

ACÉLSZERKEZETEK

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

A Mobácsi Duna-híd és kapcsolódó úthálózat projekt bemutatása és műtárgyépítési munkák

Cikksorozatunk 1. része a 16–23. oldalakon.



(Fotó: Erdői Mihály, magyarepitok.hu)

A TARTALOMBÓL:

- *Beszámoló az IABSE 2025. évi kongresszusáról*
- *Cső főtartós hídszerkezetek gyártásának sajátosságai*
- *A szegedi úti felüljáró tervezése*
- *B-WIM-rendszer fejlesztése vasúti hídra*
- *Légköri korrózióálló acél sókorróziós vizsgálata hídszerkezetnél*
- *Gyalogos és kerékpáros acélszerkezetű ívhíd tervezése*
- *Kaukázus – Magasházak, különleges szerkezetek – I. rész: Azerbajdzsán*

EVOLUTION V80 & V80M

Az Evolution V80 és az Evolution V80M az Evolution Vision sorozat legújabb tagjai, amelyek kiváló láthatóságot és modern dizájnt kínálnak. A piacon elérhető legnagyobb látómezővel, első osztályú optikai tisztasággal, ultra-nagy felbontású LCD kijelzővel és bevált True-Colour technológiáinkkal páratlan hegesztési élményt nyújtanak.

Az automatikusan sötétedő Evolution V80M számos további funkcióval rendelkezik, mint például az automatikus árnyékolás, árnyékolás rögzítés, tack mód, elhalványulás késleltetés és 2 lépéses késleltetés. Tapasztalja meg a tökéletes hegesztési varratot kiváló látásmóddal.



Előnyök

80x124 mm



Nagy látómező – Nézze meg hegesztését bármilyen szögből, és élvezze a korlátlan lehetőségeket

Olyan hegesztők számára tervezték, akik extra nagy látómezőt igényelnek – tökéletes nagy teljesítményű alkalmazásokhoz, nagy hegesztési sebességgel és különböző hegesztési eljárásokkal. Lásza hegesztését tökéletesen minden pozícióból és szögből.

2.5/4-8

9-14



Széles árnyalatválaszték 2,5-ös fényáteresztő képességgel a páratlan tisztaság érdekében

A 2,5-ös fényáteresztő képességgel páratlan tisztaságot élvezhet, amikor az ADF nem aktív. Az ADF digitális háttérvilágítású panelje kiváló láthatóságot biztosít a beállításokhoz gyenge fényviszonyok mellett. A 0,5 lépéses árnyalatbeállítás még pontosabbá teszi a beállításokat. Ugyanazt a sisakot használhatja MIG, TIG, elektródás, plazmavágáshoz és csiszoláshoz, egyszerűen csak az árnyalat szintjét állítva. A munkadarab előkészítése közben hagyja magán a sisakot. Élvezze a maximális kényelmet és a zökkenőmentes munkafolyamatot.



Kiváló viselési kényelem komfortos nyakpárnával

Tapasztalja meg a kiváló viselési kényelmet az új fejtámaszával, amelyet hosszú hegesztési munkákhoz fejlesztettek ki. Négy egyensúlyoptimalizáló pánttal és három hosszúságállítható pánttal rendelkezik, így személyre szabott illeszkedést biztosít. A fejlett nyakpárna maximális kényelmet biztosít, míg az elülső izzadságpánt extra párnázást nyújt a homlokon. Élvezze a kivételes kényelmet a munkanapja során.



Lásd a tökéletes hegesztési varratot, mint még soha!

Javítsd a színek tisztaságát és a természetes látást a kék fény átvitelét csökkentő True Colour technológiáinkkal. Ez lehetővé teszi, hogy teljesen természetes módon lásd az ívet, a munkadarabot és a környezetet. Az ADF tisztasága a legmagasabb lehetséges V1+TIG besorolással rendelkezik az ISO 16321-2 szerint.

– Kihelyezett elnökségi ülés

2025. szeptember 24-én a szövetség elnöksége – **Ubrinyi Balázs** alelnök meghívására – kihelyezett ülést tartott a KÉSZ Ipari Gyártó Kft. kecskeméti telephelyén. A program része volt a szövetség aktuális feladatainak áttekintése és fogadó tagvállalat helyzetének megismerése. A kihelyezett elnökségi ülést **Aszmann Ferenc** elnök vezette. Az elnökség tagjai közül 5 fő vett részt.

NAPIREND:

- A szövetség anyagi helyzetének ismertetése.
- A december 3-i tervezett évzáró rendezvény előkészítése.

A helyszínen korábbi elnökünk, **Honti Ferenc** fogadott minket. Bemutatta a Kész Ipari Gyártó Kft. elmúlt időszakban elért szakmai sikereit és a megvalósult projektjeit. A KÉSZ Ipari Gyártó Kft. Magyarország vezető acélszerkezet-gyártói közé tartozik. A 25 000 m²-t meghaladó gyártóbázis, mely az elmúlt időszak fejlesztéseinek köszönhetően korszerű gépparkkal rendelkezik, évente több mint 20 000 t gyártmány kibocsátására képes.

A kecskeméti gyár termékei mindenhol megtalálhatóak az ország ipari, kereskedelmi és közösségi fejlesztésein.

Kiemelkedő projektek: Kecskeméti Mercedes gyár, LEGO-gyár, Liszt Ferenc Repülőtér, Nemzeti Atlétikai Stadion, MOL székház, Jedlik Ányos Gimnázium.

A társaság sikeresen teljesítette külföldi megbízási munkáit is.

Kiemelkedő projektek: Riga szabadtéri színpad, Ashgabat Nemzetközi Repülőtér.

Honti Ferenc igazgató úr ezután a társaság átalakulásáról és a jövő feladatairól beszélt.

Gratulálunk a KÉSZ Ipari Gyártó Kft. szakmai sikereinek, és a jövőben további jó eredményeket kívánunk a managementnek.

– 2025. szeptember 25-én tartotta a Magyar Hegesztési és Anyagvizsgálati Egyesülés Visegrádon a Hegesztési Felelősök évi értekezletét.

Az MHTÉ új igazgatója, **dr. Gyura László** nyitotta meg a konferenciát, majd szakmai előadásokat hallgathattott meg a nagyszámú érdeklődő. Gratulálunk társszervezetünknek a sikeres rendezéshez.

– 2025. október 1-jén került sor a CÉH zRT.-nél a 2025. évi Év Acélszerkezete Nívódíj átadására.

Tóth Attila elnök úr és csapata vette át a Paks–Kalocsa közötti Tomori Pál Duna-híd építésében végzett kiemelkedő munkáért megítélt díjat. Gratulálunk.

A díjátadás után kötetlen beszélgetés alakult ki.

A CÉH zRT. több mint harminc éve szolgálja a ország fejlődését szellemi műhelyként. Széles spektrumban különféle műszaki szolgáltatásokkal segítik a projektek létrejöttét és megvalósulását. Hídtervező részlege elsőként alakult meg. Az elmúlt időszak kiemelkedő projektje volt a Megyeri híd tervezése. **Dr. Kisbán Sándor** és **Pusztai Pál** a Tomori Pál híd tervezésének nehézségeiről és sikereiről adott rövid ismertetőt. A főállalkozóval, a Duna Aszfalt Zrt.-vel kiváló együttműködést sikerült kialakítani, melynek eredménye, a megvalósult híd magáért beszél. A CÉH zRT. vezetésének és munkatársainak további szakmai sikereket kívánunk.

– Az elnökség 2025. december 3-án 10 órakor tervezi a szövetség évi végi zárórendezvényét a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén.

Az év végi rendezvényre külső előadót kívánunk meghívni.

A rendezvényvel kapcsolatos részleteket a meghívóban fogjuk ismertetni.

Szövetségi hírek 1

Beszámoló az IABSE 2025. évi kongresszusáról 2

Cső főtartós hídstruktúrák gyártásának sajátosságai 10

A Mohácsi Duna-híd és kapcsolódó úthálózat projekt bemutatása és műtárgyépítési munkák 16

A szegedi úti felüljáró tervezése . 26

KASZ+ 2025

– XXII. Kecskeméti Acélszerkezeti és Képzőművészeti Szimpozium, nemzetközi alkotótábor; KÉSZ Ipari és Innovációs Park. Alkotói génusz – kiptantant a szikra! 38

B-WIM-rendszer fejlesztése vasúti hídra 42

Léggöri korrózióálló acél sókorróziós vizsgálata hídstruktúráknál 54

Gyalogos és kerékpáros acélszerkezetű ívhíd tervezése ... 62

CLOOS

a SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2025 kiállításon 68

Mezőgazdasági létesítmények és üzemek acél feljárói 72

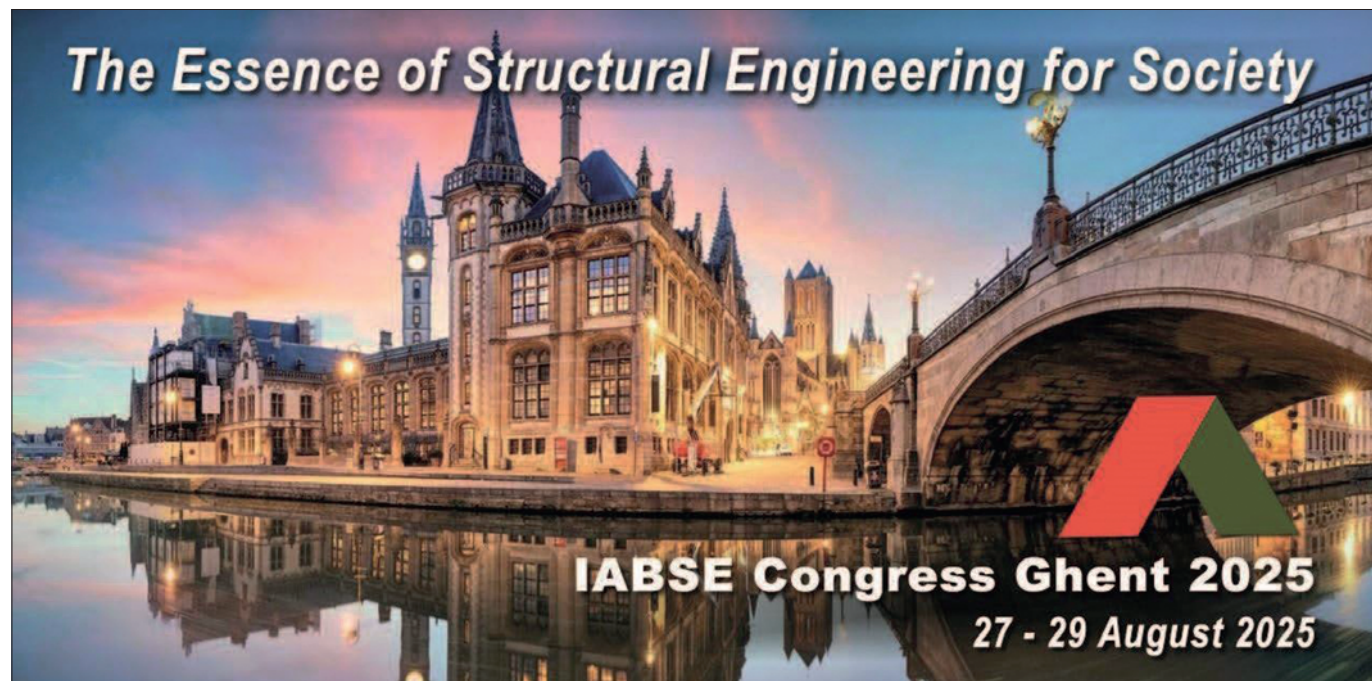
Kaukázus – Magasházak, különleges szerkezetek I. rész: Azerbajdzsán 75

Bevonatok száradásának, kötésének befolyásoló tényezői .. 82

Kővári Ákos okl. szerkezet-építőmérnök hidépítési irányító tervező
Németh Gábor okl. szerkezet-építőmérnök, szerkezettervező
UNITEF'83 Zrt.

Gondár Péter okl. szerkezet-építőmérnök, szakági főmérnök,
MSc Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.

BESZÁMOLÓ AZ IABSE 2025. ÉVI KONGRESSZUSÁRÓL



1. kép: A konferencia logója és mottója

BEVEZETÉS

Az IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering) 2025.08.27–29. között tartotta éves kongresszusát Gentben, Belgiumban, 510 résztvevővel. A kongresszuson Magyarországot e cikk szerzői képviselték, emellett előadóként részt vett dr. Boros Vazul az Austrian Institute of Technology képviselőjében.

A kongresszust Gentben a Citadelpark közepén elhelyezkedő ICC konferenciaközpontban tartották. A szervező

az IABSE belga és holland nemzeti csoportja volt. Kiváló munkát végeztek, minőségi előadásokat hallhattunk mind a plenáris, mind a párhuzamos szekciókban. Párhuzamosan hét teremben folytak az előadások tematikus bontásban.

A konferencia mottója: „Essence of Structural Engineering for Society”. A szervezők a nyitó előadásban kifejtették, hogy a mottót úgy választották meg, hogy a szerkezetépítő mérnökök széles köre találjon az érdeklődésének megfelelő, színvonalas témákat, előadásokat. Érdeklődési körünknek megfelelően elsősorban a hidépítésről, magasépítésről, környezeti fenntarthatóságról, a forgalmi tehermodellekről és a különleges szerkezetekről szóló szekciókat látogattuk.

A MAGYAR RÉSZTVEVŐK ELŐADÁSAI

A magyar „delegáció” hét előadással képviseltette magát, melyek témáját a konferenciakiadványban publikált szakcikkek adták:

- Dr. Boros Vazul, Kővári Ákos, Hajós Bence: Potentials of utilizing vehicle weight data for the calibration of national traffic load models for bridges (*A járműsúly-adatok felhasználásának lehetőségei a hidak nemzeti forgalmi terhelési modelljeinek kalibrálásához*);
- Gondár Péter, Szigeti Zoltán: Zemplén 723 – the new world record pedestrian catenary bridge in Sátoraljaújhely, Hungary (*Zemplén 723 – Az új világrekorder gyalogosbíd Sátoraljaújhelyen, Magyarországon*);
- Gondár Péter, Paul Biju-Duval: Structural behaviour and finite element analysis of Zemplén 723, a long span cate-



2. kép: A konferencia magyar résztvevői



3. kép: A Zemplén 723 hídról szóló előadás

nary bridge (*A Zemplén 723 nagy fesztávolságú kötélbíd szerkezeti viselkedése és végelesemes vizsgálata*);

- Németh Gábor: Sustainable and economical spacing of steel girders in I girder bridges determined by parametric studies (*Acélgerendák fenntartható és gazdaságos kiosztása I gerendás hidakban paraméteres vizsgálatokkal meghatározva*);
- Németh Gábor, Dr. Kovács Nauzika: Investigation of precast concrete and composite bridge girders for sustainability (Előregyártott beton és öszvér hídgerendák fenntarthatóságának vizsgálata);
- Megyeri Anna Boglárka, Kővári Ákos: Effects of deicing salt on weathering steel bridge details – Supported by FEM calculations (*A jégmentesítő só hatása az időjárásálló acélbíd részleteire – VEM számításokkal alátámasztva*);
- Kovács Eszter, Kővári Ákos: The use of high-strength, high-performance concrete deck slabs without paving and waterproofing for low-traffic road bridges (*Nagy szilárdságú, nagy teljesítőképességű beton pályalemezek alkalmazása alacsony közúti forgalmú, burkolat és vízszigetelés nélküli hidakon*).

A KONFERENCIA KIEMELT ELŐADÁSAI

A plenáris előadások a kongresszus mottójának megfelelően aktuális témákat jártak körül. A bevezető előadásban a közelmúltban megépült belga és holland épületekről és hidakról tartott előadást *Jean-Yves del Forno*. A második és a harmadik plenáris előadás a vasbeton és acélszerkezetek tervezése során elkövetett hibákról, rossz gyakorlatokról és ezek következményeiről szólt. *Predrag L. Popovic* előadásából kiemelendő a magasépítési szerkezeteknél végrehajtott próbaterhelésekről szóló érdekes beszámolója. *Dick Hordijk* nagyelőadása történelmi áttekintést adott a számítási módszerek fejlődéséről a logarléctól az AI-ig. Feltette a kérdést, hogy vajon a szerkezeteink jobbakké, vagy rosszabbakké lettek a digitális forradalom következtében. A közönség nagy többsége úgy gondolta, hogy nem igazán változott. Ezt követően ő is olyan típushibákat és ebből

következő tönkremeneteleket mutatott be (elsősorban vasbeton szerkezeteknél), amikkel nap mint nap találkozunk. Az utolsó nagyelőadást *Ho-Kyung Kim* tartotta a dél-koreai hidak elmúlt 30 évben tapasztalt fejlődéséről.

Az IABSE események érdekes színfoltja a 'Pecha Kucha' szekció. Ez egy olyan előadás, ahol fiatal mérnökök saját témájukat 2–2 percben érdekes, elgondolkasztó, időnként szórakoztató módon mutatják be sorban egymás után. Gentben 20 fiatal előadót hallgattunk meg. Ez a szekció a sokszínűség bemutatását, illetve a figyelemfelhívást szolgálja kötetlenebb módon.

Külön kiemelni, hogy az IABSE friss diplomásoknak és kezdő mérnököknek számos témában IABSE Academy programot indít. A 8 hónapos kurzus online, videós formában jár körül számos fontos szakmai területet nemzetközi előadói gárda segítségével. Az előadások után online tesztet kell kitölteni. A kurzus végén egy 5–10 oldalas szakdolgozatot kell készíteni kijelölt konzulens segítségével. A sikeres elvégzést követően a szervezet IABSE Diplomát ad a résztvevőknek.

A teljes kongresszus kiadványa IABSE-tagoknak elérhető az interneten. A következőkben a programból hat kiválasztott, érdekes előadást mutatunk be részletesebben.

Meglévő acélszerkezetek tényleges folyáshatárának és szakítószilárdságának meghatározása kisméretű mintákon végzett vizsgálattal [1]

A konferencián kiemelt szerepet kapott a meglévő hídserkezetek felülvizsgálatának, illetve hátralévő élettartamuk meghatározásának tematikája. Általánosságban megállapítható, hogy a nyugat-európai gyakorlat szerint egy meglévő hídserkezet esetében akár a felújítás vagy megerősítés, akár az elbontás mellett döntenek, ezt egy rendkívül részletes, minden lehetséges aspektusra kiterjedő vizsgálati programnak kell megelőznie, és szinte minden esetben a szerkezet megtartása, illetve élettartamának kiterjesztése az elsődleges cél. A meglévő acélhidak felülvizsgálatához elengedhetetlen az anyagminőség ismerete. Ez sok eset-



4. kép: Pecha Kucha előadása

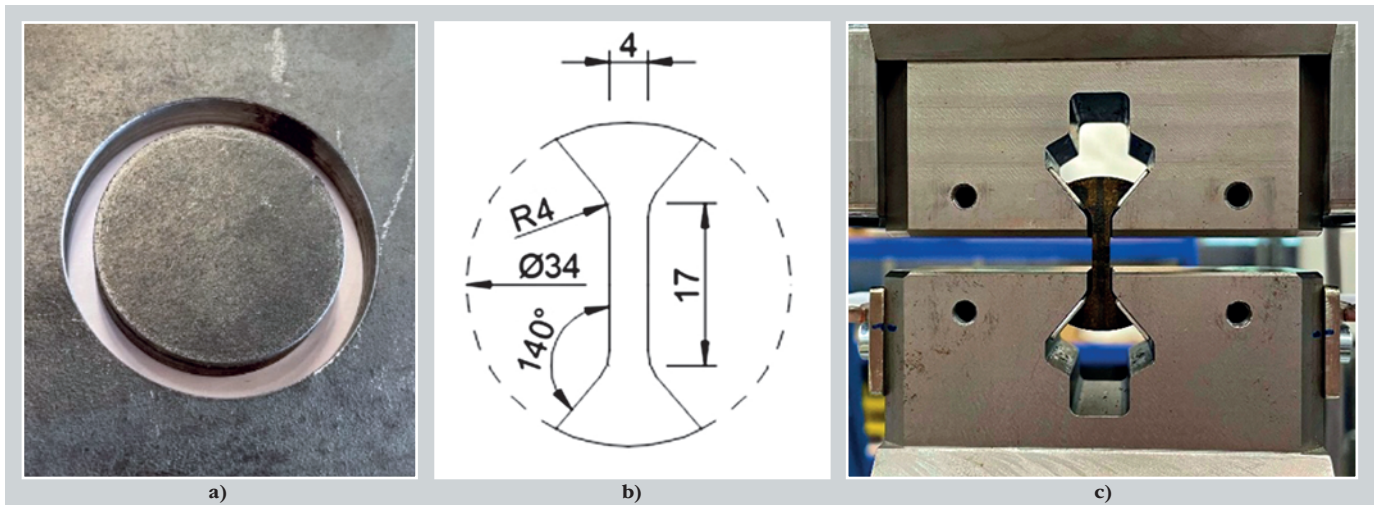
ben az építési dokumentumokból megbízhatóan kiderül, azonban, főleg korosabb szerkezetek esetében szükség lehet az anyagminőség utólagos meghatározására, illetve a főbb szilárdsági jellemzők megismerésére, aktualizálására. Bár erre a célra léteznek roncsolásmentes módszerek is, a tudomány mai állása szerint továbbra is a roncsolásos eljárás a legmegbízhatóbb.

A jelenlegi szabványos módszer az EN-ISO 6892-1 szerinti szakítóvizsgálat, amelynek elvégzéséhez viszonylag nagy méretű lemezek kivágására van szükség a szerkezetből. Ennek alternatívájaként a holland TNO kutatóintézet kifejlesztett egy olyan szakítóvizsgálati eljárást 8–40 mm vastag lemezekre, amely egy 34 mm átmérőjű kör alakú lemezről kimunkálható, csokornyakkendő alakú mintadarabot használ fel. Ez a lemez pedig egy 42 mm átmérőjű koronafúróval kivethető a vizsgált szerkezet kritikus helyeiről [5. a)–b) kép]. Az így keletkező lyuk egy M39-es NF-csavarral „helyreállítható”. Az elvégzett szilárdsági vizsgálatok [5. c) kép] eredményei nagyon jó egyezést mutatnak az EN-ISO 6892-1 szerinti eljárással. Jelenleg a kis mintadarabokon

elvégzett szívóssági vizsgálatok validációja zajlik, és ezzel párhuzamosan elindították a vizsgálati eljárás szabványosítási folyamatát.

Bolintxu viadukt: karcsú ívhidak egy környezetvédelmi szempontból kiemelt jelentőségű völgy felett [2]

Természetesen számos érdekes, újonnan megépült, vagy még tervezési fázisban lévő szerkezetet mutattak be a konferencián. Köztük volt a spanyolországi Bilbaót elkerülő autópályán található Bolintxu viadukt is, amely két darab különálló felsőpályás ívhídből áll. A szerkezetválasztást alapvetően meghatározták a környezetvédelmi szempontok és a helyszíni kötöttségek, ugyanis a kivitelezést minimális környezeti terheléssel és területigénybevétellel kellett végrehajtani, ráadásul a híd előtt és után is alagút található, ezáltal eleve limitált technológiai hely állt rendelkezésre. A tartóssági követelményeket szem előtt tartva, és az alacsonyabb fenntartási költségek reményében, a felszerkeze-



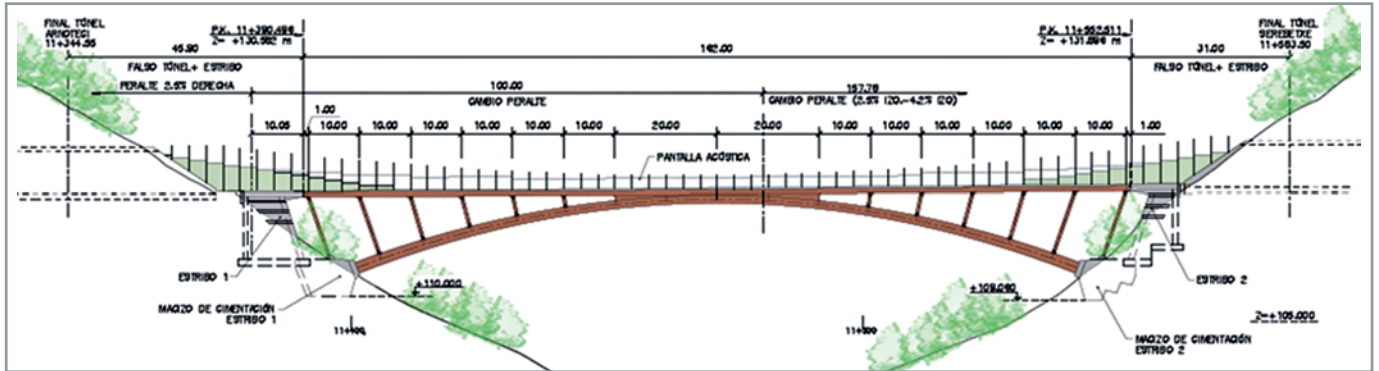
5. kép: a) Koronafúróval kivett lemezdarab b) kimunkálható próbatest geometriája c) szakítóberendezés [1]

tek időjárásálló acélból készültek, öszvér pályaszerkezettel, illetve kibetonozott ívekkel. A felszerkezetek teljes hossza 162 m, illetve 142 m, míg az ívek támaszköze 143 m és 128 m (6-7. kép).

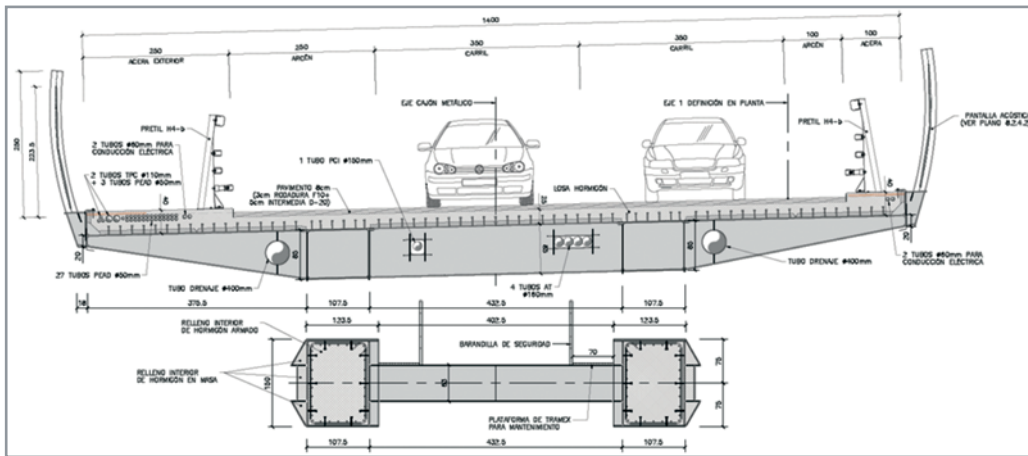
Az egyenként 1150 tonnás ívfeleket álló pozícióban szerelték össze, majd betonozták ki ideiglenes tornyok alkalmazásával, majd hidraulikák és kötelek segítségével döntötték őket össze (8. kép). Természetesen ez a látványos művelet rendkívüli precizitást, illetve speciális gépészetet

és monitoringot igényelt ahhoz, hogy az összeillesztendő ívfelek megfelelő tűrésen belül érkezzenek meg egymással szembe. Az ívek kb. 75°-os bedöntéséhez a talppontokat csapos-csuklós megoldással alakították ki (9. kép).

A projekt a tervezéstől a kivitelezésig 3D BIM-környezetben zajlott, számos szoftver alkalmazásával. Külön érdekesség, hogy a bonyolultabb acélszerkezeti csomópontok részlettervezéséhez a magyar fejlesztésű AXIS VM végeeselemes programot használták (10. kép).



6. kép: Bolnixtu viadukt oldalnézeti tervrészlete [2]



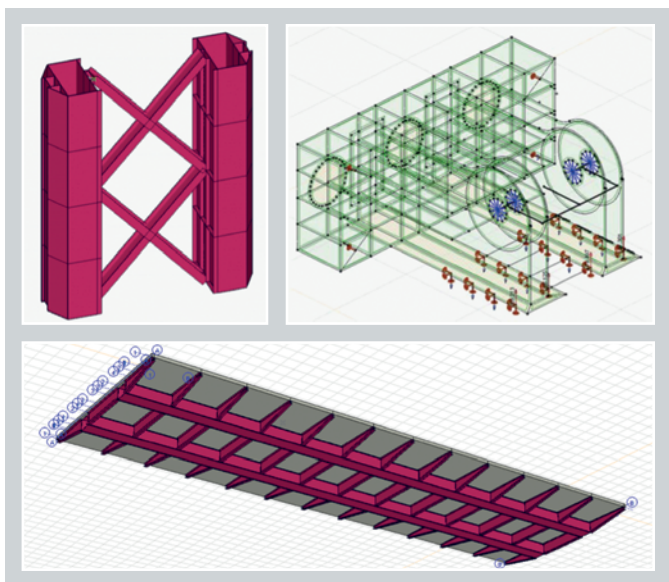
7. kép: A hídpálya és az ívtartó keresztmetszeti tervrészlete [2]



8. kép: A felszerkezet szerelése [2]



9. kép: Az ívek letámasztásánál kialakított csuklós szerkezet [2]



10. kép: Végeselemes részletmodellek [2]

A Lucie-Bréard gyaloghíd újrahasználása [3]

A 2024-es párizsi olimpia egyik fő célkitűzése a fenntarthatóság volt, ennek jegyében valósult meg a Lucie-Bréard gyalog- és kerékpárhíd a Saint-Denis-csatornán. Ahelyett, hogy a két korábbi, funkcióját veszített hidat (11. kép) elbontották volna egy teljesen új szerkezet építésével, az egyik, közúti híd acél pályaszerkezetét alakították át és építették be az új akadálymentes átkelőbe.

Az újrahasználás gondolata egyszerre szolgált környezeti, gazdasági és társadalmi szempontokat: csökkentette az építkezés szén-dioxid-kibocsátását, mérsékelte az acél beszerzésének költség- és időigényét, valamint a közösség birtokában lévő szerkezet megőrzésével erősítette a helyi identitást. Könnyítette a döntést, hogy a híd még viszonylag fiatal volt, és a komplett tervdokumentáció rendelkezésre állt (12. kép).

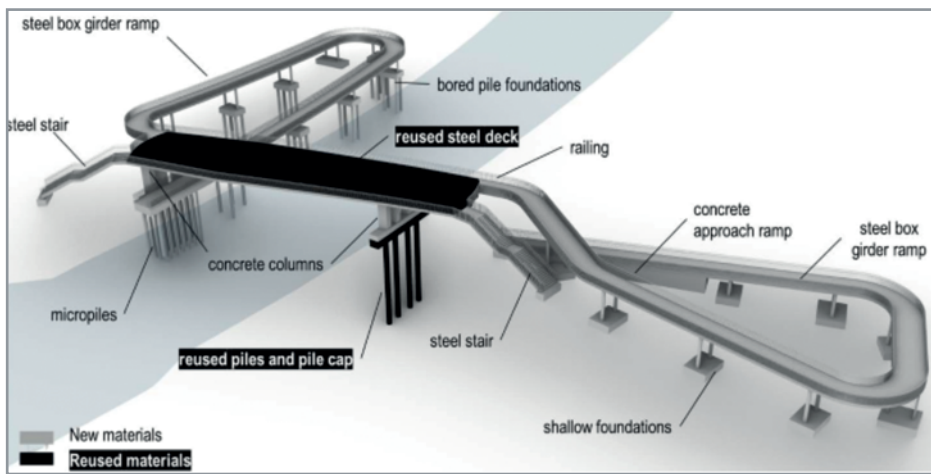
A legnagyobb kihívásokat az anyagminőség ellenőrzése, az alapozás vizsgálata és a statikai rendszer átalakítása jelentette. Az acélszerkezet állapotát roncsolásmentes vizsgálatokkal ellenőrizték, majd új járőfelülettel és korrózióvédelemmel látták el. Az alapok egy része megtartható volt, más részeket meg kellett erősíteni. A korábbi, mozgó (forgó) szerkezet geometriáját újraszámították, a geometriai pontatlanságokat pedig acél alátétlemezekkel küszöbölték ki.

A kivitelezés során váratlan nehézségek is adódtak: a feltételezett ömlesztett ellensúly helyett betont találtak, amit utólag kellett elbontani, illetve a fa járőfelület alatt a vártnál erősebb korrózió jelentkezett, amit speciális bevonattal oldottak meg.

Az eredmény egy korszerű, széles gyaloghíd (13. kép), amely nemcsak a közlekedést könnyíti meg, hanem közösségi térként is funkcionál. A projekt a régi híd újrahasználásával kb. 140 tonna CO₂-kibocsátást takarított meg, összességében 25–50%-os csökkentést ért el a teljes élettartamra vetítve. A Lucie-Bréard híd példa arra, hogyan válhat a meglévő szerkezetek újrahasználása a fenntartható mérnöki gyakorlat kulcselemévé.



11. kép: A Saint Denis-csatornát keresztező hidak az átépítés előtt [3]



12. kép:
Az újra használatba vett híd
átalakítási koncepciója [3]



13. kép: Az elkészült, átalakított Lucie-Bréard gyaloghíd [<https://structurae.net/en/structures/lucie-breard-footbridge>]

50 éves feszített betongerendák újrahasználásának lehetőségei [4]

Hollandiában a forgalomnövekedés miatt sok híd és felüljáró szélesítésére vagy cseréjére van szükség. A bontás azonban jelentős anyag- és energiapazarlást jelent, ezért a Rijkswaterstaat (ami feladatkörét tekintve leginkább a magyar Építési és Közlekedési Minisztériumnak feleltethető meg) programot indított a meglévő feszített betongerendák újrahasználásának vizsgálatára. A kutatás középpontjában az 1970-es években gyártott Spanbeton HIP 800 gerendák álltak.

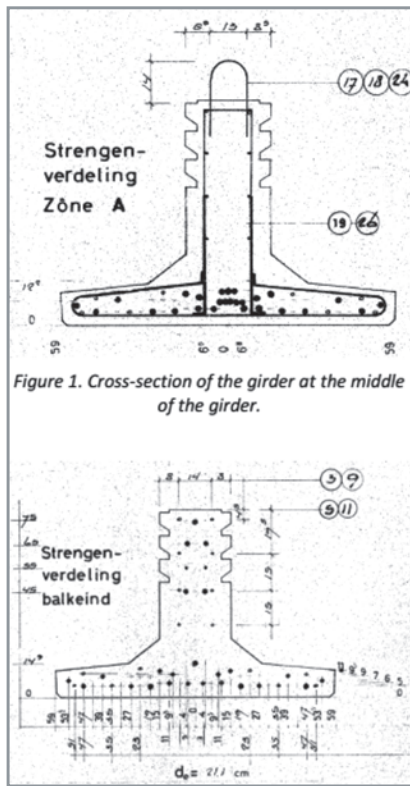
Az újrafelhasználás alapfeltétele a teherbírás és a tartósság igazolása. A közel 50 éves gerendák eredetileg 18,53 méterresek voltak, de a gerendavégek sérülése miatt csak 15,80 méteres hosszban alkalmazhatók újra – ezért a gerendákat szimmetrikusan kb. 1,35–1,35 m-re rövidítették, így a kábellehorgonyzások helyzete is módosult, amit a számításoknál figyelembe vettek. Az anyagvizsgálatok szerint

a beton szilárdsága még mindig megfelel a C50/60 osztálynak, így jó alapot ad a további használatához.

A nyomatéki és nyírási teherbírás vizsgálatát először az Eurocode előírásai szerint végezték el, majd a holland megrendelő saját irányelvei alapján is megerősítették az eredményeket. A használhatósági határállapotban a feszültségek nem haladták meg a beton húzószilárdságát, így repedések nem várhatók. A teherbírás határállapot vizsgálata igazolta, hogy a gerendák elegendő nyomatéki teherbírással rendelkeznek. A kritikus kérdés a nyírási teherbírás volt, de végül részletszámításokkal – kisebb módosításokat eszközözve – igazolható volt a gerendák megfelelősége.

A vizsgálatok igazolták, hogy a HIP 800 gerendák (14. kép) új hidakban újrahasználatosak, és alkalmasak egy további, akár 100 éves élettartamra. Bár a készülő második generációs Eurocode előzetes verziója szigorúbb feltételeket tartalmaz, és még nem minden paramétere tisztázott, a számítások alapján várhatóan az új szabvány szerint is igazolható lesz a gerendák megbízhatósága. A projekt jól

példázza, hogy a meglévő szerkezetek újrafelhasználása nemcsak környezetvédelmi és gazdasági előnyökkel jár, hanem hosszú távon is fenntartható alternatívát nyújt az infrastruktúra-fejlesztésben.



14. kép:
Az újra használatba vett HIP800 vasbeton gerenda eredeti terve [4]

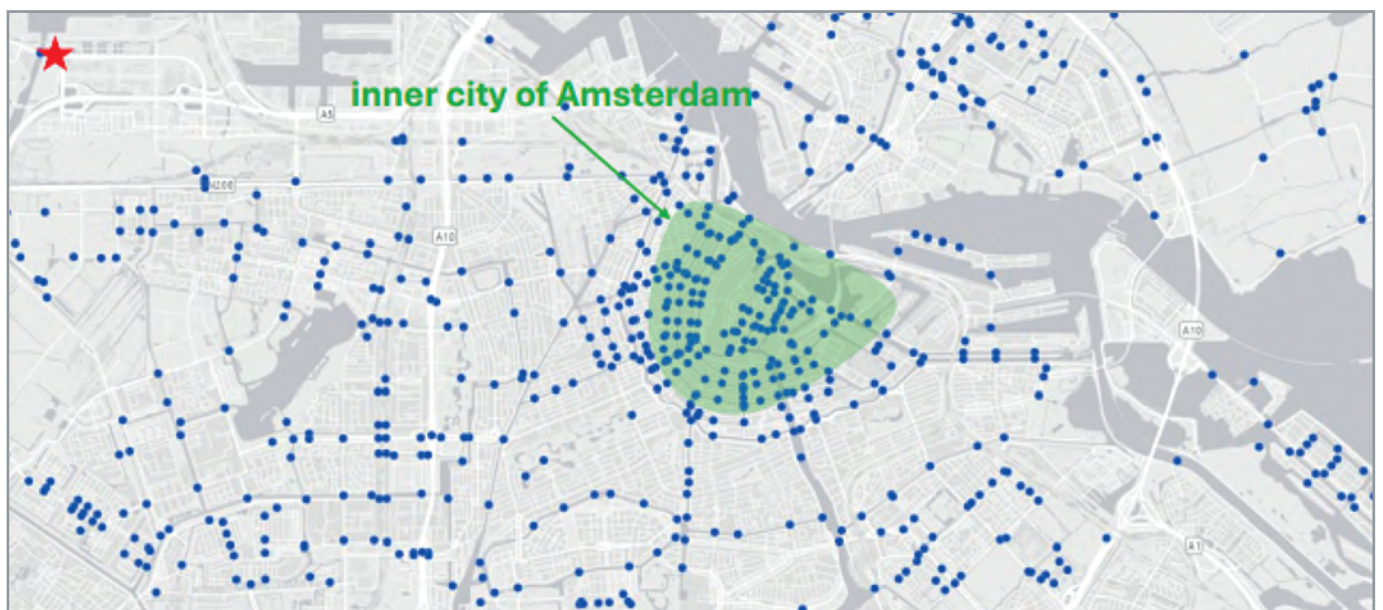
'Weight In Motion' (WIM) alkalmazása és az adatfeldolgozás a valós forgalmi terhelés meghatározására hidaknál [5], [6], [7]

Svájcban, Németországban és Olaszországban is elindult a hídszerkezetekre ható forgalmi tehermodellek adataalapú felülvizsgálata. Az adatgyűjtés egzakt módja a burkolatba épített WIM-szenzorok méréseiből vehető. Azonban ez az adatgyűjtés földrajzilag lokalizált és bár pontos, de relatíve

drága eljárás. A hídpályákat figyelő kamerák segítségével összekapcsolható a látott gépjármű kinézete és a mért terhelési adat, így olyan helyeken is következtetni lehet a forgalmi terhelés nagyságára, ahol mérés nem, csak képfelvétel áll rendelkezésre. Ennek megfelelően kalibrálható a hidakat terhelő forgalmi hatás. Ilyen rendszerrel dolgoznak és hasonló vizsgálatokat végeztek Pisa környékén helyi utakon, koros hídszerkezeteken. Szenzoros méréssel hosszú időtávon megállapították a forgalomból származó tengelyterheket a hidakon, majd a mérési adatok feldolgozásával (összegzés és kiterjesztés) megalkották a lehetséges tehermodellt. Nyugati országokban a közúti infrastruktúra már nagyrészt kiépült, a legfontosabb feladat a meglévő hálózati elemek (hidak, támfalak) üzemben tartási feltételeinek meghatározása. Ennek általános módszere, hogy mérési adatokkal minél pontosabban kalibrálják a méretezési eljárásokhoz alkalmazott tehermodelleket. Ez a megközelítés hazánkban még teljesen újszerűnek hat, azonban a közeljövőben aktuálissá válik. Ennek oka, hogy a közúthálózat nagyrészt már itthon is kiépült, és az új építések helyett a meglévő hidak, támfalak minél hosszabb ideig tartó üzemben tartása lesz a fő feladat.

Amszterdam óvárosra vonatkozó forgalmi tehermodell megalkotása [8], [9]

Amszterdam területén 850 híd van (15. kép), amik között nem ritka a 100–200 éves szerkezet sem. A városvezetés meg akart bizonyosodni arról, hogy a kezelésében és tulajdonában lévő hídállományon a közlekedés fenntartható, illetve ha ez nem lehetséges, akkor milyen intézkedéseket kell bevezetni a belváros biztonságos működtetése szempontjából. Mindkét hivatkozott cikk ezt a kérdéskört járja körbe. Az Eurocode nemzeti melléklet hatáskörébe utalja a forgalmi terhek kalibrálását az $\alpha_{q1,2,i}$ és $\alpha_{Q1,2,i}$ tényezők meghatározásával. Amszterdamban azt az utat választották, hogy WIM (Weight In Motion) -szenzorokkal megmérték mértékadó pontokban az úthálózat terhelését, majd a valószínűség-elméleti eljárással ezt a mérést kiterjesztették a teljes belvárosra. Ez egy igen komplex vizsgálat volt, ami figyelembe vette a hídállomány életkorát, nyílástartományát és a jellemző meghibásodásokat is. A kutatás ered-



15. kép: Amszterdam térképe az úthálózaton lévő hidakkal [8]

ményeképpen a koncentrált forgalmi teher-szorzó értékét lecsökkentették $\alpha_q = 0.65$ értékre, míg a megoszló teher-szorzó értékét az országosan alkalmazott $\alpha_q = 1.0$ értéken választották meg.

Magyarországon is bevezetés előtt áll az Eurocode alapú terhermodellek rendszere, melynek kalibrálása szakmai vita tárgya jelenleg, ezért ilyen szemmel nézve is érdekes volt hallani, hogy más országokban vagy világvárosokban hogyan kezelik ezt a kérdéskört.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] C. Braendstrup, S. van Es, A. Glas, J. Maljaars, F. van Dooren. Determination of Actual Yield and Tensile Strength of Existing Steel Structures by Testing on Small Specimens. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 632–641.
- [2] G. Capellán, A. Godoy, E. Merino, J. González, P. Rivas. Bolintxu viaducts: slender arch bridges crossing over an environmentally sensitive valley. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 1692–1699.
- [3] A. Couret, D. Bergsagel. The Lucie-Bréard Footbridge in Saint-Denis, France: Opportunities and Challenges of Bridge Reuse. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 651–659.
- [4] R. Veerman, B. Korff, S. Smith. Reuse of 50 years old existing prestressed girders. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 668–675.
- [5] S. Martinolli, A. Taras, X. Malja, P. Miglietta, A. Muttoni, A. Nussbaumer, Q. Yu. Quantification of hidden safety reserves between different highway traffic load models based on probabilistic calibration analysis. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 58–66.
- [6] S. Celati, A. Natali, W. Salvatore. Traffic models for Italian provincial roads. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 366–374.
- [7] M. Nowak, O. Fischer. Refined Vehicle Classification for BWIM Traffic Data and the Effects on Traffic Load Modelling. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 2219–2227.
- [8] A. Vervuurt, B. Cerar, L. la Gasse, R. Steenbergen, A. de Boer. Traffic load model for the inner city of Amsterdam. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 2159–2166.
- [9] M. Soudijn, S. van Rossum, F. van Waarde, A. de Boer. A reduced traffic load model for the inner city of Amsterdam. *Proceedings of IABSE Congress Ghent 2025*. August 27–29, 2025: 2247–2255.

