógyár Papenburgban épített hajóinak a szállítási útvonalán fekszik, papenburgi hídnak is emlegetik.

A Friesenbrücke a régió gazdasági és infrastrukturális életének egyik fontos átjárója, hiszen Németország és Hollandia közötti vasúti kapcsolat elősegíti a határokon átnyúló kereskedelmet és a turizmust *(1. ábra)*. A híd hiánya vagy sérülése jelentős hatással van mind a vasúti közlekedésre, mind a hajózásra. A híd gyalogos- és kerékpárutat is magában foglal, így a helyi közlekedésben is fontos szerepet játszik.

A PROJEKT TÖRTÉNETE

A 2026-ban átadásra kerülő forgatható híd előtt már három, különböző okból tönkrement/megsemmisült híd látta el a folyó–vasút keresztezésének forgalmát. A legrégebbi 1874–1876 között épült, forgó híd volt, hajóütközés miatt 1924–1926 között újjáépítették, ami a második világháborúban megsemmisült. 1951–1952 években újjáépítették, aminek nekiütközött egy hajó, és használhatatlanná vált. Ezután 2021-ig kellett várni a híd és a vasútvonal helyreállítására.

A jelenlegi híd egy új, korszerűbb kialakítású kivitel. Építése 2021-ben kezdődött. Európa legnagyobb fesztávú emelkedő–forgó hídja *(2. ábra)*. A 2025-ös megnyitás után, amikor a kerékpáros-, gyalogosforgalom már áthaladhatott rajta, 2026-ban adják át a vasúti forgalomnak az emelkedő–forgó hidat. A hídegyüttes acélszerkezetét az MCE Nyíregyháza Kft. gyártotta, előszerelte, majd a végső helyén szerelte.



1. ábra: A Friesenbrücke földrajzi elhelyezkedése

AZ MCE NYÍREGYHÁZA KFT. SZEREPE A PROJEKTBEN

Vállalatunk a híd kivitelezésének szinte minden pontjában részt vett, a gyártási tervezéstől a készre szerelésig, beleértve a gyártással kapcsolatos technologizálást, kiemelve a hegesztési technológia részt. Közreműködtünk a mérési tervek és a roncsolásmentes vizsgálatok tervezésénél, az acélszerkezetek legyártásban, valamint a helyszínen végzett szerelési munkálatok is vállalatunk feladata volt.

A Friesenbrücke megközelítőleg 3500 tonna össztömegű hídegyüttes. A *3. ábrán* láthatóan 3 fő részre tagoljuk: balról jobbra egynyílású, az emelkedő–forgó hídszakasz és a kétnyílású egység.

A korrózióvédelem előírásait a Deutsche Bahn adta meg az ún. Blatt 87 előírásai szerint. A rétegrendje 80 mikron alapozó-, két rétegben 80–80 mikron közbenső, valamint egy helyszíni 80 mikron fedőréteg.

RÉSZLETEK A GYÁRTÁSRÓL

Az egy- és kétnyílású hidak gyártása rutinfeladatnak számít még akkor is, ha egy vastag lemezből tervezett konstrukció és a híd a Deutsche Bahn-nak készül. A képek magukért beszélnek *[4. a)–4. e) ábrák]*.

Mivel az emelkedő–forgó hídrész volt a legbonyolultabb egység, ezért ehhez a részhez 3D-s számítógépes modell is készült, hogy mind a gyártás, mind a hegesztőfelügyelet és minőség-ellenőrzés egyértelműen láthassa a beépülő alkatrészek hozzáférhetőségét és szükséges varratok elkészíthetőségét, vizsgálhatóságát *(5. ábra)*.

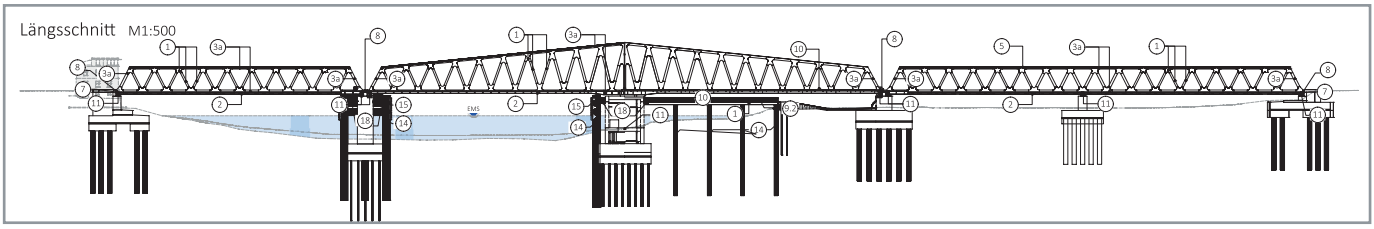
A hídelem a napi többszöri emelés forgatás miatt jóval nagyobb igénybevételnek és kétirányú terhelésnek van kitéve, mint az általános vasúti hidak. Látványosan a varratméretek is jóval nagyobbak voltak a megszokotthoz képest *[6. a)–6. c) ábrák]*.

Külön kiemelendő, hogy ezen varratok szinte kivétel nélkül teljes keresztmetszetben áthegesztettek, így a hibamentességüket roncsolásmentes vizsgálatokkal is igazolni kellett.

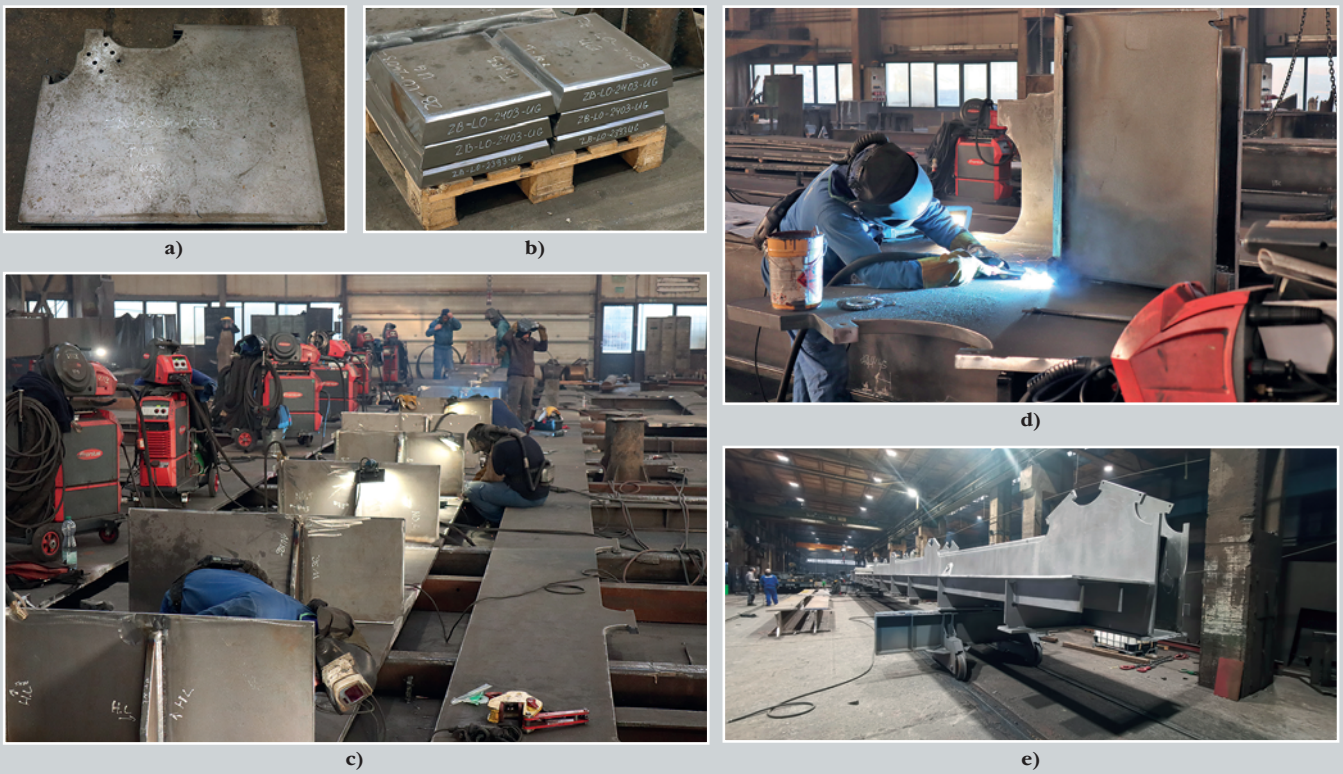
A hídelemeket a szokásos méret és varratminőség mellett légtömörségre is vizsgáltuk. Mind a gyártási folyamatot, mind a korrózióvédelmet a



2. ábra: A negyedik Friesenbrücke nyitáspróba 2025-ben

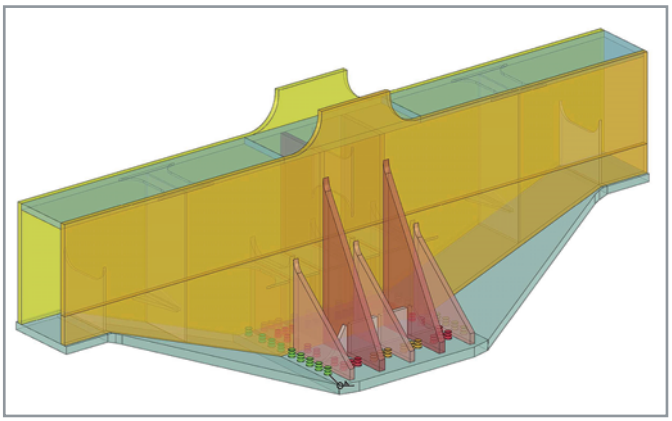


3. ábra: A Friesenbrücke műhelyrajzi hossznézete

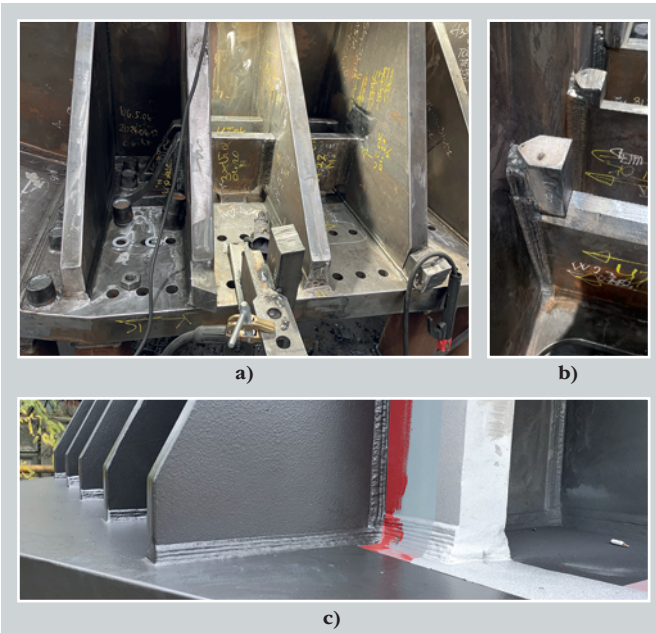


a) **b)** **c)** **d)** **e)**

4. ábra: a)–b) vastag lemezes alkatrészek; c)–d) a főtartó alsó öv hegesztése; e) a kész alsó öv szerkezete a korrózióvédelem előtt



5. ábra: A modell egy részlete a varratokkal



a) b) c)

6. ábra:
a)–b) hegesztési varratok munka közben;
c) hatalmas mennyiségű hegesztési varrat



7. ábra:
A forgóegység indulásra készen
Nyíregyházáról

Deutsche Bahn szigorú felügyelete alatt végeztük.

Helyszínre szállításnál a nagy távolság, és a helyszíni munkavégzés gazdaságossága szempontjait figyelembe véve alakítottuk ki a szállítási egységek méreteit *(7. ábra)*.

ELŐSZERELÉS

A helyszíni adottságok miatt az egységeket nem lehetett közvetlenül a beépítési hely közvetlen közelében szerelni. A szükséges terület nem állt rendelkezésre az ártéren. Előszerelésre alkalmas felületet a beépítési helytől 7 kilométerre, a Meyer hajógyár közelében találtunk.

A nyílt tengertől kb. 40 km-re voltunk, mégis az időjárás tengerpartira emlékeztetett. A szinte állandó szél, illetve eső vagy a sós vízcseppes levegő miatt szükséges volt a hidakat teljesen beházalni, szem előtt tartva a munkaszintek kialakítását *(8. ábra)*.

Az előszerelés során először az egynyílású, majd a kétnyílású egység készült el a folyóra merőlegesen, majd a forgóegységet szereltük meg a folyóval párhuzamosan építve *(9. ábra)*. Az egynyílású egység acélszerkezeti tömege kb. 677 tonna, a kétnyílású egységé kb. 1140 tonna és a híd központi a forgatható egysége mintegy 1477 tonna mozgatását jelentette a végleges helyre szállításkor.

BEÚSZTATÁS

Mind a három előszerelt egységet külön-külön technológiákkal kellett a beépítési helyre szállítani. Az első szállítandó tétel a kétnyílású egység volt, 4 darabban szállították a helyére. A 4 darab szállításához úszódarus szállítási technológiát határoztak meg, így első körben az előszerelési helyről el kellett juttatni az egységeket a folyópartra, ahol felvette az úszódaru, és a beépítési helyig vitte. Ez történt 4 alkalommal *(10. ábra)*.

A szárazföldön való mozgatásra SPMT szállítójárműveket alkalmaztunk. Az SPMT hidraulikával megemelte az elemet, majd a folyópartra gurult vele. A szállításnál kiemelkedő jelentősége volt annak, hogy az SPMT szállítójárművek kerekei több mint 90 fokban tudnak fordulni, így könnyen manőverezhetőek voltak, megoldva az elkészült elemek irányba forgatását.

A következő szállítandó elem az egynyílású egység volt, melyet szintén SPMT-vel mozgattunk a partra, ahonnan uszályra gurultak az SPMT-k az elemmel. A hidat a szállítóeszközzel együtt úsztatták be a beépítési helyre, ahol egyszerűen legördültek a szárazföldre a hídelemmel. Uszállyal történő mozgatás során több mint 700 tonnát kellett egyszerre mozgatni, a teljes hossza elérte a 70 métert. Az uszály 7 km hosszon folyásirányban vitte a beépítési helyig a hídelemet *(11. ábra)*.

A forgórész szállítására ismét más technológiát kellett alkalmazni. Ebben az esetben is SPMT-vel történt a hídelem mozgatása, azonban a forgórész geometriájából adódóan két helyen kellett egyszerre felvenni a hidat.



a)



b)

8. ábra: a) kiépült fedett munkaterület; b) 3 szintes munkatér



9. ábra: A készülő forgóegység a már kész egy- és kétnyílású egységgel



10. ábra: Úszódarun történő szállítás



11. ábra: Útközben az egynyílású parti híd



13. ábra: Szállítás közben a forgóegység

Az SPMT-k szinkronban haladva, kettő darab különálló uszályra szállították az elemet *(12. ábra)*. A vízi szállítás a két uszály összehangolt mozgatásával valósult meg. A beépítési helyszínre érve az SPMT eszközök fordítottak a hídelemen az uszályon fordulva, hogy a beépítési irányban tudják elhelyezni a forgó hídegységet *(13. ábra)*.

GÉPÉSZET

A beépített forgóegység mozgatásához szükséges emelő és forgatóberendezést a Hermann GmbH Maschinenbautechnologie gyártotta, a hozzá tartozó fogaskerekeket pedig a Liebherr Components szállította.

Az emelő- és forgatóberendezés össztömege elérte a 400 tonnát. A szerkezetet méretéből adódóan fektetve lehetett a helyszínre szállítani *(14. ábra)*.

A Liebherr által gyártott csapágyazás különleges funkcióval rendelkezik, egy ún. fejlett csapágytávolság-ellenőrző rendszerrel. Ez nyomon követi az axiális futópálya kopását, és lehetővé teszi a karbantartás hatékony tervezését. Az érzékelők közvetlenül a csapágyba vannak beépítve, az adatokat pedig közvetlenül az ügyfél rendszerébe táplálják a felügyelethez.

A kiszállítás télen történt, és így az elkészült berendezés beemelése rendkívül zord időjárási körülmények között zajlott. A híd szerelése szempontjából ez a szerelés egyik legprecízebb momentuma – pont a lehető legnehezebb időjárási körülmények adódtak. Az intenzív havazás alatt milliméter-pontosan behelyezésre került a forgatómechanizmus *[15. a) és 15. b) ábrák]*.



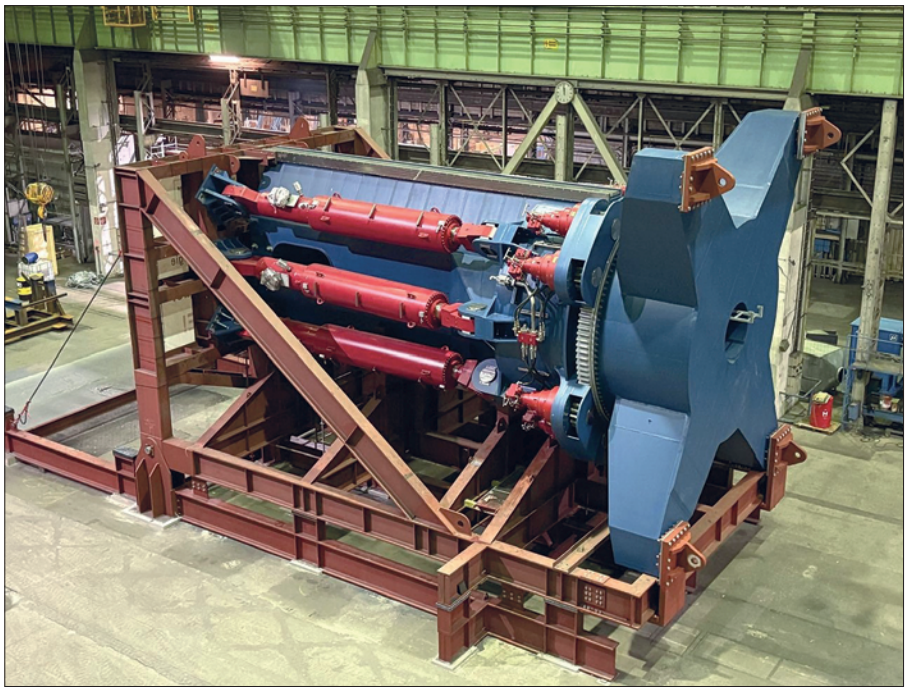
12. ábra: Két uszályra mozgatják a forgó hídegységet

UTOLSÓ SIMÍTÁSOK

Miután beszereltük a forgatóberendezést és rákerült a készre hegesztett forgó hídelem is, elkezdődhettek a mérések a forgóegység mozgatásához. A megfelelő tervezésnek és kivitelezésnek köszönhetően a mérések csak kisebb eltéréseket mutattak az elvárthoz képest a forgóegység egyensúlyára vetítve *(16. ábra)*.

A különbségeket tárázó lemezkazettákkal kompenzáltuk. Mérések után a kijelölt helyre rögzítettük a kazettákat. Ezután újabb egyensúlymérés kezdődött, mindezt addig ismételtük, amíg a tökéletes egyensúlyi állapotot el nem értük mind hossz-, mind keresztirányban.

A szerkezetileg kész hidakba ezután szerelték be a síneket és szerelvényeit *(17. ábra)*. A megrendelő ragaszkodott ahhoz, hogy a nyíló hídelem teljes hosszába egy darabban készült sín kerüljön.



14. ábra: Hidraulikus emelőberendezés a lineáris vezetékekkel és a fogaskoszorúval szállításra készen, szállítókeretben

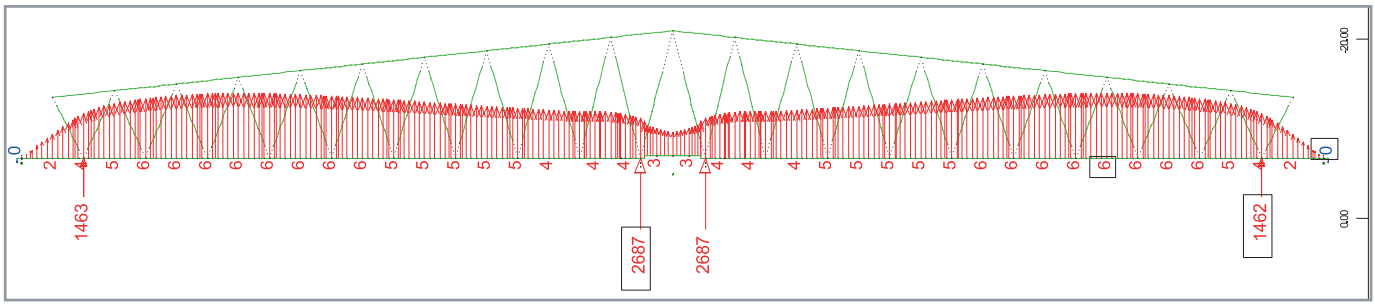


a)



b)

15. a)–b) ábrák: A hidraulikus sajtó beemelése



16. ábra: Terheléseloszlás a forgóegységen

ÖSSZEGZÉS

A Friesenbrücke kivitelezése igen összetett feladat. Nemcsak a híd nyithatósága, hanem annak felemelkedő, elforgatható megvalósítása miatt is. A vasúti hidak építése mindig nagyobb kihívást jelent az építők részére, mint a közúti hidaké. Különösen igaz ez nyitható szerkezeti megoldások esetén, mert a sínek pontos illeszkedése, az ágyazatok váltása, a nyitások utáni pontos visszaállás a kiinduló helyzetbe olyan követelményeket támasztanak mind a szerkezetgyártásban, mind a helyszíni munkák pontosságában, melyek meghaladják a szokványos követelményeket. Az MCE Nyíregyháza Kft. abban a szerencsés helyzetben van, hogy cégcsoportja részeként már a második nyitható szerkezetű híd kivitelezésében vett részt. Mindkét híd rekordernek számít a maga fajtájában és a maga idejében. Az MCE Nyíregyháza Kft. olyan minőségű munkát végzett a német vasutak részére, amivel méltán büszkélkedhet a hazai és külföldi acélszerkezet-gyártók körében.

A hídegyüttest gyártó MCE Nyíregyháza Kft. a forgó/nyíló vasúti híd gyártásával és szerelésével érdemes volt a MAGÉSZ által 2025. évben kiírt Év Acélszerkezete Nívódíjra.



17. ábra: Sínekkel ellátva a nyitott állapotban lévő Friesenbrücke



18. ábra: A kinyitott és folyóparttal párhuzamosan rögzített Friesenbrücke mozgatható egysége szokatlan látvány egy folyó felett átvezető hídhoz szokott szemlélőknek

Kardos László *termékfelelős*
Salzgitter Mannesmann Acélkereskedelmi Kft.

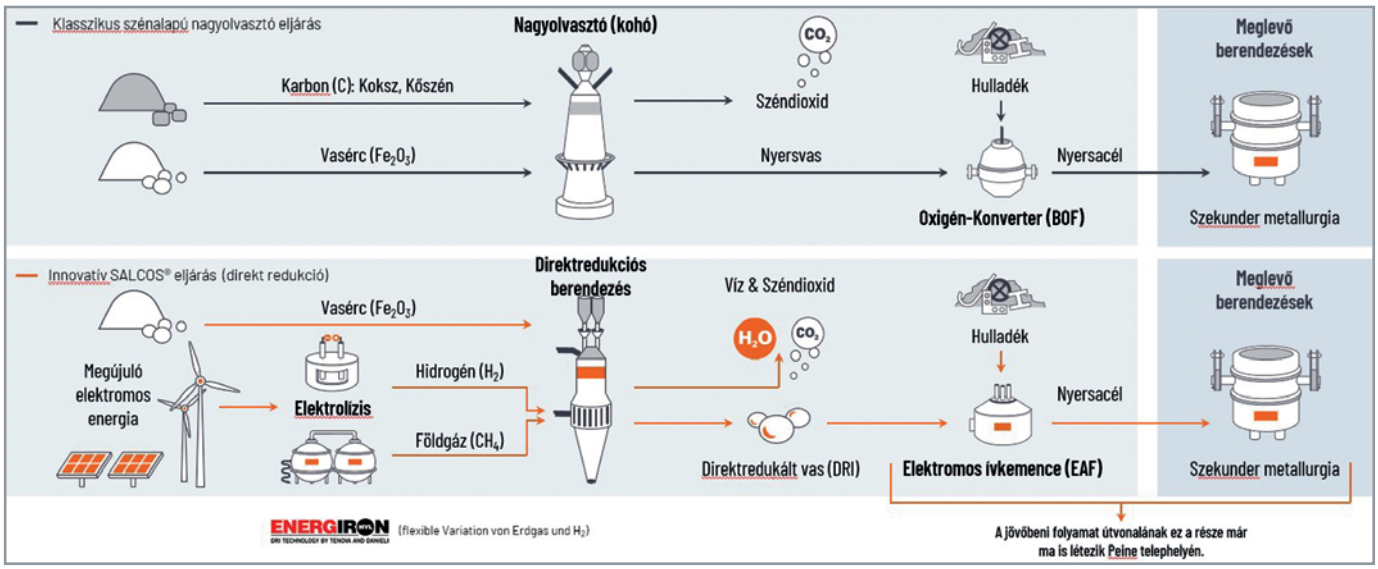
ADMINISZTRATÍV INTÉZKEDÉSEK AZ EU IPAR- ÉS KERESKEDELEMPOLITIKÁJÁVAL ÖSSZEFÜGGÉSBEN

Az Európai Unió az elmúlt években ambiciózus irányváltásba kezdett: a klímavédelem és a gazdasági versenyképesség összehangolása került a középpontba. Az Európai Zöld Megállapodás, vagyis a European Green Deal 2019-ben jelent meg az EU átfogó gazdaságstratégiai keretrendszereként. Előzménye a 2015-ös Párizsi Megállapodás, amely globális szinten jelölte ki a klímavédelem irányait. Az EU a Green Deal keretében azt vállalta, hogy 2050-re klímasemlegessé válik. Ez sokkal több, mint környezetpolitikai célkitűzés, az energiatermelés, az ipar, a közlekedés, a mezőgazdaság, az építőipar és a pénzügyi rendszer átalakítását jelenti.

A törekvések konkrét szakpolitikai intézkedésekben öltenek testet, amelyek közül talán a legismertebb a 2021-ben bemutatott „Fit for 55” csomag. Ez a jogalkotási csomag azt a célt szolgálja, hogy az Európai Unió 2030-ig legalább 55 százalékkal csökkentse üvegházhatásúgáz-kibocsátását az 1990-es szinthez képest. A Fit for 55 tehát a stratégia gyakorlati megvalósítása, mely átfogó reformokat vezet be: szigorítja a kibocsátáskereskedelmi rendszert (EU ETS), új szabályokat határoz meg az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások terén, valamint közvetlenül érinti a közlekedési és építőipari szektort is.

Az acél elvitathatatlanul olyan alapanyag, amely nélkül a modern ipari gazdaság szinte valamennyi ágazata elképzelhetetlen, és a teljes ipari értékláncra kihatással van. Az acélipar szerepét gyakran ipari statisztikákon keresztül szokták bemutatni: termelési volumen, export, import, foglalkoztatás, energiafelhasználás, -kibocsátás. Az acélipar azonban most egy másik okból került a politikai figyelem középpontjába: jelentős szén-dioxid-kibocsátása révén. A teljes globális szén-dioxid-kibocsátásban az acélgyártás aránya hozzávetőlegesen 7–9 százalék, (az EU-ban ez az arány körülbelül kb. 4–5%). Ez azt jelenti, hogy az acélipar dekarbonizációja nélkül a klímasemlegességi célok sem globális, sem európai szinten nem érhetők el.

Az acélipar szempontjából a Green Deal és a Fit for 55 azért is meghatározó, mert az ágazat kibocsátáscsökkentése technológiailag bonyolult és tőkeigényes. A hagyományos nagyolvasztós nyersvasgyártás kokszot használ, ami jelentős szén-dioxid-kibocsátással jár. A kibocsátás csökkentéséhez új technológiákra van szükség, például hidrogénalapú direkt redukcióra, elektromos ívkemencékre, nagyobb arányú acélhulladék-felhasználásra, karbonleválasztási megoldásokra, vagy zöldáramra épülő termelésre. Mindemellett megfelelő energia-infrastruktúrára és versenyképes villamosenergia-árakra van szükség. Ha az európai acélgyártók úgy kénytelenek végrehajtani a technológiaváltást, hogy közben a világpiacon olyan versenytársakkal kell árban versenyezniük, amelyek nem viselnek hasonló karbonköltségeket, akkor az átállás gazdaságilag ellehetetlenül. Az európai zöld átállás önmagában nem lenne fenntartható, ha közben az európai ipar a szigorúbb szabályok miatt kiszorulna a piacról és a termelés áthelyeződne olyan országokba, ahol magasabb a kibocsátási intenzitás. Ezt nevezi a szakpolitika szénszivárgásnak. A CBAM és az új kvótarendszer éppen ezt a problémát próbálja kezelni: úgy védeni az európai piacot, hogy közben a klímacélokat is érvényesítse.



Az acélgyártás dekarbonizációja a Salzgitter AG „SALCOS” programjának keretében

A GLOBÁLIS ACÉLPIAC TORZULÁSAI: MIÉRT NEM ELÉG A SZABAD VERSENY?

A globális acélpiacot több olyan tényező alakítja, amely torzítja a versenyt. Az egyik legfontosabb a túlkapacitás. Az elmúlt évtizedekben – az elsősorban Kínában kiépülő – hatalmas acélipari kapacitások nem kizárólag piaci logika alapján jöttek létre, hanem állami iparpolitikai döntések, kedvezményes finanszírozás, energiaár-támogatások vagy regionális fejlesztési célok eredményeként.

A termelők gyakran alacsony árakon próbálnak piacot találni termékeiknek, ami lefelé nyomja a világpiaci árakat. A magasabb költségszinten működő európai üzemeknek olyan konkurens gyártókkal szemben kell helytállniuk, amelyek alacsonyabb energiaárakkal, lazább környezetvédelmi szabályokkal vagy állami támogatásokkal működnek.

A másik torzító tényező a karbonköltségek különbsége. Az EU-ban a kibocsátásnak ára van, elsősorban az emisszió kereskedelmi rendszeren keresztül (EU ETS). Az európai gyártók a szén-dioxid-kibocsátás után közvetlen vagy közvetett költségeket viselnek. Ezzel szemben sok harmadik országbeli gyártó olyan szabályozási környezetben működik, ahol hasonló költség nincs, vagy jóval alacsonyabb.

A harmadik fontos tényező az energiaár. Az acélgyártás energiaintenzív ágazat, ezért a villamos energia, a földgáz, a koksz, a hidrogén vagy más energiahordozók ára közvetlenül befolyásolja a termelési költségeket. Az európai energiaárak az elmúlt években különösen magasak és volatilisek voltak, ami tovább rontotta az ágazat versenyképességét.

A SAFEGUARDS RENDSZER: VÁLSÁGKEZELŐ ESZKÖZBŐL ELAVULT VÉDELEM

Az EU 2018-ban vezette be ideiglenesen a Safeguards rendszert, amely 2019 februárjában vált véglegessé. Az intézkedés egy közvetlen válaszreakció volt az Egyesült Államok általi „Acél 232” importvámra. Az EU attól tartott, hogy a korábban amerikai piacra irányuló acéltermékek Európába áramlanak át, súlyos importnyomást okozva.

A Safeguards rendszer célja az volt, hogy megakadályozza a hirtelen és tömeges importbeáramlást. A rendszer tarifális kvótára, vagyis TRQ-mechanizmusra épül. Ez azt jelenti, hogy a korábbi évek importmennyiségéhez igazodva meghatározott volumenig vámmentes marad a behozatal, a kvótán felüli mennyiségekre azonban 25 százalékos kiegészítő védővám vonatkozik. Az intézkedés 26 acéltermék-kategóriára terjed ki.

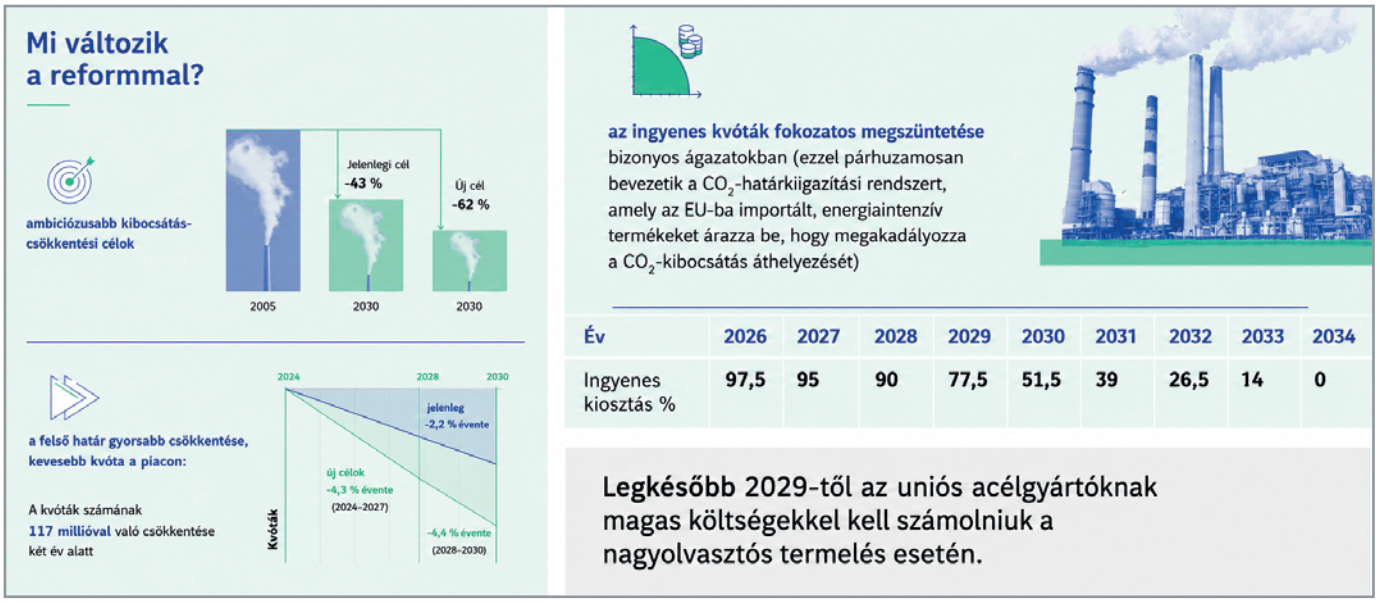
A Safeguards rendszer hatékonysága az elmúlt években jelentősen csökkent. A WTO-szabályokhoz igazodva a vámmentes kvótamennyiségek a kezdeti években növekedtek, és ma már lényegesen magasabbak, mint a 2015–2017-es bázisévekben, elveszítve korlátozó funkciójukat. Jelenlegi formájában 2026. június 30-ig érvényes, ezt követően azonban már nem hosszabbítható meg, mert eléri a WTO által megengedett maximális nyolcéves időtartamot.

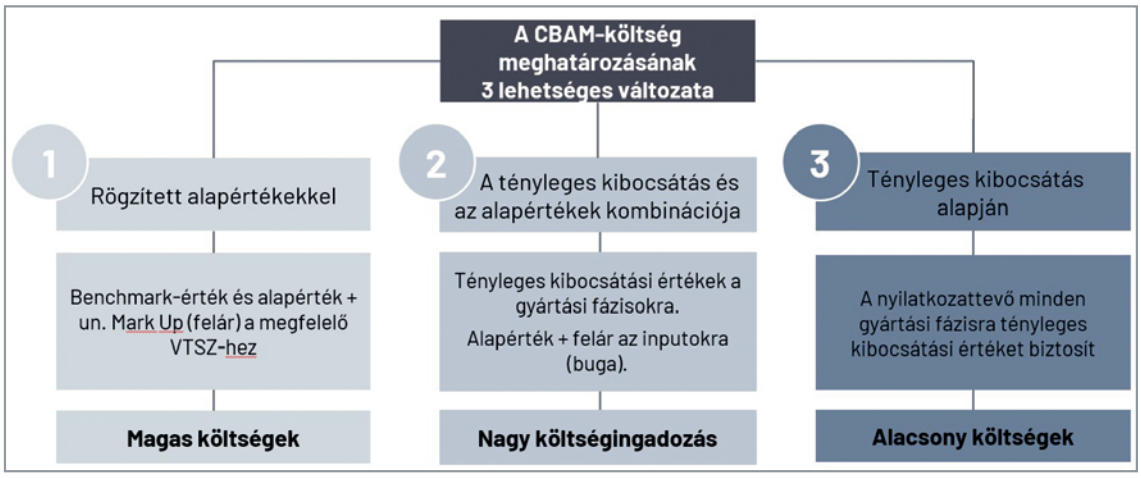
AZ ÚJ KVÓTARENDSZER: 30 MILLIÓ TONNÁRÓL 18 MILLIÓ TONNÁRA

Az új kereskedelempolitikai szabályozás a vámmentes importkvótákat 30 millió tonnáról 18 millió tonnára csökkenti. Ez arányaiban 40 százalékos visszavágásnak felel meg. A csökkentés különösen lapostermékek esetében jelentős, 40–50 százalékos mértékű.

Az új rendszer egyik további meghatározó eleme, hogy minden ország érintett, és a kvóta feletti mennyiségekre 50 százalékos vámtétel vonatkozik. A fennmaradó szabad kvóták negyedévek közötti átvitelének megszüntetése szintén fontos részletszabály, így minden negyedév külön keretként működik, ami kiszámíthatóbb és szigorúbb importkontrollt eredményez. (A korábbi Safeguards rendszer egyes fejlődő országok esetében, ahol az importmennyiség a teljes EU-s import 3%-át nem érte el évente, adott termékcsoportban, kivételt tett, például: Indonézia esetében a bevezetés évében.)

A „melt & pour” elv bevezetése egy további fontos mozzanat. Ennek lényege, hogy nem elegendő azt vizsgálni, honnan érkezik az acéltermék, vagy hol történt az utolsó feldolgozási lépés. Azt kell meghatározni, hol olvasztották és öntötték az acélt, vagyis hol keletkezett a termék alapvető ipari eredete. A globális acélkereskedelemben gyakori, hogy az alapanyag egy országból származik, majd egy másik országban kisebb feldolgozáson megy keresztül, és





CBAM-költségek meghatározásának lehetséges változatai

onnan kerül az EU-ba. A „melt & pour" szabály az ilyen „átcímkézési" lehetőségek visszaszorítását célozza.

Fontos megkülönböztetnünk a Safeguards-, ill. a tervezett új kvótarendszert az antidömping vagy szubvencióellenes vámoktól. Ez utóbbiak működési mechanizmusát, illetve hatását jelen írásban nem vizsgáljuk.

CBAM: SZÉN-DIOXID-HATÁRKIIGAZÍTÓ MECHANIZMUS

A CBAM, vagyis a szén-dioxid-határkiigazító mechanizmus az EU új ipar- és klímapolitikai rendszerének talán legfontosabb eleme. A lényege egyszerűen megfogalmazva az, hogy az EU-ba importált acéltermékek után is meg kell fizetni azt a karbonköltséget, amelyet az európai gyártók az EU kibocsátáskereskedelmi rendszere miatt viselnek. A gyakorlatban azonban a rendszer rendkívül összetett, mert nemcsak pénzügyi kötelezettséget jelent, hanem részletes adatszolgáltatást, engedélyezést, kibocsátásszámítást és auditálást is. A CBAM hatálya az acél mellett a cement, az alumínium, műtrágya, villamos energia és hidrogén előállítására is kiterjed.

A CBAM jelentési kötelezettség 2023 októberében indult, 2026 januárjától a CO_2-költségek már az importőröket is terhelik. 2027 februárjától megkezdődik a tanúsítványok vásárlása a 2026–2027-es évekre, majd 2027 szeptemberében a 2026-os jelentési évre vonatkozó végleges CBAM-jelentést és tanúsítványokat is be kell nyújtani. Ez az ütemezés azt jelenti, hogy a pénzügyi teher részben visszamenőlegesen jelenik meg: a tanúsítványokat csak később lehet megvásárolni, de a kötelezettség már a 2026-os importhoz kapcsolódik. További szabály, hogy 2026-tól csak engedélyezett CBAM-nyilatkozattevők importálhatnak acélterméket, tehát a piacra lépés feltétele adminisztratív értelemben is szigorodik.

A CBAM költségmeghatározásának három fő változata van. Az első esetben a költség rögzített alapértékekkel számítható. Ez jellemzően magas költséget eredményez, mert az EU által meghatározott alapértékek konzervatívak, és gyakran felárral is kiegészülnek. A második lehetőség a tényleges kibocsátás és az alapértékek kombinációja. Ebben az esetben bizonyos gyártási fázisokra tényleges adat áll rendelkezésre, más inputokra azonban alapértéket kell alkalmazni. A harmadik, legkedvezőbb változat az, amikor a nyilatkozattevő minden gyártási fázisra tényleges, hitelesített kibocsátási értéket biztosít. Azok a gyártók, amelyek nem tudnak auditált adatokat szolgáltatni, magasabb CBAM-költséggel szembesülnek. Azok viszont, amelyek képesek pontosan igazolni alacsonyabb kibocsátásukat, versenyelőnybe kerülhetnek. Ez a szabályozás tehát pozitívan differenciál: a transzparens és alacsonyabb CO_2-kibocsátású termelést jutalmazza.

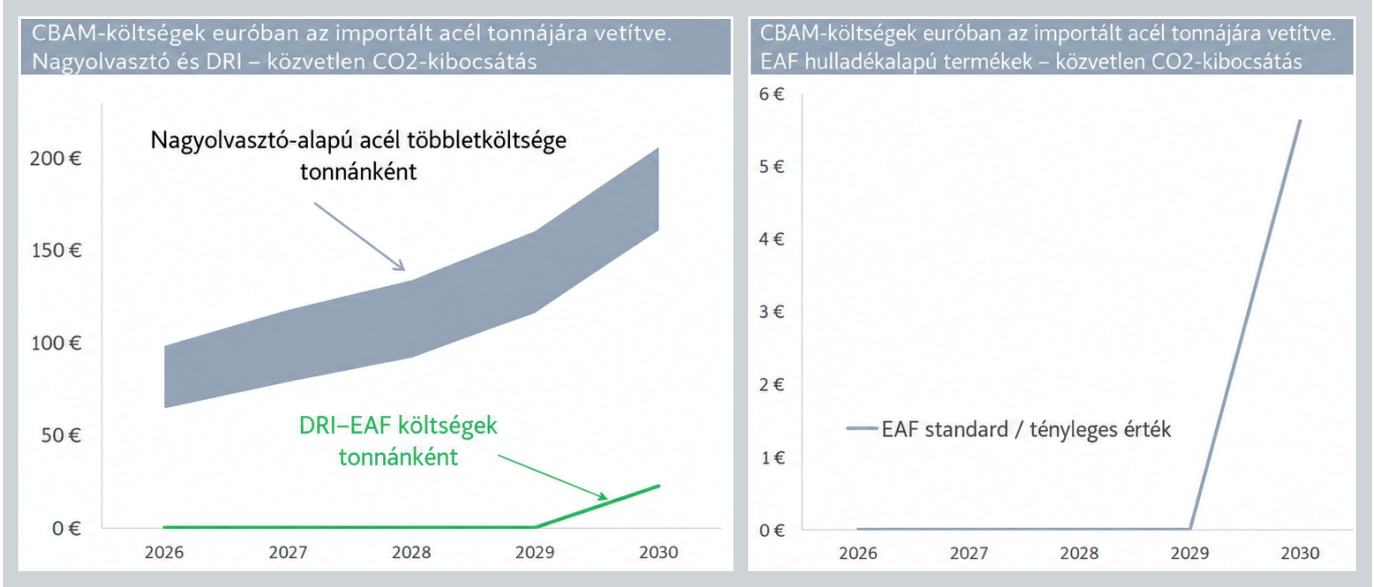
CBAM-KÖLTSÉGEK SZÁMOKBAN

A számítási képlet lényege, hogy az alapértékhez és a felárhoz viszonyítják a benchmarkkal korrigált ingyenes kiosztást, majd ezt megszorozzák a CO_2 árával. Az egyes országonkénti eltérések jelentősek lehetnek a jelenlegi számítási metódusban. Az előzetes adatok szerint 2026-ban alapértékes BOF-számítás (BOF jelentése: Basic Oxigen Furnace, magyarul oxigénkonverteres acélgyártási technológia) mellett a CBAM-költség Dél-Korea esetében 74,57 EUR/to, Japán esetében 73,07 EUR/to, Törökország esetében 100,07 EUR/to, Kína esetében 162,77 EUR/to, India esetében 252,92 EUR/to, míg Indonézia esetében rendkívül magas, 578,79 EUR tonnánként.

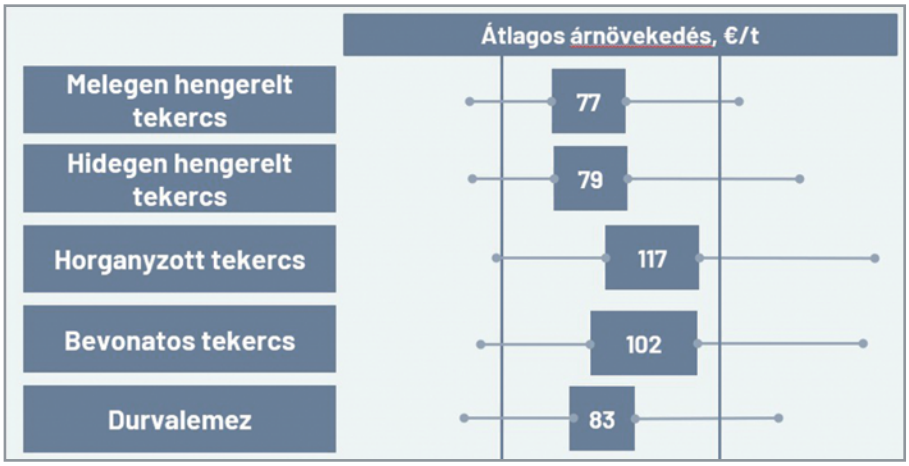
Az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerében az energiaintenzív iparágak korábban ingyenes kibocsátási egységeket kaptak, hogy mérsékeljék a karbonköltségek versenyképességi hatását. A CBAM bevezetésével párhuzamosan ezek az ingyenes kiosztások fokozatosan csökkennek. Ennek logikája az, hogy ha az import is hasonló karbonköltséget visel, akkor kevésbé indokolt az EU-termelők ingyenes kompenzációja. A fokozatos változtatás hosszú távon ösztönzi a dekarbonizációt, mindemellett rövid és középtávon költségemelkedést eredményezhet. Az acélgyártók számára a karbonintenzív technológiák egyre drágábbá válnak, míg az alacsonyabb kibocsátású termelés relatív előnye nő. Az importőrök esetében a beszállítói döntésekben egyre nagyobb súlyt kap a kibocsátási profil, ill. a termékhez kapcsolódó emissziós érték.

AZ ADMINISZTRATÍV INTÉZKEDÉSEK BECSÜLT EGYÜTTES HATÁSA

A CBAM és az új kvótarendszer együttes hatásának becslését az alábbi táblázat szemlélteti. A bemutatott értékek szerint 2026-ban a melegen hengerelt tekercs esetében 77 EUR/to, a hidegen hengerelt tekercsnél 79 EUR/to, a horganyzott tekercsnél 117 EUR/to, a bevonatos tekercsnél 102 EUR/to, a durvalemeznél pedig 83 EUR/to átlagos importár-növekedés várható. Ezek az értékek ország- és termékspecifikus elemzésen alapulnak.



CBAM-költségek jövőbeni várható alakulása konverteres és direkt redukciós technológiával, valamint elektro-ívkemencés acélgyártás esetén



Adminisztratív intézkedések becsült árnövelő hatása

AZ ADMINISZTRATÍV INTÉZKEDÉSEK DILEMMÁI

Az európai acélipar védelmét célzó intézkedések egyik legnagyobb dilemmája, hogy miközben javíthatják az uniós acélgyártók helyzetét, költségnövekedést okozhatnak azokban az ágazatokban, amelyek acélt használnak fel. Az acél számos iparágban nem végtermék, hanem alapanyag: ha drágul, az közvetlenül érinti a feldolgozóipar költségeit, az export versenyképességét és nyereségességét.

Különösen érzékeny terület az autóipar, amely nagy mennyiségű laposterméket használ karosszériaelemekhez és egyéb alkatrészekhez. Egy tonnánkénti 80–120 eurós áremelkedés önmagában nem feltétlenül döntő egy autó teljes költségében, de nagy sorozatú gyártásnál és szűk árrések mellett már érezhető versenyhátrányt okozhat.

Az építőiparban a magasabb acélárak az infrastruktúrafejlesztések, ipari beruházások és lakásépítések költségeit növelhetik. Ez lassíthatja a beruházásokat, illetve nagyobb finanszírozási igényt teremthet az állami és magánszektorban egyaránt.

A gépipar és a berendezésgyártás esetében az acélár nemcsak költségkérdés, hanem exportversenyképességi tényező is. Különösen problémás lehet, ha az EU az acélimportot védi, de a feldolgozott termékek importjára nem alkalmaz hasonló szabályokat. Ebben az esetben a versenyhátrány az acélgyártóktól a feldolgozóiparra tolódhat át.

Ezért az uniós szabályozás egyik kulcskérdése, hogy a CBAM és a kvótarendszer képes lesz-e a teljes acélipari értékláncot kezelni. Nem elegendő csupán az alapanyaggyártókat védeni: ha a feldolgozóipar versenyhátrányba kerül, az egész európai ipari szerkezet sérülhet. Ennek tükrében merül fel a CBAM kiterjesztése további, különösen az acél értékláncához kapcsolódó termékekre.

A szabályozás egyik rejtett veszélye az úgynevezett „resource shuffling". Ez azt jelenti, hogy egy harmadik országbeli gyártó a legalacsonyabb kibocsátású termékeit az EU-ba exportálja, a szennyezőbbeket pedig más piacokra irányítja. Így az uniós import papíron tisztábbnak tűnhet, miközben a vállalat teljes kibocsátása nem feltétlenül csökken. Ez azért jelent problémát, mert a CBAM célja nem pusztán az EU importjának „zöldítése", hanem a globális kibocsátáscsökkentés ösztönzése. A resource shuffling kiszűréséhez részletes termék-, vállalati és akár üzemszintű kibocsátási adatokra lehet szükség. Minél pontosabb a rendszer, annál nehezebb kijátszani, ugyanakkor annál nagyobb adminisztratív terhet ró a szereplőkre.

A CBAM elsősorban az importra vonatkozik: azt hivatott biztosítani, hogy az EU-ba érkező termékek is viseljék a karbonköltségeket. Nyitott kérdés azonban, mi történik az EU-ban gyártott, de harmadik országokba exportált acéllal.

Az európai gyártók továbbra is magasabb karbonkvóta- és energiaárakkal szembesülnek, miközben külpiacaikon olyan versenytársakkal küzdenek, akikre nem vonatkoznak hasonló terhek.

Az exportkompenzáció megoldást jelenthetne, de jogi és politikai szempontból érzékeny terület. Más országok ezt akár exporttámogatásként is értelmezhetnék, ami WTO-vitákhoz vezethet. Így az exportkérdés nemcsak gazdasági, hanem nemzetközi jogi és diplomáciai kihívás is.

A piacvédelmi intézkedések főként a kínálati oldalt érintik, vagyis az importot drágítják vagy korlátozzák. Emellett azonban egyre fontosabbá válhatnak a keresleti oldali ösztönzők is. Ezek célja, hogy a nagy ipari felhasználók, közbeszerzők és vállalatok előnyben részesítsék az európai, illetve alacsony karbonintenzitású acélt.

A zöldacél előállítása kezdetben várhatóan drágább lesz a hagyományos acélnál, ezért kulcskérdés, hogy kialakul-e fizetőképes kereslet iránta. A közszféra ebben meghatározó szerepet kell játsszon: infrastruktúra-fejlesztéseknél, közlekedési beruházásoknál, energetikai projekteknél és állami építkezéseknél zöld közbeszerzési szempontokkal teremthet stabil piacot az európai acélgyártóknak.

ÖSSZEFOGLALÁS

Egyértelmű, hogy az Európai Unió acélipari szabályozása 2026-tól új szakaszba lép. A jelenlegi Safeguards rendszer kifut, helyét egy szigorúbb, 18 millió tonnás vámmentes kvótakeretre épülő rendszer veszi át. A kvótán felüli import 50 százalékos vámmal terhelt, megszűnik a kvóták negyedévek közötti átvitele, és várhatóan bevezetik a „melt & pour” eredetszabályt. Ezzel párhuzamosan a CBAM tényleges költségtényezővé válik, amely az importált acél karbonintenzitása alapján emeli a piacra jutás költségét. Az előttünk álló években dől el, hogy ez a modell működőképes lesz-e. Ha igen, az európai acélipar nemcsak túlélheti a zöld átállást, hanem annak egyik nyertese is lehet, ellenkező esetben a magas költségek, az adminisztratív terhek és a globális verseny együtt tovább gyengíthetik az ágazatot.

KÉPEK FORRÁSA

Salzgitter AG



Pál Gábor alapító, vezető tervező
Reichhardt Zsolt hídtervező, projektvezető
SPECIÁLTERV Építőmérnöki Kft.

HATÁRHÍD A LUAPULA FOLYÓ FÖLÖTT

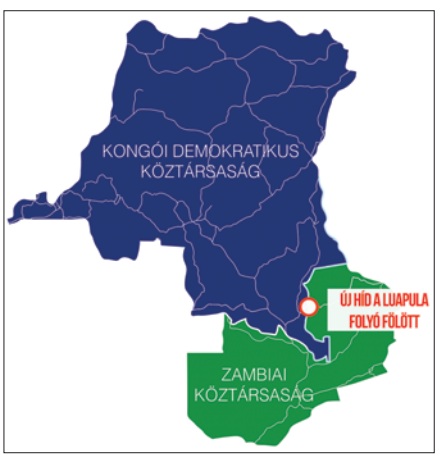
a Kongói Demokratikus Köztársaság és Zambiai Köztársaság között



1. ábra: A híd látványterve

KONTEXTUS

A Kongói Demokratikus Köztársaság és a Zambiai Köztársaság között megvalósuló, 184 kilométer hosszú közút és kapcsolódó infrastruktúra fejlesztésére létrehozott projekt. Ez jelenleg a térség egyik legnagyobb értékű egyedi, Európából érkező infrastrukturális magánberuházása (PPP), amelynek szakmai és befektetői partnere a Duna Aszfalt Zrt. A beruházás legjelentősebb eleme az új határhíd, amely a Luapula folyó felett ível át, a Kongói Demokratikus Köztársaságban található Kasenga és a Zambiai Köztársaságban található Kashiba településeket összekötő úthálózaton. A híd jelenleg kivitelezés alatt áll, a befejezés várhatóan 2027-ben történik meg.



2. ábra: Földrajzi elhelyezkedés

A híd szerkezeti tervezésének legfontosabb szempontjai a helyszín sajátosságaihoz való alkalmazkodás, valamint a lehető legegyszerűbb, ugyanakkor gazdaságos és jól kivitelezhető építési és szerelési technológia megtalálása voltak. A kétpilonos, ferde kábeles szerkezet teljes hossza 362,00 m. Az új híd nem csupán közlekedési útvonal, hanem gazdaságos és megvalósítható mérnöki fejlesztés is. Elegáns formavilága és korszerű szerkezeti kialakítása egyszerre hordoz szimbolikus jelentést és biztosít hatékony, fenntartható műszaki megoldást a két ország közötti kapcsolat erősítésére.

BEVEZETÉS

A híd acél felszerkezete folyamatos, többtámaszú rendszerű, ortotrop pályalemezes, egycellás zárt szekrény keresztmetszetű acél merevítőtartóból áll, amelyet két pilon és a hozzájuk csatlakozó kábelek merevítenek. A híd alátámasztása 88,00 m – 184,00 m – 88,00 m nyílásokkal valósul meg.

A kétpilonos kialakítással jelentős szerkezeti előnyöket sikerült elérni, mivel a főtartó elemek a híd tengelyében, középvonalban rendezhetők el. A pilonok mereven kapcsolódnak a merevítőtartóhoz, így annak szerves részét képezik, növelve a híd stabilitását és globális merevségét.

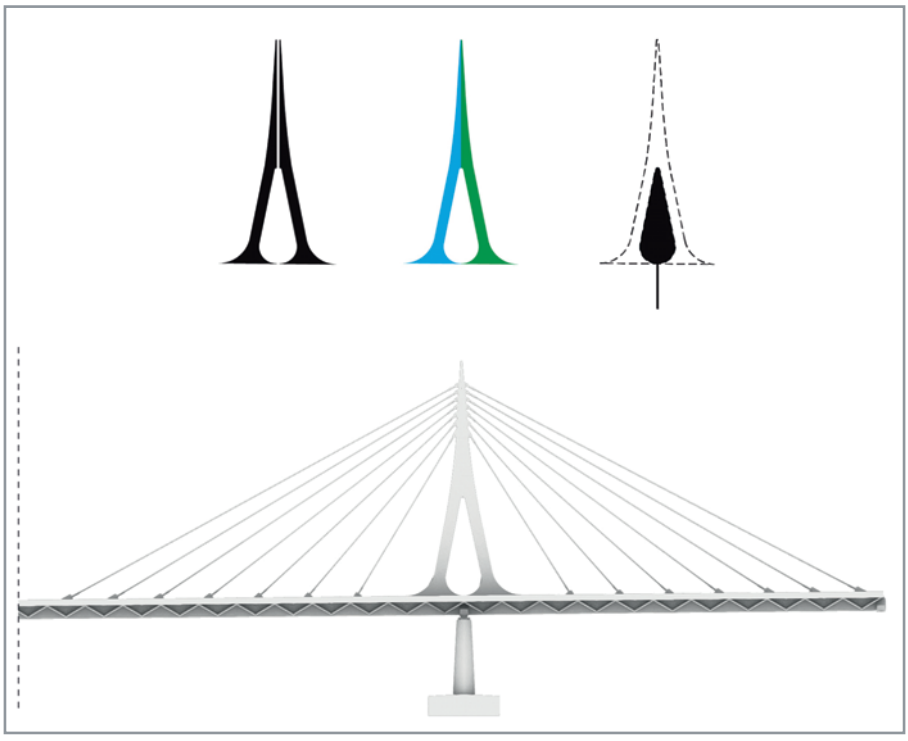
A konzolos pályaszerkezetet a szekrény alsó övéből kiinduló, „V” alakban elrendezett, ferde támaszok tartják. A főtartók szerkezeti elrendezése megkönnyíti a híd karbantartását és javítását, mivel a szerkezeti elemek jól hozzáférhetők, ellenőrizhetők és szükség esetén cserélhetők.

SZIMBOLIKA

A Kongói Demokratikus Köztársaság és a Zambiai Köztársaság között, a Luapula folyón átívelő új híd nem csupán egy egyszerű közlekedési létesítmény. Elegáns profilja és korszerű szerkezeti kialakítása nemcsak figyelemfelkeltő látványt nyújt, hanem hatékony és fenntartható műszaki megoldást is kínál a két ország közötti kapcsolat megerősítésére.

A híd „A” alakú pilonja szimbolizálhatja az imádságra kulcsolt kezeket vagy a végtelenbe mutató nyilat, kifejezve a reményt, a haladást, valamint az egységet és a kölcsönös támogatást. A híd a fejlődés és az együttműködés iránti elkötelezettség szimbóluma, amely magában foglalja mindkét nemzetet, és egyesíti őket a közös jövő felé vezető úton.

A szerkezeti koncepció kidolgozásakor elsődleges cél volt az áttekinthetőség és az egyszerűség. A kétpilonos rendszer megfelelő merevséget és globális stabilitást biztosít, hozzájárulva a híd hosszú távú biztonságához és tartósságához. Az esztétikai jellemzők összhangban vannak a gyakorlati szempontokkal: a letisztult szerkezeti logika kifinomult építészeti megjelenést eredményez, amely harmonikusan illeszkedik a környező tájba.

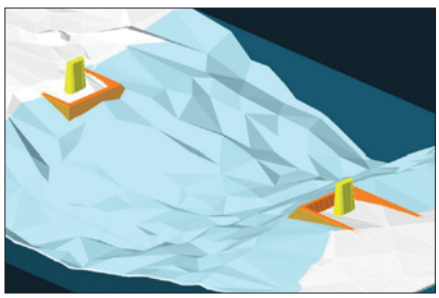


3. ábra: Szimbolizmus – az egyedi, ‘A’ formájú pilon egyszerre jelképez reményt (imádkozó kezek, gyertyaláng) összetartozást és fejlődést (jövőbe mutató nyíl)

GEOTECHNIKA

Az építési terület Afrika belső régiójában, mintegy 1000 m tengerszint feletti magasságban helyezkedik el. A Luapula folyó medrét egy sziklás fennsíkba vájta, ahol 4,00–6,00 m mélységben összefüggő sziklafelszín található. A mélyebb rétegekben elhelyezkedő, kedvező tulajdonságú, nagy szilárdságú breccia konglomerátum lehetővé tette a síkalapozási megoldás alkalmazását.

A kedvező alapozási adottságok mellett az altalaj szilárdságából adódó hátrányt jelentette, hogy az építési munkagödrök kiemelése robbantásos technológia alkalmazását tette szükségessé.



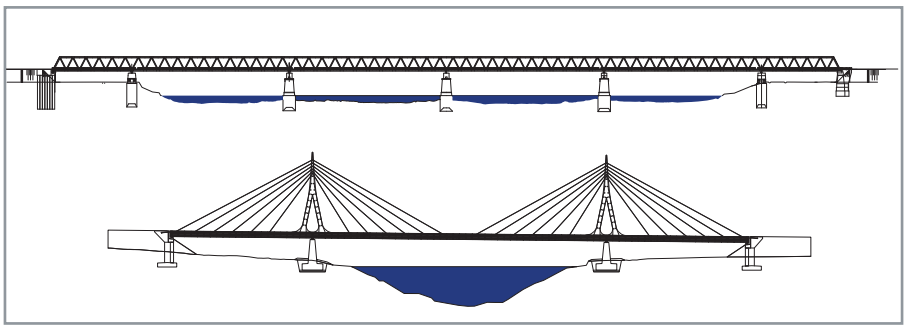
4. ábra: Mederfenék 3D modellezése és ideiglenes gátak tervezése



5. ábra: Breccia konglomerátum robbantása

LUAPULA FOLYÓ VÍZRAJZ

A Luapula folyó Afrika második leghosszabb folyójának, a Kongónak egyik szakasza. A folyó csaknem teljes hosszában természetes határfolyóként szolgál a Zambiai Köztársaság és a Kongói Demokratikus Köztársaság között. A Luapula folyó hidat érintő szakaszának főbb vízrajzi jellemzői a Duna folyam budapesti szelvényével a *6. ábra* szerint hasonlíthatók össze.