Szövetségünk életéből



A CÉH zRT. és a Duna Aszfalt Zrt. képviselői a 2025. évi Év Acélszerkezete Nívódíjjal (lásd Szövetségi hírek)

CSŐ FŐTARTÓS HÍDSZERKEZETEK GYÁRTÁSÁNAK SAJÁTÓSÁGAI

**A hídszerkezetek egy jellegzetes csoportja a cső fő-
tartós acélhidak. Kedvelt tervezői forma, igazán lát-
ványos és szép szerkezeteket lehet belőle kialakítani.
A csőgeometria mint szerkezeti alkotóelem a fel-
használása során azonban sok megoldandó felada-
tot jelent, cikkünkben ezekből mutatunk be példákat.**

A hidakhoz felhasznált csövek tervezői előírás szerint többnyire varratmentesek, esetenként hosszvarratosak. Témánk szerinti felhasználásuk során elsősorban a félkész termék gyártásából adódó keresztmetszeti geometria a legfontosabb. A hidak főtartóit egyenszilárdságúra tervezik, ennek következtében a keresztmetszet úgy változik, hogy a névleges külső átmérő azonos, de a falvastagság, illetve akár az anyagminőség is szilárdsági követelményeknek megfelelően eltérő.

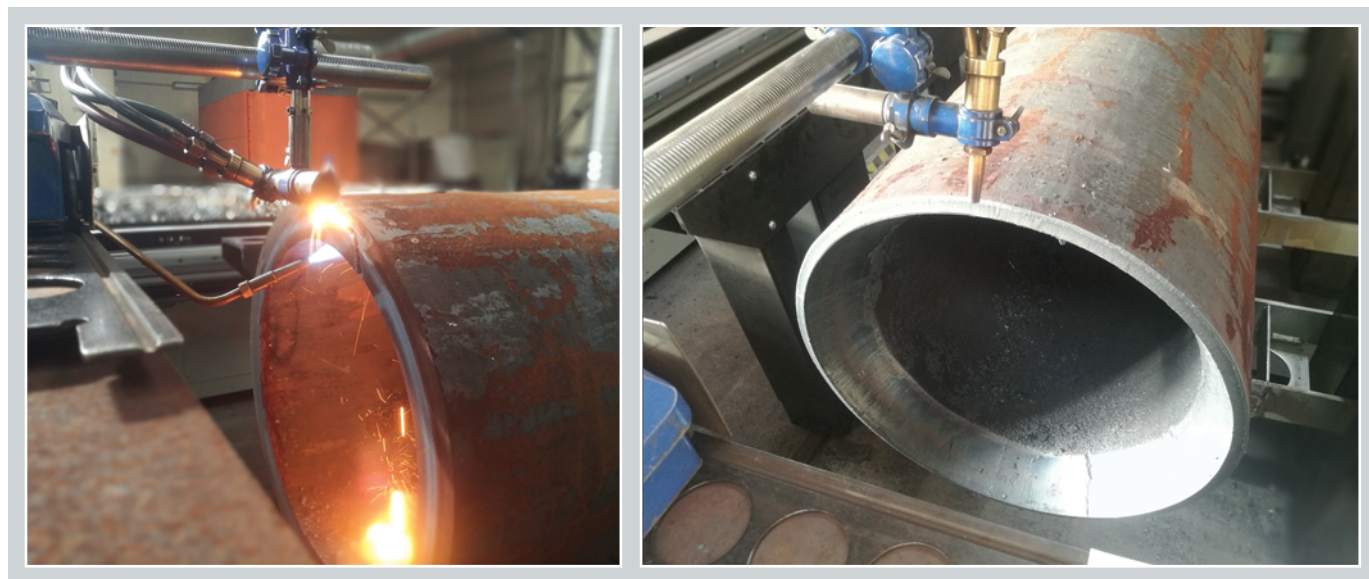
Az eltérő falvastagságú vagy anyagminőségű csövek értelem-szerűen más-más gyártási adagból származnak, illetve a geometriai követelmények, tűrések sem azonosak. Mindezek azt eredményezik, hogy a csövek hegesztéssel való toldásánál jelentős dimenzionális különbségek adódnak mind az átmérők, mind a körköröség tekintetében (1. ábra).



1. ábra: NA610 csövek közel falvastagságot elérő dimenzióeltérése

A csőfőtartók szokásos átmérője 400–1000 mm körüli, míg a falvastagság 10–100 mm tartományban van. Ennél nagyobb átmérőjű cső alakú tartók már hengerített lemezből készülnek. Ha az eltérés mértéke eléri egy olyan szintet, hogy az másképpen nem kezelhető, akkor a csővégeket egymáshoz kell alakítani. Ez történhet a nagyobb falvastagságú cső falvékonyításával, de csak a tervezői követelmények szigorú figyelembevételével, hiszen a falvékonyítás a teherviselő képességet csökkentheti. A gyakorlatban jellemzően a kisebb átmérőjű csövet fel kell tágítani. Előfordult olyan eset is, amikor a csatlakozó csövek esetében az eltérés mértéke elérte a cső falvastagságának az értékét is. A feltágítás elméletileg történhet hidegen vagy melegen, de a falvastagságok miatt lényegében a melegen alakítás az alkalmazható eljárás. Példaként egy NA610 16 mm falvastagságú cső feltágítása látható a 3. ábrán. A csővéget koronás módon fel kellett vágni, majd melegen hidraulikával az éleket szét kellett nyomni. A hevítés mértéke az egyengetésekhez alkalmazott hőmérséklet-tartománnyal azonos. A felvágások visszahegesztésével együtt a csőszájhoz a tervezői előírásoknak megfelelően diafragmát is behegesztettünk.

A cső főtartók szinte kivétel nélkül hajlítottak. A hajlítás során torzul a keresztmetszet, amit jelentősen befolyásol a hajlítási sugár és a falvastagság. A keresztmetszet ellipszoid alakú, amit a kis és nagy tengellyel jellemezhetünk. A külső íven jobban behúzódik, mint ahogyan a belső íven zömöl, ezért nem lesz tisztán ellipszis. A csőátmérő növekedésével, illetve a falvastagság csökkenésével ez az eltérés egyre jelentősebb, és egy ponton ezt az eltérést már figyelembe kell venni a hegesztési élek megfelelő illesztése érdekében.



2. ábra: Vastag falú cső leélezése forgatóban

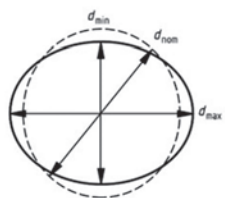


3. ábra: Dimenzióeltérés korrigálása koronás feltágítással (Eger-patak)

1. táblázat:
Csőtoldás, hajlított csövek
ovalítása és eltérései
(Eger-patak)

EN 10219-2	Egyenes csövek	Névleges érték [mm]	Tűrés +/-		Tűrés alsó-felső határa [mm]	Mért értékek [mm]
	610x60	610	1%	6mm	604-616	606 - 614
	610x16	610	1%	6mm	604-616	608 - 612
	610x10	610	1%	6mm	604-616	606 - 612

A híd síkjában mérve	Hajlítás után	Névleges érték [mm]	Megengedhető méretcsökkenés mértéke		Tűrés alsó-felső határa [mm]	Mért értékek [mm]
vízszintes d _{max} függőleges d _{min}	610x16 - R63000	610	2%	12mm	598 - 616	608 - 611
		610	5%	30,5 mm	580 - 616	604 - 607
vízszintes d _{max} függőleges d _{min}	610x10 - R63000	610	2%	12mm	598 - 616	609 - 612
		610	5%	30,5 mm	580 - 616	598 - 602
vízszintes d _{max} függőleges d _{min}	610x16 - R15000	610	2%	12mm	598 - 616	609 - 612
		610	5%	30,5 mm	580 - 616	586 - 590
vízszintes d _{max} függőleges d _{min}	610x10 - R15000	610	2%	12mm	598 - 616	609 - 612
		610	5%	30,5 mm	580 - 616	580 - 582



Az Eger-patak hídjánál a változó rádiuszú főtartónak a falvastagsága is változott, ezzel a keresztmetszetben a geometriai eltérések egymásra szuperponálódtak a csőcsatlakozások esetében (1. táblázat).

A csőmegmunkálás kezdetén referencia- illetve bázisjelöléseket kell felvenni. Ebből a célból leggyakrabban a paláston alkotott húzunk, és ez a jelölés a teljes gyártási folyamat alatt megmarad.

A hajlítás természetes módon technológiai ráhagyással jár, ez a NA610 csőveknél és az R15000–R63000 rádiuszoknál kb. 1600 mm egyenes szakasz volt. Az íves és az egyenes szakaszok közötti átmeneti részen kellett kijelölni azt a keresztmetszetet, ahonnan az egyébként nagyon drága cső már felhasználható volt, és a megfelelő csőtoldás érdekében a dimenziális eltérés is kezelhetővé vált (4. ábra).



4. ábra: Hajlított cső egyenes (kör) és íves (ovális) szakaszának átmenete (Eger-patak)



5. ábra: Az Eger-patak hídjá Poroszlónál (fotó: Dernovics Tamás/magyarepitok.hu)

Amennyiben erre lehetőség van, a toldóvarratok hegesztése egyenes csöveken történik. Ebben az esetben természetesen forgató alkalmazásával, és mivel a falvastagság ehhez megfelelő, ezért 121-es fedett ívű eljárással végezzük. A csövek hossza meghaladja a 12 métert, ehhez természetesen megfelelő alátámasztás kell. Befolyásolja a folyamatot a cső mint alapanyag egyenessége is (6. ábra). A toldóvarratok gyári körülmények között egyoldaliak alátétlemeznélkül, de a helyszíni szereléshez előkészített kötések beolvadó alátétlemezesek. Ezzel biztosíthatóak a megfelelő varratok a helyszíni illesztések esetében.

A térbeli csőcsatlakozások, áthatások kialakítása szintén komoly odafigyelést igényel. Ebben az esetben is fontos szempont az elméleti hengeres geometriától való eltérés, hiszen a varratkialakításnál és a hegesztési hézagnál ezt figyelembe kell venni. A valós geometria ellenőrzésén túl esetenként próbagyártást végzünk, ez segíti a hídelemekhez készülő minél pontosabb, kevesebb igazítást igénylő

alkatrészek gyártását. Az áthatások 3D plazmavágó gépen történnek, és amennyiben erre lehetőség van, itt alakítjuk ki a hegesztési leélezést is. A leélezés addig készíthető el, amíg az alávágás nem haladja meg a 45° -ot (7. ábra).

Az elemek csatlakozásánál rendszerint előfordulnak kiszögü és nehezen hozzáférhető, teljes átolvadású, egyoldali hegesztett kötések. Erre mutat példát a 8. ábra. Az elem a legélesebb csatlakozás 45° , a teljes keresztmetszetű varrat szöge mindössze 26° .

A főtartók csatlakozása a híd egyéb szerkezeti elemeihez esetenként meglehetősen egyedi, hiszen a tervezők érthetően valami különleges megoldást szeretnének felmutatni. A Glogoczóv híd egytámaszú, a középtájon befogott csőtartó egy oldalról (alulról) számtalan bordával 100 mm-es vastag lemezre hegesztett, mereven befogott szerkezet. A sok teljes keresztmetszetű varrat már hegesztési férőhely szempontjából is problémás volt, ugyanakkor a csövet, illetve a talplemezt egy oldalról érő és egymásra halmozódó



a)



b)

6. ábra:

Íves tartó gyártása

a) 12 m-es egyenes cső toldása

b) hajlított tartó helyszíni szerelése (Myslenice)



a)



b)



c)



d)

7. ábra:

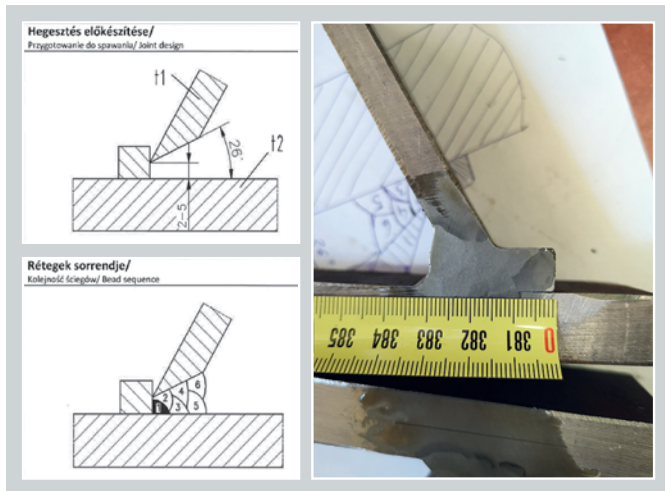
Főtartó csatlakozása

a) 3D plazmavágás

b) próbavágás alkatrészei

c) próba-összeállítás

d) hídelem részegység gyártása (Tisza-híd)



8. ábra: Kisszögű, egyoldali, teljes átolvadású, hegesztett kötés

hőbevitel komoly deformációkat vetített előre. Sem a talplemez, sem a cső előfeszítése nem volt lehetséges. A deformációk elfogadható szinten tartását egyedül a hegesztési technológia és sorrend folyamatos mérnöki felügyeletével lehetett biztosítani (9. ábra).

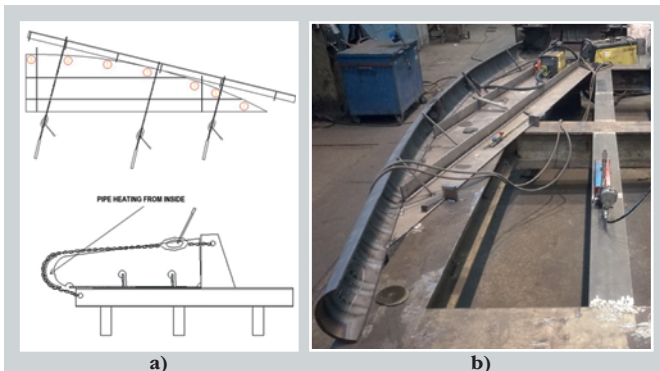
A függesztőkábelek csatlakozását a csőre húzott gyűrűkkel tervezték meg. Minden gyűrű más szögben áll, ennek megfelelően az ovalítás és a leélezések elemenként is és egy-egy elem a kör mentén is változóak (10. ábra).

Egyedi megoldás az Eger-patak hídján a pályaszegély félcsővel való kialakítása. Ez a hídközei pihenőnél egy hajlított félcsőre vált. Megoldás lehetett volna, hogy egy csövet először meghajlítunk, majd az alkotó mentén félbevágjuk, és a külső ívet tesszük fel szegélynek. Ez esetben azonban a drága cső fele hulladék lett volna. Ezért a csövet hosszirányban félbevágtuk, és előfeszített állapotban kisméretű ékmelegekkel fokozatosan az előírt rádiuszra hajlítottuk. Mindeközben a csavarodásmentességre is figyelni kellett, de a csövet teljes mértékben fel lehetett használni a híd két oldalára (11. ábra).

A korrózióvédelem szempontjából az acélszerkezet belső üregeinek gáztömöröknek kell lenniük. Ezért sok esetben követelmény a szivárgásvizsgálat. A csövek a belső nyomást lényegesen jobban viselik mint a síkfalú zárt szerkezetek, de a szivárgásvizsgálatnál alkalmazott nyomás itt sem haladja meg a 0,5 bar-t. A szivárgásvizsgálat technológiája a nyomáspróbákra érvényes előírásokon alapul.

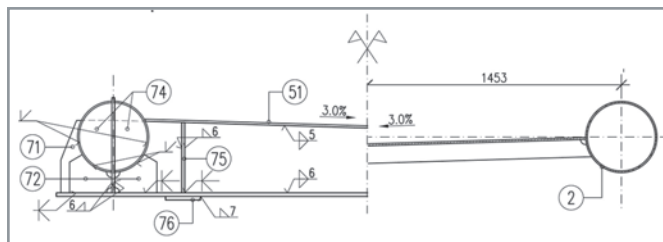


10. ábra: Függesztőkábelek bekötése a kereszttartóba (Glogoczóv)



11. ábra: Hajlított félcső szegély
a) technológiai utasítás vázlat
b) a híd pihenőjének egyik szegmense

Szerkezeti okokból különleges kapcsolat van a Tisza-híd pályalemeze és kétoldali cső hossztartója között. A pálya jobb és bal oldalát a csőtartó úgy szegélyezi, hogy a csapadék oldalirányban nem tud lefolyni. Ezért a pályalemez a hídon hosszanti irányban lejt, és ezzel egyidejűleg a csőszegélyekkel folyamatosan változó kerületi ponton érintkezik (12. ábra).



12. ábra: Pálya és cső hossztartó kapcsolata a támaszoknál (bal oldal) és a mélyponton (jobb oldal) (Tisza-híd)



9. ábra: Csőtartó és támasz csatlakozása (Glogoczóv)



A tervezői elképzelést mérnöki felügyelettel pontosan követő megvalósítás azért is különösen fontos, mert a hegesztésből adódó esetleges deformációk a pálya hullámosodását eredményezik, ez pedig egyengetéssel gyakorlatilag nem javítható. Mivel az acél pályalemez csak egy vékony korrózióvédelmi és csúszásmentes koptatóréteget kapott, ezért a hídon való közlekedés során minden pályahiba azonnal érzékelhetővé válik (13. ábra).

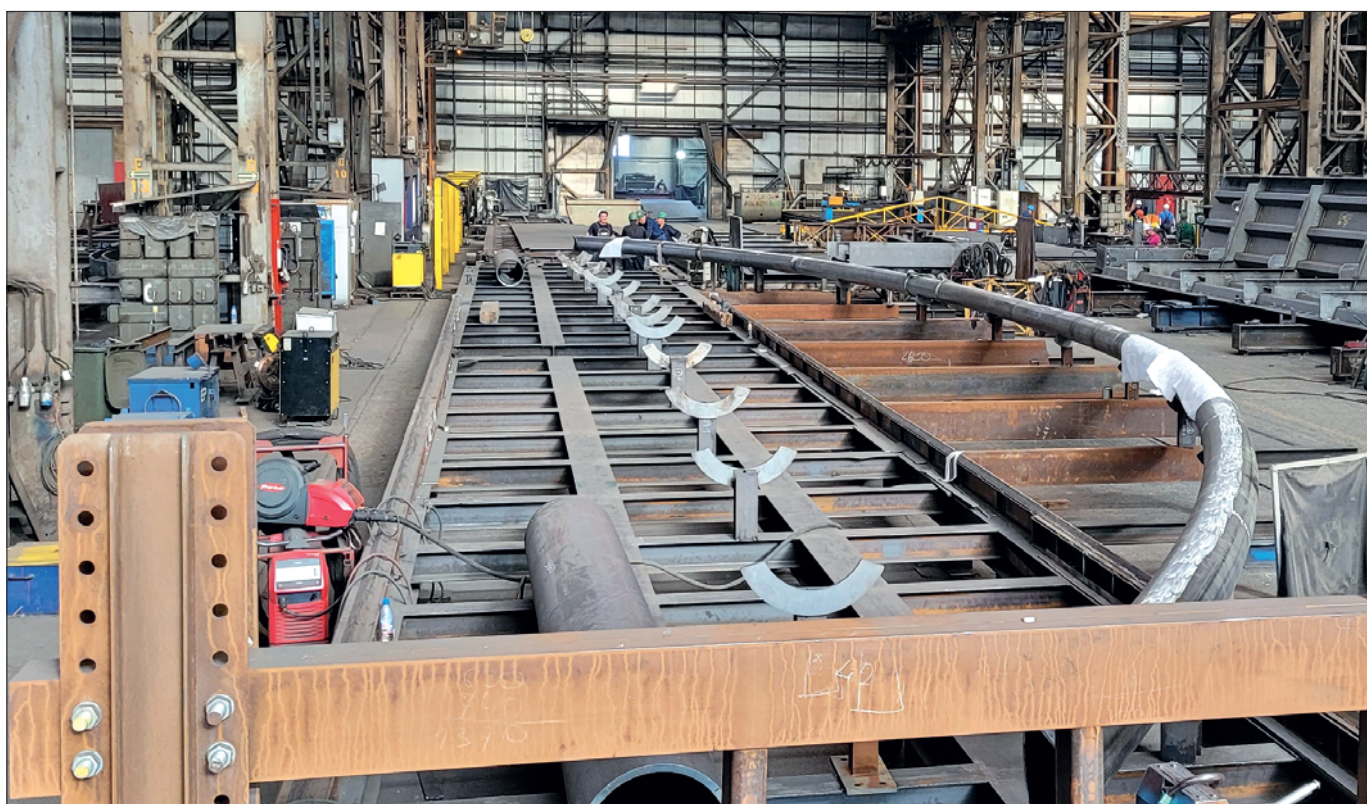
A hídelemek összeállításához a technológusok által tervezett készülékeket és sablonokat készítünk. Ez szüksé-

ges az elemek pontossága, elsősorban az előírt rádiuszok pontos beállítása és a csavarodásmentesség szempontjából. A készülékekben a tartó akár függőleges, akár vízszintes síkban lehet, ezt a tartó mérete, a gyártás közben megkövetelt hozzáférés határozza meg (14. ábra).

Az összeállított kiszállítási elemekkel gyakran végzünk próbaszerelést (15. ábra), ezt lényegében csak az egyszerű szerkezetek esetében hagyjuk el. A helyszíni szerelhetőség követelményeire kiemelt figyelmet fordítunk.



13. ábra: A Tisza-híd Tiszafürednél (fotó: Dernovics Tamás/magyarepitok.hu)



14. ábra: Íves tartó készüléke a síkpadon (Szczecin)

A hídelemek szokásos gyártási fő mérete 20–30 m hosszúság, 3,5–4,5 m szélesség, 2,5–3,5 m magasság, de szállítottunk már 44 m hosszú, vagy 6 m széles egységet is a helyszíni szerelésre (16. ábra). Ilyen méretek mellett már bonyolult mérés technikai feladat a csatlakozó felületek térbeli geometriájának az elvárt pontossággal való legyártása és ennek a mérése is. A csőtartós hidaknál külön nehezíti a helyzetet, hogy gyakran nincsenek jól definiált és bázisnak jól használható sík felületek, ezért a hídelemek térgeometriájának csatlakozópontjai csak komoly mérnöki

előkészítéssel állíthatók be, illetve ellenőrizhetők a készrehegesztett szerkezeten. Mélni kell az összeállításnál, a hegesztést követően a deformációk megállapítására és a kész szerkezeten a szerelhetőség ellenőrzése céljából. Mindezeket figyelembe véve jelenleg a BIM (Building Information Management) -módszer bevezetését és a hozzá kapcsolódó rendszer telepítését végezzük, mely ezekre az összetett folyamatokra a legkorszerűbb technika, és a leghatékonyabb megoldást adja.



15. ábra:
A Tisza-híd ártéri nyílásának
próbaszerelése
(pályával lefelé fordított helyzetben)



16. ábra: Szczecin – íves tartó kiszállítás

A MOHÁCSI DUNA-HÍD ÉS KAPCSOLÓDÓ ÚTHÁLÓZAT PROJEKT BEMUTATÁSA ÉS MŰTÁRGYÉPÍTÉSI MUNKÁK

BEHARANGOZÓ

A Mohácsi Duna-híd és kapcsolódó úthálózat jelenleg Magyarország legnagyobb infrastrukturális beruházása, melyet egy több írásból álló cikksorozatban mutatunk be az érdeklődőknek.

Jelen cikk a projektet és annak speciális műtárgyépítési munkáit hivatott bemutatni, míg az elkövetkezendő számokban bepillantást nyerhetünk a Duna-híd ívfőtartós acélszerkezeteinek gyártásába és helyszíni szereléstechológiájába. Érdeemes lesz követni!

ELŐZMÉNYEK

A közútfejlesztési beruházások felülvizsgálatáról szóló 1239/2023. (VI. 20.) kormányhatározatban döntött a kormány arról, hogy a Mohácsi Duna-híd megvalósítása a hozzá kapcsolódó úthálózat-fejlesztéssel együtt kiemelt társadalmi, politikai, gazdaságfejlesztési jelentőségű.

Az Építési és Közlekedési Minisztérium által lefolytatott közbeszerzési eljárás eredményeképp a Mohácsi Duna-híd és a kapcsolódó úthálózat elnevezésű projekt kivitelezését a Duna Aszfalt Zrt. végzi fővállalkozóként.

A tervezést a Duna Aszfalt megbízásából generáltervezőként a SPECIÁLTERV Kft. tervezőirodája végzi, mely magába foglalja a Duna-híd részeként megépülő B1–B2 ártéri hidak tervezését, további 17 híd és egyéb műtárgy – és a csatlakozó úthálózat terveinek elkészítését is. A Duna-híd B3 jelű mederhídjának tervezését a FŐMTERV Zrt. végzi.

A vállalkozási szerződés 2024. augusztus 30. napján lépett hatályba, a fővállalkozónak a kivitelezési munkák befejezésére 50 hónap áll rendelkezésére.

A projekt kivitelezése három szakaszból áll:

1. szakasz: Az 51. sz. főúttól kiindulva új nyomvonalon, egybefüggően 19,5 km hosszban országos közút (főút) épül Újmohácsig. A kormány 1074/2025 (III.24.) határozata alapján az I. szakasz 2 × 2 sávra történő áttervezése jelenleg is folyamatban van.

2. szakasz: A Duna folyamot keresztezve 2 ártéri híd és 1 mederhíd épül 756 m felszerkezethosszal.

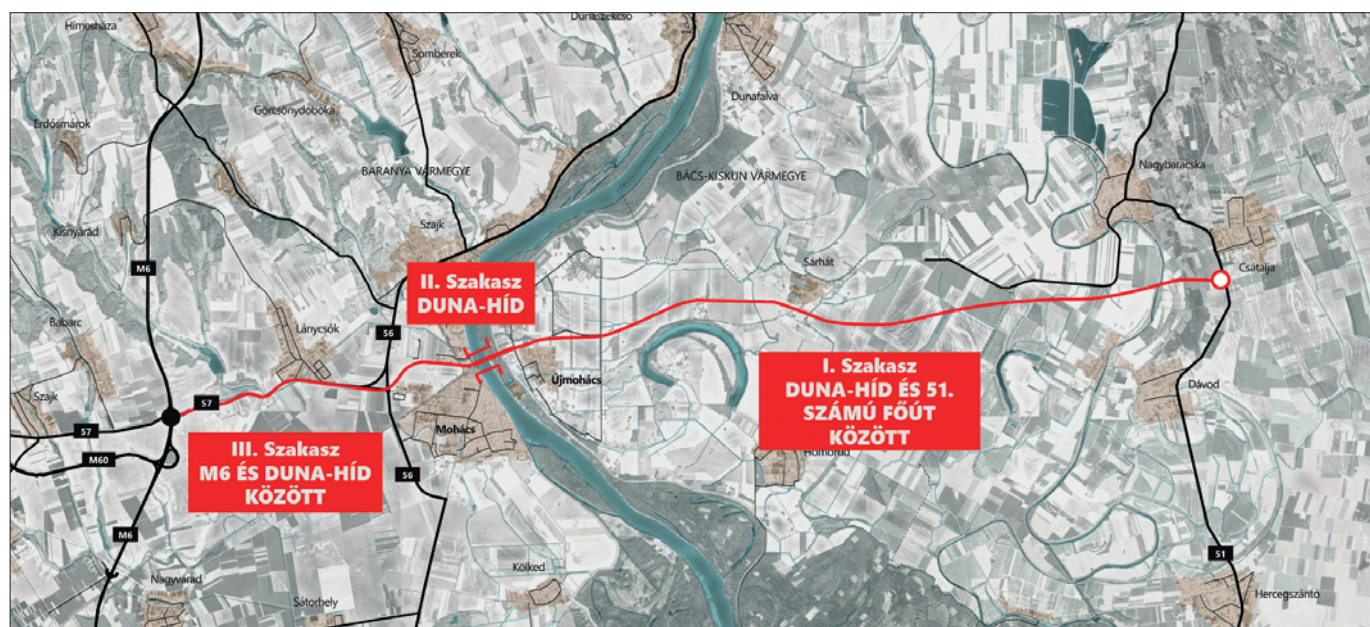
3. szakasz: A Duna-híd mederhídjához csatlakozva egybefüggően 8,5 km hosszban 2 × 2 sáv, osztott pályás, országos közút (főút) épül az M6 autópályáig.

I. SZAKASZ

A mohácsi Duna-híd és csatlakozó úthálózat I. tervezési szakasza a dél-alföldi régióból indul, az 51. számú főút és az 57. számú főút körforgalmú csomópontjából. A projekt keretein belül épülő 57. számú főút 2 × 2 sáv kialakítása jelenleg tervezési fázisban van mintegy 19,5 km hosszban. A meglévő utak és földutak csatlakozásának tervezése a főpálya tervezésével párhuzamosan történik. A főpályához kapcsolódóan 1 kétoldali pihenőt, 3 körforgalmat és 1 kezdőponti turbó körforgalmat alakítanak ki.

A tervezési szakaszon 3 főpályahíd és további 3 földút-átvezetés és 1 nagy vadátjáró keresztező műtárgy épül:

- B01 jelű közúti híd az 57. számú főút 1 + 741,81 km-szelvényében lévő Ferenc-tápcsatorna fölött,
- B02 jelű közúti híd az 57. számú főút 12 + 688,45 km-szelvényében lévő Karapancsai-főcsatorna fölött,
- B03 jelű közúti híd az 57. számú főút 19 + 436,34 km-szelvényben lévő Mezőszél utca fölött.



1. ábra: Áttekintő helyszínrajz

Közülük is kiemelkedik a B01 jelű híd, mely a Ferenc-tápcsatorna felett létesül 2×2 forgalmi sáv kivitelezésével. A felszerkezet hossza 234 méter.

A bal és jobb parti EuroVelo kerékpárutak kapcsolatát az Újmohács, Mezőszél utcától a Duna-hídon átvezetésre kerülő kétirányú kerékpársáv biztosítja.

III. SZAKASZ

A projekt III. szakasza a Duna jobb partján indul, 2×2 sávossal kialakítással az új Duna-hídtól, a tervezett tengely 20 + 317 km-szelvényétől, és az M6–57. sz. főút csomópontjánál, a 28 + 785 km-szelvényben ér véget, rácsatlakozva az M6-os autópályára.

A második szakasz tervezett nyomvonala a meglévő 57. sz. főút nyomvonalával közel azonos, csak olyan helyeken tér el, ahol a tervezési sebességhez tartozó paraméterek nem feleltek meg. A szakaszon 5 turbó körforgalom épül: az első az 56-os és 57-es számú főutak csomópontjában, másik három Lánycsók-nál, Bácsfalvánál és Bácsapusztánál alakítanak ki:

- 20 + 631,83 km: 3 ágú turbó körforgalom,
- 22 + 028,84 km: 4 ágú turbó körforgalom,
- 23 + 003,54 km: 5 ágú turbó körforgalom,
- 24 + 735,09 km: 4 ágú turbó körforgalom,
- 27 + 998,91 km: 4 ágú turbó körforgalom.

Ezen a szakaszon összesen 10 műtárgyat építenek:

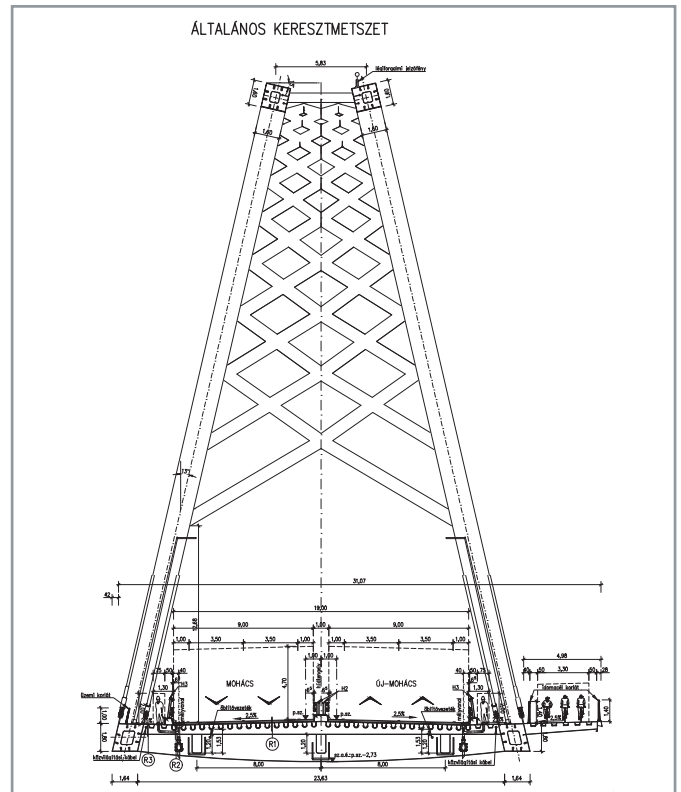
- B04 jelű közúti híd az 57. számú főút 20 + 453,07 km-szelvényben lévő iparvágányok és az 5121. jelű út és járda fölött;
- B05 jelű közúti híd az összekötő út (57. számú főút – Budapesti út) 0 + 080,17 km-szelvényében lévő iparterületi út fölött;
- B06 jelű közúti híd az 57. számú főút 20 + 712,97 km-szelvényében lévő iparvágány fölött;
- B07 jelű kerékpáros-aluljáró az 57. számú főút 21 + 478,34 km-szelvényében;
- B08 jelű közúti híd az 57. számú főút 25 + 384,56 km-szelvényében lévő Lánycsók-Marázai-patak fölött;
- B09 jelű híd a szervízút 0 + 704,09 km-szelvényében lévő Lánycsók-Marázai-patak fölött;
- B10 jelű közúti híd az 57. számú főút 26 + 333,48 km-szelvényében lévő Lánycsók-Marázai-patak fölött;
- B11A jelű $2,00 \times 2,00$ m méretű keretműtárgy a MÁV Mohács állomás „F” VI., „F” VII. és „F” VIII. jelű iparvágányai alatt víztelenítő árok átvezetésére;
- B12 jelű $2,00 \times 2,00$ m méretű keretműtárgy a MÁV MOFA iparvágány 2 + 41,63 km-szelvénye alatt víztelenítő árok átvezetésére;
- B13 jelű kerékpáros híd a kerékpárút 0 + 519,45 km-szelvényében lévő Lánycsók-Marázai-patak fölött.

A felsorolásból kiemelendő a B04 műtárgy, amely biztosítja úttengelyben mérve 164 méter hosszban az új Duna-hídról leérkező és az M6-os irányába haladó forgalom átvezetését a Pesti út és a mohácsi vasút felett. A kivitelezést megnehezíti és érdekessé teszi, hogy az alapozási munkák által érintettek a vasúti pályák, számos kiváltandó közmű és a keresztezett közút is. A kivitelezés során a vasúti és közúti forgalom fenntartandó, melyet speciális forgalomtechnikával és munkatér-határolással biztosítunk.

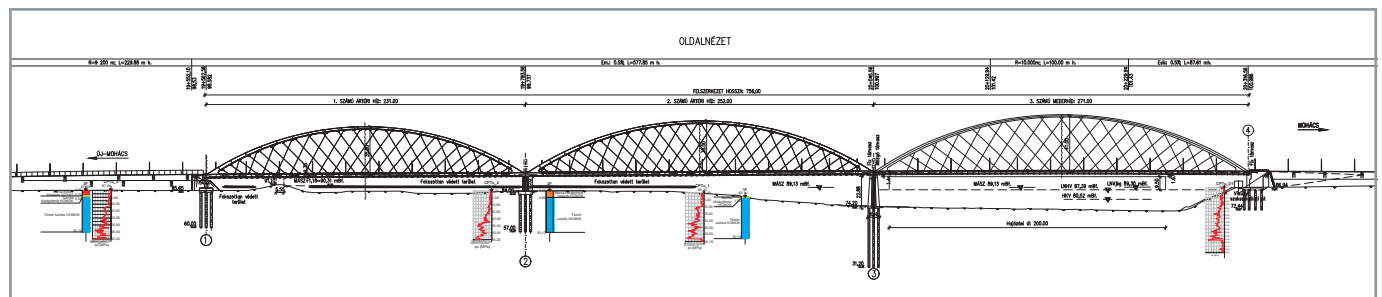
II. SZAKASZ – MOHÁCSI DUNA-HÍD

Az új híd a Duna folyamot az 1448 + 238 folyamkilométer-szelvényében keresztezi. A híd teljes hossza 756 méter hosszú, amely három kéttámaszú, kosárfüles, alsópályás, acél ívhídból és a közöttük lévő dilatációs szerkezetekből áll. A szelvényezés növekvő sorrendjében az 1. sz. (B1) ártéri híd hossza 232 méter, a 2. sz. (B2) ártéri hídé 252 méter és a 3. sz. (B3) mederhídé 272 méter.

A felszerkezetet négy aléptményi szerkezet támasztja alá. A bal parton az 1. hídfő az újmohácsi, mentett oldalon helyezkedik el, míg a 2. támasz az ártérben, a 3. támasz a Duna medrében, és a 4. hídfő a mohácsi partéltben található.



2. b) ábra: Duna-híd – általános keresztmetszet



2. a) ábra: Duna-híd – oldalnézet



3. ábra: II.szakasz látványterv (ADU Építész Kft.)

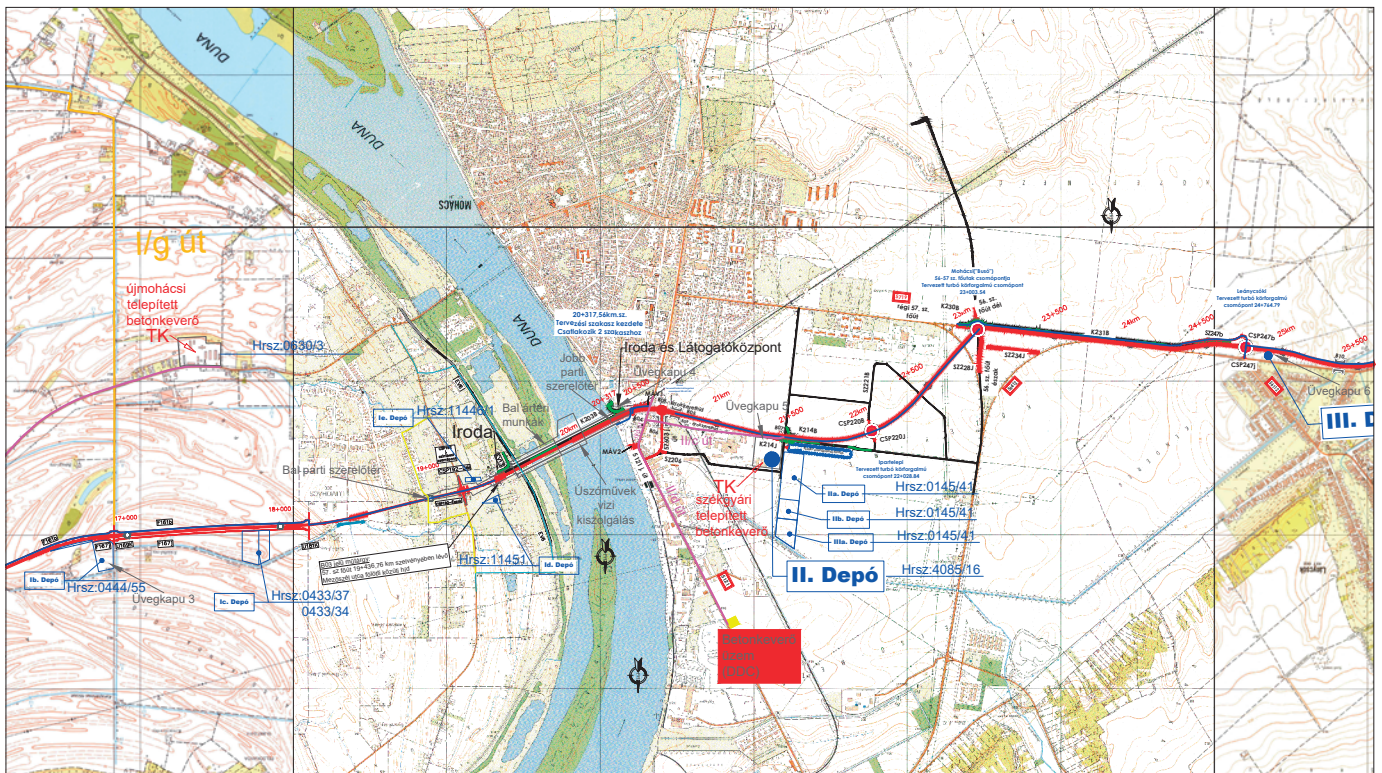
Általános organizáció

A projekt megvalósítása érdekében meghatároztuk a megvalósításhoz szükséges beszállítóutakat, melyek biztosítják a depóterületek, szerelőterületek és az építendő nyomvonal megközelítését,

A műtárgyépítés és útépítés betonszükségletének kiszolgálására mind a bal, mid a jobb parton betonkeverő üzemet állítunk fel, mely biztosítani fogja a kivitelezéshez szükséges mintegy 43 000 m³ betont.

A betonegységesítés 5 szerkezeti betonkeveréket tartalmaz, melyek közül kiemelkedik a kéregelem helyszíni előgyártásánál alkalmazott C40/50 szilárdsági osztályú keverék.

C30/37-XC4-XA1-16-F5	cölöp
C30/37-XC4-XA2-16-F5	cölöp
C30/37- XC4-XA1-XV2(H)-24-F3	cölöpösszefogó gerenda
C35/45-XC4-XA1-XF2(H)-XV2(H)-16-F3	felmenőszerkezet
C40/50-XC4-XV2(H)-XF4(H)-16-F4	kéregelem, saruzsámoly



4. ábra: Organizációs terv



5. ábra: Jobb parti szerelőtér

Jobb parti organizáció

A mederhíd szerelése a jobb parton kialakított szerelőtérről történik, és szakaszos hosszirányú betolással kell a helyére juttatni. A szakaszos betolásra azért van szükség, mert a Mohácsi vasútállomás vágányhálózata miatt a Duna jobb partján rendelkezésre álló terület nem elegendő ahhoz, hogy a teljes hídszerkezet egyben megépüljön. A jobb part közelében három vízi jármot kell építeni (egymástól 43–43 méterre), hogy a már elkészült hídrészt hosszirányban a Duna felé mozgatva el lehessen tolni, ezzel helyet biztosítva a hídszerkezet további szakaszainak szereléséhez. A vízi jármokat úgy kellett elhelyezni, hogy a hajózás számára 90 méter széles vízi út szabadon maradjon.

A három szerelési és két mozgatási szakasz után be kell építeni a kábeleket, és helyére kell tolni a hidat. A tolás első lépéseként annyit kell előretolni a hídon, hogy alá tudjon állni egy bárkarendszer, és ráhelyezhető legyen a hídszerkezet, ezután már kéttámaszú statikai vázon áttolják, úsztatják a hidat a mederpillérig. A tolást a szerelőtéri gerendákhoz rögzített, szoftveresen vezérelt, hidraulikus tolóberendezés segítségével végzik mindaddig, amíg a végleges helyét elérve le nem lehet támasztani a pillérre. A szerelőtér méretének lehető legjobb kihasználása érdekében a mederhidat nem a végleges magasságán, hanem a terepszinten, 1%-os emelkedésben szerelik és tolják be. Ezután hidraulikus emelőberendezések emelik fel a szerkezetet a végleges szintre, több ütemben, az egyes ütemek között ideiglenes oszlopokkal alátámasztva a hidat. A mederpillér és hídfő vasszerelése és betonozása a végleges emelési szintet elérve készíthető el teljes magasságában. Az emelés után el kell távolítani a betoláshoz szükséges segédstruktúrákat. A szigetelési, burkolatépítési munkák a kész hídszerkezeten már elvégezhetőek, majd a hídtartozékok is a helyükre kerülnek.

Bal parti organizáció

Mindkét ártéri híd keresztmetszeteit az előszerelőtér keleti oldalán kialakított összeállító padban készítik el, közel gyári körülmények között. Az összeállított keresztmetszeteiket ezután előre mozgatják a festősátorba, ahol elkészítik a

korrózióvédelmi bevonatrendszerüket, majd előremozgatják a szerelőtéren kijelölt pozíciójába. A keresztmetszeteiket a szerelőtéren hegesztik össze, így létrehozva a teljes pályalemez és merevítőtartók alkotta hídszerkezetet, beleértve az elől és hátul elhelyezkedő tolócsőröket és ívvállakat. Ezzel párhuzamosan az ívmelési egységeket a szerelőtér melletti ívszerelő területen állítják össze és hegesztik meg. Az ívszerelő állványokat a pályalemezre helyezik, majd ráemelik az ívmelési egységeket. Végül meghegesztik az ívcsatlakozásokat, elhelyezik a tolási segédrácsokat és előkészítik a hidakat a helyükre toláshoz.