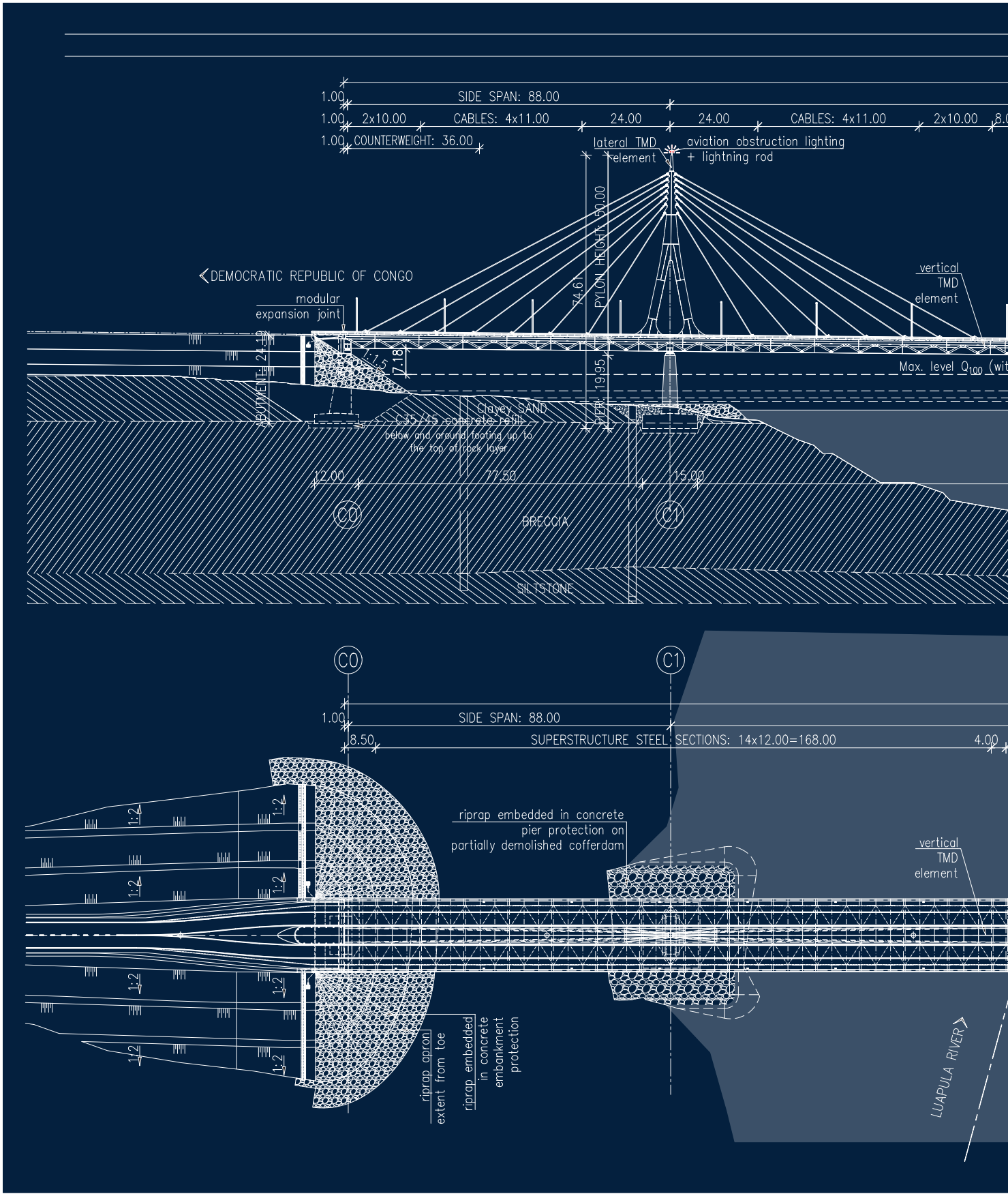
6. ábra: A Duna folyam mélysége Budapestnél és a Luapula folyó mélysége a tervezési területen

FÖLDRENGÉSI VISZONYOK

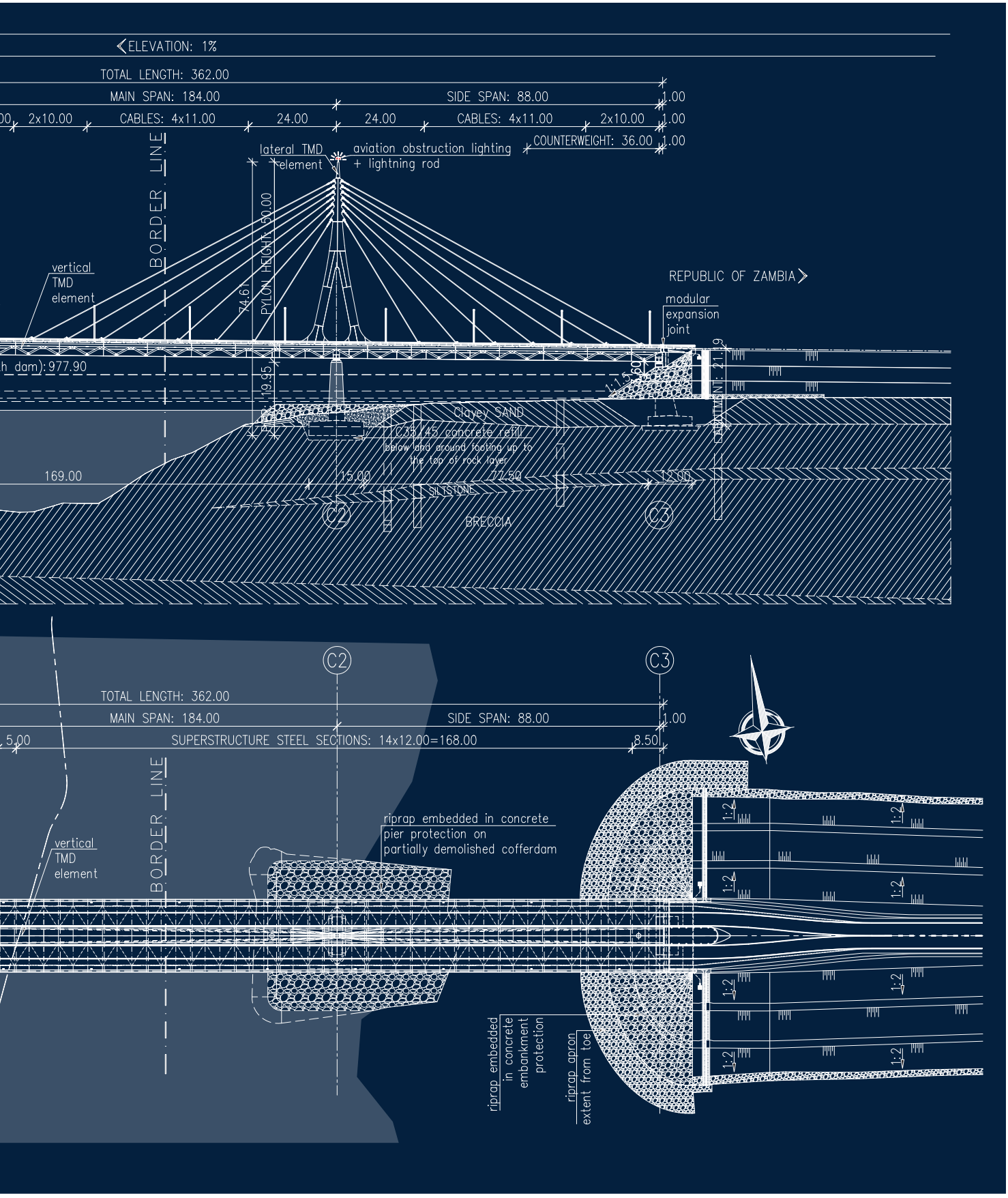
A rendelkezésre álló szeizmológiai adatok elemzése alapján a tervezés során alkalmazott tervezési gyorsulásértékek megegyeznek a Magyarországon általánosan alkalmazott értékekkel.

	Luapula folyó (keresztezésnél)	Duna folyam (Budapestnél)
Szélesség	160,00 m	250 m
Mélység	30,00 m	5,00 m
Vízhozam	kb. 5500 m³/s	max. 9300 m³/s
Áramlási sebesség	kb. 2,0 m/s	kb. 1,0 m/s

7. ábra: A Luapula folyó és a Duna folyam főbb vízrajzi jellemzőinek összehasonlítása



7. ábra: Általános elrendezés


ELEVATION: 1%
TOTAL LENGTH: 362.00
MAIN SPAN: 184.00
SIDE SPAN: 88.00
1.00
2x10.00
CABLES: 4x11.00
24.00
24.00
CABLES: 4x11.00
2x10.00
1.00
COUNTERWEIGHT: 36.00
1.00
lateral TMD element
aviation obstruction lighting + lightning rod
BORDER LINE
PYLON HEIGHT: 50.00
74.61
vertical TMD element
REPUBLIC OF ZAMBIA
modular expansion joint
h dam): 977.90
19.95
Clayey SAND
C35/45 concrete refill
below and around footing up to the top of rock layer
169.00
15.00
77.50
12.00
SILTSTONE
BRECCIA
C2
C3
TOTAL LENGTH: 362.00
MAIN SPAN: 184.00
SIDE SPAN: 88.00
1.00
5.00
SUPERSTRUCTURE STEEL SECTIONS: 14x12.00=168.00
8.50
BORDER LINE
riprap embedded in concrete pier protection on partially demolished cofferdam
vertical TMD element
riprap embedded in concrete embankment protection
riprap apron extent from toe
1:2

ÁLTALÁNOS ELRENDEZÉS

A tervezett műtárgy háromnyílású, ferde kábeles híd, ortotrop pályalemezzel, teljes hossza 362,00 m. Az „A” alakú pilonok 50,00 m-rel emelkednek a pályaszint fölé. A zárt szekrény keresztmetszetű merevítőtartót kétsíkú kábelrendszer függeszti fel. A középső nyílásban a kábelek kiosztása 24,00 – 4×11,00 – 2×10,00 – 8,00 – 2×10,00 – 4×11,00 – 24,00 m, míg a parti nyílásokban 24,00 – 4×11,00 – 2×10,00 m. A mederfelmérések alapján a folyó mélysége a tervezett keresztmetszetben meghaladja a 30,00 m-t. A meredek esésű folyómeder miatt mederpillér építése nem kivitelezhető. A parti sávban elhelyezett pillérek távolsága 184,00 m, amely a választott szerkezeti rendszerrel gazdaságosan és biztonságosan áthidalható.

ALÉPÍTMÉNYEK

A tervezett alépítmények – két közbenső pillér és két hídfő – a kedvező geotechnikai viszonyok miatt síkalapozással készülnek.

Az áttört vasbeton hídfők szerkezeti gerendáját változó keresztmetszetű oszlopok támasztják alá, amelyekhez 70 cm vastag, párhuzamos szárnyfalak csatlakoznak. Az oszlopok méretei: 2,50 m (szélesség) × 11,00 m / 14,00 m (magasság) × 3,50–6,00 m (mélység). A szerkezeti gerenda keresztmetszete 2,50 m (magasság) × 3,50 m (szélesség).

A pillérfal keresztmetszeti vastagsága a 16,20 m magasság mentén 4,60 m és 3,00 m között változik. A lekerekített élképzésű pillérek szélessége a magasság mentén felfelé haladva 15,54 m-ről 13,84 m-re csökken.

Az alaptestek méretei:

– végponti hídfők: 12,00 m × 2,50 m × 20,00 m;
– közbenső pillérek: 15,00 m × 3,75 m × 18,00 m.

FELSZERKEZET

A felszerkezet fő részei a merevítőtartó, a pilonok, a függesztőkábelek és a hídkiegészítő elemek.

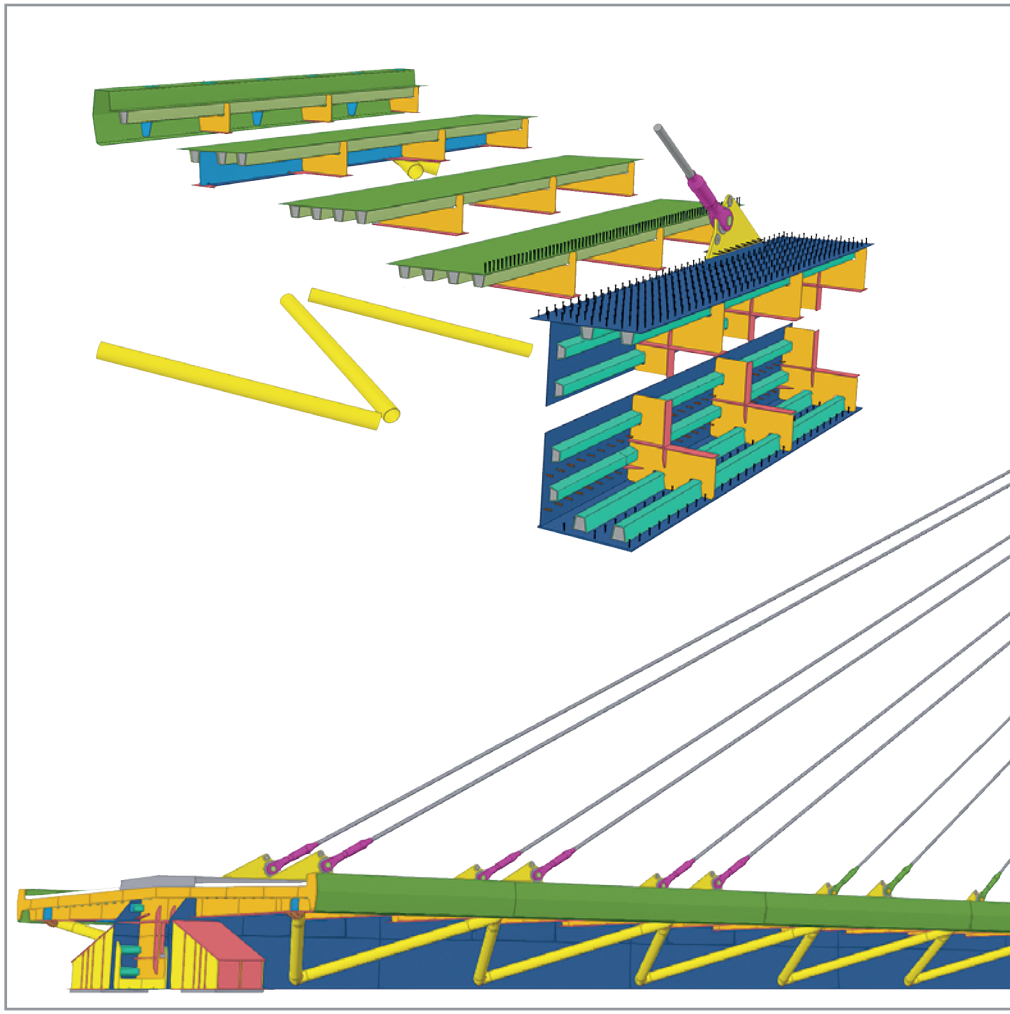
Merevítőtartó

A merevítőtartó felsőpályás, zárt szekrény keresztmetszetű acélgerenda, melyhez mereven kapcsolódnak a zárt keresztmetszetű acélpilonok. A zárt szekrény keresztmetszete 3560 mm magas és 3900 mm széles, amelyhez konzolosan csatlakoznak az ortotrop acél pályatáblák. Az 1060 mm magas, fordított „T” keresztmetszetű keresztartók 4000 mm-enként helyezkednek el a híd tengelye mentén. Az ortotrop acél pályalemezt 300 mm magas trapézbordák merevítik, 580 mm-es kiosztással. A főtartó alsó öve a hídfők környezetében 36,00 m hosszon kibetonozott, ezzel ellensúlyozva a hídfőkben fellépő húzóerőket.

Minden második keresztartónál egy Ø 419 mm átmérőjű acélcső merevíti a pályalemez alatt elhelyezkedő másodlagos hossztartót, amely a térbeli „V” elrendezés révén növeli a keresztetmetszet csavarómerevségét.



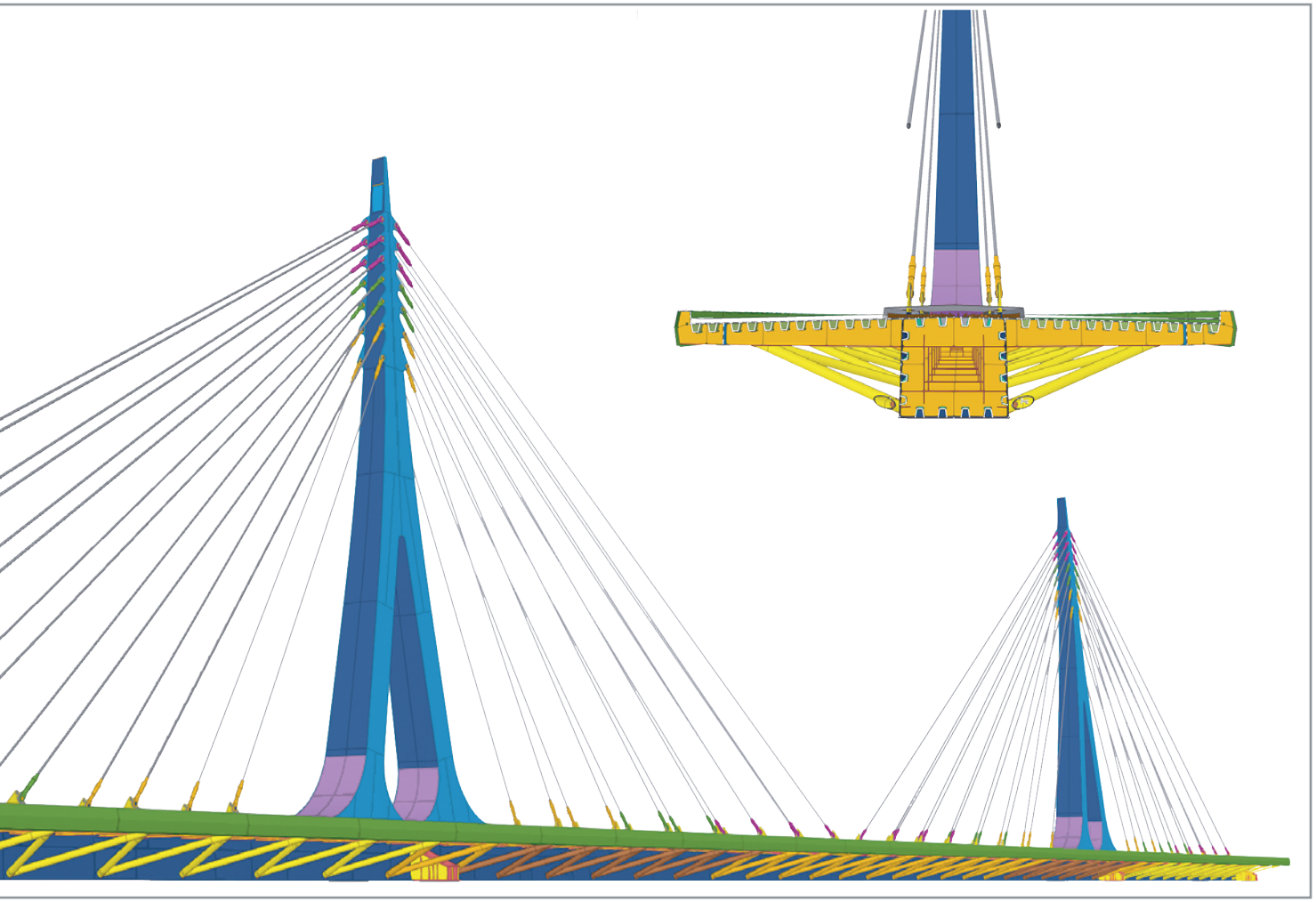
8. ábra: A szekrénytartó magassága 3,56 m, szélessége 3,90 m

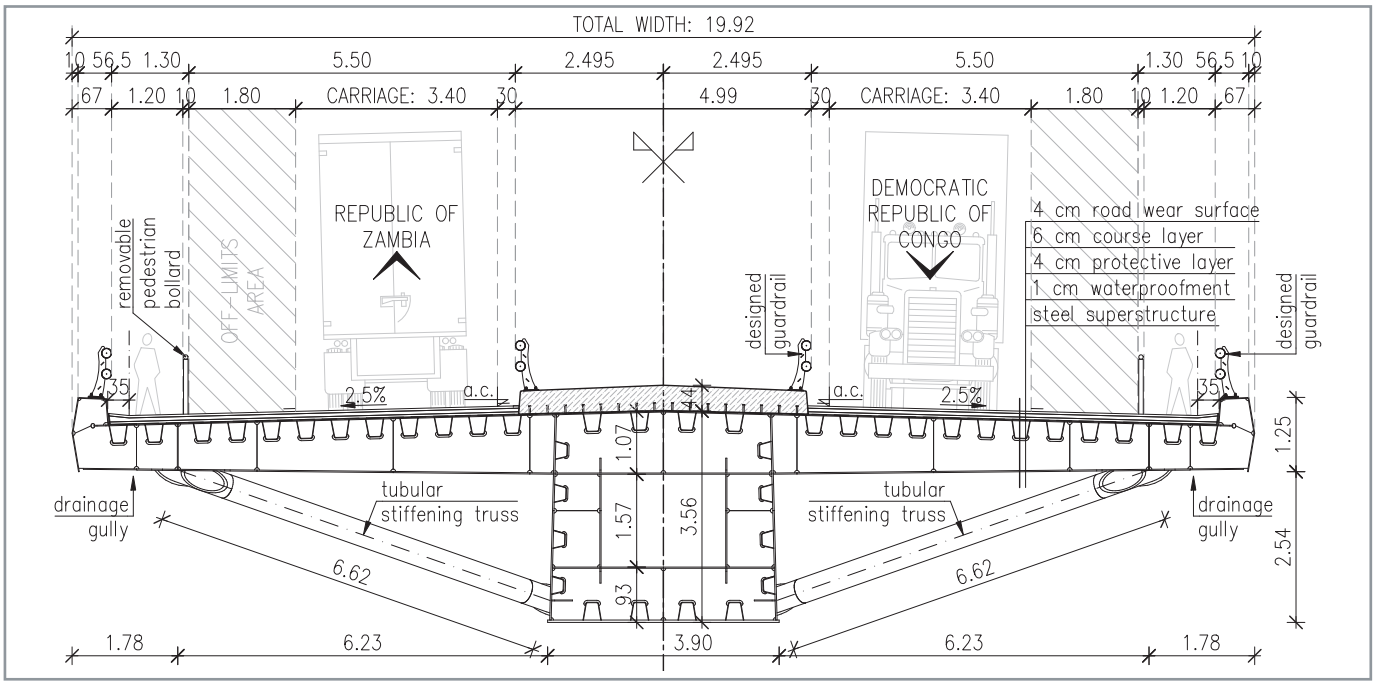


10. ábra: A híd Tekla-modellje – Az acélszerkezet konténerezhető modulokra bontva terveztük, elősegítve a hatékony nemzetközi szállítást és a helyszíni összeszerelést

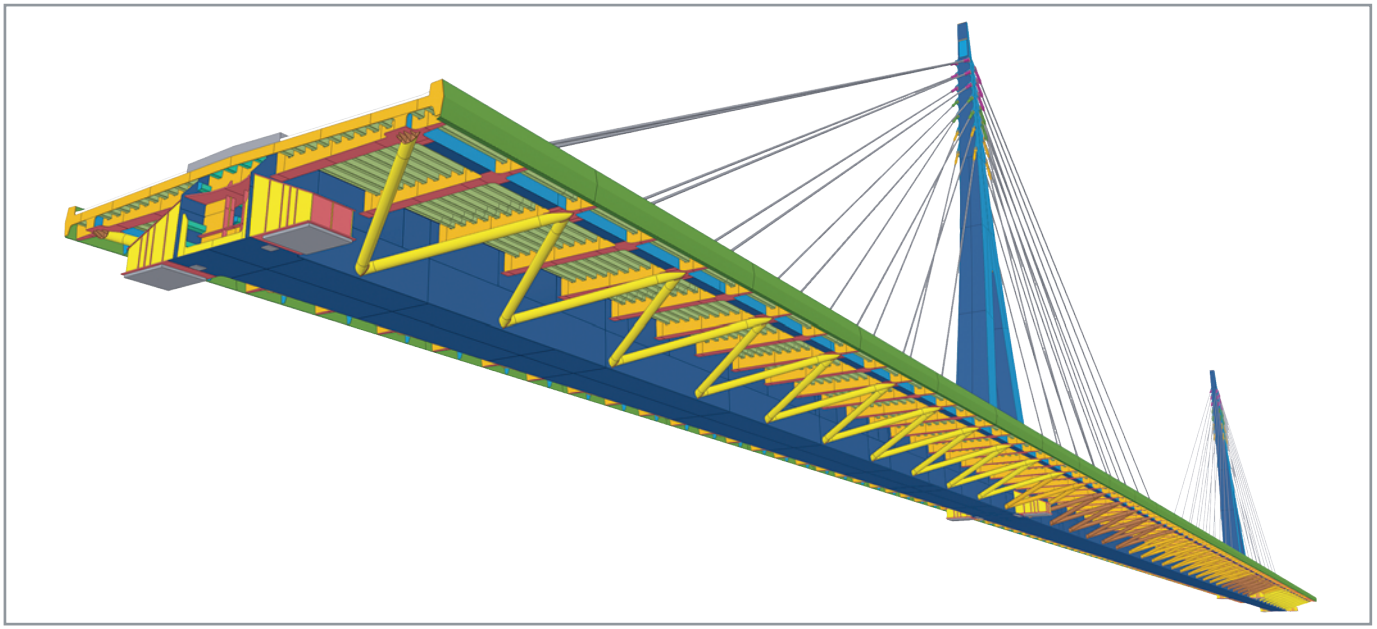


9. ábra: A merevítőtartó gyári előszerelése





11. ábra: Általános keresztmetszet



12. ábra: A felszerkezet Tekla-modellje



13. ábra: A merevítőtartó gyári előszerelése

Pilonok

A zárt szekrény keresztmetszetű acélpilonok gerince a merevítőtartó gerincével azonos függőleges síkban indul, és felfelé folytatólagos síkot alkot. A pilonok teljes magassága 50,00 m, a pilonlábak körülbelül 21,00 m magasságban találkoznak. A kábelek ezen magasság felett, egyenletes elosztásban csatlakoznak a pilonokhoz. A pilonok zárt szekciók, amelyeket az összeszerelés során légmentesen lezártak. A pilonfejnél kialakított kábelcsatlakozások a pilon bordáival egy síkban elhelyezett, helyileg megvastagított lemezekhez kapcsolódnak.

Kábelek

A kábelrendszer szimmetrikus, pilononként oldalanként 7–7 kábelpárból áll. A kábelek mindkét végén villás fejjel csatlakoznak: a pilonhoz fix, a merevítőtartóhoz állítható kapcsolattal.

A szálak száma felülről lefelé haladva: 37–37–37–31–31–31–27–27. A merevítőtartó belső, 1,5°-os dőlésszöge megegyezik a kábelek és a pilonok síkjával, így az összes kábelcsatlakozás azonos síkban helyezkedik el.

Saruk

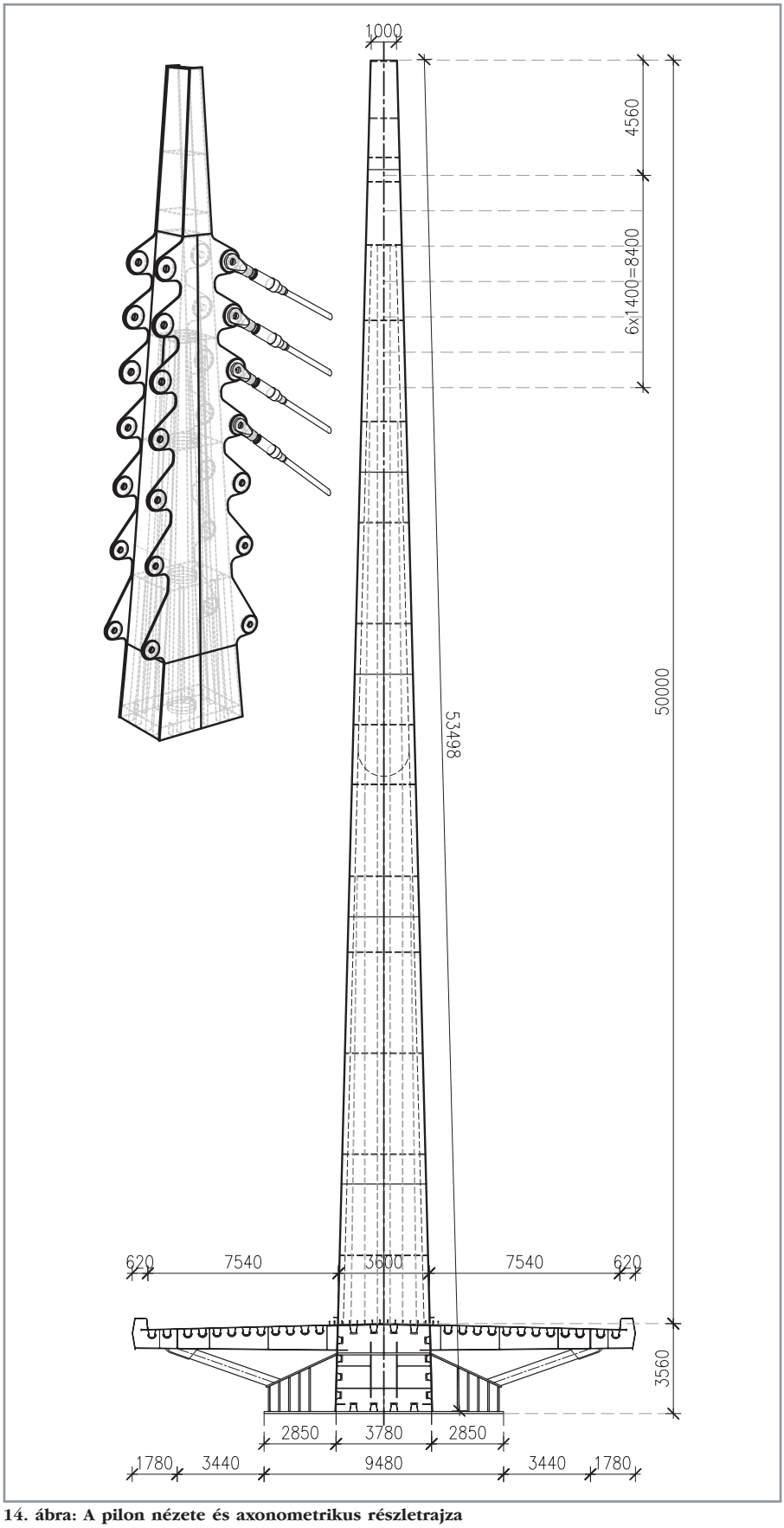
A közbenső pilléreken elhelyezett saruk hosszirányban rögzítettek, lehetővé téve, hogy a két pillér együttesen vegye fel a szeizmikus hatásokból származó, hídtengely irányú terheket. Ez a megoldás csökkenti a földrengés által kiváltott saruerőket, ugyanakkor a hőmozgások korlátozása miatt többlet vízszintes igénybevételeket eredményez, amely keretszerű viselkedést hoz létre a merevítőtartóban.

Csillapítók (TMD)

Az acélszerkezetben, az építési és végső állapot figyelembevételével, csillapítókat helyeztek el: függőleges irányú csillapítókat a medernyílás közepén, valamint keresztirányú csillapítókat mindkét pilon tetején.

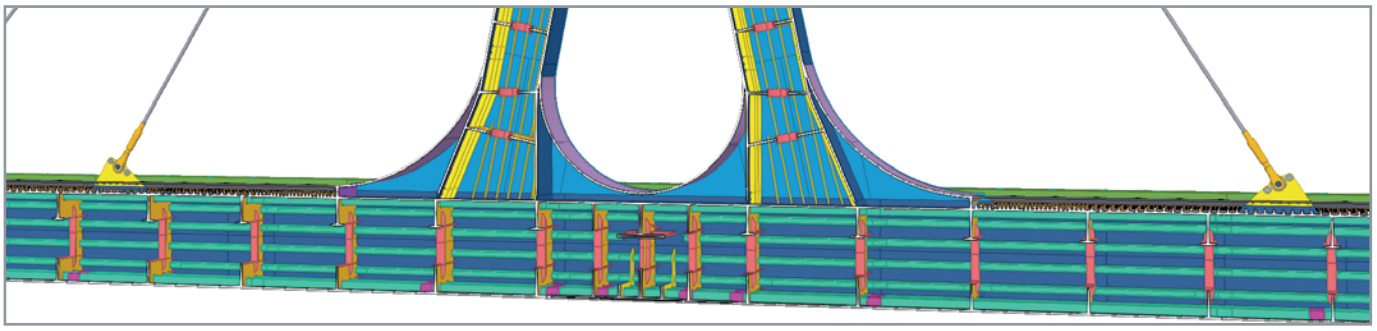
Karbantartás és tervezett élettartam

A felszerkezet és minden kapcsolódó szerkezeti elem – beleértve az aszfaltburkolatot, az üzemi és vezetőkorlátokat, a vízelvezetést, a világítást, a szegélyeket és a kábelrögzítéseket – vizuálisan ellenőrizhető. A keresztmetszet két szélén és középvonalában kialakított üzemi területek teljes hozzáférést biztosítanak a tisztításhoz és a karbantartási munkákhoz, amelyek előre meghatározott ütemterv szerint végezhetők.

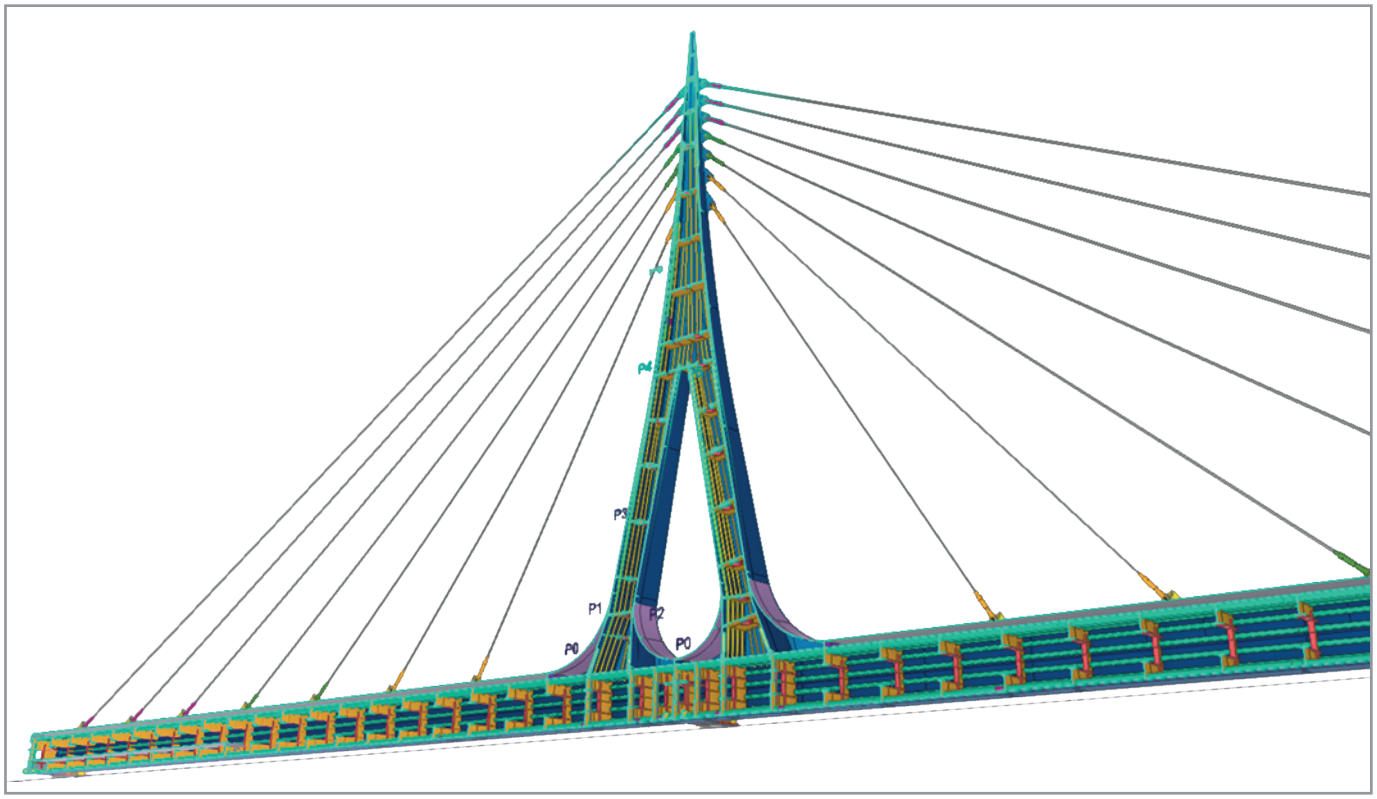


14. ábra: A pilon nézete és axonometrikus részletrajza

A pilonok és a kábelek ellenőrzése előre telepített létrák, ipari alpinista módszerek, illetve a közbenső karbantartási térben elhelyezett kosaras emelő segítségével történik. A zárt szekrény keresztmetszetű merevítőtartó belső tere teljes hosszában hozzáférhető ellenőrzési célokra.



15. ábra: Pilonbefogás környezete (Tekla-modell)



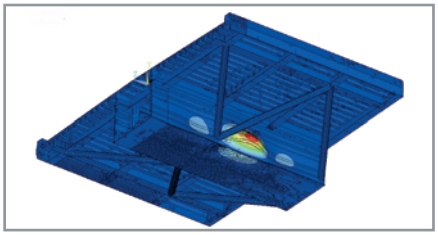
16. ábra: Pilon és főtartó szerkezeti kialakítása (Tekla-modell)



17. ábra: A pilon gyári előszerelése – kábelbekötések

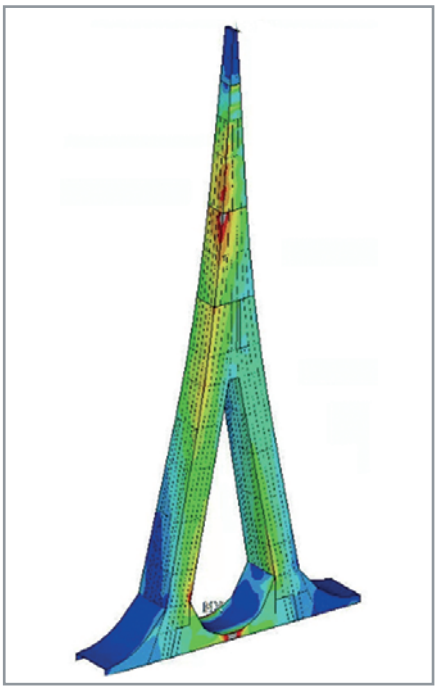
STATIKAI SZÁMÍTÁS

A tervezést mind az Eurocode, mind a SATCC szabványok előírásainak betartásával végeztük el. A statikai ellenőrzéshez részletes globális numerikus modellt dolgoztunk ki, amely tartalmazta a gyártmányrajzokon szereplő összes teherhordó szerkezeti elemet. Ezt a modellt alkalmaztuk mind a globális szerkezeti viselkedés elemzésére, a kereszttartók és a pályalemez lokális vizsgálatára, a főtartó és az ortotrop pályalemez fáradási vizsgálatára, valamint szeizmikus vizsgálatok elvégzésére is. A felszerkezeten fellépő maximális igénybevételeket és feszültségeket geometriailag nemlineáris analízis alkalmazásával határoztuk meg, hogy figyelembe vegyük a szerkezeti geometria nemlineáris viselkedését is.

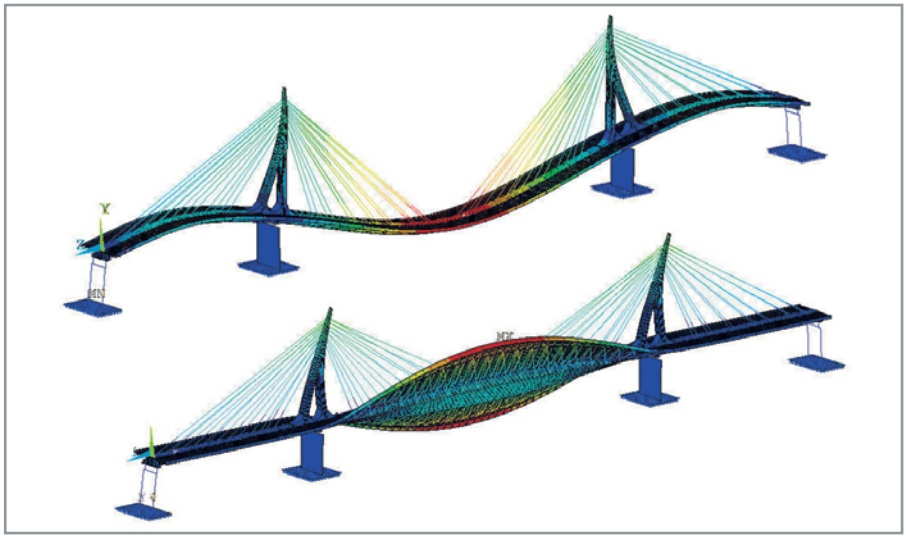


18. ábra: Horpadási alak mértékadó állapotban

A globális modell mellett lokális modelleket is kidolgoztunk a stabilitás szempontjából kritikus zónák vizsgálatára. Ezek a lokális modellek almodellezést (ún. sub-modelling technikát) és a közvetlen teherbírás-vizsgálatot (Direct Design Method, DDM) alkalmaztak a szerkezet viselkedésének elemzésére, a teherbírásának pontos meghatározására. A DDM keretében a szerkezet teherbírásának meghatározására geometriailag és anyagilag nemlineáris analízist (GMNIA) alkalmaztunk, amely számításnak a végeredménye a szerkezet erő–elmozdulás diagramja, amely jellemzi a szerkezet viselkedését és meghatározza a teherbírás karakterisztikus és tervezési értékeit. A statikai számítások mellett fejlett dinamikai vizsgálatokat is végeztünk a szerkezet szél okozta rezgésekre (flutter, galloping, örvényleválás, divergencia) és szeizmikus hatásokra adott válaszának elemzésére. A dinamikai elemzéseket a végső állapotra és minden építési fázisra is elvégeztük, mivel a konzolos állapot miatt a közbenső építési fázisok kritikusakká válhatnak. Két reprezentatív rezgésmódot – az első hajlító és az első csavaró sajátfrekvenciákat – a *20. ábra* mutatja be, melyek jellemzik a híd dinamikai viselkedését. A főtartón és a pilon csúcsán hangolt tömegcsillapítókat (TMD) helyeztünk el az örvénykeltette rezgések amplitúdójának csökkentése érdekében.



19. ábra: Pilonban ébredő mértékadó összehasonlító-feszültségek



20. ábra: Első hajlító (0,63 HZ) és első csavaró (1,82 HZ) sajátfrekvencia



21. ábra: A pilon gyári előszerelése

BIM ÉS PARAMETRIKUS MODELLEZÉS

A híd modellje a Tekla Structures és a Rhino Grasshopper alkalmazásával készült. A két szoftver együttes használata lehetővé tette a szerkezet nagy pontosságú, részletes modellezését. A parametrikus tervezési eszközök segítségével az ívelt elemek pontos geometriája és az egyes elemek kiosztásának optimalizálása is megvalósult, jelentősen csökkentve a gyártmánytervezés idejét.

A FELSZERKEZET ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA

A két fél felszerkezet acél szállítási egységeinek összeállítása a hídfők mögötti területen történik. A betolásos technológia alkalmazásával a felszerkezetek bemozgatása a végső pályaszint felett megközelítőleg 1,20 m-rel zajlik. A tolási egységek a szekrény keresztmetszetű főtartók gerincei alatt kialakított ideiglenes megtámasztásokon keresztül kerülnek betolásra a Luapula folyó fölé. Az oldalsó vezetőkonzolok biztosítják a felszerkezet egyenes vonalú, kontrollált mozgását a betolás teljes folyamata során. A betolási művelet megindítása előtt a leghosszabb szerkezeti kábelpárok már beszerelésre kerülnek, a pilonnal együtt technológiailag árbócként működnek. A szerelési fázis alatt kialakuló, legfeljebb 92,00 m hosszú konzol megfelelő stabilizálásához ellensúly elhelyezése szükséges, továbbá a konzolvég mozgásainak csökkentéséhez és biztonságának növeléséhez elhelyezett csillapítóelemek is hozzájárulnak. A bemozgatási művelet befejezését követően a felszerkezetet a végleges pályaszintre süllyesztik.

IDEIGLENES (VÍZZÁRÓ) GÁT

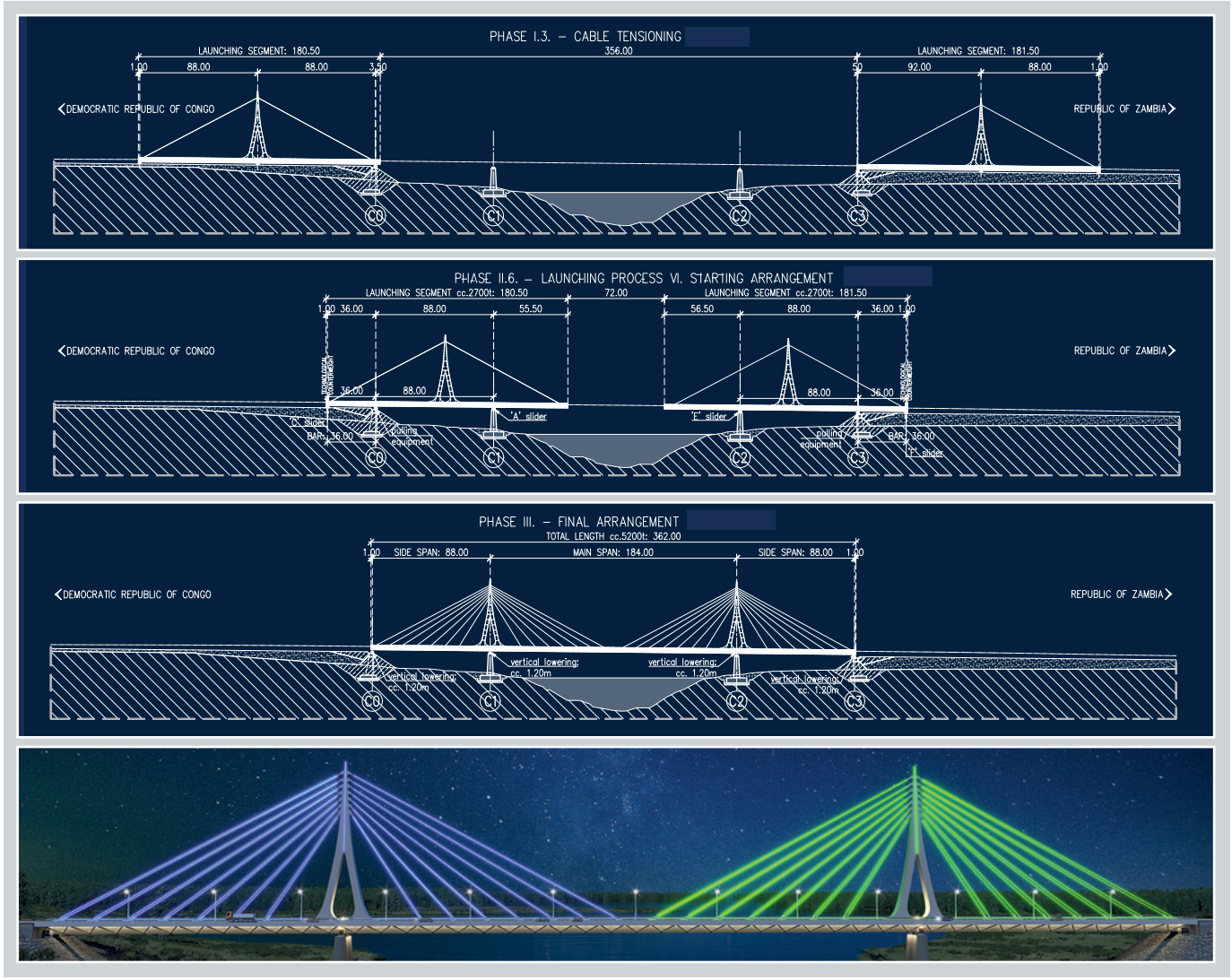
A kivitelezés során, a folyó változó vízszintjéhez igazodva, a pillérek munkagödrei köré jet grouting eljárással megerősített ideiglenes földgát épült. A kialakítás célja a munkaterület védelme és a kivitelezés biztonságának növelése volt. Teljes vízzárás nem volt szükséges, mivel a feltárási gödörbe történő, korlátozott mértékű szivárgás a kivitelezési feltételek mellett elfogadható volt.

A PROJEKT ÁLLAPOTA

A Luapula-híd kivitelezése 2025-ben kezdődött. Jelenleg a vasbeton alépítmények építése zajlik, miközben párhuzamosan történik az acél felszerkezeti elemek gyártása. A felszerkezet betolását 2026-ra, a végleges átadást és üzembe helyezést 2027-re tervezik.

ÁBRAJEGYZÉK

1–4., 6–17.,22., 25–26. ábra: SPECIÁLTERV Kft.
5., 23–24. ábra: GED Africa



22. ábra: Építési fázisok



23. ábra: Épülő pilon és hídfő a Kongói Demokratikus Köztársaságban, 2026. április



24. ábra: Épülő pilon és hídfő a Zambiai Köztársaságban, 2026. április



25. ábra: Épülő híd – látványábra



26. ábra: Látványterv

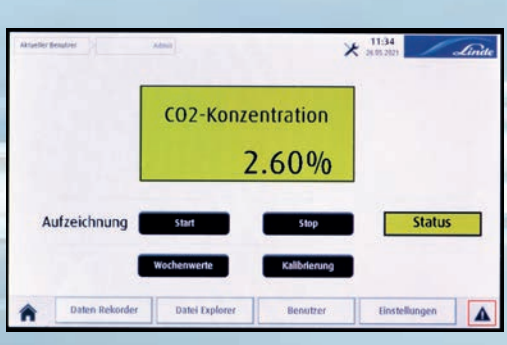
Online digitális gázkeverő és gázelemző készülék

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 opciós 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) bizonylatolható. Az intuitív érintőképernyőn keresztül történő vezérlés könnyű kezelhetőséget és teljeskörű áttekintést biztosít.





Példák a készülék funkcióira:

→ 0 - 30 tf.% CO_2 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

Süle F. Attila *mederhíd felelős tervező, teamvezető*
Szakács Nándor *tervező*
Főmterv Zrt.

A MOHÁCSI DUNA-HÍD MEDERHÍDJÁNAK ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA – TERVEZÉSI KÉRDÉSEK

BEVEZETÉS

Az épülő Mohácsi Duna-híd és kapcsolódó úthálózat tervezése 2019-ben kezdődött. A közel 30 km hosszúságú úttervezési projekt főtervezője a SPECIÁLTERV Kft., a Duna feletti folyami híd a SPECIÁLTERV Kft. és a FŐMTERV Zrt. közös alkotása. A 756 m teljes hosszúságú új Duna-híd szerkezete három egymást követő ívhíd sorozataként valósul meg. A projekt teljes tervezési koordinációját és két ártéri híd komplett tervezését a SPECIÁLTERV végezte. A 270 m-es fesztávolságú mederhídszerkezet engedélyezési, kiviteli és gyártmányterveit a FŐMTERV Zrt. készítette.

A szerkezeti kialakítás alapelvei azonosak, a három ív geometriájában és szerkezeti rendszerében vannak minimális eltérések az egyes egységek méreteihez és technológiai adottságaihoz igazodva. A tervezési folyamat során a két iroda szorosan együttműködött, a főbb koncepcionális és részletszintű döntések közösen születtek meg.

A helyszín kiválasztását a környezetvédelmi szempontok befolyásolták. A tanulmányokat az új Duna-hídi átkelő engedélyezési eljárása, részletes kiviteli tervezése követte, mely 2022-ben fejeződött be.

A kivitelezési technológia az egyes egységek esetében eltér a helyszíni adottságok és szerelési körülmények következtében. Az eltérő építési technológiától függetlenül a híd egységes szerkezeti rendszerként valósul meg, a különböző részegységek integrált módon illeszkednek. A kiviteli tervek alapján kiírt építési tendert a Duna Aszfalt Zrt. nyerte meg, a szerződés 2024. augusztus 30-án lépett hatályba.

A MEDERHÍD ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA

A Dunát áthidaló szerkezetek megvalósítása mindig jelentős kihívást jelentő feladat.

A mederhíd építési technológiájának kiválasztásakor a projekt fővállalkozója, a Duna Aszfalt Zrt. a jobb parton összeállított felszerkezet hosszirányú mozgatását választotta.

Az ehhez tervezett, az acélszerkezet összeállításához szükséges szerelőtérnek több sajátossága is van:
– A területen levő vasúti vágányok korlátozzák a rendelkezésre álló helyet, ezért a híd végleges helyére történő mozgatását is több ütemben kellett tervezni, az egyes ütemek között mindig hozzáépítve a következő szerkezetrészt.
– A több ütemű építés miatt a folyóban is vízi járműkat kellett elhelyezni (43 m-enként összesen három járművet, a hídfőtől számított $3 \times 43 = 129$ m tolási hossznak megfelelően).
– A szerelőtér a Duna felé 1%-kal emelkedik, így optimalizálva a szerelőtéren kialakuló töltésmagasságot (a hajózási űrszelvény figyelembevételével).

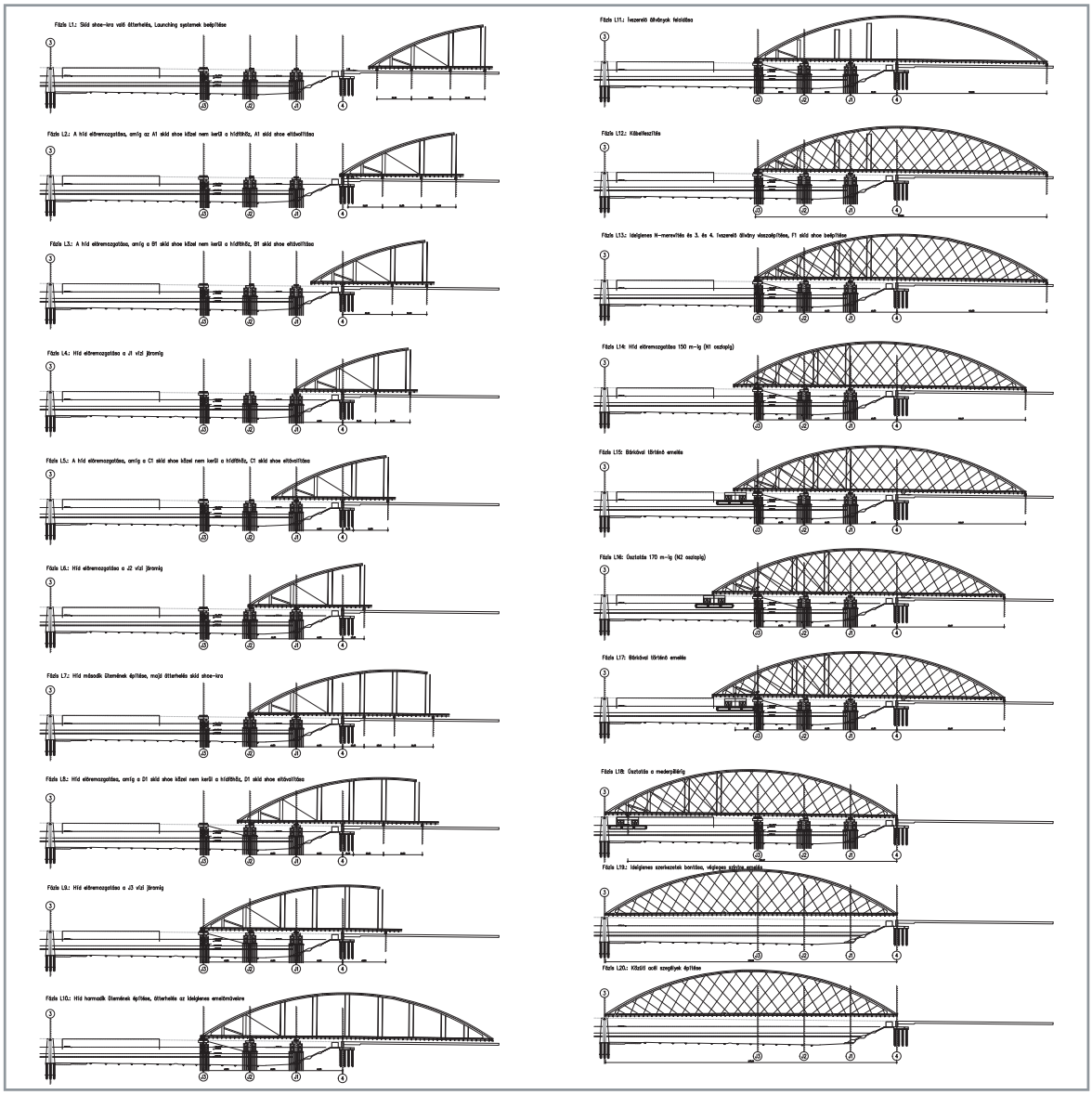
A mozgatás technológiája a fenti feltételekhez igazodik (*3. ábra*):
– Az összeszerelt 114,7 m hosszú hídrészt előre kell mozgatni a J2 vízi járomig.
– Ezt követően hozzáépülhet a következő 72 m hosszú hídrész.
– Újabb mozgatási művelettel el kell juttatni a szerkezetet a J3 vízi járomig.



1. ábra: A tervezett híd látványterve (készítette a Speciálterv Kft.)

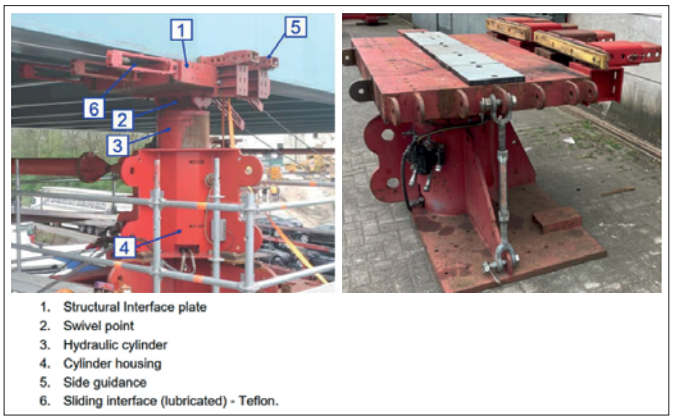


2. ábra: Szerelőtér kialakítása



3. ábra: Mozgatási fázisok

– Ezt követően összeállítható a teljes, 271,4 m hosszú hídszerkezet.
– Az ívszerelő állványokat, ideiglenes merevítéseket részlegesen visszabontva a pályalemez és merevítőtartó túlemelt alakra állítása – melyet azokba való beleemeléssel végeznek el – után a végleges kábelek beépíthetők.
– Az ideiglenes merevítéseket, valamint a 3. és 4. ívszerelő állványokat visszaépítve a szerkezetet előre kell tolni, hogy a Dunán úszó bárkacsoport azt fel tudja venni.
– A bárkát a hídhoz képest el kell mozgatni, hogy a híd végleges pozíciójában elférjen a mederpillér mellett.
– A hidat részben a bárkacsoportra, részben a szerelőtér tológerendáján futó mozgó alátámasztásokra terhelve a végleges helyére kell mozgatni.



6. ábra: „Launching system" alátámasztó szerkezet

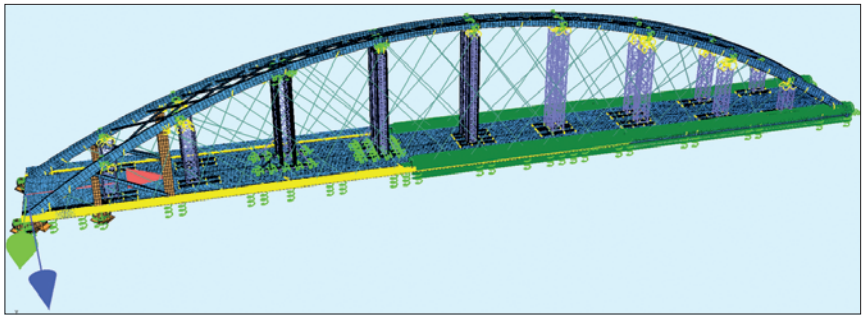
STATIKAI SZÁMÍTÁSOK A TECHNOLÓGIÁHOZ KAPCSOLÓDÓAN

A mozgatás során keletkező igénybevételeket és elmozdulásokat két globális modellen vizsgáltuk:
– Egy részletes Sofistik modellen, mely a szerkezet valamennyi, 99 építési fázisát modellezte.
– Ellenőrzésképpen egy közelítő Lusas modellen, mely 42 építési fázist tartalmazott.
– Ezeken kívül természetesen számos (100+) lokális modell készült az egyes elemek részletes vizsgálatához.

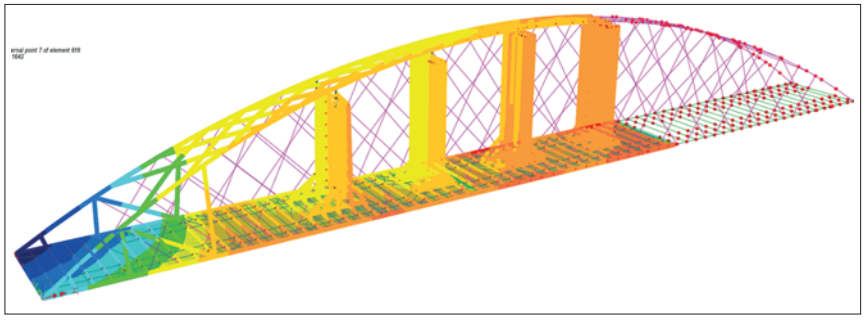
A mozgatás során a szerkezet alátámasztásainál két típusú szerkezetet alkalmazunk.

A hídfőn és a vízi járműkon a híd alsó síkján végigcsúszó „Launching system" berendezés *(6. ábra)* épül be, ennek alkalmazása miatt a merevítőtartóknál jelentős számú erősítést kellett tervezni.

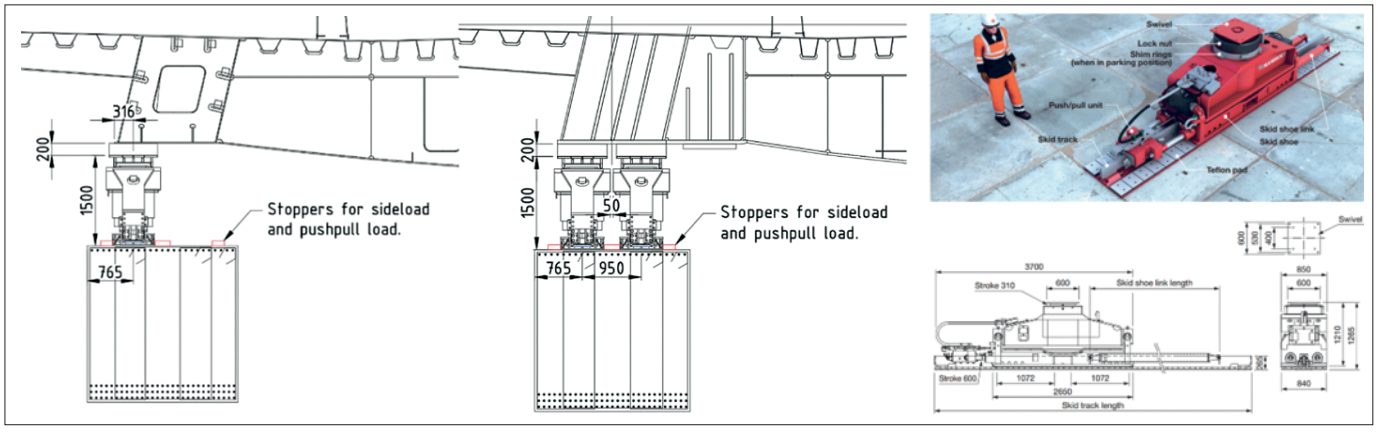
Míg a vasbeton tolópályán kiépülő sínen mozgó „Skid shoe"-k (csúszó alátámasztások, *7. ábra)* egy ponton támasztják alá a szerkezetet, ezek helyén a híd merevítőtartóiba megerősített diafragmák kerültek.



4. ábra:
Sofistik globális modell



5. ábra:
Lusas globális modell



7. ábra: „Skid shoe" csúszó alátámasztások



8. ábra: Vízi jármok

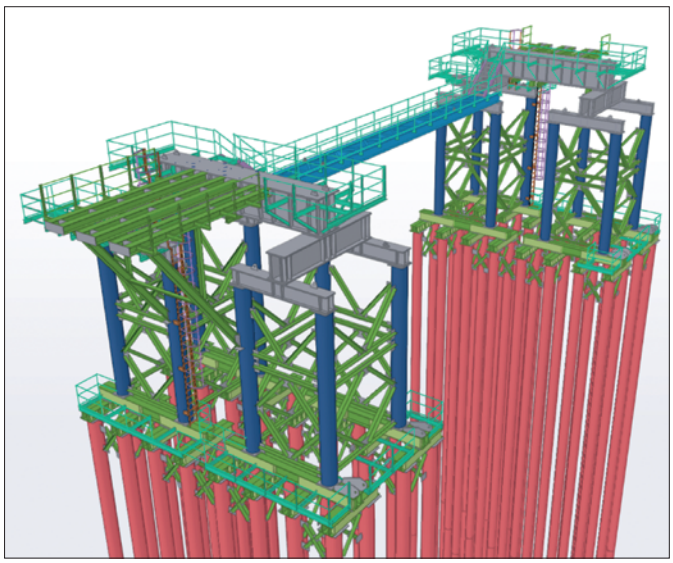
A vízi jármok a Duna medrébe levert csőcölöpökre támaszkodnak, tervezésénél a betolás során fellépő terhek mellett a zajló jég hatására is méretezni kellett. (Jégzajlás 2026 januárjában valóban történt.)

A jármok tervezése során a szerkezetekre – a hídfelszerkezethez és a további segédszerkezetekhez hasonlóan – térbeli modell készült. Mindez nemcsak a tervek előállításához szükséges, hanem az elemtervek, emelési rajzok mellett a szerkezettel kapcsolatos egyeztetéseket is megkönnyítette.

A cölöpök a folyó áramlási viszonyait is befolyásolják, ezek vizsgálatára a BME gondozásában áramlástani modell és vizsgálat készült, melynek ellenőrzésére monitoring terv alapján a Fővállalkozó rendszeres mederfelmérést végez.

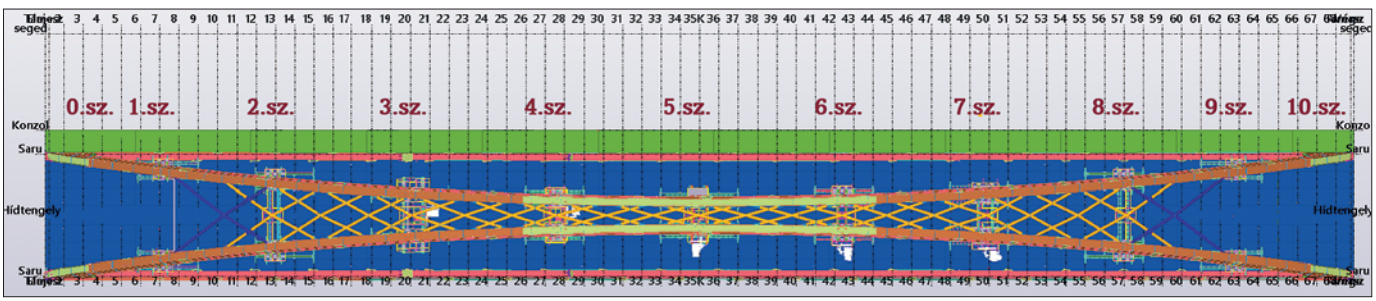
Az ívelemek ideiglenes alátámasztását ívszerelő állványok biztosítják. Mivel az ívek alaprajzilag is ívesek, így az állványok pozíciója a keresztmetszeten belül mindenhol eltérő, magasságuk változó. A legmagasabb 40 méter magas.

A keresztmetszeti elrendezésnél kötöttség volt, hogy a pályalemezen az állványok között – hol középen, hol azokat kívülről megkerülve – egy autódaru tudjon közlekedni. Az állvány tetején az ívek alátámasztását a befelé dőlő téglalap keresztmetszetű ívelem külső és belső gerince alatt is biztosítani szükséges. A letámaszkodáshoz az ívekre ideiglenesen felhegesztett papucsokat alkalmaztunk *(11. ábra)*.



9. ábra: Vízi járom modellje

Az ívek közötti cső keresztmetszetű keresztkötések illesztését 500 mm hosszú passzdarabok közbeiktatásával végzik. Ezekhez való hozzáférést (lakatolás, hegesztés, festés) is az állványok közé épített munkaszintről kellett megol-



10. ábra: Ívszerelő állványok



11. ábra: Letámasztási helyek az ívelemeken

dani *(12. ábra)*. A híd közepe felé haladva az ívek közötti távolság folyamatosan szűkül, így mindig egyedi munkaszintek tervezése vált indokolttá.

Az állványok egy részének kettős funkciója is van. Az 5. és 6. sz. ívszerelő állvány a kétharmad részben megépült merevítőtartó és ív előretolásánál is alátámasztják a félkész ívet *(14. ábra)*. A 3. és 4. sz. ívszerelő állványok minden tolási fázisnál, a híd végleges helyére történő beúsztatáskor is merevítő funkcióval bírnak a konzolos szakaszban.

Ezek alapján a toláskor nem használt 1., 2., 7., 8., 9. sz. és a toláskor is használt 6. sz. ívszerelő állványok rácsos tartószerkezetét a Pentele híd építésénél is alkalmazott SBG-állványokból alakítottuk ki. A toláskor is használt állványoknál az erőjátéknak megfelelően a szintén meglévő $\Phi 521 \times 9$ és $\Phi 1120 \times 10$ csőállványokat is alkalmaztunk rácsos tartószerkezetként kialakítva.

Mindegyik állvány egy 2, illetve 3 gerincű teherelosztó gerendára támaszkodik, melyek a pályalemezen a keresztartók tengelyében levő acél alátámasztásokra ülnek fel. Az állványok 5–6 méter magasságban ferdén is ki vannak támasztva a teherelosztó gerenda végéhez *(15. ábra)*.

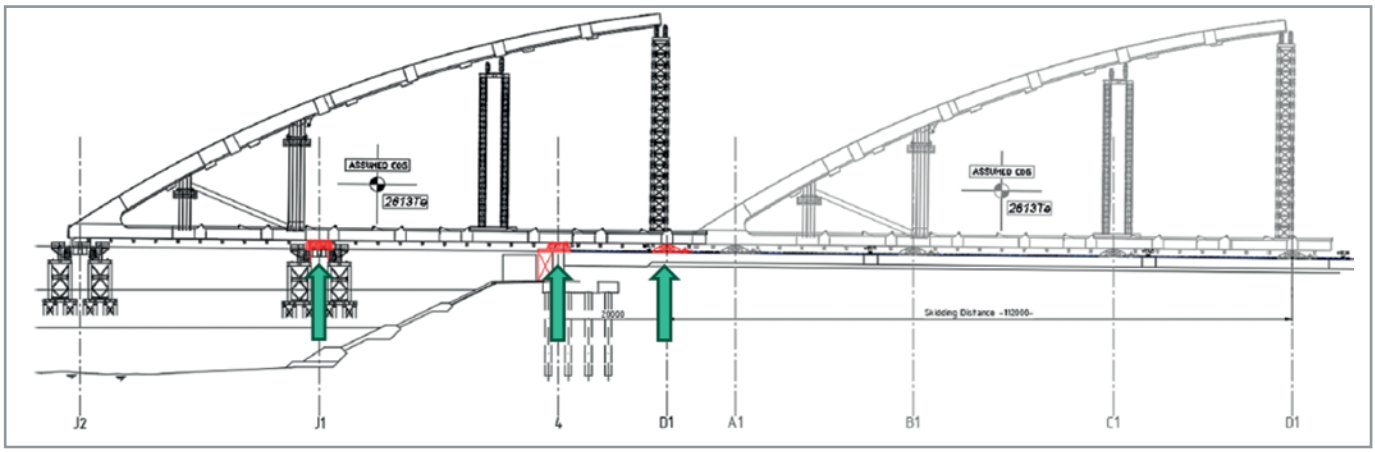
Szereléskor a pályalemezt sűrűn alátámasztják bakokkal, de tolás közben csak a merevítőtartót támasztják alá dedikált helyeken a korábban bemutatott skid shoe-knál *(7. ábra)*. Az állvány-alátámasztó gerendák támaszai alatt lévő kereszttartók merevsége adja azok támaszmerevségeit, mely a tolás miatt állandóan változik. Ezen merevségek meghatározása a változó statikai váz miatt minden egyes építési fázisban bonyolult lenne, így az ívszerelő állványok igénybevételeit globális végeselemes modellben határoztuk meg *(4.* és *5. ábra)*. Az állványok egyes kapcsolatait, részelemeinek feszültségeit, alkotó rudak kihajlásvizsgálatát a globális modellbe beépített vegyes rúd–héj modellekkel vizsgáltuk, olykor GMNIA analízissel. Az állványok módosításai így visszahatottak a globális statikára, rendkívül munkaigényessé téve a számítást.

A pályalemez és merevítőtartó alakra állítása és kábelfeszítés után az ideiglenes „N” merevítés két oszlopa és az íven levő talplemezek ~300 mm, illetve ~400 mm-rel közelebb kerülnek egymáshoz. Ezt az oszloprövidülést előre beépített, kivehető kazettaelemmel terveztük megoldani *(16. ábra)*.

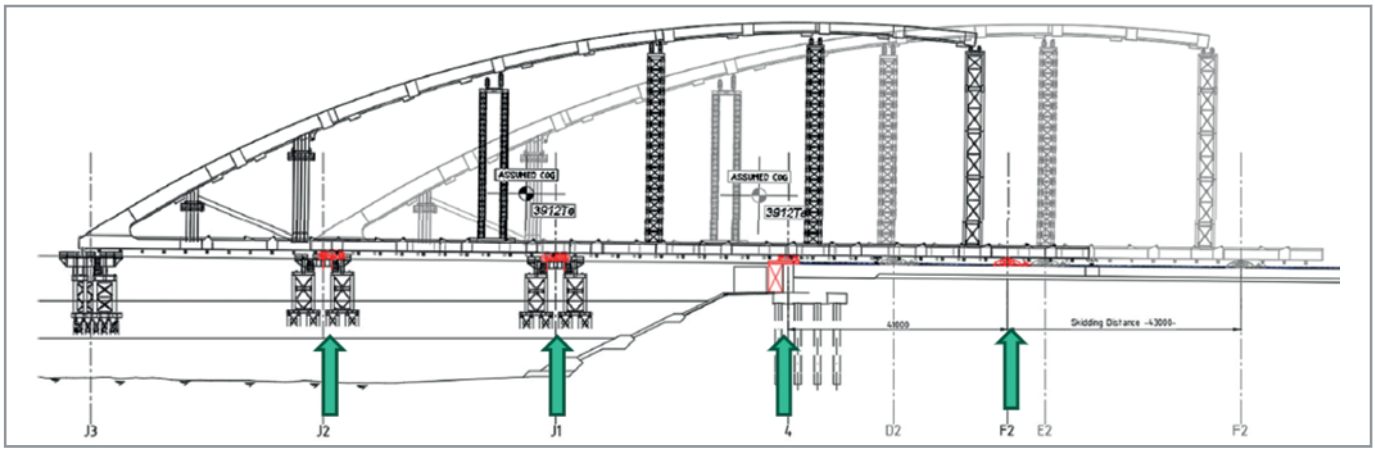
Számításaink szerint az ív alátámasztási pontjai a 3. ívszerelő állványnál 741 mm-rel, a 4. ívszerelő állványnál pedig 1083 mm-rel kerülnek közelebb az állványfejhez az állványok bontása és beúsztatás előtti visszaépítése között. Ez az érték három részből tevődik össze: ív önhordóvá tételekor az ív lehajlása, pályalemez túlemelése, illetve a kábelek megfeszítéséből adódó pályalemez-ív közötti távolság csökkenése. Ennek kezelésére az ív-alátámasztási pontok alatti csőbakokat (melyek „papucsonként” eltérő magasságúak) a 3. állványnál 625 mm, a 4. állványnál 1000 mm-rel magasabbra terveztük, mint az szükséges lenne az ívszereléshez. Azért, hogy mind az ívszereléskor, mint pedig a beúsztatáskor és állvány végleges bontásakor kezelhető magasságban legyenek a sajtózható máglyák, az állvány tetején egymás alatt két munkaszint készül *(17. ábra)*. A felsőt az ívszereléskor használják, amit az ív önhordóvá tételekor a magasító csőbakokkal együtt el-



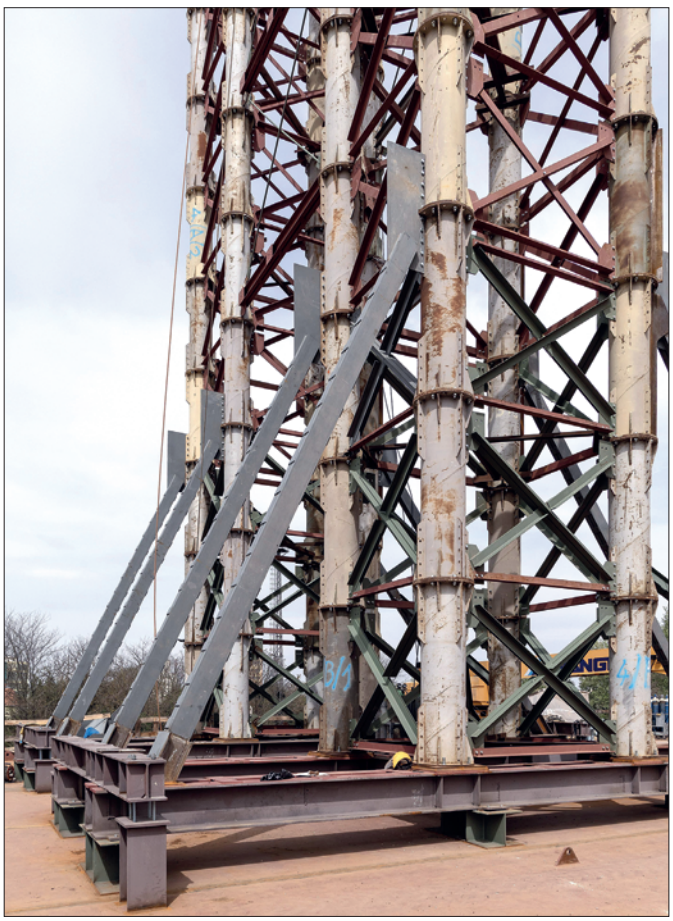
12. ábra: 2. sz. ívszerelő állvány munkaszintje



13. ábra: Első tolási egység



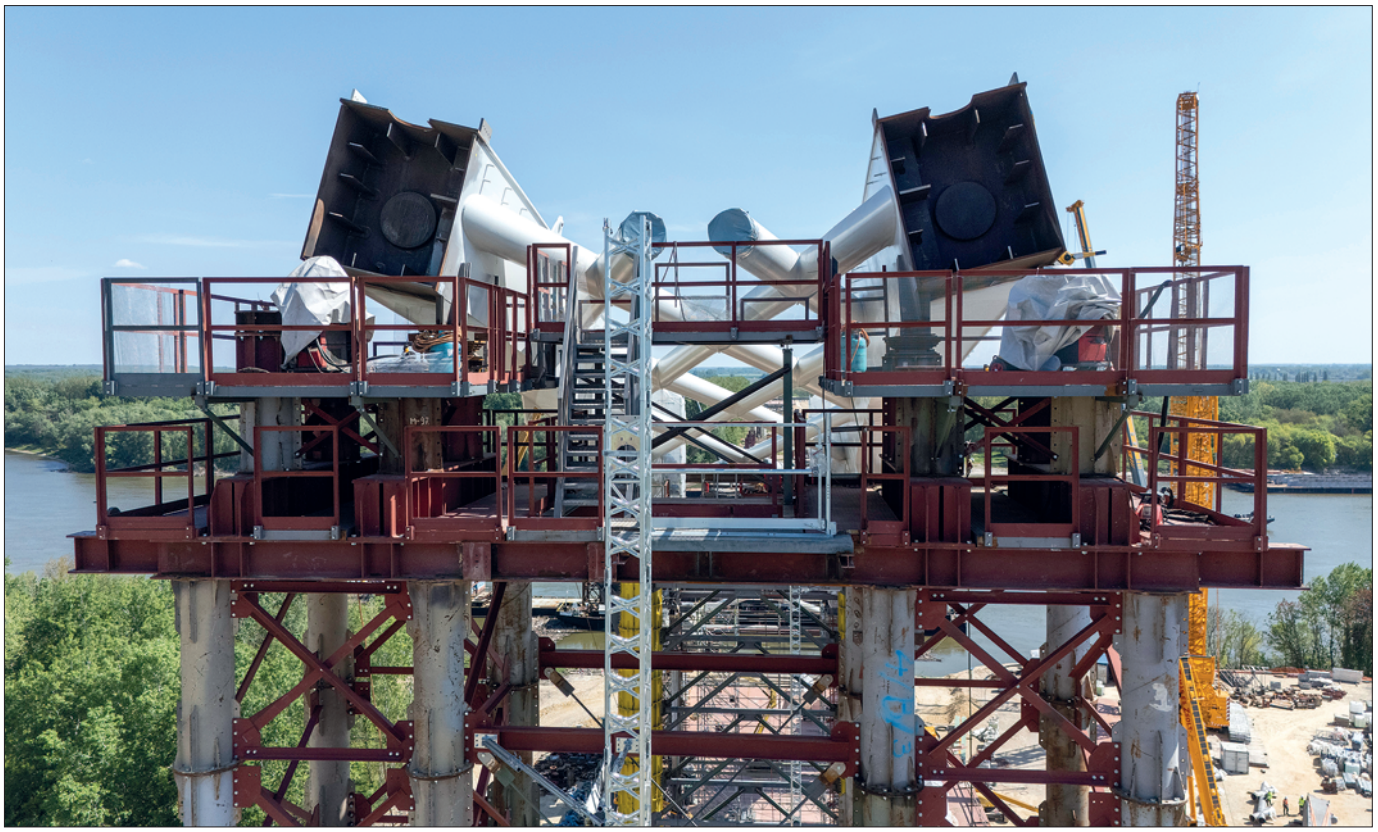
14. ábra: Második tolási egység



15. ábra:
4. sz. ívszerelő állvány alátámasztása



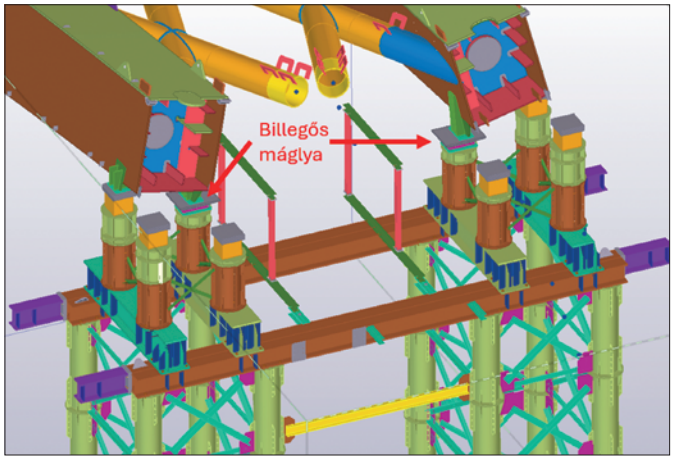
16. ábra: Ideiglenes merevítőoszlop kazettaeleme



17. ábra: 4. sz. ívszerelő állvány munkaszintje előtérben a lift tartószerkezettel

bontanak (magasító csőbakokat lásd a *18. ábrán* barnával jelölve). A híd végleges alakra állítását és kábelek megfeszítését követően az alsó munkaszint az eredeti helyéhez képest „feljebb kerül”, ezzel biztosítva annak optimális magasságát beúsztatás és állványbontás fázisában is.

Ívszereléskor illesztési keresztmetszetenként 2 + 2 helyen támaszkodnak le az emelési egységek, majd a tolási fázis megkezdése előtt a négyből csak a tolás felőli belső gerincnél marad aktív az alátámasztás, mely billegő elem közbeiktatásával biztosítja az ív–állvány csuklós kapcsolatát.



18. ábra: 4. sz. állványfej tartószerkezetei

A 3–7. sz. ívszerelő állványok munkaszintje a pályalemeztől mérve 30–38 m közötti, ezért a feljutáshoz a többi állványtól eltérően nem hágcsókat, hanem GEDA típusú felvonókat alkalmaznak *(19. ábra)*. A lift tartószerkezete három függőleges csőből álló rácsos szerkezet, melyen a lift mozog. A tartószerkezetet az állványok rácsrúdjaihoz 6–7 méterenként kitámasztottuk.



19. ábra: Lift a 3. állványnál

Nullifire
Smart Protection

Teljeskörű termékkínálat!
Nullifire acél tűzvédő bevonatok



ETA 21/0683

optifire+

warrington certification

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 higítható tűzvédő bevonat. Beltéri és időjárási behatásoktól védett kültéri acélszerkezetek tűzvédelmére, 90 perces tűzállóságig.



ETA 20/1210

SC902

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



ETA 20/1216

mipa
Professional Coating Systems

MIPA HUNGÁRIA KFT
8000 SZÉKESFEHÉRVÁR,
ZSURLÓ UTCA 2.
Tel: +36 22 514 510
Fax: +36 22 514 517
info@mipahungaria.hu
www.mipahungaria.hu

A termékek gyártója:
CPG Construction Products Group Europe

Pál Gábor alapító, vezető tervező
Szabados Mihály acélszerkezeti főmérnök
SPECIÁLTERV Kft.

A MOHÁCSI DUNA-HÍD

Ívek, kereszttartók parametrikus & BIM-tervezése



1. ábra: A híd látványterve

A PROJEKTRŐL

Az épülő Mohácsi Duna-híd és kapcsolódó úthálózat tervezése 2019-ben kezdődött. A közel 30 km hosszúságú úttervezési projekt főtervezője a SPECIÁLTERV Kft., a Duna feletti folyami híd a SPECIÁLTERV Kft. és a FŐMTERV Zrt. közös alkotása. A 756 m teljes hosszúságú új Duna-híd szerkezete három egymást követő ívhíd sorozataként valósul meg. A projekt teljes tervezési koordinációját és két darab, egyenként 230 m és 250 m fesztávú ívszerkezet komplett tervezését a SPECIÁLTERV végezte. A 270 m-es fesztávolságú „mederhíd”-szerkezet engedélyezési, kiviteli és gyártmányterveit a FŐMTERV Zrt. készítette.

A szerkezeti kialakítás alapelvei azonosak, a három ív geometriájában és szerkezeti rendszerében vannak minimális eltérések az egyes egységek méreteihez és technológiai adottságaihoz igazodva. A tervezési folyamat során a két iroda szorosan együttműködött, a főbb koncepcionális és részletszintű döntések közösen születtek meg.

A helyszín kiválasztását a környezetvédelmi szempontok befolyásolták. A tanulmányokat az új Duna-hídi átkelő engedélyezési eljárása, részletes kiviteli tervezése követte, mely 2022-ben fejeződött be.

A kivitelezési technológia az egyes egységek esetében eltér a helyszíni adottságok és szerelési körülmények következtében. Az eltérő építési technológiától függetlenül a híd egységes szerkezeti rendszerként valósul meg, a különböző részegységek integrált módon illeszkednek. A kiviteli tervek alapján kiírt építési tendert a Duna Aszfalt Zrt. nyerte meg, a szerződés 2024. augusztus 30-án lépett hatályba.

KONTEXTUS

A Duna-híd egy nagyobb infrastrukturális projekt része. Az új átkelő lehetőséget biztosít, hogy összekössék az M6-os autópályát az 51-es főúttal, így összességében mintegy 30 kilométernyi új 2 × 2 sávos, osztott pályás főutat, 10 darab új turbó körforgalmú, valamint 1 darab egyszerű körforgalmú (az 51-es főúti kezdőszelvénynél) csomópontot és 17 további műtárgyat is magában foglal a projekt.

A Duna-híd megtervezése rendkívül összetett feladat volt – Európa egyik legforgalmasabb vízi útját és egy szigorúan védett árterületi természetvédelmi területet ível át, ami szükségessé tette a gondos tervezést.

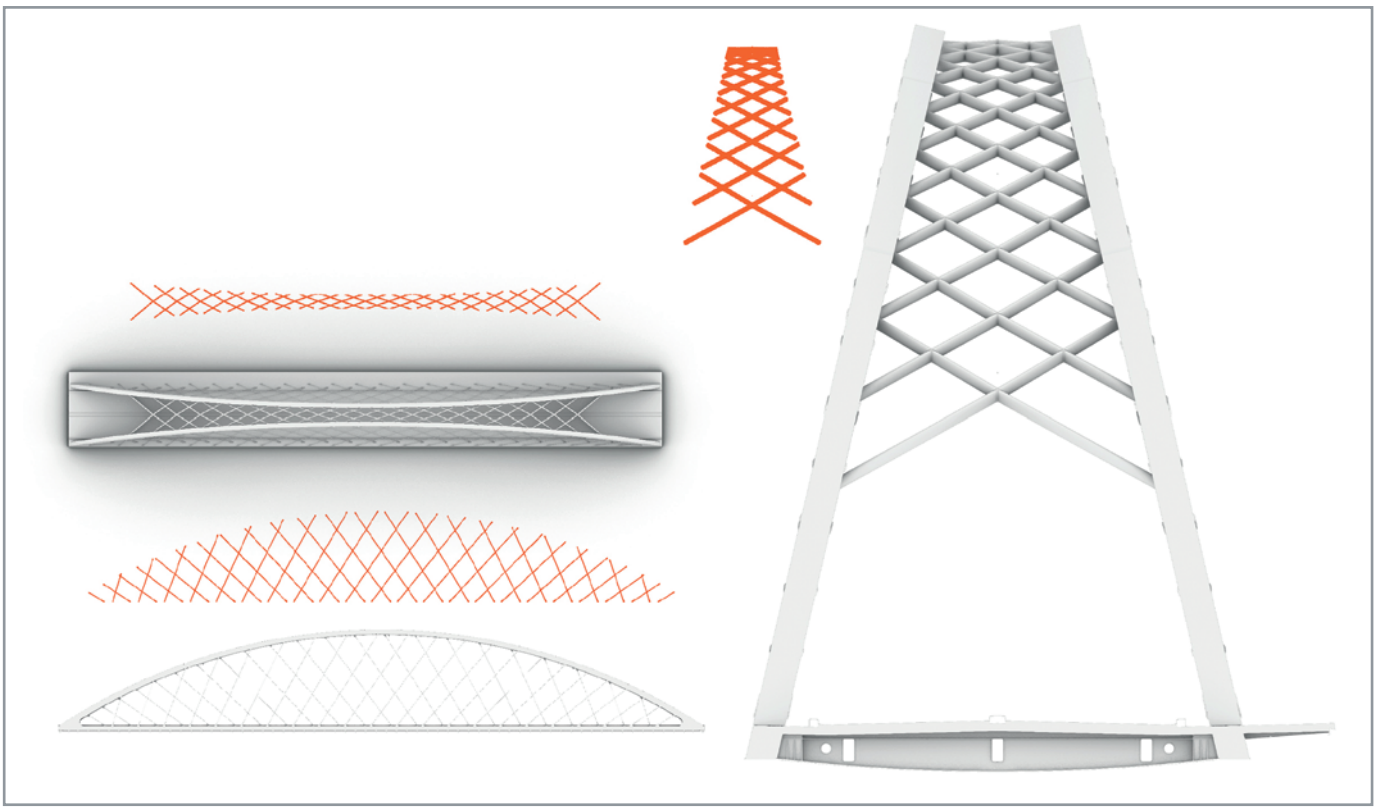
A BIM-modellezés kulcsszerepet játszott a folyamatban annak érdekében, hogy minden előírásnak és szabványnak megfeleljenek, és így egy, a környezetéhez illeszkedő, jellegzetes építmény jöhessen létre.

Nemcsak jelentősen lerövidítette a tervezési folyamatot, hanem egy átlátható és jól követhető platformot is biztosított az érintett felek számára, garantálva, hogy a végeredmény mind a tervezők, mind a megrendelő elvárásainak megfeleljen.

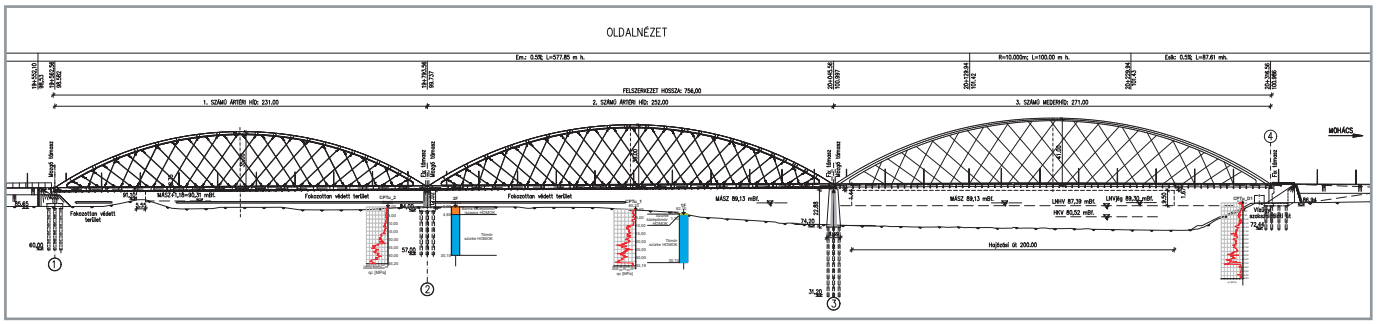
A Duna-híd építése 2024-ben elkezdődött, jelenleg az acélszerkezetek szerelőterületeinek kialakítása és az alépítményi elemek cölöpözése zajlik, illetve ezzel párhuzamosan az acél felszerkezetek gyártása. A helyszíni szerelés 2025 májusában indult, az építés várhatóan 3 évet vesz igénybe.



2. ábra: A Mohácsi Duna-híd látványterve



3. ábra: A kábelek hálózatos elrendezése és az ehhez hasonló elrendezésű íveket összekötő felső keresztkötések adják a híd egyedi megjelenését



4. a) ábra: A Duna-híd általános terve

KONCEPCIÓ

A Duna-híd 3 azonos szerkezeti rendszerű, de különböző támaszközű hídszerkezetből áll, kéttámaszú tartók sorozataként.

Szerkezeti rendszer: kéttámaszú, alsópályás acél ívhíd, zárt szekrény keresztmetszetű merevítőtartókkal és ívekkel, ortotrop acél pályalemezzel, kétoldali, hálózatos rendszerű felfüggesztéssel.

A híd 2 × 2 sávos, déli oldalán 3,30 méter hasznos szélességű Euro-Velo kerékpárút kap helyet.

A merevítőtartók 1,80 méter magasak, nem járhatók, azonban a légzáró kialakítású, zárt keresztmetszet megakadályozza, hogy pára és oxigén jusson a szerkezet belsejébe, így a korrózióhoz szükséges feltételek közül kettő is hiányzik. A kereszttartók alsó öve lefelé domborodóan íves kialakítású. A pálya alatt három kezelőjárda fut, ezért vizsgálókocsira nincs szükség. A három ívszerkezet támaszköze rendre 270, 250 és 230 méter. A mederpillér a folyó kanyarulatának belső oldalára, így áramlástanilag kedvező helyre került, a 180 méter széles hajózóút pedig megfelelően kijelölhető.

Acél felszerkezet

Az acélszerkezetet gyártási és szerelési egységekből állítják össze. A „klasszikus” ortotrop pályalemez mellett több ezer tonna zárt keresztmetszetű szekrénytartós elemet is beépítenek a merevítőtartó és az ív elemeiként.

Ezek a szekrénytartók légtömör varrattal, zárt kialakítással készülnek. A felső keresztmerevítő hálózat „historizáló” jelleget kölcsönöz a történelmi város közelében épülő hídszerkezetnek.

Kábelkép

A felszerkezet hálós elrendezésű függesztőkábelekkel felfüggesztett, merevítőtartós, acél ívhíd. Az elmúlt évtizedekben a nemzetközi gyakorlatban a hálós elrendezésű felfüggesztési rendszerű ívhidak széles körben elterjedtek. Jelentős előnyük, hogy az ív síkjában levő ferde felfüggesztések a koncentrált hasznos terheket a híd hossza mentén hatékonyan elosztják, ezáltal csökken az ívekben és a merevítőtartókban jelentkező nyomatékok nagysága, ezért kisebb magasságú keresztmetszetek alkalmazhatók.

Ívtartók

A karcsú szerkezeti elemek esztétikailag kedvezőek. A lecsökkent szerkezeti tömeg az alépítmények és az építési segédszerkezetek szempontjából is előnyös. A kisebb festendő felület a korrózióvédelem elkészítésének és fenntartásának költségét is nagymértékben csökkenti.

Keresztkötések

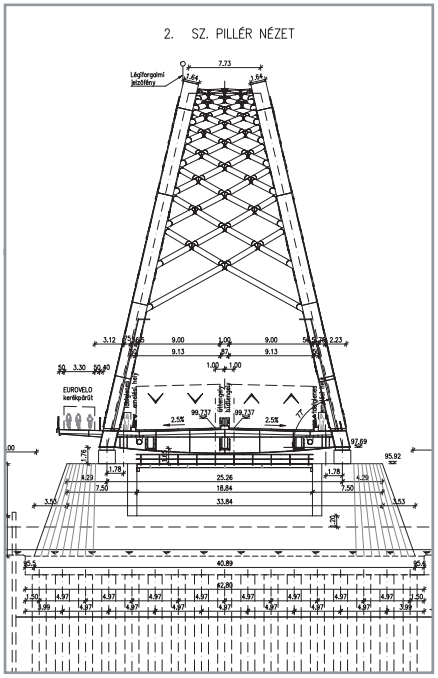
A keresztkötéseknél a függesztőkábelek látképére utaló elrendezést választottunk, mely esztétikus és egyedi. Ez a kialakítás ugyanakkor a tervezés során komoly kihívást jelentett, mivel a kis szögű bekötés miatt az ívben levő nyomóerőből a keresztkötésekben jelentős igénybevételek jelentkeztek.

A KIVÁLASZTOTT HÍDVÁLTOZAT ADATAI

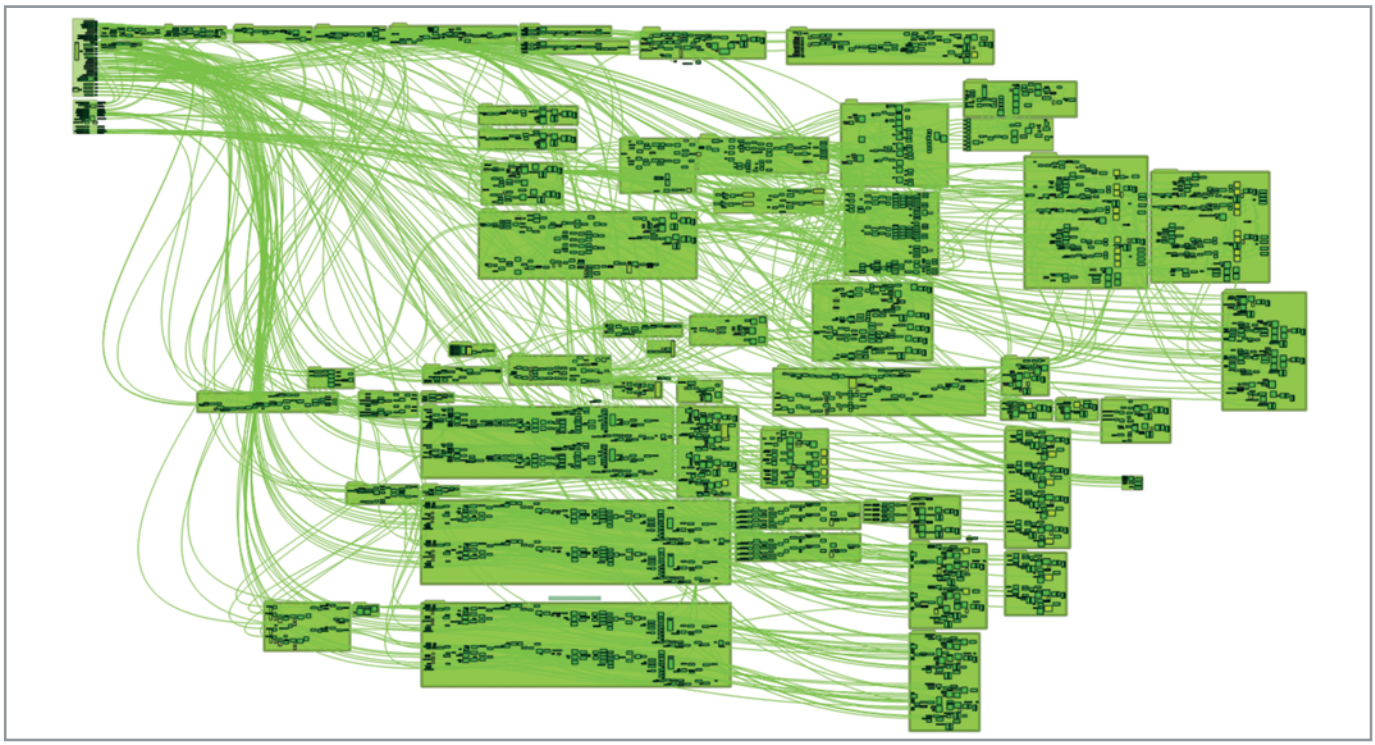
hossz:	756 m
ívhidak felszerkezetének támaszközei:	230.0+250.0+270.0 m
szélesség:	31.5 m
szerkezeti acél:	15000 tonna

A PROJEKT RÉSZTVEVŐI

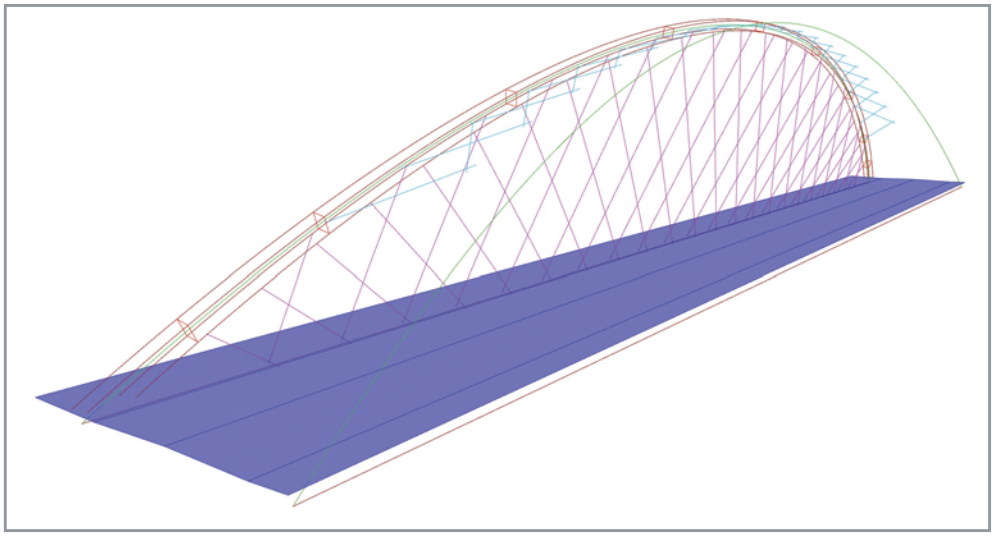
beruházó:	ÉKM
kivitelező:	Duna Aszfalt Zrt.
generáltervező:	SPECIÁLTERV Kft.
B1, B2-es hidak (250 és 230 m fesztáv):	SPECIÁLTERV Kft.
B3-as híd (270 m támaszköz):	FŐMTERV Zrt.
Duna áramlástani vizsgálatok:	BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
távfelügyeleti terv:	BME Hidak és Szerkezetek Tanszék



4. b) ábra: A Duna-híd oldalnézete



5. ábra: A B2 híd grafikus algoritmusa Grasshopperben



6. ábra:
A B2 híd parametrikus váza

ÍVTARTÓ PARAMETRIKUS TERVEZÉSE – TERVEZÉSI SZEMPONTOK

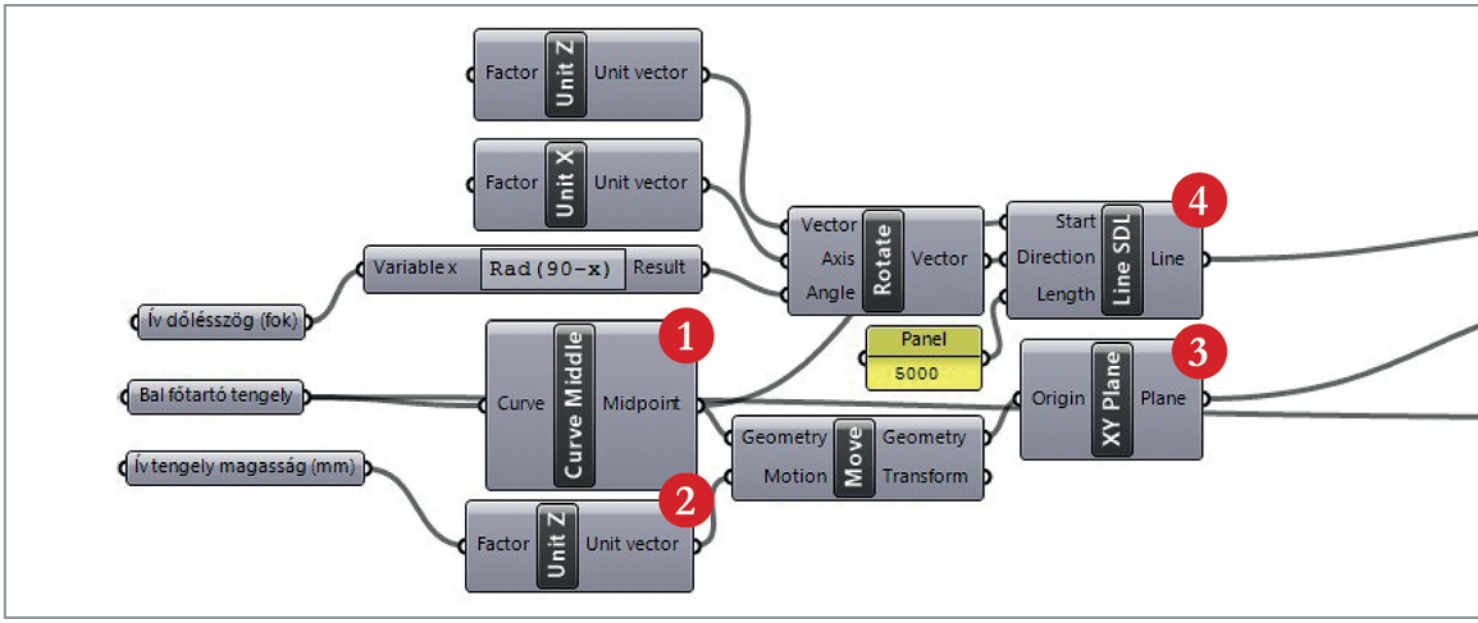
Az ívszerkezet gyártmánytervei több szempont egyidejű figyelembevételével készültek. A statikai, geometriai gyártás- és építéstechnológiai igényeket a tervező, gyártó és kivitelező kollégák szoros együttműködése során bedolgozták a tervekbe.

Az ártéri hidak ívei azonos elvek szerinti kialakítással, de eltérő geometriával készülnek. A dőlésszög egy-ségesen 13° a függőlegestől. Az ívszerkezet zárt dobozos kialakítású, keresztmetszete állandó szélességű és változó magasságú, derékszögű téglalap. A döntött síkban az alsó és felső övlemezek hajlítási sugarai a középről kifelé növekvő szerkezeti magasság, valamint az egyes hidak eltérő támaszköze és ívmagassága következtében változnak. Az összekötő rácsok az ívekhez igazodva szintén kissé eltérnek egymástól.

TERVEZÉSI MÓDSZER

Az ívek geometriája jól leírható kevés számú változó paraméterrel. A gyártmánytervezés kezdetén a parametrikus tervezés előnyeit kihasználó, vizuális programozási környezetben kezdődött a munka (Rhino 3D – Grasshopper), amit később az acélszerkezeti gyártmánytervezéshez alkalmazott Tekla Structures szoftverrel lehetett összekötni.

A változó méreteket paraméterként megadva (pl. támaszköz, ívmagasság, keresztmetszet méretei, kábelátmérő, kábelkiosztás…) könnyen előállítható egy alapmodell, amely segítségével a tervezés során felmerülő változásokkal, valamint a másik hídszerkezet adataival gyorsan elkészíthetők a különböző geometriák. A drótváz, illetve 3D felületmodell önmagában még nem elégséges a szerkezeti tervek elkészítéséhez. A gyártmánytervek a Tekla Structures szoftverrel készültek. A Grasshopper és Tekla szoftverek közötti közvetlen kapcsolat segítségével az acélszerkezeti modell az algoritmus által vezérelten áll elő.



7. ábra: Ívtengely Grasshopper-modellje

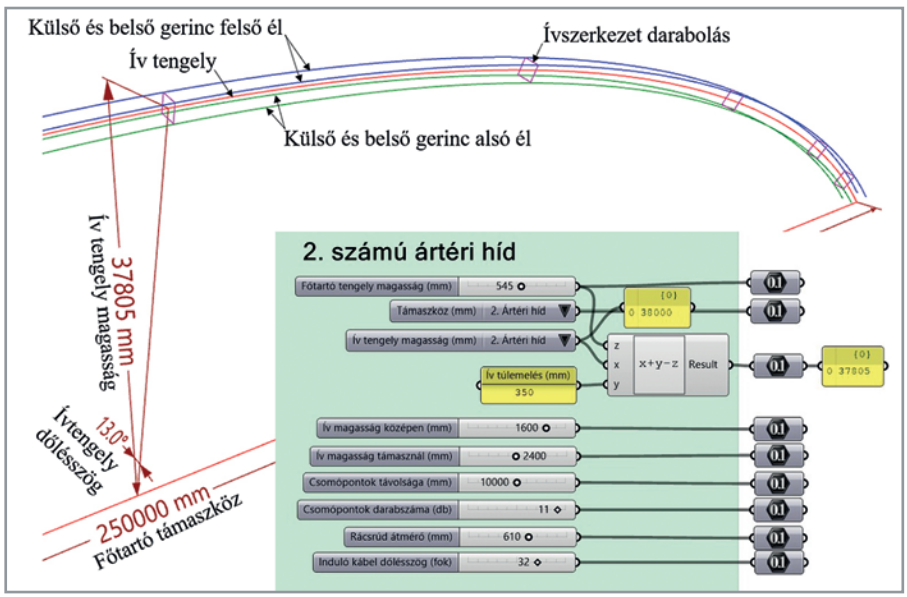
TERVEZÉSI PÉLDÁK

Ívtengely modellje

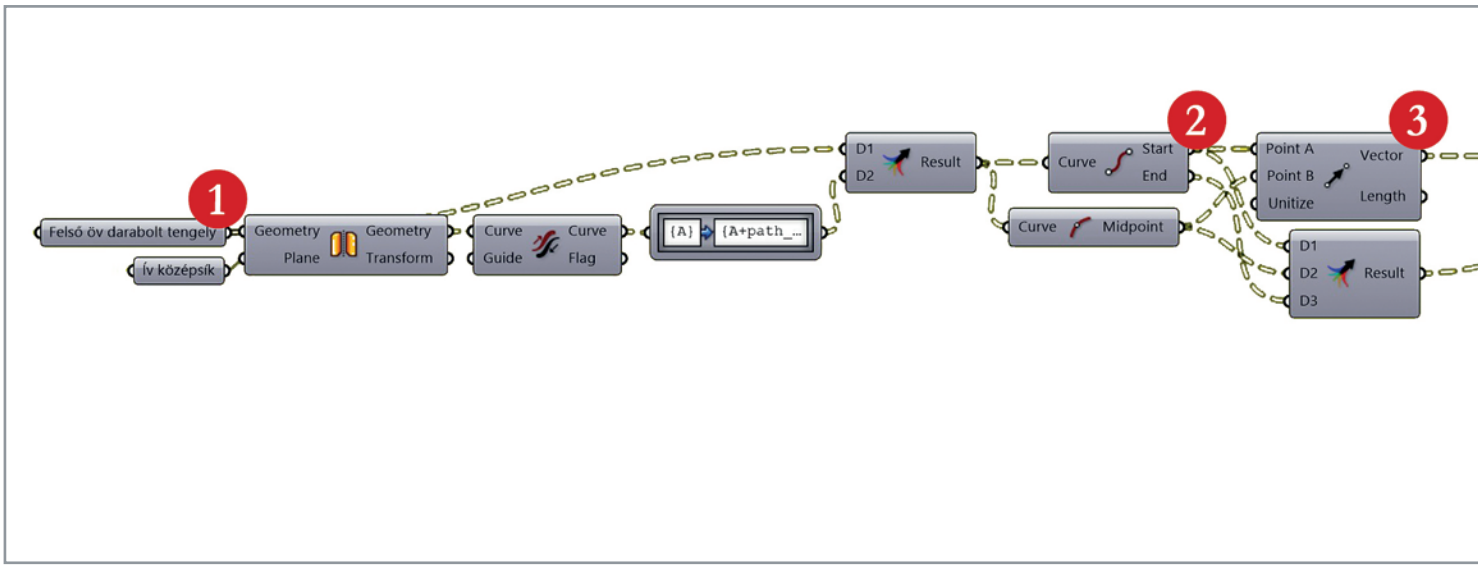
Pár példával illusztráljuk a korábbiakban felvázolt tervezési metodikát.

A drótváz, ami a szerkezet alapját adja, az adott híd méreteivel egyszerű szerkesztéssel előállítható. Az alábbi ábra az ívtengely előállításának folyamatát mutatja be.

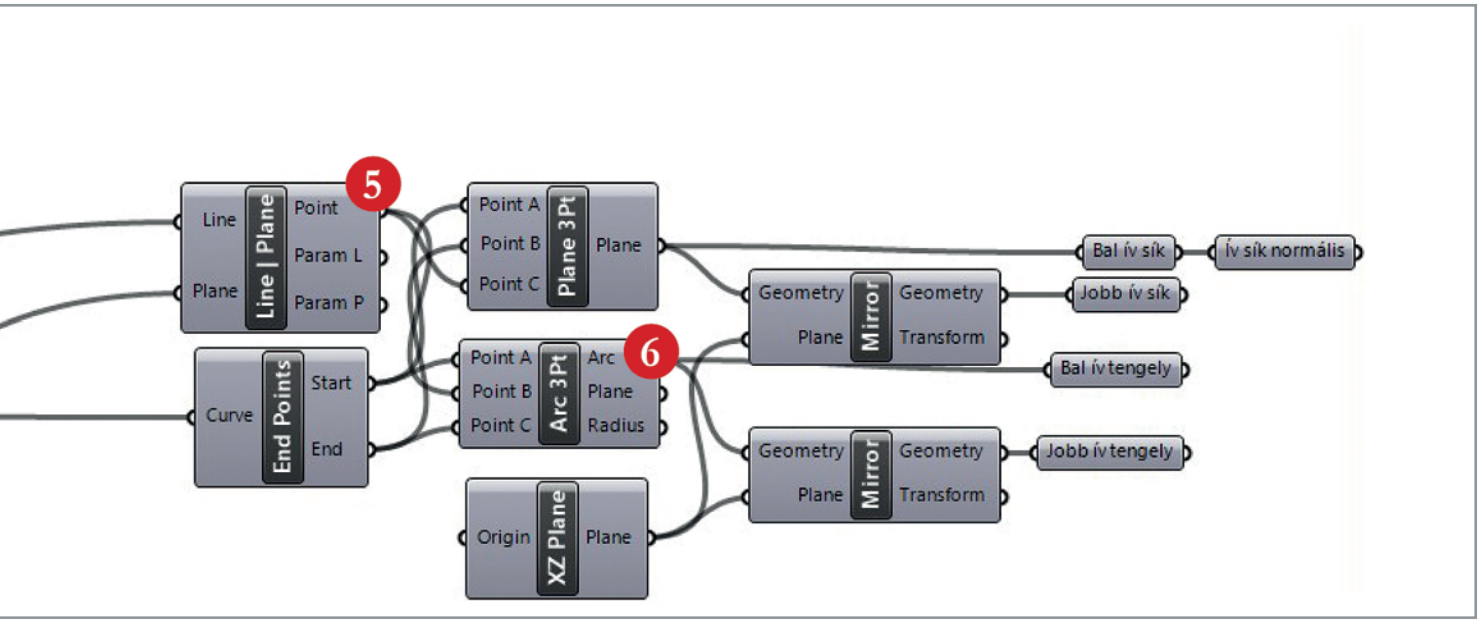
A főtartó tengely középpontját (1) az ívtengely magassággal (2) függőleges irányba eltolva meghatározunk egy vízszintes síkot (3). Ennek a síknak és a középpontból (1) induló, az ív dőlésszögével azonos irányú vektornak (4) a metszéspontja (5) meghatározza az ív tetőpontját. A főtartó tengely végpontjaira és a metszéspontra, mint középpontra illesztve megkapjuk az ívet (6) *(7. ábra)*.



8. ábra: Felső övlemezek tengelyei

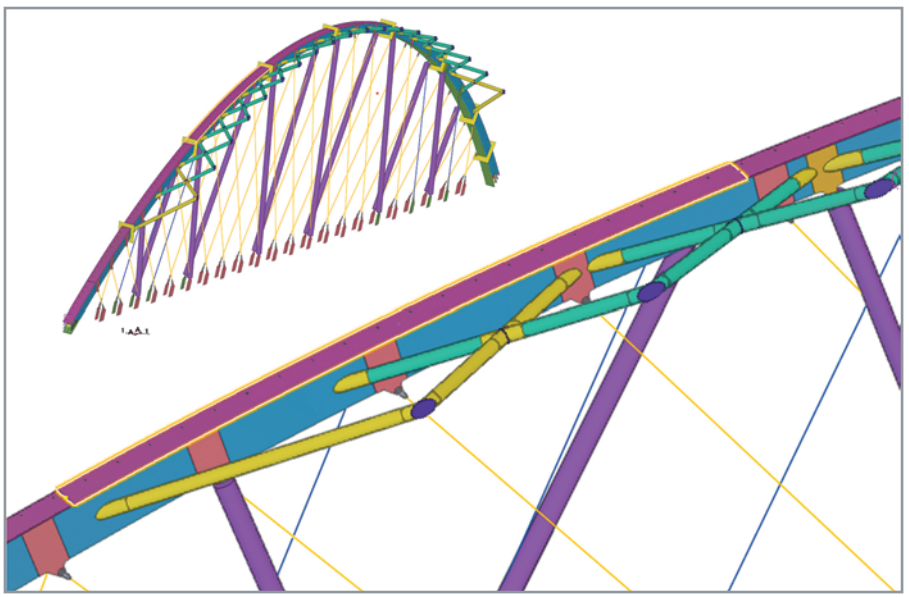


9. ábra: Ív felső öv Grasshopper-modellje

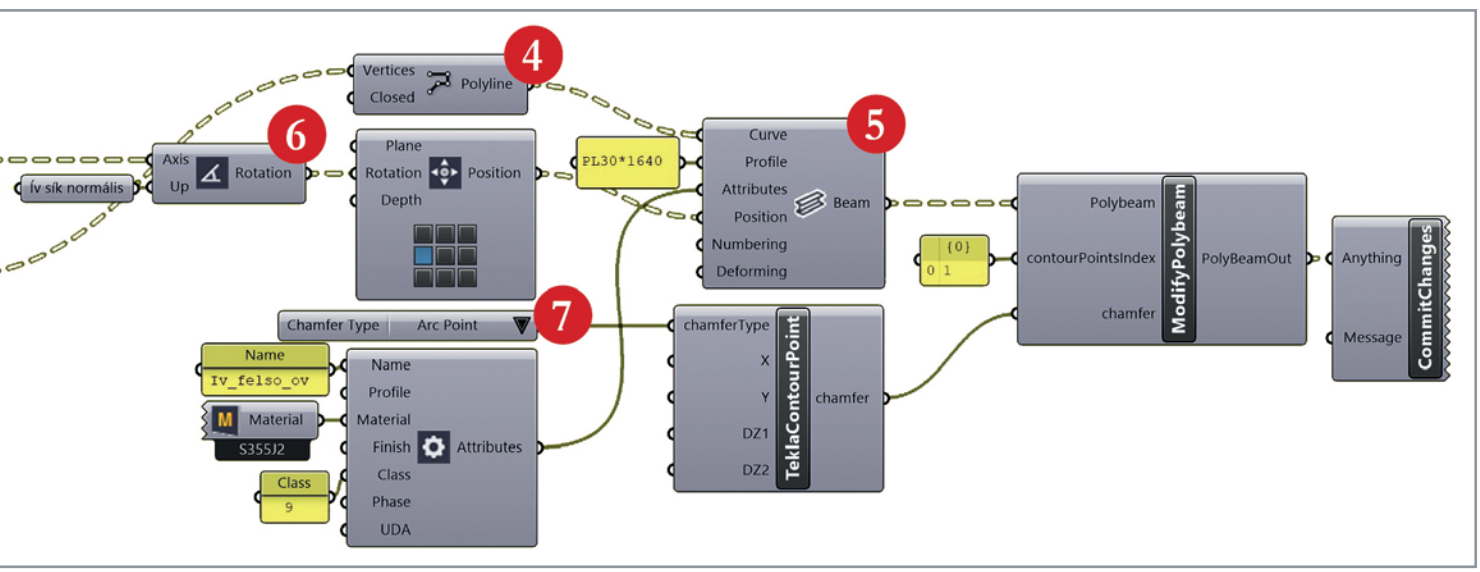


Tekla ív felső öv

Ezekből a görbékből már közvetlenül tudunk acélszerkezeti modellt előállítani. Miután az övlemezek tengelyeit a tervezett szerelési egységeknek megfelelően feldaraboltuk (1), meghatározzuk a szakaszok kezdő-, közép- és végpontjait (2). A pontok által meghatározott poligon (4) használható a Teklában mint elemtengely. A létrehozott Tekla-elemet (5) megfelelő irányvektorokkal (6) a középsíkhoz viszonyítva merőlegesbe forgatjuk, és további paraméterek (7) megadása után létrejön a kívánt övlemez 3 dimenziós modellje *(9. ábra)*.



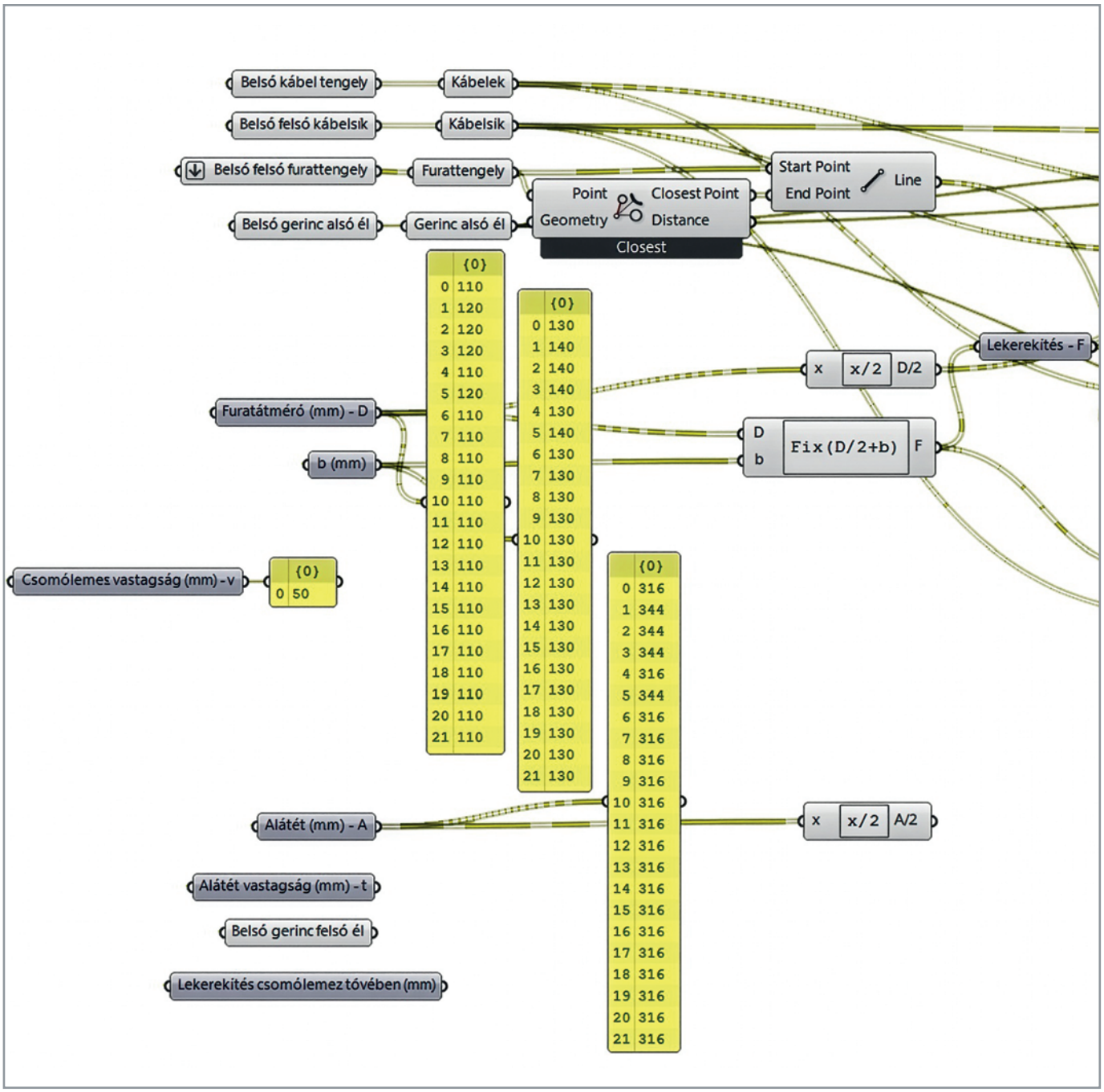
10. ábra: Ív felső öv – Tekla-modell



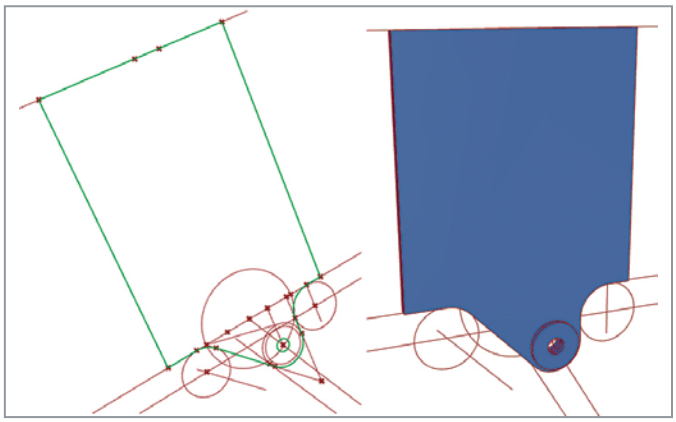
CSOMÓLEMEZEK KIALAKÍTÁSA

Némileg összetettebb a csomólemezek kialakítása. Grafikus (pl. kábelek tengelyei), numerikus (pl. csomólemez-vastagság) és lista (pl. kábelátmérőtől függő értékek mint a furatátmérő) paraméterek felhasználásával, az elemek mozgatásával, eltolásával, metszésével, vágásával, összefűzésével és új elemek létrehozásával megkapjuk a tervezett csomólemez kontúrját, illetve térbeli alakját.

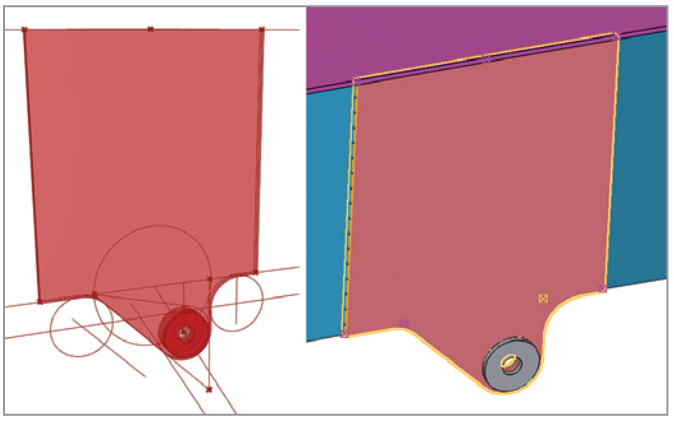
A végleges alakból a megfelelő pontok kiszűrésével tudjuk a Tekla-modellhez szükséges kontúrt megadni és a gyártmányhoz szükséges térbeli modellt megalkotni. Ezek a lépések automatikusan az összes elemet egyszerre állítják elő. Hasonló lépésekben a gyártmány minden elemére létrehoztuk az algoritmusokat. Így készült az öv- és gerinclemez, a hosszmerevítő bordák, a csomólemezek, a belső diafragmák a búvónyílásokkal és azok merevítőlemezei, a légzáró lemezek, rácsrudak és azok belső merevítései, a kiegészítő elemek, mint alpinista fül, világítás és kábeltartó konzolok. A folyamat végén a teljes ív acélszerkezeti modellje legalább 90%-ban előállt. A modellek alapján a tervek már hagyományos eljárással készültek. A parametrikus tervezés előnyét több szinten tudtuk kihasználni. Az első híd tervezése során a rugalmas változáskövetés volt hasznos. A felmerülő méretezési, technológiai vagy ütközési kérdéseket könnyen tudtuk kezelni vagy a paraméterek állításával, vagy a vonatkozó algoritmus átírásával. A második hídnál a már megszerzett tapasztalatok rendelkezésre álltak, ezért az alapméretek megadását követően némi finomhangolással töredékidő alatt előállt a szerkezet gyártmánymodellje.