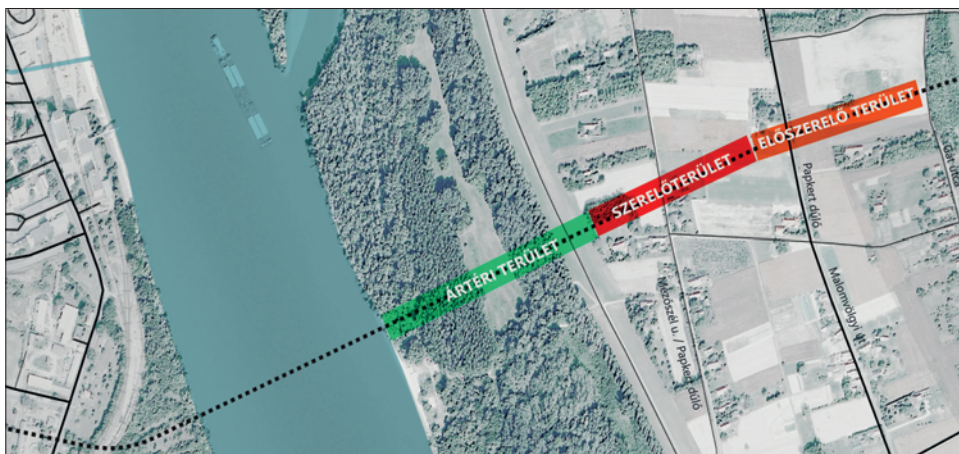
A híd betolása 600 tonna teherbírású, szoftveresen vezérelt, folyamatos tolást biztosító tolópadok segítségével történik, amelyek a merevítőtartó külső gerince alatt helyezkednek el. A tolópadok a szerelőtéren, a végleges alátámasztásoknál és az ártérbe telepített, acélcsővekből kialakított, moduláris tolójármokon találhatóak. A híd betolási síkja megegyezik a merevítőtartó alsó síkjának végleges pozíciójával, így a szerkezet végleges helyére érkezéskor jelentősebb magassági beállítás nem szükséges. A végleges helyére érkezése után eltávolítják a betoláshoz szükséges csőröket és segédrácsokat, majd elhelyezik a kábeleket.

Az előszerelőtér és szerelőtér kialakítása lehetővé teszi a két ártéri híd szinte egyidejű szerelését, ami szükséges az előirányzott építési idő betartásához.

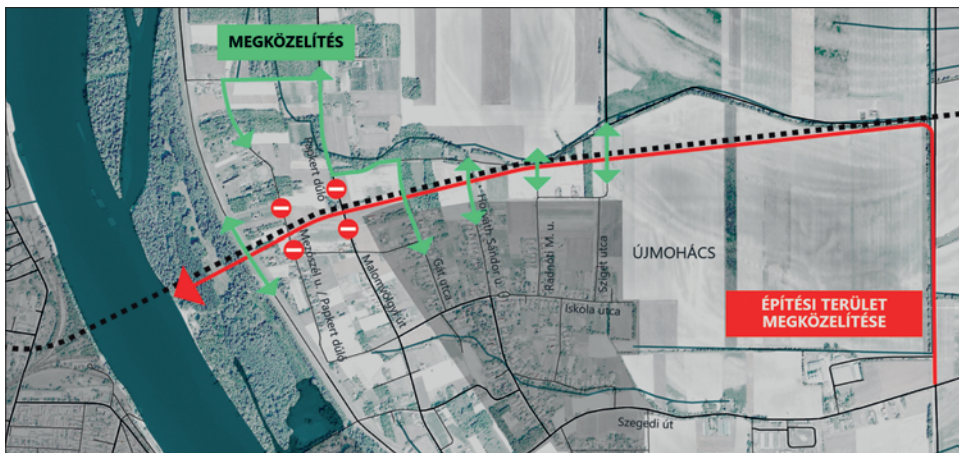
A technológia helyigénye miatt szükségessé váló útzárakat forgalomtechnikailag megtervezett telerelőútvonalakkal váltjuk ki, ezzel biztosítva az észak-dél irányú folyamatos átközlekedést.

A MEDERPILLÉR ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIÁJA

Magyarországon a hárosi Duna-híd (1987–1990) kivitelezésén használtak először előregyártott kéregelemeket a pillérek építésénél. Ez a módszer nemcsak a Pentele és Megyeri hidaknál vált be, hanem azóta az építkezések legtöbb új Duna-hídjánál is, pl. a legutóbb átadott Tomori Pál Duna-hídnál (Kalocsa–Paks között) is, hiszen kiválóan szolgál ideiglenes munkatér-elhatárolóként, és ugyanakkor végleges zsaluzatként is szolgál.



6. ábra:
Bal parti szerelőtér organizáció



7. ábra:
Újmoács – közlekedési útvonalak

A mohácsi Duna-híd mederpilléreinél szükséges 6, egymásra épülő szilvamag geometriájú, egyenként 2,2 m magas, 52 méter hosszú és mintegy 8 méter szélességű vasbeton „medencéket” párosítva gyártják elő Mohács Szabadkikötő partfalán kialakított szerelőterületen a hibátlan illeszkedés érdekében. Az elemeket előgyártást követően egyenként emelik be a helyükre.

A mederpillér alapját képező kéregelemek beépítéséhez páratlanul összetett előkészítés szükséges.

A kéregelem alapozását megelőzően mederkotrást végeztek a mederpillér közvetlen környezetében, majd 2 iránycölöpöt és 10 acél csöcölöpöt vertek le a szerkezet kontúrvonala mentén. Ezután a búvárok a tervezett feltámaszkodási szinten visszavágták víz alatt a csöcölöpöket, és acélból készült merevített kupakot illesztettek a tetejükre, mely így képes volt fogadni az első kéregelemet.

Az első mérföldkő, az 'A' kéregelem beemelése a Duna medrébe, 2025. október 1-én megtörtént. A későbbiekben erre helyezik majd rá az ehhez pontosan illeszkedő további elemeket.

Az első kéregelem beemelését megelőzően a jobb parti szabadkikötőben fontos munkák zajlottak: 2025. szeptember 23-án az 'A' kéregelem felett kivitelezett 'B' kéregelemet bárkára emelték a Clark Ádám úszódaruval. Erre a fent említett páros kivitelezés miatt volt szükség: ugyanis így tudtak hozzáférni az addig a 'B' elem alatt tárolt 'A' elemhez.

Az ezt követő időszakban beépítették az 'A' kéregelembe a további szükséges, acél merevítőszervezetet, sajtózókalodát és az elhelyezést segítő árbócot, illetve prizmát. Megtörtént a medercölöpözést vezető gyűrűk elhelyezése is.

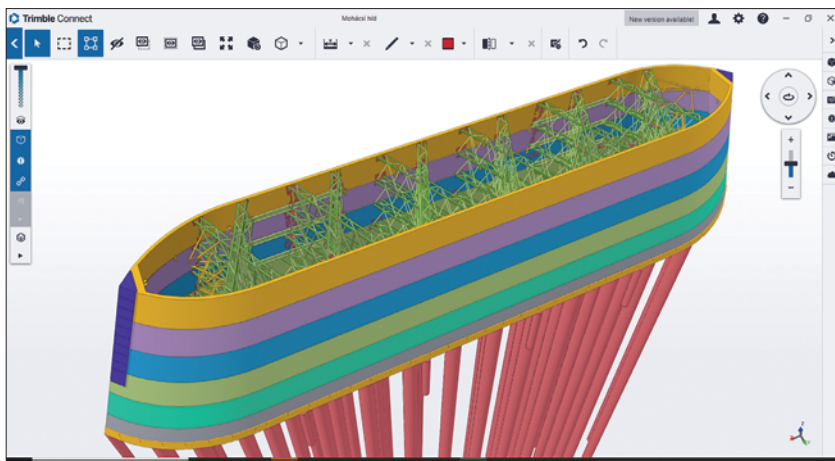
A beemelés folyamatát a két parton felállított mérőállomás nyomon kísérte, köszönhetően az előzőleg az árbócok tetejére telepített prizmáknak, melyek a kéregelem süllyesztése közben is pontos képet adtak a térbeli tartószervezet pontos víz alatti pozíciójáról.

Mindezekben túl egy olyan műszaki megoldást is alkalmaztunk, amely igazi mérnöki különlegesség: ekkor került a helyére ugyanis a magassági finombeállítást lehetővé tevő 4, egyenként 100 tonnás hidraulika munkahenger: ezek segítségével a mederbe lehelyezett 'A' kéregelemet milliméter pontosan szintre lehetett állítani.

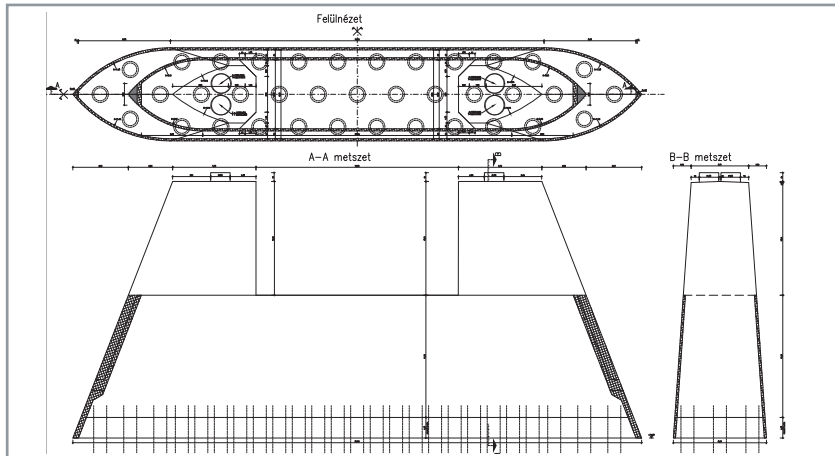
A mederpillér kivitelezésének elkövetkezendő időszakában úszóművekről történik meg a 3. medertámasz 37 darab 43 méter hosszú cölöpjének fúrása zagy-furatmegtámasztásos technológiával.

A folyamat egyik meghatározó fázisa lesz, amikor a negyedik kéregelemet is behelyezik: a négy egymásra helyezett elem által ugyanis már a Duna átlagos vízszintje fölé emelkedik majd az építmény. A vízszint fölé érve az „óriás medence” alatti talaj stabilizálása érdekében 24 óra leforgásán belül ~800 m³ víz alatti betont juttatnak a kéregelem belsejébe.

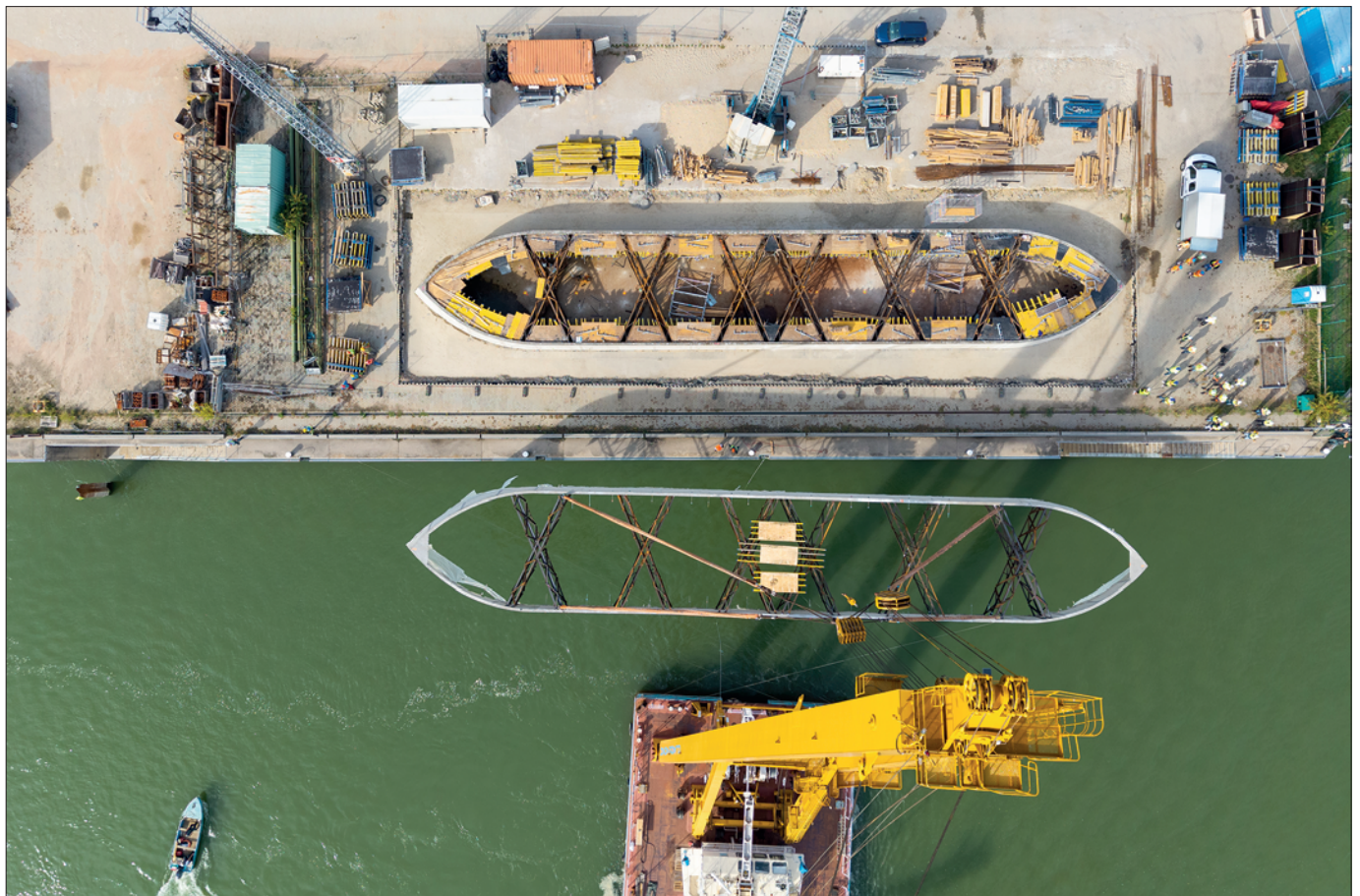
Ezután a medence vízteleníthető, a Duna vízszintje alatt 8 méterrel száraz, biztonságos munkatér áll rendelkezésre vízállástól függetlenül. Ezt követően még további két kéregelem érkezik meg a helyére. A pillér vasszerelése és kibetonozása elkészíthető. A pillér a vízszint felett monolit vasbeton szerkezetként épül, a támasz mellett lehorgonyzott bárkákról végezve a szükséges műveleteket. Az így elkészült mederpillér orr- és farrészét gránit orrkövel védik meg a víz, jég és a hordalék erodáló hatásától.



8. ábra:
Mohácsi Duna-híd 3. pillér kéregelem 3D modellje



9. ábra:
Mohácsi Duna-híd 3. pillér geometriai terve



10. ábra: Kéregelemek párosított előgyártása Mohács, Szabadkikötő előszerelő területén (Fotó: Erdei Mihály, magyarepitok.hu)



11. ábra: Párosítva szerelt 'A' és 'B' kéregelem és acélmerevítése



12. ábra: Kéregelemárbócok, prizmák és a beállításhoz használt hidraulikatömlők

ZÁRSZÓ

A Mohácsi Duna-híd és csatlakozó úthálózat kivitelezése rendkívül összetett műszaki és szervezési feladat mind építési, mind hídépítési terén.

Az alépítményi és felmenő szerkezeteknél alkalmazott technológiák meghatározásánál fő szempont volt a Duna

folyam vízszintingadozás-kockázatának kizárása, valamint a környező területek fokozottan védett természetvédelmi státusza.

A Duna-híd alépítményének kivitelezésével párhuzamosan már javában folyik az acél felszerkezet gyártása és helyszíni szerelése, melyekről az elkövetkező számokban olvashatnak az érdeklődők.



13. ábra: Mohácsi Duna-híd 'A' kéregelem beemelése a Clark Ádám úszódaruval (Fotó: Erdei Mihály, magyarepitok.hu)



14. ábra: Mohácsi Duna-híd 'A' kéregelem beemelése a Clark Ádám úszódaruval (Fotó: Erdei Mihály, magyarepitok.hu)



SALZGITTER MANNESMANN ACÉLKERESKEDELEM

A Salzgitter Csoport vállalata

Jelenlét a világ minden pontján



SALZGITTER
MANNESMANN
ACÉLKERESKEDELEM

A Salzgitter Csoport vállalata



SALZGITTER
MANNESMANN
HANDEL

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe



SALZGITTERAG
Mensch, Stahl und Technologie

www.salzgitter.hu

H-1027 Budapest, Horvát u. 14-24.

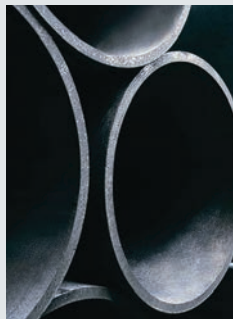
Telefon: +361 393-5220

info@salzgitter.hu

ACÉL

TERMÉK, LOGISZTIKA, SZOLGÁLTATÁS

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

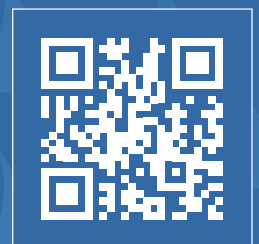




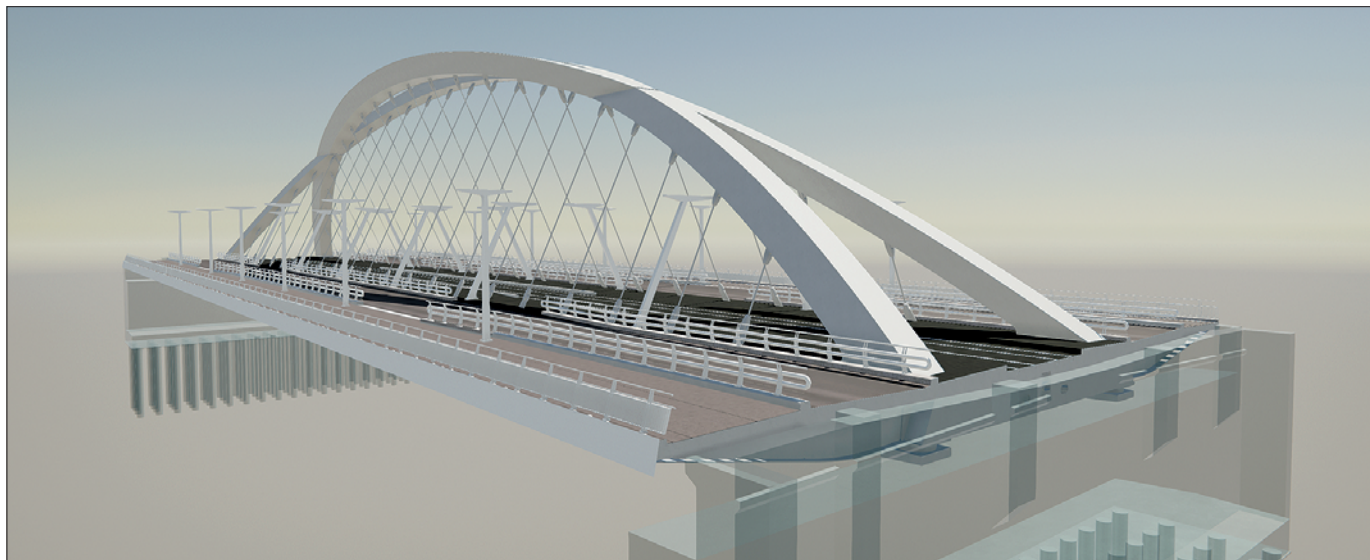
A HORIZONTOT ÉPÍTJÜK!

#DunaGroup
#BuildingHorizons

www.duna.group



A SZEGEDI ÚTI FELÜLJÁRÓ TERVEZÉSE



1. ábra: A híd Tekla-modellje

A PROJEKTRŐL

A híd egy komplex városfejlesztési projekt részeként valósulna meg Magyarországon, Budapesten, a 13. és 14. kerület között. A felüljáró a Béke teret és a Kassai teret új nyomvonalon összekötve vezeti majd át a Szegedi út közúti, villamos-, kerékpár- és gyalogosforgalmát a Rákosrendező pályaudvar villamosított vasúti vágányai felett, miközben lehetőséget biztosít a Millenniumi Földalatti Vasút meghosszabbításának áthidalására és fogadására is. A projekt célja, hogy csökkentse a 70–71. sz. számú vasútvonalak fragmentáló hatását, lehetőséget biztosítson az autós, gyalogos- és kerékpáros forgalom jobb elosztatására az érintett városrészek között, javítsa a

tömegközlekedési viszonyokat, valamint hatékonyabb átszállási lehetőségeket biztosítson.

Amellett, hogy a híd urbanisztikai és tájépítészeti szempontokat is kiszolgál, villamosmegállóhelyet is kialakítottunk a hídon. Ezenfelül mind a meglévő, mind a tervezett vágányképhez igazodik, hogy akadálymentesített kapcsolat jöhessen létre a villamosmegállóhely és a Rákosrendező pályaudvar között. A gyalogos, kerékpáros és autóforgalmi igényeknek való megfelelés mellett a hídon létesített gyalogosátkelő a keresztirányú közlekedést biztosítja. Távlati cél volt a hídon való trolibusz-közlekedés, így egy erre alkalmas szerkezet biztosításának tervezése is szükséges.

Fenti követelmények egy nem hétköznapi hídszerkezetet igényeltek, melynek megtervezése kizárólag a város-, út-, villamosforgalmi, műtárgytervezői csapatok szoros együttműködésével volt biztosítható. A tervezés közben számos speciális követelményt és előírást kellett figyelembe vennünk. A meglévő vasúti pályaelrendezés egy szigetet formál, ahol logikus döntés lett volna a támasz elhelyezése. A pályaelrendezés várható átalakítása miatt azonban több bizonytalansággal kellett számolnunk, egyes tanulmányterv-változatokban ezt a területet is vasúti használatra jelölték ki. Ennek következtében közbenső támasz elhelyezése végül nem jöhetett számításba.



2. ábra: A tervezett nyomvonal elhelyezkedése



3. ábra: Látványterv a tervezett hídról és csatlakozó úthálózatról, a jelenlegi vasúti konfigurációval

MEGVALÓSÍTHATÓSÁGI TANULMÁNY

A projekt első fázisaként döntés-előkészítő tanulmányt készítettünk javaslatokkal a lehetséges szerkezetípusokra.

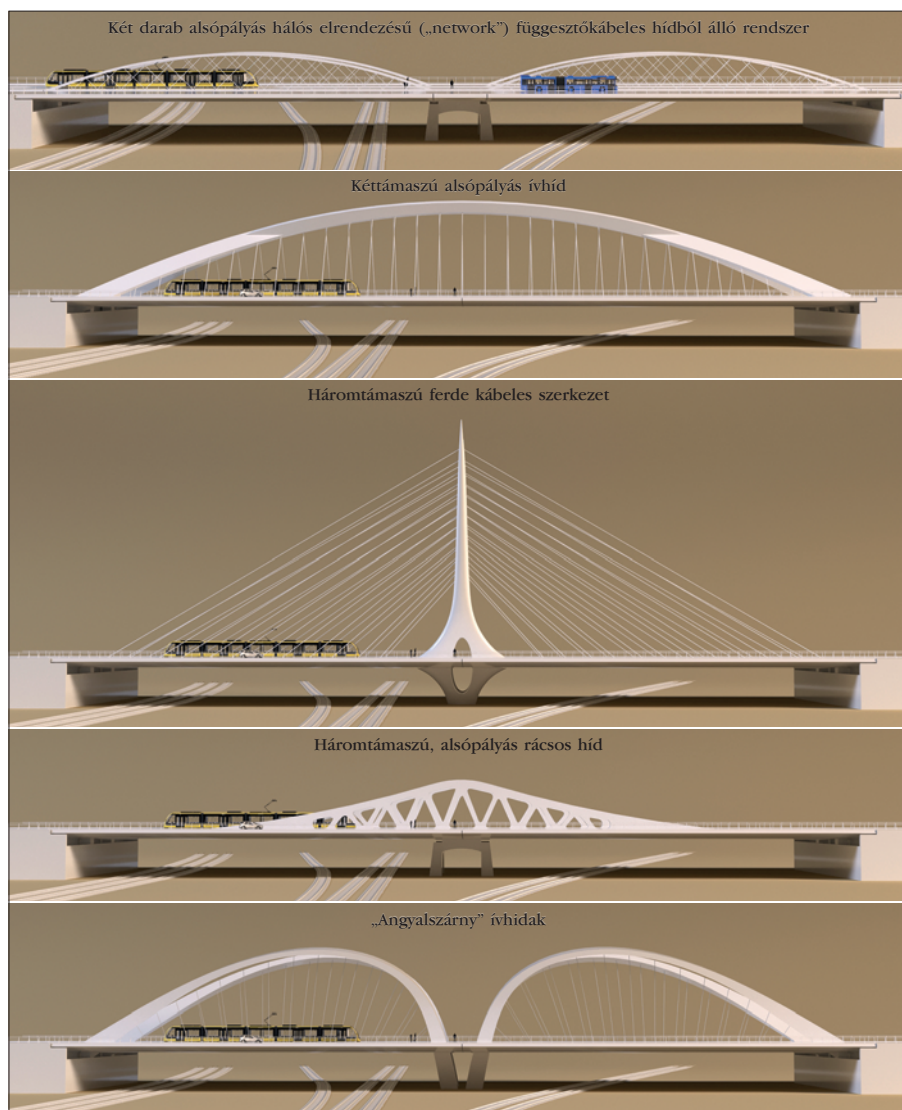
A változatelemzés keretében alapvető szerkezeti megoldásokat javasoltunk – ívhíd, rácsos tartó és ferde kábeles szerkezetek. Fontos szempont volt az esztétikum, a funkcionalitás és a gazdaságosság.

A legtöbb változat a középső „szigetet” használta a támaszok elhelyezésére és a pályazónák átívelésére, de készült nagy támaszközű változat is.

Több tervezési változat bemutatása után a Megrendelő végül a vasúti forgalomtechnikai szempontok alapján az egynyílású változatot választotta. A fejlesztésnek biztosítania kellett a terület jövőbeli, multifunkcionális célú felhasználását, így a közbelső támaszok helybiztosítása távlati szempontból nem volt garantált.

A kiválasztott híd egy közbelső letámasztás nélküli műtárgy 2×1 sávossal, irányhelyes kerékpáros infrastruktúrával, villamosmegállóval, akadálymentes gyalogoskapcsolatokkal. Az egynyílású, kosárfüles ívhíd egymásba metsző ívei látványos elemévé teszik majd környezetének.

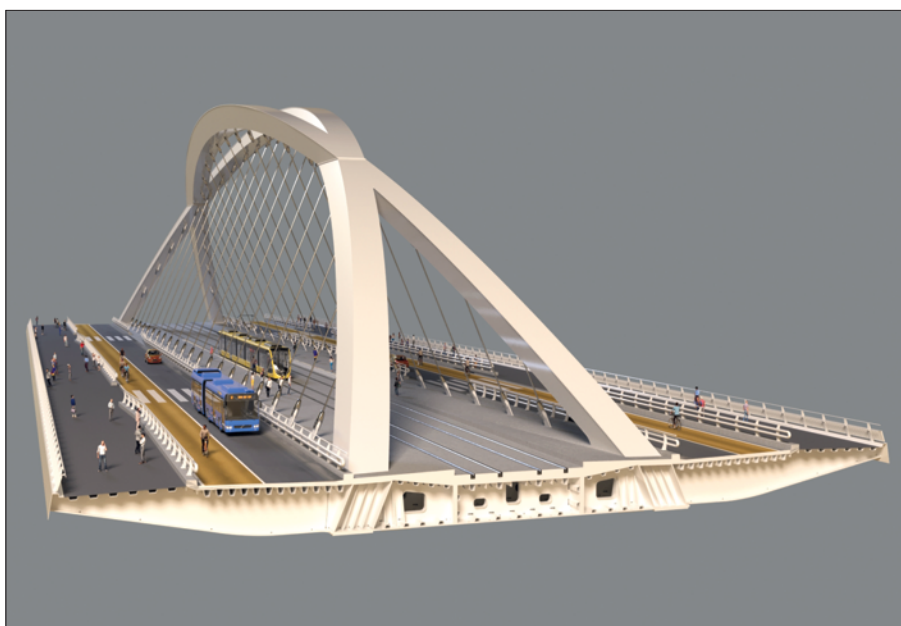
Az alsópályás ívhíd függőleges kábelrendezéssel rendelkezik, a kandeláberek felsővezeték-tartó oszlopként is funkcionálnak.



4. ábra: A megvalósíthatósági tanulmány keretében kidolgozott változatok



5. ábra: Látványterv a tervezett hírről és csatlakozó úthálózatról, új pályaelrendezéssel – a távlati elképzelések szerint intermodális állomás létesül metrócsatlakozással, vasúti, villamos-, és troliszállási lehetőséggel



6. ábra: A híd felszerkezetének 3D modellje

A KIVÁLASZTOTT HÍDVÁLTOZAT ADATAI

hossz:	146.0 m
támaszköz:	144.00 m
magasság:	26.08 m
szélesség:	45.18 m
szerkezeti acél:	+4960 tonna

TERVEZŐK

vezető tervező, koncepció:	Pál Gábor
útépítési/generál projektvezető:	Marczingós Tamás
projektvezető:	Hiros Károly, Scheck Rómeó
statikai számítások:	Hunyadi László, Dr. Kövesdi Balázs
acélszerkezeti főmérnök:	Szabados Mihály
acélszerkezeti tervező, BIM-szakértő:	Mészáros Norbert
vasalástervező:	Majerszky András

SZERKEZETTERVEZÉS

A híd egynyílású, kéttámaszú alsópályás, acél ívhíd, ortotrop pályalemez szerkezyntartóval, melynek támaszköze 144,00 m, a felszerkezet teljes hossza 146,00 m.

A híd keresztmetszeti elrendezése szimmetrikus, közepén vezetett villamossal, oldalperonos kialakítással. A pályán 2×2 közúti forgalmi sáv biztosított, de 2×1 közúti forgalmi sáv forgalomtechnikai tervezésével, az útpályán vezetett, kellően széles kérekpáros infrastruktúrával, kétoldali gyalogos járdával. A műtárgyon a villamospálya olyan kialakítású, amely alkalmas később autóbuszok vagy felsővezeték trolibuszok átvezetésére is.

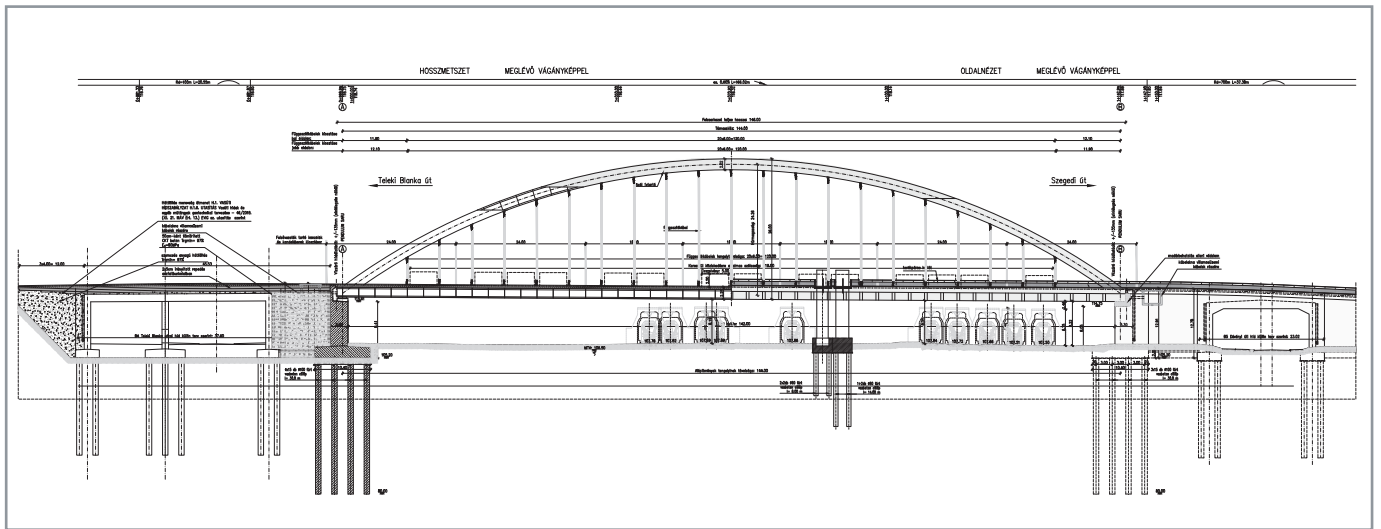
FELSZERKEZET

A híd teljes szélessége 45,18 m. Az ortotrop pályalemez szerkezeti magassága 225 cm, szélessége 19,54 m. Külső oldalán ferde gerincű, a belső függőleges osztógerincekkel bíró szerkezyntartóhoz mindkét oldalon 12,82 m hosszúságú konzol kapcsolódik.

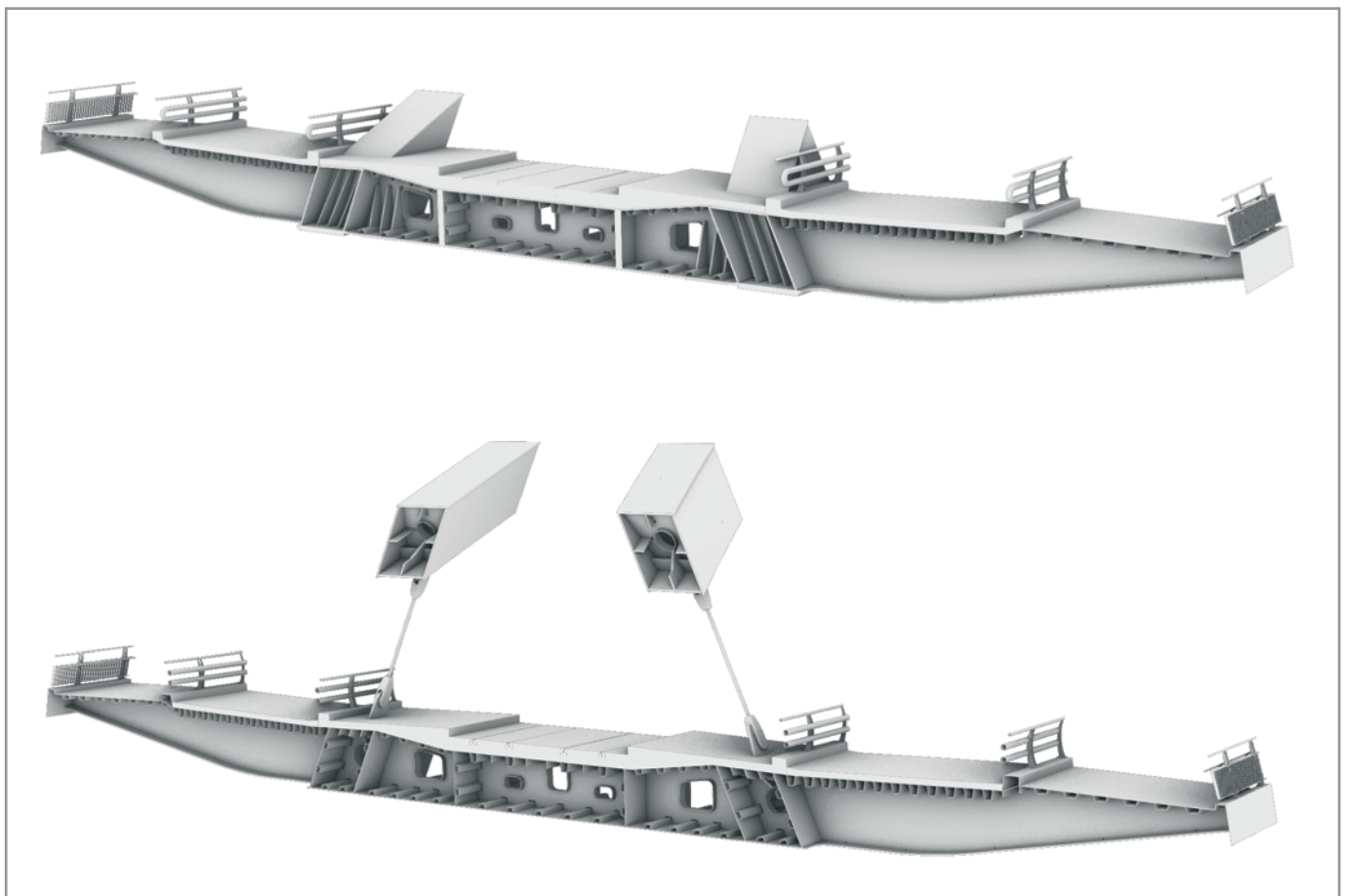
A szerkezyntartó külső cellái nem vizsgálhatók, a korrózióvédelmet belülről a szakaszosan, légmentesen zárt kialakítás biztosítja. A közbenső három cella mászható. A középső cellában vezetik át a villamosüzemi kábeleket.

A közúti pályák aszfaltburkolata között, a peronok és a villamospálya alatt együttdolgozó vasbeton lemez található, mely több funkcióval bír.

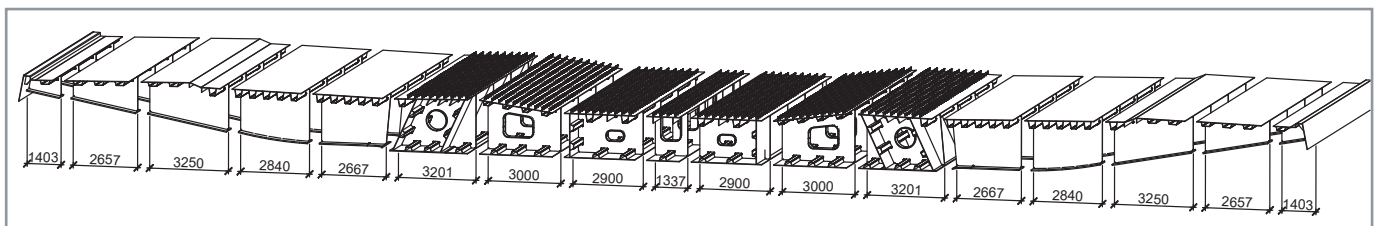
A lemez biztosítja a villamosforgalom rezgésének csillapítását, a változó felső síkjával lehetővé teszi a hídon a szükséges helyeken a keresztirányú gyalogosforgalom akadálymentességét, illetve a villamosmegállóknál lévő peron szélességváltozását is.



7. ábra: Általános terv – oldalnézet



8. ábra: Végkereszttartó és közbeső kereszttartó



9. ábra: Acél pályalemez gyártási, szállítási egységei

HÍDFŐ

A hídfők tömör hídfők, párhuzamos, cölöpösszefogóra támaszkodó szárnyfalakkal. A híd alapozása cölöpökkel történik.

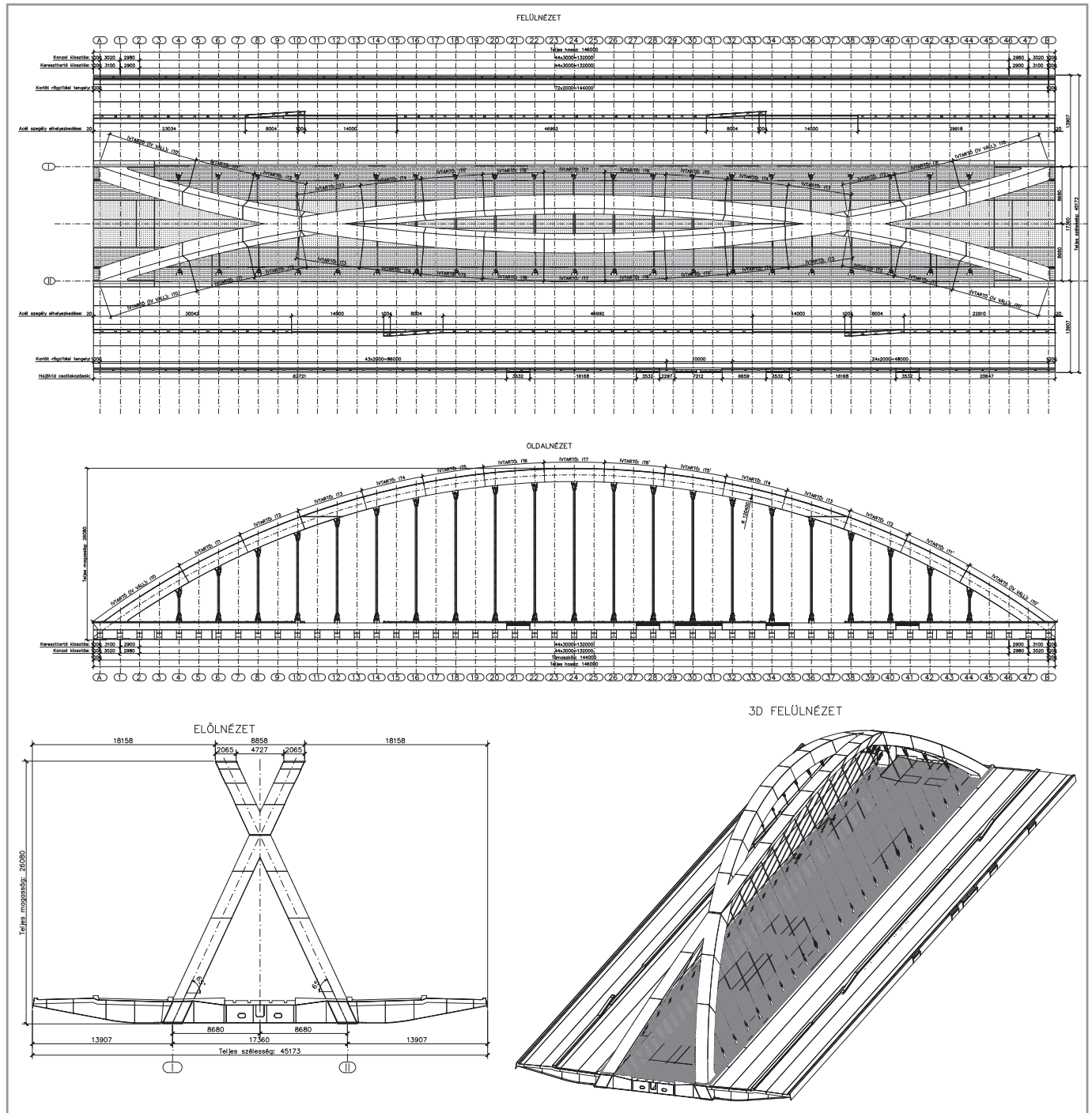
A felszerkezet a hídfőknél pendulum-sarukon támaszkodik fel. Földrengés esetén a híd hossz- és keresztirányban a pendulum-saruk tartják meg, energiaelnyelő képességükkel veszik fel a földrengés hatásait. A dilatációs mozgásokat a hídfők felett található vízzáró dilatációs szerkezetek teszik lehetővé.

PERONHOZ VALÓ CSATLAKOZÁS

A vasútállomás oldalán a vasúti peronok megközelítése lépcső és lift létesítésével lehetséges. Az áthidalt vasúti vágánykép Rákosrendező pályaudvar átépítésével a jövőben változni fog, ezért a csatlakozást mindkét ütemhez meg kellett terveznünk.

A hídon a kiemelt szegély a csatlakozási keresztmetszetekben megszakad, az itt kialakított feltámaszkodási környezetre terhel a lifttel és lépcsővel összekötött egy-egy hajóhíd.

Ezek a hajóhidak biztosítják a híd függőleges, hosszirányú és keresztirányú elmozdulásaihoz képest az akadálymentes áthaladást a merev szerkezetekre. A tervezett vágánykép és újjáépített Rákosrendező pályaudvarhoz való csatlakozást a híd mellé tervezett platformfelület biztosítja, mely szortírozza a vágányok gyalogosforgalmát.



13. ábra: Acélszerkezet összeállítási terve



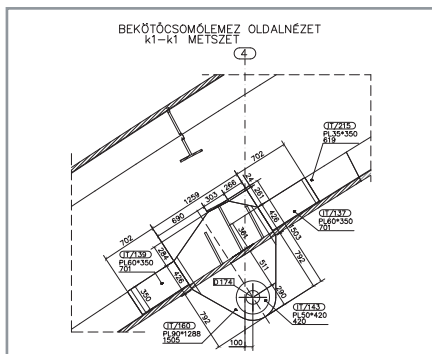
ACÉLSZERKEZETI TERVEZÉS – ÍVTARTÓ

A szekrénytartó szélein helyezkedik el a két, 65° -ban egymásnak döntött, egymást átmetsző, 22,30 m húrmagasságú, merőlegesen $2,00 \times 2,00$ m keresztmetszetű, zárt ívtartó.