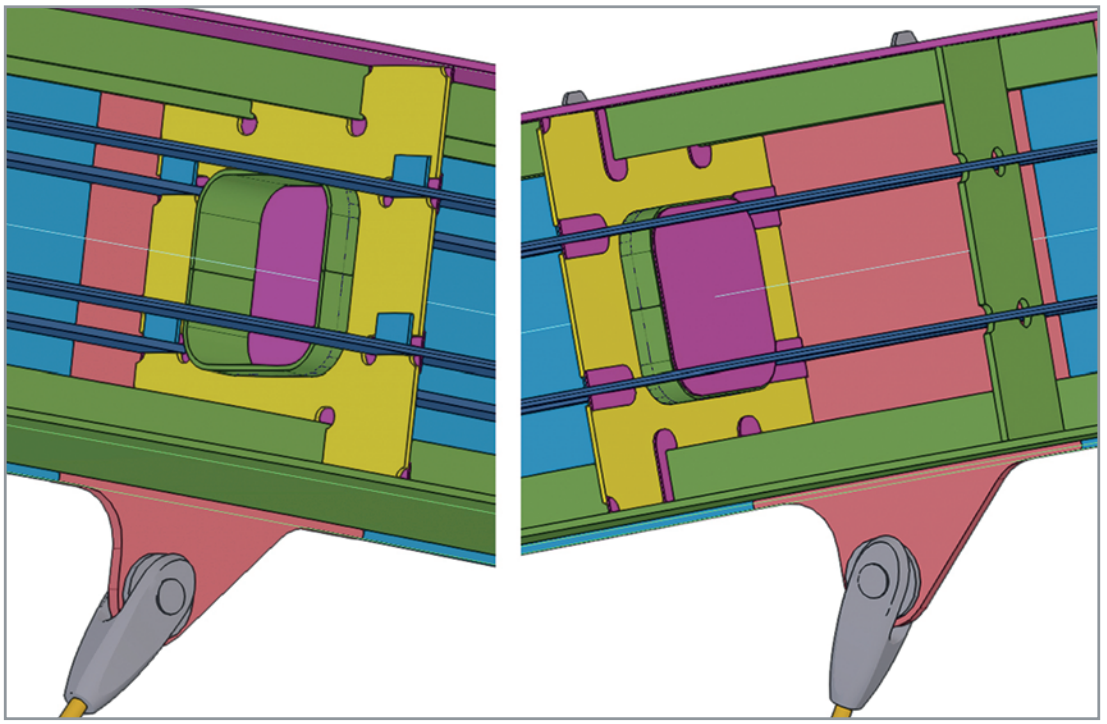
11. ábra: Csomólemezek paraméterei Grasshopperben



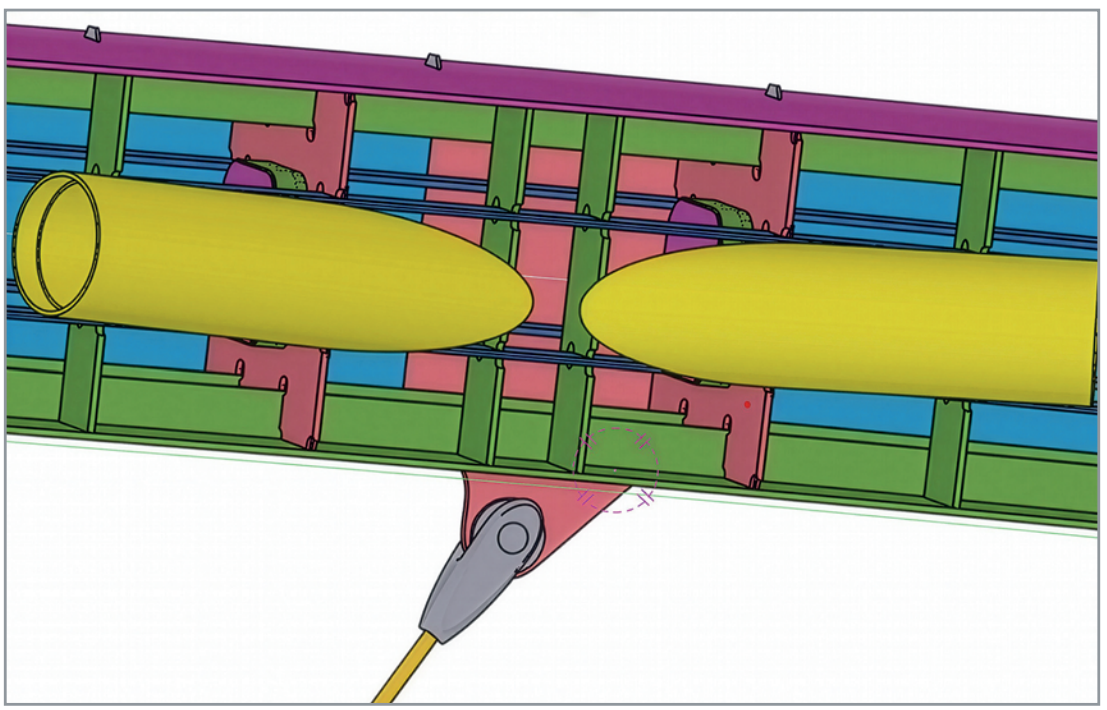
12. ábra: Csomólemezek váza



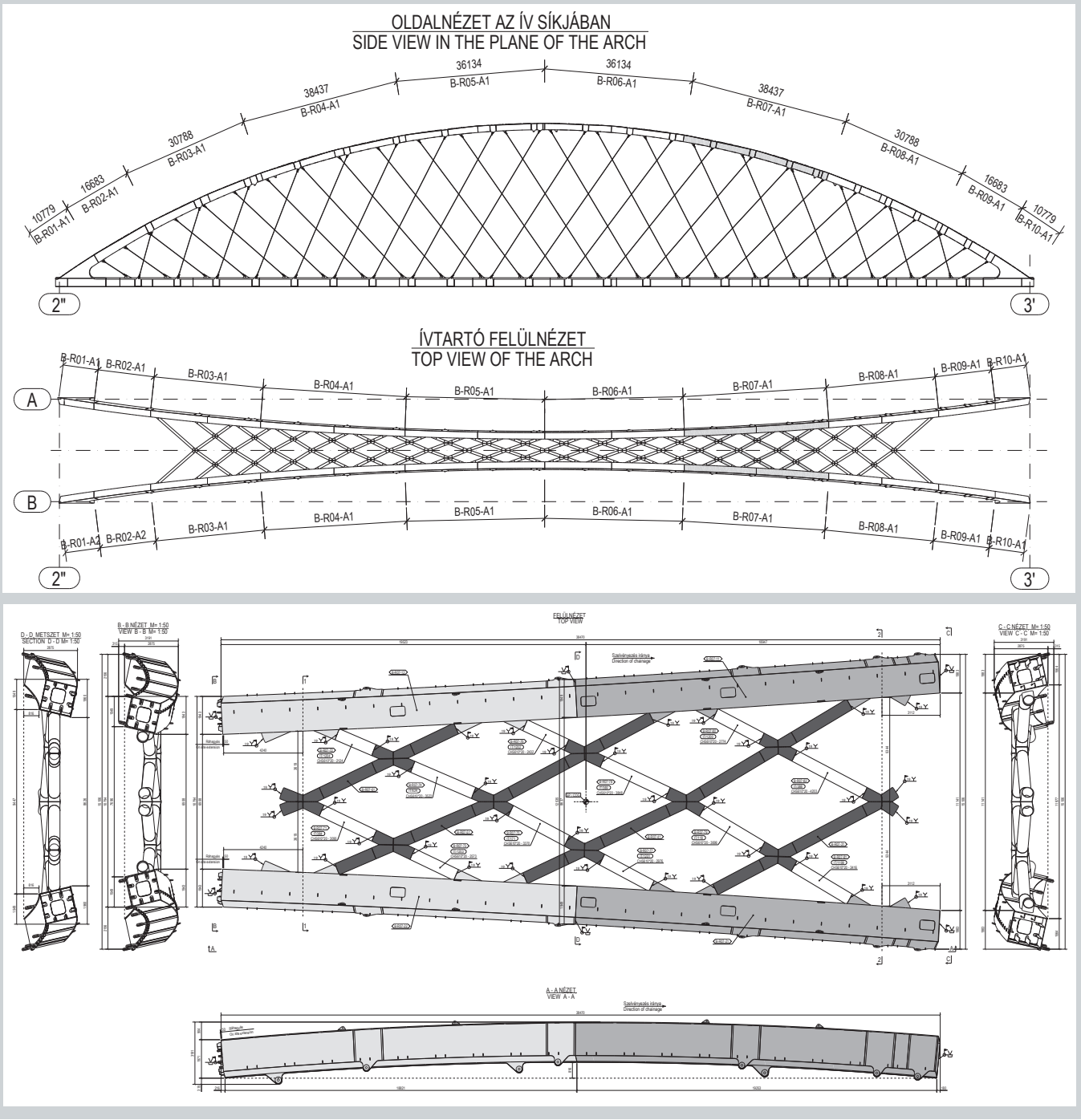
13. ábra: Csomólemezek átültetése Teklába



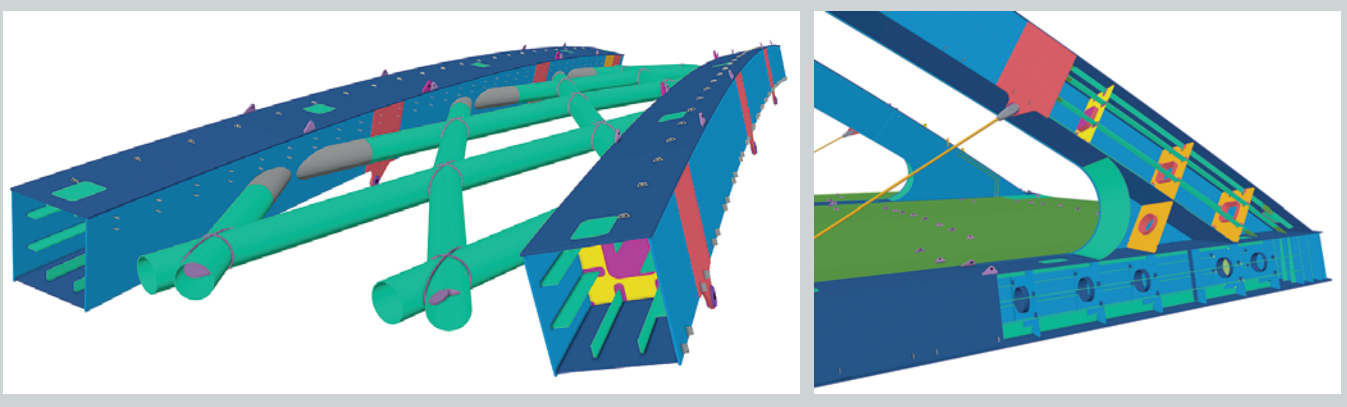
14. ábra: Csomólemezek ívtartón, Tekla-modell



15. ábra: Csomólemezek ívtartón, Tekla-modell



16. ábra: Ívtartó gyártmánytervei



17. ábra: Ívtartó gyártási egység és ívváll

INTEGRÁLT SZOFTVERKÖRNYEZET

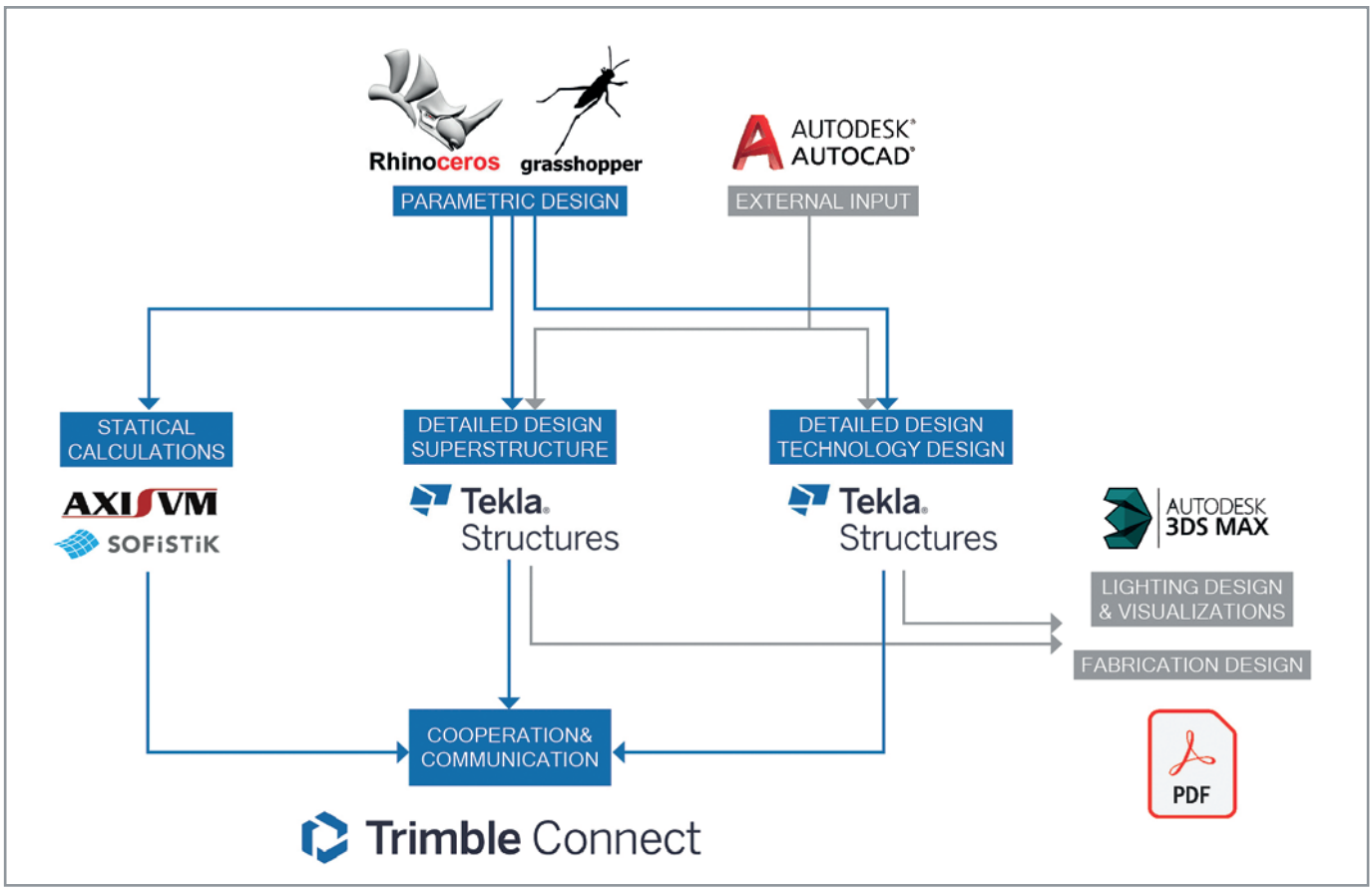
A teljes ívtartó és a pályaszerkezeten lévő csomólemezek modellezése Rhino & Grasshopper szoftverek segítségével történt. Nagy segítség volt a parametrikus tervezőszoftver annak érdekében, hogy az ívelt szerkezeti elemeket pontosan be tudjuk modellezni, illetve némely elemek kiosztását optimalizálni tudjuk.

A Grasshopper és Rhinoceros szoftverek minél integráltabb bevonása a tervezési folyamatba elősegíti a tervezési és modellezési folyamatot.

A statikusok és a modellezők közötti ellenőrzést Trimble Connectben végeztük el.

ÁBRAJEGYZÉK

1–18. ábra: SPECIÁLTERV Kft.
19. ábra: Lysis Kft.
20–23. ábra: Duna Aszfalt Zrt.



18. ábra: Integrált szoftverkörnyezet



19. ábra: Híd látványterve



20. ábra: A B3 híd építése, mohácsi oldal – 2026. március



21. ábra: A B1, B2 híd építése, újmohácsi oldal – 2026. március



22. ábra: A B3 híd építése, mohácsi oldal – 2026. április



23. ábra: A B1, B2 híd építése, újmohácsi oldal – 2026. április

Dr. Hajdú Gábor *egyetemi docens*
Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék
Dr. Hartmut Pasternak *egyetemi tanár*
BTU-Cottbus

GERINCLEMEZES TARTÓK NYÍRÁSI ELLENÁLLÁSA

SHEAR RESISTANCE OF PLATE GIRDERS

Jelen cikk röviden ismerteti a karcsú gerinclemezzel rendelkező hegesztett I tartók nyíróerő hatása alatt bekövetkező tönkremeneteli folyamatát. Az elmúlt években több laboratóriumi kísérletet is végrehajtottunk két- és háromtámaszú gerendák nyírási ellenállásának a meghatározása érdekében. A laboratóriumi kísérletek eredményei rávilágítottak arra, hogy a szabványos tervezési módszerek jellemzően konzervatívak. A nyírási tönkremeneteli folyamat mélyrehatóbb megismerésének érdekében fejlett numerikus modelleket fejlesztettünk és nagyszámú parametrikus vizsgálat eredményeit felhasználva megállapítottuk a különböző tervezési módszerek megbízhatóságát. A numerikus szimulációk eredményei alapján pedig egy Eurocode alapú tervezési eljárást is javasoltunk.

The present article briefly describes the failure mechanism of welded I-girders with slender webs under shear load. In recent years, several laboratory tests have been conducted to determine the shear resistance of simply-supported and continuous (two-span) beams. The experimental results highlighted that standard design methods are typically conservative. To gain a deeper understanding of the shear failure mechanism, advanced numerical models were developed. Based on the results of an extensive parametric study, the reliability of different design methods was evaluated. Furthermore, a new Eurocode-based design procedure is proposed, established upon the results of the numerical simulations.

BEVEZETÉS

A karcsú gerinclemezzel rendelkező, keresztirányban merevített acéltartók rendkívül széles körben alkalmazott szerkezeti elemek, ezért a nyíróerő hatása alatti viselkedésük pontos megértése elengedhetetlen. Wilson már a 19. század végén megfigyelte, hogy a karcsú gerinclemezes tartók a gerinclemez nyírási horpadását követően is képesek további terhek felvételére [1]. A gerenda teljes tönkremeneteléhez tartozó teherszint elérését megelőző többlet nyírási ellenállást az ún. posztkritikus teherbírási tartalék jelenlétével magyarázták a különböző tanulmányok [2]. Az elmúlt évtizedek tudományos vizsgálatainak egyik kiemelt célja ennek a mechanizmusnak a feltárása volt [3]. Ennek ellenére még mindig nem létezik olyan egzakt, zárt alakban felírható összefüggés, amely maradéktalanul leírná a gerinclemez viselkedését a horpadás utáni fázisban is. Jól példázza ezt az a tény, hogy a tartószerkezetek mechanikája tudományágán belül egyetlen más területen sem született még ennyi különböző elmélet egyazon probléma leírására [4]. Eltéréseik ellenére azonban ezek a modellek egy közös pontban megegyeznek: a horpadás utáni teherbírást valamilyen formában kivétel nélkül az ún. „húzottmező-hatás” feltételezésével magyarázzák. A szakirodalom ezeket a megközelítéseket összefoglaló néven húzottmező-elméleteknek (angolul: tension-field theories) nevezi.

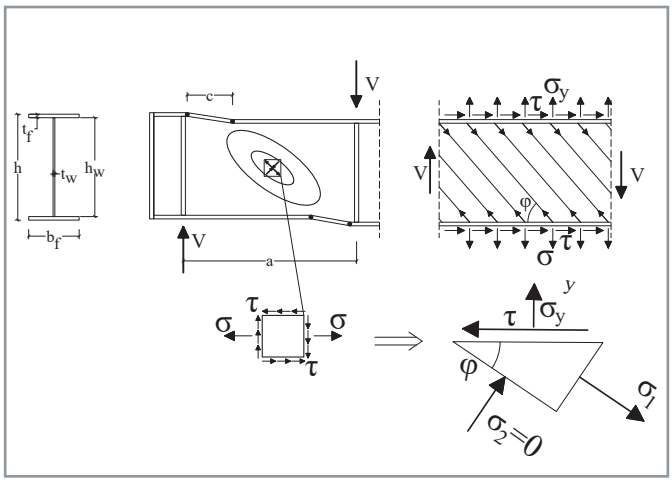
A rendelkezésre álló eljárások átfogó irodalmi áttekintését Galambos [5], illetve Ziemian [6] munkái nyújtják. A szerkezetépítési gyakorlatban három fő elmélet vált meghatározóvá: a Basler-féle modell [7], az ún. Cardiff-modell [8], valamint a Höglund-féle forgatott feszültségmezős eljárás (angolul: rotated stress field theory [9]). A Cardiff-modell tönkremeneteli mechanizmusa azon az alapfeltevésen nyugszik, hogy a gerinclemez horpadása után a keresztirányú húzó membránfeszültségek hatására az öveken egyenletesen megoszló teher keletkezik, aminek következtében a hajlított övlemezekben fokozatosan alakulnak ki a képlékeny csuklók, ami a gerenda végső tönkremeneteléhez vezet. Ami a nemzetközi tervezési előírásokat illeti, az európai szabványok [10] a Cardiff-modellre és Höglund módszerére építenek, míg az amerikai szabályozás [11] a Basler-féle elméletet implementálja. Ezeknek az eljárásoknak a legmeghatározóbb elméleti különbségei jellemzően két paraméterben: a gerincben kialakuló húzott feszültségsáv kiterjedésének nagyságában, valamint az övekben megjelenő képlékeny csuklók egymástól mért távolságában mutatkoznak meg.

Jelen tanulmány az elmúlt években elvégzett kutatási munka eredményeit mutatja be. A laboratóriumi vizsgálatok elsődleges célja a gerinclemezes tartók nyírási ellenállásának meghatározása, valamint a kísérletek alapján létrehozott fejlett, nemlineáris végeselemes modell validálása volt. A validált numerikus modell alkalmazásával végzett paraméteres vizsgálat segítségével feltártuk a kulcsfontosságú geometriai jellemzők (például a gerinclemez vastagsága és a tartóhossz) nyírási teherbírásra gyakorolt hatását. A paraméteres elemzés eredményei részletes és mélyreható képet nyújtanak a gerinclemezes tartók nyírási horpadási mechanizmusáról, ezáltal a szerkezeti válasz sokkal átfogóbb és általánosabb értékelését teszik lehetővé annál, mint amit az önmagukban álló kísérleti vizsgálatokkal el lehetne érni. Végezetül a tanulmány értékeli az új EN 1993-1-5:2024 [10], illetve az AISC 360-22 [11] tervezési szabványokban rögzített eljárások pontosságát. A paraméteres kutatás eredményeire támaszkodva egy Eurocode-konform tervezési eljárást is kidolgoztunk. A kutatási eredményeink angol nyelvű, bővített változata a Thin-Walled Structures folyóiratban jelent meg [12–13].

2. SZABVÁNYOS TERVEZÉSI ELJÁRÁSOK

Az MSZ EN 1993-1-5:2024 szabványban a gerinclemez nyírási ellenállásának meghatározása a Höglund-féle forgatott feszültségmezős eljáráson alapul [10]. A módszer alapgondolata könnyen szemléltethető: a nyírásra igénybe vett gerinclemezt egy rácsos tartóként modellezi, amely

ferde húzott, és az ezekre merőleges nyomott rudakból áll. Az eljárás egyszerűsítése, hogy a keresztirányú membránfeszültségek hatását teljesen figyelmen kívül hagyja. A nyírt gerinclemez tönkremeneteli mechanizmusát, valamint a Höglund által feltételezett feszültségállapotot az *1. ábra* mutatja be. A tönkremenetel során a gerinclemez középső része kihajlik, és a kialakuló húzott mező hatására az övlemezek meghajlanak. Ezen hatások eredőjeként az övlemezekben, a keresztirányú merevítőktől „c" távolságra képlékeny csuklók jönnek létre. Höglund elmélete alapján a teljes tönkremenetelt a gerinclemezben kialakuló ferde húzott mező folyása és az övekben létrejövő képlékeny csuklók együttes fellépése okozza.



1. ábra: Geometriai jelölések, tönkremeneteli alak és a Höglund által feltételezett feszültségállapot

A négy oldalán megtámasztott gerinclemez nyírási ellenállása ($V_{b,Rd}$) az MSZ EN 1993-1-5:2024 szabvány szerint függ a gerinclemez nyírási horpadási ellenállásától ($V_{bw,Rd}$) és az övek hozzájárulásától a nyírási horpadáshoz ($V_{bf,Rd}$). A gerinclemez nyírási ellenállása nem lehet nagyobb a keresztmetszet nyírási ellenállásánál:

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \le h_w t_w \frac{\eta \cdot f_{yw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \tag{1}$$

ahol h_w a gerinc magassága, t_w a gerinc vastagsága, η az anyagminőségtől függő tényező, f_{yw} a gerinc anyagának folyáshatára és γ_{M1} a parciális biztonsági tényező. A gerinclemez nyírási horpadási ellenállása:

$$V_{bw,Rd} = \chi_w \cdot h_w \cdot t_w \frac{f_{yw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \tag{2}$$

ahol a nyírási horpadási csökkentőtényező χ_w nem merev véglehorgonyzást biztosító gerendavég esetén:

$$\chi_w = \eta \qquad \text{ha} \qquad \bar{\lambda}_w < \frac{0.83}{\eta} \tag{3.a}$$

$$\chi_w = \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} \qquad \text{ha} \qquad \bar{\lambda}_w \ge \frac{0.83}{\eta} \tag{3.b}$$

merev véglehorgonyzást biztosító gerendavég-kialakítás esetén pedig:

$$\chi_w = \eta \qquad \text{ha} \qquad \bar{\lambda}_w < \frac{0.83}{\eta} \tag{4.a}$$

$$\chi_w = \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} \qquad \text{ha} \qquad \frac{0.83}{\eta} \le \bar{\lambda}_w < 1.08 \tag{4.b}$$

$$\chi_w = \frac{1.37}{0.7 + \bar{\lambda}_w} \qquad \text{ha} \qquad \bar{\lambda}_w \ge 1.08 \tag{4.c}$$

a fenti összefüggésekben $\bar{\lambda}_w$ a gerinclemez viszonyított horpadási karcsúsága. Az övek hozzájárulásának a nagysága a nyírási horpadási ellenálláshoz, amely feltételezi az övekben kialakuló képlékeny csuklók kialakulását *(1. ábra)*:

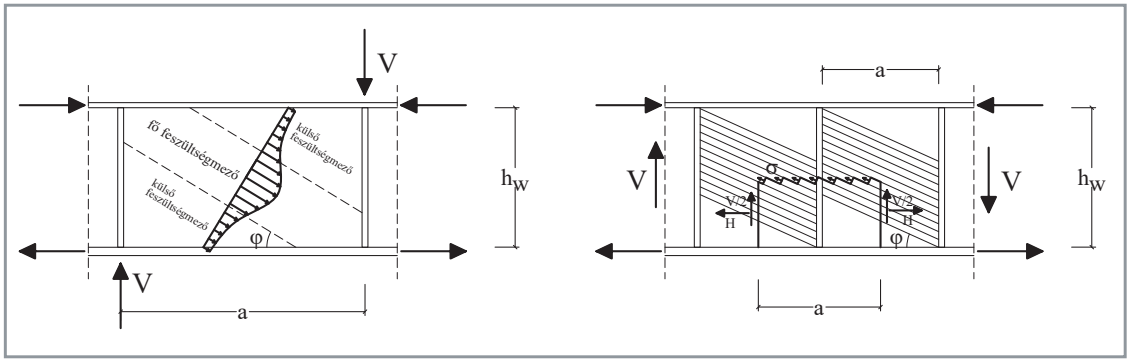
$$V_{bf,Rd} = \frac{b_f \cdot t_f^2}{c} \frac{f_{yf}}{\gamma_{M1}} \left[1 - \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right] \tag{5}$$

ahol a merevítőborda és a képlékeny csukló közötti távolság:

$$c = a \left(0.25 + \frac{1.6 \cdot b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right) \tag{6}$$

A fenti összefüggésekben b_f és t_f az öv szélessége és vastagsága, f_{yf} az öv folyáshatára, a a merevítőbordák közötti távolság és az $M_{f,Rd}$ az öv erős tengely körüli hajlítónyomatékkal szembeni ellenállása.

Az ANSI/AISC 360-22 szabvány „G" fejezete tartalmazza a gerinclemezes tartók nyírási ellenállásának meghatározására szolgáló eljárásokat függetlenül attól, hogy a gerinclemez merevített-e vagy sem [11]. A szabványban található eljárást a Basler-féle elméleten nyugvó modell alapján hozták létre, amely a gerinclemez horpadás előtti és horpadás utáni többletnyíróerő felvételére is alkalmas. A *2. ábra* bal oldali része a húzott feszültségmező általános eloszlását szemlélteti. Basler a nyírásnak kitett gerinclemezben egy ferde határolóvonalakkal definiált húzott sávot feltételezett (lásd a *2. ábra* jobb oldalán), majd ezen kijelölt tartomány egyensúlyi állapotának vizsgálatával vezette le a maximális nyíróerő meghatározására alkalmas összefüggést.



2. ábra: A húzott mező általános eloszlása közbenső gerinclemezmező esetén

A közbenső lemezmező karakterisztikus nyírási ellenállása a húzott mező hatását is figyelembe véve [11]:

$$V_{b,Rk} \quad 0.6 \cdot f_{yw} \cdot A_w \quad \text{ha} \quad h_w/t_w \quad 1.10\sqrt{k_v E/f_{yw}} \tag{7}$$

Amennyiben fennáll a $h_w/t_w > 1.10\sqrt{k_v E/f_{yw}}$ feltétel, és az alábbi kritériumok is teljesülnek

$$2A_w/\left(A_{fc}+A_{ft}\right) \le 2.5, \quad h_w/b_{fc} \le 6.0 \quad \text{és} \quad h_w/b_{ft} \le 6.0$$

a gerinclemez nyírási ellenállása:

$$V_{b,Rk} = 0.6 \cdot f_{yw} \cdot A_w \left[C_{v2} + \frac{1 - C_{v2}}{1.15\sqrt{1 + \left(a/h_w\right)^2}} \right] \tag{8}$$

Ellenkező esetben:

$$V_{b,Rk} = 0.6 \cdot f_{yw} \cdot A_w \left[C_{v2} + \frac{1 - C_{v2}}{1.15\left[a/h_w + \sqrt{1 + \left(a/h_w\right)^2}\right]} \right] \tag{9}$$

ahol C_{v2} a gerinclemez nyírási teherbírási tényezője, A_w a gerinclemez területe, k_v gerinclemez nyírási horpadási tényezője, b_{fc} és b_{ft} a nyomott, illetve a húzott öv szélessége, A_{fc} és A_{ft} a nyomott, valamint a húzott öv keresztmetszeti területe, a a merevítőbordák közötti távolság, és E a gerinclemez anyagának rugalmassági modulusa.

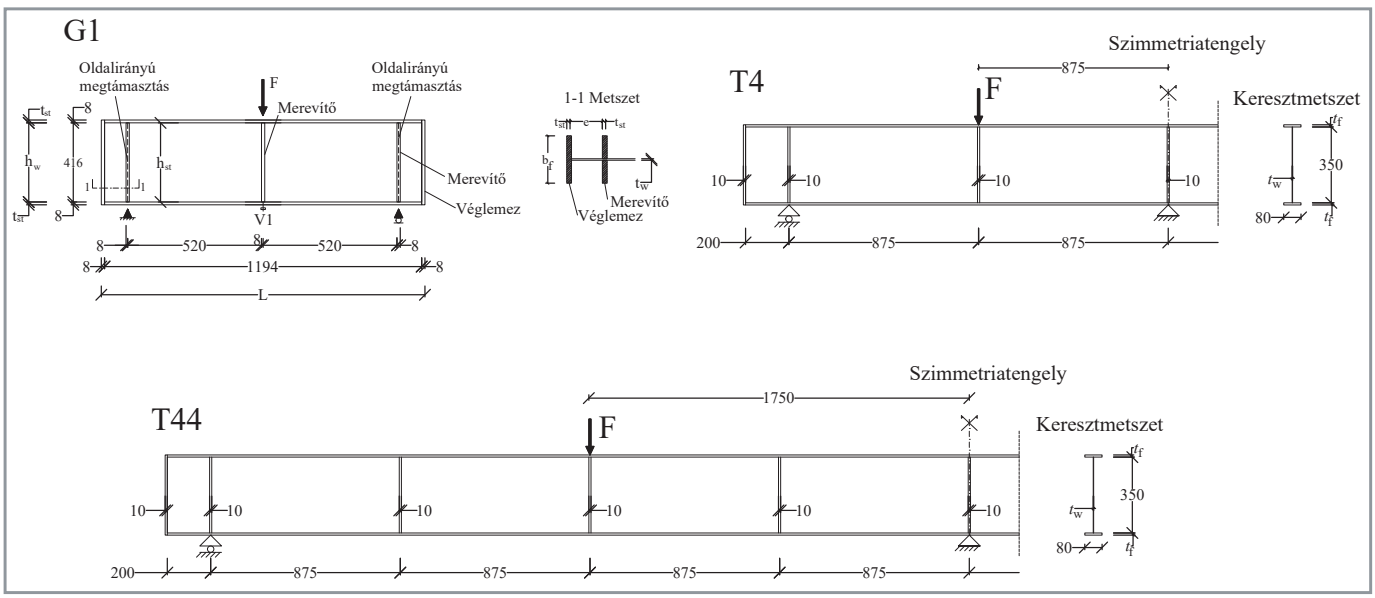
Összegezve megállapítható, hogy a gerinclemez nyírási ellenállásának meghatározása alapvetően eltér az EN 1993-1-5:2024 és az AISC 360-22 szabványok között, mivel azok eltérő mechanikai modelleken alapulnak. Míg az Eurocode a horpadás utáni teherbírás számításához a forgatott feszültségmezős eljárást alkalmazza, addig az AISC a Basler-féle húzottmező-elméletre épül. További különbség mutatkozik abban is, hogy a szabványok milyen mértékben teszik lehetővé a horpadás utáni teherbírás figyelembevételét. Az AISC 360-22 külön képleteket ad meg a húzott mező hatásának elhanyagolására és figyelembevételére, így a tervező dönthet konzervatívabb vagy gazdaságosabb megközelítés között, míg az EN 1993-1-5:2024 a horpadás utáni többletteherbírást integrált módon kezeli. Mindezek eredményeként a két szabvány szerinti méretezés különösen érzékeny lehet a karcsúsági viszonyokra, a merevítők kiosztására, valamint az övek hajlítási és húzási merevségére, ami a gyakorlati tervezés során eltérő biztonsági szintekhez vezetnek.

3. TEHERBÍRÁS-VIZSGÁLATOK

A várható teherbírás meghatározásához és a fejlett numerikus modellek validálásához elengedhetetlenek a laboratóriumi kísérletek. E célból a Brandenburgi Műszaki Egyetem cottbusi szerkezetvizsgáló laboratóriumában kísérletsorozatot végeztünk, amely során két- és háromtámaszú tartók teherbírását határoztuk meg. A teher- és támaszelrendezéseket a *3. ábra* szemlélteti. A kísérletek elsődleges célja a különböző statikai elrendezésű, hegesztett I szelvényű tartók nyírási ellenállásának pontos meghatározása volt.

A kéttámaszú gerendák teljes magassága $h = 432$ mm, az övek szélessége $b = 150$ mm, a gerinc vastagsága $t_w = 1$ mm, az övek vastagsága $t_f = 8$ mm, a gerendavég és a támasznál lévő merevítőborda közötti távolság $e = 65$ mm volt *(3. ábra)*. A G1 jelű kialakítás esetén vizsgáltunk olyan esetet is, ahol a gerenda végén nem helyzetünk el véglemezt. Az övek anyagminősége S355-ös szerkezeti acél, melynek a folyáshatára $f_{yf} = 387$ N/mm². A gerinc anyagminősége DC01(1.033), melynek a folyáshatára $f_{yw} = 187$ N/mm². A DC01 jelű acélanyagot hideghengerléssel állítják elő. Ezt az anyagot az autóiparban előszeretettel alkalmazzák, mivel nagy alakváltozásokat képes elviselni és könnyű hegeszteni. A háromtámaszú gerendák esetén a rövidebb sorozat elemei 1750 mm-es fesztávval, míg a hosszabb sorozat darabjai 3500 mm-es támaszközzel rendelkező, négy mezőre tagolt elemek voltak. A próbatesteket a felső övlemezen, az egyes nyílások felezőpontjában működtetett, egyidejű függőleges erőkkel terheltük meg.

A vizsgált próbatestek geometriai paramétereit, anyagjellemzőit és határteherbírási értékeit az *1. táblázat* tartalmazza. A táblázatban feltüntettük a gerincmagasság és vastagság arányát is, ami jól szemlélteti a gerinclemez nagymértékű karcsúságát.



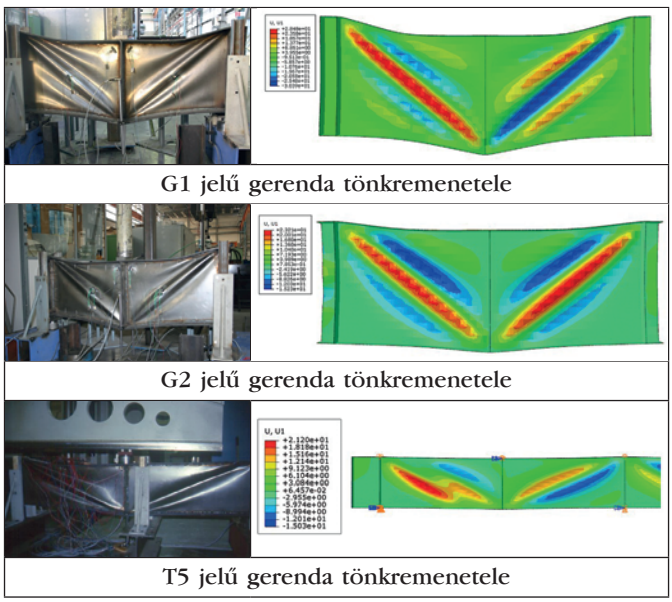
3. ábra: A laboratóriumi vizsgálatokhoz használt gerendák teher és támaszelrendezése

1. táblázat: A vizsgált próbatestek geometriai jellemzői

Girder	t_w [mm]	h_w/t_w	b [mm]	t_f [mm]	$f_{y,w}$ [N/mm²]	$f_{u,w}$ [N/mm²]	$f_{y,f}$ [N/mm²]	$f_{u,f}$ [N/mm²]	F_u [kN]
G1	1,00	416	150	8,0	187	315	387	525	94,0
G2	1,00	416	150	8,0	187	315	387	525	78,0
T4	1,50	233	80,0	10,0	323	405	289	447	83,0
T5	1,00	350	80,0	10,0	281	326	289	447	40,0
T44	1,50	233	80,0	10,0	169	310	282	439	58,0
T55	1,00	350	80,0	10,0	261	359	282	439	35,0

A kísérleti próbatestek numerikus modelljeit az Abaqus CAE általános célú végeselemes szoftverben készítettük el [14]. A modellépítés során S4R típusú, négycsomópontos héjelemeket alkalmaztunk, az anyagmodellek paramétereit pedig saját szakítóvizsgálatok eredményei alapján definiáltuk. A numerikus szimuláció két lépcsőben valósult meg: elsőként rugalmas stabilitásvizsgálatot hajtottunk végre a legkisebb sajátértékhez tartozó sajátalakok meghatározására. Ezután a gerinclemez nyírási horpadási alakját kezdeti geometriai tökéletlenségként ($h_w/200$ amplitúdóval) figyelembe véve, nemlineáris Riks-analízist futtattunk a várható teherbírás meghatározásához. A numerikus modellek tönkremeneteli formái kiváló egyezést mutattak a laboratóriumi kísérletek során tapasztaltakkal *(4. ábra)*, a számított határteherbírások és a mért értékek közötti eltérés pedig minden esetben 10%-on belül maradt.

A két eredmény közötti jó egyezés igazolja az alkalmazott numerikus modell alkalmasságát a gerinclemez horpadás utáni viselkedésének leírására. A vizsgált esetekben jól megfigyelhető a nyírási horpadást követően kialakuló ferde húzott mező , amely a teherátadás domináns mechanizmusává válik. A numerikus modell elmozdulásmezői egyértelműen kirajzolják a húzott mező irányát, amely közel egyenes sávok mentén alakul ki, és a támaszok illetve a terhelési pontok között feszül ki. Ez a viselkedés összhangban áll a klasszikus húzottmező-elmélettel, amely szerint a horpadást követően a nyírási teherbírás jelentős része a lemez síkjában ébredő húzófeszültségek által, membránszerű mechanizmuson keresztül adódik át.



4. ábra: A különböző gerendák jellemző tönkremeneteli módja

Az egyes gerendák esetében jellemzően hasonló tönkremeneteli módok figyelhetők meg. A G1 és G2 jelű próbatesteknél a húzott mező mind a két lemezmezőben kialakul, és a teherbírást a gerinclemez jelentős mértékű folyása határozza meg. Ezzel szemben a T4 jelű tartó esetében a deformáció aszimmetrikus jellegű, ami arra utal, hogy a merevítések, illetve a peremfeltételek korlátozzák a húzott mező teljes kifejlődését. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a gerinclemez nyírási teherbírásának pontos meghatározásához elengedhetetlen a horpadás utáni viselkedés figyelembevétele, valamint a húzott mező kialakulását befolyásoló tényezők (pl. a lemez karcsúsága, a merevítők kiosztása, az övek merevsége stb.) megfelelő modellezése. A validálás eredményei alapján a numerikus modell alkalmasnak bizonyult a további paraméteres vizsgálatok elvégzésére.

4. NUMERIKUS VIZSGÁLATOK

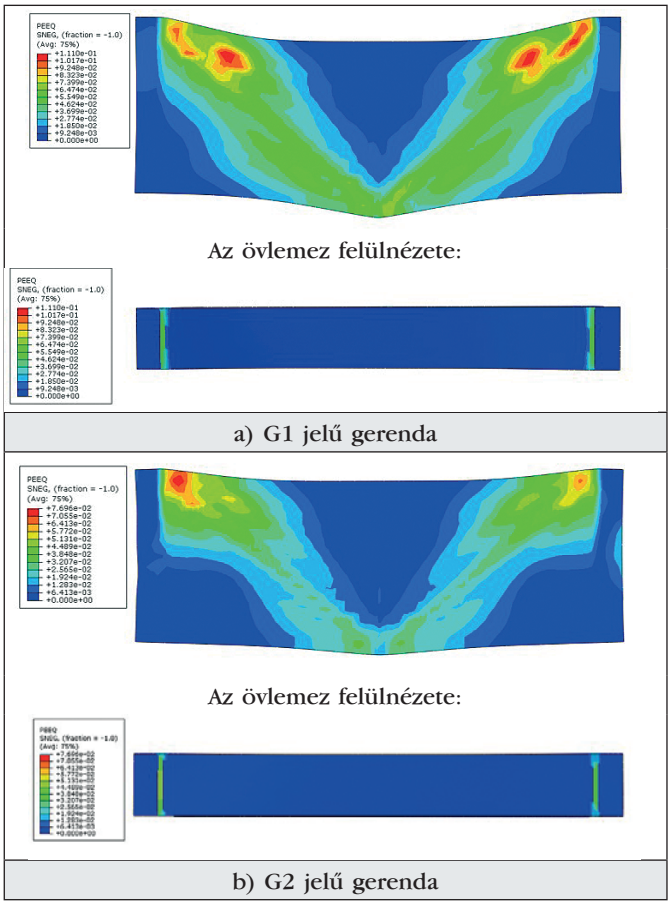
Ebben a fejezetben a laboratóriumi vizsgálatok alapján validált végeselemes modell segítségével végrehajtott numerikus szimulációk eredményeit mutatjuk be és elemezzük részletesen. A kutatás ezen szakaszának célja a hegesztett I tartók nyírási horpadási viselkedésének mélyebb megismerése, különös tekintettel a különböző végkialakítások és a támaszelrendezések hatásaira.

A fejezet első részében a kéttámaszú tartók teherbírását meghatározó feszültségállapotokat és képlékeny alakváltozási mezőket vizsgáljuk a teherbíráshoz tartozó teherszinten. Ezt követően a többtámaszú gerendák gerinclemezének horpadási, valamint a húzottmezőhatás kialakulásának a folyamatát elemezzük. A numerikus modell eredményei alapján mélyebben betekintést nyerhetünk a karcsú gerinclemezzel rendelkező gerendák tönkremeneteli folyamatáról, alapot szolgáltatva a paraméteres vizsgálatokhoz és a szabványos tervezési eljárások pontosságának értékeléséhez.

4.1 Kéttámaszú gerendák

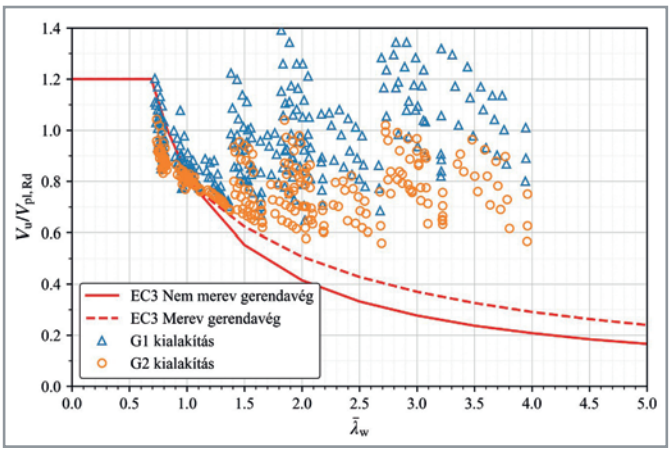
Az *5. ábrán* a G1 és G2 jelű gerinclemezes tartók nemlineáris végeselemes analíziséből származó eredményei láthatók a tönkremenetelhez tartozó teherszinten. Az ábrák a gerinclemezeknek és a felső öveknek az ekvivalens képlékeny alakváltozását (PEEQ) mutatják. A PEEQ egy skalár változó, amely az anyag képlékeny alakváltozását reprezentálja. Az ábrán a sötétkék területek azt jelzik, hogy az anyag ott még rugalmasan viselkedik. A képlékeny alakváltozások eloszlása jól kirajzolja a diagonális húzott mező kialakulását, amely a gerinclemez fokozatos horpadásával aktivizálódik. Megfigyelhető, hogy merev gerendavég alkalmazása esetén a képlékeny zóna szélessége nagyobb és homogénebb.

Mind a két esetben a támaszok közelében a felső övlemezeknél jelentős képlékenyedés tapasztalható, ami a húzóerő lehorgonyzásának meghatározó szerepére utal. A G1 jelű gerenda a merev gerendavég-kialakítás miatt nagyobb mértékben képes lehorgonyozni a kialakult húzóerőket a lemezhorpadás után, anélkül, hogy a gerinclemez síkból való deformációja jelentős mértékben növekedne. Ha az övek ekvivalens képlékeny alakváltozásait vizsgáljuk, látható, hogy a felső övben csak 1 darab képlékeny csukló alakul ki. A Höglund-féle modellben feltételezett tönkremenetel ezekben az esetekben nem jött létre. Az eredmények összességében megerősítik, hogy a gerinclemez nyírási teherbírásának meghatározása során nem elegendő a horpadás előtti állapot vizsgálata, hanem elengedhetetlen a horpadás utáni feszültség átrendeződésének és a képlékeny zónák kialakulásának figyelembevétele is.



5. ábra: A G1 és G2 jelű kéttámaszú gerendák ekvivalens képlékeny alakváltozásai

Az *5. ábra* rávilágított arra, hogy a gerendavég-kialakítás típusa jelentősen befolyásolja a gerinclemezben kialakuló húzott mező nagyságát. A *6. ábra* a gerinclemez karcsúságának ($\bar{\lambda}_w$) függvényében mutatja be a különböző gerendavég kialakításának hatását a nyírási ellenállásra ($V_u/V_{pl,Rd}$) összehasonlítva az EN 1993-1-5:2024 (EC3) nyírási horpadási görbéivel. Megállapítható, hogy a gerendák teherbírása a legtöbb esetben meghaladja a szabványos nyírási horpadási ellenállás értékét. A diagram szemléletesen igazolja, hogy a merev gerendavég-kialakítás (Rigid End Post) alkalmazása jelentős többletellenállást biztosít a nem merev kialakításhoz képest. Ennek oka a lemezhorpadás utáni posztkritikus állapotban keresendő: a merev lezárás lehetővé teszi a gerinclemezben egy szélesebb és homogénebb húzott mező kialakulását. A G1 és G2 jelű kialakítások összevetése során látható, hogy a kék háromszögekkel jelölt G1 konfiguráció szisztematikusan magasabb ellenállást mutat. Fontos megfigyelés, hogy a mérési pontok jelentős része az 1,0-es érték felett helyezkedik el, ami azt jelenti, hogy a tartók tényleges teherbírása még a képlékeny nyírási ellenállást is meghaladja. Ez a többlet a gerinclemez és az övlemezek közötti együttműködésből adódik, mivel a merev övlemezek képesek korlátozni a gerinclemez deformációját és további terheket átvenni. Összességében a *6. ábra* jól szemlélteti, hogy a merevítőelemek megfelelő elhelyezése kulcsfontosságú a szerkezeti hatékonyság növelésében és az anyagkihasználtság optimalizálásában.



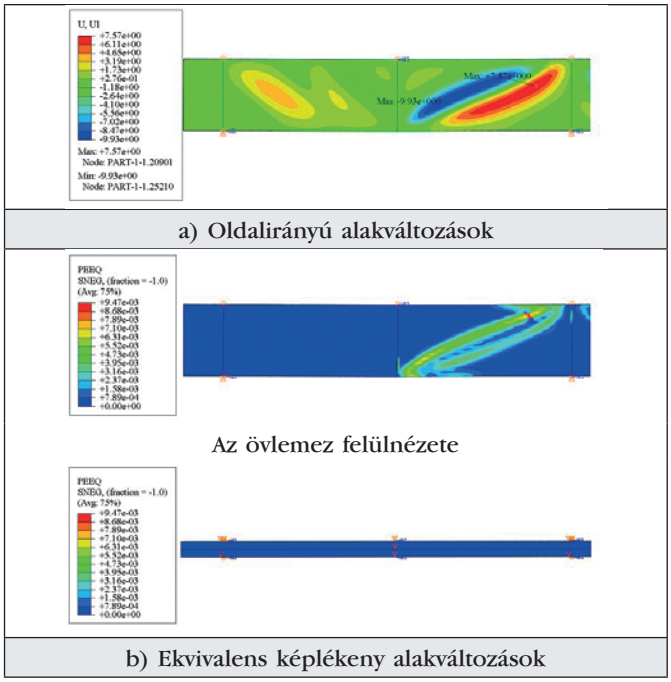
6. ábra: A gerinclemez-karcsúság és a gerendavég-kialakítás hatása a relatív nyírási ellenállásra az EN 1993-15-5:2024 összefüggéseinek tükrében

4.2 Többtámaszú gerendák

A *7. ábra* a T4 jelű háromtámaszú gerenda oldalirányú (síkra merőleges) alakváltozásait, valamint a gerincben és az övekben kialakuló képlékeny alakváltozásokat mutatja. Az EN 1993-1-5:2006 [15] előírásait követve $h_w/200$ amplitúdójú kezdeti geometriai tökéletlenséget alkalmaztunk, amelynek alakját a gerinclemezre jellemző, első rugalmas horpadási sajátalak határozta meg. A modell egyszerűsítése érdekében a vizsgált tartó S235 minőségű szerkezeti acélból készült, $f_y = 235$ N/mm^2 folyáshatárral. Az alkalmazott anyagmodell a prEN 1993-1-14 [16] javaslata szerinti, felkeményedő szakaszzal rendelkező kvázilineáris feszültség–alakváltozás összefüggést követi.

A gerinclemez oldalirányú (síkra merőleges) alakváltozási ábrája a közbenső támasz melletti lemezmezőben jellegzetes átlós irányú horpadási alakot mutat, ami megerősíti, hogy a tönkremeneteli módot ebben az esetben is a nyírási horpadás dominálja *[7. a) ábra]*. Az ábra jól szemlélteti a többtámaszú rendszerekre jellemző teherátrendeződés következményét, ahol a merevség- és támaszviszonyok hatására az egyes mezők eltérő mértékben vesznek részt a teherfelvételben. A *7. b) ábrán* látható ekvivalens képlékeny alakváltozások eloszlása alapján megállapítható, hogy a képlékenyedés ebben az esetben is a gerinclemez egy ferde sávjában jelenik meg, viszont a húzott mező csak a közbenső támasz melletti lemezmezőben jött létre. A felső övlemez felülnézeti ábrája azt mutatja, hogy az övekben a képlékeny alakváltozások elhanyagolható szinten maradnak, ami arra enged következtetni, hogy ebben az esetben az övek elsősorban a gerinclemez támaszaként, a húzott mező lehorgonyzásában játszanak szerepet. Az eredmények

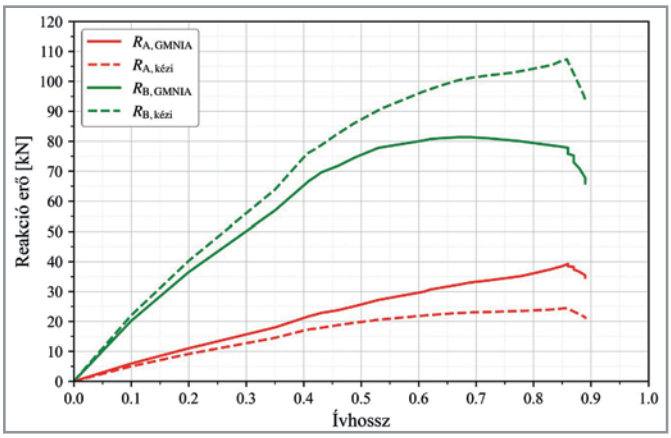
rávilágítanak arra, hogy többtámaszú gerendák esetén a nyírási teherbírás kimerülése nem feltétlenül globális jellegű, hanem egy adott mezőhöz köthető lokális instabilitási jelenség formájában jelentkezik. Ez különösen fontos lehet a méretezés szempontjából, mivel a kritikus lemezmező azonosítása és a húzott mező megfelelő kialakulásának biztosítása kulcsszerepet játszik a szerkezet biztonságos és gazdaságos tervezésében.



7. ábra: A T4 jelű gerenda oldalirányú és ekvivalens képlékeny alakváltozásai

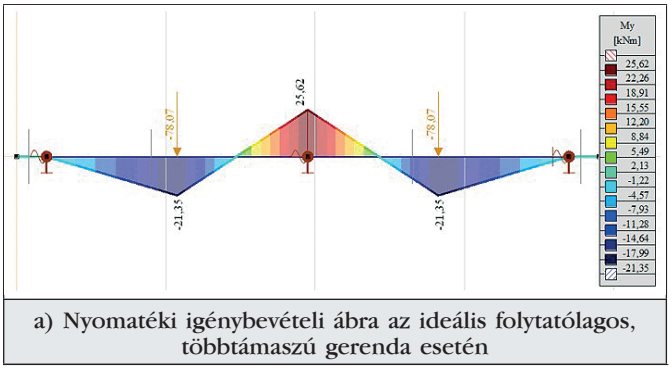
Összességében az eredmények azt mutatják, hogy a lágyacélból készült folytatólagos gerinclemezes tartók esetén a határterhelést a nyírási horpadás és a horpadás utáni húzottmezőhatás határozza meg, nem pedig az övlemezek képlékeny tönkremenetele. Ezek a megfigyelések összhangban vannak Lee és Yoo [17] megállapításaival, akik arról számoltak be, hogy az övfeszültségek a folyáshatár alatt maradnak, és jelentős övdeformációk csak a határnyírási teherbírás elérése után alakulnak ki. A jelenlegi numerikus analízis ugyanezt a viselkedést mutatja, jelezve, hogy az övekben nem jön létre képlékeny csukló jellegű mechanizmus. Jegyezzük meg, hogy a négy darab képlékeny csukló a kéttámaszú tartók esetén sem jött létre. Mindazonáltal az övlemezek jelentős szerepet játszanak mind a rugalmas, mind a horpadás utáni szakaszban azáltal, hogy megtámasztják a gerinclemezt.

Az előző ábrán bemutatott tönkremeneteli jelenség mellett megvizsgáltuk a többtámaszú tartó függőleges reakcióerőinek az alakulását is, amit *8. ábra* mutat be. Az ábra a GMNIA (geometriailag és anyagilag nemlineáris analízis imperfekciókkal) -futtatás eredményeit hasonlítja össze a klasszikus elmozdulás módszeren alapuló kézi számítás eredményeivel ($R_A = 5/16$ és $R_B = 2 \cdot 11/16 \cdot F$). A GMNIA-eredmények számottevő eltérést mutatnak az elméleti folytatólagos tartó viselkedésétől. Egy ideális/rugalmas folytatólagos tartó esetén a belső támasznál fellépő reakcióerő (R_B) várhatóan nagyobb, míg a szélső támasz (R_A) a teljes teher kisebb hányadát viseli. Ezzel szemben a nemlineáris numerikus analízis eredménye belső igénybevétel-átrendeződést mutat: az R_A érték magasabb, az R_B pedig alacsonyabb a klasszikus elmélet által jósolt értéknél. Ez arra utal, hogy a szerkezet inkább két szomszédos, kéttámaszú tartóként viselkedik, semmint teljesen folytonos rendszerként. Másik érdekes tapasztalat, hogy a közbenső támasznál nem a teherbírás kimerülését eredményező teherszinten keletkezik a legnagyobb függőleges támaszreakció. A megfigyelt jelenség a nyírási horpadás kialakulásának, valamint a gerincmezők ezzel járó merevségcsökkenésének tulajdonítható, ami korlátozza a belső támasz feletti negatív hajlítónyomatékok kialakulását. Következésképpen a gerinc instabilitása okozta folytonosságvesztés csökkenti a hajlítási befogás merevségét, és módosítja a reakcióerők eloszlását.

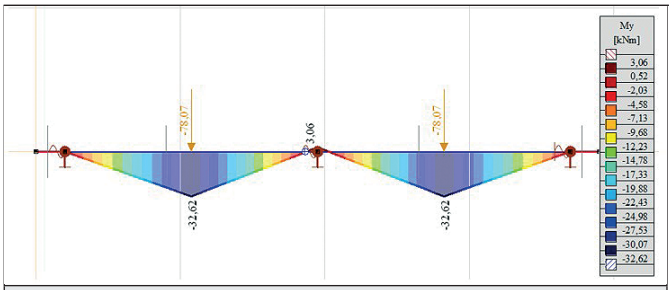


8. ábra: A T4 jelű gerenda függőleges támaszreakcióinak alakulása az ívhossz függvényében

A numerikus szimulációk eredményei betekintést nyújtanak a folytatólagos, vékony gerinclemezzel rendelkező tartók tönkremeneteli mechanizmusáról. A teherbírás kimerülését eredményező teherszinten tapasztalt feszültség és alakváltozás diagramok azt mutatják, hogy az övlemezekben várt képlékeny csuklók nem alakulnak ki, mivel az övekben keletkező feszültségek nagysága a folyáshatár alatt maradnak. A gerinclemez fokozatos képlékenyedése megakadályozza a folytatólagos tartókra jellemző negatív hajlítónyomaték teljes kialakulását a közbenső támasz felett. Ennek következtében a szerkezet viselkedése közelebb áll két egymás melletti kéttámaszú tartóéhoz *(9. ábra)*, amit a reakcióerők eloszlása is megerősít: a belső támaszerő csökken, a szélső támaszerő pedig növekszik a klasszikus elmozdulás módszerrel számított értékekhez képest. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a gerinclemez nyírási deformációja és a horpadás utáni mechanizmusok alapvetően befolyásolják a folytatólagos gerinclemezes tartók belső erőjátékát, ezáltal közvetlen hatást gyakorolnak azok határteherbírására is.



9. a) ábra: A T4 jelű gerenda idealizált nyomatéki igénybevételi ábrája



b) Nyomatéki igénybevételi ábra a GMNIA-modell alapján

9. b) ábra: A T4 jelű gerenda valós nyomatéki igénybevételi ábrái

4.3 Szabványos teherbírás

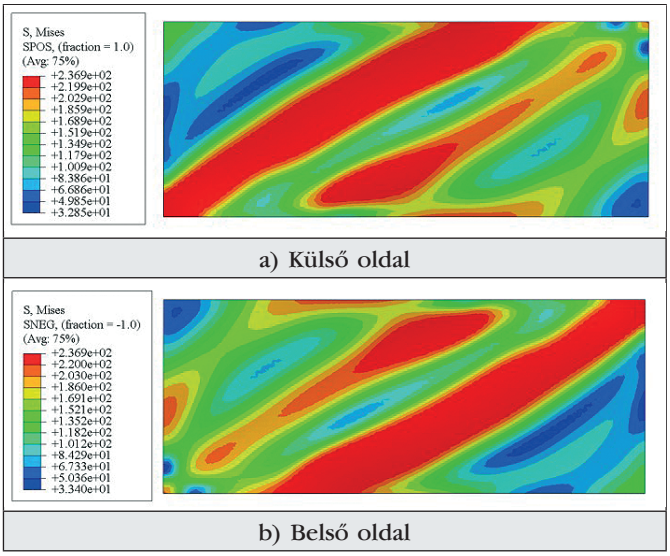
A korábban bemutatott numerikus modellek segítségével parametrikus vizsgálatot hajtottunk végre 662 darab háromtámaszú gerinclemezes I tartón. A *10. ábra* bal oldala a numerikus szimulációk eredményeinek ($r_e = V_u/V_{pl,Rd}$) és az 1. egyenlet alapján számított értékeknek r_t a szórásdiagramját mutatja be. Látható, hogy az 1. egyenlet alkalmazása a folytatólagos, gerinclemezes I tartók nyírási teherbírásának meghatározására egyaránt lehet konzervatív vagy a biztonság rovására tévedő (nem biztonságos). Az r_e/r_t arány átlagértéke 0,947, ami azt jelenti, hogy az 1. egyenlet általánosságban a biztonság rovására tévedő eredményeket szolgáltat. A 21,96%-os variációs együttható a módszer nagy szórására utal. Az r_e/r_t arány minimumértéke 0,53, ami alátámasztja a módszer bizonytalanságát, míg a 1,716-os maximumérték azt jelzi, hogy az eljárás túlságosan konzervatív is lehet. A fent említett statisztikai paraméterek alapján megállapítható, hogy az 1. egyenlet a vizsgált esetekben általánosságban nem biztonságos eredményre vezet.

A *10. ábra* jobb oldala a 8. egyenlet eredményeinek szórásdiagramját szemlélteti. Az r_e/r_t arány átlagértéke 1,145, a variációs együttható pedig 22,97%, ami figyelemre méltó szórást tükröz. A 0,589-es minimum és a 2,236-os maximumértékek megerősítik, hogy a 8. egyenlet jelentősen alul- vagy felülbecsülheti a tényleges nyírási teherbírást. Összességében az egyenlet a vizsgált esetekre nézve hajlamos a biztonság javára tévedő becsléseket adni.

A fenti értékelés rávilágít arra, hogy az EN 1993-1-5:2024 [10] és az AISC 360-22 [11] szabványok tervezési előírásai a nyírási teherbírás jelentős alul-, vagy túlbecsléséhez vezethetnek. Az ilyen eltérések arra utalnak, hogy a jelenlegi összefüggések nem tükrözik teljes mértékben a gerinclemez-horpadás és az övlemezek hozzájárulása közötti összetett kölcsönhatást vékony gerincű, folytatólagos acélgerendák esetén. Tervezési szempontból ezen bizonytalanság felismerése arra késztetheti a mérnököket, hogy túlzottan konzervatív feltételezéseket alkalmazzanak, ami a gerinc- és övlemezek indokolatlan túlméretezéséhez vezethet. Ezzel szemben, ha ezt a jelenséget nem veszik explicit módon figyelembe, a rendelkezésre álló tervezési szabályok közvetlen alkalmazása a nyírási horpadási ellenállás felülbecslését eredményezheti. Emiatt a meglévő tervezési eljárások finomítása vagy frissítése szükségesnek tűnik annak érdekében, hogy konzisztens és megbízható biztonsági szinteket garantálhassunk a geometriai és anyagjellemzők szélesebb tartományában.

4.4 A szabványos teherbírásvizsgálat hiányosságai

Az előző fejezetben tapasztalt nagy szórás lehetséges okainak feltárására érdekében megvizsgáltuk az elkülönített gerincmező mindkét oldalán kialakuló von Mises-féle feszültségeloszlást a teherbíráshoz tartozó teherszinten. A *11. ábra* mutatja az elkülönített gerincmező külső és belső oldalának feszültségeloszlását. Jól látható, hogy a külső és belső felület feszültségmintázata számottevően eltér egymástól, ami a gerinclemez vastagsága mentén ébredő hajlítófeszültségek jelenlétére utal. Érdemes megjegyezni, hogy a Basler- vagy a Höglund-féle elmélet ezt a hatást figyelmen kívül hagyja.

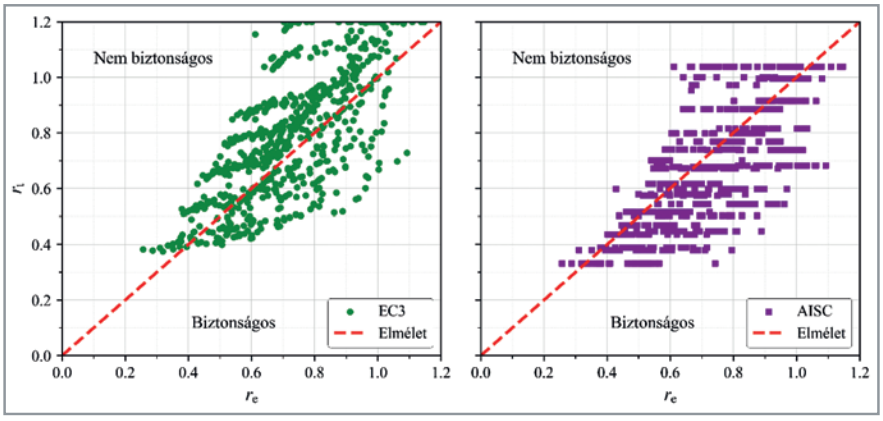


a) Külső oldal

b) Belső oldal

11. ábra: Von-Mises feszültségeloszlás az elkülönített lemezmező külső és belső oldalán

A *12. ábrán* a különböző oldalarányú elkülönített gerinclemez-panelek von Mises-feszültségeloszlása látható a panel teherbírásához tartozó teherszinten. A piros szín az anyag folyását jelenti. Megfigyelhető, hogy minden esetben kialakul egy domináns, átlós irányú feszültségsáv, amely

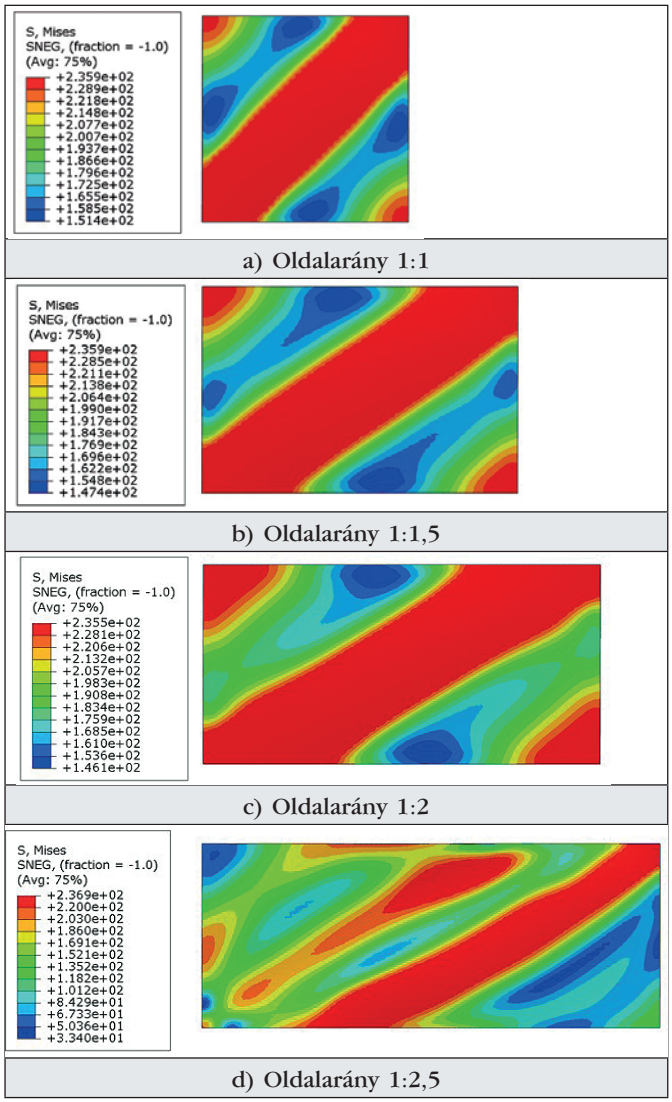


10. ábra:
A különböző szabványos tervezési módszerek szórásdiagramja

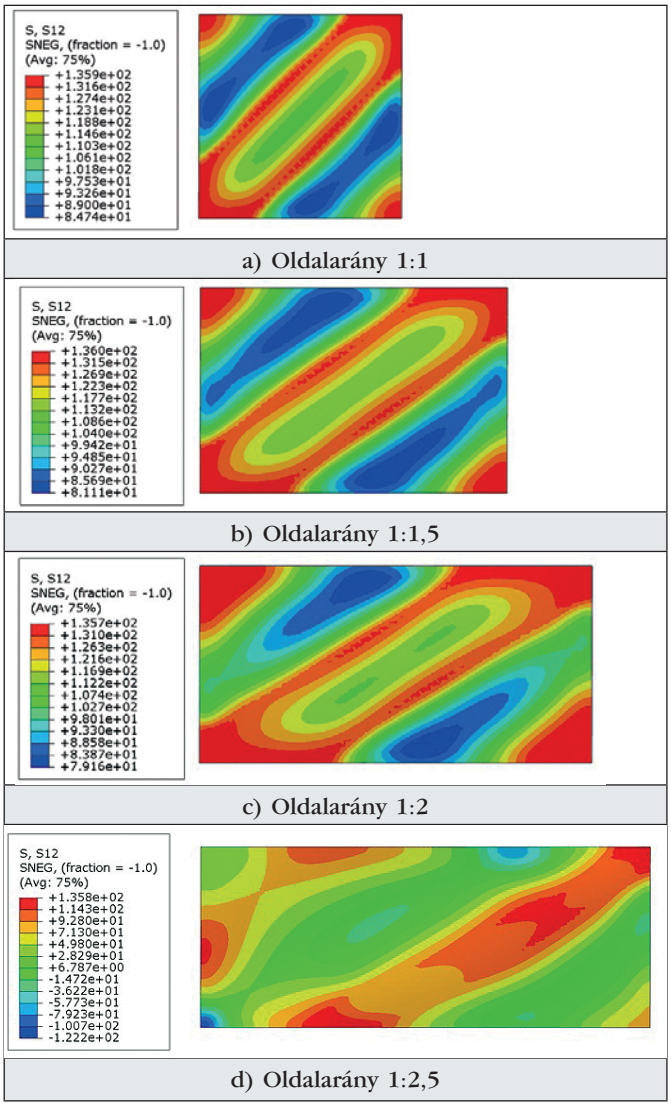
a nyíró igénybevétel hatására létrejövő főfeszültségi irányokat követi. Az oldalarány növekedésével (1:1→1:2,5) a feszültségmező dőlésszöge fokozatosan ellaposodik, nagy oldalarány esetén a húzott mező átlósan nem köti össze a panel sarokpontjait és a feszültségkép egyre komplexebbé válik.

A nyírófeszültségek (S12) vizsgálata alapján megállapítható, hogy az oldalarány növekedése a lemezhorpadási hullámok számának és irányának megváltozását eredményezi *(13. ábra)*. Míg a közel négyzetes panelek (1:1, 1:1,5) esetén domináns, jól definiált átlós feszültségi mező alakul ki, addig 2,0 feletti oldalarányoknál a feszültségeloszlás rendezetlenebbé válik, ami a horpadás utáni teherátadás hatékonyságának csökkenésére utal. Megjegyezhető, hogy a teherbíráshoz tartozó teherszinten a gerinclemez egyes részeiben a nyírófeszültség eléri az anyag folyáshoz tartozó értékét. Ez az észrevétel alapvetően cáfolja azt a konzervatív feltételezést, miszerint a gerincben fellépő nyírófeszültség maximumát a rugalmas kritikus nyírófeszültség korlátozná.

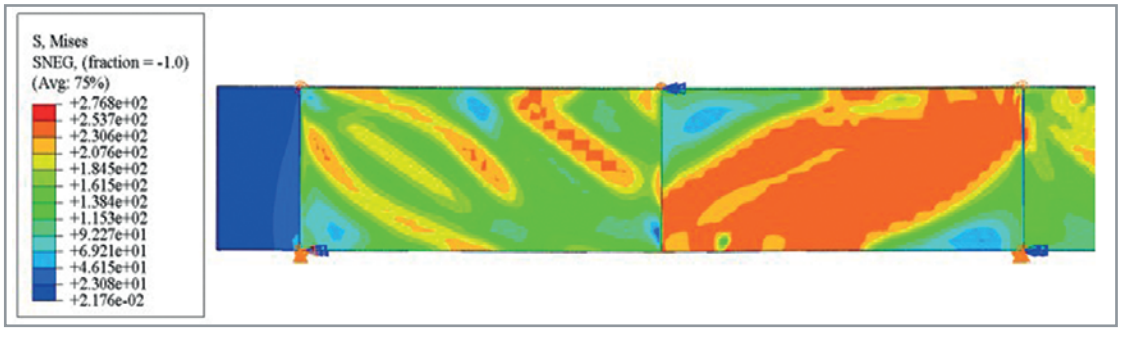
A *14. ábra* egy háromtámaszú gerenda gerincmezőiben kialakuló feszültségeloszlást szemlélteti a teherbíráshoz tartozó teherszinten. Az ábra alapján megállapítható, hogy a háromtámaszú tartó gerinclemezében a von Mises-feszültségeloszlás lényegesen összetettebb, mint az elkülönített panelek esetében. Az egyes gerincmezőkben eltérő intenzitású és irányultságú feszültségmezők alakulnak ki.



12. ábra: Von Mises feszültségeloszlás a különböző oldalarányú gerinclemez panelek külső oldalán



13. ábra: Nyírófeszültségek eloszlása a különböző oldalarányú gerinclemez panelek külső oldalán



14. ábra: Von Mises feszültségeloszlás többtámaszú gerenda esetén

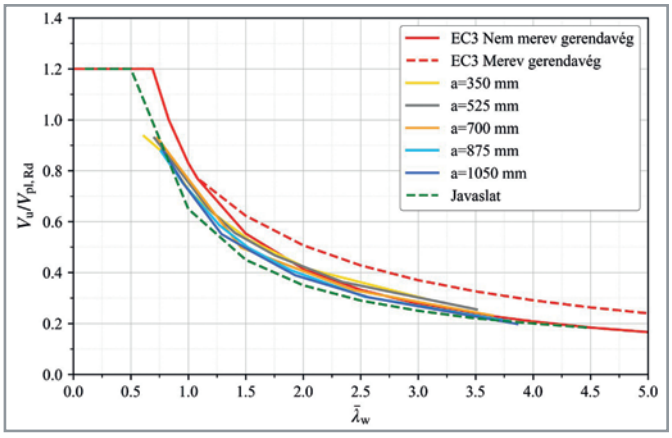
Mindez arra enged következtetni, hogy a gerinclemez nyírási teherbírása nem kizárólag csak a gerinc geometriai jellemzőitől függ, hanem jelentős mértékben befolyásolja a globális statikai rendszer, különösen a támaszkiosztás és a mezők közötti kölcsönhatás. Ennek megfelelően az elkülönített gerinclemezeken alapuló modellek nem képesek teljes mértékben leírni a valós viselkedést, különösen folytatólagos tartók esetén.

Az elkülönített gerinclemez esetén a feszültségmezőt általában a szemközti sarkok között kialakuló két átlós húzott sáv jellemzi. Ezzel szemben a folytatólagos tartó gerincmezőjében összetettebb és aszimmetrikus feszültségeloszlás tapasztalható. A közbenső támaszok és a hajlítónyomatékok jelenléte nem egyenletes feszültséggradiensek kialakulásához vezet a fesztáv mentén. A belső támasz környezetében jelentősen magasabb feszültségkoncentráció figyelhető meg, míg a szélső mezőkben alacsonyabbak a feszültségszintek.

Az elkülönített gerinclemezre vonatkozó GMNIA-eredmények alapján a tiszta nyírási horpadási ellenálláshoz tartozó görbék összevethetők az EN 1993-1-5:2024 ajánlásaival. Ami a *15. ábrán* látható, hogy az elkülönített gerinclemezek nyírási ellenállásához tartozó görbéinek alakja jó közelítéssel követik az Eurocode javaslatait. Az eredmények ugyanakkor egyaránt eshetnek a biztonság javára, vagy rovására. Annak érdekében, hogy a számított teherbírási értékek minden esetben a biztonság javára tévedjenek, a következő összefüggés alkalmazható a gerincmező nyírási horpadási ellenállásának meghatározására:

$$V_{bw,prop} = \left(\frac{0.6}{\bar{\lambda}_w} + 0.05 \right) \cdot h_w \cdot t_w \frac{f_{yw}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} \qquad (10)$$

A *15. ábrán* látható szaggatott zöld vonal szemlélteti a javasolt horpadási görbét, amely a kivágott gerinclemezek GMNIA-eredményeinek alsó burkolójaként szolgál.



15. ábra: A nyírási horpadási görbék összehasonlítása

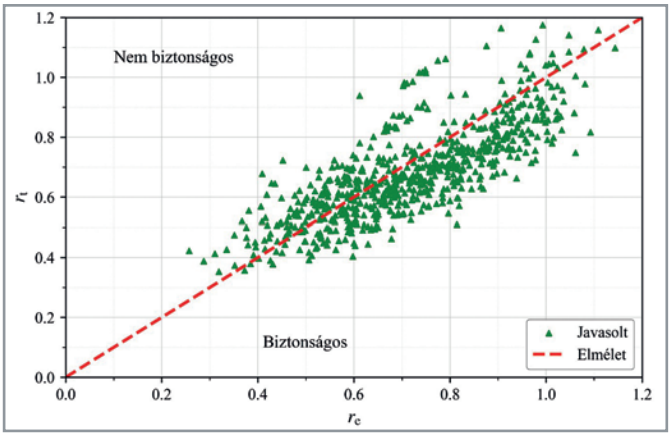
Az övek hozzájárulását a következő alakban keressük:

$$V_{bf,prop} = \frac{C_1 \cdot b \cdot t_f \cdot f_y}{C_2 + C_3 \cdot \frac{b \cdot t_f^2}{h_w \cdot t_w^2} + C_4 \frac{a}{h_w}} \qquad (11)$$

Ahol a C_i tényezők nemlineáris regresszióval is meghatározható tapasztalati együtthatók. Az egyes együtthatók fizikai tartalma és hatása az alábbiakban foglalható össze:

– C_1: egy globális skálatényező, amely a teljes övlemez-hozzájárulást képes figyelembe venni. A C_1 növelése minden geometriai méret esetén egységesen növeli a várható övlemez-hozzájárulást.
– C_2: egy nullától eltérő alsó határt biztosít a nevezőben, így az övlemez-hozzájárulást leíró tag minden esetben korlátos marad. A nagyobb C_2 érték minden esetben csökkenti az övlemez-hozzájárulást, és megakadályozza, hogy az övlemez hozzájárulása a végtelenbe tartson, amikor a geometriai tényezők a nullához közelítenek.
– C_3: figyelembe veszi az övlemez és a gerinclemez területének egymáshoz viszonyított arányát, ezáltal csökkenti az övlemez-hozzájárulást a nagyobb relatív övlemez-keresztmetszetű vagy a gerinclemezhez képest merevebb övlemezek esetén.
– C_4: a gerincmező szélesség/magasság arányának hatását veszi figyelembe.

A nemlineáris regresszió alapján a legjobb illeszkedést a következő tapasztalati együtthatók adták: $C_1 = 0{,}093$; $C_2 = 0{,}395$; $C_3 = 0{,}009$; $C_4 = 0{,}289$. Az eredmények szórásdiagramja a *16. ábrán* látható.



16. ábra: A javasolt módszer szórásdiagramja

A javasolt egyenlet 1,051-es átlagértéket eredményez, ami azt mutatja, hogy a becslések átlagosan a biztonság javára tévednek. A 15,26%-os variációs együttható a szórás jelentős csökkenését mutatja az 1. egyenlethez képest, ami fokozott megbízhatóságot tükröz. A 0,654-es minimum-, illetve az 1,547-es maximumérték jól szemlélteti, hogy a javasolt módszerrel elkerülhetők a korábban tapasztalt, szélsőségesen nem biztonságos és túlzottan konzervatív becslések. Az 1. egyenlettel összevetve az új összefüggés mind a nyírási teherbírásra vonatkozó becslések pontosságát, mind azok megbízhatóságát növeli, miközben közel 30%-kal csökkenti a szórást, és egységesebb biztonsági tartalékot garantál az összes vizsgált geometria esetén. Mindazonáltal a javasolt modell tovább finomítható és validálható egy olyan kiterjesztett adatbázis segítségével, amely nagyobb számú numerikus szimulációt és kísérleti eredményt tartalmaz.

5. KONKLUZIÓ

Ez a tanulmány a vékony gerinclemezzel rendelkező, két- és háromtámaszú, acél I gerendák nyírási teherbírását vizsgálta egy kiterjedt kísérleti és numerikus kutatási program keretében. A numerikus eredmények, valamint az EN 1993-1-5:2024 és az AISC 360-22 szabványok jelenlegi tervezési előírásainak összevetése feltárta, hogy mindkét szabvány inkonzisztens, és bizonyos esetekben a biztonság rovására tévedő becsléseket adhat a nyírási teherbírásra vonat-

kozóan. Ezen hiányosságok kiküszöbölésére egy Eurocode-konform tervezési eljárást dolgoztunk ki, amelyet a numerikus adatbázis segítségével kalibráltunk. A javasolt modell stabilabb és pontosabb becsléseket tesz lehetővé, fokozott megbízhatóságot nyújtva a meglévő tervezési elvekkel való kompatibilitás megőrzése mellett. A javasolt megközelítés általános alkalmazhatóságának növelése érdekében javasolt a módszer további finomítása és validálása szélesebb körű numerikus és kísérleti adatok bevonásával.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] Wilson J.M. On the specifications for strength of iron bridges, Transactions of the American Society of Civil Engineers 15(1), 1886, pp. 389–414.

[2] Halász O., Iványi M. Stabilitáselmélet, Akadémiai Kiadó, 2001, ISBN 963 05 7812 3, Budapest

[3] Yoo C.H., Lee S.C. Mechanics of Web Panel Postbuckling Behaviour in Shear, Journal of Structural Engineering 132(10), 2006, pp. 1580–1589.

[4] Hingnekar D.R., Vyavahare A.Y. Mechanics of Shear Resistance in Steel Plate Girder: Critical Review, Journal of Structural Engineering 146(6), 2020, 03120001.

[5] Galambos T.V. Guide to stability design criteria for metal structures. 5th Edition, John Wiley & Sohn, Inc. 1998, ISBN-10: 0471127426

[6] Ziemian R.D. Guide to stability design criteria for metal structures. 6th Edition, John Wiley and Sohn, Inc. 2010, ISBN: 9780470085257

[7] Basler K. Strength of plate girders in shear, Journal of Structural Division 87(7), 1961, pp. 151–180.

[8] Porter D.M., Rockey K.C., Evans H.R. The collapse behaviors of plate girders loaded in shear, The Structural Engineer 53(8), 1975, pp. 313–325

[9] Höglund T. Shear Buckling Resistance of Steel and Aluminium Plate Girders, Thin-Walled Structures Vol. 29, 1997, pp. 13–30

[10] EN 1993-1-5:2024, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–5: Plated structural elements, Brussel: CEN, 2024

[11] ANSI/AISC 360-22, An American National Standard, Specification for Structural Steel Buildings, Chicago: August 1, 2022

[12] Hajdú G., Pasternak H. Shear buckling behaviour of beams with partial-depth stiffeners at the support, Thin-Walled Structures 207, 2025, 112622

[13] Hajdú G., Pasternak H. Shear resistance of continuous steel beams with thin-webs, Thin-Walled Structures 224, 2026, 114731

[14] Abaqus CAE, Dassault Systèmes, https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/abaquscae/

[15] EN 1993-1-5:2026, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–5: Plated structural elements, Brussel: CEN, 2026

[16] prEN 1993-1-14:2023 (E), Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1–14: Design assisted by finite element analysis, Brussel, CEN/TC 250, 2022-09.

[17] Lee S.C, Yoo C.H. Strength of plate girder web panels under pure shear, Journal of Structural Engineering (124), 1998, pp. 184–194

NORD-LOCK® ÉKZÁRAS ALÁTÉTEK ACÉLSZERKEZETEKHEZ

MEGFELELŐ ÉS JÓVÁHAGYOTT

Egyedül a Nord-Lock ékzáras 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 ékzáras 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.

Dr. Lévai Gábor fejlesztési igazgató
NAGÉV CINK Kft.

CSÚCSTECHNOLÓGIA A TŰZIHORGANYZÁSBAN: A NAGÉV CSOPORT ÚJ TŰZIHORGANYZÓJA TISZACSEGÉN

A NAGÉV Csoport kiváló példája annak, hogy miként lehet kitartó munkával, remek piacismerettel, rátermettséggel és a fejlődésre való folyamatos igénnyel egy egyszemélyes vállalkozásból létrehozni egy többszáz főt foglalkoztató, sikeres cégcsoportot.
A NAGÉV Csoport immáron 35 éve meghatározó szereplője a hazai iparnak: élen jár a járdarácsgyártásban, valamint két, csúcstechnológiával működő tűzihorganyzó üzeme által elkötelezett híve az acélszerkezetek korrózióvédelmének.

NAGÉV CSOPORT A KORRÓZIÓVÉDELEM SZOLGÁLATÁBAN

Az 1998-as év egy jelentős mérföldkő volt mind a NAGÉV Csoport, mind Magyarország tűzihorganyzó iparának életében, ekkor nyitotta meg Nagy Antal János a NAGÉV Csoport első, jelentős méretű tűzihorganyzó üzemét Hajdú-Bihar vármegyében, Tiszacsegén. Az azóta eltelt évtizedekben a tiszacsegei NAGÉV horganyzó meghatározó szereplője lett Kelet-Magyarország horganyzóiparának, és általa jelentős fejlődésnek indult a régióban az acélszerkezetek gyártása is. Így nem volt kérdés: a tiszacsegei horganyzóban a megújulásé és a fejlődésé a jövő. Eképpen született meg a döntés, hogy a több mint 25 éve sikeresen működő tiszacsegei üzem teljes mértékben megújul, és egy csúcstechnológiát alkalmazó tűzihorganyzó üzemként szolgálja tovább partnereit. Az új üzem megnyitásával Magyarországon immár két, csúcstechnológiával működő tűzihorganyzó üzem működik, mindkettő a NAGÉV Csoport tulajdonában. Az ország legnagyobb horganyzóját 2011-ben nyitotta meg a cégcsoport a pest vármegyei Ócsán, most pedig a tiszacsegei tűzihorganyzó is Európa legjobbjai közé emelkedett.

TRADÍCIÓ ÉS INNOVÁCIÓ

A több mint két évig tartó beruházás eredményeként 2025 májusában nyitotta meg kapuit az új tűzihorganyzó üzem. **Nagy Antal János,** a NAGÉV Csoport tulajdonos-ügyvezetője felidézte a döntésük hátterét: Az új üzem helyszínének kiválasztásában több dolog játszott szerepet. Eredetileg a logisztikai szempontok előtérbe helyezése volt a fő cél, ezért sokkal inkább az M35-ös autópálya melletti Polgár települése tűnt előnyösebbnek, végül mégis Tiszacsege mellett tették le voksukat. Ennek egyik legfőbb oka az volt,



1. kép: A NAGÉV Csoport új büszkesége, a világszínvonalú, új tűzihorganyzó üzem Tiszacsegén

hogy a horganyzóüzem dolgozóinak túlnyomó többsége Tiszacsegén él: a vezetés számára pedig kiemelten fontos volt, hogy nem hagyhatják cserben azokat a tűzihorganyzás szakmája iránt elkötelezett embereket, akik hosszú évek, sőt évtizedek óta megtisztelik a céget megbízható, lojális munkájukkal. Miként Nagy Antal János fogalmazott: Egy gyár önmagában mit sem ér, ha nincs, aki működtesse. Egy korszerű ipari létesítmény a benne dolgozó emberek tudása, elkötelezettsége és kitartása révén válik valóban működőképessé, márpedig a tiszacsegei dolgozók nagyon elszánt, magabiztos emberek, óriási potenciál van bennük.

Ez a látásmód határozta meg azt is, hogy a gyár irányítása során mindig is kiemelt figyelmet kapott a munkaerő továbbképzése. A vállalat saját fejlesztésű termelésirányítási rendszert alkalmaz az üzem működtetésében, amely számítógépes vezérlésen alapul, és annak kezelését minden dolgozó elsajátíthatja. Nálunk sosem probléma, ha valaki nem tud valamit, lehetőséget kap rá, hogy megtanulja – emelte ki Nagy Antal János. A NAGÉV Csoport összes üzeme mindent megtesz azért, hogy dolgozói a legmagasabb szintű tudással rendelkezzenek, hiszen ez az alapja annak, hogy a legmagasabb színvonalon tudjuk kiszolgálni partnereinket. A vállalat működésének elmúlt három évtizedében már számtalan példa bizonyította, hogy ez a hozzáállás működik, és beváltja a hozzá fűzött reményeket.

EURÓPA TECHNOLÓGIAI ÉLVONALÁBAN AZ ÚJ ÜZEM

Uzonyi Imre, a NAGÉV Kft. ügyvezetője az új tiszacsegei tűzihorganyzó kapcsán számszerűsítette is azokat a technológiai szuperlatívuszokat, amelyekre igazán büszke a NAGÉV Csoport. Az első és legfontosabb a horganyzókád mérete, amely növekedett a régi üzemhez képest: immáron 9,5 méter hosszú, 1,4 méter széles és 3,2 méter mély horganyzókádban dolgozunk. Ez a kádméret lehetővé teszi, hogy az üzem nagy méretű acélszerkezetek horganyzását is elvégezze, ami különösen fontos az építőipar, a mezőgazdaság, az energetikai és infrastruktúrafejlesztési projektek szempontjából. Az új tiszacsegei üzem a régi csarnok szomszédságában, több mint 5000 négyzetméteres területen helyezkedik el, belmagassága 16 méteres. és fejlett infrastruktúrájával a térség legnagyobb és legmodernebb ipari csarnoka lett. A több mint 2 évig tartó építkezés során több mint 3000 köbméter betont, 1000 tonna szerkezeti acélt, és 450 tonna betonacélt használtak fel, a gyártócsarnokban pedig 68 kilométernyi kábelt fektettek le: ez a kábelhossz nagyobb, mint a Tiszacsege és Debrecen közötti távolság. Az üzem megvalósításában számos nemzetközi és hazai partner vett részt: a NAGÉV kiemelt figyelmet fordított arra, hogy a tűzihorganyzó ipar legjobbjai adják az új üzem műszaki alapját, olyan cégek, akik már korábban is bizonyították rátermettségüket.

Az új gyárban alkalmazott technológiai megoldások mindegyike követi a legkorszerűbb ipari trendeket: többek között a teljes darurendszer automatizált működésű, így emberi beavatkozás nélkül lehetséges az acélszerkezetek mozgatása a tűzihorganyzás folyamata során. Ez jelentős mértékben növeli a termelékenységet és kiemelten a biztonságot, miközben csökkenti a hibalehetőségeket. A környezetvédelem jegyében az is fontos szempont volt, hogy bármilyen vegyi anyag, amelyet a vegyi előkezelő technológiában használunk, azok beszállításkori lefejtése és feltöltése is kizárólag az épületen belül, szigorú szabályok betartása mellett történjen. A hőtechnikai rendszer is modern, környezetkímélő működésű, mivel több ponton



2. kép: Az egyedülálló zöldfal alapja, az 1500 m² felületű rácsos szerkezet az üzemcsarnok oldalán



3. kép: Az első mártás az új tiszacsegei üzemben



4. kép: Automata anyagmozgatás és az elérhető legjobb technológiák az új tiszacsegei üzemben

hulladékhő-hasznosítást alkalmaz, ennek köszönhetően a gyártás során keletkező hő egy része visszaforgatásra kerül. Mindezek mellett az energiafelhasználás tekintetében is a környezettudatosság dominált a megvalósításkor: a csarnok tetejére 1200 darab, ideális körülmények között 490 kW névleges teljesítmény leadására képes napelemet telepítettek. Ezek összessége hozzájárul a szigorú ESG (Environmental, Social and Governance) elvárások teljesítéséhez. A beruházás három forrásból valósult meg: önerőből, banki hitelből, valamint állami támogatásból.

TERMÉSZET ÉS IPAR ÖSSZHANGJA

Tekintettel arra, hogy az új üzem különleges környezeti helyszínen, a Hortobágyi Nemzeti Park szomszédságában található, a kiemelkedő technológiai színvonal mellett arra is nagy hangsúlyt fektetett a NAGÉV Csoport, hogy az új gyár a tájba illeszkedő módon épüljön meg. Ennek jegyében a területen 150 előnevelt fát ültettek el, valamint Magyarország legnagyobb felületű zöldfalát is kialakították. Az épülethez kapcsolódó rácsos szerkezetű zöldfal felülete több mint 1500 négyzetméteres, és idővel 70 darab futónövény – vadszőlő, borostyán és más őshonos faj – fogja befutni, amelyek nemcsak esztétikai értéket képviselnek, hanem a helyi madárfajok számára is védelmet nyújtanak, segítik vonulásukat. A cégvezetés számára a környezetvédelem nem új keletű szempont: a NAGÉV már korábbi üzemeiben is törekedett és folyamatosan törekszik arra, hogy működése ne jelentsen terhelést a természetre: ez a látásmód a jövőben is meghatározza a vállalat fejlesztéseit.

Az új tiszacsegei tűzihorganyzó üzem létrehozása igazi mérföldkőnek számít a magyar tűzihorganyzó ipar történetében: az alkalmazott technológiák színvonala, a környezeti tudatosság, a társadalmi felelősségvállalás és a szakmai tapasztalat példás egységet alkot ebben az új horganyzóban. A NAGÉV Csoport büszke arra, hogy az új tiszacsegei üzem révén immáron az ország két legmodernebb, legbiztonságosabb és az ócsai horganyzó által a legnagyobb horganyzóüzemével áll az acélszerkezetek legbiztosabb korrózióvédelmét, tehát a tűzihorganyzást választó partnerei szolgálatára. A NAGÉV Csoport Tiszacsegén nem csupán egy újabb gyárat nyitott meg – hanem jövőt épített. Egy olyan jövőt, amelyben a magyar ipar, a korszerű technológia és az emberi értékek egymással karöltve működnek együtt az értékek megóvása és a fejlődés érdekében.





SALZGITTER
MANNESMANN
ACÉLKERESKEDELEM
A Salzgitter Csoport vállalata

Jelenlét a világ minden pontján



ACÉL

TERMÉK, LOGISZTIKA, SZOLGÁLTATÁS

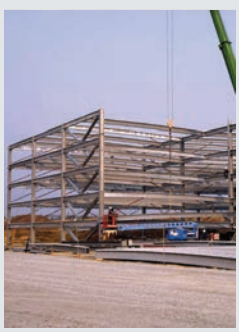
- melegen hengerelt lapostermékek
- hidegen hengerelt lapostermékek
- hosszútermékek és rúdanyagok
- szerkezeti és precíziós acélcsövek, csődarabolás














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

Ágoston Dezső *tartószerkezet-tervező, cégvezető*
ARC-S Group Kft.

ÜVEG TARTÓSZERKEZET – CITADELLA

AZ ÉPÍTMÉNY

A Citadella Budapest XI. kerületében, a Gellérthegy csúcsán álló erődítmény, amely az 1848–49-es forradalom és szabadságharc leverését követően épült meg, az osztrák katonai vezetés rendelkezésére. Az aradi vértanúk kivégzését követően emelt erőd elsődleges célja a magyar lakosság megfélemlítése és ellenőrzés alatt tartása volt, így a Citadella a történelmi emlékezetben hosszú időre az elnyomás szimbólumává vált.

A UNESCO 1987-ben a budai Várnegyeddel, valamint a Duna-parti városképpel együtt a Gellérthegyet és a Citadellát a világörökség részévé nyilvánította *(1. kép)*.

Projekt neve:	**Citadella projekt – „A Szabadság Bástyája”**
Projekt címe:	**Citadella, Budapest**
Projekt jellege:	**Örökségvédelem alatt álló építmény teljes körű átalakítása**
Építés éve:	**1854**
Átalakítás kezdete–vége:	**2019–2026**
Világörökségi felvétel:	**UNESCO – 1987**
Projekt mérete:	**15 000 m²**

Generáltervező:	**art1st design studio Kft.**
Építész tervező:	**Taraczky Dániel**
Generál tartószerkezet-tervező:	**ARC-S Group Kft.**
Tartószerkezet-tervező:	**Ágoston Dezső** **Bükkösi Raymond**

Az építmény teljes körű megújításának alapvető célja az eredeti erődfunkció és az ahhoz kapcsolódó történeti jelentéstartalom feloldása, az építmény fizikai és szimbolikus megnyitása a város és a látogatók felé. Ennek eszköze az erődfalak több ponton történő megnyitása, az egykor zárt katonai objektum közösségi térré alakítása, valamint az évtizedek alatt leromlott állapot megszüntetése. A beavatkozás célja egy olyan, korszerűen használható és méltó módon rehabilitált építmény létrehozása, amely Budapest és Magyarország egyik kiemelt turisztikai és kulturális – Magyarország történelmét bemutató kiállítással – helyszíneként működhet tovább *(2. kép)*.



1. kép: Eredeti építmény és annak részei



2. kép: Tervezett állapot látványterve

SZERKEZET LEÍRÁSA

A meglévő, mintegy 220 méter hosszú, 12–16 méter falmagasságú szerkezet teljes egészében falazott rendszerként épült meg. Az eredeti kialakítás szerint a függőleges teherhordó szerkezetek átlagosan 1,5 méter vastag, vegyes falazatból készültek, nagyméretű tégla és mészkő alkalmazásával. A vízszintes teherhordó és határolószerkezetek három-, illetve ötsoros, nagyméretű téglából falazott dongaboltozatként valósultak meg.

Az építmény az elmúlt időszakok során több alkalommal sérült és átépítették, amelynek következtében különböző korszakokra jellemző építőanyagok és szerkezeti megoldások is megjelennek benne. Ezek több esetben szakszerűtlen módon kapcsolódnak az eredeti szerkezeti rendszerhez.

Az új épületrészek kialakítása mellett több helyen szükséges a történetileg sérült vagy elbontott falazott szerkezetek helyreállítása és szerkezeti megerősítése.

A beavatkozások során a meglévő szerkezetét több ponton feltárták és átvágták. A korábbi, utólagosan hozzáépített épületrészeket részben elbontották, részben szerkezetileg megerősítették, azzal a koncepcionális céllal, hogy az építmény történeti rétegzettsége, valamint az idő során keletkezett beavatkozások nyomai olvasható és értelmezhető módon megmaradjanak.

Az elbontott szerkezetek helyén, valamint az építményen belül új funkciókat alakítottak ki, változatos szerkezeti anyaghasználattal. A hagyományos falazott, monolit vasbeton és acélszerkezetek mellett megjelenik az előregyártott és monolit fehérbeton, a rozsdamentes acél, valamint a többrétegű ragasztott üveg alkalmazása is *(3. kép)*.

Kiemelt eleme a beruházásnak a központi lobby üvegszerkezete, amely TVG-VSG (hőerősített-réteges) üvegből elsődleges teherhordó rendszerként



3. a) kép: Szerkezetépítés közbenső állapotai



3. b) kép: Szerkezetépítés közbenső állapotai



4. kép: Üveg, mint tartószerkezet látványterven

valósult meg üvegpillérek, üveggerendák, üvegfödémek és üveghíd alkalmazásával. A szerkezet magassága közel 12 m magas üvegoszlopokkal, 14 m fesztávolságú üveggerendákkal és 20 m hosszú üveghíddal készült. Az üvegelemeket speciális módon beragasztott, rozsdamentes acél kapcsolati elemekkel dolgozták össze. Az így kialakuló üvegszerkezeti rendszer hazai és nemzetközi viszonylatban egyedülálló szerkezeti megoldást és léptéket képvisel *(4. kép)*.

TERVEZÉSI MÓDSZER

A meglévő építmény összetett geometriai kialakítása, valamint a többszöri átépítésből adódó szerkezeti módosulások következtében komplex erőjátékkal rendelkezik.

A meglévő szerkezetek állapotának és anyagjellemzőinek meghatározására kiterjedt roncsolásos és roncsolásmentes diagnosztikai vizsgálatok készültek, amelyek eredményei a szerkezeti számítások alapját képezték.

A falazott szerkezetek vizsgálata során a legtöbb esetben saját fejlesztésű ellenőrző algoritmusokat alkalmaztak. A számítások célja az eredeti állapotában egyensúlyban lévő szerkezeti rendszer viselkedésének elemzése volt az egyes építési fázisokban, valamint a végleges tervezési állapotban. A vizsgálatok kiemelt jelentőségét adta, hogy a dongaszerkezetek egyes traktusainak részleges vagy teljes kibontása az építmény közel 150 éve fennálló szerkezeti egyensúlyát jelentősen módosítja *(5. kép)*.

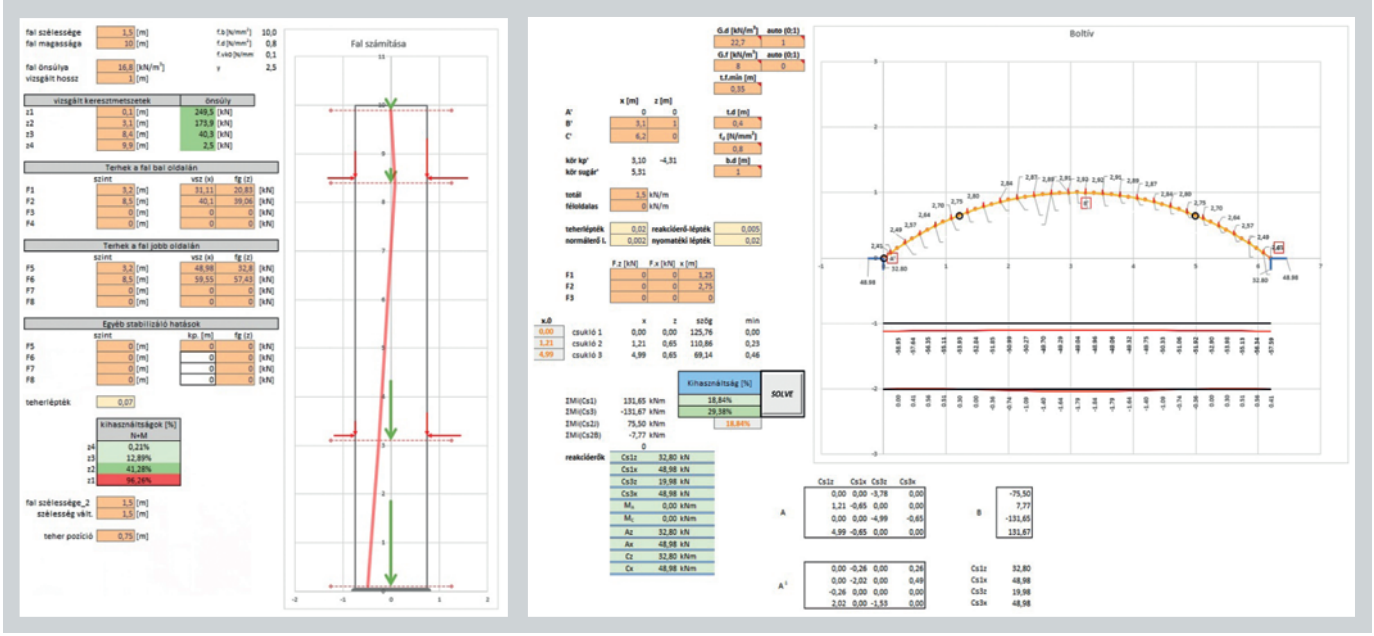
A vasbeton-, acél- és üvegszerkezetek méretezése során szintén végeselemes módszereket alkalmaztak, ötvözve a rúd- és héjelemekkel történő modellezés előnyeit.

A meglévő és tervezett szerkezetek együttdolgozásának, valamint az összeépítésekből adódó kölcsönhatásoknak a vizsgálatára geometriai és anyagi nemlinearitást is figyelembe vevő végeselemes modellek készültek *(6. kép)*.

Az üveg tartószerkezet kialakításához kapcsolódóan a nyugati rondella épületrészben két szinten, összesen három traktus dongaboltozatának kibontása volt szükséges. A beavatkozás következtében a rondella külső hajójában körbefutó, egymásra támaszkodó dongaszerkezetek eredeti statikai egyensúlya a bontási és építési állapot során megszűnik.

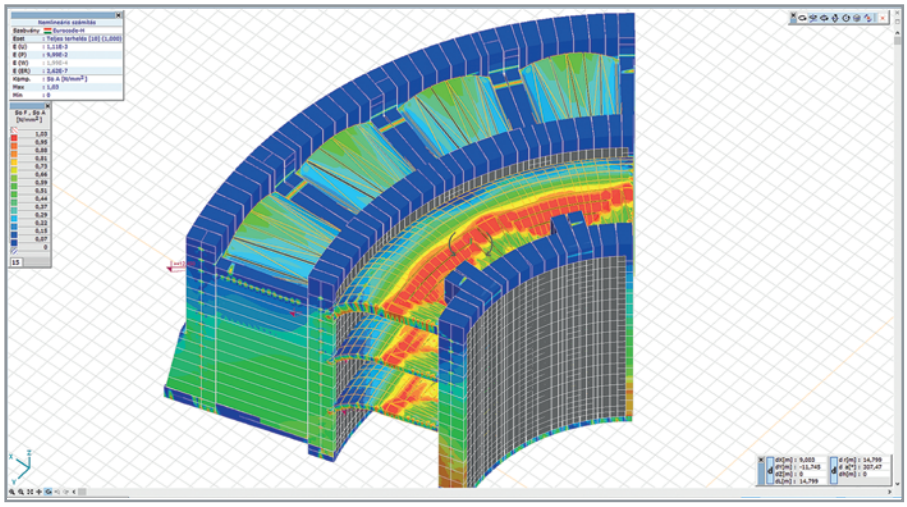
Az ideiglenes állapotok biztonságos fenntartása érdekében a kibontott zónákhoz kapcsolódó szomszédos dongatraktusok teljes alátámasztással kerültek megtámasztásra mindaddig, amíg a végleges kiváltó szerkezet meg nem épült *(7. kép)*.

Tervezett állapotban a szerkezet állékonyságát monolit vasbeton rendszer biztosítja. Az üvegszerkezetet is fogadó, monolit vasbeton alaplemezről induló vasbeton pengefalak képezik a teherhordó és merevítőrendszer fő elemeit, amelyeket a zárószinten kialakított monolit vasbeton vendégfödém hátrakötése stabilizál és horgonyoz *(8. kép)*.



5. kép: Egyedi algoritmusok

A lobby üvegszerkezetét négycsuklós keretként modellezték, amelynek kialakítását a befogási nyomatékokból adódó, az üvegszerkezetekre kedvezőtlenül ható nagy húzó- és hajlítófeszültségek elkerülése indokolta. A keret síkjában szükséges merevséget a monolit vasbeton pengefalak között, az üvegtető síkja alatt végigfutó rozsdamentes acél rácsos tartó biztosítja. A rácsrendszer egyedi tervezésű övrudakból, valamint DETAN rendszerű húzott–pótátlós rácsrudakból áll. E szerkezet feladata továbbá a szélterhekből származó vízszintes erők felvétele, amelyek pontos meghatározásához CFD szimulációkat alkalmaztak.



6. kép: Nemlineáris végeselemes modell a rondella egy körszeletéről



7. kép: Üveg lobby helyének kibontása



8. kép: Üvegszerkezetet fogadó és egyben meglévő falazott szerkezeteket megtámasztó monolit vasbeton szerkezet építése

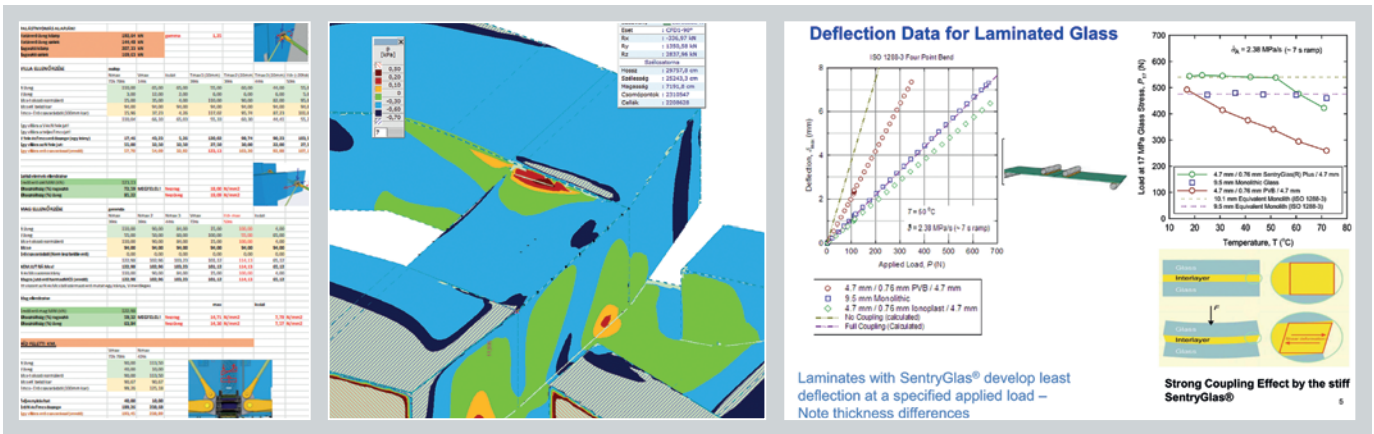
A keretszerkezet üvegpillérei és üveggerendái 12–12 üvegrétegű, SentryGlas fóliával laminált elemekként készültek. A sarokkötések villás kialakítással, központi rozsdamentes acélcsapon keresztül valósulnak meg, amely a csomópontban közel ideális csuklós viselkedést biztosít. Az oszlopok alsó megtámasztása központi tőcsavarral kialakított, rozsdamentes acél „papucs”-elemhez kapcsolódik, amely szintén csuklós kapcsolatot hoz létre.

A többrétegű, elsődleges teherhordó szerepű üvegelemek esetében a SentryGlas interlayer alkalmazását annak kedvező mechanikai tulajdonságai indokolták, különös tekintettel a magasabb rétegek közötti együttdolgozásra, a magas hőmérsékleti ellenállásra, valamint a kedvezőbb határfeszültségi viselkedésre a hagyományos PVB fóliához képest.

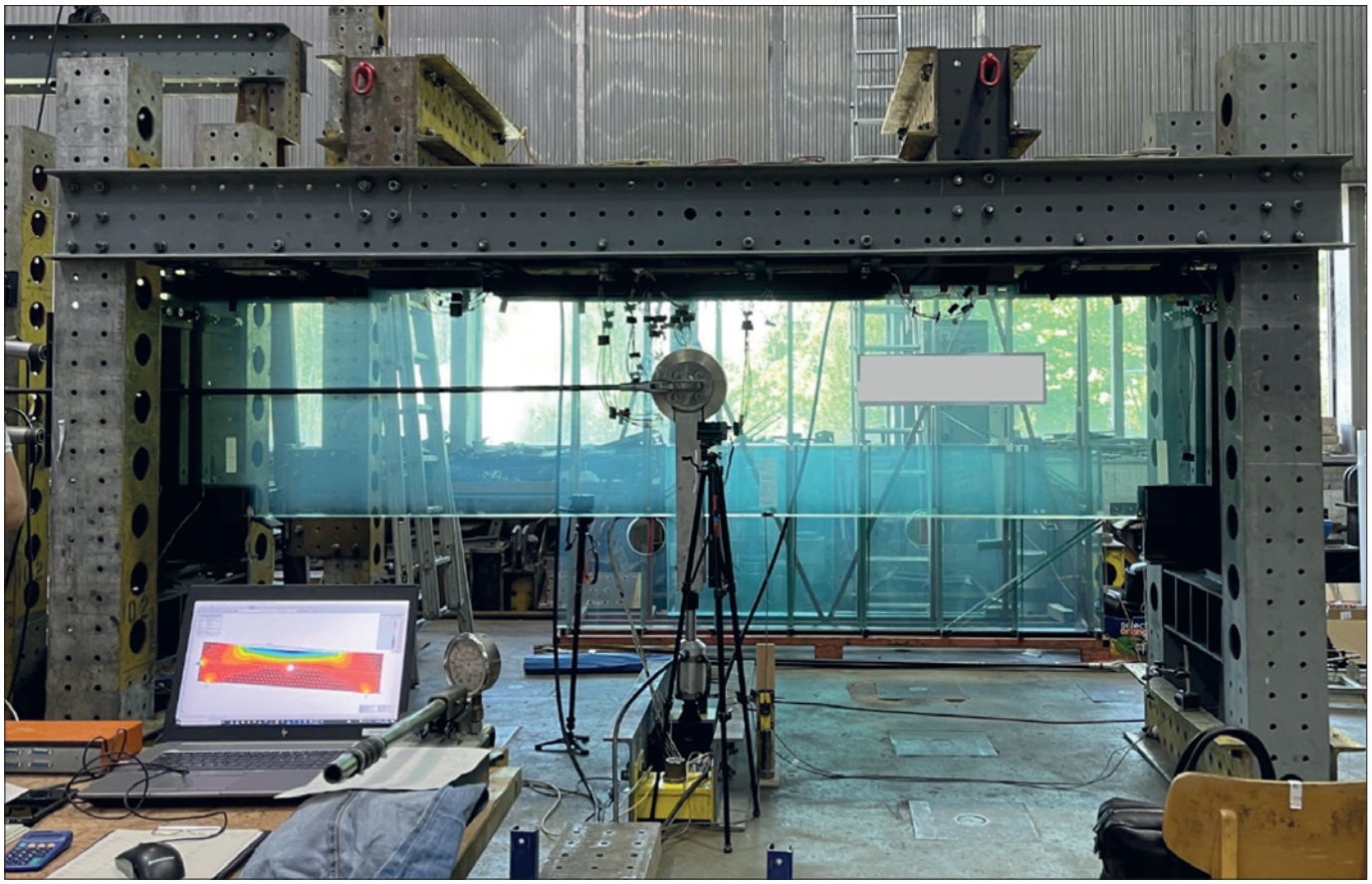
A kapcsolatok méretezése komponens alapú végeselemes modellezéssel, valamint kiegészítő analitikus számításokkal történt *(9. kép)*.

Az üvegszerkezet esetében a kapcsolati kialakítások, valamint az üvegtartó szerkezeti elemek számítási modelljeinek validálása „1:1” léptékű laboratóriumi kísérletek kiértékelésén alapult. A kísérletek egyben lehetőséget biztosítottak a szerkezet tartalék teherbírásának meghatározására is, amely a számítási eredményekkel összhangban megfelelő biztonsági tartalékot igazolt *(10. kép)*.

Az építmény részletes modellezése konstrukciós szoftverkörnyezetben, Open BIM módszertan alkalmazásával történt. A modellépítés a meglévő állapot rögzítésével indult, amelynek alapján elkülöníttették a megmaradó, illetve a bontandó szerkezeti elemeket.



9. kép: Részletes számítások

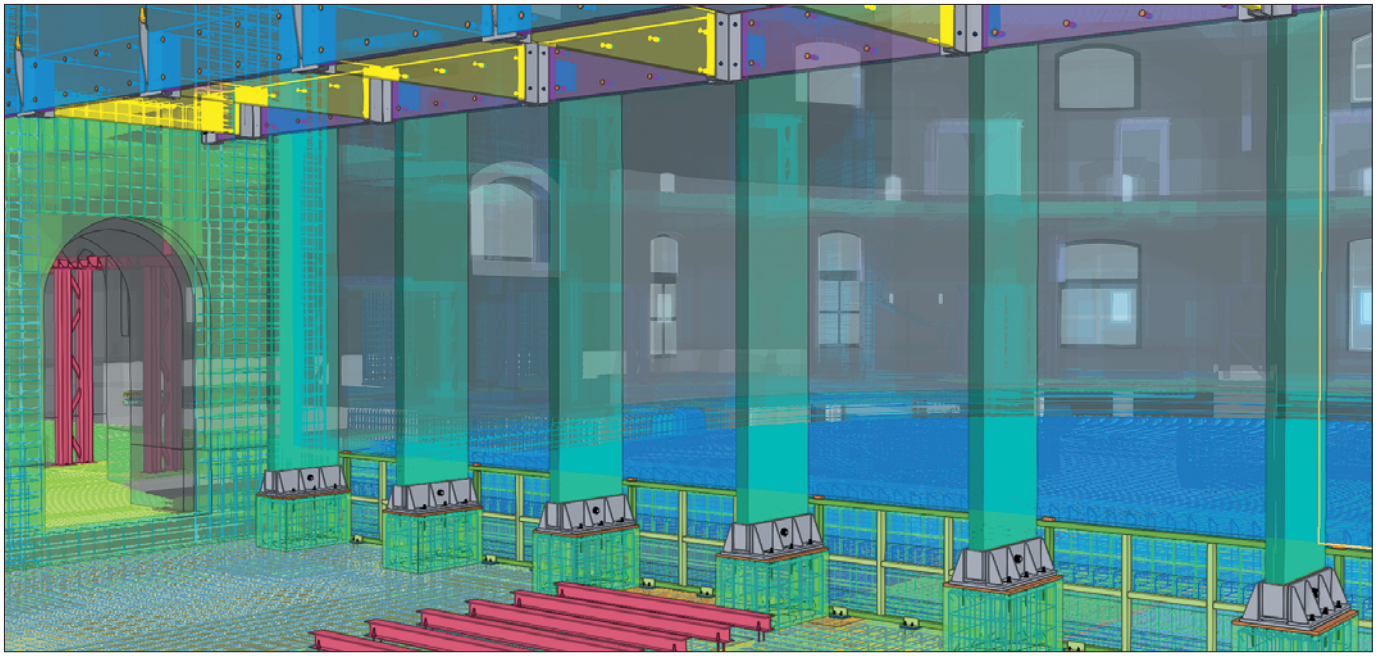


10. kép: Üvegszerkezet laborvizsgálata

A bontási–építési fázisok modellezése során kiemelt szempont volt a kivitelezés rövid határidejéhez igazodó szakaszolhatóság, amely a kivitelezési sorrend (szekvenálás) tervezését és optimalizálását támogatta.

A szerkezet heterogén anyaghasználata miatt multimateriál modellt alakítottak ki, amelyben az eltérő anyagokat és anyagminőségeket külön attribútumrendszerrel definiálták és kezelték. A meglévő szerkezetek LOD300, míg az újonnan tervezett szerkezetek LOD400 részletességi szinten készültek. Ennek megfelelően a monolit vasbeton elemek a beépített vasalási rendszer teljes geometriáját és szerelvényeit tartalmazzák, míg a szerelt szerkezetek valamennyi szükséges kiegészítő és kapcsolati elemmel modellezettek.

Az üvegszerkezetek esetében a modell tartalmazza a rétegrendeket, valamint a rétegek között elhelyezkedő laminálófóliákat is *(11. kép)*.



11. kép: Tartószerkezeti modell részletezettsége



12. kép: Elkészült állapot

A MEGVALÓSULT SZERKEZETI RENDSZER

Az építési munkák befejezését követően az épület használatbavétele megtörtént, és a létesítmény megnyílt a nyilvánosság számára *(12–15.. képek)*.

A beavatkozások eredményeként a korábban zárt, részben funkcióját vesztett szerkezeti rendszer új rendeltetést kapott, és ismét integrált épületegyüttesként működik tovább.

A megvalósult átalakítás tartószerkezeti szempontból összetett feladatot jelentett, amely a meglévő szerkezetek megtartását, részleges megerősítését, valamint új teherhordórendszerek integrációját együttesen igényelte. A végállapotban a meglévő és új szerkezetek együttdolgozása biztosítja az előírt teherbírási és használati követelmények teljesítését.

A tervezési és ellenőrzési folyamat során a szerkezeti viselkedés vizsgálata kiterjedt numerikus modellezésen, végeselemes számításokon, valamint laboratóriumi és in situ vizsgálatokon alapult. A komplex geometriai és anyaghasználati rendszer miatt a tervezés során kiemelt szerepet kaptak a nemlineáris szerkezeti modellek, valamint az egyedi ellenőrzési módszerek. Kiemelendő a központi üvegszerkezet,



13. kép: Elkészült állapot

amely nemzetközi összehasonlításban is magas színvonalú tartószerkezeti megoldást képvisel, mind léptékét, mind szerkezeti kialakítását tekintve. A teljes átalakításhoz kapcsolódó tartószerkezeti tervezési feladatok összességében magas műszaki színvonalú, egyedi, és hazai viszonylatban különleges mérnöki munkát képviselnek.

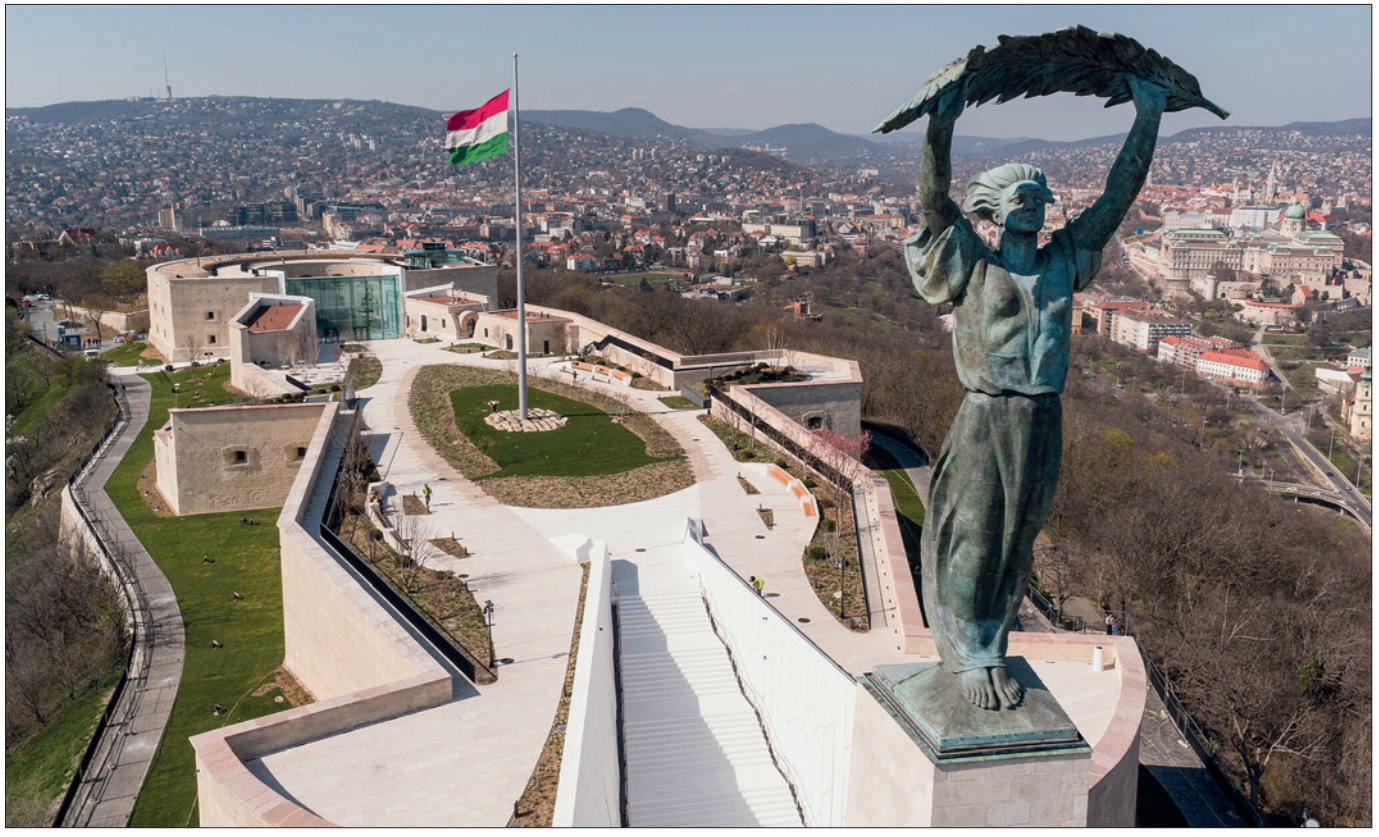
A megvalósult szerkezeti rendszer eredményeként egy hibrid teherhordó struktúra jött létre, amely a meglévő falazott szerkezetek, valamint az új vasbeton, acél- és üvegszerkezetek együttélésén alapul, biztosítva az épület hosszú távú stabilitását, használhatóságát és szerkezeti integritását.

KÉPEK FORRÁSA

– ARC-S Group Kft.: 1., 3., 5–11. képek;
– art1st design studio: 2. és 4. képek;
– Magyar Építők: 12–15. képek.



14. kép: Elkészült állapot



15. kép: Elkészült állapot

Hegesztettszerkezet-tervező szakmérnök
szakirányú továbbképzési szak és
Nemzetközi hegesztettszerkezet-tervező (IWSD) képzés indul
a **Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen**

HEGESZTETTSZERKEZET-TERVEZŐ SZAKMÉRNÖK SZAKIRÁNYÚ TOVÁBBKÉPZÉSI SZAK

keretében a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar **2026 szeptemberében** indítja második évfolyamát a Hegesztettszerkezet-tervező szakmérnök szakirányú továbbképzési szakon. A képzés 2 féléves, szakdolgozat megvédésével és záróvizsgával végződik, amelyen a Jelöltek – sikeres vizsga esetén – **hegesztettszerkezet-tervező szakmérnök** oklevelet szerezhetnek.

A szakmérnöki képzés tanterve és tananyaga az IIW (Nemzetközi Hegesztési Intézet) által előírt követelményeket maradéktalanul kielégíti, ezért a résztvevők a szakmérnöki oklevél mellett **Nemzetközi hegesztettszerkezet-tervező (IWSD-S és/vagy IWSD-C) diplomát** is szerezhetnek.

Kinek ajánlja a Kar a képzést? Mindazoknak, akik munkájukat a legújabb elméletek és technológiák ismeretében szeretnék végezni az általánosan előforduló és az átlagostól eltérő egyedi, különleges acélszerkezetek tervezésekor is, vagy szeretnének ilyen feladatokra felkészülni.
A képzés alatt megszerezhető kompetenciák biztos alapot nyújtanak ipari-technológiai, mezőgazdasági és sportlétesítmények, egyéb magasépítési, közlekedési létesítmények (pl. hídszerkezetek), energiaelőállítási és -szállítási rendszerek, valamint szállítóeszközök, járművek hegesztett szerkezeteinek tervezéséhez.

A **Hegesztettszerkezet-tervező szakmérnökök** a komplex, interdiszciplináris problémák kezelését modern, a nemzetközi gyakorlatnak megfelelő módszerekkel, modellekkel lesznek képesek megoldani.

A továbbképzés az alábbi témakörökre fókuszál:
- Hegesztéstechnológiai ismeretek
- Méretezési alapismeretek
- Gazdálkodási és minőségirányítási ismeretek
- Specializált méretezési, konstruálási ismeretek

A képzés önköltséges, a tandíj félévenként 600 E Ft/fő, ami magában foglalja a képzés, a bemutatásra kerülő roncsolásos/roncsolásmentes vizsgálati módszerek és terheléses laboratóriumi kísérletek, a gyakorlati munka és diplomaterv konzultálásának díját, valamint hozzáférést a digitális oktatási tananyagokhoz. A nemzetközi diploma vizsgadíja IWSD-S (alap) és IWSD-C (átfogó) szintek esetén egyaránt további 70.5 E Ft vizsgánként.

A képzés bemeneti feltétele: építőmérnöki, építészmérnöki, gépészmérnöki, közlekedésmérnöki és járműmérnöki alapképzési (korábban főiskolai) szintű szakon szerzett végzettség, de más mérnöki alap- és mesterszakon végzettek felvételére is lehetőség van egyéni elbírálás alapján.

Jelentkezés: A képzésre az önéletrajz és a diploma másolatának megküldésével lehet jelentkezni.
Dr. Kollár Dénes, IWSD képzés koordinátora
E-mail: kollar.denes@emk.bme.hu
Mobil: +36 30 5992603
Honlap: https://epito.bme.hu/szakiranyu-tovabbkepzesek
Előjelentkezési határidő: 2026. augusztus 31.

Király Krisztián *PhD hallgató, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék*
statikus tervező, bim.GROUP Kft.

FENNTARTHATÓ ÖSZVÉRSZERKEZETEK FEJLESZTÉSE ÉS MÉRETEZÉSI HÁTTERE

1. BEVEZETÉS

Az építőipar körforgásos gazdaság felé történő átállása olyan tartószerkezeti rendszerek alkalmazását igényli, amelyek csökkentik a környezeti hatásokat és a beépített szén-dioxid-kibocsátást, valamint – ahol ez megvalósítható – lehetővé teszik az elemek közvetlen újrafelhasználását. A szétszerelésre való tervezés ezt a szemléletet támogatja azáltal, hogy az épületeket visszanyerhető anyagkészletként kezeli, és előnyben részesíti azokat a megoldásokat, amelyek az elemek értékét egyetlen életciklusban túl is megőrzik [1]. Az acél–beton öszvérszerkezetek alkalmasak a körforgásos tervezés megvalósítására, amennyiben az acél- és betonrészek elválasztását elfogadható mértékű károsodással biztosítani lehet. Ennek eredményeként jelentek meg a szétszerelhető öszvérszerkezetek, amelyekben az oldható nyírt kapcsolóelemek kulcsszerepet töltenek be: üzemi állapotban biztosítják az együttdolgozást, ugyanakkor lehetővé teszik a szerkezet szétszerelését és újrafelhasználását. A szerkezeti acél jól újrahasznosítható, ugyanakkor a legújabb kutatások szerint a közvetlen újrafelhasználás jelentősen nagyobb beépített szén-dioxid-megtakarítást eredményezhet, mint az újrahasznosítás [2, 3]. Az előregyártott beton javítja a minőségellenőrzést, valamint csökkenti a helyszíni munkaidőt és a hulladékképződést. Karboncsökkenése a monolit szerkezetekhez képest projektfüggő, ugyanakkor alacsony kibocsátású kötőanyagok, újrahasznosított adalékanyagok és az újrafelhasználásra optimalizált szerkezeti kialakítás alkalmazásával tovább fokozható [4, 5]. Esettanulmányok igazolják a szétszerelhető szerkezetek gyakorlati megvalósíthatóságát, különösen ideiglenes, vagy rugalmasan alakítható rendeltetésű létesítmények – például rendezvényhelyszínek [6], parkolóépületek [7] és irodaépületek [8] – esetében, ahol a rendszerelvű előregyártás és a száraz kapcsolatok gyors, alacsony hulladékképződéssel járó átalakítást tesznek lehetővé.

A hagyományos, betonba ágyazott, hegesztett fejes csapok nem teszik lehetővé a szerkezeti elemek oldhatóságát. Ezzel szemben a csavarozott nyírt kapcsolatok megfelelő alternatív megoldást jelentenek, mivel a csapokhoz hasonló szerkezeti viselkedési jellemzőkkel rendelkeznek, ugyanakkor biztosítják az elemek szétszerelhetőségét. A csavarok alkalmazásával figyelembe kell venni, hogy a toleranciák miatt alkalmazott, nagyobb furatátmérőben a csavarok mozognak, melynek következtében megjelenik az öszvérgerenda kedvezőtlen kezdeti merevségcsökkenésének hatása. A legfrissebb kutatások számos új, működő megoldást vizsgáltak, például menetes végű fejes csapokat [9], vagy betonba ágyazott csavarokat [10, 11]. Gerendakísérletek igazolták, hogy a szétszerelhető öszvérgerendák teherbírása és képlékeny szerkezeti viselkedése összevethető a hagyományos rendszerekével, miközben lehetővé teszik az elemek sikeres szétszerelését és újrafelhasználását [12, 13].

A szétszerelhető öszvérgerendák méretezése jelenleg korlátozott, mivel az Eurocode 4 [14] előírásai elsősorban a hagyományos (nem szétszerelhető) nyírt kapcsolatokra vonatkoznak. A közelmúltban azonban több tervezési javaslat is megjelent [15, 16], melyek azonban adott kapcsolóelem-típusokra korlátozódnak, illetve túl általános megközelítést alkalmaznak, amely korlátozza a megalapozott tervezői döntéshozatalt. Ezért pontosabb méretezési eljárás szükséges, amely figyelembe veszi az oldható nyírt kapcsolóelemek részletkialakítását, különösen azokban az esetekben, amikor a túlméretes furatok és a kivitelezési tűrések jelentősen befolyásolják a szerkezeti viselkedést.

A jelen kutatás a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, valamint a KÉSZ Csoport, bim.GROUP Kft. ipari partner együttműködésében valósult meg, melynek célja egy újrafelhasználható, szétszerelhető acél–beton öszvérfödém kifejlesztése, előregyártott vasbeton panelekkel és oldható nyírt kapcsolatokkal, valamint erre egy Eurocode alapú méretezési módszer kidolgozása. A kutatás célja továbbá a javasolt rendszer tudományos megalapozása laboratóriumi kísérletek és numerikus szimulációk segítségével, a rendszer egyedi mechanikai viselkedésének értékelésén keresztül.

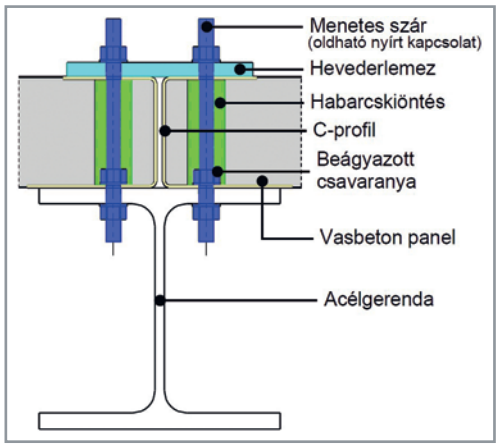
2. A KIFEJLESZTETT SZÉTSZERELHETŐ, EGYÜTTDOLGOZÓ SZERKEZETI RENDSZER

A javasolt szerkezeti rendszer melegen hengerelt acélgerendákból és előregyártott vasbeton panelekből áll. Az együttdolgozást a panelekbe ágyazott, menetes szárak biztosítják, amelyek oldható nyírt kapcsolóelemként működnek. Az *1. ábra* bemutatja azokat a kulcsfontosságú fejlesztési részleteket, amelyek a túlméretes furat kedvezőbb kezelését, a gyártási és kivitelezési megvalósíthatóság javítását, valamint a nyírt kapcsolóelemek szerkezeti viselkedésének – különösen a kezdeti merevség, a teherbírás és a képlékeny alakváltozási képesség – fejlesztését célozzák, melyek az alábbiak:

– előregyártott vasbeton panelek, helyszíni betonozás nélkül,
– panelekbe ágyazott acél C profilok a panelgeometria és a csavarok helyzetének pontosabb igazításához,
– habarcskitöltés a kapcsolóelemek körül a kedvezőbb tűrések elérésére,
– habarcsba ágyazott csavaranyák a kedvezőbb szerelés és kapcsolóelem-merevség érdekében,
– hevederlemezek a panelek között a globális szerkezeti merevség fokozására.