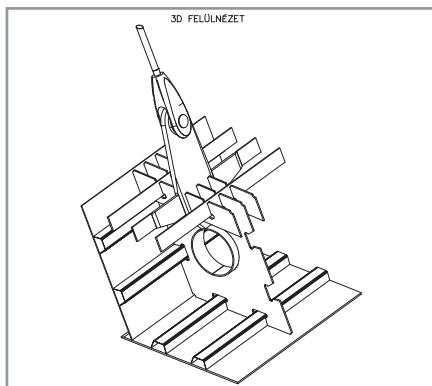
A döntött, egymást átmetsző ívkialakítás miatt a függesztőelemek síkjai átmetsződnek. Az ütközés elkerülése érdekében a függesztőelemeket kis mértékű hosszirányú eltolással oldottuk meg.

Az ív paraméteres modellezése jelentősen gyorsította az ideális geometria megtalálását. A dőlésszög, ívmagasság, övek és gerincek távolságának paraméteres módosításával különböző változatokat tudtunk elemezni. Leginkább az összemetsző szakaszok gyors ellenőrizhetősége segítette a hatékony döntéshozatalt és munkát.

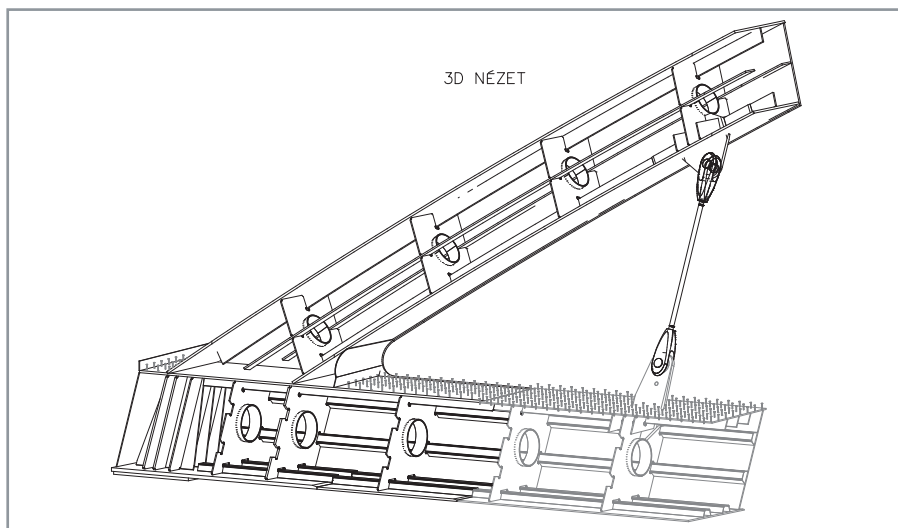
Az ív szerkezeti kialakításánál az esztétikai megjelenéssel szoros összefüggésben vettük figyelembe a gyárthatóságot is. Az ívgerincek a kábelekkel megegyező, 65 fokos síkban döntöttek. A zárt főtartók gerincei is ebben a síkban döntöttek, folyamatos felületet és szerkezeti kapcsolatot alkotva. Az ív övei síkba fejthető hengerpalást-felületekre illeszkednek. Ez előnyös a le-támaszkodásoknál, a végkereszttartó környezet egyszerűbb kialakításában.



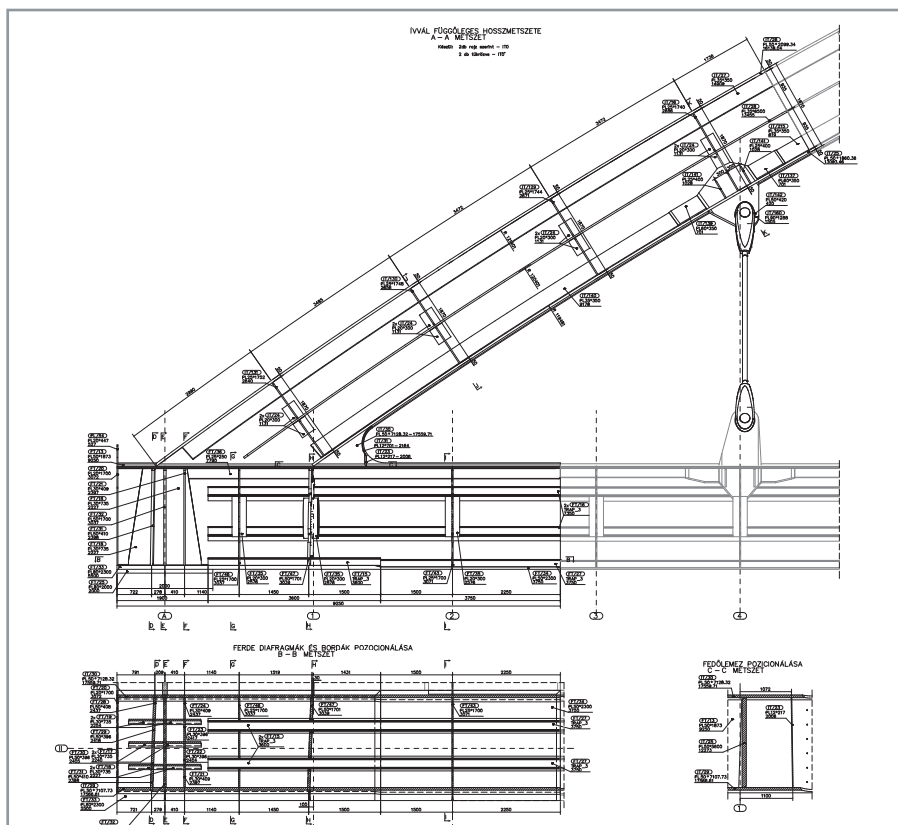
16. ábra: Bekötőcsomólemez oldalnézete



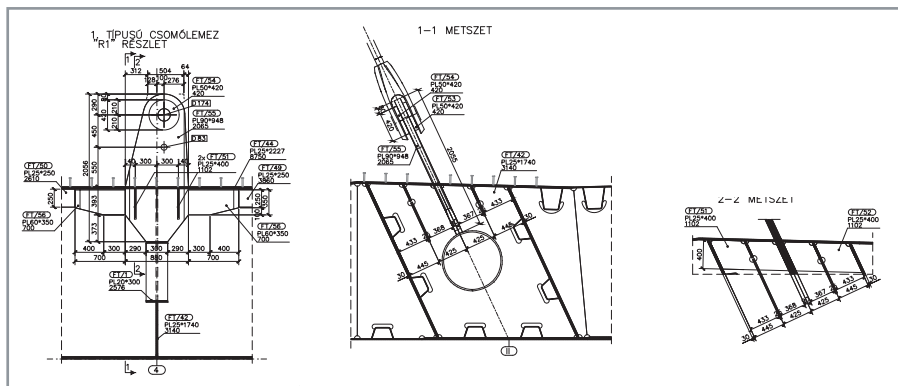
17. ábra: Alsó bekötő csomólemez 3D nézete



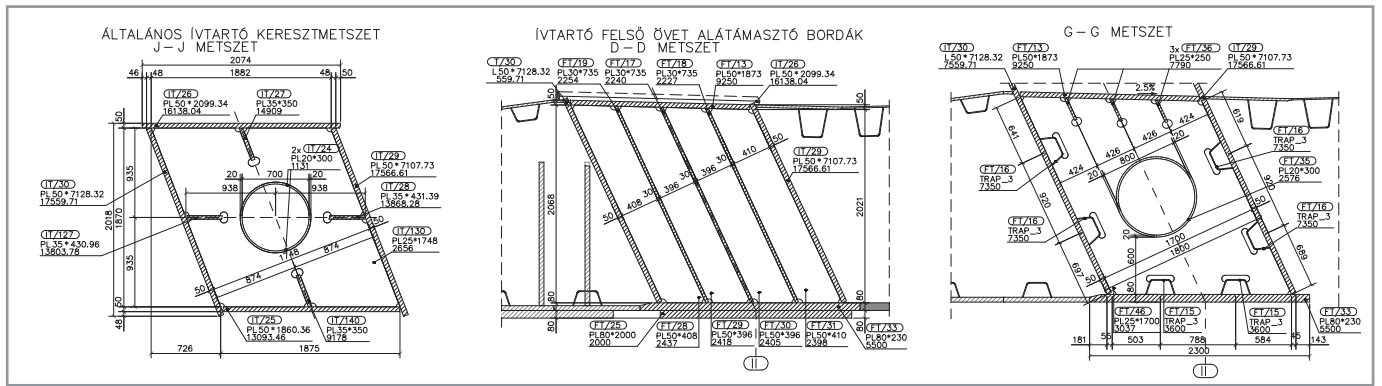
14. ábra: Ívváll 3D nézete



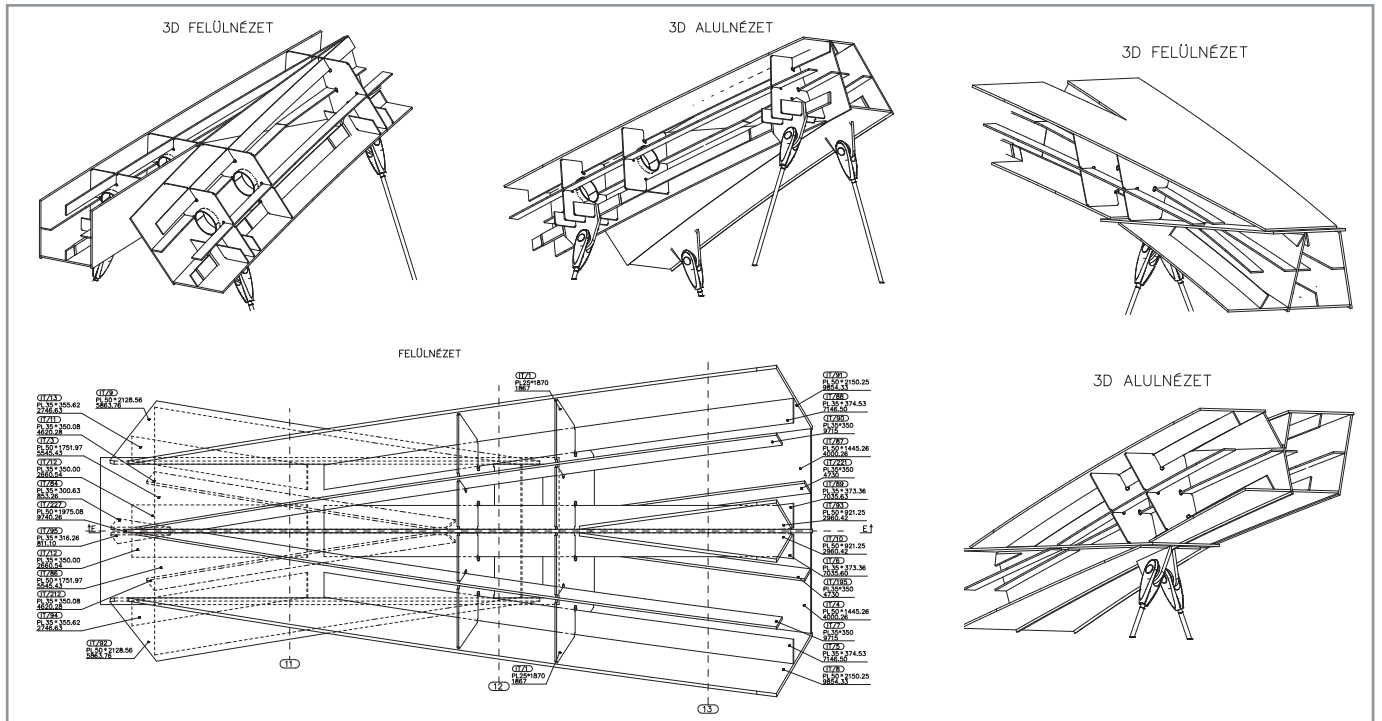
15. ábra: Ívváll függőleges hosszszelvénye



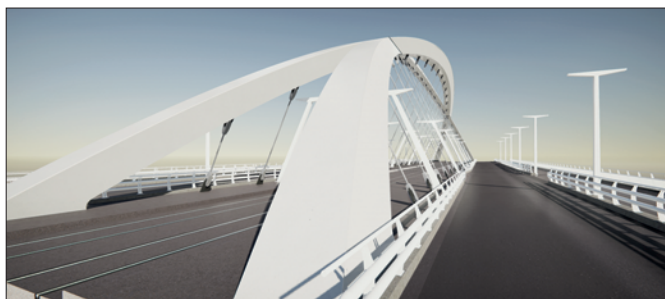
18. ábra: Alsó bekötő csomólemezek



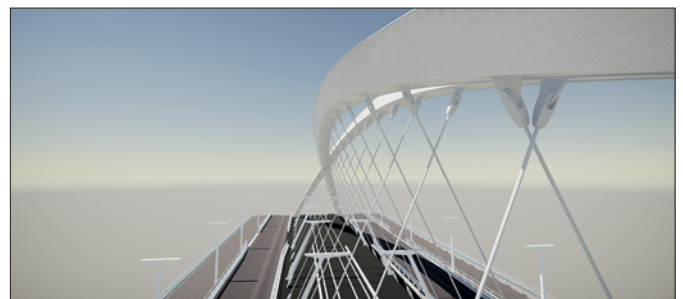
19. ábra: Ív- és merevítőtartó részlettervei



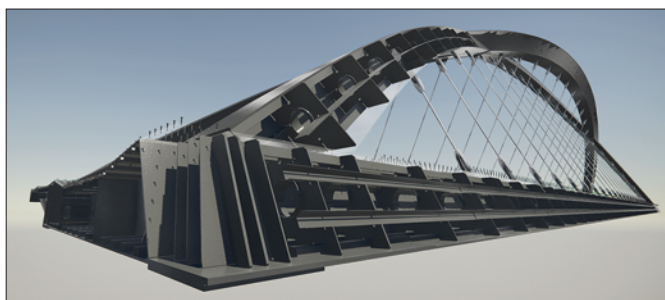
20. ábra: Ívtartó terve keresztvezésnél



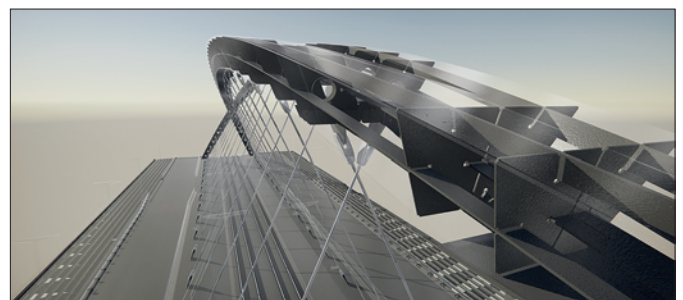
21. ábra: Tekla-modell



22. ábra: Tekla-modell – függesztőelemek bekötése



23. ábra: Tekla-modell – vázszerkezet



24. ábra: Tekla-modell – függesztőelemek bekötése

TERVEZÉSI FOLYAMAT

A híd tervezésében a legnagyobb kihívás a rendkívül széles keresztmetszet merevítése és az ívtartók kialakítása volt. Az ívek esetében több dőlésszöveget kipróbáltunk annak érdekében, hogy szerkezetileg és esztétikailag is megfelelők legyenek az ívtartók.

A híd tervezési folyamatában nélkülözhetetlen volt a BIM tervezési szemlélet és az ezen alapú szoftverek alkalmazása. A híd szerkezetének alapgeometriáját Rhino és Grasshopper szoftverek segítségével parametrizáltuk, programoztuk be.

A tervezés folyamán felmerülő kisebb-nagyobb változtatásokat könnyedén át lehetett vezetni a modellre, illetve a komplex csomópontok kialakításában is segítségül szolgált.

A véglegesített alapgeometriát exportáltuk a statikai számítások elvégzéséhez alkalmazott szoftverekbe, illetve Tekla Structures-be.

A híd részletes modelljét Tekla Structures-ben dolgoztuk ki, mely segítségével készültek el a kiviteli tervek.

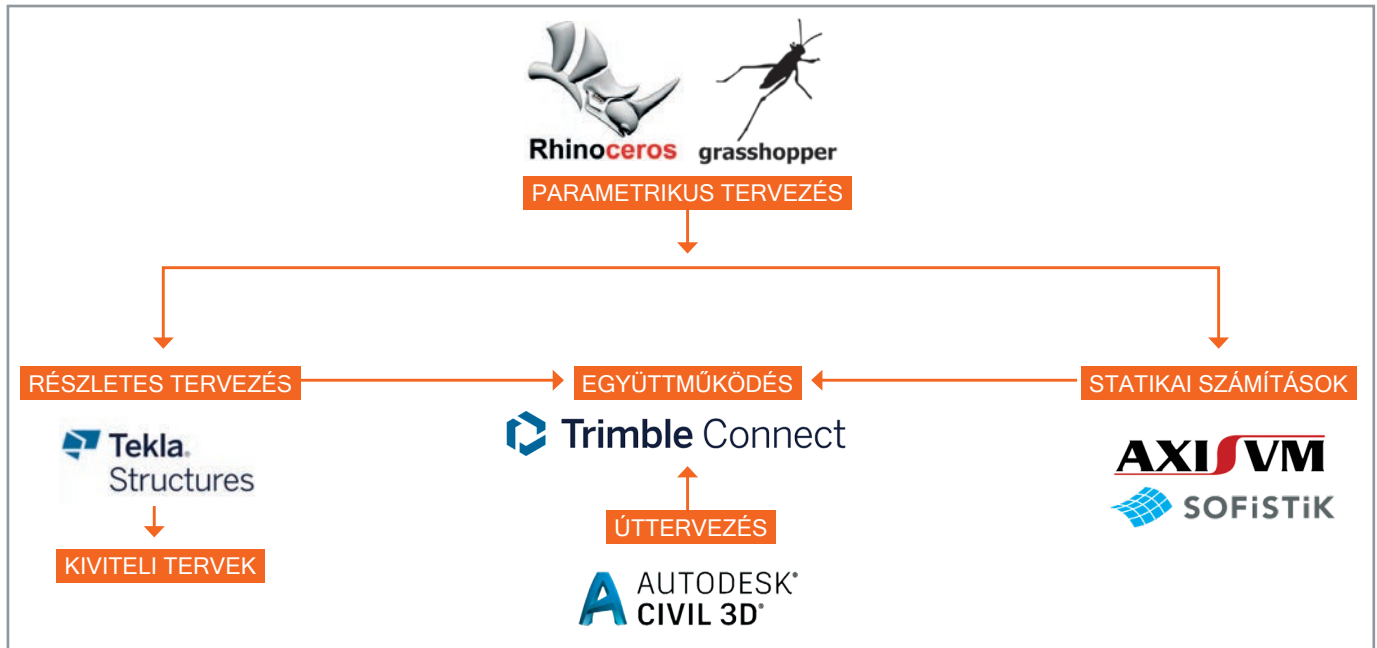
A modellezés során több dinamikusan beállítható, egyedi Custom Component készült, mely segítségével hatékonyan, gyorsan és precízen lehet

tett elkészíteni a teljes modell fennmaradó részét.

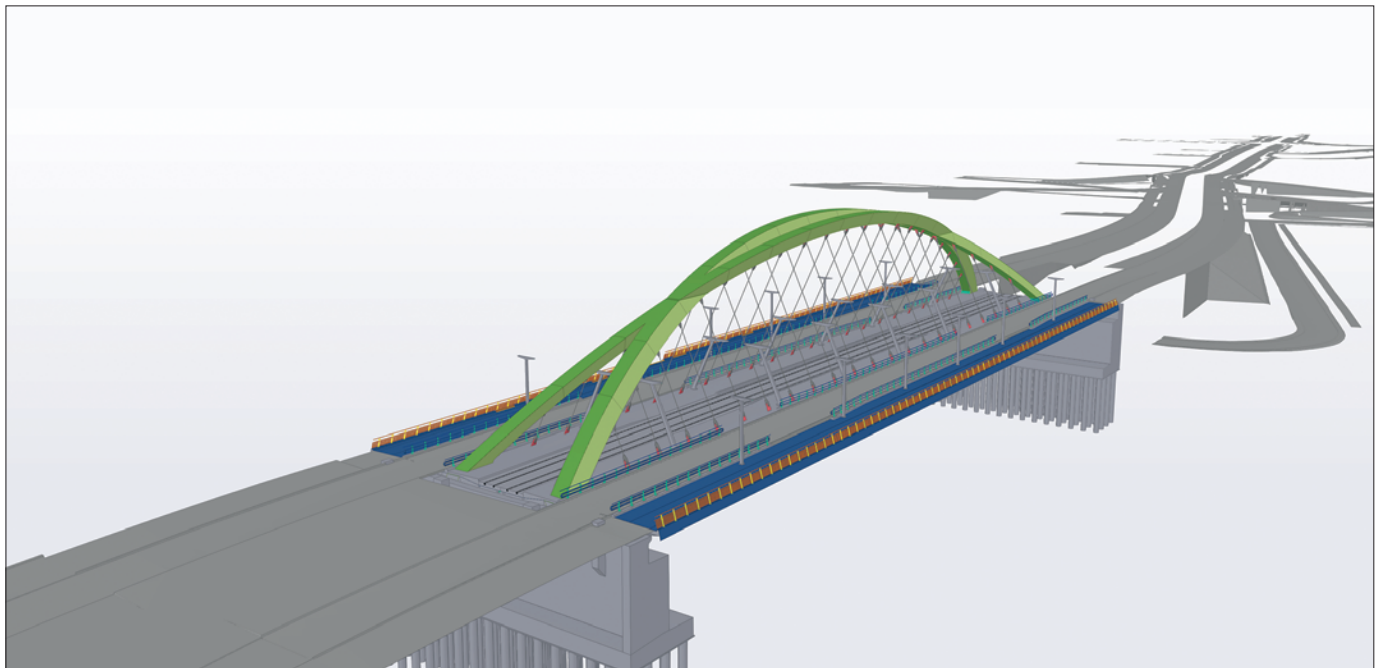
A modellező szoftver nagymértékben megkönnyítette az esetleges hibák elkerülését, a komplexebb csomópontok kidolgozását és az egész szerkezet áttekinthetőségét.

A csatlakozó út tervezése Autodesk Civil 3D-ben történt.

A BIM-alapú tervezés előnyei, mint az ütközésvizsgálat, könnyű nyomon követhetőség, módosítások hatékony és kockázatmentes lekötése mind jól hasznosíthatóak voltak a szerkezettervezésben.



25. ábra: Tervezési folyamat modellje



26. ábra: A díjnyertes tervezett híd és csatlakozó infrastruktúra egybeillesztett modellje Trimble Connect-ben

EGYÜTTMŰKÖDÉS

A tervezési folyamatban a Trimble Connect program segítségével az egyeztetések a társtervezőkkel és a megrendelővel gördülékenyek és hatékonyak voltak.

A referenciamodellként behivatkozott híd, út és statikai számításokhoz alkalmazott modellek segítségével könnyedén észlelhetőek voltak az esetlegesen felmerülő eltérések, és könnyű volt a feladatok követése.

ÖSSZEGZÉS

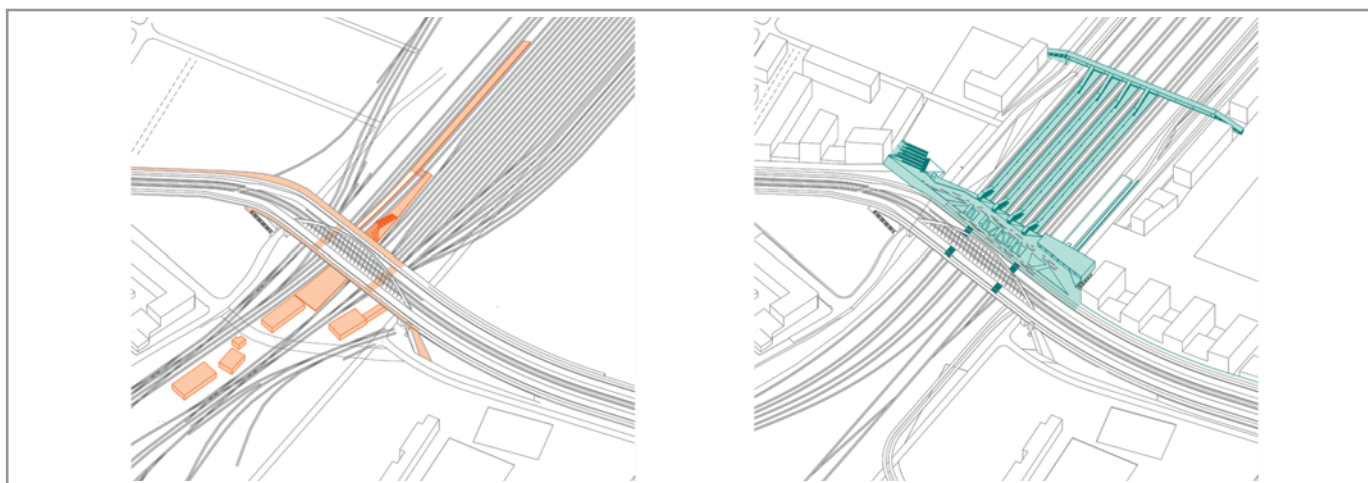
A parametrikus tervezőeszközök használata lehetővé tette az interaktívabb, többféle megoldást tartalmazó opció-

kat a leghatékonyabb tervek kidolgozás érdekében. E híd tervezésénél sok tapasztalatot nyertünk a parametrikus tervezésben és a különlegesebb geometriájú szerkezetek automatizálásában is.

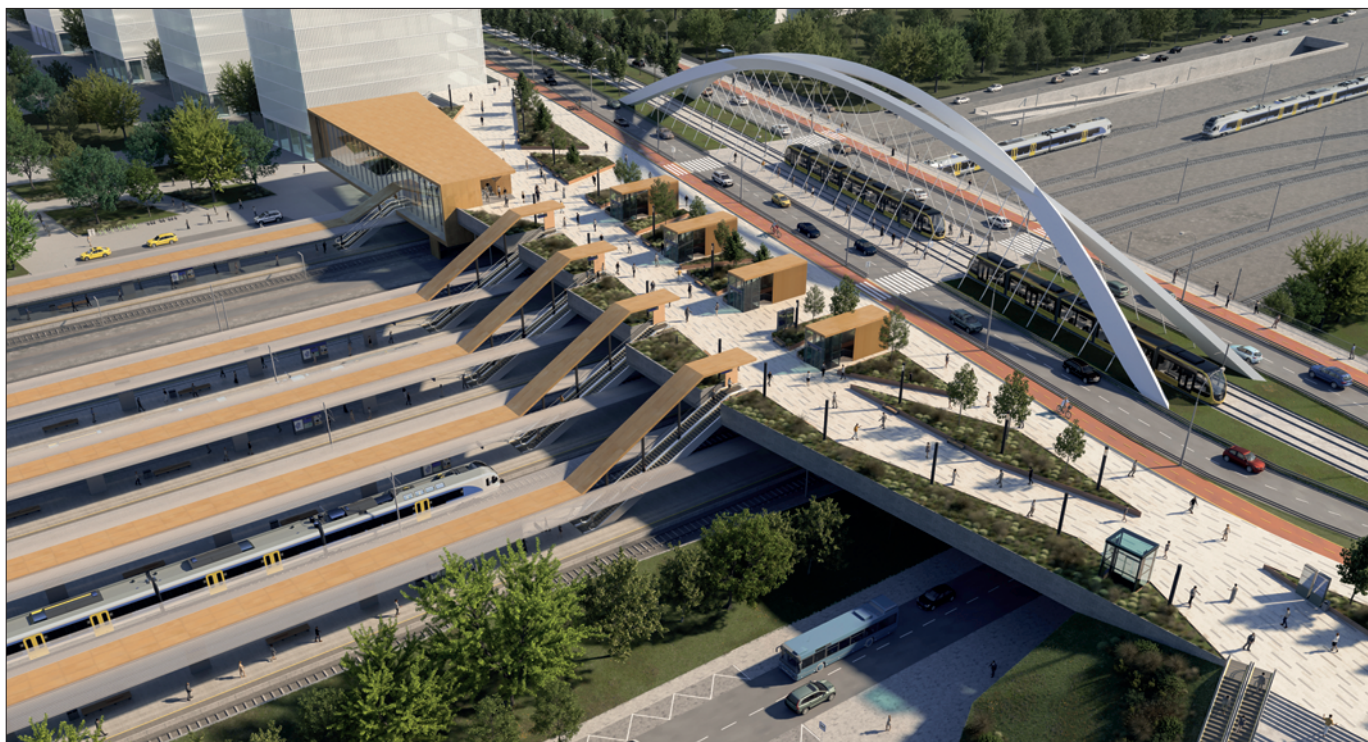
Az adatcsere az út- és villamospálya tervezőkkel az egységes felületek és rendszernek köszönhetően adathiány- és hibamentes volt.

TEKLA BIM AWARDS

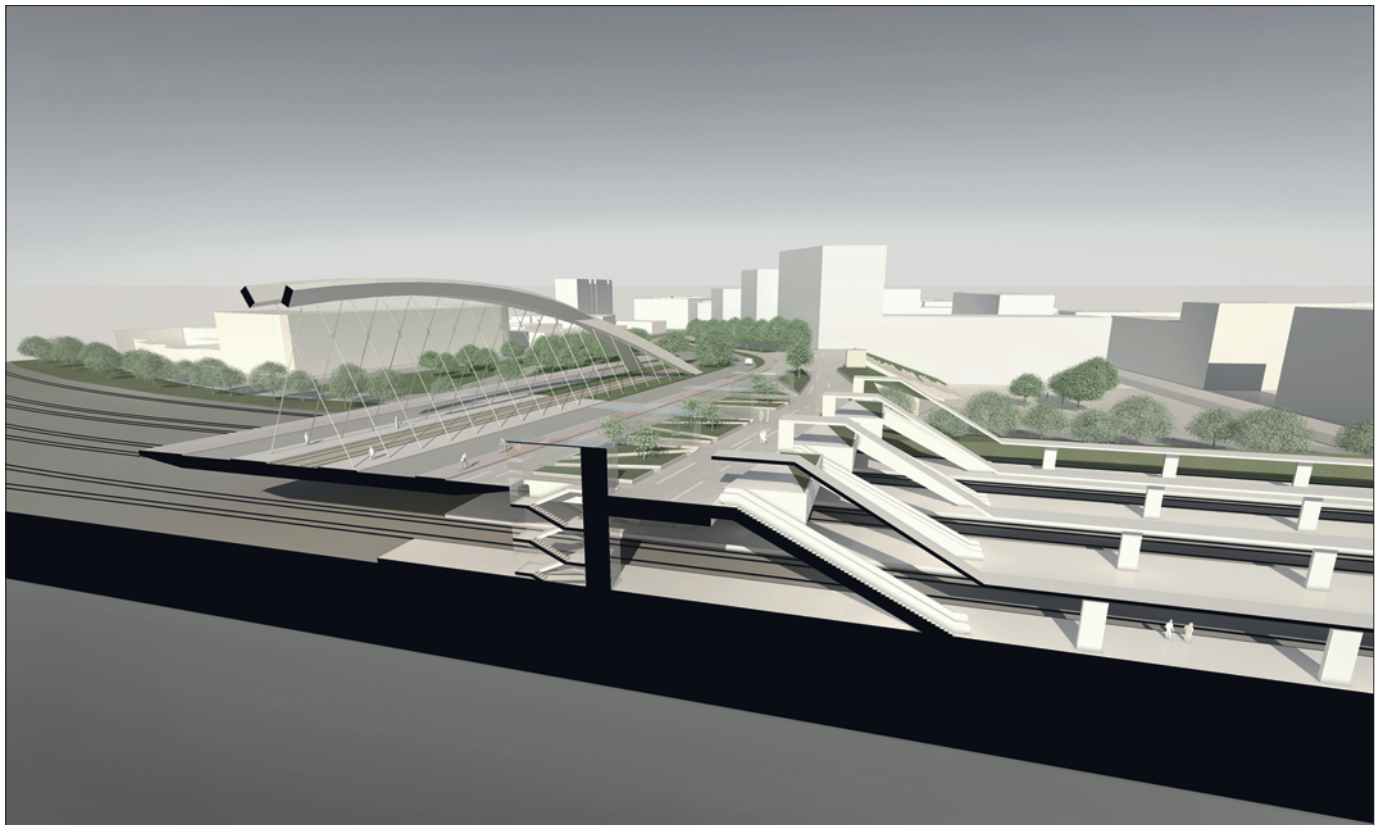
Ezen projekttel a 2023-as Tekla BIM Awards első fordulóját nyertük el infrastrukturális projektek kategóriában, mely lehetővé tette, hogy képviseljük hazánkat a Tekla BIM Awards nemzetközi fordulójában is.



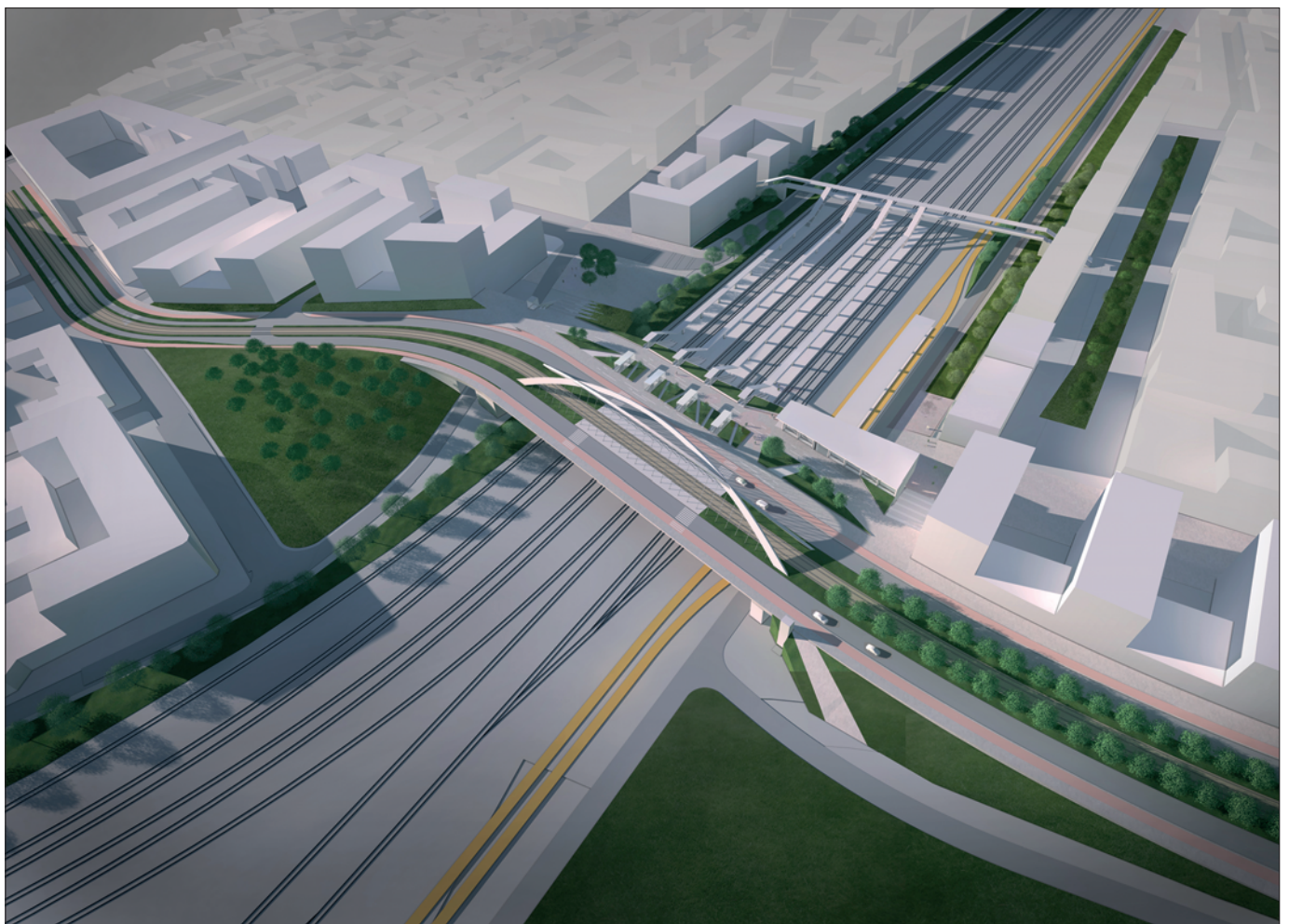
27. ábra: 1-es és 2-es időállapot koncepciója



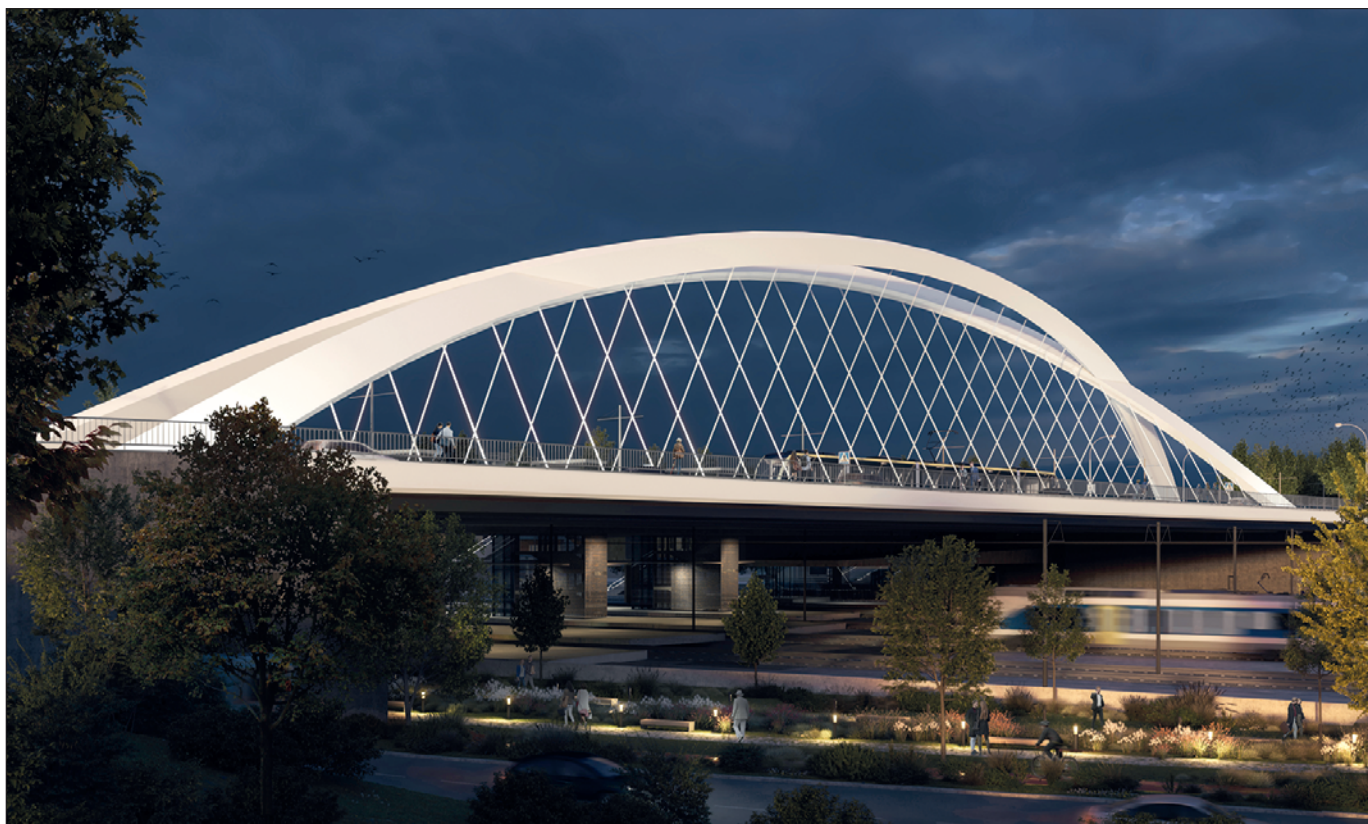
28. ábra: A tervezett híd a távlati térkialakítási koncepció része



29.. ábra: Távlati térkialakítási koncepció



30. ábra: A tervezett híd a távlati térkialakítási koncepció része



31. ábra: Távlati térkialakítás látványterve

ÁBRAJEGYZÉK

SPECIÁLTERV: 1–4. és 6–26. ábrák; SPECIÁLTERV, NAUTES: 5. és 27–31. ábrák

SIZE
COMPARISON
ANIMÁCIÓ

SPECIÁLTERV

INNOVATÍV SZERKEZETEK TERVEZÉSE 1999 ÓTA

www.specialterv.hu [linkedin.com/company/specialterv-kft](https://www.linkedin.com/company/specialterv-kft) [facebook.com/specialterv](https://www.facebook.com/specialterv) [instagram.com/specialterv](https://www.instagram.com/specialterv)

KASZ+ 2025 – XXII. Kecskeméti Acélszobrászati és Képzőművészeti Szimpozion, nemzetközi alkotótábor; KÉSZ Ipari és Innovációs Park

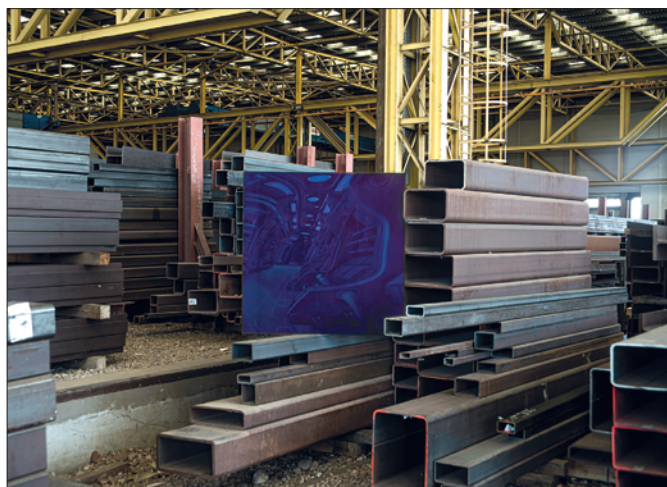
ALKOTÓI GÉNIUSZ – KIPATTANT A SZIKRA!

2025. június 9-én kezdődött és június 27-ig tartott a KASZ+ 2025 nemzetközi alkotótábor, melynek története még 2004 nyarán indult a KÉSZ vállalatcsoport ipari bázisán. Ezen a nyáron kilenc alkotó érkezett a már megszokott nyári ipari kortárs képzőművészeti telepre, mely ezúttal is nemzetközi együttműködésben szerveződött. A hazai alkotók mellett szlovéniai és romániai szobrászok, kreatörök erősítették a művészgardát.

A KASZ+ 2025 művészei:

Antal Malvina szobrászművész • Éles Lóránt szobrászművész • Fock Máté képzőművész (Szlovénia/Magyarország) • Majoros Gyula képzőművész • Marko Šajn képzőművész (Szlovénia) • Primož Pugelj szobrászművész (Szlovénia) • Süveges Rita képzőművész • Tivadar Andrea képzőművész és férje Girmencea - Sepsi Felix (Románia).

A KASZ+ a maga formátumában úttörő kezdeményezésnek számít. Kiemelendőnek mondható a kecskeméti példa: egy termelő ipari park három hétre befogad képzőművészeket, hogy szakmai segítség, gépek, berendezések felhasználásával meglehetősen szabadon alkothassanak, kísérletezhessenek, acél- és egyéb ipari alapanyagokkal, technikákkal. Az alkotók többségének nem, vagy nagyon kevés alkalommal nyílik lehetősége ilyen mentorálást élvezni, kibontakozni egy működő gyárban. A szakoktatóktól kapott ismer-



etek, a gyorsképzés eredményeként könnyűvé vált a hegesztés többek számára. A művészek megtanulhatták, mi az az AWI és a CO. A plazmavágás a fémalakítást gyorsította meg, ahogy a programozott lézervágás is az alkotók munkáját segítette. A szobrászok egymást is támogatták. A tapasztaltabb tanáccsal szolgált a vas megmunkálásában járattalabb művész társnak. A képpalkotók szoborba öntötték rajzaikat, kiléptették a térbe ezeket, így körbejárható testekké váltak. A festmények, síkábrázolások ötletet merítettek az ipari környezetből, a geometrikus, műszaki formák, elemek szolgálhattak témául.