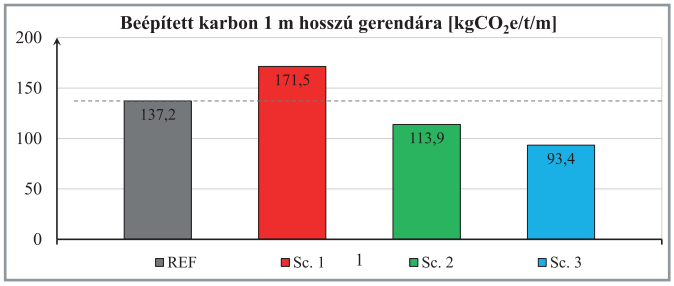
A szerkezeti rendszerre vonatkozó további részletek [17]-ben érhetők el.

A kifejlesztett szétszerelhető rendszer a fenntarthatósági célokkal összhangban lehetővé teszi az előregyártást, a gyors szerelést és bontást, valamint az elemek újrafelhasználását. Ezáltal csökkenti a beépített szén-dioxid-mennyiséget, mi-



1. ábra: A javasolt oldható nyírt kapcsolat

nimalizálja a hulladékot, és a hagyományos, hegesztett fejes csapos öszvérfödémekhez képest mérsékli a károsanyag-kibocsátást. Egy egyszerűsített beépített karbonlábnyom-elemzés rávilágít a rendszer újrafelhasználási potenciáljára, összehasonlítva egy hagyományos öszvérfödémet különböző újrafelhasználási kimenetelekkel. Csak újrahasznosítást feltételezve (Sc. 1), a kifejlesztett rendszer beépített szén-dioxidja a referenciaérték 1,25-szöröse a javasolt részletkialakítások miatt. Alacsony fokú újrafelhasználás esetén (Sc. 2), 80%-os elem-újrahasznosítással és az összes kapcsolóelem cseréjével a referenciaérték 83%-át éri el, míg nagyfokú újrafelhasználás esetén (Sc. 3), 95%-os elem- és 80%-os kapcsolóelem-újrafelhasználással 68%-ot ér el, amely azt mutatja, hogy már mérsékelt újrafelhasználás is ellensúlyozza a kezdeti karbonlábnyomot, és alátámasztja a rendszer alkalmazhatóságát a körforgásos tervezésben. Az egységnyi (1 m) hosszú öszvérgerenda beépített szén-dioxid-értékeinek összehasonlítását a *2. ábra* szemlélteti.



2. ábra: Egységnyi (1 m) hosszú öszvérgerenda beépített szén-dioxid-értékeinek összehasonlítása

3. A NYÍRT KAPCSOLÓELEMEK VIZSGÁLATA ÉS VISELKEDÉSE

A javasolt szétszerelhető nyírt kapcsolóelemek viselkedését hat különböző kialakításban, kinyomókísérleti program keretében vizsgáltuk. Minden próbatest egy HEB260 S235 acélgerendából és négy előregyártott C50/60 panelből állt, panelenként két M16 8.8 kapcsolóelemmel. A kísérletek során a következő konfigurációkat vizsgáltuk: betonba ágyazott csavar és csavaranya (A), 62 MPa nyomószilárdságú habarcsba ágyazott csavar és csavaranya (B), betonba ágyazott átmenő menetes szár és hevederlemez (C és D), valamint habarcsba ágyazott átmenő menetes szár és hevederlemez (E és F). Egy terhelésre előkészített próbatestet a *3. ábrán* láthatunk.

Az egyes változatok hasonló viselkedési karakterisztikával jellemezhetők, egységesen három lineáris szakaszból álló

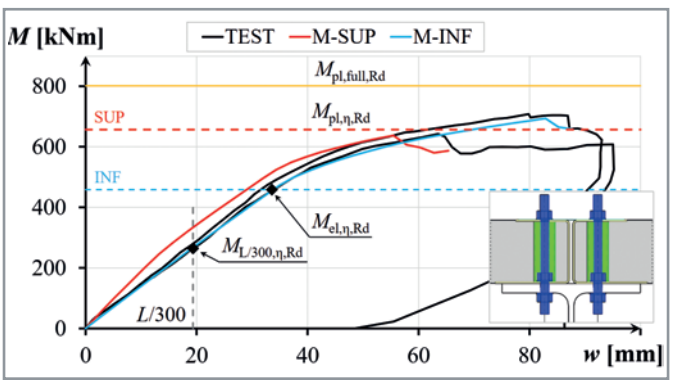


3. ábra: Egy előkészített kinyomókísérleti próbatest

erő–megcsúszás görbével: (i) rugalmas, (ii) képlékeny átrendeződés és (iii) képlékeny alakváltozási szakasz, miközben a javasolt részletkialakítások – habarcskiöntés és beágyazott csavaranya – kedvezően befolyásolták a kapcsolóelem merevségét és az erőeloszlást. A teherbírások viszonylag szűk tartományba estek, a csavarok nyírási–hajlítási duktilis tönkremenetelével jellemezhető módon, amelyet a kapcsolóelemek körüli lokális beton vagy habarcs repedése és leválása kísért, amint azt a *4. ábrán* láthatjuk. A kiértékelést az erő–relatív elmozdulás diagramok alapján hajtottuk végre, amelyeket numerikus szimulációkkal egészítettük ki. Az egyes típusokhoz tartozó kísérleti és numerikus eredményeket az *5. ábrán* láthatjuk. A javasolt szétszerelhető



4. ábra: Csavarok tönkremenetele (bal), betonrepedés és habarcskitöltés a csavar alakváltozásával (jobb)

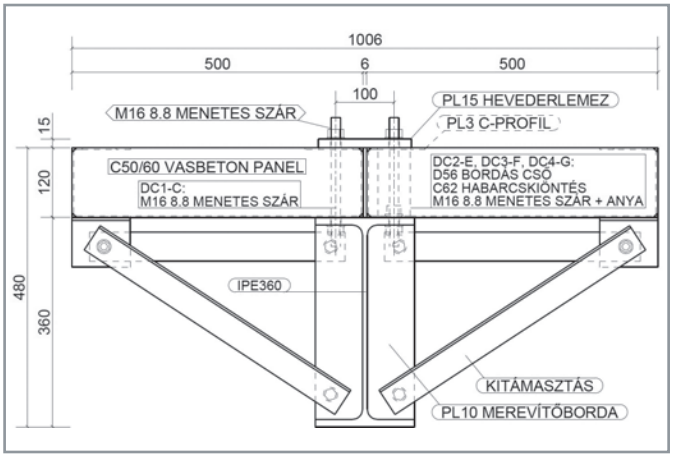


5. ábra: Az egyes kapcsolóelem-típusok erő–relatív elmozdulás diagramjai

kapcsolóelem konfigurációk megfelelő merevséget, teherbírást és képlékeny alakváltozási képességet biztosítanak a gyakorlati alkalmazáshoz szétszerelhető öszvérgerendákban. A kinyomókísérlet eredményeinek részletes kiértékeléséről [18]-ban, a numerikus szimulációkról [19]-ben olvashatunk.

4. AZ ÖSZVÉRGERENDÁK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA ÉS VISELKEDÉSE

A kifejlesztett szétszerelhető öszvérgerendák globális viselkedésének jellemzése érdekében a végektől számított 1,45 m távolságban, negyedelőpontjaiban terhelt gerendavizsgálatot hajtottunk végre, 5,8 m fesztávú, négy különböző kialakítású próbatesten. Minden próbatest IPE360 S355 acélgerendából és a keresztmetszetben két, egyenként 120 mm vastag, előregyártott C50/60 vasbeton panelből állt, S235 acél C profil kerettel ellátva. A DC1-C, DC2-E és DC3-F próbatestek két, hosszában folytonos panelből tevődtek össze, míg a DC4-G próbatest 5-5 elkülönített panelből állt. A DC1-C közvetlenül beágyazott kapcsolóelemekkel, a többi próbatest habarcskitöltéssel és azokba ágyazott anyákkal készült. A nyírt kapcsolóelemek 290 mm hosszanti kiosztásban, a középvonaltól szimmetrikusan 50 mm-re helyezkedtek el, melyeket 40 Nm nyomatékra húztunk meg. A DC3-F és DC4-G próbatestek esetében hevederlemezeteket helyeztünk el a panelek tetején. Az öszvérgerenda és a nyírt kapcsolatok általános részleteit a *6. ábra* szemlélteti, míg a *7. ábrán* egy előkészített próbatest látható.

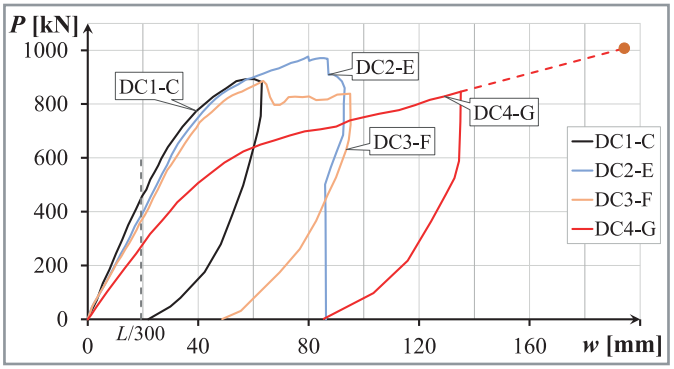


6. ábra: Az öszvérgerenda általános kialakítása



7. ábra: DC4-G próbatest vizsgálati elrendezése – terhelőkeretek és mérőberendezések

A próbatesteket képlékeny globális viselkedés jellemzi. A tönkremenetel, a kinyomókísérleteknél tapasztaltakkal összhangban, a kapcsolóelemek nyírási–hajlítási tönkremenetelével következett be, amelyet jelentős gerenda lehajlás és a panelmegcsúszás kísért. A *8. ábra* szemlélteti az egyes próbatestek erő–lehajlás görbéit, melyek kezdeti szakaszban lineárisak az acélgerenda alsó övének folyásáig, majd képlékeny szakasz következik a teherbírás eléréséig, melyet mérsékelt képlékeny leszálló ág követ. A betonpanelek túlnyomórészt rugalmas tartományban maradtak, és a tönkremenetel teherszintjén csak kisebb repedések jelentek meg a húzott szálban. A jelentős képlékeny alakváltozást a *9. ábra* demonstrálja.



8. ábra: Erő–lehajlás diagramok összehasonlítása

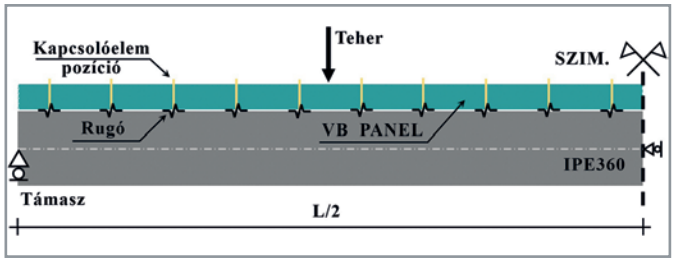


9. ábra: A DC4-G próbatest képlékeny alakváltozása

A habarcskiöntés és az abba ágyazott anyák, a kedvezőbb furat toleranciával együtt némileg csökkenti a kezdeti merevséget, ugyanakkor növeli a duktilitást, és kedvezőbb nyíróerő-eloszlást biztosít a kapcsolóelemek között. Az eredmények rámutatnak arra, hogy a kivitelezési tűrések és a csavarok pontos pozicionálása meghatározó szerepet játszanak a nyírt kapcsolat hatékonyságában, valamint az öszvérgerenda merevségében és teherbírásában. Többpaneles kialakítás esetén a hevederlemezek létfontosságúak a szomszédos panelek közötti hosszirányú erők átviteléhez és a szerkezeti integritás fenntartásához. A használhatósági határállapotban vett lehajlási határnál ($L/300 = 19{,}3$ mm) a szerkezet rugalmas tartományban maradt, képlékeny alakváltozás nem jelentkezett. A kísérleti program igazolta, hogy a kifejlesztett rendszer megfelelő szerkezeti viselkedéssel rendelkezik, miközben lehetővé teszi a szét- és összeszerelést a mérnöki gyakorlatban. A gerendákról további részletes kiértékelés a [20] munkában olvasható.

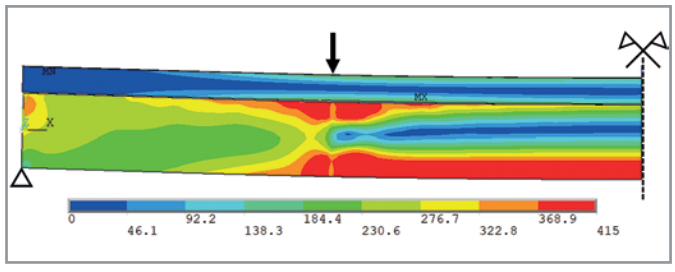
5. AZ ÖSZVÉRGERENDÁK NUMERIKUS VIZSGÁLATA ÉS VISELKEDÉSE

Az öszvérgerenda vizsgálatának kiterjesztése, valamint a mechanikai modell kidolgozása és az Eurocode alapú tervezési eljárás támogatása érdekében numerikus modellt fejlesztettünk a folytonos panelekkel rendelkező próbatestekre alkalmazva: DC1-C-re és DC2-E/DC3-F-re. A nyírt kapcsolóelemet az acélöv és a panelek között nemlineáris rugóelemekkel modelleztük. A kapcsolóelem rugókarakterisztikáit a kinyomókísérletek alapján kalibráltuk, két szélsőértéket definiálva: SUP (supremum) és INF (infimum). A SUP modell figyelmen kívül hagyja az előterhelést, kedvező csavarpozicionálásnak felel meg, így magasabb kezdeti merevséggel rendelkezik; míg az INF az előterhelést is figyelembe veszi, kedvezőtlen elhelyezést modellez, így a kezdeti megcsúszás következtében csökkentett merevséggel, de nagyobb duktilitással rendelkezik. A numerikus modell általános részleteit a *10. ábra,* míg a mechanikai modelleket a *14. ábra* szemlélteti.

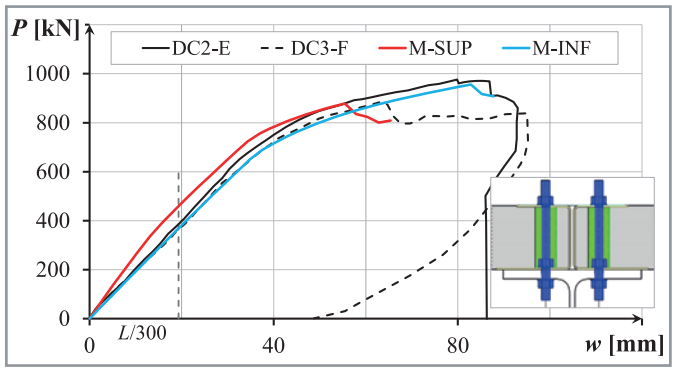


10. ábra: A numerikus modell általános részletei

A numerikus szimulációk sikeresen reprodukálták a kísérletek során megfigyelt viselkedést és tönkremeneteli módot. A SUP modellek esetén a DC2-E/DC3-F próbatest teherbírási teherszinten mért elmozdult alakjai Huber-Mises-Hencky (HMH) ekvivalens feszültségeloszlással a *11. ábrán* látható. A *12. ábra* a numerikus SUP és INF határokat hasonlítja össze a mért erő–lehajlás görbékkel a DC2-E/DC3-F próbatesteknél, megmutatva, hogy a kísérletek a két burkológörbe közé esnek, összhangban a csavarok tényleges pozicionálásában, jellemzően a nyíróerő-eloszlásában tapasztalt eltérésekkel. Az elemzést kiterjesztve paramétervizsgálatot végeztünk, melynek eredményei azt mutatják, hogy a merevséget és teherbírást elsősorban az acél anyagminősége, az acélszelvény geometriája és a nyírási fokszám mértéke határozza meg. Ezzel szemben a beton anyagminősége és a panelvastagság csak másodlagos hatással bír. Az eredmények stabil, kiszámítható viselkedést reprezentálnak a gyakorlati tervezési tartományban, amely a javasolt számítási módszer alapját képezi. További részlet [21]-ben érhető el.

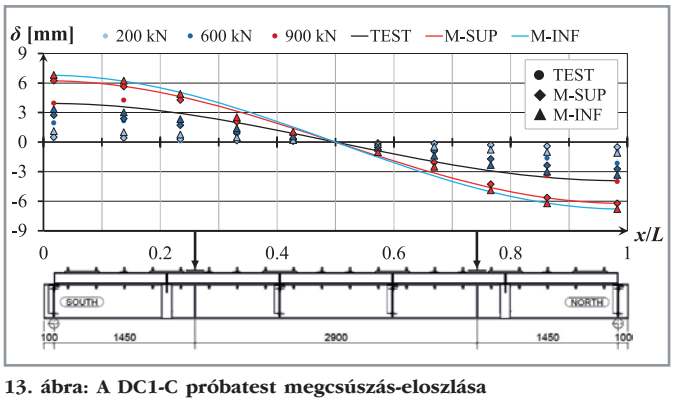


11. ábra: A DC2-E/DC3-F próbatest HMH feszültségeloszlása MPa-ban a tönkremeneteli teherszinten



12. ábra: A DC2-E/DC3-F próbatestek numerikus eredmények erő–lehajlás diagramjai

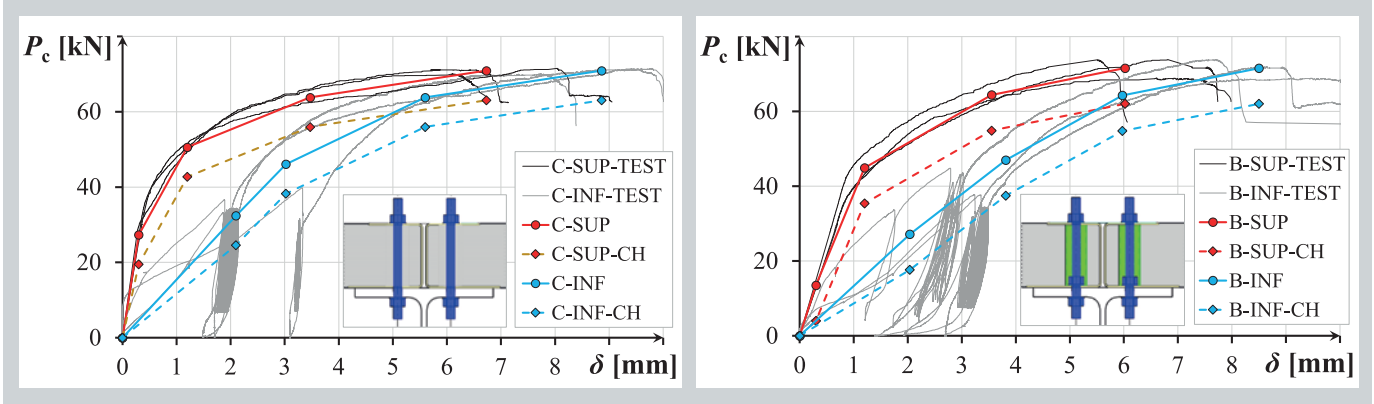
A hosszirányú megcsúszás-eloszlás alapvetően meghatározza az öszvérgerendák globális viselkedését, ezért azt numerikus előrejelzésekkel és kísérleti eredményekkel együtt vizsgáltuk. A *13. ábra* a DC1-C próbatest eredményeit szemlélteti. A mért megcsúszás-eloszlás jól közelíthető koszinuszfüggvénnyel, ami összhangban áll a korábbi, öszvérgerendákra vonatkozó kutatási eredményekkel. A terhelés bevezetési pontjainál a megcsúszás profilja megváltozik, ezt követően pedig a megcsúszás mértéke jelentősen csökken. Ez alátámasztja azt az általánosan elfogadott feltevést, hogy a gerendavégi kapcsolóelemek meghatározó szerepet játszanak a nyíróerő-átadás hatékonyságában. A teherbírási határállapotban megcsúszás-átrendeződés figyelhető meg, melynek következtében a rendszer képes a kapcsolóelemek közötti nyíróerő képlékeny átrendeződésére, összhangban a kapcsolóelemek mért alakváltozási képességével, bár alacsonyabb hatékonysággal, mint a fejes csapos kapcsolatok. Ennek következtében az Eurocode 4 képlékeny méretezési eljárása alkalmazható a gerenda képlékeny nyomatéki teherbírásának meghatározására, ugyanakkor módosítás szükséges, hogy a számításban figyelembe tudjuk venni a kifejlesztett rendszer sajátos megcsúszás-eloszlását és a kapcsolóelem megfigyelt jellemzőit.



13. ábra: A DC1-C próbatest megcsúszás-eloszlása

6. A TERVEZÉSI MÓDSZER KIDOLGOZÁSA

A javasolt, Eurocode alapú számítási eljárás az öszvérgerenda hajlítási teherbírását teherbírási határállapotban rugalmas és képlékeny megközelítéssel egyaránt elemzi, és tartalmazza a használhatósági határállapotban lévő lehajlásra és a végmegcsúszásra vonatkozó ellenőrzéseit. A módszer koszinusz alapú megcsúszás-eloszlást alkalmaz, és figyelembe veszi a kapcsolóelem specifikus, multilineáris erő–megcsúszás görbe jellegét, beleértve a túlméretes furat hatását és a csökkentett kezdeti merevséget.



14. ábra: A karakterisztikus mechanikai modellek: DC1-C, C típusú kapcsolóelemre (bal) és DC2-E/DC3-F, B típusú kapcsolóelemre (jobb)

Az eljárás kéttámaszú, szimmetrikus öszvérgerendákra vonatkozik, alul húzott nyomatéki ábra mellett, 1. vagy 2. keresztmetszeti osztályú acél I vagy H szelvénnyel (S235-S460 acélminőségben), amelyek hosszirányban folytonos C50/60 betonpanelhez csatlakoznak, egyenletes kiosztású, oldható nyírt kapcsolóelemekkel, legalább 45%-os nyírási fokszám mellett. A módszer épületszerkezeti alkalmazásokra készült, szobahőmérsékleten, függőleges terhelés esetén, 5–8 m fesztávval és 13–22 fesztáv/magasság aránnyal, valamint legfeljebb 4 mm csavarfurat-toleranciát definiálva a kapcsolóelemek modelljeire.

Az Eurocode 4 B mellékletével összhangban, a kinyomókísérletekből származó karakterisztikus kapcsolóelem-teherbírást a legkisebb mért tönkremeneteli teher 0,9-szereseként határoztuk meg. A javasolt eljárásban a mért erő–megcsúszás görbéket karakterisztikus, de ugyanúgy multilineáris modellekké alakítottuk lefelé történő eltolással, az eredeti jelleg megtartásával. Az így kapott SUP és INF karakterisztikus mechanikai modellek mindkét kapcsolóelem-típusra a *14. ábrán* láthatók.

Teherbírási határállapotban a módszer megengedi az acélgerenda és a nyírt kapcsolóelemek képlékeny viselkedését, valamint a betonpanel korlátozott repedezését egészen az első kapcsolóelem tönkremeneteléig. A képlékeny nyomatéki teherbírást egy kapcsolóelem effektív nyírási ellenállás meghatározásával számítjuk, koszinusz alakú megcsúszás-eloszlást feltételezve, $s_1 = 4{,}0$ mm végmegcsúszás határértékkel. Az értékelés a konzervatív SUP kapcsolóelem-modellel történik, melyet újszerű, koszinusz alapú súlyfüggvénnyel pontosítunk, amely igazodik a megcsúszás-eloszláshoz, továbbá figyelembe veszi az egyes kapcsolóelemek eltérő hatékonyságát a fesztáv mentén. A számítási eljárás lépései a következők:

1. A gerenda mentén koszinusz alapú $s(x)$ megcsúszás-eloszlást feltételezünk, $s_1 = 4{,}0$ mm végmegcsúszással, majd az (1) egyenlet szerint meghatározhatók az egyes kapcsolóelemekhez tartozó s_i csúszásértékek, ahol x a kapcsolóelem pozíciója, L pedig a gerenda fesztávja.

$$s_i = s(x_i) = s_1 \cos\left(\frac{\pi x_i}{L}\right) \tag{1}$$

2. Az egyes kapcsolóelemek P_i teherbírását az adott s_i megcsúszásérték és az ehhez tartozó SUP mechanikai modell alapján határozhatjuk meg *(14. ábra)*.
3. A súlyozás koszinusz alapú $w(x)$ súlyfüggvény alkalmazásával történik, amelyből a (2) egyenlet alapján számíthatók az egyes kapcsolóelemekhez tartozó w_i súlyok:

$$w_i = w(x_i) = \cos\left(\frac{\pi x_i}{L}\right) \tag{2}$$

4. A súlyokat a (3) egyenlet szerint normalizáljuk, hogy megkapjuk $w_{i,norm}$ értékeit:

$$w_{i,norm} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{3}$$

5. Az egyes kapcsolóelemekhez tartozó $P_{i,w}$ súlyozott nyíróerő a (4) egyenlet alapján számítható:

$$P_{i,w} = P_i \cdot w_{i,norm} \tag{4}$$

6. Az összes kapcsolóelem súlyozott nyíróerejének összege adja a $P_{Rk,eff}$ karakterisztikus effektív nyírási ellenállást az (5) egyenlet szerint:

$$P_{Rk,eff} = \sum_{i=1}^{n} P_{i,w} \cdot w_{i,norm} \tag{5}$$

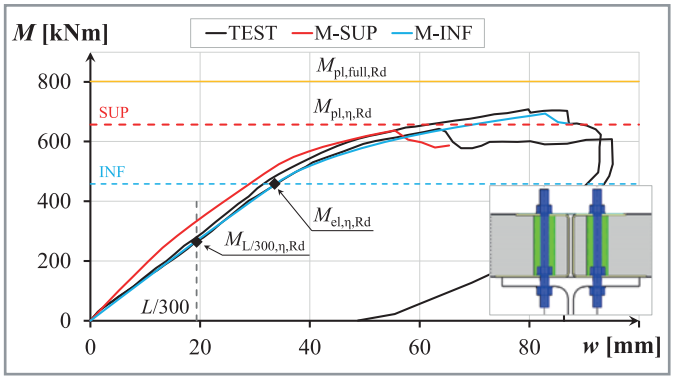
7. A $P_{Rd,eff}$ tervezési effektív nyírási ellenállást az az Eurocode 4 szerinti $\gamma_v = 1{,}25$ parciális biztonsági tényező alkalmazásával határozható meg.
8. Ezt követően az öszvérgerenda képlékeny nyomatéki teherbírását az Eurocode 4 képlékeny tervezési eljárása szerint számíthatjuk ki.

Alternatív megoldásként rugalmas tervezési megközelítés is alkalmazható, amely csak korlátozott képlékeny alakváltozást enged meg a nyírt kapcsolóelemekben, miközben az acélban és a betonban ébredő feszültségek az előírt határértékeken belül maradnak. A rugalmas nyomatéki teherbírást az $I_{y,comp}$ együttdolgozó keresztmetszet másodrendű nyomatékából, határozzuk meg, amelyet az acélszelvény és a panel geometriai jellemzői, valamint a $k_{sc,d}$ kapcsolóelemek merevsége, és az $s_{sc,eq}$ egyenértékű kapcsolóelemkiosztás alapján számítunk. Az így kapott teherbírást a [16]-ban meghatározott feszültséghatárok korlátozzák. A kapcsolóelemek $k_{sc,d}$ merevségét az INF mechanikai modellből határozzuk meg, amely konzervatív módon írja le a kezdeti rugalmas viselkedést, beleértve a kezdeti megcsúszás hatását is. A merevséget az erő–megcsúszás görbe kezdeti meredekségeként definiáljuk, amely a C típusú kapcsoló esetén 11,7 kN/mm, a B típusú kapcsoló esetén pedig 8,7 kN/mm.

Használhatósági határállapotban az öszvérgerenda üzemi viselkedését a feszültséghatárok, a lehajlás és a végmegcsúszás ellenőrzésével igazoljuk, különös tekintettel

a végmegcsúszás korlátozására az újrafelhasználhatóság érdekében. Karakterisztikus teherkombinációk mellett az acélszelvénynek, a betonpanelnek és a nyírt kapcsolóelemeknek a rugalmas tartományban kell maradniuk. Az ellenőrzéseket az $I_{y,comp}$ együttdolgozó keresztmetszet másodrendű nyomatékából, valamint a rugalmas vizsgálatnál alkalmazott $k_{sc,d}$ kapcsolóelemek merevsége figyelembevételével végezzük. A szerkezeti rendszerre vonatkozó kísérleti és numerikus eredmények alapján konzervatív határértékként 3,0 mm végmegcsúszási korlátot alkalmazunk, amely figyelembe veszi a túlméretes furatokat és a csavar rugalmas alakváltozását üzemi terhelés alatt, karakterisztikus teherkombináció esetén.

A *15. ábra* a DC2-E/DC3-F próbatestek kísérleti és numerikus nyomaték–lehajlás görbéit hasonlítja össze a számított rugalmas és képlékeny nyomatéki teherbírásokkal, az anyagvizsgálatok során mért anyagjellemzők és az adott kapcsolóelemekhez tartozó mért mechanikai modellek figyelembevételével. Az összehasonlítás azt mutatja, hogy a SUP határgörbével meghatározott képlékeny teherbírás jól reprodukálja a teherbírási határállapotban lévő szerkezeti viselkedést, míg a rugalmas teherbírás és az $L/300$ használhatósági lehajlási követelmény az INF határgörbével áll összhangban. Az eljárás így pontos és konzervatív tervezési burkológörbéket biztosít, amelyben a SUP mechanikai modell határozza meg a nyomatéki teherbírást teherbírási határállapotban, míg az INF modell szabja meg merevséget használhatósági határállapotban. További részlet [22]-ban érhető el.



15. ábra: A javasolt számítási eljárás validálása a DC2-E/DC3-F próbatestekre – a nyomaték-lehajlás diagramok összehasonlítása

A kifejlesztett számítási módszert kísérleti és numerikus eredményekkel egyaránt validáltuk, majd a paramétervizsgálat során több esetre is alkalmaztuk. Az eljárás következetesen jó pontosságot mutatott, és lehetővé teszi a javasolt szétszerelhető öszvérgerendák megbízható tervezését az újrafelhasználhatóság figyelembevételével, hozzájárulva ezáltal a fenntarthatóbb építőipari gyakorlatokhoz.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen kutatásban acélgerendából, előregyártott vasbeton panelekből és oldható nyírt kapcsolóelemekből álló, szétszerelhető öszvérgerendákat fejlesztettünk ki, amely támogatja az elemek újrafelhasználását és a körforgásos építést. A kapcsolóelemek vizsgálatára és továbbfejlesztésére kinyomókísérleti programot és numerikus elemzéseket végeztünk. Ezt követően négy darab 5,8 m fesztávú próbatesten teljes léptékű gerendakísérleteket hajtottunk végre, amelyeket további numerikus szimulációkkal egészítettünk ki. Az eredmények alapján igazoltuk, hogy a kapcsolóelem és a globális szerkezeti rendszer megfelelő merevséggel, teherbírással és alakváltozó képességgel rendelkezik, továbbá használhatósági határállapotban rugalmasan viselkedik, így a szerkezet szétszerelhetősége biztosított. A viselkedés leírására kedvező (SUP) és kedvezőtlen (INF) mechanikai modelleket vezettünk be, valamint a gerenda menti megcsúszás koszinusz alapú függvénnyel történő közelítését alkalmaztuk. Ezekre alapozva egy Eurocode alapú méretezési eljárást dolgoztunk ki és validáltunk, amely megbízható tervezési alapot biztosít a kifejlesztett szétszerelhető öszvérszerkezetekhez.

HIVATKOZÁSOK

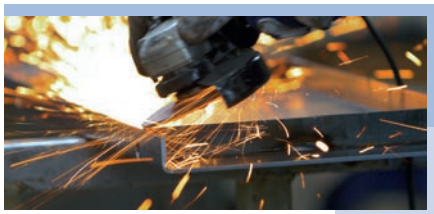
1. S. Selvaraj and T. M. Chan, “Recommendations for Implementing Circular Economy in Construction: Direct Reuse of Steel Structures,” *J. Constr. Steel Res.,* vol. 214, 2024.
2. A. Kanyilmaz, M. Birhane, R. Fishwick, and C. del Castillo, “Reuse of steel in the construction industry: Challenges and opportunities,” *Int. J. Steel Struct.,* vol. 23, no. 5, pp. 1399–1416, 2023.
3. H. Bartsch, “Reuse of reclaimed steel components in construction: A systematic review of potential, challenges and future directions,” *Structures,* vol. 80, 2025.
4. Y. H. Dong, L. Jaillon, P. Chu, and C. S. Poon, “Comparing carbon emissions of precast and cast-in-situ construction methods – A case study of high-rise private building,” *Constr. Build. Mater.,* vol. 99, pp. 39–53, 2015.
5. J. Thorne, D. v. Bompa, M. F. Funari, and N. Garcia-Troncoso, “Environmental impact evaluation of low-carbon concrete incorporating fly ash and limestone,” *Clean. Mater.,* vol. 12, 2024.
6. Fenwick Iribarren Architects, “974 Stadium,” project description, 2024. [Online]. Available: https://www.fenwickiribarren.com/project/974-stadium/. Accessed: Dec. 23, 2025.
7. Haitsma Beton, “Demountable multi-storey car park for ASML,” project news, 2016. [Online]. Available: https://www.haitsma.eu/nieuws/demountable-multi-storey-car-park-for-asml. Accessed: Dec. 23, 2025.
8. cepezed, “Temporary Courthouse Amsterdam,” project description, Nov. 2016. [Online]. Available: https://files.cepezed.nl/production/downloads/publications/temporary-courthouse-amsterdam-eng-cepezed.pdf. Accessed: Dec. 23, 2025.
9. D. Lam, X. Dai, A. F. Ashour, and N. Rehman, “Recent research on composite beams with demountable shear connectors,” *Steel Constr.: Des. Res.,* vol. 10, no. 2, pp. 125–134, 2017.
10. M. Pavlovic, M. Spremic, Z. Markovic, and M. Veljkovic, “Headed shear studs versus high-strength bolts in prefabricated composite decks,” in *Composite Construction in Steel and Concrete VII,* 2013, pp. 687–702.
11. A. Sarri, *Assessment of Steel–Concrete Shear Connector System with Resin-injected Bolts,* Ph.D. dissertation, Delft Univ. Technol., Delft, The Netherlands, 2019.
12. M. P. Nijgh, I. A. Gîrbacea, and M. Veljkovic, “Elastic behaviour of a tapered steel–concrete composite beam optimized for reuse,” *Eng. Struct.,* vol. 183, pp. 366–374, 2019.
13. A. Kozma, J. Yang, A. Ahmad, and C. Odenbreit, “Demountable composite beams for a circular econo-

my: Large-scale beam tests," *Steel Constr.,* vol. 17, no. 1, pp. 11–20, 2024.

14. EN 1994-1-1, *Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures – Part 1–1: General Rules and Rules for Buildings.* Bruxelles, Belgium: CEN, 2004.
15. A. Kozma, A. G. Coelho, J. Yang, and C. Odenbreit, "A new concept and algorithm to transfer brittle and arbitrary load–slip curves into an effective shear resistance suitable for Eurocode 4," *J. Theor. Appl. Mech.,* pp. 705–718, 2022.
16. A. M. G. Coelho, M. Lawson, D. Lam, and J. Yang, *Guidance on Demountable Composite Construction Systems for UK Practice,* SCI P428, 2020, ISBN 978-1-85942-245-8.
17. K. Király and L. Dunai, "Experimental Study of Novel Demountable Shear Connectors for Steel-concrete Composite Buildings," *Period. Polytech. Civ. Eng.,* vol. 68, no. 2, pp. 647–656, 2024, doi: 10.3311/PPci.22732.
18. K. Király, L. Dunai, L. Calado, and A. B. Kocsis, "Push-out tests of demountable shear connectors for sustainable composite structures," *Steel Constr.,* vol. 17, no. 4, pp. 200–211, 2024, doi: 10.1002/stco.202300044.
19. K. Király, L. Borsi, L. Dunai, and N. Kovács, "Development and evaluation of demountable shear connectors for steel–concrete composite structures," *Proc. Inst. Civ. Eng. – Struct. Build.,* 2025, doi: 10.1680/jstbu.24.00160.
20. K. Király, L. Dunai, L. Calado, and A. B. Kocsis, "Experimental study on demountable steel-concrete composite beams," *J. Constr. Steel Res.,* vol. 231, 2025, doi: 10.1016/j.jcsr.2025.109582.
21. K. Király, L. Dunai, L. Calado, and A. B. Kocsis, "Numerical analysis of demountable composite beams," *Engineering Structures,* submitted for publication, 2025.
22. K. Király, L. Dunai, L. Calado, and A. B. Kocsis, "Development and design of demountable composite beams," *Structures,* submitted for publication, 2025.

ABRAZIV Kft., Kecskemét, Paul Lechler u. 3. | +36 76 815 900 | info@abraziv.hu | www.abraziv.hu



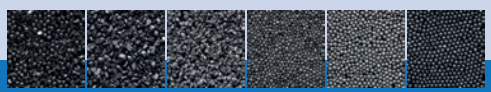




ABRAZIV
Innovation. Together.

IPARI MECHANIKUS FÉMFELÜLET TISZTÍTÁS

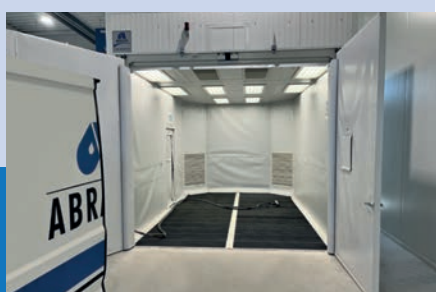
- SZEMCSESZÓRÓ BERENDEZÉSEK
- SZEMCSESZÓRÓ ANYAGOK
- SZERVIZ ÉS PÓTALKATRÉSZEK



Innovation. Together.







Kérjen időpontot gépbemutatóra!
+36 20 310 7133

SYRIUS®
HEGESZTÉS ÉS VÁGÁSTECHNIKA



SYRIUS LÉZERTECHNOLÓGIA



LÉZERHEGESZTŐK



LÉZERVÁGÓK


LÉZERTISZTÍTÓK

TAPASZTALJA MEG A PÁRATLAN PONTOSSÁGOT ÉS HATÉKONYSÁGOT A SYRIUS LÉZERVÁGÓ ÉS LÉZERHEGESZTŐ GÉPEINKKEL

- FEJLETT LÉZERTECHNOLÓGIA
- FELHASZNÁLÓBARÁT FELÜLET
- MAGAS HATÁSFOK

www.syriuslaser.hu
info@syrius.hu
3508 Miskolc, Futó utca 74.

NÉZZE MEG VIDEÓN!
Olvassa be a QR kódot,
és nézze meg bemutatóvideónkat

Póta András *szakági főmérnök*
MSc Kft.

KÜLÖNLEGES KÉRDÉSEK A GYULAFIRÁTÓTI VÖLGYHIDAK ÁTÉPÍTÉSÉNEK TERVEZÉSÉNÉL

ELŐZMÉNY
– búcsú két nagyon szép 120 éves hídszerkezettől

A Bakony festői szépségű tájain halad keresztül a Győr-szabadhegy–Veszprém vasúrvonal. Ezen a vonalon Gyulafirátót közelében helyezkedik el egymást követően 250 m-rel két darab 1896-ban épült gyönyörű vasúti híd *(1.* és *2. ábra)*.

A – mérnöki szem számára – megkapó formájú halhas alakú feszítőműves rácsos acélhidak állapota sajnos a 120 év alatt, a többszöri erősítés, felújítás ellenére annyira leromlott, hogy átépítésük elkerülhetetlenné vált.

AZ ÁTTERVEZÉS SZEMPONTJAI

Mivel a hidak kiemelt műemléki védelem alatt álltak, a tervezéshez a műemlékvédelmi hivatal, valamint műemléki szakértők bevonása vált szükségessé. A műemlékvédelmi szakemberek állásfoglalása alapján a tervezéskor iránymutató fő szempont az volt, hogy az új felszerkezetek rácsos hálózata egyezzen meg a régi hidakéval, a pályaszerkezet típusa maradjon a régivel egyező hídfás leerősítés, a felszerkezet anyaga szintén acél, de korszerű csomóponti megoldásokkal, valamint a régi tömör falazott mészkő hídfőket meg kell tartani. Korrigálni kell a régi híd néhány hiányosságát, úgy mint: a rézsűkön és hídfőkön az üzemi közlekedési tér és félreállóhely biztosítását, a hídszerkezetbe történő lejutás elősegítését hágcsóval, valamint az eddig nem létező vizsgálójárda és vizsgálólépcsők kialakítását. A hídfők kőfelületeinek javítása és eredeti formájukban történő helyreállítása szintén a feladat része volt.

TERVEZÉS

A hídszerkezet tartótípusát a műemlékvédelmi szempontok egyértelműen kijelölték: felsőpályás, rácsos acélhíd alsó feszítőművel *(3. ábra)*. A pályaszerkezet hídfái modern poliuretán kompozit műanyagból készülnek.

A rúdszelvények kiválasztásánát két egymással ellentétes szempont határozta meg: a mai, korszerű vasúti hidaknál alkalmazott „H” szelvényű, vagy a régire jobban hasonlító és karcsúbb, egygerincű, „+” szelvényű rudak kerüljenek megtervezésre *(4.* és *5. ábra)*.

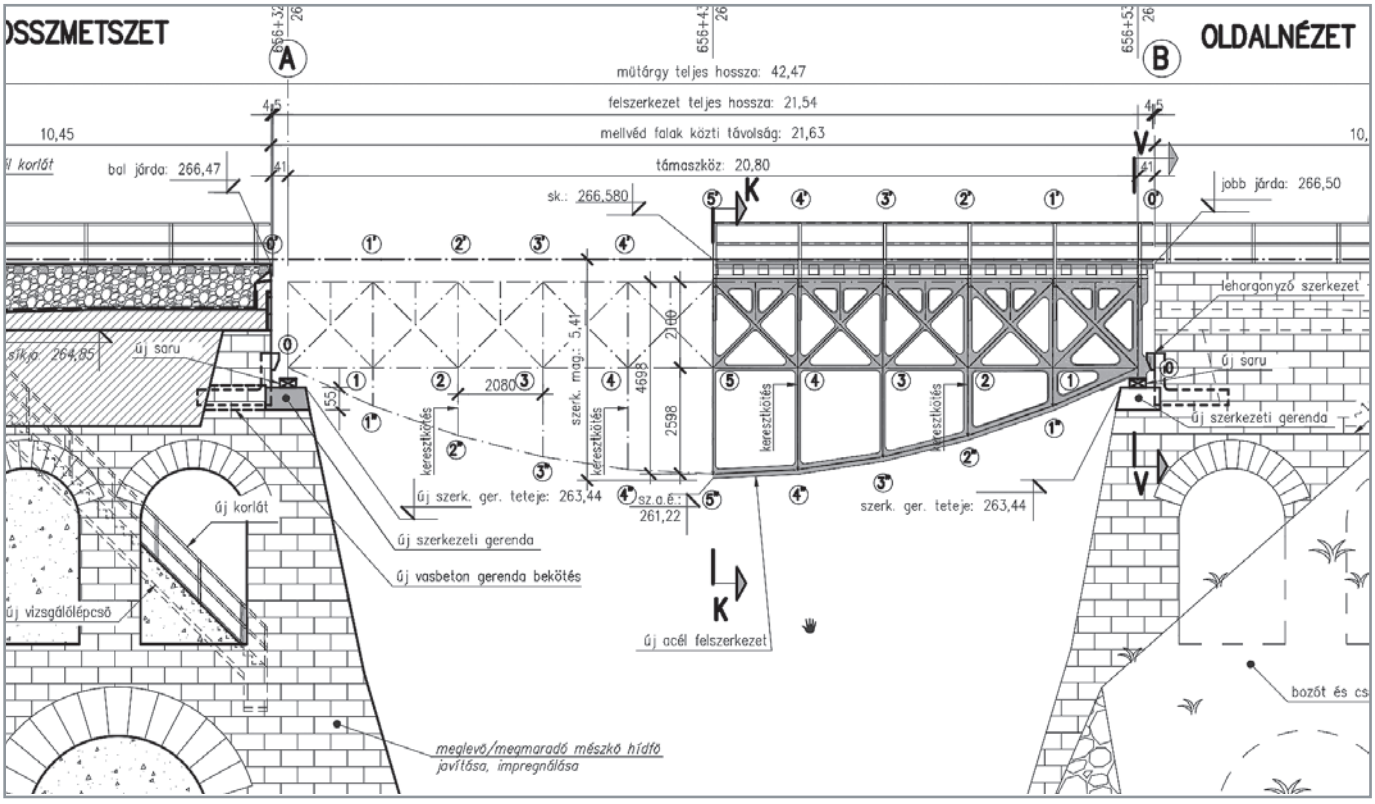
A tervező választása az utóbbi karcsúbb, légiesebb kialakítású szerkezetre esett. A végleges látványterv a *6. ábrán* látható, valamint alatta összehasonlításul feltüntetjük a régi hidat *(7. ábra)* és a már megvalósult új hidat is *(8. ábra)*.



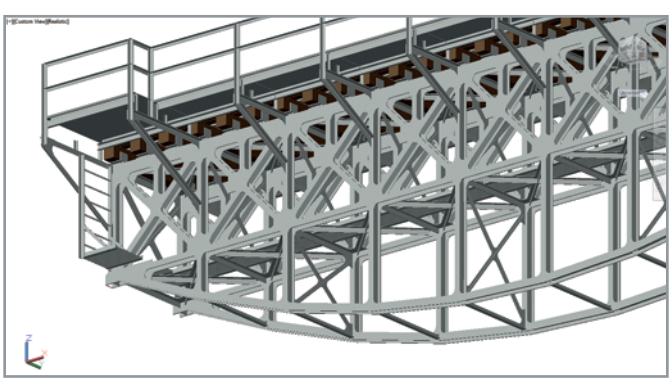
1. ábra: Eredeti II. Rátóti viadukt a 659 hm szelvényben (Fotó: Pete Gábor)



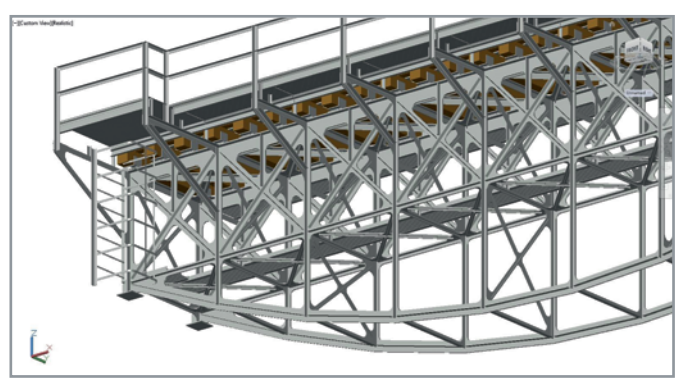
2. ábra: Eredeti I. Rátóti viadukt a 656 hm szelvényben (Fotó: Pete Gábor)



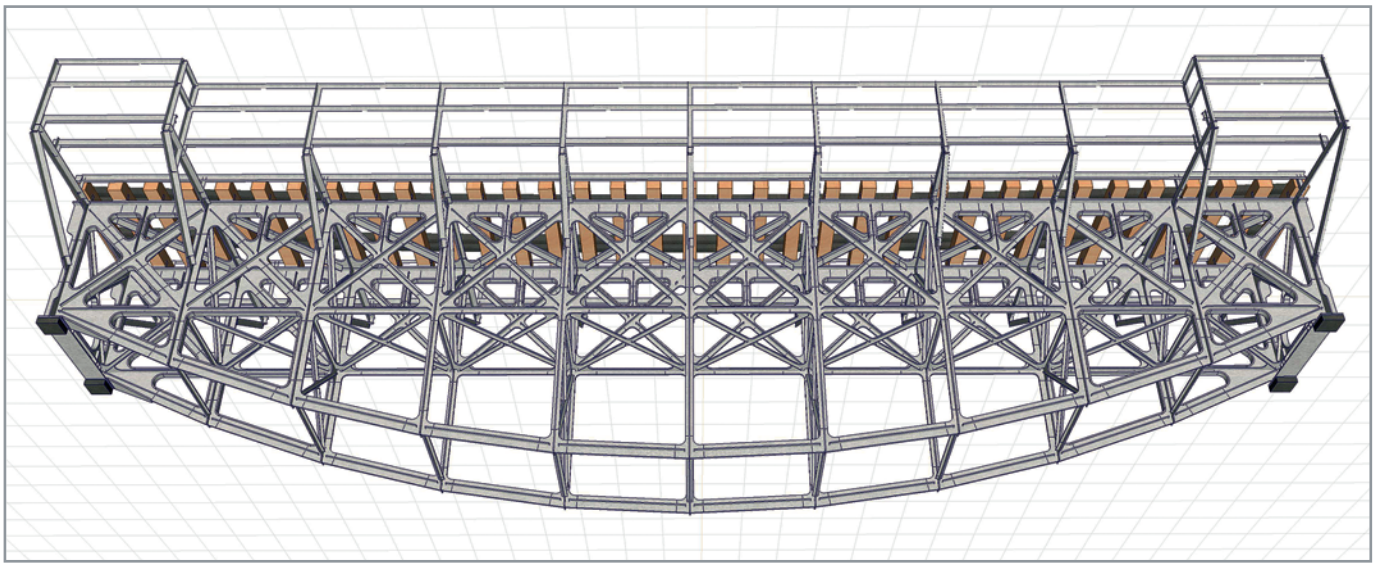
3. ábra: Az új hidak oldalnézete



4. ábra: Látványterv „H" szelvényekkel



5. ábra: Látványterv „+" szelvényekkel



6. ábra: Látványterv



7. ábra: Régi híd



8. ábra: Új híd

ÚJJÁSZÜLETÉS

Az új felszerkezetek 2025 tavaszára készültek el. A következő képeken a régi és az új híd (hidak) összehasonlítását láthatjuk. Véleményem szerint a műemlékvédelem részéről jó döntés volt a régi, izgalmas, rácsos hálózat megtartása. Kár, hogy a képeken látható belső szögből elénk táruló látványban csak a kezelőszemélyzet gyönyörködhet a jövőben.



9. a) ábra: Régi híd oldalról



9. b) ábra: Új híd oldalról

A *10. b) ábrán* látható, hogy az új hidak belső vizsgálójárdájának nincs hagyományos szögacél korlátja. Ez annak a műemlékvédelmi előírásnak való megfelelésből fakad, miszerint az új híd hálózatának látványát nem rondíthatja el a kézléc, térdléc és lábléc vonala. Ezen megfontolásból készült a vizsgálójárda járófelülete vékony, áttetsző járórácsból és nem tömör lemezből, ami jól látható a *8. ábrán.*



10. a) ábra: Régi híd belseje



10. b) ábra: Új híd belseje



10. c) ábra: Új híd belseje „csontszövet”

A *11. a)* és *11. b) ábrákon* látható az eredeti szerkezet és az új híd látványa. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy az új híd szépségét – már amennyiben a kedves olvasó is úgy gondolja – nem csupán a kivitelezőknek, jelen tervezőnek, hanem főként múlt előtti század nagy tehetségű mérnökeinek is köszönhetjük.



11. a) ábra: Régi híd távolról



11. b) ábra: Új híd távolról

KÖZREMŰKÖDŐK

Megbízó:	MÁV Zrt.
Megrendelő kivitelező (I. ütem):	MÁV FKG Kft.
Generáltervező (tanulmányterv, engedélyezési terv, kiviteli terv):	MSc Kft.
Altervező (vasúti pálya, építészet, műemlékvédelem, környezetvédelem):	Unitef 83’ Zrt.
Generálkivitelező (II. ütem):	Híd-Tám Kft.



MAHEG

A Magyar Hegesztési Egyesület

meghívja Önt és Kollégáit

a

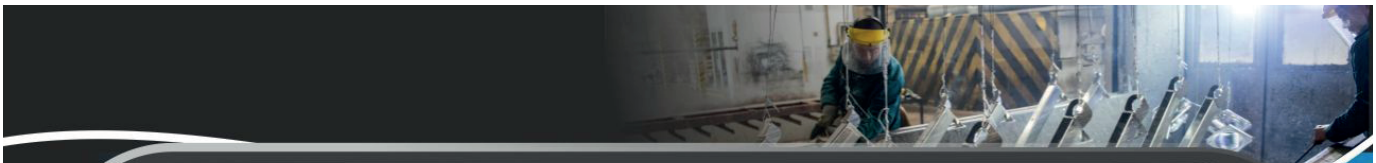
XXXIII. NEMZETKÖZI HEGESZTÉSI KONFERENCIÁRA

TÁRSSZERVEZŐK:
a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesülés
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

PARTNEREK:
a Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség
a Magyar Acélszerkezeti Szövetség

HELYSZÍN ÉS IDŐPONT:
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
2026. június 18-19.





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 mindenkori szem előtt tartásának köszönhetően mára a cég térségének egyik legjelentősebb munkáltatójává nőtte ki magát, és a dél-somogyi, segesdi központ mellett Észak- és Kelet-Magyarországon is bír telephelyekkel.

Legfőbb erőssége acélszerkezetek, acélalkatrészek és kötőelemek sorozatgyártása, valamint azok felületvédelemmel (tűzihorganyzás, 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 tanusítványokkal, 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 agráriparban, közlekedésiparban és egyéb gépipari környezetben is felhasználásra kerülnek.

PROFIL:

-acélszerkezet gyártás
-tűzihorganyzás 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 kerámiakád
-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 8.8-10.9) 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)

Balogh Ádám *tervező mérnök*
FŐMTERV Zrt.

M7 AUTÓPÁLYA FELETTI VELENCEI GYALOGOS-KERÉKPÁROS HÍD KIVITELEZÉSÉNEK TERVEZÉSI TÁMOGATÁSA

Az elkövetkező évek egyik legjelentősebb gyorsforgalmiút-fejlesztési projektje az M7 autópálya szélesítése lesz. Ennek a beruházásnak előrehozott elemeként valósult meg a velencei pihenőben az autópálya felett átívelő gyalogos-kerékpáros híd. A MAGÉSZ Acélszerkezetek 2024. évi 3. számában megjelent cikkben ismertettük a Velencei gyalogoshíd tervezésének körülményeit, kihívásait és főbb állomásait. A kiviteli tervezést hamar követte a kivitelezés, mely a 2025. év elején elindult.

A GYÁRTÁS ÉS KIVITELEZÉS SZEREPLŐI

Az építtető MKIF Zrt. megbízásából a Duna Aszfalt Zrt. végezte a híd kivitelezését. A FŐMTERV Híd és szerkezettervezési irodája a kivitelezés alatti tervezés keretében, a Duna Aszfalt Zrt. megbízásából végezte el az acélszerkezet gyártmányterveinek, a szereléshez szükséges technológiának és organizációnak, valamint az ezeket a munkákat egy működő autópálya felett/mellett lehetővé tevő ideiglenes forgalomterelések tervezését. Az acélszerkezet helyszíni szerelési munkáit a Steel Millennium Kft. végezte a Duna Aszfalt Zrt. műszaki felügyelete mellett. A híd kivitelezése és a tervezés során elsődleges szempont volt, hogy az M7-es autópálya forgalmát a lehető legkevesebb ideig és sávban zavarjuk.

A HÍD ACÉLSZERKEZETÉNEK ALAPADATAI

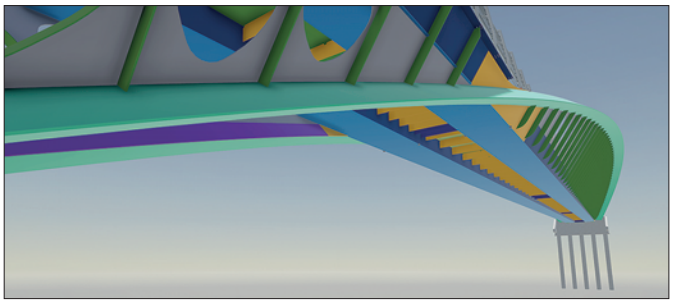
A híd acélszerkezetének hossza 80,00 m. A híd íves főtartójú, áttört gerinclemezes gerendahíd, és ívhíd jellegű szerkezeti viselkedést is mutat, jellemzően inkább ívhídszerű teherviseléssel. A híd erőjátékát alapvetően meghatározta, hogy ki akartuk küszöbölni az ív letámasztásánál a csak költségesen felvehető vízszintes reakcióerőt, így egy ferde vasbeton kitámasztórúd segítségével vontuk be a pályaszerkezetet a hídfőbe, befogott vonórúdként a felsőpályás részen. A ferde rúd vízszintes komponensét a pályaszerkezet, a függőleges komponensét az 1-es támasz alatti húzott cölöpök veszik fel.

A híd hasznos szélessége 4,50 m, a pályalemez szélessége 4,84 m. A híd szerkezetének szélessége folyamatosan változik a híd hossza mentén, az íves főtartók 56 fokban kifelé döntött ferde síkja miatt. Az íves főtartó zárt, háromszög alakú keresztmetszetű, 0,45 × 0,80 m-es befogókkal, ezek függesztik fel, illetve támasztják alá az iker, trapéz-keresztmetszetű merevítőtartót. A merevítőtartó trapézszekrényei között laposacél keresztbordák merevítik a pályalemezt. A híd acélszerkezetének tömege 193 t, jellemzően 12–25 mm vastag lemezeket alkalmaztunk. A legvastagabb, 40 mm-es lemezeket az ívek befogásának környezetében kellett használni.

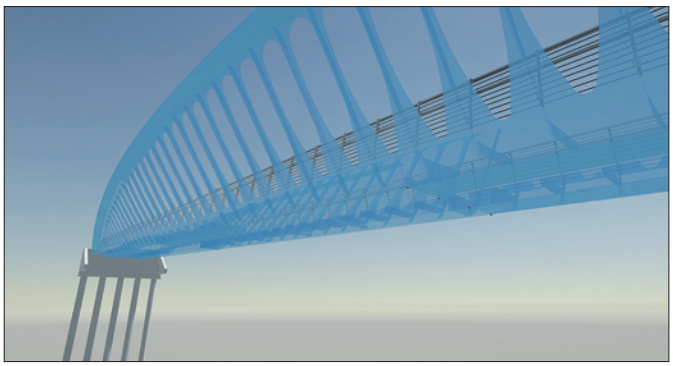


1. ábra: A megépült híd

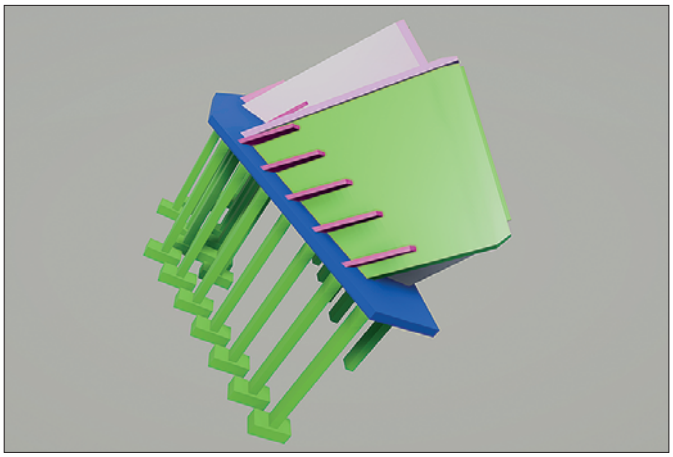
A teljes acélszerkezet anyagminősége az MSZ EN 10025 szerinti S355J2+N. A befogást adó talplemezes kapcsolatnál a menetes szárak helyett az üzemeltetési szempontból kedvezőbb, laposacélos lehorgonyzás alkalmazása mellett döntött a kivitelező. Ezen laposacélok anyagminősége az MSZ EN 10025 szerinti S690QL.



2. ábra: Acélszerkezeti modell



3. ábra: Acélszerkezeti modell



4. ábra: Lehorgonyzó csonk részlete

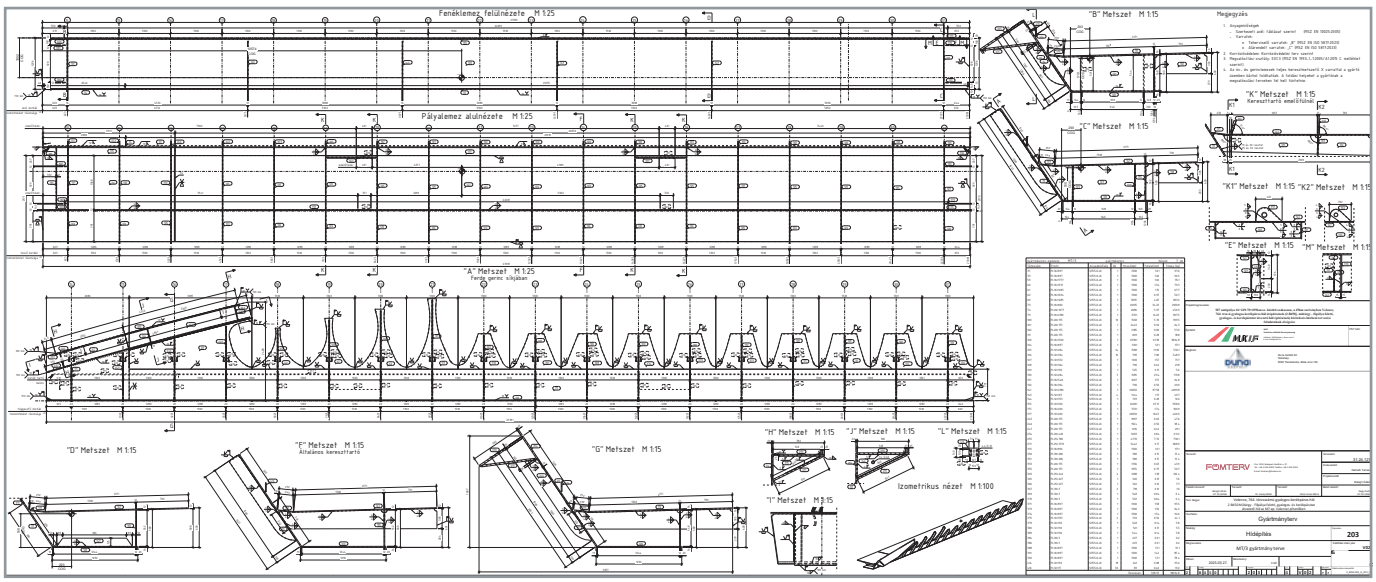
GYÁRTMÁNYTERVEK KÉSZÍTÉSE

A kivitelezés alatti tervezés első lépése az acélszerkezet gyártmányterveinek elkészítése volt, mely komoly kihívást jelentett – a teljesen egyedi és a szokásostól merőben eltérő geometria esetén a gyártási egységek meghatározása a bevett megoldásoktól eltérő megfontolásokat kívánt. A teljes híd acélszerkezeti modelljét és ezekből az elrendezési, gyártmány- és elemterveket TEKLA Structures-ben készítettük. A fő egységeket maga az építési organizáció és forgalomtechnika határozta meg – a működő M7 autópálya felett csak segédjármokkal támogatott, daruzott technológia jöhetett szóba. A daruk lehetséges pozíciói és a daruk kapacitásai határozták meg az emelési egységek méretét – így a hossza mentén négy, ~20 m-es részre osztottuk a hidat.

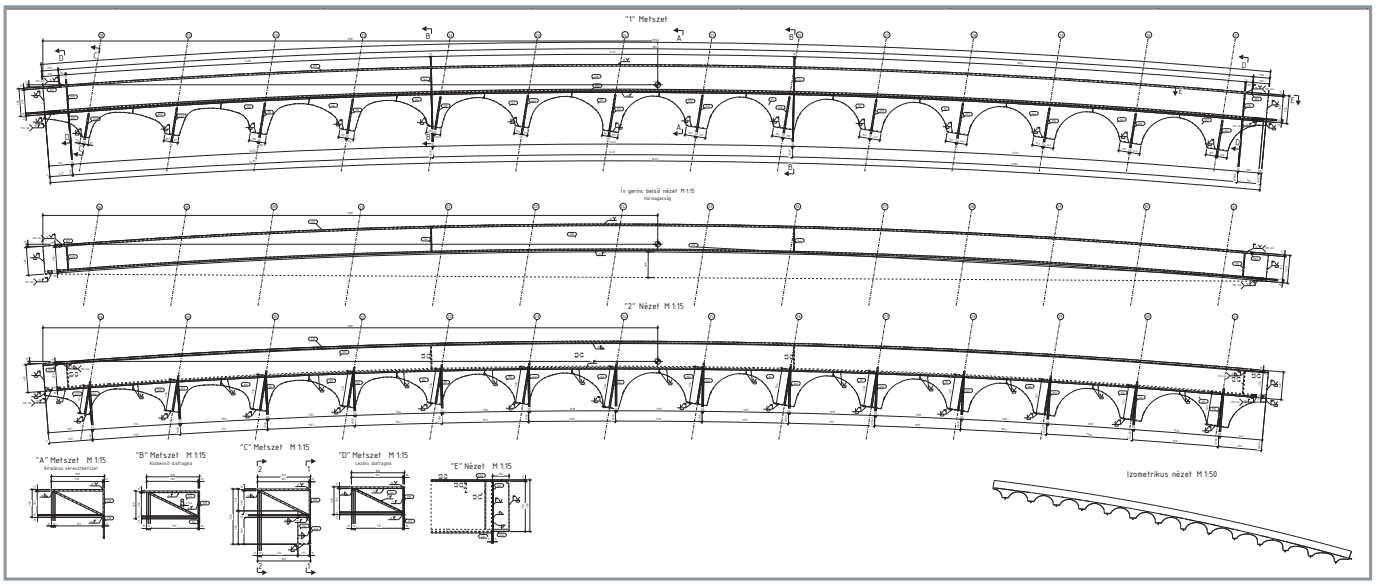
A 4 emelési egységet további darabokra, szerelési egységekre és gyártmányokra osztottuk. Az acélszerkezet a Duna Group leányvállalatánál, a Duna Polska Lengyelországban található gyárában készült. Különösen nagy kihívást jelentett mind a gyártás, mind a tervezés során a háromszög keresztmetszetű, íves acél főtartó alsó övének kétszer görbült geometriája. A görbült felületet az íves főtartó diafragmái határozták meg, melyre az öv önsúlyából idomult, a járulékos feszültség 6 MPa-ra adódott számítás szerint. A merevítőtartó és az ívek légzáró kivitelben készültek, így belső korrózióvédelemre nem volt szükség.