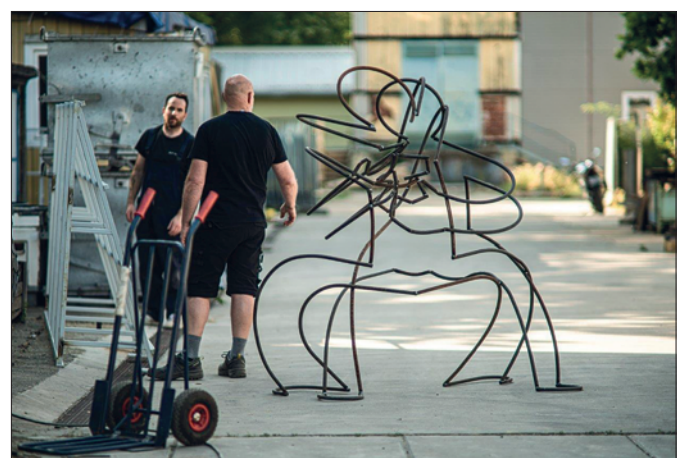




A KASZ a kezdetektől példát mutat az újrahasznosításra, az anyag körforgatására. A hulladék acél, a maradék fémelemek, alkatrészek közkedvelt és tudatosan használt alapanyagai az alkotásnak. A kidobásra ítélt hulladék így nyer esztétikus formát, művészeti élményt.



Az alkotótábor nem csak munkáról, a „termelésről” szólt. Éjszakába nyúló beszélgetések, egymás gondolatainak megismerése, közös programok szervezték az alkotói gárdát baráti társasággá. A közös sörözés, fagyizás, a város szövetének megtapasztalása, a





kecskeméti múzeumok meglátogatása, a helyi művészeti kiállítások megismerése a Múzeumok Éjszakáján újabb közös élményekkel szolgált.

Az alkotótelep eredményesen zárult, a nyár folyamán a KÉSZ Csoport kecskeméti irodaházának mélygarázsában rendezett kiállításon csodálhatták meg a műveket (52 darab zsűrizett műalkotás született) az érdeklődők, iskolai osztályok, hazai és külföldi turisták.

A született művekből szeptember 26-án egy válogatás-kiállítás nyílt Szegeden a KÉSZ irodaházának (egykori

Európa Szálló) gyönyörű aulájában a PALÁNKOS Belvárosi Kultúrfeszt keretében. Az itt bemutatott művek mindenki számára ingyenesen megtekinthetők 2025. október 31-ig.

A KÉSZ Csoportnak jelentős acélszerkezet-gyártó bázisa, homlokzatburkolat-gyártó üzemei vannak a KÉSZ Ipari és Innovációs Parkban Kecskeméten. Az Izsáki út – Korbánközi út között fekvő 13 hektáros, hatalmas ipartelep adja a helyszínét a KASZ+ rendezvényeinek, az alkotótáboroknak. Az elmúlt két évtized alatt ebben az ipari alkotói környezetben 139 művész 1249 zsűrizett műalkotást készített a szimpozionok során. A műtárgyak több jelentős magyarországi és külföldi tárlaton jelentek meg, az alkotótábor a művészeti szakma hivatkozási pontja lett. Az alkotótáborok rendezője a KARTS Művészeti Alapítvány a cégcsoport művészeti mecenatúra programjának szervezője, legfőbb feladata a kortárs – acél és egyéb ipari alapanyagokkal dolgozó – képzőművészet népszerűsítése Magyarországon és külföldön egyaránt.



AKÁR 50%-S
KÖLTSÉGCSÖKKENTÉS



KIEMELKEDŐ
TERMELÉKENYSÉG



MEGBÍZHATÓAN
ROBOSZTUS



KIVÁLÓ
ERGONÓMIA



5 ÉV
GARANCIA*

* áramforrásokra vonatkozik:
3 év normál garancia
2 további év a végfelhasználó
regisztrációjától számítva.

SPEEDTEC® PULSE RANGE TÖKÉLETES TELJESÍTMÉNY

Az új SPEEDTEC® 400SP és 500SP harmadik generációs, többfunkciós áramforrások, amelyek kiemelkedő minőségű hegesztéssel és magas hatékonyságú eljárásaikkal növelik a termelékenységet és a újabb lépést jelentenek a professzionális hegesztés jövőjének útján.

- **Speed Short Arc**: gyorsabb hegesztés alacsonyabb hőbevitel mellett.
- **High Penetration Speed™** a mély beolvadású hegesztési folyamatokhoz.
- **Soft Silence Pulse™** csökkenti a zajt és egyértelműen jobban nedvesíti a rozsdamentes acélt.
- **MECHAPULSE™** kiváló minőségű varratok pikkelyezett varrat megjelenéssel.
- Magas bekapcsolási idejű, többféle eljárásra alkalmas áramforrások.
- Mindkétoldalon teljesen szigetelt PCB, kiválóan ellenáll a pornak, nedvességnek, rázkódásnak vagy rezgésnek.
- 5 éves garanciával megerősített igazán nagy teherbírás.
- Moduláris koncepció bármilyen követelmények megfelelő konfiguráció kiépítéséhez.
- Az ergonómikus tervezés megkönnyíti a hegesztők munkáját.

☎ +36 70 610 9582

✉ svegso@lincolnelectric.eu

www.lincolnelectriceurope.com

LINCOLN®
ELECTRIC

B-WIM-RENDSZER FEJLESZTÉSE VASÚTI HÍDRA

1. BEVEZETÉS

A digitális ikrek egy viszonylag új, néhány éve jelen lévő kutatási témakör a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén. A Bridge Weigh-In-Motion egy alapvető technológia, amikor hidak digitális ikreiről beszélünk, egy potenciális eszköz ahhoz, hogy a digitális ikret valós idejű információkkal lássuk el a tényleges entitás forgalmi terheléséről, egy alternatíva a manapság a monitoringrendszerekben alkalmazott tengelysúlymérőkre. Építmény-informatikai MSc szakdolgozatom témájaként ezt a technológiát választottam, mely dolgozatomat ezen cikkben összefoglalom.

A tanszék egy korábbi projektjének eredményeként már rendelkezésre áll egy B-WIM keretrendszer. Ezt a rendszert a komáromi Monostori hídra fejlesztették. Szakdolgozatom célja ennek a közútra fejlesztett keretrendszernek egy vasúti hídra, nevezetesen a Szerémi út felett épülő új acélszerkezetű vasúti hídra történő adaptációja volt.

A B-WIM-rendszerek a hídon lévő nyúlásmérő szenzorok jeleivel működnek. A tanulmány készítésének időpontjában a vizsgált vasúti híd még építés alatt áll, így mérési adatok nem állnak rendelkezésre, a munka csak szimulált adatokon alapulhat.

A projekt első része hatásvonalak előállítása volt, amelyek elengedhetetlenek a nyúlásjelek szimulációjához és szükségesek a keretrendszer több moduljának működéséhez. A hatásvonalak meghatározása végeleges szimuláció (FEM) útján történt, szkriptelt parametrikus modellel és automatizált szimulációs folyamatokkal, az Ansys Parametric Design Language (APDL) segítségével.

A második rész a keretrendszer adaptálásából és néhány lehetséges konfigurációval történő teszteléséből áll. A keretrendszer bővült egy új, a konvolált reciprocitáson alapuló sebességbecslő modullal és egy új, a Wavelet-transzformáción alapuló tengelydetektáló modullal. Néhány lehetséges szenzorkonfigurációt összeállítottam a hatásvonalak karakterisztikáján alapuló feltételezésekre támaszkodva. Ezeket teszteltem, majd az eredmények alapján javaslatot tettem a híd megépülése után telepítendő szenzorkonfigurációra.

2. A B-WIM-TECHNOLÓGIÁRÓL

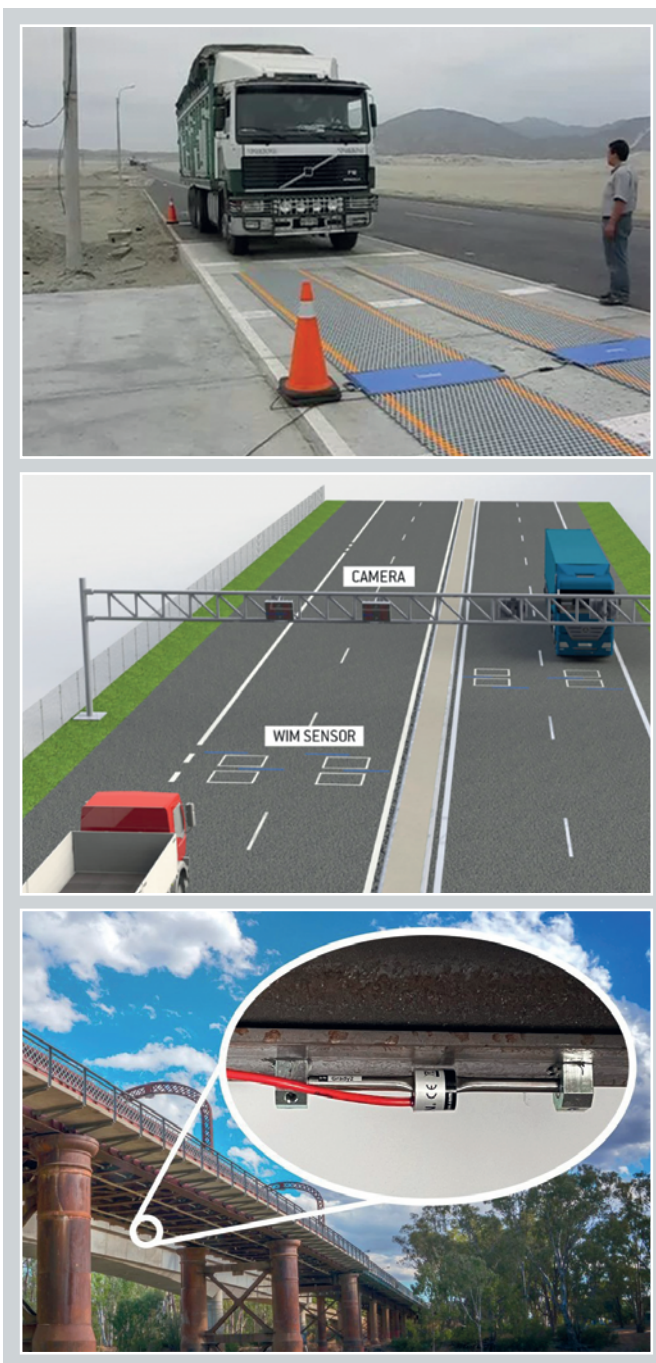
2.1. A B-WIM definiálása

A Bridge Weight-In-Motion, vagy röviden B-WIM, egy olyan technológia, amely segítségével magát a hídszerkezetet használjuk fel mérési mechanizmusként a rajta áthaladó járművek tengelysúlyainak meghatározásához a jármű haladásának zavarása nélkül. A szerkezet forgalmi terhekre adott mért válaszaiból (jellemzően szerkezeti elemek nyúlása) különböző algoritmusok segítségével meghatározhatók az áthaladó forgalom paraméterei.

A B-WIM által kinyert adatok kulcsfontosságúak lehetnek többek között valós idejű szerkezetállapot-felügyelet, fáradási életciklus nyomon követése szempontjából. Az így gyűjtött nagy mennyiségű adat hasznos lehet tovább-

bá fáradási tehermodellek pontosításához, illetve okosváros és egyéb AI-megoldások számára. A cél olyan pontosság elérése, hogy a rendszer hatósági felhasználásra, tengelysúlyok ellenőrzésére is alkalmas legyen.

A B-WIM-rendszer képes lehet a híd digitális ikertestvérét valós idejű adatokkal ellátni. Ez egy potenciális eszköz a szerkezet integritásának valós idejű nyomon követésére [1].



1. ábra: Különböző módszerek közötti tengelysúlymérésre (képek forrásai: www.massload.com, www.its-is.com, Practical Engineering YouTube channel)

A forgalmi tengelysúlyok mérésére több technológia is rendelkezésre áll. A legelterjedtebb hatósági megoldás a statikus mérlegelés, amely pontos eredményeket ad, de megköveteli a járművek megállását. Ennek egy enyhébb változata a lassú menet közbeni mérés (10–20 km/h sebességgel), amely ugyan gyorsabb, de szintén csak korlátozott számú jármű mérésére alkalmas, így nem ad teljes képet a forgalomról.

A Weigh-In-Motion (WIM) rendszerek megállás és lassítás nélkül képesek a tengelysúlyok mérésére, ezért széles körben alkalmazzák. Hátrányuk, hogy az útburkolat alá telepített érzékelők sérülékenyek, karbantartásuk költséges, és a karbantartási munka forgalomkorlátozással jár.

A Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) rendszerek ezzel szemben a hidak szerkezetét használják mérőeszközként. Az érzékelők általában a pályalemez alatt helyezkednek el, így könnyen hozzáférhetők, nem igényelnek burkolatbontást, és nem zavarják a forgalmat. A hidak az autópálya-infrastruktúra kritikus részét képezik, így a felügyeleti rendszer rájuk történő telepítése megnehezíti, hogy a járművek alternatív útvonalakon elkerüljék a mérési ponton való áthaladást [2].

2.2. Történeti áttekintés

Az elektronikus járműmérés iránti érdeklődés az 1960-as évek elején alakult ki, kezdve a Michigan-ben és Texasban működő kísérleti, mozgás közbeni mérlegelési rendszerekkel. Az 1970-es években kutatók, mint például Fred Moses és George Goble a Case Western Reserve Egyetemen munkájukkal megalapozták a modern B-WIM-rendszereket. Moses 1979-es, mérföldkönek számító publikációja [3] felvázolta a tehergépkocsik tengelysúlyának a híd alakváltozására vonatkozó adatok alapján történő becslésére szolgáló statisztikai módszertant, megszilárdítva ezzel a B-WIM-konceptiót.

Ezzel párhuzamosan Ausztráliában az AXWAY- és a CULWAY-rendszereket fejlesztették ki, amelyek a Moses-féle B-WIM-elveket az ausztrál viszonyokhoz igazították. Ezek a rendszerek a hagyományos hidak helyett átereszekeket használtak a járművek mérésére, kihasználva ezen szerkezetek alacsony rezgésszintjét a mérési pontosság javítása érdekében.

A B-WIM iránti európai érdeklődés az 1990-es években nőtt meg az olyan kezdeményezésekkel, mint a COST 323 [4] program, amely az európai szabványosított WIM-rendszerek kifejlesztésére összpontosított. A program, valamint a WAVE (Weighing-in-Motion of Axles and Vehicles for Europe) projekt elősegítette a B-WIM műszaki kihívásaira – például a tengelyek felismerésére, kalibrálására és dinamikus modellezésére – irányuló közös kutatást. E programok révén a kutatók a tengelyterhelés és a járműsebesség mérésére szolgáló különböző innovatív technikák bevezetésével finomították a B-WIM pontosságát.

A B-WIM-rendszerek fejlesztésében fontos mérföldkő a „Nothing on the Road” (NOR) koncepció bevezetése, amely a tengelysúlyok és más szükséges paraméterek (pl. sebesség, tengelypozíció) becslését kizárólag a híd szerkezeti válaszaiból végzi, úttestre telepített érzékelők nélkül. Ez jelentősen csökkenti a telepítési költségeket, és minimalizálja a forgalom zavarását. Ezek a rendszerek a tengelysúlyok becsléséhez szükséges egyéb paramétereket, mint a sebesség, vagy a tengelyek helyzete is a szerkezet mért válaszaiból kalkulálják különböző sebességbecslő és

tengelydetektáló algoritmusok alkalmazásával. A manapság megvalósított B-WIM-rendszereknél gyakran ezen algoritmusok fejlesztése jelenti a legnagyobb kihívást.

A B-WIM-rendszerek jellemzően a szerkezeti alakváltozások mérésén alapulnak, de alternatív megközelítésekkel is kísérleteztek, például repedéstágasság-méréssel vasbeton hidakon. Bár ez a módszer ígéretes volt, alkalmazhatóságát korlátozta a repedések jelenlététől és állandóságától való függősége.

A 21. századra a B-WIM-technológia elérte azt a szintet, ahol már hatékonyan alkalmazható túlsúlyos járművek előszűrésére, noha pontossága még elmarad a statikus mérlegeléstől. A Moving Force Identification (MFI) technika új megközelítést kínál: a statikus feltételezések helyett figyelembe veszi a jármű–híd rendszer dinamikus kölcsönhatásait, így pontosabb teherbecslést tesz lehetővé.

Léteznek kereskedelmi forgalomban kapható, de még nem elterjedt B-WIM-rendszerek (pl. a szlovéniai CESTEL által kifejlesztett SiWIM-rendszer), illetve több ígéretes rendszer áll fejlesztés/tesztelés alatt, piacra lépés előtt, pl. egy BME-n fejlesztett rendszer, mely a komáromi Monostori hídon tesztelt, a gyakorlatban működő (12366 számon önkéntes műnyilvántartásba vett) megoldás [5].

2.3. Tengelysúlybecslő algoritmusok fajtái

A B-WIM-rendszer fejlesztésének több lehetséges koncepciója van. A szakirodalomban különböző módszerek és algoritmusok találhatóak. Minden módszernek megvannak a maga előnyei és hátrányai, illetve bizonyos feltételek mellett működnek megfelelően. A rendszer optimális konfigurációja (az érzékelők elhelyezése, a szoftver) a híd szerkezetétől, az átmenő forgalom jellemzőitől függően változhat, így minden különböző alkalmazás egy kissé eltérő, kifejezetten az adott műtárgyra kifejlesztett/optimalizált megoldást igényelhet.

A B-WIM-rendszerek kategorizálásának számos lehetséges módja van. Logikus megközelítés a tengelysúlyok becslésére használt algoritmusok szerinti osztályozás, mely szerint a következő kategóriákat tudjuk megkülönböztetni:

Determinisztikus megközelítések:

- Statikus B-WIM
- Dinamikus B-WIM

Adatvezérelt megközelítés:

- Neurális hálók

2.3.1. Statikus algoritmusok

A statikus módszer a legelterjedtebb megközelítés B-WIM-rendszerek fejlesztéséhez.

A statikus B-WIM csak a híd statikus egyensúlyára támaszkodó elméletre épít, a dinamikus teher keltette rezgésektől eltekint. A mért szerkezeti válaszok a statikai egyensúlyi állapot körül oszcillálnak a dinamikus terhelés miatt. Ezt az oszcillációt a statikus algoritmusok a rögzített adatokban jelen lévő zajként kezelik.

Ezt az elvet a B-WIM korai időszakában Moses [3] vette be, és azóta világszerte alapvető koncepcióvá vált. Egyszerű fizikai modellje és alacsony számítási igénye miatt ideális választás valós idejű alkalmazásokhoz. A napjainkban kifejlesztett statikus megoldások gyakran még mindig a Moses által bevezetett elméletre támaszkodnak. Ezek az algoritmusok a tengelysúlyokat egy túlhatározott egyenletrendszer optimalizálásával becslik, amely a szenzorjelek és az adott hatásvonalak alapján jön létre:

$$s(t_j) = \sum_{i=1}^N A_i I[v_i(t_i - t_j)]; \quad j = 1 \dots M$$

ahol:

$s(t_j)$ a j -edik időpontban rögzített szenzorjel,
 A_i az i -edik ismeretlen tengelysúly,
 $I[x]$ a szenzorhoz tartozó hatásvonal értéke x helyen,
 t_i az az időpillanat, amikor az i -edik tengely áthalad egy bizonyos pozíció felett (tengelydetektáló modul által meghatározott érték),
 v_i az i -edik tengely sebessége (sebességbecslő modul által meghatározott érték).

Több érzékelő és nagy mintavételi frekvencia alkalmazásával rengeteg ilyen egyenlet áll elő.

Ez a megközelítés különösen rövidebb fesztávú hidakon működik jó, ahol a dinamikai hatások kisebbek. Carraro et al. [6] tanulmánya szerint a statikus B-WIM-módszerek robusztus teljesítményt nyújtanak különféle hídkonfigurációk és útburkolati viszonyok mellett, különösen kis fesztávolságok esetén. Bár a nagyobb fesztávok és az útfelület érdekessége felerősíthetik a dinamikus hatásokat, ezek egyszerűsített kalibrációval részben kompenzálhatók.

A statikus B-WIM széles körű elterjedtsége köszönhető annak is, hogy alkalmas kvázi valós idejű eredmények produkálására. A statikus B-WIM-rendszereket, mint jól hozzáférhető technológiát, ma már széles körben használják monitoringcélokra.

2.3.2. Dinamikus algoritmusok

A dinamikus B-WIM-algoritmusok a híd dinamikus válaszi alapján számítják az áthaladó járművek paramétereit.

A statikus módszerek legnagyobb gyengesége (bár végtében erősségei is ebből fakadnak) a dinamikus jármű-híd kölcsönhatás figyelembevételének hiánya. A hiba mértéke a fesztáv hosszával vagy a jármű-híd tömegarányával növekedhet.

Ezek a rendszerek átfogóbb válaszreakciót képesek megragadni, lehetővé téve a járműtömeg és a tengelysúlyok pontosabb becslését különböző üzemeltetési körülmények között, például különböző forgalmi sebességek és hídfesztávolságok mellett.

A legismertebb megközelítés a Moving Force Identification (MFI) [7] módszerek alkalmazása.

Ezek a módszerek olyan modelleket használnak, amelyek szimulálják a híd mozgó terhelésre adott válaszait, figyelembe véve a jármű sebességét, a tengelykonfigurációkat és a dinamikus hatásokat, a jármű keltette rezgéseket.

Ezek a feladatok nagy összetettségű modelleket eredményeznek. Kezdetben a kutatók nagy egyszerűsítéseket alkalmazó modellekkel kísérleteztek, de rájöttek, hogy ezek az egyszerűsítések nem képesek szimulálni a szerkezet reális dinamikus viselkedését, így az évek során a hídmodell komplexitása egyre nagyobb lett. A nagy számítási igény miatt ezek a módszerek nem alkalmasak valós idejű alkalmazásokra. A dinamikus FEM-szimulációk még nagy teljesítményű gépeken is hosszú időt igényelnek, így az ilyen rendszerek gyakorlati alkalmazása korlátozott.

A kutatások jelenleg arra irányulnak, hogy csökkentsek a számítási igényt. Wang és munkatársai [8] egy félstatisztikus módszert mutattak be, amely dinamikus hatásvonalakat használ, és a dinamikus viselkedést a jármű sebességének függvényében integrálja a modellbe. Ez a megközelítés azonban még csak elméleti, és kéttámaszú gerendára alkalmazták.

MacLeod és társai [9] ezzel szemben egy gyakorlatban is tesztelt megközelítést javasoltak: a híd modális paramétereit (sajátfrekvenciák, sajátalakok, csillapítás) helyszíni mérésekből határozták meg és ágyazták a rendszerbe, így elkerülhetővé vált a FEM-szimuláció. A módszer tetszőleges geometriai kialakítású és peremfeltételű hidakra alkalmazható, kísérleti eredményeik biztatónak mutatkoztak.

2.3.3. Neurális hálók

A legújabb B-WIM-kutatásokban egyre gyakrabban alkalmaznak mesterséges neurális hálókat (különösen deep learning technikákat), hogy kiváltsák a számításgépes determinisztikus megközelítéseket. Ezek a módszerek képesek nagy adathalmazokból kinyerni a járművek tömegére és tengelysúlyaira vonatkozó információkat, gyakran nagyobb pontossággal, mint a hagyományos eljárások.

A korai példákban – például Kim et al. [10] vagy Wu et al. [11] munkáiban – a neurális hálók tanításához más WIM-rendszerekből származó adatokat, illetve kiegészítő érzékelők (pl. tengelydetektorok, kamerák) méréseit használták, ami korlátozta a megoldások általános alkalmazhatóságát. Ezzel szemben a BME Monostori hídon végzett kutatása [5] kapcsán Szinyéri et al. [12] már egy olyan fejlett, deep learning alapú B-WIM-rendszert mutat be, amelyhez célzottan generált, nagy mennyiségű szimulált adathalmazt alkalmaztak a neurális hálók tanításához, majd a modellt valós mérési adatokkal is validálták. A kizárólag nyúlásmérők adatait felhasználó rendszer pontos tengelysúly-becslést tesz lehetővé, és teljesíti a COST 323 szabvány A osztályú pontosságát követelményeit.

2.4. A B-WIM kiterjesztése közútról vasúti hidakra

Míg a B-WIM-rendszereket eredetileg közúti hidakra fejlesztették, a növekvő vasúti forgalom és az előregedő infrastruktúra miatt egyre nagyobb igény mutatkozik a technológia vasúti hidakra történő kiterjesztésére. A vasúti alkalmazásra irányuló kutatások a 2000-es évek elején indultak, és kezdetben a sínszalakra telepített nyúlásmérőkre alapozták a tengelyterhelések, tengelytávolságok és sebességek meghatározását. Az egyik első ilyen rendszer Karoumi et al. nevéhez fűződik, aki Svédországban egy egynyílású hídon végzett kísérleteket, ezek azonban nem jutottak el a gyakorlati megvalósításig [13].

A 2010-es években az első megvalósított megoldások között volt Marques et al. munkája a portugáliai Trezói hídra [13] és Znidarič et al. munkája egy Varsó melletti rácsos tartós vasúti hídra [14]. Mindkét rendszer tengelysúlybecslése Moses algoritmusán alapult, azonban a vasúti környezet számos egyedi kihívást vetett fel, amelyek korlátozták az alkalmazhatóságukat.

A Marques és társai által kifejlesztett rendszer nem volt képes a tengelyek azonosítására pusztán a hídon mért alakváltozások alapján. Az egymáshoz közel elhelyezkedő tengelyek felismerése (mikor azok ugyanazon a forgószámon vannak) nehéz a híd alakváltozási adataiból, különösen, ha a hídon a vasútípaaágyazat átvezetéses. A vasúti felépítmény és az ágyazat teherelosztó hatása miatt a pálya alatti hídszerkezeti elemekre gyakorolt hatás egy kiterjedtebb felületen oszlik meg, ami a markáns lokális csúcsok hiányát okozza a mért alakváltozási jelekben, mely csúcsok detektálása több algoritmus esetében kulcsfontosságú lehet. E probléma kiküszöbölése érdekében a tengelyek helyzetének és sebességének meghatározásához a sínek alak-



változásait mérték. Ez a módszer azonban, bár pontos tengelyazonosítást biztosíthat, kívül esik a NOR-megközelítésen, mely koncepció alapján kerülendő az érzékelők pályán történő elhelyezése. A tengelysúly becsléséhez a keresztartókra szerelt nyúlásmérőket használták.

A másik említett projektben Znidarič-ék célja az volt, hogy a *SiWIM* nevű, közúton jól bevált rendszer alkalmazhatóságát kiterjessze a vasútra. Az így kapott *Railway B-WIM* szoftvert egy 40 m hosszú, rácsos tartós hídon tesztelték Varsó közelében. A rendszer kudarcot vallott az alakváltozásokból történő tengelyazonosítás során, így végül itt is a sínek alsó peremére helyeztek el érzékelőket – ezzel szintén elhagyva a NOR-kompatibilitást.

További jelentős problémát jelentett a hosszú vasúti szerelvények mozgása közben fellépő sebességváltozás. A rendszert terepi mérések során négy előre lemért vonat áthaladásával validálták. Míg az egyik vonat esetében kielégítő pontosságot értek el, a másik három esetében akár 30%-os eltérés is jelentkezett a számított és valós kocsisúlyok között. Az utólagos elemzés kimutatta, hogy ezek a szerelvények változó sebességgel haladtak át a hídon, ami jelentős hibát okozott a tengelypozíciók számításában. Ez a probléma közúti környezetben kevésbé jelentkezik, mivel a rövidebb járművek esetén az átlagsebesség becslése nem okoz jelentős hibát a tengelyek pozíciójának számításában.

3. B-WIM FEJLESZTÉSE ÉPÜLŐ VASÚTI HÍDRA

Az alkalmazott B-WIM-rendszer fejlesztésének és tesztelésének alapját végeselemes szimulációval számított hatásvonalak, valamint ezek alapján generált szintetikus nyúlásjelek képezték. A végeselemes modellezést és szimulációkat az ANSYS Mechanical szoftverrel végeztem, míg az adatok feldolgozását, a hatásvonalak kiértékelését és a nyúlásjelek generálását saját fejlesztésű Python-alapú szoftver valósította meg. Maga a B-WIM-rendszer a BME-n fejlesztett, Python-alapú *neuralbwim* keretrendszerre [5] épül, amelynek moduláris jelfeldolgozó architektúrájához új funkcionális egységeket (modulokat) fejlesztettem a különböző járműparaméterek megbízható becslése érdekében.

3.1. Hatásvonalak előállítása végeselemes szimulációval

3.1.1. Végeselemes modell bemutatása

A modell célja elsősorban a forgalmi terhek hatásának elemzése, a modell felépítésének alapvető feltevéseit ennek szempontjában határoztam meg.

A híd jobb oldalán található vizsgálójárdáról forgalmi teher hatására nem adódik át igénybevétel a felszerkezetre, így a platformot a modelltől elhanyagoltam.

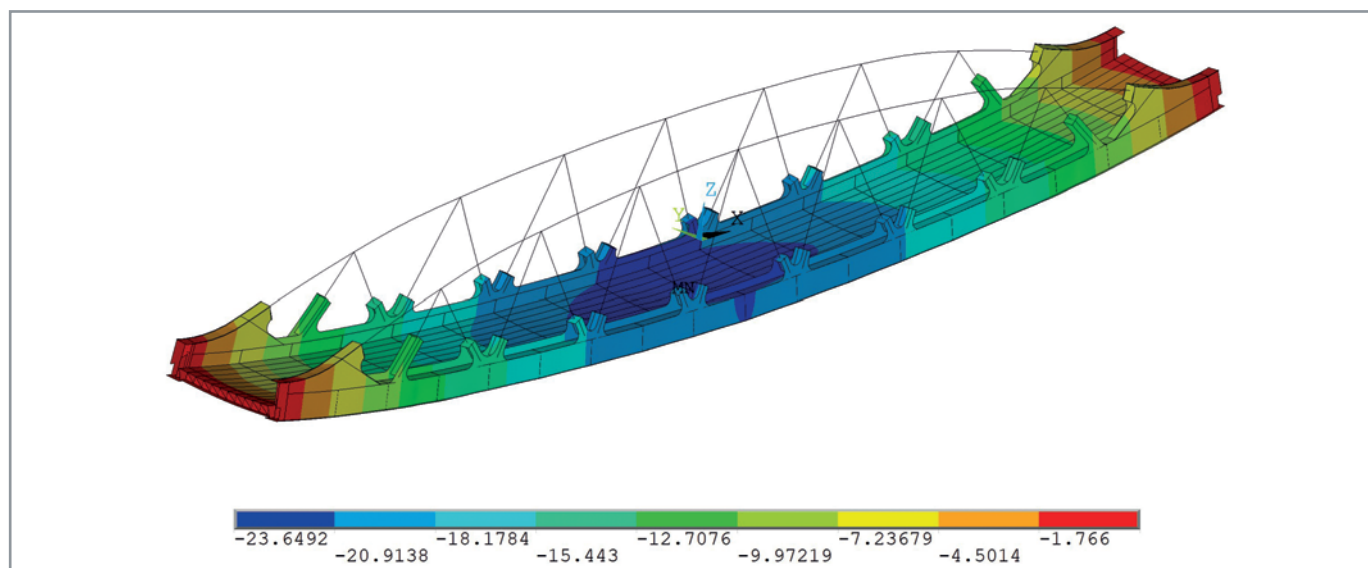
A felépített modell egy héj-gerenda modell, ahol a pályaszerkezet és a közvetlenül kapcsolódó elemek, egészen a rácsrudakat bekötő csomólemezekig héjként, míg a rácsos tartók felső övrúdjai és a diagonális rácsrudak gerendaként kerültek modellezésre.

A szimulációk futtatása 4 darab Ansys Parametric Design Language (APDL) makró alkalmazásával történik. Az egyik a modell felépítéséért, egy a kigyűjtendő eredménykomponensek kijelöléséért, a harmadik és negyedik pedig a bal vagy jobb sínszálon végigfutó egységteher hatásának szimulációjáért felel. A makrók megírásánál törekedtem egy paraméteres modell létrehozására. A kódban bizonyos tulajdonságokat, mint például a feszítávolság, a geometriát leíró síkok koordinátái, változókkal határozták meg. Ezekkel a paraméterekkel a modell könnyen módosítható, könnyen adaptálható hasonló konstrukciójú de más dimenziókkal rendelkező hidakra.

A modell megfelelőségét a tervdokumentációban közölt eredményekkel való összehasonlítással igazoltam. A lehajlás-ellenőrzés volt a tervezők által dokumentált tesztek közül a legegyszerűbben reprodukálható, ehhez elegendő az LM71 vasúti tehermodell alkalmazása a hídon. A 2. ábra a modell lehajlásábráját mutatja.

3.1.2. Hatásvonalak előállítása

A vasúti hidaknál a járműterhelés kizárólag a sínszálon mentén jelentkezik, így elegendő ezen vonalak mentén hatásvonalakat számítani, nem szükséges a pályalemez teljes felületére kiterjedő vizsgálat. A szimulációk előtt meghatároztam azokat a pontokat, ahol virtuális érzékelőket helyeztem el különböző szerkezeti elemekre, például a pályalemez aljára, keresztartókra, valamint a rácsos tar-



2. ábra: A végeselemes modell LM71 vasúti tehermodell alkalmazásával előálló lehajlásábrája (az értékek mm-ben értelmezettek)

tó öv- és rácsrúdjaira, hogy különféle alakváltozási komponenseket vizsgáljak. Összesen 1244 nyúlásmérő helyre készítettem hatásvonalakat a híd különböző keresztmetszeteiben.

A hatásvonalak meghatározásához a sínszalak mentén végigfutó koncentrált erőt alkalmaztam. Ez a terhelés a vasúti pálya felszerkezetén és az ágyazaton keresztül oszlik meg. A valós tehereloszlás modellezése rendkívül összetett feladat, ezért egy egyszerűsített modellt alkalmaztam, mely szerint a vonat kerekéről átadódó koncentrált teher egy gúla mentén oszlik meg a vasúti felszerkezetén és az ágyazaton, és végül egy téglalap alakú felületen terheli a pályalemezt.

Fontos megjegyezni, hogy a híd megépítését követően a hatásvonalakat célszerű kalibrációs terhelések segítségével pontosítani. A valós szerkezeten végzett mérések pontosabban tükrözik a híd tényleges viselkedését, mint a szimulációs eredmények. Ennek megfelelően a kifejlesztett B-WIM-algoritmuskat is szükséges felülvizsgálni, a szimulált és a mért hatásvonalak közötti eltérések figyelembevételével.

A végeelemes szimuláció eredményeit nyers szövegfájlba mentettem, majd Python-alkalmazással állítottam elő az összes hatásvonalat tartalmazó adatállományt. Ezeket a hatásvonalakat PDF-formátumban, grafikonokon ábrázoltam. A vizualizált állomány segíti a megfelelő érzékelőpozíciók kiválasztását. Azok a pontok, ahol a hatásvonal karakterisztikája éles maximumot vagy minimumot mutat, általában tisztább jeleket adnak, így ezek a B-WIM-algoritmus szempontjából előnyösebbek. A legmegbízhatóbb mérések ott várhatók, ahol a hatásvonal amplitúdója nagy.

3.2. Nyúlásjelek szimulációja

A B-WIM-rendszer fejlesztéséhez és értékeléséhez mérési eredményekre van szükség. Mivel a híd még nem épült meg, ezeket az adatokat csak szimuláció útján lehet előállítani, ezért a következő lépés egy szimulátor fejlesztése volt.

3.2.1. Mintajárművek

A B-WIM-rendszer fejlesztéséhez mintajárművekre van szükség. Bár néhány vonat adata manuálisan is rögzíthető, azonban automatizációs szempontok miatt célszerű egy generátor fejlesztése, amely megadott paramétertartományokon belül tetszőleges számú vonatszerelvényt hoz létre.

E célból Pythonban készítettem egy járműgenerátort, amely mozdonyokból és kocsikból álló szerelvényeket épít fel. A járművek két- (esetenként három-) tengelyű forgóvázakon támaszkodnak a sínekre.

A generálás alapjául szolgáló paraméterek:

- tengelyek száma forgóvázanként,
- járműhossz,
- tömeg,
- tehereloszlás a forgóvázak között,
- keresztirányú tömegeloszlás egy tengelyen,
- tengelyek közötti terhelésarány a forgóvázon belül.

A konfigurálható bemeneti paraméterek alapján a generátor meghatározza:

- a tengelyek pozícióját a szerelvény hossza mentén,
- a tengelyenkénti bal/jobbs oldali terheléseket.

3.2.2. Nyúlásmérés szimulációja

A szimulátorhoz beviteli adatként a vonat sebessége, iránya és az érzékelők mintavételi gyakorisága is szükséges.

A szimuláció fő lépései:

1. A vonat helyzetének meghatározása:

A sebesség és az irány alapján a vonat elejének helyzetét minden mérési időpontban meghatározzuk.

2. A vonat tengelyeinek pozíciójának meghatározása minden időpontban.

Ez a művelet egyszerűen az egyes tengelyek vonat elejéhez viszonyított relatív pozíciójának kivonása a vonat elejének pozíciójából minden mérési időpontban.

3.2.3. Nyúlásértékek kiszámítása

A tengelyek pozíciójának meghatározása után minden mérési időpont esetére kiszámítottam a nyúlásértékeket.

A szimuláció statikus feltételezésen alapul, amelyet a következő egyenlet ír le:

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=1}^n P_{i,left}(t) * I_{left}(x_p) + P_{i,right}(t) * I_{right}(x_p)$$

Ahol:

$\varepsilon(t)$

a nyúlás értéke t időpontban,

N

a jármű tengelyeinek száma,

P_{left} és P_{right}

a tengely bal, illetve jobb kerekén átadódó függőleges teher,

$I_{left}(x_p)$ és $I_{right}(x_p)$

a bal, illetve jobb sínszalakhoz tartozó hatásvonal értéke a tengely t időpontban elfoglalt helyén.

Eredményül a nyúlásmérő jelét kapjuk, ábrázolva a vízszintes tengelyen az idő, függőleges tengelyen pedig az alakváltozás értéke.

3.2.4. Zaj bozzaadása

A szimuláció statikus elveken alapul, de a valóságban ilyen tiszta, statikus egyensúlyt kifejező jelek nem mérhetőek. A szenzorok által mért jelekben dinamikus hatások és egyéb zavarok is jelen vannak. A szimulációban ezt úgy vesszük figyelembe, hogy normáloszlású halmazból véletlenszerűen generált értékeket adunk a számított alakváltozásokhoz. A Gauss-eloszlású hozzáadott értékek tartománya a számított jel minimális és maximális értéke közötti tartomány 2%-a.

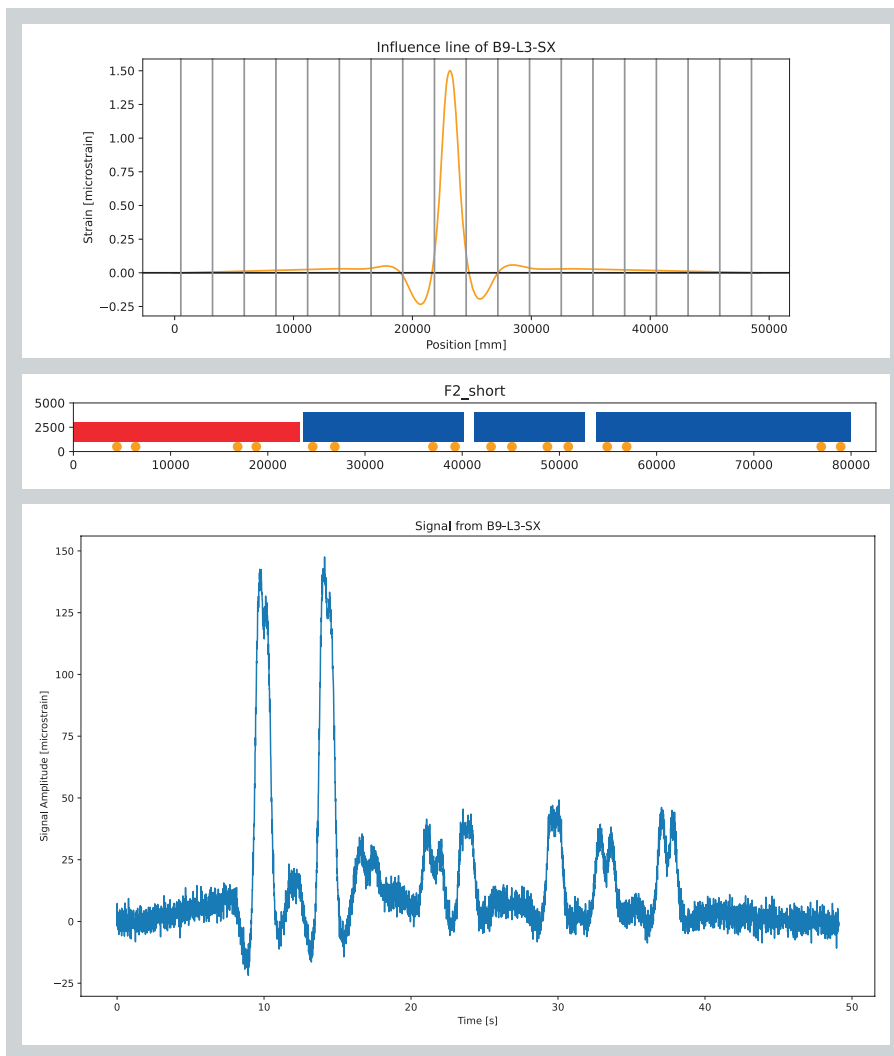
A generált jeleket egyedi névvel (ID) mentettem, valamint minden jel mellett mentésre kerül egy címke, amely tartalmazza a szimuláció bemeneti adatait. A rendszer teljesítménye ezen címkék segítségével értékelhető.

A vonatgeneráláshoz és szimulációhoz írt osztályok felhasználhatók nagy mennyiségű, címkével ellátott szimulált mérési adat generálására, amelyek a jövőben mélytanulási algoritmusok tanítására használhatók.

A szimulátor használatával létrehoztam egy mintajel halmazt, amelyben 6 mintaszerelvény áthaladását szimuláltam különböző sebességekkel, különböző irányokban. Ez a mintakészlet reprezentatívnak tekinthető, tartalmaz rövid, hosszú, nehéz, könnyű járműveket a nagyon lassútól a hídon való áthaladáskor megengedett maximális 100 km/h sebességig.

A 3. ábra az egyik virtuális szenzor hatásvonalát, egy mintavonatot és a vonat virtuális szenzorhoz tartozó szimulált nyúlásjelét mutatja.





3. ábra:

Az egyik pályalemez merevítőbordán elhelyezett B9-L3-SX jelű virtuális szenzorhoz tartozó hatásvonal, az F2_short jelű mintavonat és annak hídon történő áthaladásának szimulációjával előálló nyúlásjel a B9-L3-SX szenzorban

3.3. Jelfeldolgozó rendszer fejlesztése

A mért szenzorjelek feldolgozásához és az adatokból szükséges információk kinyeréséhez egy adatcsatornára van szükség. Ez egy moduláris architektúra. A modulok név szerint egy sebességbecslő, tengelydetektáló és egy tengelysúlybecslő. A csatornába egy járműmodell-objektumot helyezünk, melyhez attribútumként csatoljuk a jármű áthaladásakor mért nyúlásjeleket. A csatorna mentén minden egyes csatornaelem (modul) betölti a szükséges bemeneti paramétereit a járműmodell objektumból, majd végrehajtja feladatát, azaz újabb információkat nyer ki a járműről, majd a kinyert információt a járműmodell-objektumba írja. Ezután ez az objektum átadásra kerül a soron következő csatornaelemnek. Ez addig megy, amíg az utolsó modul le nem fut.

A végeredmény a feldolgozott járműmodell az összes kinyert információval, nevezetesen a jármű sebességével, haladási irányával, a tengelyek elhelyezkedésével és a tengelysúlyokkal.

3.3.1. Sebességbecslő modul

A *neuralbwm* keretrendszer több sebességbecslő modulal is rendelkezik, illetve munkám során magam is kísérleteztem több algoritmussal a járművek sebességének meghatározásához. Végül a nemrégiben publikált konvolúciós reciprocitáson alapuló módszert választottam a meg-

valósításhoz. Ez ígéretes eredményeket mutatott Cantero és társai [15] tanulmányában, és a cikk szerint különböző típusú hidakon bármilyen karakterisztikájú mért jellel és hatásvonallal működhet. Röviden bemutatom a módszer elméleti hátterét.

A szerkezet terhelésre adott statikus válasza A helyen, t időpillanatban $S_A(t)$:

$$S_A(t) = P(t) * I_A(t)$$

ahol $P(t)$ a híd terhelését leíró függvény, I_A pedig az A mérési helyhez tartozó hatásvonal. (A válasz B helyen ugyanígy kalkulálható a B mérési helyhez tartozó hatásvonallal felhasználva.)

Ez az egyenlet a B pozícióhoz tartozó hatásvonallal konvolválva:

$$S_A(t) * I_B(t) = P(t) * I_A(t) * I_B(t)$$

A konvolúció kommutatív tulajdonságát felhasználva kapjuk a módszer elméleti alapját jelentő, a konvolúciós reciprocitást leíró egyenletet:

$$S_A(t) * I_B(t) = S_B(t) * I_A(t)$$

vagyis az A mérési helyen mért jel konvolúciója a B helyhez tartozó hatásvonallal egyenlő a B helyen mért jel A helyhez tartozó hatásvonallal való konvolúciójával.

Jegyezzük meg, hogy a hatásvonal definíció szerint az (egység)teher pozíciójának függvénye, míg a mért nyúlás-jelek az idő tartományán értelmezettek. A sebességbecslő algoritmus lényege a hatásvonal idő tartományba történő konvertálása, amely egy megadott sebességérték alapján történik. Ezt a sebességértéket úgy kell megválasztani, hogy a konvolúciós reciprocitást leíró egyenlet teljesüljön, az egyenlet két oldalát egymásból kivonva 0-t kapjunk. A mérésekben jelen lévő zaj miatt azonban ez a hibaérték várhatóan sosem lesz 0, így a cél a hiba minimalizálása, azaz egy optimalizációs probléma megoldása. Mivel nincs előzetes ismeretünk a hiba nagyságának várható mértékéről, egy klasszikus optimumkereső algoritmust (pl. Newton) nem tudunk alkalmazni, mivel nem tudjuk a maximálisan megengedhető hiba és a szükséges iterációs lépések számát meghatározni. Emiatt az implementációban egy többlépéses iterációs algoritmust alkalmaztam, amely a megoldás egy várható tartományában (0–120 km/h) felvett értékek között több lépésben iterálva választja meg a minimális hibát eredményező, azaz a jármű sebességét 0,01 km/h pontossággal.

A módszer alapján létrehozott modul a nyúlásmérőkel mért adatokat és a hatásvonalakat használja bemeneti paraméterként. A sebességmeghatározáshoz két keresztmetszetben elhelyezett szenzorsorra van szükség.

A konvolált reciprocitás módszerhez a vonat iránya is egy szükséges bemeneti paraméter. Egy másik módszer esetében, amellyel kísérleteztem (Dynamic Time Warping), a sebesség kiszámításával adódott probléma, de az irányt megbízhatóan felismerte, ezért ezt az algoritmust alkalmaztam az irány meghatározására.

A konvolúciós reciprocitáson alapuló sebességbecslés lépései:

1. Ha a két keresztmetszetben egy érzékelő helyett érzékelősorozatot használunk, akkor a jelértékeket és a hatásvonalakat minden sorozat esetében összeadjuk.
2. Az irány meghatározása a DTW sebességbecslő modullal. A jármű irányától függően a hatásvonalakat leíró vektorokat esetleg reverzálni szükséges.
3. A sebesség nagyságának meghatározása, a konvolúciós reciprocitást leíró egyenletet minimális hibával teljesítő sebességérték meghatározása.

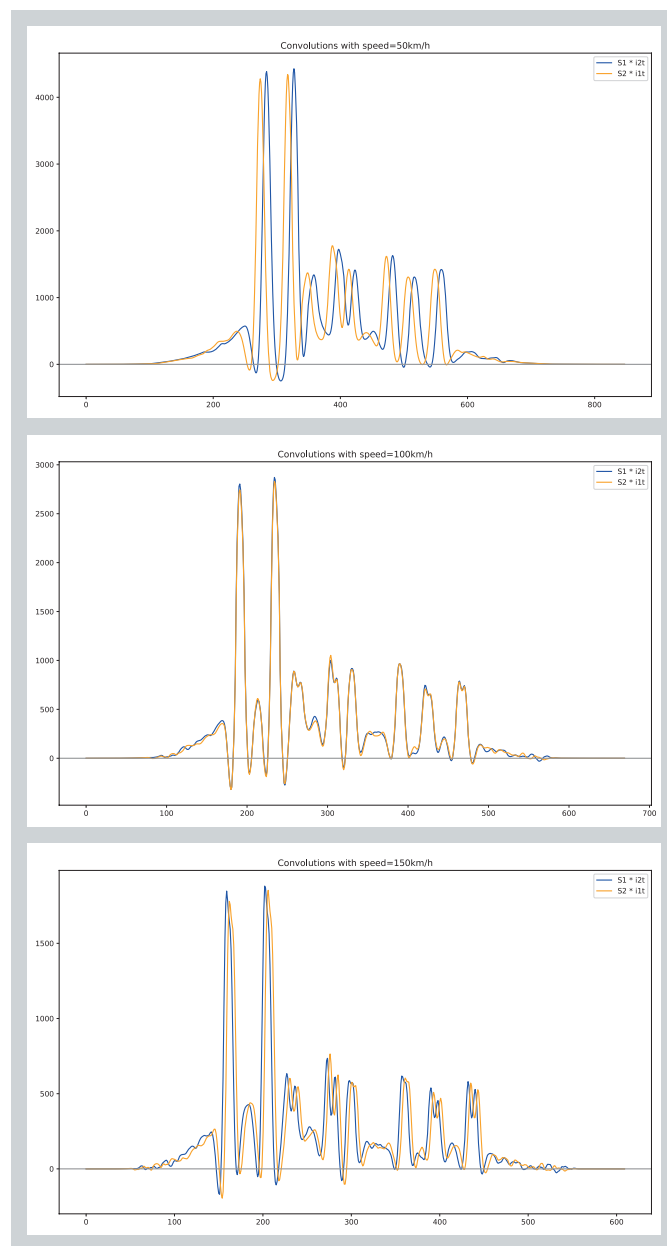
A módszert a 4. ábra szemlélteti.

3.3.2. Tengelydetektáló modul

Ezt a modult Chatterjee és társai [16] által javasolt wavelet-módszer alapján fejlesztették ki.

A wavelet-transzformáció egy erőteljes analitikai eszköz, amely segítségével olyan információkat nyerhetünk ki hullámformákból, amelyek vizuális inspekciónal nem, vagy csak nehezen ismerhetők fel. A módszer megnövelt idő-frekvencia felbontást biztosít, lehetővé téve a jel lokális, időben változó frekvenciatartalmának részletes vizsgálatát.

A wavelet (hullámocska) egy időben rövid, hullámszerű oszcilláció, amely zérus amplitúdóval kezdődik és végződik, azaz jól lokalizált időben. A transzformáció során alkalmazott waveleteket különböző karakterisztikájú „anya-waveletek” skálázásával állíthatjuk elő. A transzformáció során a kiválasztott anya-waveletet különböző skálák szerint nyújtjuk vagy sűrítjük, majd különböző időpontokhoz toljuk el. A wavelet-transzformáció matematikailag konvolúciós művelet az időbeli jellel és a skálázott, eltolással módosított wavelettel. Ez a folyamat lehetővé teszi a jel idő-frekvencia lokalizációját, így olyan lokális frekven-

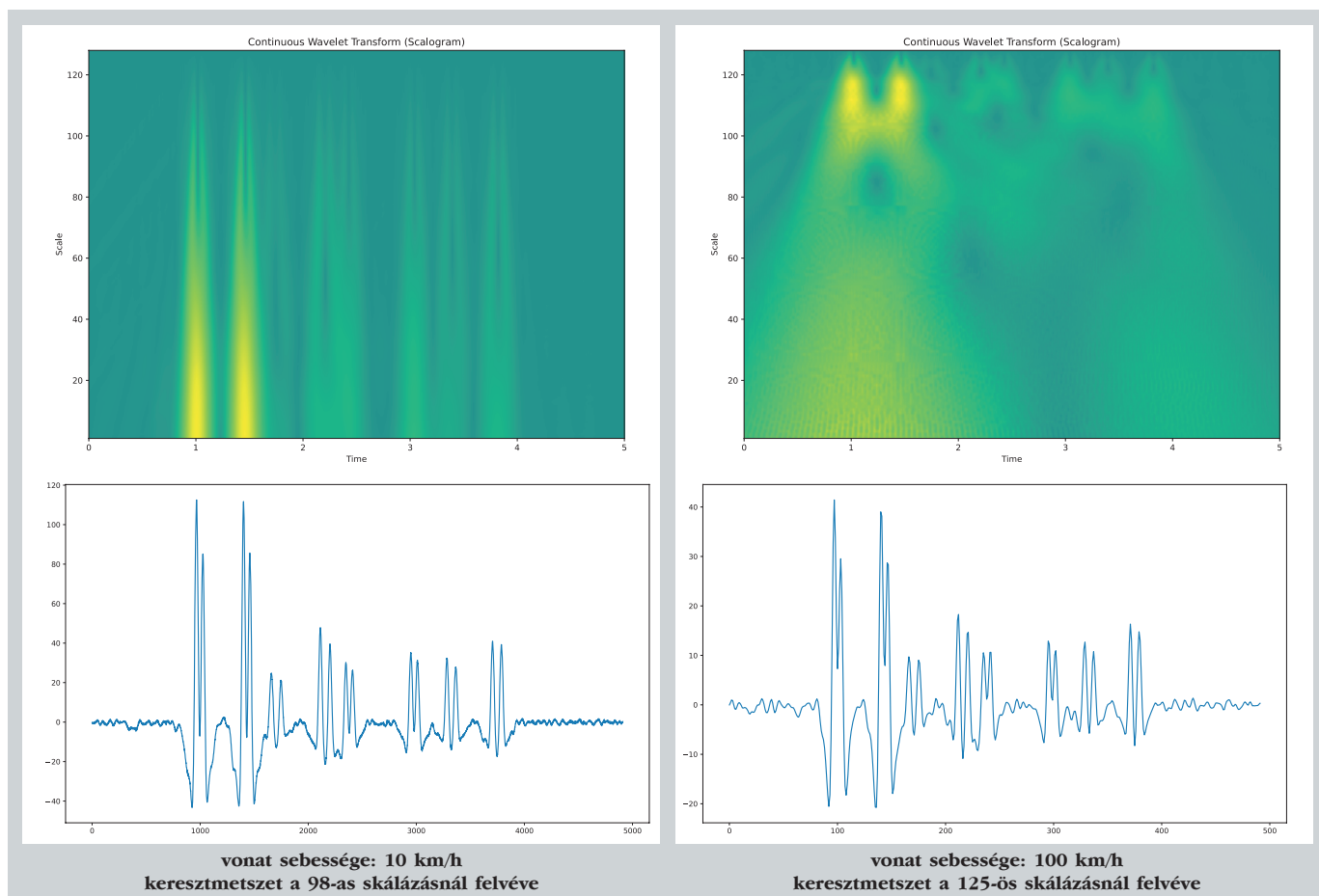


4. ábra: A konvolúciós reciprocitás ábrázolása 50, 100 és 150 km/h sebességértékekkel időtartományba konvertált hatásvonalakat alkalmazva, a vizsgált jármű tényleges sebessége 100 km/h

ciacsúcsok fellelését a jelben, mint például esetünkben tengelyek áthaladását jelentő lokális maximumok.

A wavelet-transzformációhoz a PyWavelets csomagot használtam, amely egy nyílt forráskódú, Python-nyelvű wavelet-analízis eszköztár. A megfelelő „anya-wavelet” kiválasztása a PyWavelets által kínált beépített wavelet-családok próbálgatása útján történt. Céлом az volt, hogy olyan wavelet-családot találjak, amely bármilyen sebesség esetén megbízhatóan alkalmazható. Végül a frekvenciatartományban definiált B-spline waveletek (fbsp) alkalmazásával sikerült egy stabilan működő modul létrehozni.

A transzformáció eredményét ábrázoló skalogram megjelenése jelentősen eltér az alacsony és a magasabb sebességek esetén. Bár a 100 km/h sebességre vonatkozó skalogram első pillantásra zavarosnak tűnhet, megfelelően skálázott (magasabb frekvenciájú) wavelet alkalmazásával a tengelyek helyzete egyértelműen láthatóvá válik (5. ábra).



5. ábra: Wavelet-transzformációs skalogram és a skalogram egy keresztmetszete, frekvenciatartományban definiált B-spline waveleteket alkalmazva a 3. ábra által bemutatott mintaszerelvény áthaladását vizsgálva

A tengelyek áthaladásának időpontjait kinyerő függvény működése lineárisan függ a jármű sebességétől. Alacsonyabb sebesség esetén kisebb, míg magasabb sebességnél nagyobb frekvencián skálázott wavelet alkalmazásával történik a tengelyek detektálása.

A tengelyek azonosítása a wavelet-transzformált együttműködő grafikonján megjelenő lokális csúcsok detektálásán alapul. A csúcsok helyzetét egy helymaximum-kereső algoritmus határozza meg, amely célra egy már meglévő, a keretrendszerben elérhető megoldást alkalmaztam. A modul ezt az algoritmust a sebesség és a transzformációval kapott együttműködő értéke alapján automatikusan konfigurálja.

3.3.3. Tengelysúlybecslő modul

A szakdolgozatban a *neuralbwim* keretrendszerben megtalálható, Szinyéri és társai által fejlesztett [5], Moses-algortmuson alapuló tengelysúlybecslő modul használom.

A modul működése a 2.3.1. fejezetben bemutatott, statikus módszerek alapját képező lineáris egyenletrendszer konfigurálásával kezdődik. Ennek fő lépései a következők:

1. A szenzorok hatásvonaladatainak betöltése egy PyTorch nn.Module objektumba. A keretrendszer tartalmaz egy neurális háló alapú interpolátort, amely a FEM-szimulációval előállított hatásvonalértékek között hatékony interpolációt tesz lehetővé.
2. A szenzorok jeleinek kivágása a jármű áthaladásának időablakában.
3. A tengelyek első szenzorsor feletti áthaladásának időpontja és a jármű sebessége, valamint iránya alapján a tengelyek pozíciójának meghatározása minden mérési időpillanatban.

4. A tengelypozíciók és a hatásvonalak alapján hatásmátrix előállítás. Ez úgy történik, hogy minden egyes időpillanatban, minden tengely pozíciójában kiszámítja az összes nyúlásmérő szenzor hatásértékét. Az így kapott adat egy háromdimenziós tenzor, ahol az első dimenzió a tengelyeket, a második dimenzió az időpontokat, a harmadik dimenzió pedig a különböző szenzorokat reprezentálja.

5. A nyúlásmérők áthaladási időablakában kivágott jelek rendezése egy kétdimenziós mátrixba.

6. Lineáris egyenletrendszer felépítése.

7. A modul az egyenlet megoldására a SciPy csomag *optimizer.nnls* függvényét alkalmazza. Ez a megoldó a nem negatív legkisebb négyzetek módszerét (Non-Negative Least Squares – NNLS) implementálja. Ez az algoritmus nemnegativitási korlátot alkalmaz a megoldásra, így kizárja az értelmetlen negatív tengelysúlyeredményeket. A megoldandó optimalizálási probléma:

$$\text{Min } \|A * x - b\|_2$$

Feltétel: x elemei egyenként ≥ 0

Ahol:

A a bemeneti mátrix – a korábban generált 3D-s hatásmátrix „ellapított” 2D-s változata. A sorok száma az időablakbeli mérési időpontok és a szenzorok számának szorzata; az oszlopok száma a tengelyek számával egyezik meg.

b a célvektor – a kétdimenziós jelmátrix egydimenziósra „lapított” formája. A vektor elemszáma megegyezik az A mátrix sorainak számával.

$\|*\|_2$ az euklideszi (L2) norma operátor, amely a vektor hosszát jelenti az euklideszi térben.

A modul ezen feladat megoldásával x vektor elemeit, azaz a tengelysúlyokat adja eredményül.

3.4. Optimális szenzorkonfiguráció meghatározása

A B-WIM-rendszerhez kifejlesztett adatfeldolgozó csatorna rendelkezésre állását követően különböző érzékelőkonfigurációkat teszteltem a hídon, szimulált környezetben. A cél egy olyan optimális szenzorelhelyezés meghatározása volt, amely minimális számú (legfeljebb egy tucat) szenzor használatával biztosítja a lehető legnagyobb pontosságot és megbízhatóságot. Míg a szenzorelhelyezés általában megelőzi az algoritmusok fejlesztését, jelen esetben fordított módszertant alkalmaztam, vagyis a fejlesztett algoritmusok működéséhez szükséges feltételek határozták meg a lehetséges mérési helyeket.

A vizsgálatok alapján a megbízható működéshez olyan mérési helyek szükségesek, ahol a hatásvonalak lehetőleg minél élesebb csúcsokat és szimmetriát mutatnak. Az ortotrop pályalemez és annak merevítőbordái, illetve a keresztartók megfelelő jellemzőkkel bírnak, míg a pályalemez rácsos főtartókhoz közeli részein, illetve a főtartó elemein mért komponensek hatásvonalát általában kevésbé szabályos, vagy a szerkezet globális viselkedését mutatja, ezért ezek alkalmazása nem javasolt.

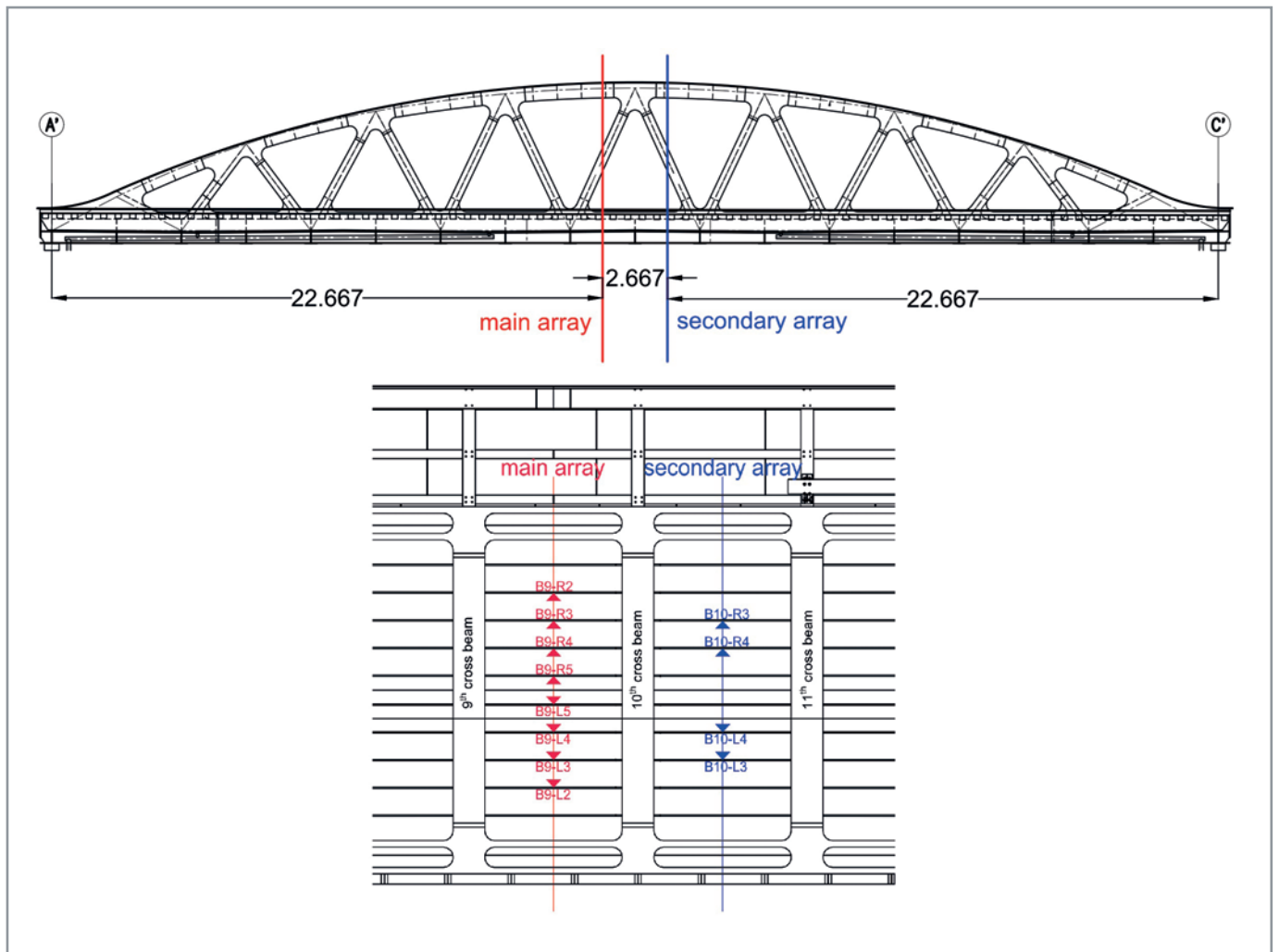
A különféle konfigurációk összehasonlítására egy benchmark modult hoztam létre, amely három feldolgozó csatornán (csak tengelysúlybecslő; tengelydetektáló + súly-

becslő; sebességbecslő + detektáló + súlybecslő) keresztül értékelte az érzékelőelrendezéseket, így az egyes modulok teljesítménye külön-külön és együttesen is értékelhető. Az egyes mérések eredményeit egy adattábla foglalja össze, amely tartalmazza a sebesség-, tengelydetektálás- és tengelysúlybecslés hibáit külön-külön, illetve a teljes rendszer együttes működése esetén.

Az első tesztkör során 9 különböző konfigurációt vizsgáltam különböző szerkezeti elemeken elhelyezett virtuális érzékelőkkel. Az elrendezések minden esetben szimmetrikusak voltak a híd hossz-tengelyére nézve. Az eredmények alapján a legpontosabb és legmegbízhatóbb konfigurációk a pályalemez merevítőbordáihoz kapcsolódnak. Az ezekre épülő rendszer tengelysúly MAPE hibája 3,34% körüli, míg a maximális hiba 9,26% volt. A tengelysúlybecslő Moses-algortmuson alapuló modul általában mindegyik konfigurációval működőképesnek bizonyult kisebb-nagyobb hibával. A sebességbecslő és tengelydetektáló modulok azonban jóval érzékenyebbek bizonyultak, több konfiguráció esetén is nem megfelelő működést mutattak.

A második tesztkör során a merevítőbordákon elhelyezett különböző számú érzékelőket tartalmazó konfigurációkat teszteltem. A rendszer már akár 2-2 érzékelőt alkalmazva is nagy pontosságot mutatott, azonban a robusztusságra törekedve végül egy 12 darab érzékelőt tartalmazó konfigurációt javasoltam, amely 8 darab fő és 4 darab másodlagos szenzorból áll.

A javasolt szenzorelrendezést a 6. ábra szemlélteti.



6. ábra: A javasolt szenzorelhelyezés ábrázolása a híd hossz-metszetén és alulnézetén

KONKLÚZIÓ

Dolgozatomban egy épülő vasúti hídra tervezett Bridge Weigh-In-Motion (B-WIM) rendszer fejlesztését vizsgáltam.

A legnagyobb kihívást a NOR-kompatibilitás megteremtése, vagyis a sebesség és a tengelypozíciók kizárólag nyúlásjelek alapján történő meghatározása jelenti, különösen igaz ez vasúti alkalmazás esetén. A hosszú szerelvények és az esetlegesen változó sebességek miatt az átlagsebességen alapuló megközelítés pontatlansághoz vezethet, ezért e problémát a rendszer továbbfejlesztése során mindenképpen kezelni szükséges.

A vasúti felszerkezet, különösen, ha az ágyazat is áthalad a hídon, jelentős mértékben elosztja a tengelyterheket, ami a nyúlásjelekben csak gyengén, vagy egyáltalán nem detektálható lokális csúcsokat eredményez. Ez jelentősen megnehezíti a tengelyek megbízható azonosítását. A dolgozatban bemutatott wavelet-transzformáción alapuló módszer hatékonyabbnak bizonyult az egyszerű lokális maximum keresésénél, ám a valós mérések során előfordulhat, hogy talán ez a módszer sem elegendően érzékeny. Ebben az esetben gépi tanuláson alapuló megközelítések kínálhatnak megoldást, amelyek képesek lehetnek az adatokban rejtetten jelen lévő tengelyinformációk felismerésére. E kérdésekre a híd megépítését követő terepi tesztekkel adhatnak választ.

Amennyiben a tengelypozíciók és a sebesség pontosan meghatározhatók, a tengelyterhelések becslése már egyszerűbb, akár statikus algoritmusokkal is megbízhatóan elvégezhető.

Fontos megemlíteni, hogy a szenzorok elhelyezésére tett javaslat csupán a rendszer pontosságán alapult. A valós telepítés során azonban figyelembe kell venni egyéb gyakorlati szempontokat is, mint például hozzáférhetőség, korrózióvédelem és esztétika. A jelenlegi konfigurációban a szenzorok mezőközepén, a közút feletti szakaszon helyezkednek el, ami a karbantartás szempontjából kedvezőtlen. A végleges rendszer kialakításánál célszerű lehet könnyebben megközelíthető, például a hídfők környezetében lévő szerkezeti részeket választani szenzorok telepítési helyéül.

A jövőbeni kutatásoknak a rendszer valós környezetben történő implementálására, kalibrálására és terepi validálására kell összpontosítaniuk, különös tekintettel a gépi tanulási módszerek integrációjára, amelyek további pontosság- és teljesítményjavulást eredményezhetnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, dr. Joó Attilának, aki a dolgozatom elkészítése során végig értékes szakmai támogatással és iránymutatással segítette munkámat.

Külön köszönettel tartozom Szinyéri Bencének, aki rendelkezésemre bocsátotta a Monostori hídhoz fejlesztett kódállományát, és segítséget nyújtott a Python programozási feladatok megoldásában.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hua Zhao et al., "Developing Digital Twins to Characterize Bridge Behavior Using Measurements Taken under Random Traffic," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 27, p. 12, November 2021.
- [2] Andrew Lansdell, Wei Song, and Brandon Dixon, "Development and testing of a bridge weigh-in-motion method considering

nonconstant vehicle speed," *Engineering Structures*, vol. 152, pp. 709–726, 2017. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029617309197>

- [3] Moses Fred, "Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridges," *Transportation Engineering Journal of ASCE*, vol. 105, pp. 233–249, May 1979. [Online]. <https://doi.org/10.1061/TPEJAN.0000783>
- [4] Eugene J. O'Brien and Bernard Jacob, "European specification on weigh-in-motion of road vehicles (COST323). In Proceedings of second European conference on weigh-in-motion of road vehicles, Held Lisbon, Portugal (pp. 14–16).", 1998.
- [5] Bence Szinyéri, Bence Kővári, István Völgyi, Dénes Kollár, and Attila László Joó, "Bridge Weigh-in-Motion: adatfeldolgozás mesterséges intelligencia és végelelemes modellezés segítségével, komáromi Monostori híd," Tech. rep. 12366 számú önkéntes nyilvántartásba véve, 2024.
- [6] Felipe Carraro, Matheus Silva Gonçalves, Rafael Holdorf Lopez, Leandro Fleck Fadel Miguel, and Amir Mattar Valente, "Weight estimation on static B-WIM algorithms: A comparative study," *Engineering Structures*, vol. 198, p. 109463, 2019. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029618342378>
- [7] T. H. T. CHAN, L. YU, S. S. LAW, and T. H. YUNG, "MOVING FORCE IDENTIFICATION STUDIES, I: THEORY," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 247, pp. 59–76, 2001. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X01936302>
- [8] Ning-Bo Wang, Li-Xiang He, Wei-Xin Ren, and Tian-Li Huang, "Extraction of influence line through a fitting method from bridge dynamic response induced by a passing vehicle," *Engineering Structures*, vol. 151, pp. 648–664, 2017. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029616316996>
- [9] Ethan MacLeod and Kaveh Arjomandi, "Dynamic bridge weigh-in-motion using estimated modal parameters from ambient vibration tests," *Engineering Structures*, vol. 289, p. 116254, 2023. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029623006697>
- [10] Sungkon Kim, Jungwhee Lee, Min-Seok Park, and Byung-Wan Jo, "Vehicle Signal Analysis Using Artificial Neural Networks for a Bridge Weigh-in-Motion System," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 9, pp. 7943–56, October 2009.
- [11] Wu Yuhan, Lu Deng, and Wei He, "BwimNet: A Novel Method for Identifying Moving Vehicles Utilizing a Modified Encoder-Decoder Architecture," *Sensors*, vol. 20, p. 7170, December 2020.
- [12] Bence Szinyéri, Bence Kővári, István Völgyi, Dénes Kollár, and Attila László Joó, "A strain gauge-based Bridge Weigh-In-Motion system using deep learning," *Engineering Structures*, vol. 277, p. 115472, 2023. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029622015486>
- [13] Fernando Marques, Carlos Moutinho, Wei-Hua Hu, Álvaro Cunha, and Elsa Caetano, "Weigh-in-motion implementation in an old metallic railway bridge," *Engineering Structures*, vol. 123, pp. 15–29, 2016. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029616302103>
- [14] Aleš Žnidarič, Jan Kalin, Maja Kreslin, Peter Favai, and Przemysław Kolakowski, "Railway Bridge Weigh-in-Motion System," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 4010–4019, 2016. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146516305051>
- [15] C. W. Kim D. Cantero, "Vehicle speed estimation in BWIM systems via convoluted reciprocity," in *Bridge Maintenance, Safety, Management, Digitalization and Sustainability*, 2024.
- [16] Pranesh Chatterjee, Eugene O'Brien, Yingyan Li, and Arturo González, "Wavelet domain analysis for identification of vehicle axles from bridge measurements," *Computers & Structures*, vol. 84, pp. 1792–1801, 2006. [Online]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045794906001933>



FERROKOV

VAS ÉS FÉMIPARI KFT.



MÁR TÖBB MINT 30 ÉVE ÁLL A TÖKÉLETES FELÜLETVÉDELEM SZOLGÁLATÁBAN.

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

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

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

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

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

PROFIL:

-acélszerkezet gyártás
-tűzhorganyzás mártásos és centrifugális technológiákkal
(EN ISO 1461/2000)
Horganyzó kádaink:
4000 x 1200 x 2300 mm-es acélkád
4900 x 900 x 1200 mm-es acélkád
2600 x 900 x 1200 mm-es kerámia kád
-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 rúdcsavak 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)

Nullifire
Smart Protection

Teljeskörű termékínálat!
Nullifire acél tűzvédő bevonatok



ETA
21/0683

SC605

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

SC803

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

SC902

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



ETA
20/1210

mipa

Professional Coating Systems

MIPA HUNGARIA KFT
8000 SZÉKESFEHÉRVÁR,
ZSÚRLÓ UTCA 2.

Tel: +36 22 514 510

Fax: +36 22 514 517

info@mipahungaria.hu

www.mipahungaria.hu

A termékek gyártója:



ETA
20/1216

LÉGKÖRI KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉL SÓKORRÓZIÓS VIZSGÁLATA HÍDSZERKEZETNÉL

A környezetünket terhelő károsanyag-kibocsátás csökkentése céljából hidépítés tekintetében kiemelt fontosságú az anyagválasztás. Acélszerkezetek esetében előnyös az időjárásálló acélok alkalmazása, mivel a szerkezet korrózióvédelmével (bevonatok), valamint ezek kivitelezésével, gyártásával és karbantartásával járó karbonlábnyom kiküszöbölhető. Magyarországon ezen hidak alkalmazása csak most kezdődik. Az UNITEF'83 Zrt.-nél már számos alkalommal javasoltuk a beruházóknak ilyen acélok alkalmazását. Tanulmány-, engedélyezési és kiviteli terveket is készítettünk már időjárásálló acélok alkalmazásával Magyarországon. A megrendelők, üzemeltetők részéről rendszeres kérdésként vetődik fel az acélananyag sókorróziós viselkedése, ill. az ezzel kapcsolatos gyakorlati tapasztalatok. Jelen cikkben parametrikus végeselemes modell segítségével vizsgáljuk a korrózió hídszerkezetekre történő hatását szakirodalomban található laboratóriumi és helyszíni mérések alapján egy öszvér hídgerenda esetén.

1. BEVEZETÉS

Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére világszerte egyre nagyobb figyelmet fordítanak. Az építőipar jelentős részese a CO₂-kibocsátásnak, így ezen a területen is intézkedések szükségesek. Hidak esetében a fenntarthatóság szempontjából kulcsfontosságú a felhasznált építőanyag megválasztása. Az egyik ígéretes szerkezeti anyag a korrózióálló acél. Magyarországon azonban bizonyos fenntartások merülnek fel ezen hidak alkalmazásával kapcsolatban. Ismeretes, hogy az időjárásálló acél légköri nedvesség hatására megfelelő korrózióvédelmet biztosít. A hídüzemeltetők részéről kérdésként merül fel, hogy kloridion jelenléte a légköri nedvességben milyen hatással van az időjárásálló acélok tulajdonságaira. Elsősorban az útszóró só jelenléte várható hídszerkezetek környezetében. A korrózió a szelvény keresztmetszeti fogyásával és egyenetlen felület kialakulásával jár, ami nagy hatással lehet az anyag mechanikai tulajdonságaira, ezért fontos számításba venni a szerkezetek méretezésekor.

2. SÓKORRÓZIÓS ESETTANULMÁNYOK

Az időjárásálló acél korróziója és a levegő kloridtartalma közötti összefüggést több külföldi tanulmány során is vizsgálták. Készültek helyszíni, hosszú távú mérések és gyorsított korróziós vizsgálatok is.

2.1. Csehországi mérések

Csehország Ostrava városában többéves, helyszíni kísérlet során három, már meglévő híd gerendáira helyeztek ki S355J2W anyagú, 150 × 100 × 1.5 mm³ méretű, időjárásálló acél mintadarabokat. [1] [2] B1 híd egy télen sózott, nagy forgalmú autópálya felett ível át és kialakítása alagútszerű, míg B2 híd B1 hídtól 200 méterre vasút felett vezet át. B3 híd a B1 híddal hasonlóan ugyanazon autópálya felett vezet át, kialakítása azonban nem alagútszerű, nagyobb hossz/szélesség aránnyal rendelkezik.

A mérések során külső és belső hídgerendák gerincére és övére helyeztek ki S355J2W időjárásálló acél mintadarabokat. A lerakódó kloridmennyiséget két szabványos (EN ISO 9225) módszerrel, a „wet candle” és a „dry plate” módszerrel mérték. A „dry plate” módszer előnye, hogy külön tudták vizsgálni a függőleges és a vízszintes felületre rakódó klórmennyiséget.

Egy év eltelte után megmérték többek között a korróziós veszteségeket a próbatesteken, továbbá „Scotch-tape” módszerrel lenyomatot készítettek a próbatestek felületéről, és megvizsgálták a patinaréteg jellemzőit is: a rozsdás részek átmérőjét, eloszlását. Az 1 mm-nél kisebb, egyenletes eloszlású rozsdás részek megfelelően kialakult patinarétegre utalnak, az 5 mm-nél nagyobbak tipikusan a nem megfelelően kialakult, nem jól védő patinára utalnak.

A mérések eredményei jól mutatják, hogy a korróziós folyamat alakulásában nagy szerepet játszik a vizsgált lemez irányultsága: a vízszintes felületeken lényegesen nagyobb (3–4-szer) kloridmennyiség rakódik le, ezért 2–3-szor nagyobb a korróziós veszteség is, és mélyebbek a kialakult korróziós gödrök, mint a függőleges felületeken.

A felületek irányultsága mellett befolyásolta a kísérlet eredményeit az elhelyezkedés is: a külső gerendák felületén a patinaréteg megfelelően alakult ki, homogén és egyenletes volt, míg a belső gerendákon egyenetlenebb, több helyen leválásra hajlamos réteg volt megfigyelhető, annak ellenére, hogy a külső gerendákon mért kloridtartalom nagyobb volt a belső gerendákon mértnél. Ez azzal magyarázható, hogy a külső gerendákat jobban éri a sós víz felverődése az autópályáról, de utána hamarabb tisztulnak meg eső és szél hatására, míg a belső gerendákat hiába éri kisebb mennyiségű klór, nem tudnak megfelelően tisztulni, így rosszabb állapotú patinaréteg alakul ki felületükön.

A patinaréteg kialakulását befolyásolja a híd elhelyezkedése és kialakítása is, amint a három hídon mért eredmények közti eltérések bizonyítják. Mivel a B2 híd vasút felett halad át az autópálya felett áthaladó B1 híddal ellentétben, és kialakítása is kedvezőbb az alagútszerű, B1 híddal képest, a patinaréteg kialakulása is jobban zajlódott le, kevesebb klorid rakódott le a hídra, ezáltal a korróziós veszteségek is kisebbek voltak. A kialakítás szerepét bizonyítja továbbá, hogy a B3 hídon mért lerakódott klorid mennyisége jóval

kisebb volt, akár harmada a B1 hídon lerakódott mennyiségnek, annak ellenére, hogy ugyanazon autópálya felett vezetnek át. Ennek az az oka, hogy a B1 híd alagútszerűen kialakított, míg a B3 híd előnyösebb kialakítású.

2.2. Kínai mérések

Kínában egy tanulmány [3] során két időjárásálló acéltípuson végeztek vizsgálatokat, a Q345CNH Kínában gyakori (folyáshatára 345 MPa) és a HPS 70 W (folyáshatára 485 MPa) Egyesült Államokban elterjedt acélokon. A kísérlet két részből állt: először ciklikus gyorsított korróziós vizsgálattal figyelték a korrózió alakulását, majd a korrodált elemeket fáradási vizsgálatnak vetették alá. A korrózióknak két típusát lehet elkülöníteni: a felület mentén egyenletesen alakuló korróziót és a gödrös korróziót. Utóbbinak fáradás szempontjából van nagyobb jelentősége, ugyanis a fáradási repedések a korróziós gödrökből indulnak ki, ahol vékonyabb az anyag. A korróziós vizsgálat körülményei megfeleleltek Qionghai (C3 korróziós osztályú) tengerpartközeli város klímájának¹, ahol korábban már készültek hosszú távú korróziós vizsgálatok, így a gyorsított korróziós vizsgálat eredményeit össze lehetett hasonlítani valós körülmények során nyert adatokkal. A gyorsított korróziós vizsgálat és a hosszú távú korróziós vizsgálat között a korróziós veszteség teremt kapcsolatot, aminek köszönhetően a laboratóriumi vizsgálatok megfeleltethetőek helyszíni, valós vizsgálatoknak megfelelő korróziós modellel és adatokkal.

A gyorsított korróziós vizsgálat során $30 \times 60 \times 12$ mm méretű acéllemezeket alkalmaztak, és a kísérletet az ISO 16539 szabványnak megfelelően hajtották végre.

A bizonyos ciklusszámoknál tömegben mért korróziós veszteségeket az (1) egyenlet alapján számították át korróziós vastagsággá:

$$C = W / (\rho \cdot \text{area}) \cdot 1000 [\mu\text{m}] \quad (1)$$

Ahol:

C [μm]	a korróziós veszteség vastagsága,
W [g]	a korróziós veszteség tömegben,
area [mm^2]	a korrózióknak kitett felület,
ρ [$\text{g} \cdot \text{mm}$]	az acél sűrűsége.

A mérések során megfigyelhető volt, hogy a korróziós folyamat lelassul, miután elkezdődik a korróziós réteg kialakulása, vagyis a korróziós veszteség időfüggő. A korróziós folyamat leírására több modellel létezik. Mivel a korrózió mértéke kialakulása elején jelentősen különbözik a hosszabb idő elteltével jelentkező korrózió mértékétől, célszerű az alábbi, nemlineáris modell (2. egyenlet) alkalmazása.

$$C = A \cdot t^b \quad (2)$$

Ahol:

C [mm]	a korróziós veszteség,
A	a korrózió mértéke az első évben [mm],
t	az eltelt idő,
b	a korróziós kitevő [-].

Minél kisebb a korróziós kitevő (b), annál jobb a korrózióállósága az anyagnak. A légköri korrózióálló acélnek kb. 33%-kal kisebb a korróziós kitevő értéke, mint a szokványos szerkezeti acélnek. A kísérlet során a 2.

egyenlet változóit az idő függvényében ábrázolt korróziós veszteségekre a legkisebb négyzetek módszerével illesztett görbe határozta meg. Az így meghatározott korróziós modellek a két acéltípus esetén (ahol t a korróziós ciklus száma):

$$\text{HPS70W} : C [\mu\text{m}] = 42,0 \cdot t^{0.3406} \quad (3)$$

$$\text{Q345CNH} : C [\mu\text{m}] = 32,9 \cdot t^{0.4013} \quad (4)$$

A hosszú távú, valós körülmények között lejátszódó természetes korróziós folyamat is leírható a 2. egyenlet segítségével, ezért, ha abból indulunk ki, hogy a korróziós veszteségeknél (C) meg kell egyezniük, a természetes és a gyorsított korróziós folyamat között az alábbi összefüggés áll fent:

$$T = (A_n / A_a)^{1/b_a} \cdot t^{b_n/b_a} \quad (5)$$

Ahol az „ n ” paraméter a természetes korróziós folyamatra, az „ a ” paraméter a gyorsított korróziós vizsgálatra utal, „ T ” a ciklusszámot, „ t ” a természetes korróziós folyamat idejét, „ A ” a korrózió mértékét (első évben) jelenti. Jelen kísérletben a gyorsított korróziós vizsgálat modellje jól közelíti a tenger közelében lévő Qionghai városban korábbi mérések alapján meghatározott korróziós modellel.

Az egyenletes korrózió mellett a rozsdaréteg eltávolítása után megvizsgálták a korróziós gödrök alakulását is. A ciklusszám növekedésével a korróziós gödrök sűrűsége és mérete is nő. A gödrös korrózió mélysége és a korróziós folyamat ideje közötti összefüggés leírására az alábbi összefüggés alkalmazható:

$$a = \alpha \cdot t^\gamma \quad (6)$$

Ahol:

a	a korróziós gödör mélység
α és γ	a gödrös korrózióhoz tartozó kitevők ($\gamma=1/3$ acél esetén)

A két acéltípus esetén meghatározott gödrös korrózió modellje:

$$\text{HPS70W} : A [\mu\text{m}] = 89,91 \cdot T^{(1/3)} \quad (7)$$

$$\text{Q345CNH} : A [\mu\text{m}] = 101,3 \cdot T^{(1/3)} \quad (8)$$

Ahol:

A [μm]	a maximális korróziós gödör mélysége
T [-]	ciklusszám

Jelen esetben egy ciklus megfeleltethető egy eltelt évnek. Látható, hogy idővel a kialakult korróziós gödrök mélysége egyre növekszik, ami kedvezőtlen hatással lehet a fáradásra és a lokális stabilitásra is.

2.3. További mérések

A jégolvasztó sózás időjárásálló acélra való hatásának vizsgálatára más országokban is végeztek méréseket. Egy 1992-es német kísérletben [4] sózott autópályák vezetőkorlátjára helyeztek időjárásálló acél próbatesteket, melyeken öt évig minden évben megmérték a korróziós veszteséget. A próbatestek kétféle anyagból, Resista HRL 37 és COR-TEN B időjárásálló acélból készültek. A tanulmány során az autópályáktól távolabb is elhelyeztek referencia próbateste-

¹ Több tanulmány állapította meg, hogy a sózásból származó korrózió hasonló a tenger közelében épült hidaknál megfigyelt korrózió mértékéhez [1].



ket, melyeket nem ért só. Több tényező hatását vizsgálták a korrózió mértékére: hőmérséklet, relatív páratartalom, éves csapadékmennyiség, éves napsütéses órák száma, valamint az átlagos napi forgalom nagysága. A mérések során azt tapasztalták, hogy a korrózió fogyásának mértékére leginkább a napsütéses órák száma (negatív korreláció) és a relatív páratartalom (pozitív korreláció) volt hatással, míg a hőmérséklet nem igazán befolyásolta a korrózió mértékét. A 7 helyszínen mért korróziós fogyás évenkénti átlagát mutatja a 2. ábra sárga színnel.

Az időjárásálló acél korróziós fogyásának mértékére Finnországban is végeztek méréseket [5] több időjárásálló acélból készült hídnál. Az egyes hidakra COR-TEN B típusú acél próbatesteket helyeztek függőlegesen, és a korróziós fogyás mértékét vizsgálták kb. 10 évente 32 éven keresztül 2014-ig. Az egyik vizsgált híd az Itäkeskus gyalogoshíd Helsinkiben, ami alatt télen jégolvasztó sózásnak kitett út halad át. Ezen hídra kihelyezett próbatesteken mért korróziós veszteségről 32 év után van adatunk.