A merevítőtartó trapéz alakú szekrényeit a gyárban fejjel lefelé építették össze az alábbi sorrendben: a kifektetett pályalemezre a függőleges gerinclemezt kétoldali sarokvarrattal, a ferde gerincet egyoldali fél Y varrattal rögzítették. Lezáróelemként a fenéklemez került kívülről a függőleges gerinchez fél Y varrattal, a ferde gerinchez Y varrattal rögzítve – ehhez a fenéklemez élét teljes hosszában elő kellett készíteni.

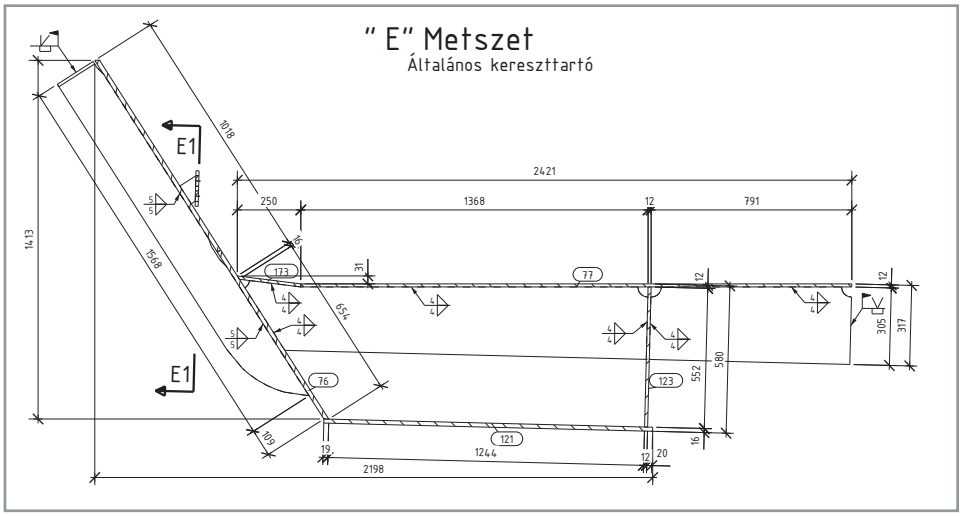
Az ív háromszög alakú keresztmetszetének alaktartását ~6 m-enként elhelyezett diafragmák biztosították. Az összeállítását a gyárban a két derékszög alakú lemezzel kezdték, majd erre a diafragmák rögzítése után került rá a háromszög átfogójaként a harmadik öv. A keresztmetszet valamennyi nyakvarrata 10 sarok, fél Y és Y varrat.



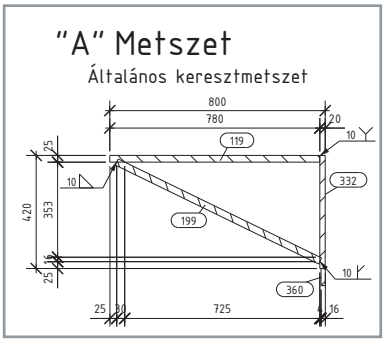
5. ábra: Merevítőtartó gyártmányterve



6. ábra: Íves főtartó gyártmányterve



7. ábra:
Merevítőtartó keresztmetszete



8. ábra: Íves főtartó keresztmetszete

HELYSZÍNI SZERELÉS

A helyszíni szereléshez szerelőterületeket alakítottak ki a pihenőhely északi és déli oldali parkolóiban. Az előszerelő területen először kifektetve összeállították a fél keresztmetszeteket. A szerelés ezen lépése nagy pontosságot igényelt, ugyanis a „kutyacsont" alakú függesztőrudak önálló gyártási egységekként érkeztek a helyszínre. Annak érdekében, hogy a csepp alakú kivágások formája törés- és ugrásmentes legyen, nem volt lehetőség ráhagyás alkalmazására, így a merevítőtartó és ívgyártmányok elhelyezése és gyártási pontossága kiemelt figyelmet kapott.

SEGÉDJÁRMOK

A segédjármok megtervezése, elhelyezése és építése a kivitelezés egyik legkényesebb és legnagyobb körültekintést igénylő eleme volt. A segédjármokat sikerült úgy elhelyeznünk, hogy teljesíteni tudtuk az eredeti legfontosabb célkitűzést, azaz hogy a híd építése során csak egy-egy rövidebb időszakra korlátozzuk az autópálya forgalmát, Balaton felé 2, Budapest felé 3 sávon folyamatosan haladhasson a forgalom.

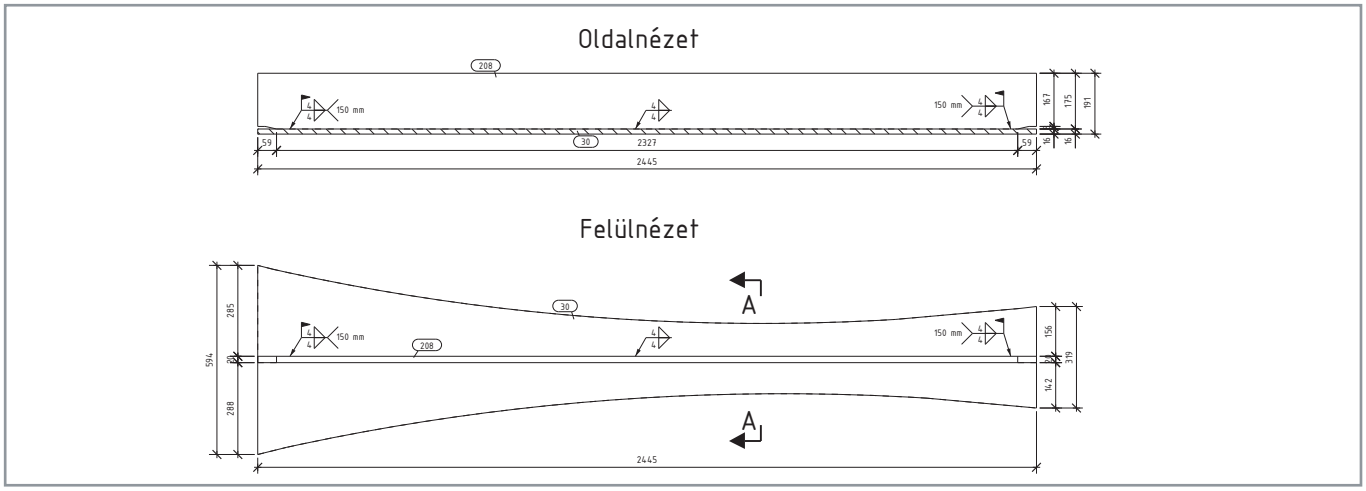
A jármok erőtani megfeleltetése a szokásosnál nagyobb kihívást jelentett. Ezek a szerkezetek jellemzően robusztusak, nagy nyomóerő felvételére vannak konstruálva, méretezve. A Velencei gyalogos-kerékpáros híd könnyű, karcsú szerkezet, így az önsúlyból viszonylag kis normálerő ébred a jármokban. Emellett az ívek és az áttört gerinc nagy „vitorlaként" funkcionál, a szélteherből komoly oldalirányú erők ébrednek, amik a jármok felborulásával fenyegettek, így széles, pozíciónként két, autópálya-tengely irányában elhelyezett jármot (összesen így 6 darab) alkalmaztunk.

Az egyes emelési egységeket a jármokon elhelyezve kellett a kivitelezőnek rögzítenie, majd elkészítenie a teljes keresztmetszet illesztését adó varratokat. Az ívek csatlakoztatása nagy pontosságú szerelést és beállítást igényelt, a toldóvarratok elkészítéséhez a felső övben ablakot alakítottunk ki.

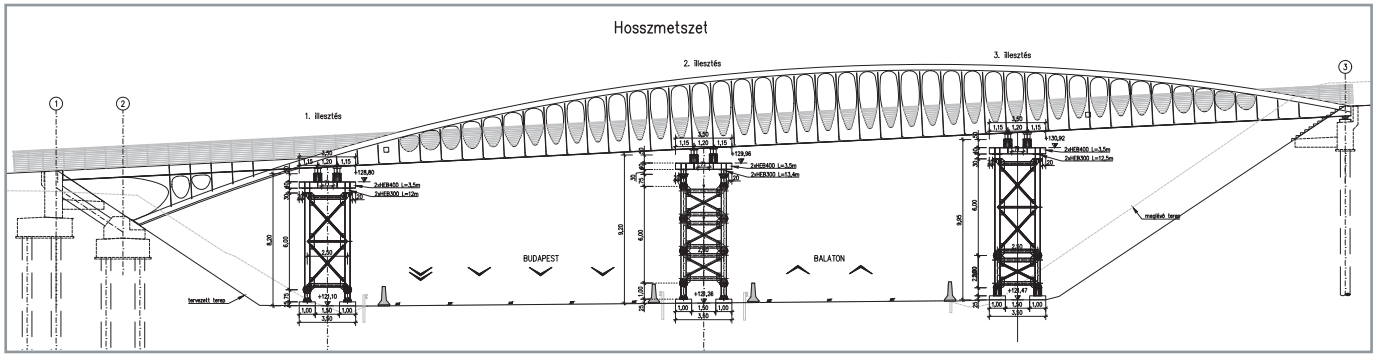
Az egyes, a szerelőtéren összeállított emelési egységek daruzása félpályás pályazárak mellett történt, 2025 szeptemberében és októberében egy-egy szombatról vasárnapra virradó éjszakán. A híd műszaki átadása 2026 márciusában kezdődött, a forgalomba helyezés 2026. május 6-án zárult, ekkor egyből megtörtént a forgalomba helyezés, ugyanis meg kellett kezdeni a régi híd bontási munkáinak előkészítését.



9. ábra: Szerelőtér



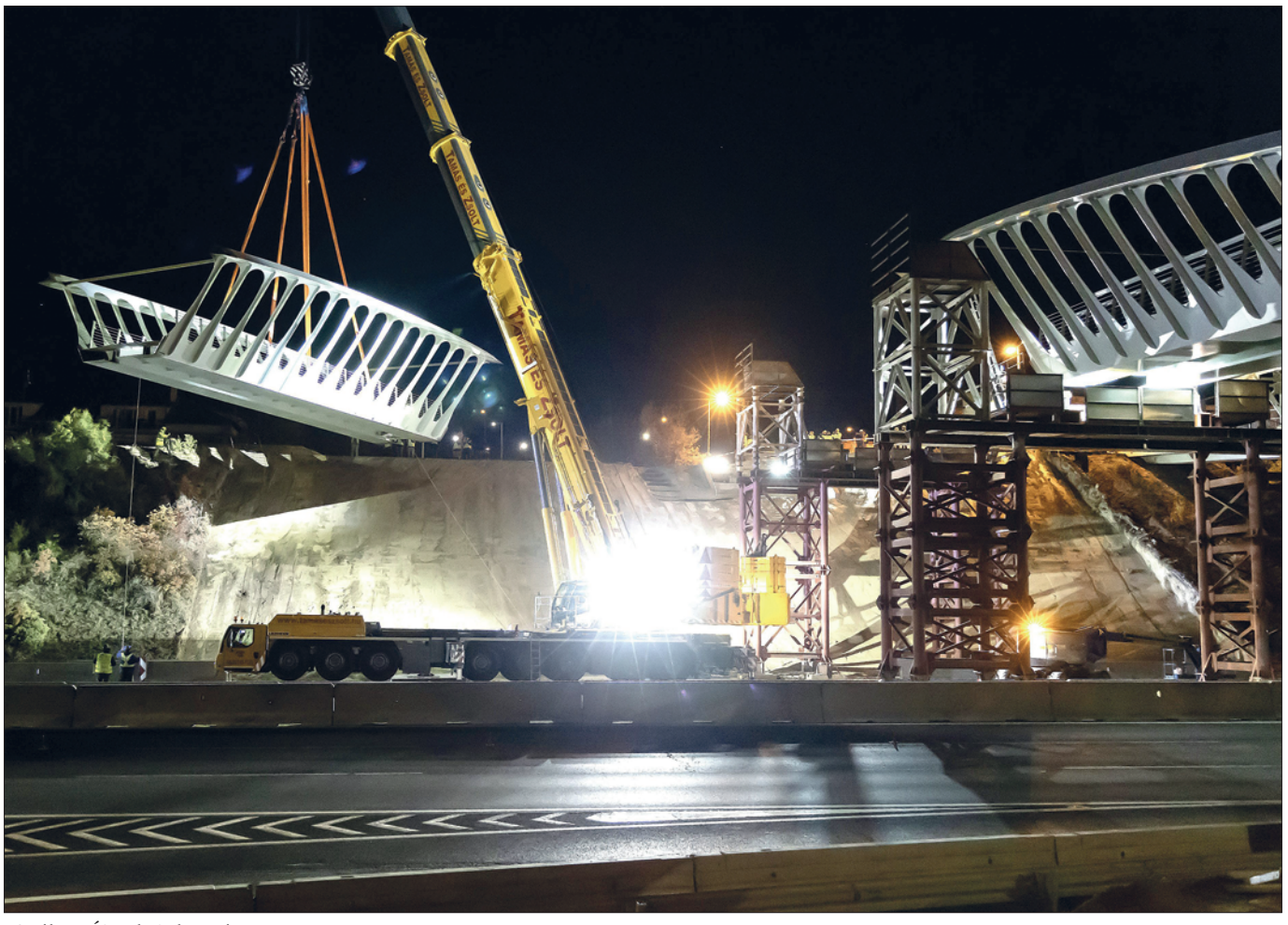
10. ábra: „Kutyacsont” gyártmányterve



11. ábra: Jármok elrendezése



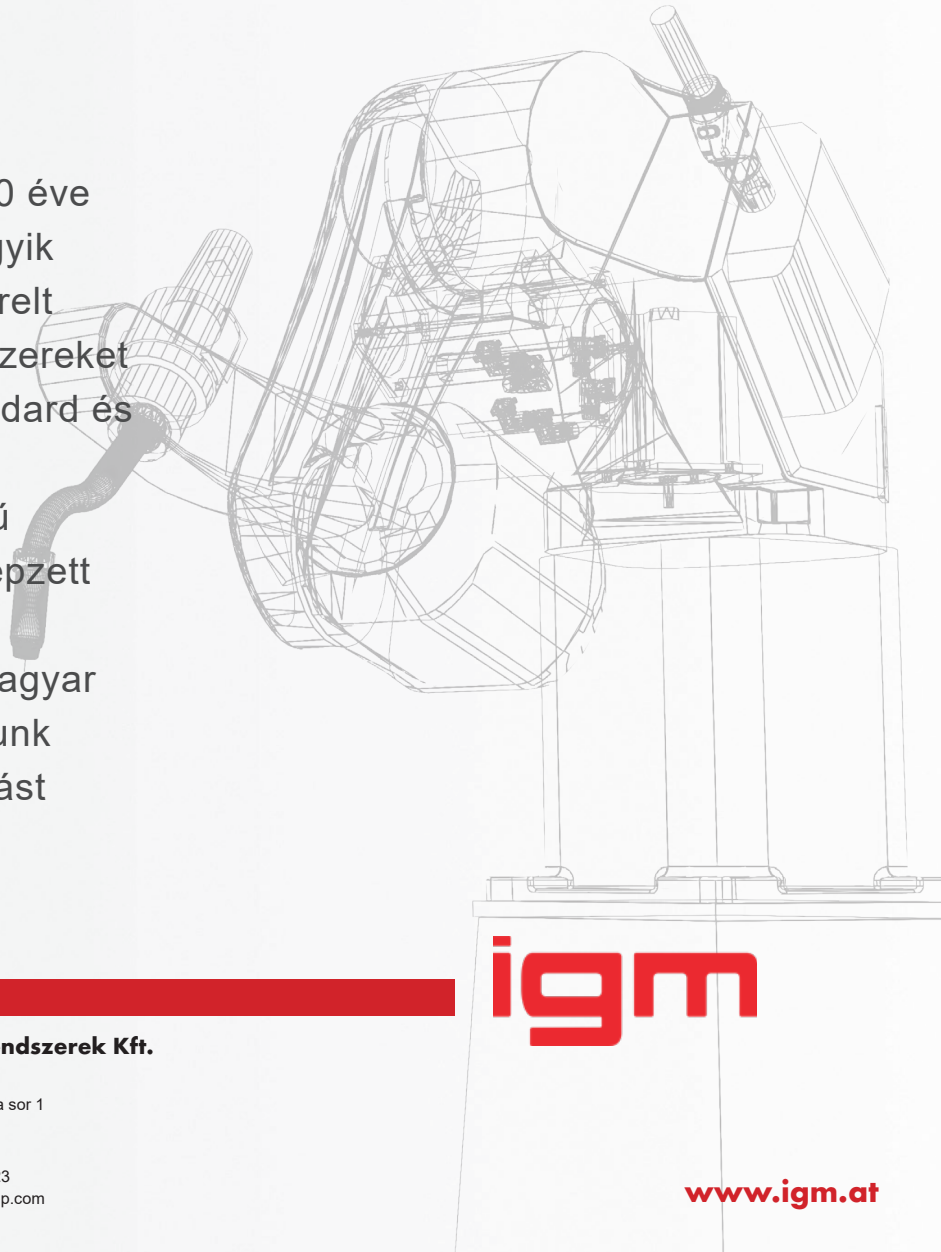
12. ábra: Megépült jármok



13. ábra: Éjszakai daruzás



Az igm Robotersysteme AG, a Global Welding Technologies csoport tagjaként, több mint 50 éve a hegesztési automatizálás egyik vezető vállalata. Szenzorvezérelt hegesztő- és vágórobot-rendszereket fejleszt, gyárt és telepít – standard és egyedi megoldásokkal.
Győri gyártóüzemünk korszerű technológiával és magasan képzett szakemberekkel biztosítja a kiemelkedő minőséget, míg magyar és nemzetközi szervizhálózatunk gyors és megbízható támogatást nyújt partnereink számára.



igm

igm Robotersysteme AG
Austria
IZ NÖ-Süd, Strasse 2a, Objekt M8
2355 Wiener Neudorf
Austria
T: +43 (2236) 6706-0
E: office@igm-group.com

igm Robotrendszerek Kft.
Hungary
Ipari Park, Csörgőfa sor 1
9027 Győr
Hungary
T: +36 (30) 221 7423
E: gyoer@igm-group.com

www.igm.at

Szerző: ***Anders Bonmyr*** *Sales Development Specialist*
Fordította: ***Sztankó Zoltán*** *hegesztési divízióvezető*
Böhler Welding

KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK FELÜLETKEZELÉSÉNEK FONTOSSÁGA

BEVEZETÉS

A jó rozsdamentes acél felülete tiszta, sima és hibátlan. Ennek fontossága nyilvánvaló, ha a rozsdamentes acélt például homlokzatokban vagy szigorú higiéniai követelményekkel rendelkező alkalmazásokban használják. A finom felületi kivitel azonban a korrózióállóság szempontjából is döntő fontosságú.

A rozsdamentes acélt a korrózió ellen passzív réteg védi – ez egy vékony, áthatolhatatlan, láthatatlan felületi réteg, amely elsősorban krómoxidból áll. A légkör vagy a vizes oldatok oxigéntartalma általában elegendő ennek a passzív rétegnek a kialakulásához és fenntartásához („önjavítás"). Sajnos a gyártás során keletkező felületi hibák és hiányosságok drasztikusan rontják ezt az „önjavító" folyamatot, és csökkenthetik a különböző típusú helyi korrózióval szembeni ellenállást. Ezért a higiénia és a korrózió szempontjából gyakran szükséges egy végső tisztítási folyamat az elfogadható felületi minőség helyreállításához.

A gyártás utáni kezelés mértékét és módszereit számos tényező határozza meg. Ezek közé tartoznak: a környezet korrozivitása (pl. tengeri környezet); az acélminőség korrózióállósága; higiéniai követelmények (pl. a gyógyszeriparban és az élelmiszeriparban); valamint esztétikai szempontok, illetve a helyi környezeti követelményeket is figyelembe kell venni.

A jó tervezés, előkészítés és gyártási módszerek csökkenthetik az utólagos kezelés szükségességét, és így alacsonyabbá tehetik a költségeket. A felületi minőségi előírásoknak megfelelő gyártás során figyelembe kell venni a hibák hatását és végső soron azok eltávolításának költségeit. A kezelés/tisztítás költsége csekély egy berendezés telepítésének kezdeti beruházási költségéhez képest. Ugyanez mondható el a kezelés/tisztítás elmulasztásából fakadó folyamatos költségekhez képest.

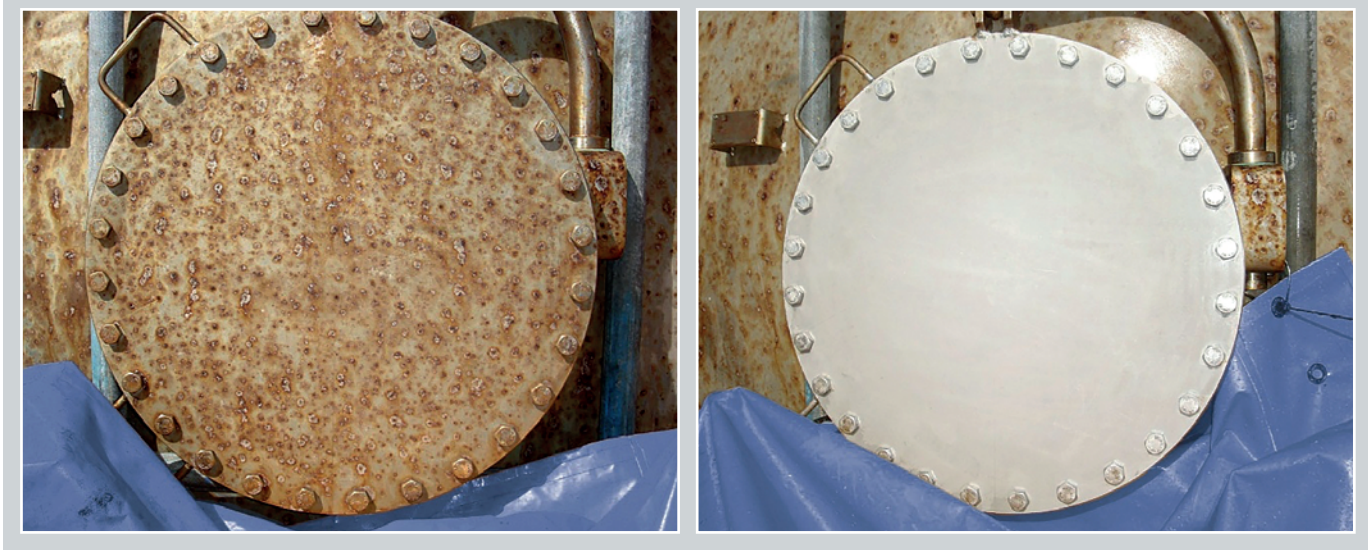
A gyártás utáni tisztítás gazdaságossága tekintetében két tényezőt kell figyelembe venni: az egyik a tisztítás költsége, a másik viszont a tisztítás által hosszú távon nyújtott előnyökkel járó költségmegtakarítás. A gyártás a rozsdamentes acél általános korróziós ellenállását csökkentheti, azon oknál fogva, hogy valós körülmények között nehéz, ha nem lehetetlen, a gyártást felületi szennyeződés nélkül befejezni.

A gyártás után nem tisztított területek lényegében a gyenge láncszemek, a gyenge korrózió-ellenálló képesség miatt. A szükséges tisztítás mértékétől függően tartálygyártás során a gyártás utáni kezelés/tisztítás költsége a teljes anyag- és gyártási költségnek csupán 1–3%-át teszi ki. Következésképpen elmondható, a gyártás utáni tisztítás nem drága.

KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLOK

A különböző felhasználásokhoz a korrózióálló acélfajtákat a szükséges tulajdonságok (pl. korrózióállóság), a tervezési kritériumok és a gyártási követelmények alapján választják ki. Azonban számos különböző vas-szén-króm ötvözet létezik, amelyeket együttesen korrózióálló acéloknak neveznek.

Az acél korrózióállóságát, hegeszthetőségét, mechanikai tulajdonságait stb. nagyrészt mikroszerkezete határozza meg. Ez pedig az acél kémiai összetételétől függ, ami alapján a korrózióálló acélok alapcsoportokra oszthatók: martenzites, ferrites, ausztenites, duplex (ausztenites-ferrites). A korrózióállóság növelése érdekében különböző ötvözőelemeket adnak az acélhoz , amelyek nagy hatással vannak a korrózióálló acélok pácolhatóságára. Az acélminőségek tekintetében az általános szabály a következő: Minél magasabb az ötvözőelem-tartalom, annál nehezebb a pácolás.



1. ábra: Előtte – utána



2. ábra: Pácolt duplex 2304 tartály

FELÜLETKEZELÉS ÉS TISZTÍTÁS

A sima felület nemcsak a szennyeződések felhalmozódását gátolja és ellenáll a repedéseknek, kopásnak, abráziónak, hanem könnyen is tisztítható. A mérnökök és építészek, akik egy adott célra rozsdamentes acélt választanak, számos különböző minőségi osztály és felületi kivitel közül választhatnak. Az adott célra legalkalmasabb acél típusának kiválasztása nagyrészt a környezet korróziós hatásától függ. A felület minősége (felületkezelés) azonban szintén befolyásolja a korrózióval szembeni érzékenységet, valamint a szennyeződések és baktériumok taszításának képességét. Ez különösen fontos az élelmiszer- és italiparban, valamint a gyógyszeriparban.

A felületi kivitel fontossága messze túlmutat az esztétikai szempontokon. Minél durvább a felület, annál könnyebben tapad rá a szennyeződés, és annál nehezebb tisztítani és pácolni. Következésképpen a durvább felületű, melegen hengerelt felületek tisztítása és pácolása nehezebb, mint a simább felületű, hidegen hengerelt felületeké. A hangsúly a felületi rétegen és az acéltermékek gyártási és befejezési módszereinek jellemzője, az egyenletesen elosztott apró egyenetlenségekre helyeződik. Szigorúan definiálva a „felületi simaság” az ideális sík felülettől való eltérés mértéke. Ezt az eltérést általában olyan kifejezésekkel fejezik ki, mint az érdesség, a rétegvastagság és a hullámosság.



3. ábra: Avesta Cleaner 401 használata után

HELYES KEZELÉS ÉS TISZTÍTÁS

A rozsdamentes acélok helyes kezelése csökkenti a felületi hibákat, és minimalizálja a gyártás utáni tisztítás szükségességét.

A gyártótól történő szállításkor a rozsdamentes acéllemezek, csövek és csővezetékek általában tiszták és passziváltak. Más szavakkal, az anyag teljes felületét természetes korrózióálló réteg borítja. Fontos, hogy a rozsdamentes anyag eredeti megjelenését és korrózióállóságát a lehető legnagyobb mértékben megőrizzük. Különösen a külső épületszerkezeti elemek esetében a projekt tervezésétől a gyártáson át a szerelésig minden szakaszban figyelembe kell venni az alábbi utasításokat.

- Ne használjon acélkefét vagy szénacélból készült acélszerszámokat.
- Ne használjon szénacélból készült vagy olyan homokfúvó anyagokat, amelyeket szénacélok homokfúvásához használtak korábban
- A sósav vagy kloridot tartalmazó tisztítószerek nem használhatók rozsdamentes acélok tisztítására.
- Ne használjon sósavat a rozsdamentes acélokról a cement- vagy habarcsmaradványok eltávolítására.
- A tárolás során kerülje a rozsdamentes acél és a szénacél érintkezését.
- Villás targoncák használata esetén kerülje a szénacél villák és a rozsdamentes acél közvetlen érintkezését.
- A szerelés során rozsdamentes acélból készült rögzítőelemeket (pl. szögeket, csavarokat) használjon.
- Nedvességnek kitett területeken kerülje a rozsdamentes acélalkatrészek és a szénacél alkatrészek közötti galvanikus korrózió kockázatát (pl. elektromos szigeteléssel).
- Használjon tiszta szerszámokat, amelyek nem tartalmaznak szénacélmaradványokat (pl. előző munkákból származó forgácsok és vasrészecskék).

– A védő műanyag fóliát csak akkor távolítsa el, ha nincs már rá szükség, azaz amikor az építési fázis befejeződött, és a helyi környezet mentes a törmeléktől és a szennyeződésektől.

TIPIKUS HIBÁK

Hőfolt és oxidréteg

A hőkezelés vagy hegesztés során keletkező magas hőmérsékletű oxidáció olyan oxidréteget hoz létre, amely az eredeti passzív réteghez képest gyengébb védő tulajdonságokkal rendelkezik. Az oxidréteg alatt a fémben krómhiány is keletkezik. Normál hegesztés esetén a krómhiányos zóna nagyon vékony, és általában a színezéssel együtt eltávolítható. A korrózióállóság teljes helyreállításához azonban elengedhetetlenül fontos, hogy ezt a zónát eltávolítsák.

Hegesztési hibák

A beolvadási hiány, a szegélybeégés, a porozitás, a salakmaradványok, a hegesztési fröcskölés és az ívgyújtási nyomok tipikus hegesztési hibák, amelyek negatív hatással vannak a mechanikai tulajdonságokra és a helyi korrózióállóságra. Ezenkívül megnehezítik a felület tisztán tartását. Ezért a hibákat el kell távolítani – általában csiszolással, bár néha javítóhegesztés is szükséges.

Vasszennyeződés

A vasrészecskék a következő forrásokból származhatnak: megmunkálás; hidegalakítás és vágószerszámok; ötvözetlen anyagokkal szennyezett homokfúvó/homok vagy csiszolókorongok; vegyes gyártás során történő szállítás vagy kezelés; vagy egyszerűen csak vasat tartalmazó por. Ezek a részecskék nedves levegőben korrodálódnak, és károsítják a passzív réteget a nagyobb részecskék repedéseket is okozhatnak. Mindkét esetben csökken a korrózióállóság, és az így keletkező korrózió esztétikailag kifogásolható, és szennyezheti a kérdéses berendezésben/berendezéssel használt közeget is.

Durva, érdes felület

Az egyenetlen hegesztési varratok és a túl erős csiszolás vagy homokfúvás érdes felületeket eredményeznek. Az érdes felületeken könnyebben lerakódnak a szennyeződések, ami növeli a korrózió és a termék szennyeződésének kockázatát. Az erős csiszolás nagy húzófeszültségeket is okoz, amelyek növelik a feszültségkorróziós repedések és a lyukkorrózió kockázatát. Sok alkalmazás esetében meg van határozva a megengedett maximális felületi érdesség (Ra érték). Általában kerülni kell azokat a gyártási módszereket, amelyek érdes felületeket eredményeznek.

Organikus szennyeződés

Agresszív környezetben a zsír, olaj, festék, lábnyomok, ragasztómaradványok és szennyeződések formájában jelen lévő szerves szennyeződések réskorróziót okozhatnak. Ezenkívül hatástalanná tehetik a felületi pácolást és szennyezhetik a berendezésben/berendezéssel kezelt termékeket. A szerves szennyeződéseket megfelelő tisztítószerrel kell eltávolítani, egyszerű esetekben elegendő lehet egy nagynyomású vízsugár.

TISZTÍTÁSI ELJÁRÁSOK

A gyártás utáni kezelés mértékét és módszereit számos tényező határozza meg. A felsorolt hibák eltávolítására különböző kémiai és mechanikai módszerek, illetve esetenként ezek kombinációja alkalmazható. A kémiai tisztítás várhatóan jobb eredményeket hoz. Ennek oka, hogy a legtöbb mechanikai módszer durvább felületet eredményez, míg a kémiai módszerek csökkentik a felület szennyeződésének kockázatát. A kémiai tisztítás azonban nemcsak a környezetvédelmi és ipari biztonsági előírások, hanem a hulladékkezelési problémák miatt is korlátozott lehet.

MECHANIKAI MÓDSZEREK

Csiszolás

A csiszolás egy gyakori módszer bizonyos hibák és mély karcolások eltávolítására. A használt csiszolási módszerek soha nem lehetnek a szükségesnél durvábbak. A hegesztési foltok vagy a felületi szennyeződések eltávolításához gyakran elegendő egy lapos csiszolókorong.

Fúvással történő tisztítás

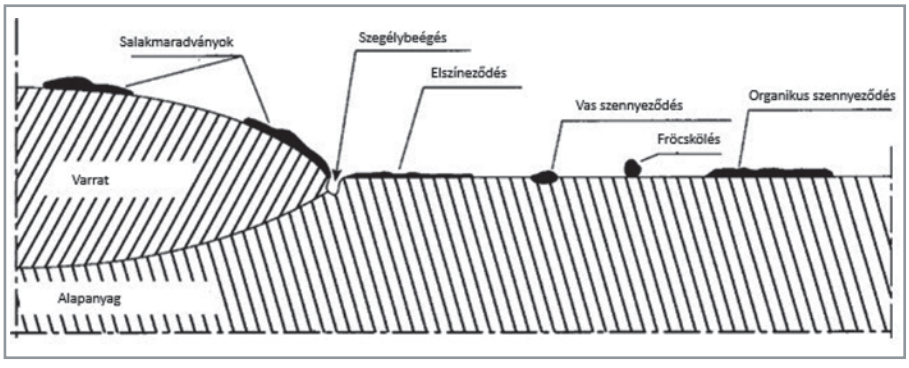
A homokfúvással eltávolítható a magas hőmérsékletű oxid- és a vasszennyeződés. Nagyon ügyelni kell azonban arra, hogy a homokfúvó anyag vagy közeg tökéletesen tiszta legyen. A homokfúvó anyagot tehát korábban nem szabad szénacélhoz használni. Hasonlóképpen, mivel egyre szennyezettebbé válik (még akkor is, ha csak szennyezett rozsdamentes acél felületek homokfúvásához használták), a közeg sem lehet túl régi. A felületi érdesség korlátozó tényező ennek a módszernek az alkalmazásában. A legtöbb esetben a homokfúvás nem távolítja el a krómhiányos zónát.

Kefe használata

A hőfoltok eltávolításához általában kielégítő eredményt ad a rozsdamentes acél vagy nejlon kefékkel történő kefélés. Ezek a módszerek nem okoznak komoly felületi érdesedést. Ugyanakkor nem garantálják a krómhiányos zóna teljes eltávolítását. A többi mechanikai módszer nagy szennyeződésveszélyt jelent. Ezért fontos, hogy olyan tiszta szerszámokat használjunk, amelyeket nem használtak szénacélok megmunkálásához.

KÉMIAI MÓDSZEREK

A kémiai kezelésekkel eltávolíthatók a magas hőmérsékleten keletkező oxidok és vasszennyeződések. Ezenkívül helyreállítják az acél korrózióállóságát anélkül, hogy károsítanák a felületi bevonatot. A szerves szennyeződések eltávolítása után a szokásos eljárások általában a pácolás, a passziválás/szennyeződésmentesítés és/vagy az elektrokémiai polírozás.



4. ábra: Felületi hibák

Pácolás

A pácolás a leggyakrabban alkalmazott kémiai eljárás az oxidok és a vasszennyeződések eltávolítására. A kontrollált korrózióval történő felületi réteg eltávolításán túl a pácolás szelektíven eltávolítja a legkevésbé korrózióálló területeket is, például a krómhiányos zónákat. A pácoláshoz általában salétromsav- (HNO_3), fluoridsav- (HF) és néha kénsav- (H_2SO_4) tartalmú savkeveréket használnak. A lyukkorrózió nyilvánvaló kockázata miatt a kloridot tartalmazó anyagokat, például a sósavat (HCl) kerülni kell. A pácolás hatékonyságát meghatározó fő tényezők a következők: acélminőség, felületi kivitel, hegesztési eljárás és az eredményezett oxidréteg vastagsága és típusa, előzetes tisztítás, hőmérséklet, savkeverék összetétele és koncentrációja.

Pácolási módszer

Három különböző pácolási módszer létezik.

– *Maratás maratópasztával/géllel:* a rozsdamentes acélokhoz való maratópaszta (vagy gél) korlátozott területek maratására alkalmas, pl. hegesztési zónák. A legjobb sávalló ecsettel felvinni. A paszta megszáradása előtt vízzel le kell öblíteni. Még akkor is, ha környezetvédelmi és gyakorlati okokból a pácpaszta semlegesítését a fémfelületen végzik, az alapos vízzel való öblítés elengedhetetlen.
– *Maratás maratóoldattal/spray-vel:* A maratóoldat (vagy spray formájú pácológél) alkalmas nagy felületek pácolására, pl. ha a vasszennyeződések eltávolítása is szükséges.
– *A fürdőben történő pácolás:* Kényelmes módszer, ha a megfelelő berendezés áll rendelkezésre.

Passziválás és szennyeződésmentesítés

Ez az eljárás a pácoláshoz hasonló módon történik. A passziválószer, amelyet merítéssel vagy permetezéssel visznek fel, megerősíti a passzív réteget. Mivel a passziválószer eltávolítja a felületről a vasszennyeződéseket is, a kezelés mechanikus tisztítás és vasszennyeződés kockázatával járó műveletek után még fontosabb. Ezért is nevezik ezt a módszert dekontaminációnak. A passziválás az öngyógyító képességet gyorsítja fel drasztikusan.

Elektropolírozás

Az elektrokémiai polírozás általában optimális korrózióállóságot biztosító felületet eredményez. Nem távolítja el szelektíven a gyengébb korrózióállóságú területeket, hanem a felületről csiszolja le a mikrotüskéket, egyenetlenségeket. Az anyag finom fényt kap, és ami a legfontosabb, egyenletes mikroprofilt, amely megfelel a rendkívül szigorú higiéniai követelményeknek. Ezen okok miatt az elektrokémiai polírozást általában pácolás utáni végső kezelésként alkalmazzák.

A MÓDSZER VÁLASZTÁSA

A módszer választása és a végső tisztítás mértéke a következőktől függ: korrózióállósági követelmények; higiéniai szempontok (gyógyszerek, élelmiszerek stb.); valamint az acél vizuális megjelenésének fontossága. A hegesztési hibák, hegesztési oxidok, szerves anyagok és vasszennyeződések eltávolítása általában alapvető követelmény, és viszonylag szabad választást tesz lehetővé a végső kezelés tekintetében.

Ha a felület érdessége megengedi, mind mechanikai, mind kémiai módszerek alkalmazhatóak. Ha azonban teljesen mechanikai tisztítási módszert választanak, a gyártási szakaszt nagyon jól meg kell tervezni a vasszennyeződések elkerülése érdekében. Ha ez nem történik meg, akkor valószínűleg salétromsavval történő szennyeződésmentesítésre lesz szükség. Ha a felületi kivitel és a korrózióállóság követelményei szigorúak, a módszer választása kritikusabb. Ilyen esetekben a pácoláson alapuló kezelési sorrend biztosítja a legjobb eredményeket.

Az *5. ábra* egy olyan teszt eredményeit mutatja, amelyben a mintákat (1.4404/316 L acélminőségű, MMA hegesztéssel) három különböző módszerrel tisztították meg a hegesztés után. Ezután 2 hétig tengeri környezetnek tették ki őket.

KÉMIAI MÓDSZEREK A GYAKORLATBAN

BÖHLER WELDING WELDCARE TERMÉKEK

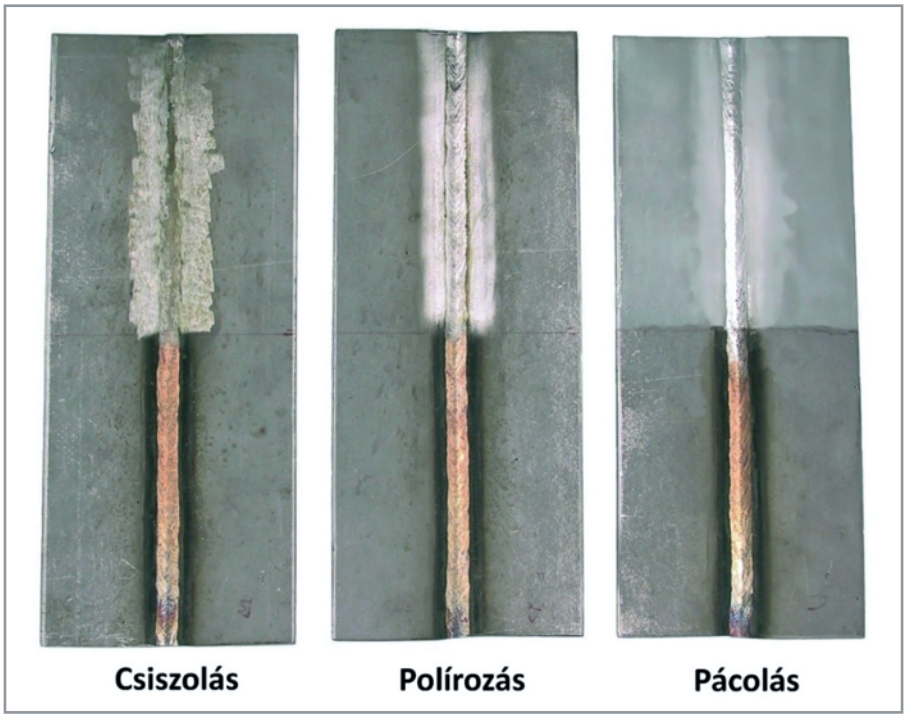
A Böhler Welding weldCare széles körű tisztítószerekkel rendelkezik:

– maratópaszta,
– pácoló spray,
– pácolófürdő,
– tisztító- és semlegesítőszer,
– passziváló.

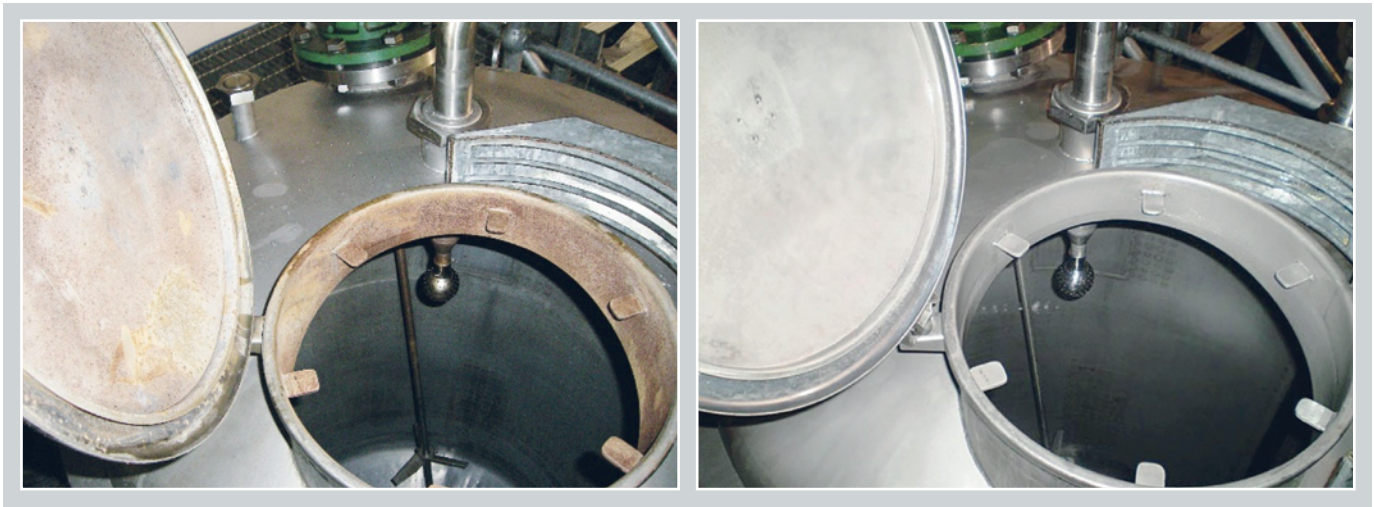
Általános követelmények

A kémiai tisztítási eljárás kiválasztását elsősorban a következő tényezők határozzák meg: az eltávolítandó szennyeződések és hőoxidok típusa, a szükséges tisztasági fokozat és a költségek.

Az egészségügyi kockázatok és/vagy környezeti problémák elkerülése érdekében a pácolást egy speciális pácolóterületen, lehetőleg beltéri helyiségben kell elvégezni. Ebben az összefüggésben a felsorolt ajánlások betartását kötelezőnek kell tekinteni.



5. ábra: Felületkezelési módszerek



6. ábra: Felületi rozsda- előtte és Avesta Cleaner 401 használata után

A különböző termékek kezelési utasításai és alapvető információi (pl. termékcímkék, biztonsági adatlapok stb.) rendelkezésre kell, hogy álljanak. A helyi és nemzeti előírások is rendelkezésre kell, hogy álljanak.

– A felelős személyzetnek ismernie kell a termékekkel kapcsolatos egészségügyi kockázatokat és azok kezelésének módját.
– Személyes védőfelszerelést kell használni.
– Beltéri pácolás esetén a munkahelyet el kell különíteni a műhely egyéb tevékenységeitől. Ez nemcsak a szennyeződés és az egészségügyi kockázatok elkerülése érdekében szükséges, hanem a hőmérséklet szabályozásának biztosítása érdekében is.
– A területnek jól szellőzőnek kell lennie, és füstelszívó berendezéssel kell ellátni.
– A falakat, padlókat, tetőket, tartályokat stb., a fröccsenésnek kitett falakat, padlókat, tetőket, tartályokat stb. saválló anyaggal kell védeni.
– Mosóhelyiségnek kell rendelkezésre állnia, lehetőleg nagynyomású vízsugárral.
– Elsősegély-spray-nek kell rendelkezésre állnia.
– Az öblítővíz gyűjtésére és semlegesítésére szolgáló berendezésnek rendelkezésre kell állnia.
– Ha az öblítővizet újrahasznosítják, ügyelni kell arra, hogy a végső öblítés ionmentes vízzel történjen. Ez különösen fontos érzékeny felületek és alkalmazások esetén.
– Raktárnak rendelkezésre kell állnia.

Előtisztítás/zsírtalanítás

A felületen lévő szennyeződések ronthatják a pácolási folyamatot. Ennek elkerülése érdekében a pácolás előtt alapos tisztítást ajánlunk. Ha a szennyeződések laza por, ujjlenyomatok, cipőnyomok és szerszámnyomok, akkor általában elegendő a savas tisztítás (pl. Avesta Cleaner 401).

PÁCOLÁS

A pácolótermékek három különböző módon alkalmazhatók:

– ecseteléssel, pácolópaszta/gél használatával,
– permetezéssel, pácoldat használatával,
– merítés/keringetés pácfürdőben.

Pácolás pasztával

Az Avesta BlueOne Pickling Paste 130 egy egyedülálló pácolószer, melynek használatával gyakorlatilag nem keletkezik a pácolás során általában kialakuló mérgező salétromgáz. Ez a paszta jó hőstabilitással rendelkezik, és meleg körülmények között is jól használható.

A Pickling Paste 130 univerzális paszta, amely minden rozsdamentes acélfajtánál használható.

Az Avesta GreenOne Pickling paste 120 egy egyedülálló paszta, amely alacsony környezeti hatással rendelkezik. Könnyen pácolható acélok (pl. martenzites és ferrites típusok) enyhe pácolására tervezték.

Pácolás oldattal (spray-pácoló gél)

Az Avesta RedOne Spray Pickle Gel 240 egy egyedülálló pácolószer, melynek használatával jelentősen csökken a mérgező salétromgázok mennyisége.

Kombinált módszer: Bizonyos célokra a kefés és a permetezős módszerek kombinálhatók. Ha csak enyhe pácolási hatás szükséges (érzékeny felületeken), először pácolópasztát lehet felvinni a hegesztési varratokra, majd savas tisztítószert (pl. Avesta Cleaner 401) lehet permetezni a felületre.



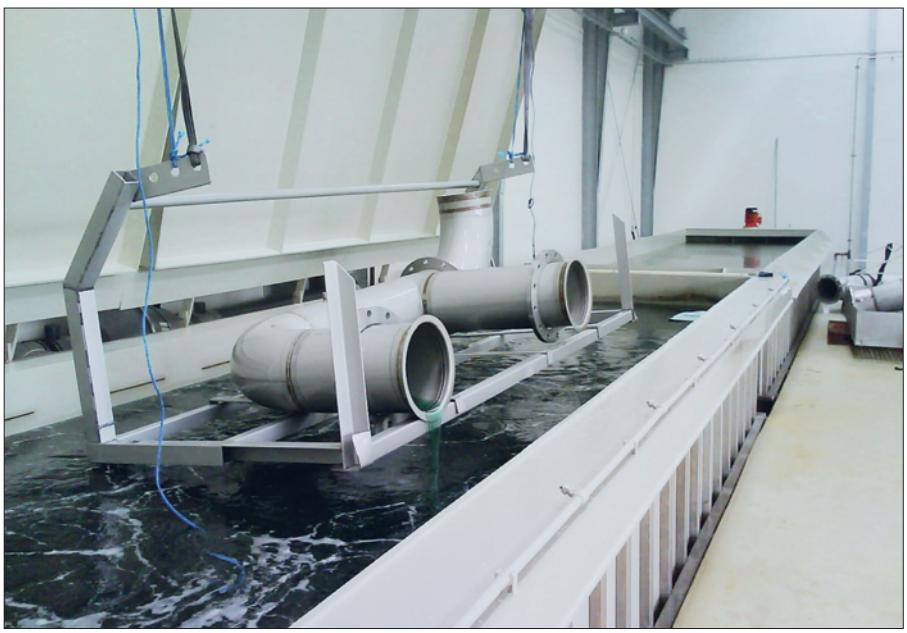
7. ábra: Ecset használata pácoláshoz

Pácolás fürdőben

A rozsdamentes acél minősége és a hőoxid típusa határozza meg a savkeverék és a fürdő hőmérsékletét (20–65 °C). Az alacsony ötvözésű rozsdamentes acélok túl magas hőmérsékleten vagy túl hosszú ideig történő pácolása túlpácolás kockázatával jár, ami durva felületet eredményez. A pácolás hatékonyságát nemcsak a savkoncentráció és a hőmérséklet befolyásolja, hanem a fürdőben található szabad fémtartalom (főként vas) is. Ahhoz, hogy a pácolási idő azonos legyen, a magas vastartalmú fürdő hőmérsékletének magasabbnak kell lennie, mint az alacsonyabb vastartalmú fürdőé. Általános irányelv, hogy a szabad vas- (Fe) tartalom gramm/literben kifejezve nem haladhatja meg a fürdő hőmérsékletét (°C). Ha a fürdőben a fémtartalom túl magas szintre emelkedik (40–50 g/l), a fürdőoldatot részben vagy teljesen ki lehet üríteni, és friss savat adni hozzá.

Az Avesta Pickling Bath 302 egy koncentrátum, amelyet a tisztítandó acélminőségtől függően vízzel hígíthatunk.

A ferrites és martenzites acélokat általában nem pácolják fürdőben. A pácol savat a vízhez kell adni, és nem fordítva. A legjobb eredmények elérése érdekében a hőmérsékletet, az összetételt és a keringetést szabályozni kell. A fürdő összetételét rendszeres elemzésekkel ellenőrzik.



8. ábra: Pácolófürdő

FÜSTCSÖKKENTÉS PÁCOLÁS KÖZBEN

Környezeti hatások

A pácolás során keletkező mérgező salétromgőzök számos hatással járnak.

– Egészség: A magas salétromgáz-szint légzési problémákhoz vezethet (pl. fertőzések). A legrosszabb esetben a belélegzés tüdőödémát okozhat.
– Környezet: A talajvíz savasodása és a növények károsodása. Modern pácolószerek, például az Avesta BlueOne® Picking Paste 130 és az Avesta RedOne® Spray 240 használatával a mérgező füstszint akár 80%-kal is csökkenthető.

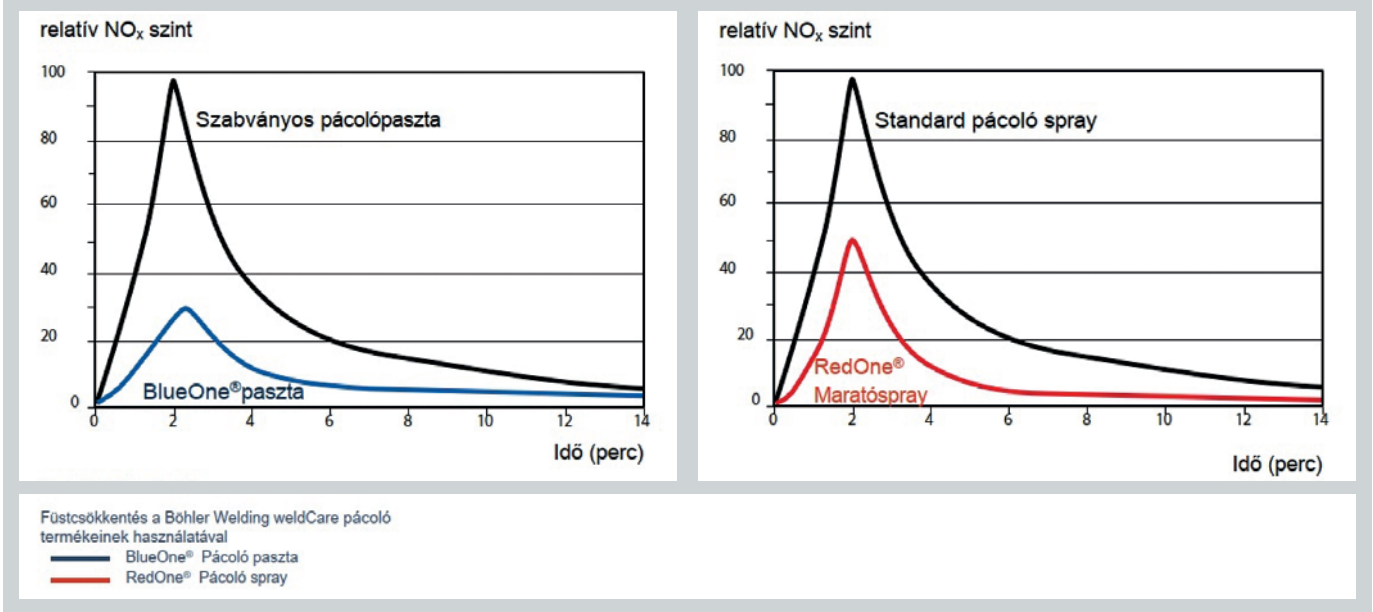
PASSZIVÁLÁS ÉS FOLTELTÁVOLÍTÁS

A Böhler Welding weldCare Finishing Chemicals Avesta FinishOne Passivator 630 passziválószer nitrogénsavmentes és alacsony környezeti hatással rendelkezik. Mivel passziválás után semleges, nincs szükség semlegesítési szakaszra. A termék passzivál, szennyeződésmentesít és csökkenti a füstöt.

Passziválás: erősen ajánlott mechanikai kezelés után (a maradék vasszennyeződések eltávolítására) és egyes esetekben permetezős pácolás után.

Folteltávolítás: a hibás tisztítás miatt a felületen maradt túlzott vasmennyiség által okozott sötét foltokat távolítja el.

Füstcsökkentés: A fürdőben történő pácolás után az Avesta FinishOne Passivator 630 permetezése a pácolt



9. ábra: Füstképződés

tárgyra, miután azt a fürdőből kivették, csökkenti a fürdőben történő pácolás során keletkező mérgező nitrogénfüstöt.

SEMLEGESÍTÉS

A pácolásból származó szennyvíz savas és nehézfémekkel (főleg az acélból kivált krómmal és nikkellel) szennyezett. Ezt a szennyvizet a helyi előírásoknak megfelelően kell kezelni. Semlegesíthető lúgos anyaggal (lehetőleg Avesta semlegesítőszerrel, mészszel vagy szódával) és ülepítőszerrel kombinálva.

A szennyvíz pH-értékének beállításával a nehézfémek fém-hidroxidokként kicsapódnak. A kicsapódás 9,5-ös pH-értéknél optimális.

A nehézfémek iszapot képeznek, amelyet ezután el lehet választani a semlegesített tiszta víztől. Ezt az iszapot nehézfém-hulladékként kell kezelni és ennek megfelelően ártalmatlanítani.

HULLADÉKKEZELÉS

A pácolás során keletkező hulladékok speciális kezelést igényelnek. A vegyszerekből származó hulladékok mellett a csomagolás is hulladékként kezelendő.

A semlegesítés után keletkező iszap nehézfémeket tartalmaz. Ezt az iszapot a helyi hulladékkezelési előírásoknak megfelelően kell ártalmatlanítani.

A weldCare Finishing Chemicals termékeinek csomagolásához használt összes anyag (műanyag tartályok, kartondobozok stb.) újrahasznosítható.

REFERENCIÁK

1. Manual for surface treatment of stainless steels – Anders Bornmyr, Böhler Welding weldCare



NAGÉV CINK KFT.

HASZNOS KÁDMÉRET:

15x1,8x3 M

LEGNAGYOBB MÁRTHATÓ SZERKEZET TÖMEGE:

MAX 6500 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 20 570 6737
csege@nagev.hu

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

Parragi Szabolcs *projektvezető, Duna Aszfalt Zrt.*
Szabados Mihály *acélszerkezeti főmérnök, SPECIÁLTERV Kft.*
Jurányi Attila *integrált irányítási vezető, hegesztési felelős, Weinberg'93 Kft.*
Timkó Krisztián *technológiai csoportvezető, Weinberg'93 Kft.*

MOHÁCSI DUNA-HÍD KOMPLEX ÍVSZERKEZETEK GYÁRTÁSA

Cikksorozatunk előző részeiben a Mohácsi Duna-híd elemei közül a mederhíd és az ártéri hidak pályáját alkotó szerkezeti egységek gyártási metodikáját mutattuk be. Az ívek és az azokat összekötő keresztkötések gyártása a projekt egyik kiemelt technológiai kihívását jelenti. Az ívelemek gyártása az ártéri hidak főtartó-, illetve a mederhíd merevítőtartó-elemeivel közel azonos módszerrel történik. Az íveket ugyanakkor a szokványos keresztkötéses kialakítástól eltérően, térbeli rácsszerkezet köti össze, amely csőszelvényekből áll és fonalhálószerű geometriai kialakítású. A rács csomóponti kialakítása jobban hasonlít egy stadion tetőszerkezetének csomóponti hálójához, az ilyen jellegű csőáthatások és bekötések a magasépítésben nagyobb mennyiségben jelennek meg. Ugyanakkor a hídépítésben jelentkező dinamikus terhelésekből származó fáradási igénybevételek miatt a szerkezetekkel szemben lényegesen szigorúbb követelményeket kell teljesíteni. Ezáltal az ívelemek gyártása egyfajta fúzió a szakmák között: hídépítési alapokra fektetett, építészek által megálmodott magasépítésben használt geometria, térbeli, szemkápráztató csomópontok, amelyet a hídépítésben jól ismert, közel teljes keresztmetszetű hegesztési varratok fűszereznek meg.

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 B3 jelű mederhíd szakági tervezője a FŐMTERV Zrt. A teljes gyártási folyamat a Duna Aszfalt Zrt. hídépítési igazgatóságának műszaki felügyelete mellett zajlik. Az ívtartók gyártását a WKS DUNA POLSKA Sp. z o.o. (B1 jelű híd), a Weinberg'93 Kft. (B2 jelű híd), illetve az MCE Nyíregyháza Kft. (B3 jelű híd), a keresztkötésekkel való felöltöztetést mindhárom híd esetén a Weinberg'93 Kft. végzi. A folyamat geodéziai kontrollálásában a DUNA GROUP BIM Divíziója is részt vesz.

AZ ÍVSZERKEZET ALAPADATAI

A 756 méter teljes hosszúságú Duna-híd három kéttámaszú, alsópályás, acél ívhíd sorozatából áll, amelyek ívei kosárfül alakban rendeződnek el, és kábelekkel függesztett pályaszerkezetet tartanak. A legnagyobb mederhíd 270 méter, a bal parti két ártéri híd 250 és 230 méter hosszúságú.

Az ív főtartók szélességi mérete állandó, 1,60 méter, míg szerkezeti magassága változó, ívközépen 1,60 méter, az ívvállak közelében 3,80 méter. Az ívtartók 13 fokos szögben befelé dőlnek, egymást X rácsozású keresztkötésekkel merevítik össze.

Az ívtartók gyártásához 20 milliméter alatt MSZ EN 10025-4 szerinti S460M, felette S460ML anyagot alkalmaznak. A különböző szerkezeti elemek terheléseinek függvényében további Z25, illetve Z35 minőségi követelményeket is be kell tartani. A legnagyobb alkalmazott anyagvastagság 80 milliméter. Az ívtartók téglalap keresztmetszetű, zárt szekrényt alkotnak. Az övlemezeket egyenként két-két darab végigfutó, nyitott borda, míg a gerinclemezeket az ártéri hidak esetén két-két, a mederhíd esetén három-három darab végigfutó, nyitott borda merevíti. A dobozszerű szerkezeti geometriát az ívre ható hatásokhoz igazodó sűrűségben elhelyezkedő diafragmák biztosítják. A diafragmákon való átjutást búvónyílásokkal lehetett megoldani. A függesztőkábelek bekötési pontjai az ívtartó gerinclemezeibe kapcsolódnak, ezen pontokon a gerincek hízlalására volt szükség.

A keresztkötések rúdelemeit 610 milliméteres átmérőjű csőszelvények képzik. A csövek MSZ EN 10210-1 szerinti S460MH anyagminőségűek, vastagságaik 16, 20, 25, és 36 milliméteresek, a rácsrúdra ható erők függvényében. A keresztkötések csomópontjait alkotó zárólemezek anyagminőségei azonosak az ívtartók lemezeinél használtakkal.

A TERVEZÉSI MÓDSZER – PARAMETRIKUS TERVEZÉS

Az ívek geometriája jól leírható kevés számú változó paraméterrel. A gyártmánytervezés kezdetén a parametrikus tervezés előnyeit kihasználó, vizuális programozási környezetben (Rhino 3D – Grasshopper) kezdődött a munka, amit később az acélszerkezeti gyártmánytervezéshez alkalmazott Tekla Structures szoftverrel kapcsoltak össze.

A változó méreteket paraméterként megadva (pl. támaszköz, ívmagasság, keresztmetszet méretei, kábelátmérő, kábelkiosztás) olyan alapmodellt hoztak létre, amely lehetővé tette a tervezés során felmerülő változások gyors átvezetését, valamint a különböző geometriák előállítását, továbbá a második hídszerkezet modellezését is. A drótváz, illetve háromdimenziós felületmodell önmagában még nem elégséges a szerkezeti tervek elkészítéséhez. A Grasshopper és a gyártmányterveket készítő Tekla szoftverek közötti közvetlen kapcsolat segítségével az acélszerkezeti modell az algoritmus által vezérelten jött létre.

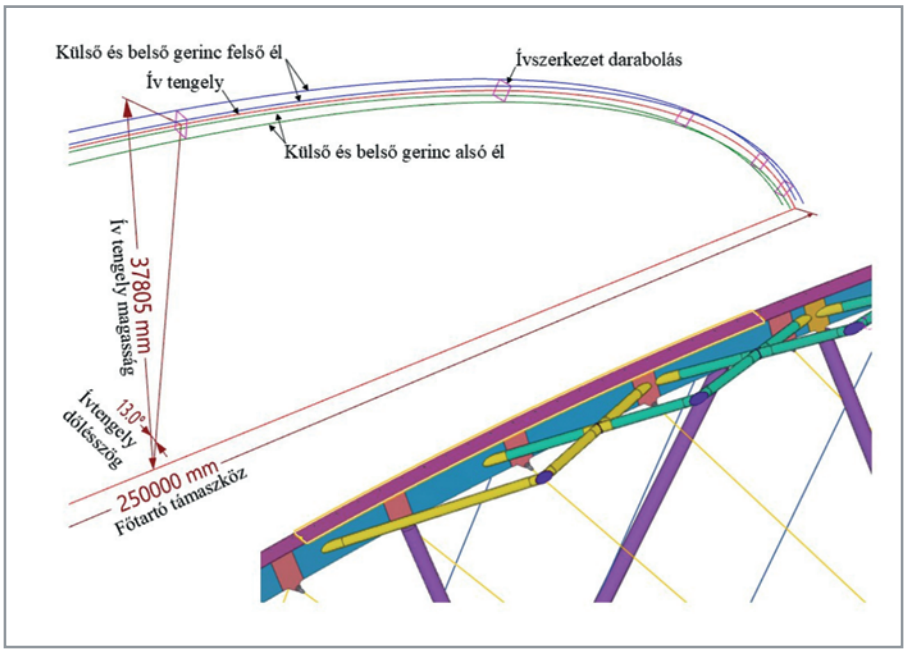
A PARAMETRIKUS TERVEZÉS PÉLDÁJA – ÍVTARTÓ ÖVLEMEZ 3D MODELLEZÉSE

A szerkezet alapját képező drótváz az adott híd méreteinek figyelembevételével, egyszerű szerkesztéssel előállítható. Az ívtengely előállítási folyamatának kezdéseként, a főtartó tengely középpontját az ívtengely magassággal függőleges irányba eltolva, meghatározható egy vízszintes sík. Ennek a síknak és a középpontból induló, az ív dőlésszögével azonos

irányú vektornak a metszéspontja meghatározza az ív tetőpontját. A főtartó tengely végpontjaira és a metszéspontra, mint középpontra illesztve kirajzolható a végleges ívgeometria.

A drótváz többi elemét – például az alsó és felső övlemezek tengelyeit – az előzőleg leírtakkal azonos módon lehet kirajzolni az ív döntött síkjában. A síkra merőleges elmozgatással szerkeszthetők ki a gerincek alsó és felső élei *(1. kép)*.

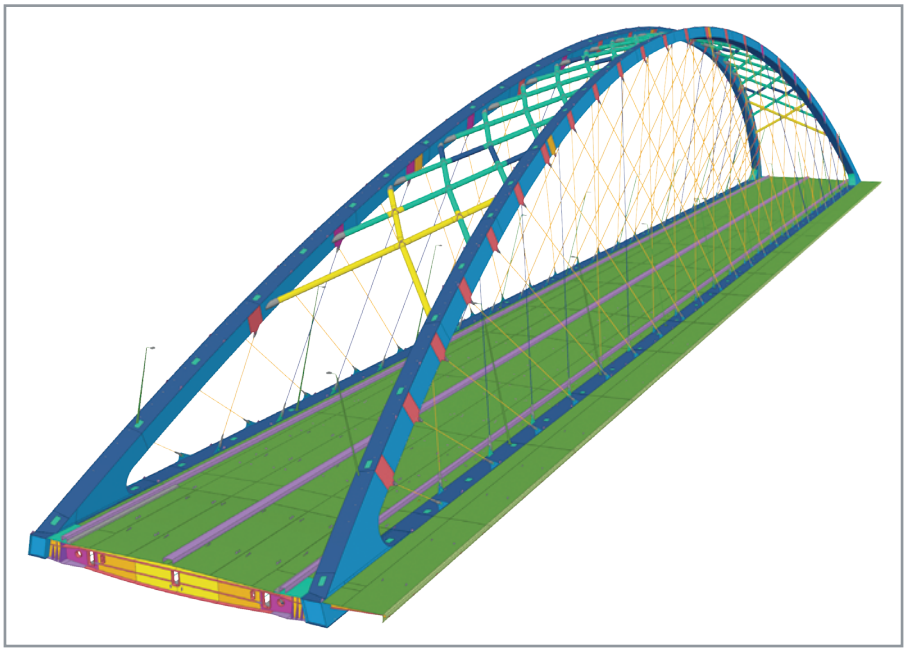
Ezekből a görbékből már közvetlenül lehet acélszerkezeti modellt előállítani. Miután az övlemezek tengelyeit a tervezett szerelési egységeknek megfelelően feldarabolták, meghatározhatóak az egyes szakaszok kezdő-, közép- és végpontjai. A pontok által meghatározott poligon használható a Teklában, mint elemtengely. A létrehozott Tekla-elem megfelelő irányvektorokkal a középsíkra merőlegesen történő forgatása és további paraméterek megadása után létrejön a kívánt övlemez háromdimenziós modellje.



1. kép: Az ív geometriai előállítása, ívtartó övlemez modellezése

A 3D MODELL ÖSSZEÁLLÍTÁSA, A GYÁRTMÁNYTERVEK VÉGLEGESÍTÉSE

Hasonló lépésekben a gyártmány minden elemére létrehozható egy-egy algoritmus. Így készültek az öv- és gerinclemez, a hosszmerevítő bordák, a csomólemezek, a belső diafragmák a búvónyílásokkal és azok merevítőlemezei, a légzáró lemezek, rácsrudak és azok belső merevítései, a hídtartozékelemek (mint például az alpinista fül, a világítás és a kábeltartó konzolok). A folyamatok végén a teljes ív acélszerkezeti modellje közel véglegesnek tekinthető állapotba került *(2. kép)*.



2. kép: A hídszerkezet háromdimenziós modellje

A modellek alapján a tervek már hagyományos eljárással készültek. A parametrikus tervezés előnyét több szinten lehetett használni. Az első híd tervezése során a rugalmas változáskövetés bizonyult hasznosnak. A felmerülő méretezési, technológiai vagy ütközési kérdések könnyen kezelhetőek voltak a vonatkozó paraméterek állításával, vagy a hozzá köthető algoritmus átírásával. A következő hidak tervezésénél a már megszerzett tapasztalatok rendelkezésre álltak, ezért az alapméretek megadását követően, némi finomhangolással, töredékidő alatt előállt az új szerkezet gyártmánymodellje.

ÍVELEMEK GYÁRTÁSA

Jelenleg a B2 jelű ártéri hídhoz és a B3 jelű mederhídhoz tartozó ívelemek dobozszerű elemeinek gyártása zajlik nagy gyártóművi kapacitásokat megmozgatva. A merevítőtartók gyártásainál már ismertetett metodikát követve osztották fel az ívegységeket is. Az ártéri hidak ívelemeit rendre 20 méternél rövidebb elemek, míg a mederhíd ívelemeit 30 métert meghaladó hosszúságú elemek alkotják.

A leszabások során a lemezelemeket sík plazma-lángvágó géppel vágták körbe a megfelelő adagszám nyomonkövetéssel ellátott alapanyagból. A gépen a CAM program a sík-2D alkatrészek vágásához .dstv és .dxf kiterjesztésű elemfájlokat használt. A kontúrvágott elemekre rágravírozták az adott elem jelét és az alapanyag műbizonylatszámát is, ezáltal biztosítva az elkészült alkatrész nyomkövethetőségét a gyártmányok összeállításáig, illetve a gyártmányok beépülési térképen való minősítéséig. A körbevágott elemeket szükség esetén, a hegesztési varrat kialakításának megfelelően, forgácsolással élelőkészítették. A különböző anyagvastagsághoz csatlakozó élek 1:4 egyenértékű átmeneteit és a függesztőcsapok tűrt furatait esztergálták.



3. kép: Gerinclemezgyártás



4. kép: A dobozszerkezet belseje



5. kép: A hegesztési pozícióba forgatott ívelem

A leszabásokat követően az előgyártás során elkészítették az ívtartót alkotó öv- és gerinclemezek toldóvarratait, ezáltal előállítva a teljes gyártási egység hosszát adó lemezszerű alkatrészeket. Ezekre elhelyezték a merevítő hosszbordákat *(3. kép)*. A hosszbordák hegesztése során előfeszítést alkalmaztak a későbbi, nem kívánt alakváltozások minimalizálása érdekében. Szükség esetén egyengetést is végeztek a megfelelő síklapúsági előírások betartása érdekében. A diafragmák előgyártása során a hosszbordák varratátvezető nyílásait is kialakították és a diafragmákat búvónyílás-peremekkel merevítették.

A belső gerinclemezre ráhelyezték a diafragmákat, majd az alsó öv következett. Az így kialakuló L alakú, diafragmákkal ellátott szerkezetet átfordították, ezután a külső gerinc ráhelyezésével előállt az U alakot képző lakatolt állapot *(4. kép)*. A geometriai ellenőrzés elvégzése után megkezdődtek az elemek hegesztési műveletei. Gyári körülmények között folyamatos forgatásokkal biztosították, hogy a hegesztési varratokat rendre PA, illetve PB pozíciókban lehessen kialakítani *(5. kép)*. A dobozszerkezet zárását a felső öv elhelyezésével, rögzítésével, majd forgatás utáni kihegesztésével fejezték be.

A dobozszerkezet belseje a zárást követően is folyamatosan elérhető a diafragmákon lévő búvónyílások, továbbá a felső övre előre rávágott lebúvónyílások segítségével. A szükséges vizsgálatok maradéktalan elkészülte után elhelyezték a zárófedeleket a nyílásokon.

Minden dobozszerű elemen nyomáspróbát végeztek, ezzel ellenőrizve a szerkezetek megfelelő légtömörségét. Korrózióvédelmi szempontból ezzel biztosították, hogy a rendkívül alacsony oxigéntartalom miatt ne alakuljon ki belső korrózió, így a szerkezetek belső festése nem szükséges.

A dobozszerkezetek külső oldalára elhelyezték a légi akadályt jelző fény tartóelemeit, valamint a díszkivilágítás és a monitoringrendszer konzoljait. Az ívek végállapotban alpinista fülekhez csatlakozó biztosítókötél használatával végigjárhatóak.

Az ívtartók geometriai előírásai közül a legnagyobb figyelmet az egyes gyártási egységek csatlakozó keresztmetszeteinek geometriai mérettűrésére kellett fordítani. A helyszíni hegesztési varratok környezetében a merevítőbordákat a szerelhetőség érdekében megszakították, és azok foly-



6. kép: A leszabott csőcsonkok



7. kép: Csőcsomópontok



8. kép: Élelőkészített csőcsatlakozás

tonosságát passzdarabok alkalmazásával helyreállították. Ennek ellenére a dobozszerű szerkezet alaktartását ezen szakaszokon is biztosítani kellett.

Alaprajzi értelemben az ívtartók egyenes vonalvezetésűek. Hegesztett szerkezetek esetén azonban a hegesztési varratok készítését követően a szerkezet alakváltozik, az ideális, egyenes kialakítástól eltérés lép fel. Ezt a kardosságot a későbbi keresztkötések megfelelő elhelyezhetősége érdekében korlátozni kellett. A legnagyobb, 30 métert meghaladó elemek esetén sem megengedett 20 mm-t meghaladó kardossági eltérés. Ez az L/1500 értéknél is szigorúbb előírás csak megfelelő hegesztési sorrend előzetes megtervezése és annak folyamatos betartása mellett biztosítható.

ÍVÖSSZEKÖTŐK ELŐGYÁRTÁSA

Az ívösszekötő elemek végállapotban egy domború felületet képeznek, amely leköveti az ív domborulatát. Az egyes csomópontok között azonban egyenes csőelemek helyezkednek el. Ennek megfelelően minden rúdelem teljesen egyedi függőleges és vízszintes irányú szöggel csatlakozik be egy-egy csomópontba. A legkisebb csatlakozási szög a B3 ívtartó egyik csőcsatlakozásnál alakult ki, amely alig haladja meg a 18°-ot.

A központi csomópontok kialakítása nem közvetlen cső–cső metszéssel történik, hanem lemezekből felépített, hegesztett fogadócsomóponttal, amelyhez a négy irányból érkező csőelemek csatlakoznak. Ez a kialakítás szerkezetileg X rácsozású rendszert eredményez, gyártástechnológiai szempontból azonban összetett, térbeli cső–lemezes csomópontként kezelendő.

A statikai tervezés során kialakuló rúderők az egyes csomópontoknál hegesztett kötéssel kerülnek átadásra. A csőkihasználtságok indokolták a közel teljes keresztmetszetű varratkialakítások használatát a csőpalástok lehető legnagyobb felületén. Ez a kialakítás a csőbekötések oldalfelületein gyártás során biztosítható volt. Az ívcsúcsoknál kialakuló hegyes szögű bekötés, illetve az ívvállaknál a hegesztési rálátási viszonyok azonban ezt nem tették lehetővé. Itt közel teljes vastagságú Y varratokat, illetve sarokvarrattal megtámasztott Y varratokat kellett készíteni. Ez a folyamatosan változó varratkialakítás megköveteli, hogy minden cső–cső csatlakozás, illetve cső–síklemez csatlakozás háromdimenziós modellezéssel készüljön (.stp kiterjesztésben).

Az előgyártás párhuzamos technológiai rendben zajlott. A csőelemek végeinek térbeli áthatási geometriáját speciális, autogén, acetilén–oxigén üzemű CNC vágóberendezéssel készítették *(6. kép)*, míg ezzel egy időben a lemezes fogadócsomópont elemeit kivágták, összeállították, majd később meghegesztették *(7. kép)*. A termikus vágás mellett bizonyos esetekben forgácsoló utómegmunkálásra is szükség volt. Ez nemcsak a megfelelő illeszkedési pontosság, hanem a varratelőkészítés és a csomóponti geometriából adódó technológiai követelmények miatt is szükséges volt. A folyamatosan változó varratkialakítás miatt különös tekintettel kellett lenni a csövek alaki geometriájának eltéréséből adódó, különböző falvastagságok esetén fennálló kalibrálások elvégzésére és a falvastagság-változások pontos átvezetésére. A változó, egymással találkozó csőfalvastagságok átmenetét a hídépítésben általánosan használt 1:4-es átmenet képzésével lehetett előállítani, amely csőpalástokon belüli forgácsolást igényelt.

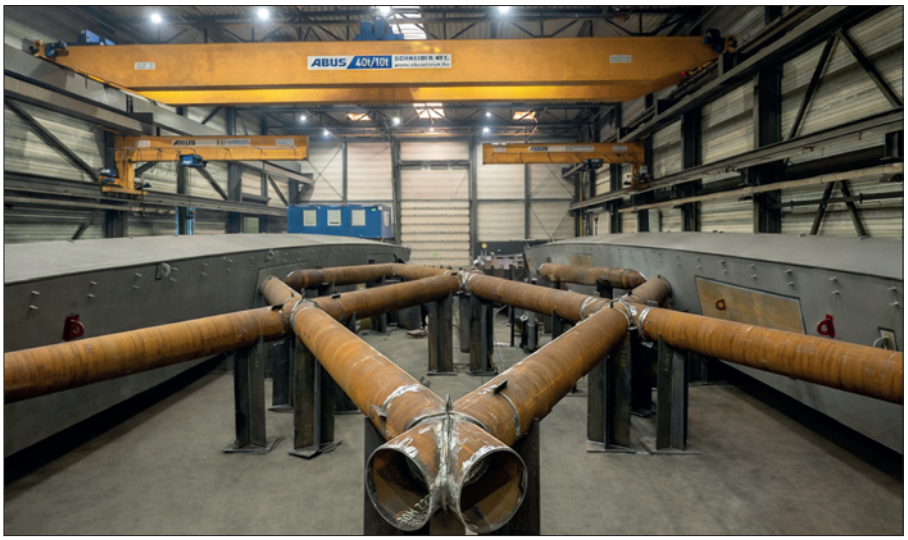
Az előgyártás legkritikusabb kérdését nemcsak az elemek mérete, hanem a csomópontok nehéz hozzáférhetősége, a változó térbeli geometria és az ezekből következő szűk illesztési tűrések jelentették. Az ívösszekötők csak akkor voltak biztonságosan és megfelelő pontossággal továbbvihetők a próbaszerelési fázisba, ha a csővégek, a csomóponti lemezek, valamint a hozzájuk tartozó élkiképzések és hegesztési előkészítések egymással teljes összhangban készültek el. Ennek megfelelően az ívösszekötők előgyártását nem egyszerű alkatrészgyártási feladatként, hanem a teljes szerelési és hegesztési technológia előkészített, nagy pontosságú első fázisaként kezelték *(8. kép)*.

ÍVÖSSZEKÖTŐK GYÁRTÁSA, PRÓBASZERELÉSE

A gyártási művelet során az ívtartókon túl több belső csomóponttal rendelkező, közel egyenes alaprajzi elrendezésű, hosszú csőösszekötőket, illetve az ezeket véglegesen összekapcsoló, egyenes csődarabokat alakították ki. A végleges geometria tarthatósága és a helyszíni munkamennyiség csökkentése indokolttá tette azt, hogy ezeket az egyes gyártási egységeken, gyári körülmények között, egyenként próbaszereljék.

A próbaszerelés geometriai méreteit a későbbi szereléstechnológia határozta meg. A cél az ív nagy magasságában történő munkavégzés és az ehhez szükséges állványzatok mennyiségének minimalizálása volt. Ennek megfelelően akkora méretű ívpanel-szerelési egységeket alakítottak ki, amelyeket csak a Magyarországon fellelhető legnagyobb, 700 tonna teherbírású lánctalpas daru tud a helyére emelni. A megbontott szerkezeti elemek közül a legnagyobb súlyú 230 tonna, míg a legnagyobb befoglaló méretekkel rendelkező egységet 21 méter széles, 32 méter hosszú területen lehetett kiteríteni *(9. kép)*.

A háromdimenziós technológiatervezés segítségével a gyártás-előkészítés a híd egyes emelési egységeit leforgatja úgy, hogy az adott egység a lehető legkisebb magasságú helyen kifektethető legyen. Az ideális próbaszerelési magasság megállapításánál figyelembe kell venni a gyártóműi daruzhatóság (horogmagasság és teherbírás) és a hozzáférhetőség biztosítását, valamint a biztonságos munkavégzés előírásait.



9. kép: A próbaszerelés helyigénye



10. kép: Próbaszerelési alátámasztások

Megtervezték az egyes ívelemek végállapoti dőlését is biztosító alátámasztó szerkezeteket, a pozíciók biztosítására használható szögsablonokat, illetve a csőelemeket alátámasztó, villaszerű készülékeket *(10. kép)*.

A sablonok beállítását, még az egyes gyártási egységek sablonba való behelyezése előtt, háromdimenziós mérést biztosító eszköz segítségével ellenőrizték. Először az ívtartók beállítását végezték el, majd annak visszaellenőrzése után az egyes csőösszekötő előgyártmányok beállítását kezdték meg. A próbaszerelés során az ívtartókra kerülő csőcsonkokat is elhelyezték *(11. kép)*.

A csatlakozóelemek között a megfelelő hegesztési hézagok tartására, az élelőkészítések kialakítására, valamint a geometria megfelelő tarthatóságának biztosítására is ügyelni kellett. A lakatolt állapot ellenőrzése után az egyes keresztmerevítő csőgyártmányok hegesztése a csőforgatóban, vagy bakra helyezve, kiforgatott pozícióban történt. Varratvizsgálat után a próbaszerelő készülékbe visszahelyezték az elemeket. Az emelési egységen megtörtént a végleges geometriai mérés és az illesztéshézagok finombeállítása. Megfelelőség esetén minden csatlakozási pontnál pengelemez-összekötő pár segítségével rögzítették a próbaszerelési geometriát, amely lehetővé tette a szerelési helyszínen az azonos geometriai állapot visszaállítását.



11. kép: Próbaszerelési pillanatkép

HEGESZTÉSI MEGOLDÁSOK

Az ívösszekötők és a kapcsolódó íves főtartó csomópontok gyártása során alapvetően két hegesztési eljárást alkalmaztak: a 135-ös védőgázos fogyóelektródás ívhegesztést és a 121-es fedőporos hegesztést. A 135-ös eljárás volt a meghatározó technológia a csőcsomópontok, a nehezen hozzáférhető belső varratok, valamint számos kézi hegesztéssel készülő kötés esetén. Ugyanez az eljárás robotizált formában az íves főtartók gyártásában is szerepet kapott, elsősorban a gerinc- és övlemezek bordahegesztésénél, valamint az összeállított dobozszerkezet öv- és gerinclemez csatlakozásainak hosszvarratainál. Az öv- és gerinclemezek teljes átolvadású tompavarratos toldásai a 121-es fedőporos technológiával készültek. Az ívtartó gerinc- és övlemezeinél, valamint az íves dobozszerkezet varratainál a hegesztési sorrend következetes meghatározása kiemelten kezelt technológiai kérdés volt.

A hegesztési technológiát alapvetően a szerkezetben alkalmazott termomechanikusan hengerelt, nagy szilárdságú acélok határozták meg. Az S460ML és S460MH anyagok kedvező szénegyenértéke lehetővé tette a viszonylag alacsony, jellemzően 80 °C körüli előmelegítési hőmérséklet alkalmazását. Az előmelegítés mértékét az alapanyagok vegyi összetétele és a hővezetési összefüggések figyelembevételével határozták meg. A technológiai fegyelem ugyanakkor ezeknél az acéloknál kiemelt jelentőségű volt, különösen a hőbevitel szabályozása szempontjából. A robotizált 135-ös hegesztésnél a jellemző hőbevitel mintegy 1,2 kJ/mm volt. Ez biztosította az egyenletes varratminőséget, és lehetővé tette a hosszvarratok megszakítás nélküli készítését, ezáltal csökkentve az ebből eredő hibák kockázatát *(12. kép)*.

A csőcsomópontok hegesztéstechnológiai szempontból a projekt legkritikusabb részletei közé tartoztak. A csomópontokban teljes átolvadású és részleges átolvadású tompavarratok egyaránt előfordultak, a központi lemezes fogadócsomópont keresztkötése pedig teljes átolvadású K varratként készült. A hozzáférhetőség azonban több helyen jelentős korlátozást jelentett. A teljes átolvadású tompavarratok egy részénél a hagyományos megoldás belső oldali hegesztést igényelt volna, ami a geometriából, a csőátmérőből és az előmelegített szerkezetből adódóan nem volt biztonságosan megvalósítható. Ezért ezeken a szakaszokon speciális, félkör alakú kerámia gyöktámaszra volt szükség. Ez a megoldás lehetővé tette, hogy a teljes átolvadású varratok kívülről, nagy biztonsággal és megfelelő minőségben készüljenek el, anélkül, hogy az előmelegített csőszakaszba hegesztőt kelljen bejuttatni. Ahol a geometria ezt megengedte, a csővégeknél belső oldali Y kialakítás is készült, azonban a zártabb csomóponti részeken ez a hagyományos belső hozzáférésű technológia már nem lett volna reálisan alkalmazható *(13. kép)*.



12. kép: A robotizált hegesztés



13. kép: Csomóponti hegesztés

A hegesztési sorrend meghatározásának fő célja a maradó feszültségek, az alakváltozás és a kontrakciós feszültség kockázatának csökkentése volt. A több irányból terhelt, lemezes fogadócsomóponttal kialakított X csomópontok különösen érzékenyek voltak arra, hogy a teljes átolvadású és nagy varratmennyiségű kötések milyen sorrendben készültek el. A varratokat ezért minden esetben szimmetrikus logika szerint, rétegről rétegre hegesztették fel: ha az egyik oldalon elkészült a gyökvarrat, a másik oldalon is azonos stádiumig kellett előrehaladni, és ez a szimmetria a teljes varratkeresztmetszet kialakításáig megmaradt. Ezzel elkerülhetővé vált az egyoldalú húzófeszültségek hatásából eredő, kedvezőtlen feszültségállapot kialakulása, amely a csomóponti lemezeket különösen nagy igénybevételnek tette volna ki.

A gépesített és robotizált hegesztési megoldások alkalmazásának több

célja volt. Egyrészt lehetővé tették az egyenletes varratminőség biztosítását, másrészt a termomechanikusan hengerelt acéloknál használatos, korlátozott hőbevitelű technológia pontosabb betartását is. A 121-es fedőporos eljárás a kritikus igénybevételű, teljes átolvadású toldásoknál nagy biztonságú és magas minőségű varratképzést tett lehetővé. A 135-ös robotizált alkalmazása pedig a főtartók hosszvarratainál és bordahegesztéseinél nyújtott technológiai előnyt. A teljes gyártási folyamat során tudatos törekvés volt a legmodernebb technológiák alkalmazása, amely a szerkezeti biztonság, az egyenletes varratminőség, a szabályozott hőbevitel és a nehéz hozzáférésű kötések biztonságos kivitelezése szempontjából egyaránt indokolt volt.

A hegesztett kötések megfelelőségét a csomópontoknál több vizsgálati módszer kombinációjával igazolták. Az X csomópontok esetében 100% vizuális vizsgálatot és 100% repedésvizsgálatot alkalmaztak, továbbá ahol a geometriai viszonyok ezt lehetővé tették, ezt 100% ultrahangos vizsgálattal, valamint kiegészítő radiográfiai vizsgálattal egészítették ki. A nehezen, vagy csak korlátozottan vizsgálható kötések esetében a hegesztési megoldás alkalmasságát előzetes technológiai vizsgálatokkal és gyártásközi próbákkal igazolták. Ez a megközelítés jól illeszkedett a projekt egészére jellemző minőségbiztosítási szemlélethez.

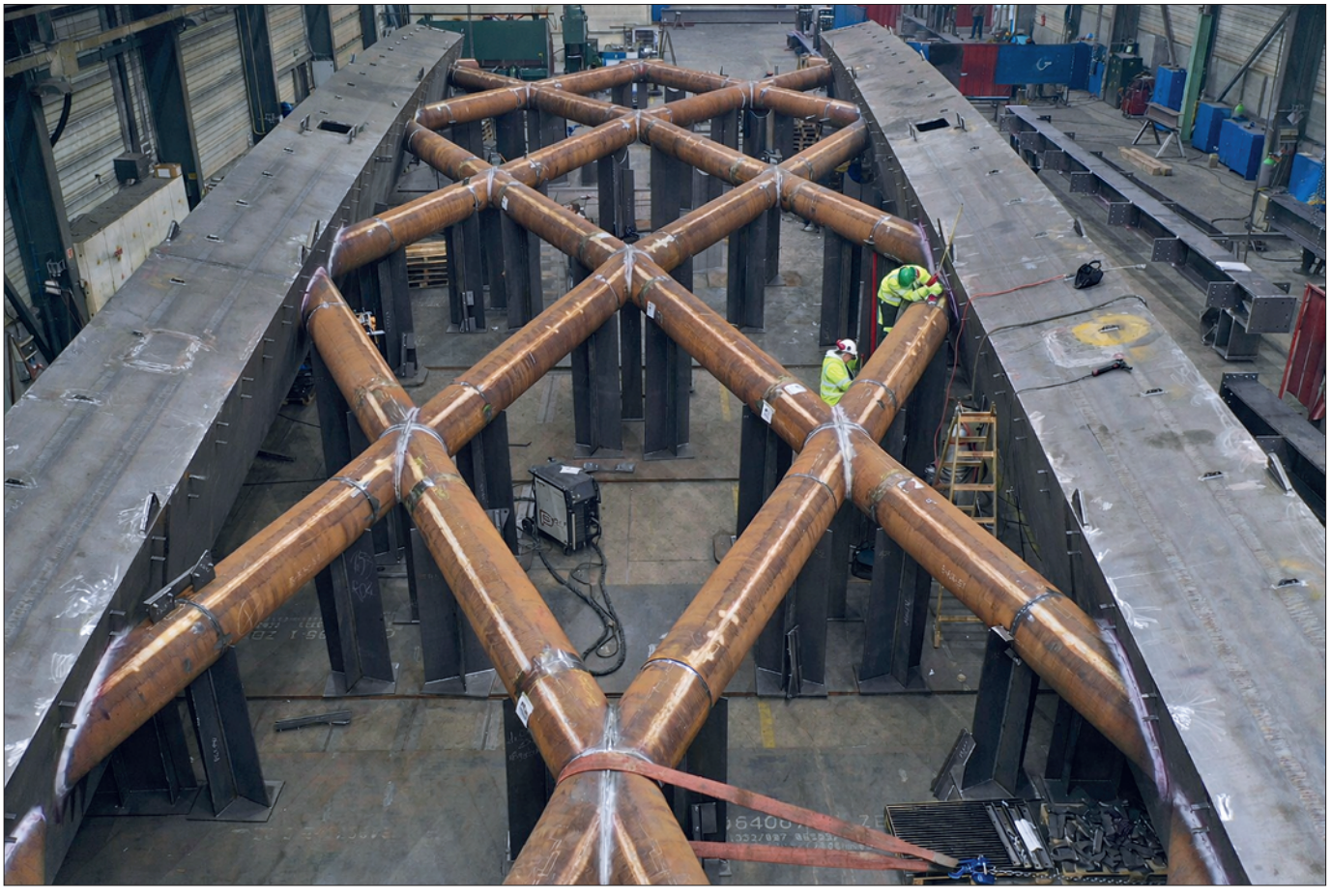
MÉRET- ÉS ALAKBEÁLLÍTÁS

Az acélszerkezet gyártása során az MSZ EN 1090-2 szabvány EXC3 kiviteli osztályának megfelelő tűréseket kellett betartani. A legnagyobb kihívást jelentő méret- és alakbeállításokat a gyártási és próbaszerelési folyamat minden fázisában, az összeállítástól a készre hegesztésig, folyamatos mérnöki felügyelet mellett végezték. A megfelelő geometria ellenőrizhetősége érdekében háromlépcsős ellenőrzési rendszert alakítottak ki, egyedi, háromdimenziós ellenőrző pontrendszer alkalmazásával.

Az ívtartók méretét a szerelési-hossz-ráhagyások, míg a csőelemeket a külső palást gyártási tűrései miatt közvetlenül nem lehetett mérni, ezért segédpontokat és mérőlemezeket használtak. A csőelemek darabolása során a palást felületén tengelygravírozásokat készítettek, amelyek elősegítették a több síkban és szögben vágott elemek beállítását. Ugyanezen tengely mentén fúrással rögzítették az adott elem mérési pontját. Az ívtartók pozíciójának ellenőrzéséhez az ívtartók véglapjainál a keresztmetszeti sarkokba hegesztett mérőlemezeket hegesztettek, amelyek szimulálták az egyes emelési egységek csatlakozó geometriáját is. Az ívtartó közepén a gerinc és övlemezeken, a lemezelemek széleitől azonos távolságra felfúrt mérőpontok segítettek az ívtartó párok távolságának beállításában és ívmagasság megfelelőségének biztosításában.

A háromlépcsős ellenőrzési rendszer első eleme „egyszerű” mérőszalagos mérés. A nagy geometriai méretek (akár 38 métert meghaladó térbeli átló) és a csőelemek kitakarása azonban ezt a módszert jelentősen korlátozta, ezért a háromdimenziós ellenőrzési eljárások tekinthetők mérvadónak.

A második mérést Leica AT403 Trackerrel és az ehhez kapcsolódó Polyworks kiértékelő programmal végezték. A szerkezet háromdimenziós modelljébe előre betervezték a gyártás során használt mérőpontokat, így az elméleti geometria és a megvalósult geometria, illetve ezek eltérései egy



14. kép: Mérőállomásos mérés

egyszerű mérőműszer-beolvasással kinyerhetőek.

A harmadik mérés Trimble SX12 mérőállomással történik. A normál, függőlegesen tartott mérőprizmás méréseken túl az oldalfelületek mérését külön, erre a célra kialakított mérőmágnesek alkalmazásával lehet elvégezni *(14. kép)*.

A két háromdimenziós mérés azonos alapkoordináta-rendszert használ, amelyet a gyártás megindítása előtt véglegesítettek a gyártócsarnokokban. A méréseket minden egyes szerelési egységnél összevetették. A két mérőmódszer pontossága tapasztalatok szerint ekkora geometriai méretek esetén is 3 mm-en belül maradt.

A különböző időpontokban és körülmények között gyártott szerelési egységeknél az egymáshoz kapcsoló elemek azonos pozícióba történő beállítására törekedtek, ennek visszaellenőrzése egy íemelési egységek közötti összeépítési jegyzőkönyvben is megtörtént.

A GYÁRTMÁNYOK ELKÉSZÜLTE, A KÖZÚTI SZÁLLÍTÁS KORLÁTAI

A próbaszereléseket követően az egyes gyártási egységek külsejére az előírásoknak megfelelő korrózióvédelmi bevonatot készítettek. A zárt szekrénytartókat belülről légzáró módon alakították ki, amelyek megfelelőségét nyomáspróbával ellenőrizték. A korrózióvédelem megfelelőségének igazolását követően az egyes elemeket a mohácsi helyszínre szállították.



16. kép: Ívtartó emelése



15. kép: Ívek szállítása



17. kép: Ív szerelési egység beemelése – látkép



18. kép: Megemelt ív szerelési egység

A 2,55 méternél szélesebb vagy 4,0 méternél magasabb egységek túlméretes szállítmánynak minősülnek, amihez hatósági engedély és kísérőjármű szükséges. A legnagyobb szállított ívtartó 32 × 3,5 × 4,0 méter befoglaló méretű, tömege 80 tonna. Ezen túlsúlyos elemek csak éjszaka, előre meghatározott útvonalon mozoghatnak. A szállítások során folyamatosan egyeztettek az egyes területek útfenntartásáért felelős szervezeteivel, annak érdekében, hogy az útfelújításokból, átalakításokból adódó közúti keresztszelvény-szűkülések elkerülhetők legyenek. A kedvezőtlen téli időjárási körülmények miatt még ezen egyeztetések ellenére is előfordult, hogy a normál esetben egy éjszaka megtehető Sárospatak–Mohács útvonalú szállítás négy éjszakát vett igénybe.

Az ívtartók szállítását speciális alátámasztó bakokon, fa és gumi alátétek alkalmazásával végezték, ügyelve a korrózióvédelmi bevonat megfelelő védelmére. A bakok használatával az egyes fuvarok magassága már meghaladta volna a közúti űrszelvény méretét, így egyes gyártmányokon az elem tetejére kerülő emelőfülek helyett az elem oldalára kerülő emelőfüleket alkalmaztak *(15. kép)*.

Az ívtartók egyik oldalán a próbaszereléskor felhegesztett csőcsonkok helyezkedtek el, amelyek oldalt túlnyúltak a szerkezeten. Az éjszakai szállítás során a szembejövő közúti forgalom veszélyeztetésének elkerülése érdekében ezeket a kilógásokat a menetirány szerinti jobb oldalra forgatták.

Az akár 32 méter hosszúságú elemek szállítását speciális, elöl-hátul forgóvázas trailerekkel végezték, amelyekkel a szükséges fordulósugarak csökkenthetők voltak. A szerelési helyszínt szintén előkészítették az ilyen, jellemzően kis kerékátmérőjű és többtengelyes szállítóeszközökkel érkező elemek fogadására *(16. kép)*.

ZÁRSZÓ

A Mohácsi Duna-híd ívelemeinek gyártása és próbaszerelése, a hídépítésben még kevésbé elterjedt, háromdimenziós szemlélet alkalmazását igényelte. Már a tervezési folyamat során elsődleges célként határozták meg, hogy olyan szerkezetet alaksanak ki, amely a rendkívül bonyolult geometria és nehezen kivitelezhető hegesztési feladatok ellenére is megvalósítható.

A gyártási folyamat során a szakterületek közötti együttműködés és a többszintű geometriai ellenőrzés biztosította a szerkezetek pontosságát. Ennek eredményeként olyan ívszerkezet jött létre, amely a helyszíni szerelés során is hatékonyan, a tervezett időráfordítással összeállítható volt *(17. és 18. kép)*.

A cikksorozat következő része a B3 jelű mederhíd helyszíni szerelési tevékenységét fogja bemutatni.

KÉPEK FORRÁSA

– Szabados Mihály: 1. és 2. kép,
– Magyar Építők: 3., 9., 12., 13., 17. és 18. kép,
– Parragi Szabolcs: 4., 5., 7., 8., 15. és 16. kép,
– Timkó Krisztián: 6., 10., 11., 14. kép.



Kolozsi Péter *hídtervezési iroda igazgató*
CÉH zRt.

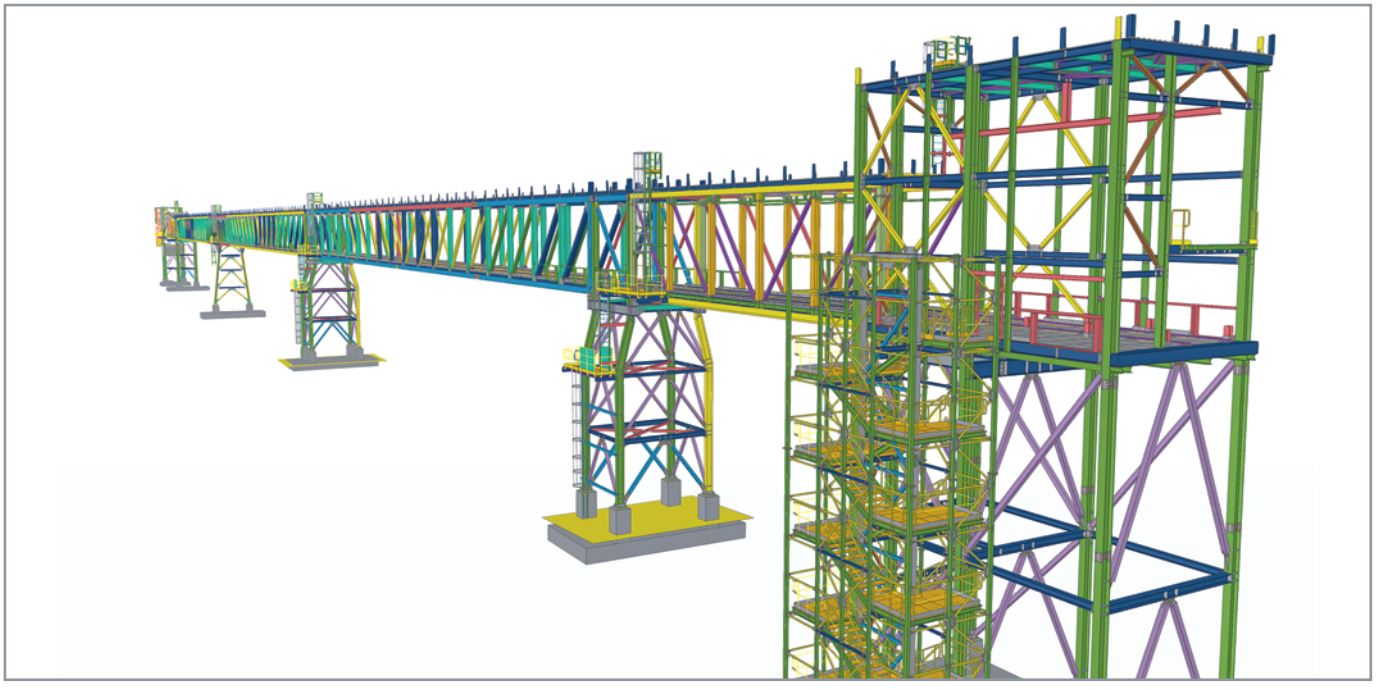
NAGY FESZTÁVOLSÁGÚ CONVEYOR-HÍD MODELLALAPÚ TERVEZÉSE IPARI KÖRNYEZETBEN

Meglévő külföldi ipari környezet bővítési projektjének részeként a CÉH zRt. egy különleges kialakítású acélszerkezetű conveyor-híd, valamint a hozzá csatlakozó, új festőcsarnok kiviteli terveit készítette el BIM-szemlélettel.

A híd meglévő ipari épületek felett, szűk területi adottságok között valósult meg, ezért a tervezés során nemcsak a tartószerkezeti kialakítás, hanem a funkcionalitás, a szerelhetőség és a kivitelezési technológia is meghatározó szerepet kapott.



1. ábra



2. ábra

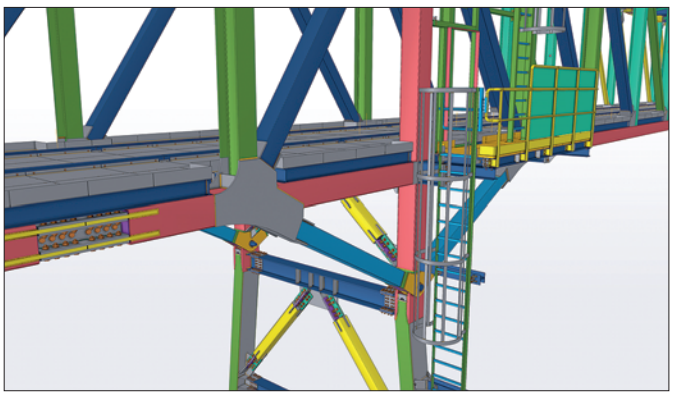


3. ábra

Az ipari hídszerkezet ötnyílású, teljes hossza 385 m, legnagyobb nyílása 100 m, a rácsos tartó keresztmetszete 4,9 m széles és 6,2 m magas. A híd elsődleges feladata a technológiai szállítószalag (conveyor) és a kapcsolódó kiszolgálórendszerek átvezetése, ugyanakkor a sajátos ipari környezetből adódó követelmények a hagyományos hídszerkezetektől több ponton eltérő kialakítást tettek szükségessé.

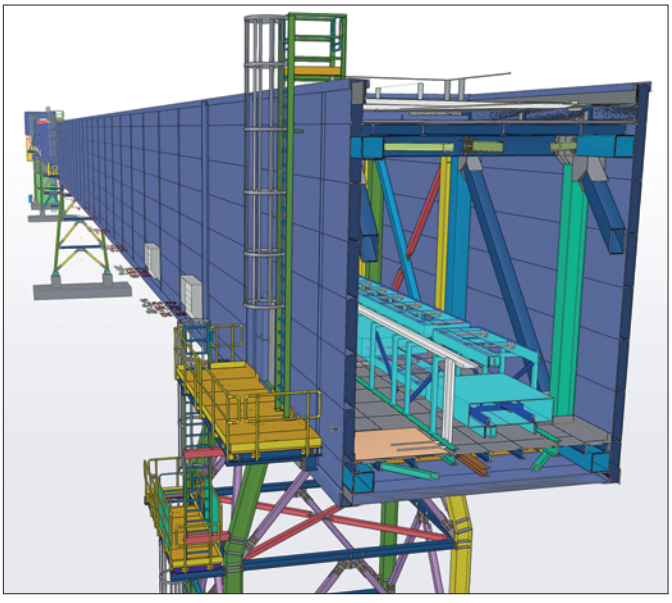
A tervezés egyik legfontosabb mérnöki feladata a nagy fesztávú rácsos tartó alaktartásának biztosítása volt, mivel a hídon telepítendő technológiai szállítószalag alaktűrései rendkívül szűk határértékeket írtak elő. Emiatt a lehajlások, a végleges geometria, a túlemelt alak, valamint a szerelés közbeni alakok vizsgálata a statikai számítások kiemelt részét képezte.

Az ipari és technológiai igények miatt a hídszerkezet csomópontjai számos esetben eltértek a hagyományos hídtervezési megoldásoktól. Az egyedi csomópontok kialakítása, méretezése, gyártható és szerelhető részletképzése külön mérnöki feladatot jelentett, amelyben a klasszikus hídszerkezeti szemléletet az ipari technológia speciális követelményeivel kellett összehangolni.



4. ábra

A kiviteli tervek – egyben az acélszerkezet tervei – LOD 400 részletezettségi szinten készültek. A modell így nemcsak a geometriai koordinációt és a tervezési folyamat hatékonyságát támogatta, hanem kisebb finomhangolásokat követően közvetlenül az acélszerkezet gyártásának alapjául is szolgált. A tervezés közös CDE modellkörnyezetben zajlott, amelyben a CÉH zRt. hídtervezői, építészei és egyéb kapcsolódó szakági tervezői, valamint az acélszerkezeti gyártmánytervező és a tervellenőr ugyanazon digitális 3D modellen dolgoztak együtt. Ez a munkamódszer jelentősen növelte a szakági koordináció, az ütközésvizsgálat és a változáskövetés hatékonyságát, emellett az igen feszített ütemezéssel lebonyolított, Design & Build projektben érdemben csökkentette a tervezés közben szükségessé váló módosítások átfutási idejét is.



5. ábra



6. ábra

A helyszíni szerelés tervezése alapos átgondolást igényelt. A szerkezeti elemeket szerelési egységekre osztva, szabadszereléssel építették be. A szerelési egységek illesztése a meglévő ipari épületek felett, külön állványzatról, csavarozott kapcsolatokkal történt. A megelőző szerelési fázisokban már beemelt szerkezetek bemért alakjától függően az emelési egységek pozicionálása és csavarkapcsolatainak pontos illesztése különösen fontos szempont volt.

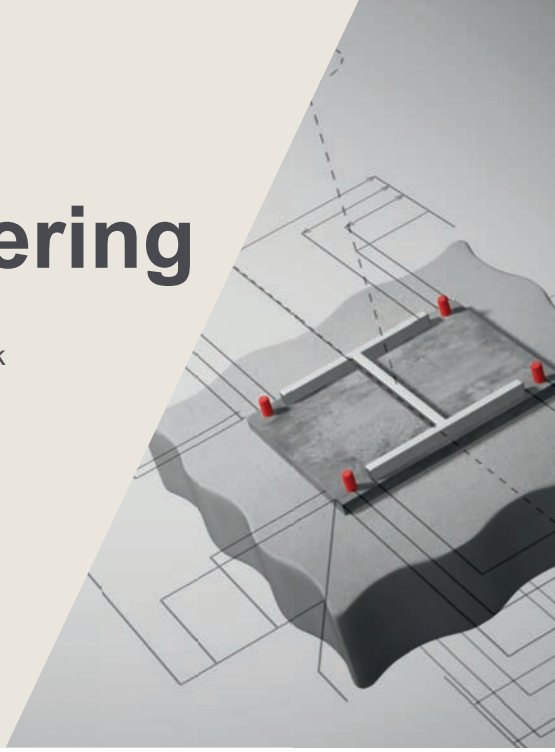
A legnehezebb emelési egység tömege közel 160 t volt, amelyet a meglévő területi adottságok miatt mintegy 50 m távolságból, meglévő épületek felett kellett a helyére emelni, majd a már beemelt felszerkezet konzolos végeihez nagy pontossággal illeszteni. A beemelést egy 1400 t kapacitású lánctalpas daru végezte, amely önmagában is különlegessé tette a szerelés pillanatait.

A projekt jól példázza, hogy az acélszerkezet-tervezésben a digitális modell ma már nem csupán dokumentációs eszköz, hanem a gyárthatóság, a szerelhetőség és a kivitelezési kockázatok kezelésének is alapvető eszköze. A conveyor-híd tervezése így nemcsak egy összetett mérnöki feladat megoldását jelentette, hanem jól mutatta a modellalapú, integrált tervezési szemlélet gyakorlati előnyeit is.



7. ábra

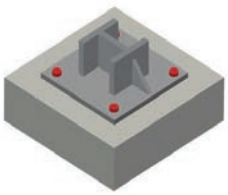
Hilti PROFIS Engineering



A **Hilti Profis Engineering** statikus tervezőknek készült felhőalapú szoftver, mely szerkezeti kapcsolatok és rögzítéstechnikai megoldások ellenőrzésére szolgál.
A szoftverben nem csak a különböző dűbelek méretezésére van lehetőség betonban vagy tégla falazatban, de utólag beragasztott betonacél kapcsolatok, acél talplemezek és alaplemezek méretezése is elérhetővé válik egy szoftveren belül, mindez az Eurocode előírásai szerint.
Egyszerűbbé és gyorsabbá teszi a teljes munkafolyamatot a tervezéstől a kivitelezésig.

Ha felkeltette érdeklődését a szoftver látogasson el a www.hilti.hu-ra!

Alkalmazások



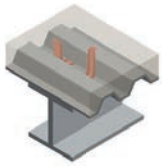
Rögzítés betonban

Mechanikai és vegyi rögzítések tervezése betonban húzásra, nyírásra és kombinált igénybevételre, beleértve a beton tönkremeneteli módjainak ellenőrzését prémium funkciókkal: CBFEM, Smart Design és Chatbot.



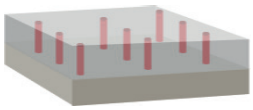
Rögzítés falazatban

Rögzítési kapcsolatok tervezése különböző gyártók tömör és üreges falazataiban a rögzítési módszer, a kötéskép és a falazat szilárdságának figyelembevételével.



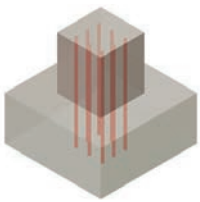
Nyírócsapok tervezése

Beton és acél kapcsolat tervezése hegesztés nélküli, lőhető nyírócsapokkal (HVB) alacsony acélszelvény magasságokhoz.



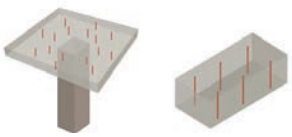
Beton fedőréteg

Új és meglévő betonrétegek közötti kapcsolat ellenőrzése, jellemzően szerkezeti megerősítéshez vagy épület bővítésekhez.



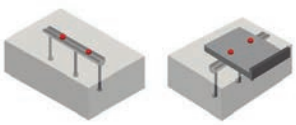
Utólagos betonacél beragasztás

Utólag beragasztott betonacél tervezése szerkezetek összekapcsolásához és bővítéséhez a lehorgonyzási hossz és a teherbírások ellenőrzésével.



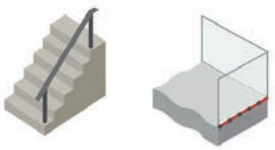
Átszúródási vasalás és nyírási megerősítés

Elsősorban nyíróerők átvitelére szolgáló szerkezeti megoldások tervezése, különösen felújítási és korszerűsítési alkalmazásokhoz.



Anker sínek és homlokzat

Előregyártott vasbeton elemekhez használt, illetve helyszínen beépített anker sínek tervezése függönyfalakhoz és elemes homlokzatokhoz.



Korlát és üveg mellvéd

Védőkorlátok rögzítési kapcsolatainak szabvány szerinti tervezése és ellenőrzése vízszintes terhekre, beleértve a rögzítéstechnika kiválasztását és a korlát geometriai teverzését.

Szalai Ádám *Csiszolástechnika divízió vezető*
M.L.S. Magyarország Kft.

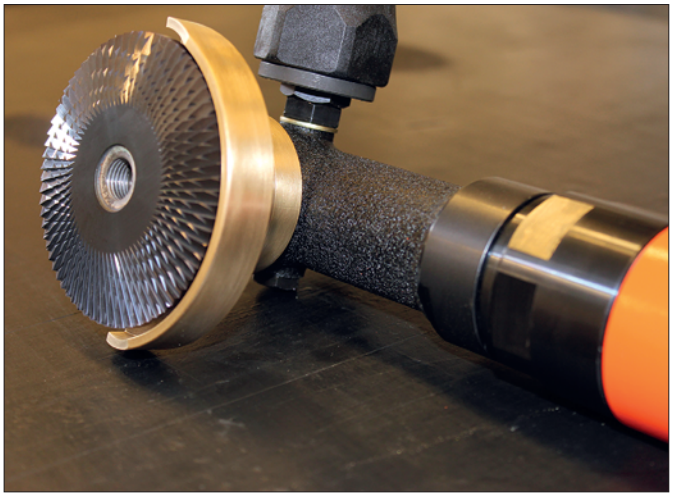
BIZTONSÁG ÚJ SZINTEN: HIDEGALAKÍTÓ SZERSZÁMOK ROBBANÁSVESZÉLYES KÖRNYEZETBEN

CUT THE HEAT – CUT THE RISK – CUT THE COST

A hagyományos csiszoló- és vágószerszámok működésükből adódóan jelentős hő- és szikraképződéssel járnak. De mi történik akkor, ha a munkát robbanásveszélyes (EX) környezetben kell elvégezni? Mi lenne, ha ilyenkor nem kellene külön engedélyekre várni, előkészítésekkel bajlódni, hanem egyszerűen csak kinyitni a szerszámosládát, felhelyezni a megfelelő fejet, és azonnal munkához látni? Az M.L.S. Magyarország kínálatában újonnan megjelent, EX tanúsítvánnyal rendelkező SAFETY TOOLS ALLMET szerszámai pontosan ezt a lehetőséget teremtik meg.







A SAFETY TOOLS ALLMET kifejezetten „hidegalakító” extrém vágó- és csiszolószerszámokra specializálódott. Ezek használatához nincs szükség alkalomszerű tűzveszélyes munkavégzési engedélyre (HWP), ami jelentősen leegyszerűsíti a munkafolyamatokat. A szerszámokat világszerte használják, és kategóriájukban egyedülálló módon teszik lehetővé a szikra- és hőmentes megmunkálást.

A technológia alapja az alacsonyabb fordulatszám és a speciális volfrám-karbid vágó- és maróprofil. Ennek köszönhetően a szerszámok hatékonyan távolítják el a festéket, bevonatokat, rozsdát, sőt akár fémet is – mindezt szikraképződés és túlzott hőtermelés nélkül. Alkalmasak a petrolkémiai iparban használt legtöbb acéltípus megmunkálására.

A berendezések a norvég DNV által tanúsított hidegalakító szerszámok, amelyek biztonságosan alkalmazhatók ATEX 1-es és 2-es zónákban is. Megbízhatóságukat szélsőséges körülmények között végzett tesztek igazolják.

A használat során tapasztalható alacsony rezgésszint és kedvező zajterhelés lehetővé teszi, hogy akár egy teljes műszakon keresztül is biztonságosan alkalmazhatók legyenek. A szerszámok csendesebbek és ergonomikusabbak a hagyományos megoldásokhoz képest, így a kezelhetőségük is egyszerűbb.

A technológia egyik legnagyobb előnye a folyamatok egyszerűsödése

– nincs szükség tűzveszélyes munkavégzési engedélyre,
– nincs szükség időigényes kockázatértékelésre,
– elkerülhetők a várakozások és késedelmek,
– nem helyhez kötött a munkavégzés,
– nincs szükség külön tűzvédelmi biztosításra,
– nem szükséges a termelés leállítása vagy lassítása.

Mindez jelentős idő- és költségmegtakarítást eredményez, különösen tűz- és robbanásveszélyes környezetben végzett munkák esetén.



A SAFETY TOOLS ALLMET széles termékportfólióval rendelkezik, amely lefedi a vágási, csiszolási és helyszíni javítási feladatokat. A különböző kialakítású fejek – például hengeres, kúpos vagy lekerekített formák – lehetővé teszik többek között csővégek belső megmunkálását, hegesztési varratok lekerekítését, vagy felesleges szerkezeti elemek precíz eltávolítását. A vágó- és köszörűkorongok szintén specifikus ipari kihívásokra lettek optimalizálva.

A megmunkálófejek sárgaréz csatlakozóelemhez vannak rögzítve, amely speciális kialakításának köszönhetően stabilan illeszthető a dedikált szerszámgépekhez. Minden eszköz egyedi azonosítóval rendelkezik, ami támogatja a nyomonkövethetőséget.

A Safety Tools Allmet alkalmazása új szintre emeli a HSE (Health, Safety, Environmental) megközelítést. A szerszámok használata egyszerű, ugyanakkor természetesen továbbra is szükséges az egyéni védőfelszerelések – például védőszemüveg – alkalmazása.



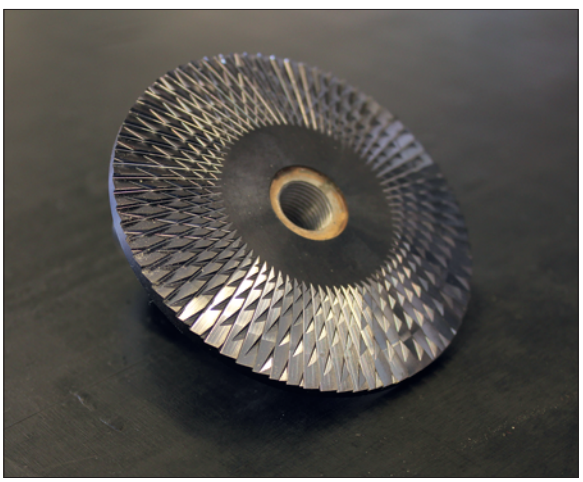
HSE előnyök:

– nincs szikra → nincs robbanásveszély,
– működési hőmérséklet: < 70 °C,
– zajterhelés: < 85 dBA,
– vibráció: < 2,5 m/s² (akár napi 8 órás használatra),
– nincsenek veszélyes füstök (pl. izocianátok),
– minimális porképződés az alacsony fordulatszám és speciális fogazat miatt,
– a keletkező részecskék tompák,
– a töredékek nem hatolnak be a bőrbe.

A SAFETY TOOLS ALLMET nem csupán egy új szerszámkategória – hanem egy biztonságosabb, hatékonyabb munkavégzési szemlélet alapja.

SAFETY TOOLS allmet





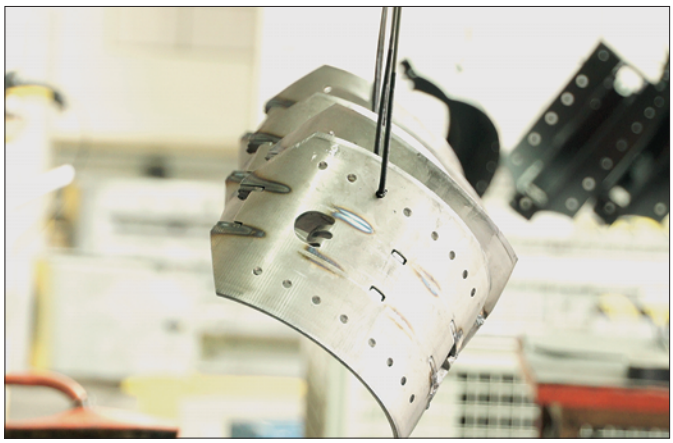
M.L.S. Magyarország Kft. • 2310 Szigetszentmiklós, Sellő u. 8.
Telefon: +36 20 555 1342 • Fax: +36 24 525 420 • email: adam.szalai@mls.hu

Lakos Szabina *műszaki és kereskedelmi vezető*
CLOOS Magyarország

MEGBÍZHATÓSÁG ÉS MODERNIZÁLÁS A CLOOS-TÓL

Robotrendszer retrofit a SAF-HOLLAND-nál

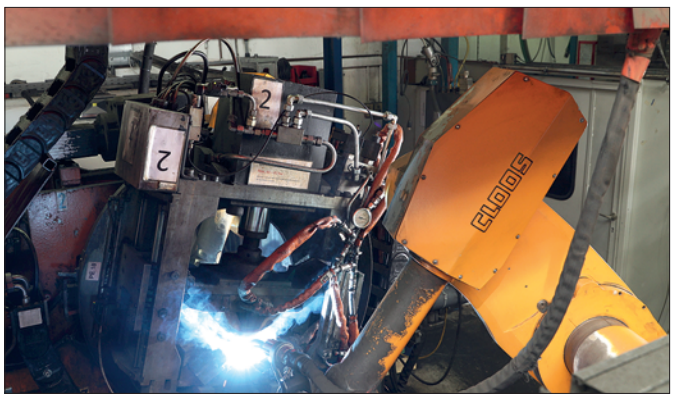
A pótkocsik, nyerges pótkocsik, teherautók és buszok alvázainak vezető gyártójaként a SAF-HOLLAND a megbízható gépekkel felszerelt, modern gyártásra támaszkodik. A vállalat sikeresen retrofitálta az egyik bessenbachi telephelyén 1998 óta működő Cloos robotrendszerét, így meghosszabbítva a két új QIROX hegesztőrobottal felújított rendszer rendelkezésre állását.



CLOOS robotrendszer hegeszti a dobfékek vezetékeinek tartóelemeit

A luxemburgi székhelyű SAF-HOLLAND S.A. csoport jelenleg hat kontinensen tevékenykedik, és 28 országban rendelkezik telephelyekkel. Termékpalettája tengely- és felfüggesztési rendszereket, nyeregszerkezeteket, királycsapokat és futóműveket is magában foglal, amelyek SAF, HOLLAND és Neway márkanevek alatt kerülnek forgalomba.

A bessenbachi telephelyen zajlik a pótkocsitengelyek gyártása. A CLOOS robotrendszer hegeszti a teherautók dobfékjeihez szükséges vezetékek tartóelemeit. A robotkezelő manuálisan helyezi be az alkatrészeket, és a robotok által végzett automatikus hegesztés után ellenőrzi a varratok minőségét.

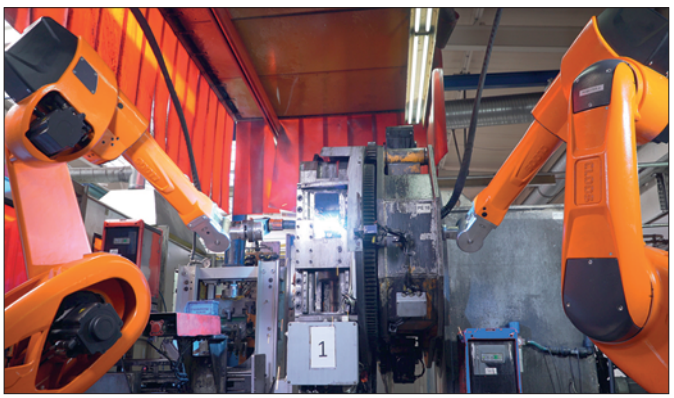


A CLOOS robotok 1998 óta folyamatosan működnek

Műszakonként a két robot körülbelül 450 alkatrészt hegeszt, összesen hét változatban. *„A rendszer négyműszakos üzemmódban, megszakítás nélkül dolgozik”* – magyarázza Marco Krebs, a SAF-HOLLAND GmbH alkatrészgyártási részlegének vezetője Bessenbachban. *„Az egyetlen gyártási szünet szombat este 10 órától vasárnap este 10 óráig tart.”*

Zökkenőmentes retrofit

A rendszert a rendelkezésre állás meghosszabbítása érdekében felújították, a retrofit keretében felszerelt két új QIROX QRC-350 típusú robot rendkívüli dinamikával és előtolási sebességgel rendelkezik.



A két új QIROX QRC-350 hegesztőrobot

A rendszer átalakítása zökkenőmentesen zajlott. *„A CLOOS pontosan betartotta a nyolcnapos határidőt”* – mondja Krebs. A termelés összesen két hétig állt le, ez idő alatt a CLOOS retrofit mellett egyéb változtatásokra is sor került. A munkák megkezdése előtt biztonsági készletet kellett felhalmozni, a készletpótló gyártást több megelőző vasárnapon végezték.

Az alkatrészellátás biztosítása érdekében elengedhetetlen a rendszer magas rendelkezésre állása folyamatos üzemmódban. A retrofit óta a rendszer még stabilabban és szinte meghibásodás nélkül működik.

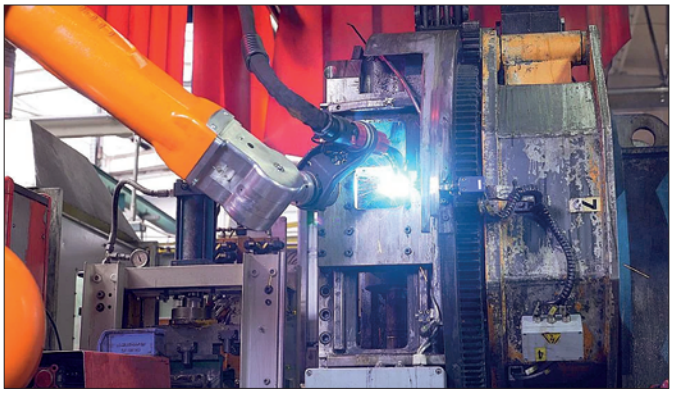
A munkatársak élvezik az új QIROX vezérlő felhasználóbarát kezelőfelületét és az egyszerűsített programozást. A robotrendszeren dolgozó nyolcfős csapat teljes körű oktatást is kapott az újdonságokkal kapcsolatban.

Hosszú távú partnerség

A SAF-HOLLAND bizalma a CLOOS hegesztési technológiájában hosszú évek óta töretlen. A vállalat így csak a bessenbachi két telephelyén tizennégy CLOOS robotrendszert üzemeltet.

Számos további CLOOS rendszer működik a vállalat gyártóüzemeiben szerte a világon. *„Különösen nagyra értékeljük a CLOOS kiváló szolgáltatásait”* – mondja

Krebs. *„Minden alkatrészt egy kézből kapunk."* A két régi robot mechanikája még mindig teljesen üzemképes. Ezért továbbra is fontos szerepet töltenek be a vállalatnál, jelenleg oktatórobotként szolgálnak a gyakornoki műhelyben.



A retrofit óta a rendszer teljesítménye tovább nőtt

CLOOS retrofit – Feleljen meg már ma a holnap elvárásainak

A hegesztéssel szemben támasztott követelmények folyamatosan változnak, az ügyfelek elvárásai pedig egyre magasabbak. Gyakran szükség van a gyártás gyors és hatékony átalakítására. A CLOOS csapata tanácsadást nyújt a meglévő robotrendszerek módosításával és modernizálásával kapcsolatban, amelyek segítségével növelhető a termelékenység, és a gyártás képes lesz megfelelni a megváltozott elvárásoknak.

Milyen előnyöket kínál a retrofit?

– A legmodernebb technológia alkalmazása,
– egyszerűsített programozás és kényelmes kezelés,
– gördülékeny alkatrészellátás,
– megnövekedett teljesítmény,
– hatékonyabb és gazdaságosabb működés.



CLOOS QINEO ArcBot

A QINEO ArcBoT egyszerű belépést kínál az automatizált hegesztés világába.

- Gyors programozhatóság: automatizált hegesztés kis munkadarabszámtól és mérettől
- Kiváló hegesztési minőség: reprodukálható hegesztési eredmények a maximális hatékonyság érdekében
- Magas költséghatékonyság és kompakt kialakítás: rövid megtérülési idő és a kompakt méretei miatt, könnyű felhasználhatóság jellemzi
- Egyszerű használat: nincs szükség speciális előzetes ismeretekre

A CLOOS ArcBoT kollaborativ hegesztőrendszerrel már kis sorozatszámú munkadarabokat is folyamatosan kiváló minőségben, gazdaságosan hegeszthet. A mind a hat tengelybe beépített nyomatékérzékelők lehetővé teszik a kobot rendkívül preciz mozgatását, programozását. Az intuitív kezelés, az egyszerű és gyors programozhatóság jelentősen növeli a munka hatékonyságát.

A csúcstechnológiás CLOOS QINEO hegesztő áramforrás és a nagy pontosságú kollaborativ robot tökéletesen kiegészítik egymást. A dolgozók tehermentesítésén túl profitáljon a kiváló hegesztési eredményekből, különösen a monoton, ismétlődő feladatok esetén a gyártási minőség reprodukálhatóságának köszönhetően.

Készletről vagy központi raktárunkból is elérhető kollaborativ robotok, így Ön is gyorsan gyártásba állíthatja új Cloos berendezését.

CLOOS

www.cloos.hu



Németországban, Wittenberge közelében épül a közel 1000 tonna össztömegű autópálya öszvérhíd.
Az egyik pálya acélszerkezete szerelés közben, szakaszos előretolás egy pillanatában látható.

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.

HIRDETÉS

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

SAFETY TOOLS
allmet





→ Szikra- és hőmentes csiszolás, vágás

→ Biztonságos használat tűz- és robbanásveszélyes környezetben



MLS IDŐTÁLLÓ MEGOLDÁSOK
www.mls.hu/tudastar

M.L.S. Magyarország Kft. | 2310 Szigetszentmiklós, Sellő u. 8.
Kovács István termékmenedzser | istvan.kovacs@mls.hu | +36 20 555 0761



A PROJEKTRŐL

ROBINSON HÍD BUDAPEST

Az Év Acélszerkezete Nívódíj I. helyezett, 2023
MAGÉSZ

Nyertes projekt, 2024
BLT Built Design Awards, Hidak és közösségi infrastruktúra kategória

Nyertes projekt, 2025
Architecture Masterprize Infrastruktúra kategória

TOP 6 Kerékpáros és gyalogos hidak, 2023
IABSE

Nyertes projekt, 2024
BIG SEE Építészeti Díj, Közösségi, kulturális építmények és infrastruktúra kategória

Az Év Tartószerkezete, 2025
Magyar Mérnöki Kamara, Híd kategória

Építőipari Nívódíj, 2023
Építőipari Mesterdíj Alapítvány, Közlekedési létesítmény kategória

Kategória győztes, 2024
FIABCI Magyarország Prix d'Excellence, Speciális létesítmények kategória

Gold Winner, 2026
International Architecture & Design Awards, Közlekedés és infrastruktúra kategória

SPECIÁLTERV

EGYEDI HIDAK TERVEZÉSE 1999 ÓTA