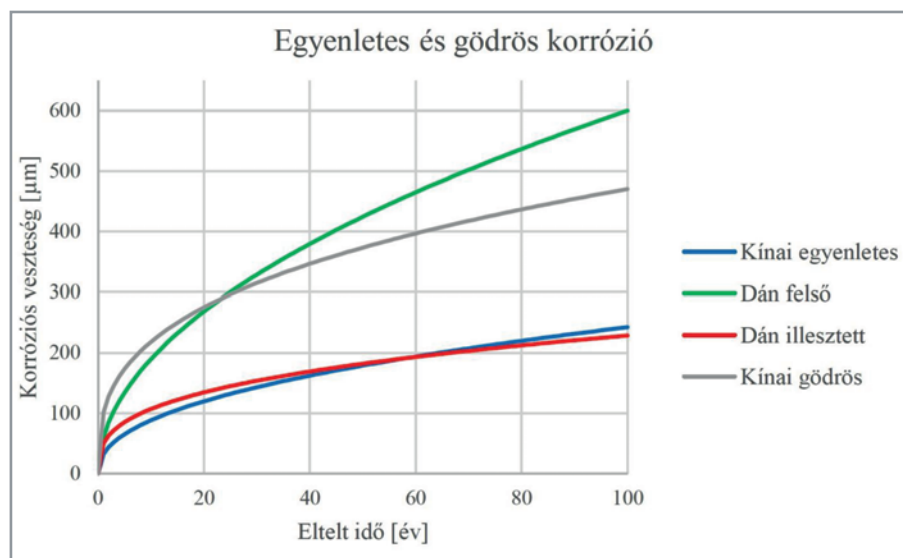
A [5] tanulmányban bemutatják egy Dániában végzett mérés eredményeit is, ahol tengeri körülményeknek megfelelő hídon végeztek méréseket a korróziós fogyást illetően. A próbatestek 28 évig voltak kihelyezve, és több év mért adatai is rendelkezésünkre állnak. A mérések alapján

a híd környezete C3-as korróziós osztályba sorolható az ISO 9223 szabványnak megfelelően, ami megegyezik az útsózásnak kitett hidak belső gerendáinak besorolásával. A mért korróziós fogyásokat és az illesztett korróziós görbét mutatja az 1. és 2. ábra.

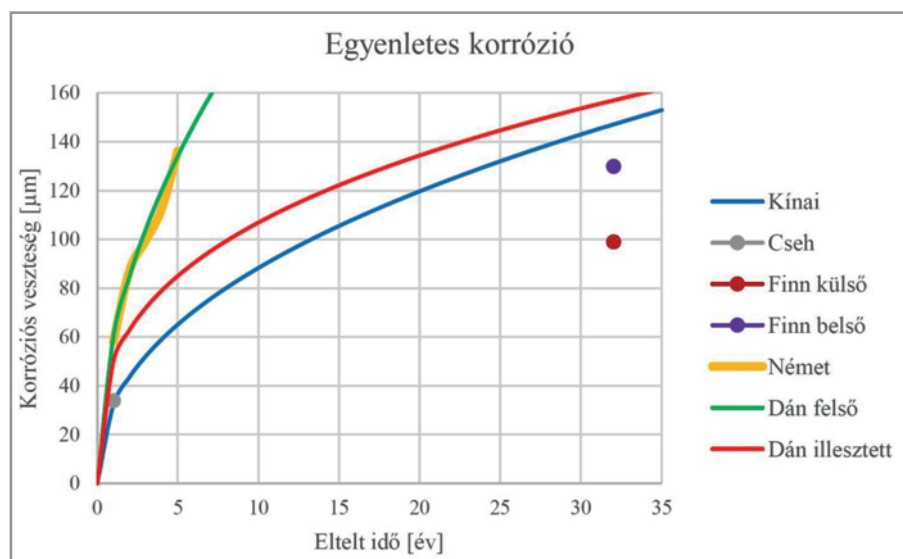
3. KORRÓZIÓ ERŐTANI MODELLEZÉSE

A korrózió előrehaladtával csökken a keresztmetszeti terület és egyenetlen felület alakul ki, amik feszültségkoncentrációhoz vezetnek. [6] A korrózió mértéke és a mechanikai tulajdonságok romlása közötti összefüggésre több vizsgálatot is végeztek. Az egyik ilyen tanulmány [7] során megfigyelték, hogy 15% alatti korróziós fogyáznál az anyag duktilitása csökkent jelentősen, míg 15% feletti korróziós fogyáznál a duktilitás mellett a folyáshatár és a szakítószilárdság is jelentősen lecsökkent. Esetünkben a korrózió mértéke jóval 15% alatt van, így a duktilitás csökkenésével kell számolnunk, amit a szakadónyúlás csökkentésével veszünk figyelembe a modellezés során.

Ahhoz, hogy kellően pontos végeeselemes vizsgálatokat végezzünk, ismernünk kell a korróziós veszteség időbeli alakulását. Az előbbieken bemutatott különböző, szórt körülmények mellett végzett korróziós mérések eredményei



1. ábra: Egyenletes és gödrös korrózió 0-100 év között



2. ábra: Egyenletes korrózió 0-35 év között

alapján felépítünk egy egyenletes és egy gödrös korróziós modellt, amit később a végeelemes modell során fogunk alkalmazni.

A Kínában végzett kísérletek anyagai közül az általunk vizsgált S355W típusú acélananyag tulajdonságaihoz a kísérletben alkalmazott Q345CNH acél tulajdonságai állnak a legközelebb. Az egyenletes korróziós fogyást Qionghai-ban végzett valós korróziós teszt korróziós fogyásának modelljével vesszük figyelembe, ami jól közelítette a Q345CNH acél gyorsított korróziós modelljét. A korróziós fogyás a [3] alapján:

$$C[\mu\text{m}] = 32,175 \cdot t^{0.4385} \quad (9)$$

Ahol:

C [μm] a korróziós fogyás,
 t az eltelt évek száma.

A 2.3. fejezetben bemutatott dániai mérés nem útszázsból eredő korróziós fogyást vizsgált ugyan, hanem tengeri körülményeknek megfelelőt, ami nagyon hasonló az útszázsból eredő korróziós fogyásnak. A dániai mérési eredményekre illesztett korróziós modell:

$$C[\mu\text{m}] = 50 \cdot t^{0.33} \quad (10)$$

A mérési eredmények alapján megadtak továbbá egy felső becslést is a korróziós fogyásra:

$$C[\mu\text{m}] = 60 \cdot t^{0.5} \quad (11)$$

A kínai és dániai kísérlet alapján felállított egyenletes korróziós modelljeit 0–100 év között az egyes kísérletek alapján a 1. ábra mutatja. Látható, hogy a kínai és a dániai illesztett modell közel állnak egymáshoz.

A 2.3 fejezetben bemutatott német mérés eredményei alapján a korróziós fogyást a 2. ábra sárga vonala szemlélteti. Ezen mérés során a próbatesteket nem hídgerendára, hanem a sózott út vezetőkoriátjára helyezték, amire jóval több só csapódik fel, mint egy hídgerendára, így a hidakon alkalmazott szelvények korróziós fogyását jelentősen túlbecsüli. A 2. ábrán megfigyelhető, hogy a német mérési adatok jól illeszkednek a dániai felülbecsült korróziós modellre. A német mérések és a dániai felülbecsült korróziós modell alapján a korróziós fogyás kb. 2,3-szorosa a kínai és dániai illesztett korróziós modell alapján meghatározott korróziós fogyásnak.

A cseh mérések csak egyéves korróziós fogyásra adnak eredményt. A mérések során külön vizsgálták a külső és belső gerendákon, valamint a vízszintesen és függőlegesen elhelyezett próbatesteken keletkező korróziós fogyást. A vízszintes és függőleges pozíciójú próbatesteken mért fogyások átlaga:

– külső gerendán: 33,625 [μm];

– belső gerendán: 34,05 [μm].

Az átlagok nagyon jól közelítik a kínai mérések egyenletes korróziós modelljéből származó egyéves fogyás mértékét, ami 32,175 [μm].

A finnországi mérésekről csak 32 év után mért adat áll rendelkezésünkre. A mérések során a próbatesteket csak függőlegesen helyezték el, és elkülönítették a külső és belső gerendákon mért eredményeket. A 32 év után külső és belső gerendákon mért korróziós fogyás értéke a 2. ábrán látható. A finnországi belső gerendákon mért fogyás 88%-a, a külső gerendákon mért fogyás csak 67%-a

a kínai egyenletes korróziós modell értékeinek. Ennek oka többek között az lehet, hogy a finnországi méréseknél függőlegesen helyezték el a próbatesteket, és függőleges felületen kisebb fogyás alakul ki, mint vízszintesen.

A gödrös korrózió mértékére csak a cseh és kínai kísérletek során végeztek méréseket, többéves modellt pedig csak a kínai mérések alapján lehet felállítani. A gödrös korrózió modellje a 2.2. bekezdésben bemutatott kínai mérések alapján:

$$A[\mu\text{m}] = 101,3 \cdot T^{(1/3)} \quad (12)$$

Ahol:

A [μm]

a maximális korróziós gödörmélység,

T [–]

a ciklusszám, ami jelen esetben megfelel az eltelt évek számának.

Ez a modell a maximális gödörmélység alakulását adja meg az eltelt évek függvényében (lásd 1. ábra).

A cseh mérések során a vízszintes pozíciójú próbatesteken mért átlagos gödörmélységek:

– külső gerendán: 61 [μm];

– belső gerendán: 51,5 [μm].

Ezek az átlagos értékek a kínai gödrös korróziós modell 1 év elteltével kialakult maximális gödörmélységének (101,3 [μm]) közelítőleg a fele.

A végeelemes modell során összehasonlításképp megvizsgáljuk a modellezett szelvény korróziós fogyását úgy is, hogy hagyományos, nem időjárásálló acélananyagot alkalmazunk. A szerkezeti acél korróziós fogyásának meghatározására egy olyan modellt alkalmazunk, melyet tengeri teherhajókon végzett korróziós mérésekből származtatnak, így megfelel a sós körülmények kritériumának, de az útszázsból eredő korrózió mértékét valószínűleg felülbecsüli. Bizonyos idő elteltével a nem időjárásálló szerkezeti acél korróziós szelvényfogyása is lelassul, mivel a rozsdaréteg itt se válik el teljesen a felülettől, ezáltal védve azt. Ezt a teherhajókon végzett tanulmány [8] során is figyelembe veszik, és egy olyan korróziós modellt (Guedes Soares és Garbatov) alkalmaznak, mely három részre osztja a korróziós folyamatot: az első fázisban nincs korrózió a felületi védelemnek (festés) köszönhetően, a második fázisban elkezdődik a korrózió a védőréteg megsérülésével és nő a korróziós veszteség, a harmadik fázisban pedig a korróziós folyamat lelassul és végül megáll.

Esetünkhöz a teherhajó fedélzetének korróziója áll a legközelebb, melyet Guedes Soares és Garbatov egy másik tanulmánya [9] során ismertet részletesebben.

A korróziós fogyás átlagértéke:

$$d(t) = 1,85 \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{t - 10,54}{11,14}\right)\right) \right] \quad (13)$$

A korróziós fogyás szórása:

$$d(t) = 0,384 \cdot \ln(t) - 0,71 \quad (14)$$

Ezen modell során azt feltételezzük, hogy az acél ~10 évig védi a bevonat, így addig nem korrodálódik. Guedes Soares és Garbatov a tanulmányaik során a korrózió során kialakult maximális gödörmélységet 50 év használat után állapították meg, így ezen modell csak 0–50 év között ad megfelelő eredményt a számítások során.

4. VÉGESELEMMODELL

4.1. Modell bemutatása

A végeelemes számítások során egy sózott út felett átvezető híd egy időjárásálló öszvérszerkezetű gerendáját modellezzük ANSYS általános végeelemes programban. A VEM-vizsgálat során ezen gerenda korróziós fogyását modellezzük az idő függvényében, majd a korrózió hídgerenda tönkremenetelére (stabilitás) történő hatását vizsgáljuk.

A hídgerenda dupla HEM 1000 szelvényű, S355W időjárásálló acél anyagú.

A VEM-modell során a gerenda stabilitásvesztését vizsgáljuk. Mivel a gerenda zárt keresztmetszetű, a globális stabilitásvesztés (kifordulás) nem mértékadó, a szerkezet lokális stabilitásvesztésre érzékeny. A lokális stabilitásvesztés a szelvény nyomott részén található korróziós gödrökből indulhat ki. Mivel a gerenda felső öve a vasbeton pályalemez által megtámasztott, stabilitásvesztés szempontjából az alsó nyomott zóna (nem megtámasztott alsó öv miatt) lesz a kritikus, ami többlettámaszú tartó esetén a közbenső támasz felett alakul ki.

Az ANSYS programban az acélgerendát az alul nyomott hosszszon SOLID185 térfogatelemekkel, míg a további hosszszon BEAM188 rúdelemmel modellezzük. Az együttműködő vasbeton pályalemez külpontosan definiált, SHELL181 héjelemmel kerül modellezésre. A modellt az EN-1991-2 [26] szerint terheljük, állandó és hasznos forgalmi terheléssel.

A gerendát függőleges és keresztirányban mindkét végén megtámasztjuk, hosszirányban csak az egyik végénél, továbbá mindkét végén meggátoljuk a hosszengely körüli elfordulást. Ezenfelül a közbenső támasz feletti végkeresztmetszetenél és a vasbeton pályalemez belső szélén szimmetriát feltételezünk.

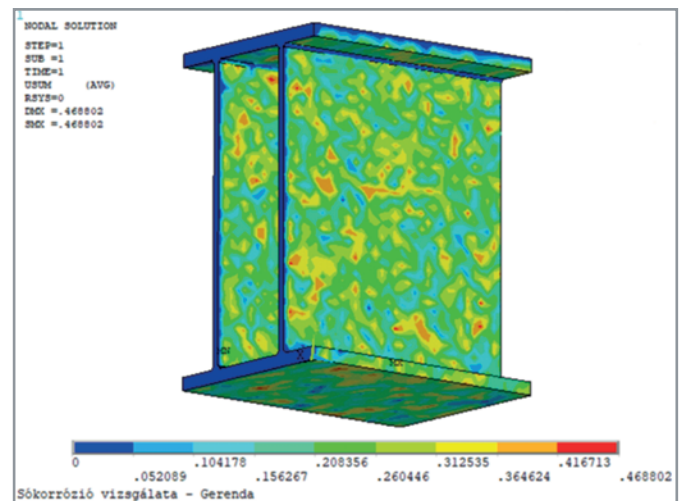
4.1.1. Korróziós modell

A korróziót a modellben a szelvény „fogyásával” vesszük figyelembe a 3. fejezetben ismertetett modellekkel. A modellezés során a korrózió két típusát különítjük el: modellezzük egyenletes korróziót, mikor a szelvény lemezeinek vastagságát csökkentjük egyenletesen (a rúdelemekkel és a testelemekkel modellezett részen is), és gödrös korróziót, mikor a szelvényen korróziós gödröket feltételezünk (csak a testelemekkel modellezett részen alkalmazható). A korrózió mértékét mindkét esetben az eltelt évek számának függvényében adjuk meg.

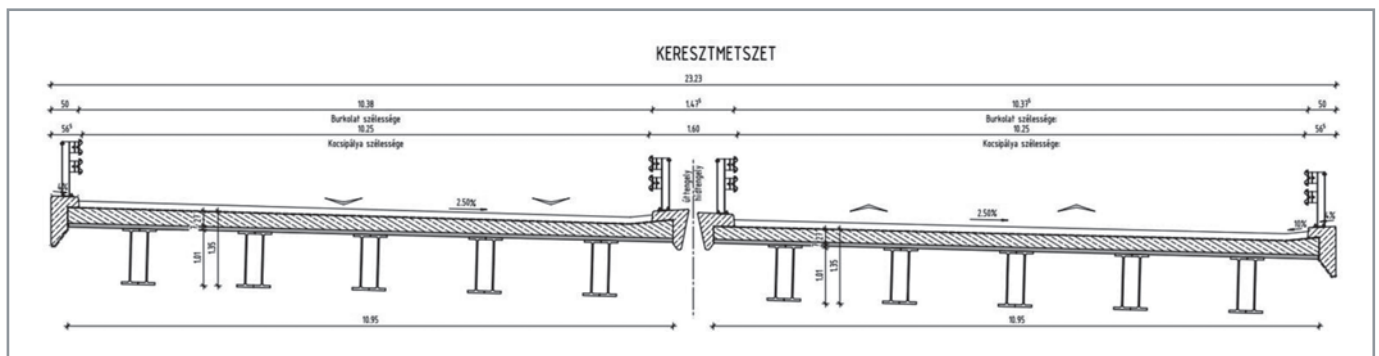
A gödrös korróziót az egyenleteshez hasonlóan a kínai modell alapján vesszük fel. A VEM-modellben a gödrös korróziót úgy modellezzük, hogy a szelvény felületén lévő

egy végeelempontokat különböző mértékben „benyomjuk”, ezzel egy egyenetlen felületet előállítva. A harántkontrakció megakadályozása érdekében a végeelempontok benyomásakor ideiglenes megtámasztásokat alkalmazunk, melyek a pontokat csak a benyomás irányába engedik elmozdulni. A benyomásból keletkező feszültségek kiküszöböléséhez a benyomás során az anyag rugalmassági modulusát a tízezredére csökkentettük. A kis rugalmassági modulus miatt a keletkező feszültség elhanyagolható mértékű lesz.

A benyomás mértékét időjárásálló acél esetén nulla, és a maximális korróziós gödörmélység közötti random számmal vesszük fel. Ezzel a modellezéssel a gödörmélység átlaga várhatóan a maximális érték fele lesz, amire jól illeszkedik a cseh modell alapján meghatározott 1 éves korrózióhoz tartozó átlagos gödörmélység. A gödrös korróziót a testelemmel modellezett szelvényrész egészen működtetjük a felső öv felső részét kivéve, mivel ott a pályalemez miatt nem korrodál a szelvény. A hagyományos (nem időjárásálló) acél esetében a korróziós fogyást a 3. fejezetben bemutatott korróziós modellel (Guedes Soares és Garbatov) vesszük figyelembe. Ez a modell átlagos gödörmélységgel és szórással jellemzi a fogyást, ezért az ANSYS-modellen a rúdelemekkel modellezett szakaszon mindenütt az átlagos fogyást feltételezzük, míg a testelemekkel modellezett szakaszon gödrös korróziót modellezzünk, és az átlagértéket, valamint a szórást ismerve Gauss-eloszlással adjuk meg a korróziós fogyást. A biztonság javára a gerenda belső részén is definiáltunk korróziós gödröket. Az így előállított és a további számításokhoz kiindulási alapul vett korrodált geometriát mutatja a 4. ábra 100 éves felső becslésű modellt alkalmazva.



4. ábra: Gödrös korrózió geometriája



3. ábra: Vizsgált hídkeresztmetszet

4.1.2. Anyagmodell, analízis

A modellünk során valódi feszültség–nyúlás modellt alkalmazunk és a korrózió hatását a szakítónyúlás csökkentésével vesszük figyelembe az alábbi képlet segítségével [6]:

$$\varepsilon_u = 0,20 - 0,00459 \cdot cr[\text{percentage}] \quad (15)$$

Ahol

ε_u [-] a szakadó nyúlás, és cr [%] a korrózió mértéke, melyet a korrodált térfogat és a kiinduló térfogat arányával határozzunk meg.

A vizsgálat során geometriailag és anyagilag nemlineáris imperfekt (GMNI) analízist végzünk. Nagy elmozdulásokat veszünk figyelembe, valamint a geometriai imperfekciót az EN 1993-1-5 [10] alapján határozzuk meg. A stabilitásvizsgálat alapján az első alak a gerinc lokális horpadása, így a kezdeti imperfekció amplitúdó értéke gerincmagasság/200. A stabilitásvizsgálat után nemlineáris analízist végzünk, mely során a kiinduló teher lineáris stabilitásvizsgálatból származtatott kritikus teher-szorzóval felszorozott értékét működtetjük több lépésben a szerkezeten.

5. EREDMÉNYEK

A vége-selemes vizsgálatot elvégezzük a kezdeti, korróziómentes szelvényen, a 3. bekezdésben ismertetett normál lezajlású (kínai) korróziós modell alapján és a korróziót felülbecslő (dániai) modell alapján $t = 50$ és $t = 100$ évre. A vizsgálatot továbbá elvégezzük hagyományos, nem időjárásálló szerkezeti acél korróziós modelljével is $t = 50$ évre.

5.1. Nemlineáris analízis

A tehervezérelt, nemlineáris analízis során előállított teher-elmozdulás diagramokat mutatja a 5. és 6. ábra az utolsó, még konvergált lépésig. A teher-szorzó értéke minden esetben megfelel az Eurocode szerinti mértékadó terhelés adott számú többszörösével, míg az elmozdulás értéke a horpadás irányába történő elmozdulást jelenti, ami jelen esetben a gerinc keresztirányú kitérése.

A különböző vizsgálatokhoz tartozó adatokat (korrózió mértéke [%], szakadó nyúlás értéke [-], az utolsó konvergált lépéshez tartozó teher-szorzó értéke [-], valamint

1. táblázat: Eredmények

Idő [év]	Korrózió mértéke [%]	Szakadó nyúlás ε_u [-]	Teher-szorzó [-]	Teher-szorzó $t = 0$ évhez viszonyítva [%]
$t = 0$	0,000	0,200	3,135	100,00
$t_{ill} = 50$	0,577	0,197	3,116	99,39
$t_{ill} = 100$	0,763	0,197	3,112	99,27
$t_{fel} = 50$	1,562	0,193	3,084	98,37
$t_{fel} = 100$	2,222	0,190	3,057	97,51
$t_{norm} = 50$	6,949	0,168	2,899	92,47

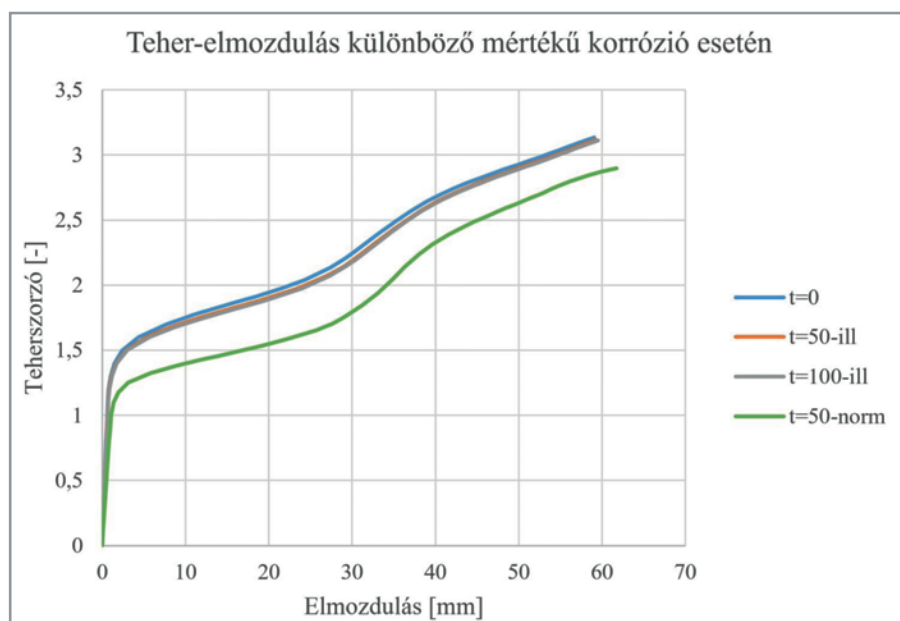
a lokális horpadás irányába történő elmozdulás értéke [mm]) mutatja az 1. táblázat. Alkalmazott jelölések: t_{ill} az időjárásálló acél illesztett korróziós modelljével végzett vizsgálat eredménye, t_{fel} az időjárásálló acél felső becslésű korróziós modelljével végzett vizsgálat eredménye, t_{norm} a hagyományos, nem időjárásálló acél vizsgálatához tartozó eredmény.

Az 1. táblázat azt mutatja, hogy a korrózió mértéke az időjárásálló acél esetén illesztett korróziós modellt alkalmazva 100 év elteltével is 1% alatti térfogatvesztéssel jár. Ez az érték a felső becslésű modellt alkalmazva 100 év alatt 2,2%-ra emelkedik. A korrózió a hagyományos, (nem időjárásálló acél) esetén a legjelentősebb, ~7% térfogatvesztéssel jár 50 év után. Megfigyelhető, hogy a korrózió az első 50 évben gyorsabb, mint 50 és 100 év között, mikor a kialakult patinaréteg már védi az anyagot.

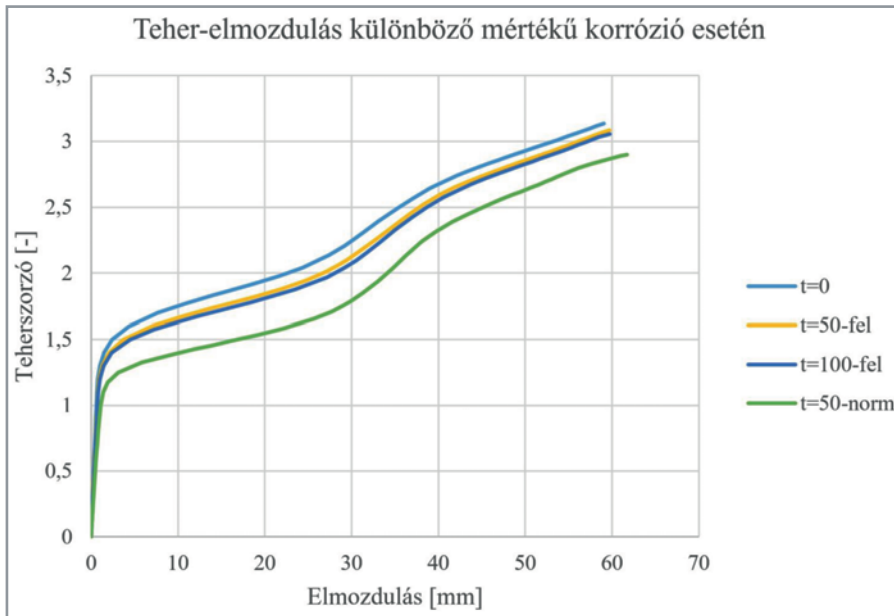
5.1.1. Illesztett korróziós modell

A $t = 0$ év (kiinduló, korróziómentes), illesztett korróziós modellel előállított $t = 50$ év és $t = 100$ év, valamint a hagyományos, nem időjárásálló acél $t = 50$ év elteltével előállított teher-elmozdulás diagramokat mutatja az 5. ábra. A diagramon látható, hogy az időjárásálló acél normál korróziós modellel történt vizsgálata során a teher-elmozdulás diagramok szinte egybeesnek, főleg az 50 és 100 év közötti változás eredményei. A nem időjárásálló acél esetén a teherbírási-csökkenés már 50 év után is látványos (~7,5%).

A $t = 0$ (korróziómentes) időpontban a szelvény a folyáshatárt a teher ~1,3-szorosánál éri el, a stabilitási tönkremenetel pedig a teher ~3,13-szorosánál következik be.



5. ábra: Teher-elmozdulás diagram illesztett sókorróziós modellt alkalmazva [1]



6. ábra: Teher-elmozdulás diagram felső becslésű sókorróziós modellt alkalmazva

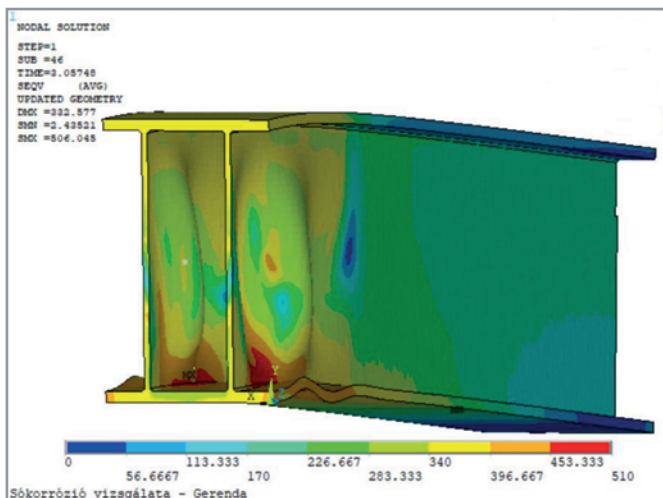
A $t = 50$ év időpontban vizsgált, nem időjárásálló acél-szelvény a folyáshatárt a teher $\sim 1,1$ -szeresénél éri el, ami $\sim 15\%$ -kal csökkent a kezdeti, $t = 0$ évben vizsgált szelvény-nél származtatott értékhez képest. A stabilitási tönkremenetel pedig a teher $\sim 2,90$ -szeresénél következik be, ami $\sim 8\%$ -os csökkenést jelent a $t = 0$ évben vizsgált eredmény-hez képest.

5.1.2. Felső becslésű korróziós modell

A $t = 0$ (korróziómentes) időpontban, felső becslésű korróziós modellel előállított $t = 50$ év és $t = 100$ év, valamint a hagyományos, nem időjárásálló acél $t = 50$ év elteltével előállított teher-elmozdulás diagramot mutatja a 6. ábra.

A diagramon látható, hogy az időjárásálló acél felső becslésű korróziós modellel történt vizsgálata során a teher-elmozdulás diagramok már jobban eltérnek, mint az illesztett korróziós modellel végzett vizsgálatok esetén előállított diagramok, főleg 0 és 50 év között, de az 50 év alatti $\sim 1,5\%$ -os teherbírás-csökkenés még mindig nem olyan jelentős, mint a nem időjárásálló acél esetén megfigyelt $\sim 7,5\%$.

A $t = 100$ év időpontban felső becslésű korróziós modellel vizsgált, időjárásálló acélszelvény tönkremenetelhez tartozó von Mises feszültségét mutatja a 7. ábra. Az ábrán a



7. ábra: Von Mises feszültség az utolsó konvergált lépésnél

gerenda elmozdulása 1,5-szeres nagyítással szerepel. Az elmozdult alakon megfigyelhető a gödrös korrózió okozta egyenetlen felület. A szelvény a folyáshatárt a teher $\sim 1,2$ -szeresénél éri el, ami $\sim 8\%$ -kal csökkent a kezdeti, $t = 0$ évben vizsgált szelvény-nél származtatott értékhez képest. A stabilitási tönkremenetel a teher $\sim 3,06$ -szorosánál következik be, ami $\sim 2,5\%$ -os csökkenést jelent a $t = 0$ évben vizsgált eredmény-hez képest.

6. KÖVETKEZTETÉSEK

A végeselemes számítások eredményein látható, hogy az idő múlásával és a korrózió előrehaladtával csökken a szelvény a teherbírása. Megfigyelhető, hogy ez a csökkenés 0–50 között nagyobb, mint 50–100 év között, ami időjárásálló acél esetén az idővel kialakult patinaréteg védelmének, nem időjárásálló acél esetén pedig a szelvényen maradó rozsdadarabok „védő szerepének” köszönhető. A teherbírás-csökkenés mértéke nagyban függ a korróziós modellettől: az időjárásálló acél esetén az illesztett korróziós modellel végzett mérések során alig csökkent a teherbírás, 100 év után is csak 0,7%-ot, felső becslésű modellt alkalmazva (ami a sózott út vezetőkorlátjának korrózióját jellemzi), is csak 2,5% a teherbírás-csökkenés. Nem időjárásálló acél esetén a teherbírás-csökkenés értéke már 50 év után is jelentősebb, 8%.

A gerinc horpadása minden esetben a közbenső támasz közelében alakult ki, az alsó övtől kiindulva (ez a legjobban nyomott rész). Megfigyelhető, hogy hol az egyik gerinc horpadt előbb, hol a másik, aminek oka, hogy különböző helyen, és különböző mélységgel jöttek létre korróziós gödrök.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen cikk az egyik szerző (Megyeri Anna Boglárka) diplomamunkájának kivonata, így ezúton is köszönjük dr. Kollár Dénes (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék, adjunktus) konzulensi támogatását és segítségét. A végeselemes futtatások a diplomamunka során az ANSYS Student program használatával készültek.

8. HIVATKOZÁSOK

- [1] Krivy, V., Kubzova M., Kreislova, K. & Konečný P. 2019. Corrosion Processes on Weathering Steel Bridges Influenced by Deposition of Deicing Salt. *Materials*. 2019;12(7):1089. <https://doi.org/10.3390/ma12071089>
- [2] Krivy V., Kubzova M., Kreislova K. & Hong H. P. T. 2019. Amount of Chlorides in Corrosion Products of Weathering Steel. *Transportation Research Procedia*, Volume 40, 2019, Pages 751–758, ISSN 2352–1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.106>
- [3] Zhang, Y., Zheng, K., Jin, Z., Ming, L. & Xioyang, F. 2021. Research on corrosion and fatigue performance of weathering steel and High-Performance steel for bridges. *Construction and Building Materials*, Volume 289, 2021, 123108, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123108>
- [4] Hemmert-Halswick 1992. Weitergehende statistische Auswertung der Untersuchung zum Korrosionsverhalten von WT-Stählen unter Tausalzbeanspruchung. Bundesanstalt für Straßenwesen.
- [5] Virolainen, E. & Sayeenathan, M. 2022. The use of weathering steel in different environments.
- [6] Guang-chong, Q., Shan-hua, X., Dao-qiang, Y. & Zong-xing Z. 2016. Study on the degradation of mechanical properties of corroded steel plates based on surface topography. *Journal of Constructional Steel Research*, Volume 125, 2016, Pages 205–217, ISSN 0143-974X, <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.06.018>
- [7] Qin, S. & Cui, W. 2003. Effect of corrosion models on the time-dependent reliability of steel plated elements. *Marine Structures*, (15–34).
- [8] Garbatov, Y. & Soares, C. G. 2011. Corrosion Modeling in Marine Structures. In book: *Marine Technology and Engineering* (pp. 1121–1156), Publisher: Taylor & Francis Group Editors: Guedes Soares, C, Garbatov, Y, Fonseca, N. & Teixeira, A. P., <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2136.4722>
- [9] Saad-Eldeen, S., Garbatov, Y. & Soares, C. G. 2011. Experimental assessment of the ultimate strength of a box girder subjected to severe corrosion. *Marine Structures*. Proc 11th Int. Symp. on Practical Design of Ships and other Floating, <https://doi.org/10.13140/2.1.2952.5446>
- [10] „Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1–5: Plated structural elements”

NORD-LOCK® ÉKZÁRAS ALÁTÉTEK ACÉLSZERKEZETEKHEZ

MEGFELELŐ ÉS JÓVÁHAGYOTT

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



MIÉRT ÉS MIKOR?

Ha a csavarkötésen belül relatív elmozdulás lép fel, a csavar a menetemelkedés következtében automatikusan kilazulhat.

Ez az alkatrészek szétesését, vagy csavartörést okozhat. Az ok elsősorban ütés vagy dinamikus terhelés, illetve rezgés lehet, de az eltérő hőmérsékletek is kiválthatják. A Nord-Lock ékzárás alátétek könnyen ellenállnak ezeknek a terheléseknek, megbízhatóan és hosszú távon biztosítják a csavarkötéseket.



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

FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEK



NORD-LOCK
GROUP



GYALOGOS ÉS KERÉKPÁROS ACÉLSZERKEZETŰ ÍVHÍD TERVEZÉSE

BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán végzett tanulmányaim zárásaként egy gyalogos- és kerékpáros-forgalom számára tervezett acélszerkezetű ívhíd koncepcióját dolgoztam ki. A híd Szentendre belvárosi környezetében, a Szigetmonostor–Szentendre kompátkelő kiváltására szolgálna.

A tervezés során kiemelt szempont volt a statikai, funkcionális és esztétikai követelmények összehangolása, valamint a helyszíni adottságok – mértékadó árvízszint, hajózási őrsvény, akadálymentességi követelmények – figyelembevétele.

A tervezési folyamatot egy kutatómunka előzte meg, amelynek célja a hasonló igényekre világszerte megvalósult szerkezeti megoldások vizsgálata volt. A kutatást követően négy lehetséges variáns összehasonlító elemzését készítettem el. Ezek közül kettő bizonyult ígéretesnek, amelyeket vázlattevé szinten részletesebben kidolgoztam. A kiválasztott változat ezt követően részletes vizsgálat tárgyát képezte. A részletes elemzés során parametrikus módszerekkel optimalizált, feszített hídszerkezeten statikai és dinamikai vizsgálatokat végeztem.

A HELYSZÍN BEMUTATÁSA

A tervezett híd helyszíne Szentendre belvárosi környezetében, a Szigetmonostor–Szentendre kompátkelő térségében található, ahol a létesítmény gyalogos- és kerékpáros-forgalom számára biztosítana állandó átkelési lehetőséget, a Duna korzó és a Szentendrei-sziget között. A helyszín sajátosságai több kötöttséget is meghatároztak a tervezés során. A mértékadó árvízszint a városi közlekedési szint felett helyezkedik el, így a pályaszerkezetet mindenképpen e szint fölött kell kialakítani, figyelembe véve az árvízvédelmi fal és a mobilgát csatlakoztatását is. További jelentős korlátozó tényezőt jelent a hajózási őrsvény, amely megköveteli, hogy a hídszerkezet támaszai kizárólag a szélső harmadokban helyezkedjenek el. Az akadálymentességi előírások betartása szintén meghatározó, mivel a rámpák lejtésének biztosítania kell a zavartalan közlekedést. Mindezek által a híd függőleges vonalvezetése egy szűk intervallumban volt kezelhető.

A KONCEPCIÓ BEMUTATÁSA

A tervezési koncepció elsődleges célja egy gyalogos- és kerékpáros-forgalom számára egyaránt alkalmas híd kialakítása, amely állandó átkelési lehetőséget biztosít a városi környezet és a természet között. A szerkezet funkcionális szerepén túl kiemelt jelentőséggel bír a városképi illeszkedés: a hídnak szerves részévé kell válnia Szentendre belvárosi látképének, egyben közösségi térként is szolgálva, ahol az átkelők megállhatnak, és kilátópontként élvezhetik

a panorámát. A vonalvezetés kialakításánál alapvető szempont a harmonikus, könnyed szerkezeti megjelenés és a közlekedési útvonalak folytonosságának biztosítása. Ennek megfelelően a híd csatlakozásainál a rámpák nem törhetik meg sem a korzó, sem a sziget felőli sétányok vonalvezetését, azok természetes folytatásaként kell megjeleníteniük. A koncepciót befolyásoló kötöttségek meghatározzák a függőleges vonalvezetést és a támaszok elhelyezését is, amelyek a statikai szempontokkal összhangban alakítják ki a szerkezet végső formáját.

MEGÉPÜLT PÉLDÁK

A tervezési koncepció kialakítását több, nemzetközi szinten megvalósult gyalogos- és kerékpáros híd elemzése előzte meg, amelyek szerkezeti és esztétikai megoldásaik révén iránymutatást adtak a tervezéshez.

Haixin híd, Guangzhou (Kína)

A közel 502 méter hosszú, süllyesztett pályás ívhíd 198 méteres támaszközzel és 58 méteres ívmagassággal valósult meg. Íves, Y alakú csatlakozásai zökkenőmentes kapcsolatot biztosítanak a környező sétányokhoz, míg a csavarómerev acélszerkezetű íves pálya harmonikus átkelést és kilátást kínál a gyalogosforgalom számára.

Equinox híd, Toronto (Kanada)

A 92 méter pályahosszú, S alakú, koncepcionális ívhíd 24 méteres ívmagassággal és 84 méteres támaszközzel hidalná át a Keating-csatornát. Egyedi ellenív-kialakítása nemcsak esztétikai szempontból kiemelkedő, hanem a gyalogosforgalom csillapítását is szolgálja. A szerkezet egy kábelcsigolyával és csavarómerev szerkezetű tartóval készült.

Elizabeth Quay híd, Perth (Ausztrália)

A 110 méteres, S alakú pálya két, egyenként 22 méteres döntött ívre függesztve valósult meg. Sajátossága, hogy a pálya két oldalán álló ívek révén hosszirányban bővíthető szerkezeti kialakítást kínál. Parametrikus alakkeresés segítségével optimalizált ívmagassága és különböző kilátópontjai miatt a városkép meghatározó eleme lett.

Tiergartenbrücke, Dessau-Roßlau (Németország)

A két kábelcsigolyára függesztett, 108 méteres pályát csőszelvényű ív hordja. A keresztartók végpontjaira kapcsolódó kábelek csökkentik a pálya szerkezeti magasságát és a csavarónyomatékokat, tisztább erőjátékot eredményezve. Az ív pálya felé történő döntése statikai kérdéseket vet fel, amelyekre a kétíves kialakítás adhat megoldást.

Zubizuri híd, Bilbao (Spanyolország)

A 75 méteres szerkezet egy 15,3 méter magas ívre függesztve valósult meg, sugaras elrendezésű két kábelcsigolyával. A főtartóba befogott ív kialakítása elkerüli a jelentős víz-

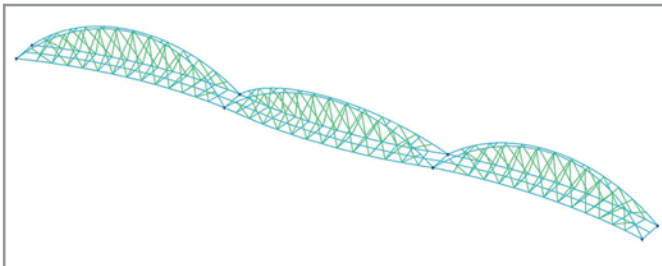


szintes erők bevezetését a hídfőkbe, miközben biztosítja az akadálymentes közlekedést. A sűrű kábelkiosztás hatékony erőátvitelt eredményez.

VÁZLATTERVI VARIÁNSOK KIVÁLASZTÁSA

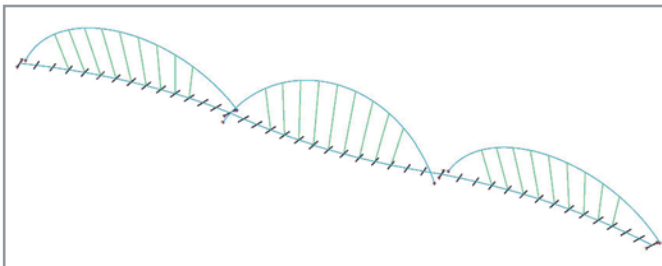
A helyszíni adottságok és a megépült példák elemzését követően négy szerkezeti variánst dolgoztam ki, amelyek közös jellemzője az oldalnézetben íves pálya és az „S” alakú alaprajzi vonalvezetés. A különbségeket elsősorban az ívek dőlése, a kábelek kiosztása és a merevítőtartók kialakítása adta. A variánsok vizsgálata során VEM-alapú rúdmodellek készültek.

I. variáns: Egy függőleges és egy döntött ív egymáshoz merevítve, külön-külön Network típusú kábelsíkkal. Az csőszelvényű ívek a pálya mellett futó merevítőtartóba csatlakoznak be. A kialakítás nagy merevséget és stabilitást biztosít, ugyanakkor a feszítőkábelek gondos tervezést igényelnek.



1. ábra: I. variáns

II. variáns: Egyetlen zárt szelvényű ív, mely a pálya fölé dől. A felfüggesztés egyetlen, középvonalban elhelyezett, sugaras kábelsík segítségével történik, amely kereszt-tartókhoz csatlakozik. A magas ív miatt stabilitásvesztésre érzékenyebb, a kábelkiosztást az űrszelvények akadályozzák.

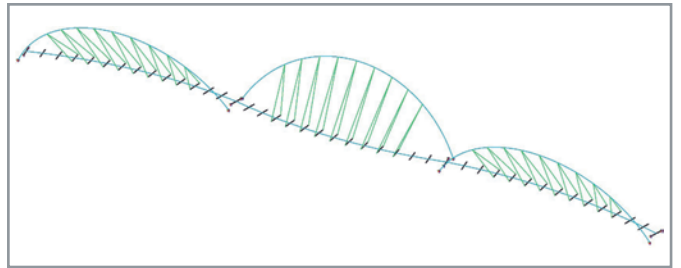


2. ábra: II. variáns



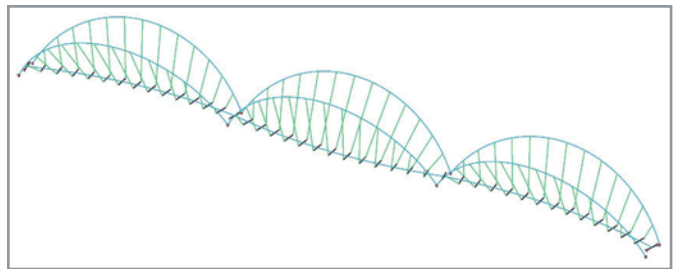
5. ábra: Helyszínrajz

III. variáns: Az ív befogása a pálya ellenkező oldalán történik, így az előző megoldáshoz képest eltérő erőjáték alakul ki. A merevítőtartó lehajlása jelentős, mivel az ív dőlése és a pálya görbülete kedvezőtlenül hat egymásra. Az űrszelvény biztosítása gondos kábelrendezést igényel.



3. ábra: III. Variáns

IV. variáns: Két egymástól távolodó ív, két kábelsíkkal. Az űrszelvények könnyen biztosíthatóak, mivel a kábelek ferdesége és iránya kedvezőbb. Az ívben magas normálerők ébrednek, ami stabilitási kockázatot jelenthet. Ez a variáns látványos, nyitott szerkezeti megjelenést kínál, de statikai szempontból alaposabb vizsgálatot igényel.



4. ábra: IV. variáns

A szerkezeti variánsok részletes elemzését követően az első és a második variánst választottam ki további vizsgálatok céljából.

Az első variáns mellett szól, hogy két kábelsík megfelelően biztosítja az űrszelvényeket, miközben az ívpár a kialakítás merevségét jelentősen növeli. A Network kábelkép kedvező erőátadást eredményez, dinamikai szempontból is jelentős szerepet tölt be. Az acélszelvények alkalmazhatók, illetve a pálya nyílt keresztmetszettel is kialakítható.

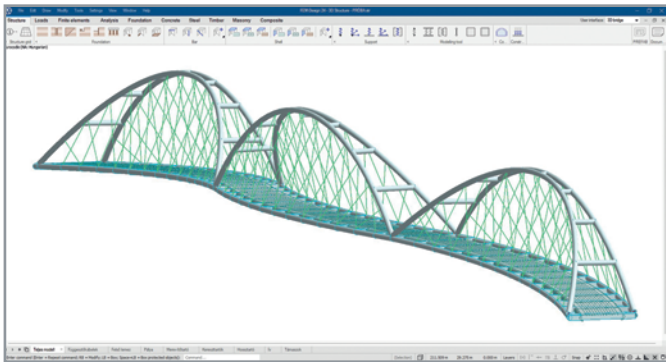
A második variáns előnye a letisztult és könnyed szerkezeti forma, amely folyamatos áthaladást és kilátást tesz lehetővé. A középen elhelyezett sugaras kábelkiosztás egy-

szerűséget sugall. A csavarómerev pálya alkalmazása elengedhetetlen, ugyanakkor a szerkezet felületkezelési igényei a legkisebbek a vizsgált megoldások között.

A két kiválasztott kialakítást közelítő statikai számításoknak vettem alá. A két variáns közös jellemzője a 210 méter hosszú, három támaszközre osztott, acél felszerkezetű ívhíd, amely eltérő ívkialakítással és pályaszerkezettel valósul meg.

Az első kialakítás előnye a kedvező lehajlási érték, a gazdaságos acélfelhasználás és az úrszelvények zavartalan biztosítása. Ezzel szemben a második variáns előnye a letisztult forma és a kisebb mázolandó felület, hátránya viszont a nagyobb önsúly, az érzékenyebb stabilitás és a fenntartás nehezebb biztosítása.

Összességében az első variáns bizonyult kedvezőbbnek a szerkezeti viselkedés, az erőjáték és az úrszelvények szempontjából, ezért részletes kidolgozásra ezt a kialakítást választottam.



6. ábra: Az I. variáns végelelemmodellje

RÉSZLETES TERVEZÉS

A részletes számításokhoz kombinált héj- és rúdelemekből álló végelelemmodellt készítettem FEM-Design szoftver 3D moduljával. A pályaszerkezet héjelemekkel, az ív, a merevítőtartók és a keresztartók rúdelemekkel, míg a függesztőkábelek rácsrudakkal kerültek modellezésre.

A modell ellenőrzése három szinten történt: tisztán rúdelemes modell, héjelemekből felépített pályaszerkezet rúdelem keresztartókkal, illetve részletes héjelemekkel modellezett merevítőtartók és keresztartók. Az önsúlyra kapott lehajlási és feszültségi értékek összevetése alapján a második szint bizonyult optimálisnak: megfelelően pontos eredményeket adott, miközben elkerülhetőek voltak a harmadik szint bonyolultságából adódó lokális feszültségcsúcsok.

A hálóméret hatását 100–30–10 cm-es elemmérettel vizsgáltam. Az eredmények azt mutatták, hogy a 30 cm-es hálóméret biztosította a megfelelő pontosságot, kedvező számítási idő mellett.

OPTIMALIZÁLÁS

A tervezés során a Rhino–Grasshopper–FEM-Design kapcsolatot kétféle módon alkalmaztam. Egyrészt a pályaszerkezetet importáltam a számítási modellbe, másrészt a szerkezet optimalizálását végeztem el parametrikus úton.

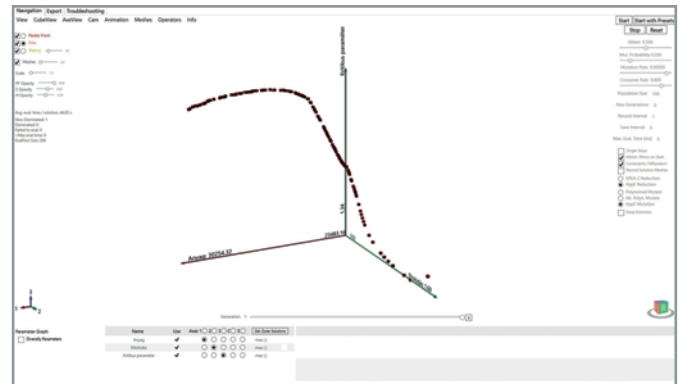
A vizsgálat középpontjában az ívmagasság meghatározása állt, mivel a szerkezet élettartama során legnagyobb mértékben az önsúlyból származó igénybevételeket viseli, erre a teherre kerestem a körív optimális magasságát. Ennek érdekében iterációs folyamatot használtam, amely különböző ívmagasságok mellett vizsgálta a szerkezet viselkedését.

Az első módszer egyetlen kritérium – az önsúlyból származó lehajlás – alapján határozta meg az optimális ívet. Eredményként az ideális geometria a támaszközre illesztett félkörívet közelítette.

A második módszer már több szempontot vett figyelembe: a lehajlást, a kritikus stabilitási paramétert és az anyagfelhasználást. Ezáltal a kialakítás használhatósági, stabilitási és gazdasági szempontból is optimalizált ívmagasságot eredményezett, amely kiegyensúlyozottabb megoldást nyújtott a szerkezeti követelmények teljesítésére.

A vizsgálat menete a következő: a Grasshopper környezetben paraméteresen változtatom az ívmagasságot, és az ennek megfelelő geometria továbbítódik a FEM-Design felé végelelemes analízis céljából. Az elemzést követően a FEM-Design visszaküldi a három vizsgált eredményt – a lehajlást, az anyagfelhasználást és a kritikus stabilitási paramétert –, amelyeket Grasshopper automatikusan rögzít a vizsgált tartomány minden pontjára.

Az eredmény egy háromdimenziós koordinátarendszer, amelyben az egyes tengelyek a vizsgált kritériumokat reprezentálják. Az így kapott diszkrét pontokból álló görbe minden pontja egy FEM-Design modellt jelképez, azaz egy adott ívmagassághoz tartozó szerkezeti viselkedést. Mivel minden pont három kritériumértéket hordoz, céloom volt kiválasztani azt a pontot – tehát azt az ívmagasságot –, amely a legjobban teljesíti a meghatározott elvárásokat.



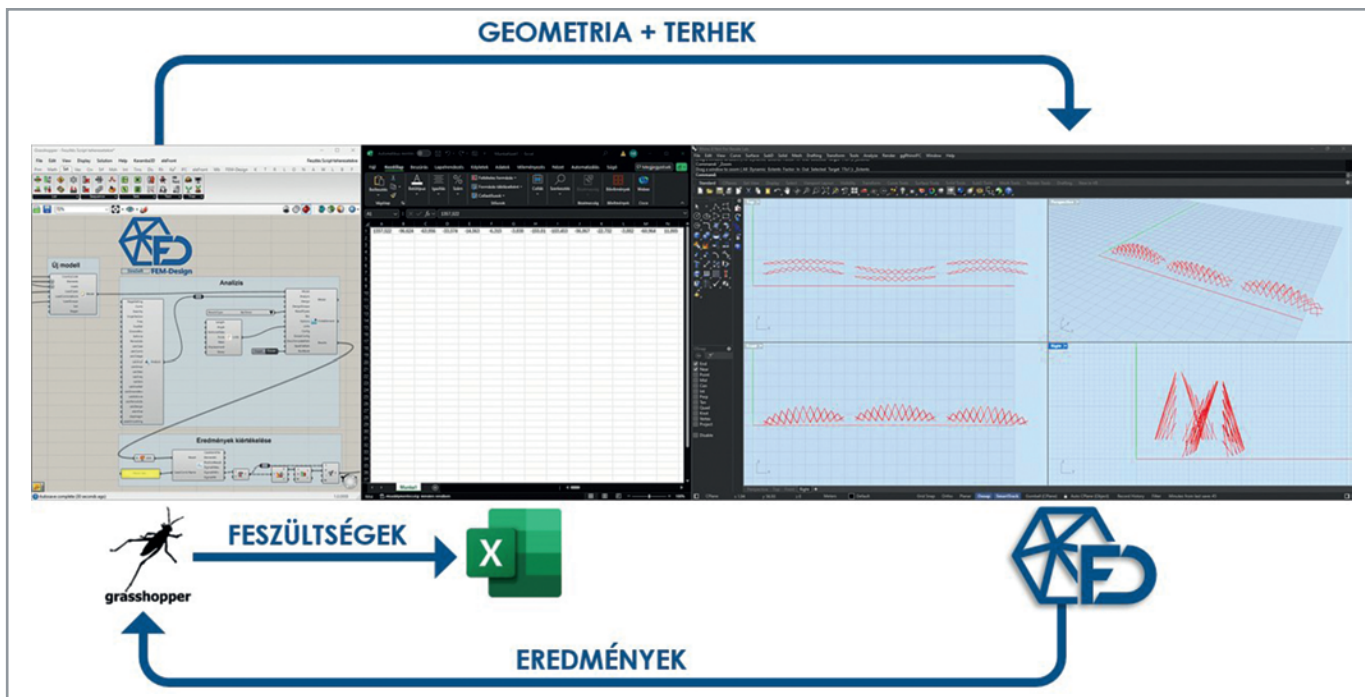
7. ábra: Az optimalizálás eredménye

FESZÍTÉS

A tartószerkezet különleges geometriája, valamint a gyalogosforgalom által keltett dinamikus hatásokra való érzékenység csökkentése érdekében „network” rendszerű kábelképet alkalmaztam, amely összesen 144 feszítőkábelből állt.

Mivel a híd folytatólagos, töbtámaszú, nem használhatók ki szimmetriasíkok, így a feszítési hatásmátrix előállításához mind a 144 kábel külön-külön vizsgálata szükséges. Az eljárás során minden kábel esetében egységnyi feszítőerőt alkalmaztam, majd rögzítettem az ennek hatására a többi kábelben kialakuló feszültségeket. Ezen vizsgálat szisztematikus elvégzésével előállítható a teljes feszítési hatásmátrix.

A korábban a FEM-Design-ban modellezett szerkezetet beolvastam Grasshopper környezetbe, ahol az elemekre bontás révén azonosíthatók a feszítőkábelek. A folyamat során egyesével kerülnek kiválasztásra a kábelek, egységnyi feszítőerőt alkalmazva rájuk. Az így létrejövő, módosított modell visszakerül a FEM-Design-ba analízis céljából. Az analízis után a program visszaküldi az összes kábelben ébredő feszültségeket, amelyeket automatikusan regisztrál egy Excel-táblázatba.



8. ábra: Feszítés automatizálása

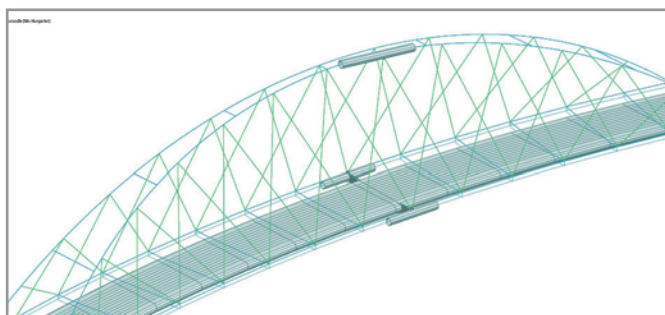
A folyamat kulcseleme egy léptető algoritmus, amely lehetővé teszi, hogy az egyes analízis és az eredménykiértékelő ciklusok után automatikusan, a következő kábelre kerüljön a feszítőerő. A ciklus újraindul: új modell előállítás, analízis, eredménygyűjtés és rögzítés. A léptető egymás után végigveszi mindezt 144 alkalommal, a 144 kábelre, így végül a teljes hídszerkezetre előállítható a feszítési hatásmátrix.

CSOMÓPONT VIZSGÁLATA

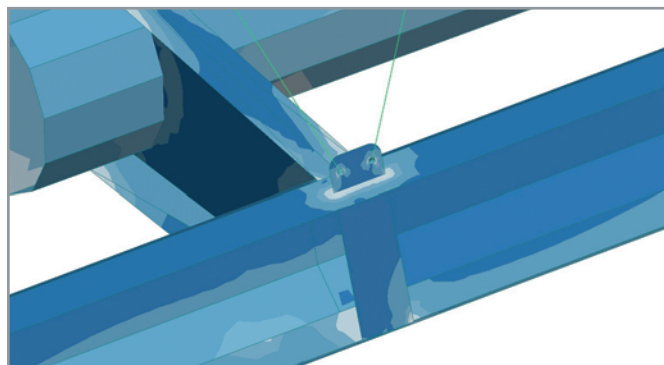
A kijelölt bekötési csomópontot az EN 1993-1-8:2005 szabvány szerint méreteztem, majd részletes végeelemmodellt készítettem, amelyben a globális modell érintett részeit héjelemekké alakítottam. Ez lehetővé tette a csomólemez csőszelvényre gyakorolt hatásának, valamint a keresztartó-csatlakozásoknak a pontos vizsgálatát.

A csatlakozásokat úgy alakítottam ki, hogy az igénybevételek feszültségcsúcsok nélkül adódjanak át, különösen a merevítő és keresztartó kapcsolatánál, illetve a feszítőkábelek bekötésénél.

Kiemelt figyelmet igényel a feszítőkábelek által okozott lokális erőbevezetés, amely gondos tervezést tesz szükségessé. A számítások igazolták, hogy a csomóponti kialakítás megfelelő, ugyanakkor a feszültségcsúcsok csökkentése érdekében a csomólemezt célszerű a csőszelvényeken át



9. ábra: Csomóponti részlet a globális modellben



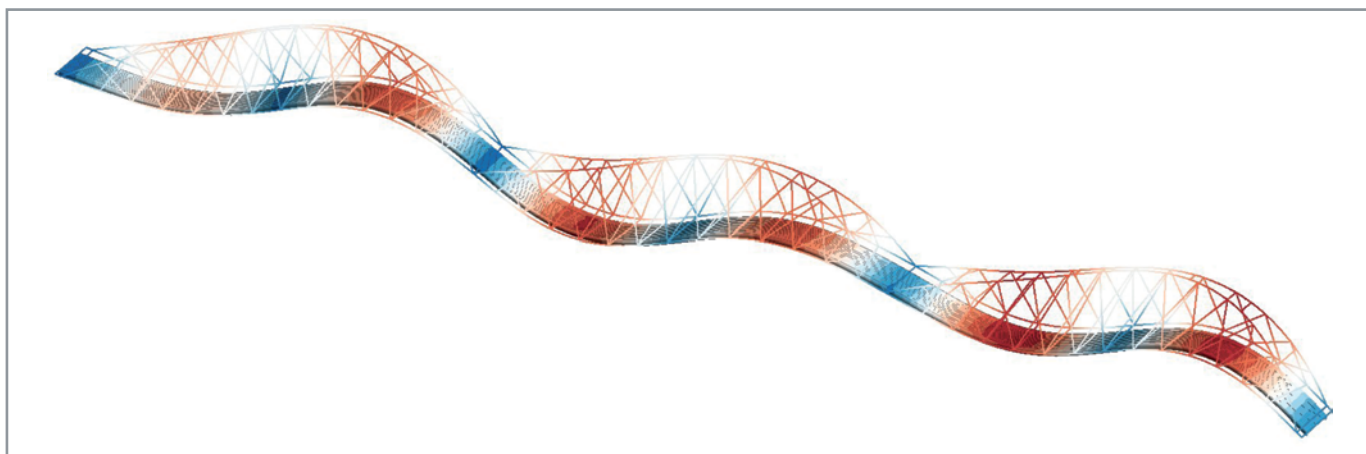
10. ábra: Feszítőkábelek bekötése

vezetve kialakítani. A csomólemez gazdaságosabb kialakítása a vastagság csökkentésével is elérhető, amennyiben a furatok környezetében gyűrűs megerősítést alkalmazunk a megfelelő teherbírás biztosítására.

GYALOGOSDINAMIKA

A gyalogosforgalom hatásait a Sétra a (Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes) útmutatója alapján elemeztem, amely két sajátfrekvencia-állapot figyelembevételével javasolja a szerkezetek besorolását. Az eredmények szerint a híd közepes komfortszintet biztosít, így csillapítóberendezés alkalmazása nem feltétlenül szükséges. Amennyiben magasabb komfortfokozat az elvárás, csillapítók beépítése, vagy a pályaszerkezet önsúlyának növelése javasolható, például a merevítőartók és a pályaszerkezet oldalsó íves szakaszának kibetonozásával.

Fontos azonban kiemelni, hogy a Sétra által biztosított javaslat közelítő eredményekre vezet az adott esetben. A híd egyedi kialakítása miatt indokolt a vizsgálatok pontosítása végelemes analízissel, amely megbízhatóbban mutatja ki a gyorsulási értékeket, valamint segíti a csillapítóberendezések optimális helyének és paramétereinek meghatározását.



11. ábra: Első sajátfrekvencia alak

ÖSSZEGRZÉS

A tervezett gyalogos- és kerékpáros híd célja a Szentendre és a Szentendrei-sziget közötti közlekedési kapcsolat tartós és esztétikus biztosítása. A helyszíni adottságok – árvíz-védelmi szempontok, hajózási úrszelvény és akadálymentesítési előírások – jelentős korlátozásokat támasztottak, amelyek meghatározták a szerkezet lehetséges kialakítását. A nemzetközi példák áttekintése, valamint a négy koncepcionális változat összehasonlítása alapján két ívhídvariánst vizsgáltam vázlatteví szinten. A statikai vizsgálatok, az anyagfelhasználás, a szerelhetőség, a fenntarthatóság és az esztétikai megjelenés szempontjait egyaránt mérlegelve az első variáns bizonyult kedvezőbbnek.

A végeleemes számítások, a parametrikus ívmagasság-optimalizálás és a csomóponti részletek numerikus elemzése igazolta, hogy a választott szerkezeti koncepció statikailag kedvező és gazdaságosan megvalósítható. A gyalogosdinamikai vizsgálatok alapján a híd megfelelő komfortszintet biztosít, különleges igény esetén azonban a pályaszerkezet önsúlyának növelésével vagy csillapítóberendezések alkalmazásával a rezgések és gyorsulások tovább mérsékelhetők.

Összességében a vizsgálatok alátámasztják, hogy a tervezett acél ívhíd nemcsak a funkcionális és statikai követelményeknek felel meg, hanem illeszkedik a városi környezethez is, közösségi térként és városképi elemként egyaránt értéket képviselve.

ZSENIÁLISAN EGYSZERŰ BRUTÁLISAN HATÉKONY

X3S FASTMIG

 **KEMPPi**

 **Corweld+**

Hivatalos magyarországi képviselő
2049 Diósd, Balatoni út 21/e

www.corweldplus.hu

Making our world more productive



Linde Green

A Linde Green gázok előállításához 100%-ban megújuló energiát használunk.

www.lindegas.hu

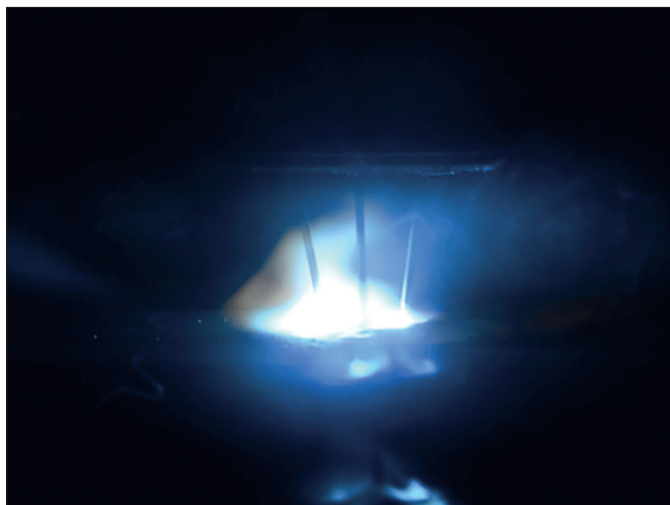
CLOOS A SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2025 KIÁLLÍTÁSON

„Erős kapcsolatok a kiemelkedő teljesítményért” mottóval a CLOOS ismét úttörő ívhegesztési technológiákat mutatott be a SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2025 kiállításon Essenben. A fókuszban az új MIG/MAG hegesztési eljárásváltozat, a TANDEM+ világ-premierje, digitális megoldások, valamint a QINEO hegesztőgépek teljes portfóliója állt.

TANDEM+: Forradalmi háromhuzalos eljárásváltozat a maximális teljesítményért

„30 éve mi találtuk fel a tandemhegesztést. A TANDEM+ új fejezetet nyit a MIG/MAG hegesztéstechnológia történetében” – mondta Stephan Pittner, a CLOOS Csoport vezérigazgatója. „A maximális leolvadási teljesítményt ötvözzük a maximális hatékonysággal, és ezzel új mércét állítunk ügyfeleink számára világszerte.”

A TANDEM+ háromhuzalos eljárásváltozatban a két, egymástól elszigetelt hegesztési ív mellett egy további hideghuzal használatával jelentős varratkeresztmetszet-növekedés érhető el. A TANDEM+ a leolvadási teljesítményt teljesen új szintre emeli – a hegesztési rétegek száma kevesebb, a hegesztési idők pedig rövidebbek. Ideális nagy térfogatú hegesztési feladatokhoz, például a vasúti jármű-gyártásban, a szélenergia-iparban és az acélszerkezet-gyártásban.



1. kép: A CLOOS háromhuzalos TANDEM+ megoldása

AUTOMATIZÁLT HEGESZTÉS: rugalmas, egyedi igényekre szabható, nagy teljesítményű

A CLOOS egy kompakt robotrendszert is kiállított, amely moduláris felépítésben különböző hegesztési eljárásváltozatokat és komponenseket demonstrál. A cella jól szemlélteti, miként szabható egyedi igényekre a CLOOS-technológia, és miként integrálható a legkülönbözőbb gyártási környezetekbe – az egyedi gyártástól a sorozatgyártásig.

Az érdeklődők emellett megtekinthették az ArcBoT kollaboratív robotot is, amely kis darabszámokhoz, változó alkatrészgeometriákhoz és rugalmas termelési környezetekhez ideális. A Cloos a kifejezetten vékony lemezre fejlesztett MoTion Weld rövid íves hegesztési eljárásváltozatot is bemutatta az ArcBoT-on. Ez a megoldás, amely minimális fröcskölést és irányváltó huzalelőtolást tesz lehetővé, gyártótól függetlenül minden ívhegesztő robotrendszerrel integrálható.



2. kép: CLOOS ArcBoT és MoTion Weld

QINEO HEGESZTŐGÉPEK: technológia minden alkalmazásra

A QINEO sorozattal a CLOOS minden modern hegesztési eljárásához nagy teljesítményű platformot kínál – a belépő megoldásoktól a csúcscategóriás áramforrásokig. A gépek a hagyományosan magas német minőséget képviselik, ipari hatékonyságot és intuitív kezelhetőséget ötvözve.

A QINEO StarT a kézi MIG/MAG hegesztés belépő modellje. Könnyű kezelhetőségének, megbízható technológiájának és a vonzó ár-érték aránynak köszönhetően kitérő választás számos alkalmazási területen.

A QINEO NexT sokoldalú, csúcstechnológiás hegesztő-áramforrás, amely széles eljáráspalettát fed le, és kézi, valamint automatizált hegesztéshez egyaránt alkalmas.

Kimagasló minőségű invertertechnológiájának köszönhetően a NexT kiváló ívkarakterisztikát, nagy folyamatbiztonságot és hosszú élettartamot nyújt.

A QINEO Quest csúcscategóriás megoldást kínál a TIG-hegesztés által támasztott kihívásokra. Maximális precizitást, kitűnő ívgyújtási tulajdonságokat és finom szabályozhatóságot garantál.

Minden QINEO gép moduláris felépítésű és rugalmasan igazítható az új követelményekhez – akár utólagos bővítéssel, komponensek cseréjével, vagy digitális termelési környezetekbe történő integrálással. Ipar 4.0 alkalmazásokhoz OPC UA interfészek opcionálisan elérhetők.

PISZTOLYBA INTEGRÁLT FÜSTELSZÍVÁS: immár TANDEM-alkalmazásokhoz is

A CLOOS a kiállításon a hegesztőpisztolyba integrált füstelszívó rendszert is bemutatta kézi és automatizált hegesztéshez egyaránt. Az elszívás közvetlenül a hegesztőpisztolynál történik, így a füstterhelést a keletkezés helyén csökkenti – a nagyobb munkabiztonságért és tiszta termelési körülményekért. A megoldás rugalmasan integrálható meglévő rendszerekbe, és mostantól a TANDEM-alkalmazásokhoz is rendelkezésre áll. Ezzel a bővítéssel a CLOOS a legmagasabb leolvadási teljesítmények mellett is hatékony egészségvédelmi megoldást kínál a termelésben.



3. kép: Kézi hegesztőpisztolyba integrált füstelszívás



4. kép: CLOOS ArcBoT füstelszívós pisztollyal

DIGITÁLIS MEGOLDÁSOK: C-Gate és QNECT

A C-Gate IoT-rendszer, amely valós időben gyűjti, elemzi és vizualizálja a hegesztési termelés minden releváns adatát. Ez lehetővé teszi a folyamatok átlátható felügyeletét, optimalizálását és dokumentálását, amely döntő lépés az okosgyár felé. A C-Gate támogatja a felhasználókat hegesztőrendszereik minőségének, termelékenységének és rendelkezésre állásának fenntartható növelésében.

A QNECT több, mint interfész – a CLOOS központi platformja a digitális termékekhez és szolgáltatásokhoz való hozzáféréshez. A CLOOS hegesztőgépek és rendszerek a QNECT-en keresztül zökkenőmentesen integrálhatók a meglévő IT és termelési környezetekbe – ideértve a szabványosított interfészeket, a szerepkör-alapú jogosultságkezelést és a moduláris bővíthetőséget.

Örülünk, hogy számos hazai érdeklődőt is vendégül láthattunk a kiállításon, és velük is megismertettük legújabb innovációinkat, köztük a TANDEM+ eljárásváltózatot, a legmodernebb digitális megoldásainkat – C Gate és QNECT –, a Mo Tion Weld Package csomagot, az ArcBoT kollaboratív robotot, a moduláris automatizálási rendszerünket, és természetesen a jól bevált kézi hegesztési megoldásainkat is. A Cloos megoldásai az ön vállalkozásának termelékenységét is javíthatják, további információért keressen bennünket bizalommal!

CLOOS

Kollaborálj a csúcstechnológiával

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

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

WWW.CLOOS.HU - ROBOT-WELDING@CLOOS.HU

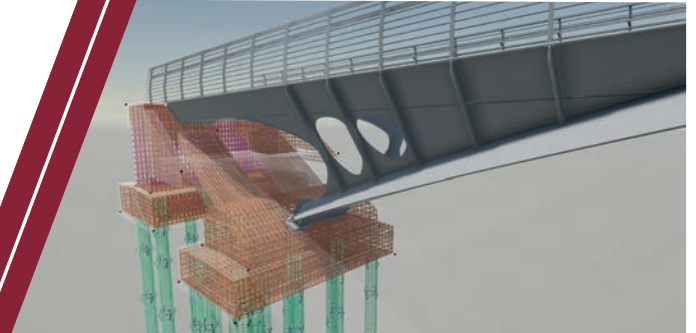
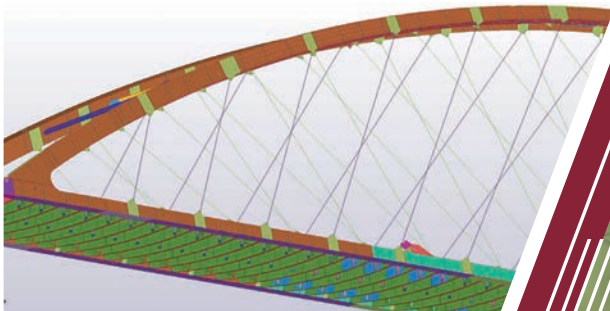
FOMTERV

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



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

Úton a megvalósulás felé ...



www.fomterv.hu

Géper

Gépek és Rendszerek
Szolgáltató Kft.

H-6000 Kecskemét,
Itrinyi u. 29.

www.geper.hu

messer.geper@t-online.hu

Messer
Cutting
Systems
Magyarországi
Képviselője



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

MESSER INNOVÁCIÓS FÓRUM 2025

Hegesztés, vágás, hidrogén- és lézertechnológiák a fémmegmunkálásban

Időpont: 2025. november 25. • Helyszín: Budapest, Aquaworld

A fémipar, gépgyártás és automatizálás szakembereinek találkozója.

Kiemelt előadások

- **HyCut: hidrogénes vágás – zöld forradalom a vágástechnikában**
- **A hidrogén biztonsági kérdései**
- **Kézi lézerhegesztés – optimális beállítások és védőgázok**
- **Lézeres munkavégzés biztonságosan**
- **Ipar 4.0 és integrált logisztika a fémszerkezetgyártásban**
- **AI a gépgyártásban – TRUMPF tapasztalatok**
- **Nemzetközi trendek: Schweißen & Schneiden, Formnext 2025**

Kerekasztal: A hegesztés jövője

Dr. Gyura László (MHTÉ), Dr. Farkas Attila (MAHEG), Benus Ferenc (Mátrai HTK)

Moderátor: Halász Gábor (Messer Hungarogáz Kft.)

Kiállítók

ABB, Crown-CLOOS, Admasys HU (Freedee), Grimas, Hegpont, KL-System, Messer, Optimum Hungária, PAB, REHM, TRUMPF, Varinex

Miért érdemes részt venni?

- Valós ipari esettanulmányok
- Innovatív technológiák élő bemutatói
- Kapcsolatépítés vezető ipari szereplőkkel



Regisztráljon a QR-kódon keresztül vagy az esemény weboldalán!

Web: <https://info.messer.hu/innovation-forum>

Jelentkezési határidő: 2025. november 14.

MEZŐGAZDASÁGI LÉTESÍTMÉNYEK ÉS ÜZEMEK ACÉL FELJÁRÓI

Az acélból készült feljárók jelentős kiegészítő szerkezetei a mezőgazdasági és ipari létesítményeknek is. Többszintes épületek esetén az emeletek közötti közlekedés megvalósítására számos lehetőséget nyújtanak – a rendelkezésre álló helytől függően – a csigalépcsők és/vagy egyeneskarú rendszerek.



A csarnokok, raktárak tekintetében a munkavégzés könnyítése, egyszerűbbé tétele a lépcsők elsődleges feladata. Mindezt garantálják az acélból készült gyártmányok hosszú élettartam és alacsony karbantartási költsége mellett.

A mezőgazdasági épületek – akár silók vagy tartályok – rendkívül magas építmények lehetnek, ezért a közlekedési utak biztosítása egyrészt funkcionális feladat, másrészt a munkavégzéshez szükséges követelmény és törvényi előírás is. A szerkezetek közvetlenül kapcsolódnak az épület szintjeihez, ezért precízen illeszkednek a környezethez. Ennek köszönhetően természetes módon idomulnak a létesítmény közlekedési útjaihoz.





A gyártó és/vagy feldolgozó **üzemekben létesített feljárók** támogatják az ott zajló munkavégzést. Lehetővé teszik a karbantartási helyszínek és operatív helyiségek gyors és **könnyű megközelíthetőségét**. A tárolókhoz, gépházakhoz való akadálytalan hozzáférés kiemelt szempont a működés folyamatos fenntartása érdekében.

A feljárók **rendeltetésének meghatározása** elsődleges feladat a tervezés során. Egyedi lépcsőink mellett rendelkezésre állnak moduláris rendszereink is, amelyek bővíthetők, átalakíthatók, meghatározott feltételek mellett pedig áthelyezhetőek. Termékeinkkel hosszú távon garantáljuk a stabilitást és a jelentősebb igénybevételnek történő megfellest. (X)



További kérdések, műszaki egyeztetés, illetve ajánlatkérés esetén kérjük, keressen bennünket bizalommal.

www.ferroste.hu ur.norbert@ferroste.hu

Tel.: +36 25 511 033, +36 20 53 46 546



Honlapunkon
a MAGÉSZ Acélszerkezetek
előző számai is
olvashatók.



 **MAGÉSZ**[®]
Magyar Acélszerkezeti Szövetség

www.magesz.hu

 **MCE**
part of the family
HABAU GROUP

MCE Nyíregyháza
hidak kivitelezője

www.mce-hg.com

A Német vasutak megrendelésére kivitelez az MCE egy különleges vasúti hídgyűtest. Az észak-németországi Friesenbrücke három, egymás után épülő híd mindhárom tagja helyére került, a forgatható híd sikeres próbaüzeme is lezajlott. A forgatható híd képen látható állása a hajóforgalmat engedi a folyón, 90 fokkal elfordulva a vasúti közlekedés haladhat rajta.

KAUKÁZUS – MAGASHÁZAK, KÜLÖNLEGES SZERKEZETEK

I. rész: Azerbajdzsán

Cikkemben Európa és Ázsia határának két országába, Azerbajdzsánba és Georgiába (Grúziába) kalauzolom el olvasóimat. A gyors fejlődést mutató államok, történelmi emlékeik mellett, látványos építészeti megoldásokkal kápráztatják el látogatóikat. Utunk első állomása a tűz országa, Azerbajdzsán. A cikk fotóit – a 3. és a 7. kép kivételével – a szerző készítette 2024 őszén.

Azerbajdzsán a „tűz országa”, elnevezését a hegyek gyomrából előtörő természetes gázok által táplált, folyamatosan égő lángokról kapta. A leglátogatottabb helyszín, a főváros központjától mindössze 25 km-re északra fekvő Yanar Dag, az „Égő Hegy”.

A Magyarországgal közel azonos területű (84 ezer km²) és lélekszámú (10,5 millió fő), egykori szovjet tagköztársaságország 1991-ben nyerte el függetlenségét. A gazdaság motorja az olaj- és gázipar. A Kaszpi olajmező kitermelése már a XIX. században megkezdődött. A főváros, Baku tengerpartján ma is látható egy használaton kívüli fúrótorony, mint az ország jelképe. Azerbajdzsán a világ 22. legnagyobb kőolaj- és 31. földgázkitermelő állama. A napi olajkitermelés, 710 ezer hordó.



2. kép: Egykori fúrótorony a bakui tengerparton

A 2 millió lakosú Baku különleges keverékét nyújtja a történelmi örökségnek és a modern, futurisztikus építészetnek. Az óvárost, szűk utcáival, középkori kőházaival, mecseteivel, fürdőivel az UNESCO világörökségi helyszínné nyilvánította.

A főváros levegője a nagy forgalom és az ipari üzemek miatt erősen szennyezett, ami nem utolsósorban a főtűzolgát is megnehezíti.

MAGASHÁZAK

Baku 20, 100 métert meghaladó épületével a magasházak városa. A házak közül több a főváros reprezentatív délnyugat–északkelet irányú **Heydar Aliyev sugárútja** mentén épült. A 109. szám alatt húzták fel az ország és egyben a Kaukázus legmagasabb felhőkarcolóját, a **Baku Tower-t**. A 277 méter magas, 50 szintes torony építése 2014-ben kezdődött, és 2020-ban fejeződött be. A házban elsősorban irodahelyiségeket alakítottak ki. A kivitelezési munkák fővállalkozója, az SMTS azeri cég volt, amely a sugárút több épületének munkálataiban is részt vett, mint a 35 emeletes, Chinar Plaza üzleti központ.

A főváros modernkori jelképe a 3 toronyból álló, egymáshoz kapcsolódó **lángnyelveket** formázó este látványosan kivilágított magasház. A legmagasabb torony 182 méteres. Az építkezésről 2007-ben született döntés, az ünnepélyes átadásra 2013-ban került sor. A házban 250 hotelszobát, 130 luxuslakást, továbbá 33 ezer m² irodaterületet alakítottak ki. A terveket az USA-központú, 27 tervezőcégből álló HOK csoport készítette.

Baku további építészeti látványossága a „**Crescent project**”. A fejlesztés keretében irodákat, bevásárlóközpontot, luxuslakásokat és egy 5 csillagos szállodát magában foglaló komplexum a főváros tengerparti sétánya mentén kialakított, mesterséges szigetre épült. A létesítmény különlegessége a dobogón álló, 35 emeletes, félholdat mintázó hotel, amelynek legmagasabb pontja 182 méter. A kivitelezés 2014–2022 között zajlott.



1. kép: „Yanar Dag”, folyamatosan égő lángok



3. kép: Baku Tower, forrás: <https://smts.az/>



4. kép: Lángtoronyok



5-6. képek: Crescent project



7. kép: SOCAR Tower, Az azeri állami olajipari vállalat székháza,
Forrás: Internet

A 196 méter magas **SOCAR Tower** az azeri állami olajtársaság irodatornya. A ház terveit a dél-koreai Heerim Architects iroda készítette. A 2010–2016 között felépített látványos toronyház kivitelezője a török TEKFEN cég volt. A torony érdekessége, hogy két egymásba fonódó lángnyelvet jelenít meg. A 100 ezer m² hasznos területben irodákat, konferenciaközpontot, sportlétesítményeket, szállodát és üzleteket helyeztek el.

A korábban említett Heydar Aliyev sugárút belvárosi szakaszának különleges épülete a merész vonalú, 33 szintes, 130 méter magas **Ritz-Carlton Hotel**. A 2008-ban megkezdett fejlesztést, a munkálatok többszöri leállását követően, csak 2022-ben adták át.



8. kép: Ritz-Carlton Hotel

A komplexum 1–13 szintje 5 csillagos szállodaként, míg a további 20 emelet apartmanjai luxustársasházi lakásokként funkcionálnak.

A párizsi székhelyű AVESTA Group of Companies cég elnöke a közelmúltban egy meglepő, **nagyszabású városfejlesztési projektet** hozott nyilvánosságra, amely keretében a Kaszpi-tengerben lévő Kazár-szigeten egy új várost kívánnak felépíteni. Az elképzelések szerint, az akár 1 millió lakos letelepítését is lehetővé tévő fejlesztés részét képezné a világ legmagasabb épületének felhúzása is. Az épülő Azerbajdzsán Tower 1050 méteres magasságával, 220 méterrel haladná meg a jelenlegi világszög Dubajban álló Burdzs Kalifa tornyot.

KÜLÖNLEGES ÉS FUTURISZTIKUS ÉPÜLETEK

Az ország legismertebb futurisztikus épülete a **Heydar Aliyev Center**. A Zaha Hadid (1950–2016) iraki származású sztárpítész által tervezett ház 2007–2012 között épült. Heydar Aliyev (1923–2003), 1993-tól haláláig az ország köztársasági elnöke volt. A 74 méter magas, 57 500 m² területű épületkomplexumban 1000 főt befogadó előadótermet, állandó és időszakos kiállításokat, konferenciaközpontot, valamint kisebb létszámú workshopok rendezésére alkalmas tereket alakítottak ki. A házban állandó kiállítás keretében mutatják az egykori köztársasági elnök életét, autóflojtáját.



9–10. képek: Heydar Aliyev Center



11. kép: Konferenciaközpont



12. kép: Szőnyegmúzeum 1.



13. kép: Szőnyegmúzeum 2.

Az Aliyev Center közvetlen szomszédságában áll, a **Konferenciaközpont (Baku Convention Centre)**, ugyancsak különleges épülettömbje. A mintegy 180×140 méter alapterületű objektumban 17 üléstermet alakítottak ki, amelyek közül a legnagyobb 3500 személy befogadására alkalmas, ugyanakkor a flexibilis válaszfalakkal ellátott helyiségek az igényekhez igazodóan oszthatók, bővíthetők. A monumentális épületet 2015-ben adták át rendeltetésének.

A főváros tengerparti sétányán, a Baku Boulevardon, több különleges épülettel is találkozhat a látogató. A bevároستól dél felé haladva elsőként a **Szőnyegmúzeum** tárul elénk. A felcsavart szőnyeget jelképező, tengerre merőleges épülettömb 120 méter hosszú és legnagyobb szélessége 40 méter. Az ünnepélyes megnyitó 2014-ben volt. Az azerbajdzsáni szőnyegszövés hagyománya évezredekre nyúlik vissza, ezért 2010-ben az UNESCO az emberiség szellemi kulturális örökségének részévé nyilvánította. A múzeum Franz Janz osztrák építész tervei alapján készült, nevéhez fűződik többek között Bukarest legmagasabb épületének, a 137 méter magas SKY TOWER-nek a tervezése is.

A promenád különleges épületei közé tartozik a **Deniz Mall**. A lótuszvirágot formázó bevásárlóközpont 8 szirmában több látogató a Sydney Operaház tetőszerkezetének részletét véli felfedezni. A 170 méter átmérőjű, 5 szintes épületben a magyarországi plázákban is megszokott üzlet- és éttermi láncok kaptak helyet.

A bevásárlóközponttól mintegy 2 km-re délre a 2012. évi Eurovíziós Dalfesztivál döntőjének helyszínéként épült a sport- és kulturális célokra egyaránt használható **Kristálypalota**.

A komplexum területe 31 ezer m², melyből a játéktér 11 ezer m². A csarnok középső magassága 24 m. Az épület 12000 ülőhellyel rendelkezik, de 27000 ember befogadására is alkal-

mas. További különlegesség a LED-lámpákkal megvilágított homlokzat, amely különböző világítási forgatókönyvek szerint, az aktuális eseményhez illő hangulatokat teremt.



14. kép: Deniz Mall



15. kép: Kristálypalota

TOVÁBBI KÜLÖNLEGES SZERKEZETEK, LÉTESÍTMÉNYEK

A város különleges építménye a 310 méter magas **telekommunikációs torony**. A betoneból készült szerkezet 1979–1996 között épült és a Láng-tornyok felépítéséig a város jelképe volt.

A tengerparti sétány további turisztikai látványossága a **Baku Eye**, a 60 méter magas, 30 légkondicionált kabint mozgó óriáskerék.

Baku Port a Kaszpi-tenger legnagyobb és legforgalmasabb kikötője. A belvárostól mintegy 5 km-re délre lévő létesítmény hajóival, daruival különleges látványt nyújt.

A tengerparti főváros ivóvízzel való ellátásában kulcsfontosságú projekt volt a 110 éve üzembe helyezett „**Shollar vízellátó**” rendszer, amely a Bakutól mintegy 190 km-re északra fekvő Khudat városból betoncsőben szállítja a vizet. A ma is működő rendszer átlagos kapacitása 1200–1300 liter/másodperc. Átadásakor Európa leghosszabb vízvezetéke volt. A projektről a Heydar Aliyev Center történeti kiállítása az akvadukt építésének korabeli fotójával állít emléket.



16. kép: Telekommunikációs torony



17. kép: Baku Eye

A mélyen, a Kaszpi-tengerbe nyúló Abseron-félszigetre látogató turista számtalan működő és termelésből kivont olajipari létesítménnyel, kitermelőkutakkal, olajvezetékekkel és egyéb berendezéssel találkozik.

Baku nemzetközi és turisztikai ismertségéhez nagyban hozzájárult, hogy 2017-ben felkerült a Forma 1. hivatalos versenynaptárára. A szeptemberi futamokat a városban kialakított 6 km hosszú, 20 kanyarral nehezített pályán, 31 körrel rendezik meg.



18. kép: Baku Port



19. kép: A Sholler akvadukt építésének korabeli fotója



20. kép: Olajvezetékek a főút mentén



21. kép: Termelésből kivont olajipari létesítmények

BEVONATOK SZÁRADÁSÁNAK, KÖTÉSÉNEK BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐI

Az acélszerkezetek korrózió elleni védelme nagy részben bevonatkészítéssel történik. A festékbevonatok száradási/kötési ideje fontos gazdasági kérdés, hiszen nem mindegy, mikor vihető fel a következő réteg, mikor mozgatható a lefestett munkadarab, összességében mikor készül el a bevonati rendszer. Elsősorban, de nem kizárólagosan a sorozatgyártásban egyre nagyobb igény van arra, hogy a bevonatkészítés ciklusidejét minél rövidebbre szorítsák le.

A festékgyártók erre vonatkozó adatokat a technikai adatlapokon közölnék, amik statikus adatok. Igény lenne azonban egy olyan algoritmus felállítására, ami a befolyásoló tényezők figyelembevételével megmondja, mennyi idő van még hátra a különböző száradási fokozatokig, a teljes kikeményedésig. A különböző bevonati anyagot gyártók és forgalmazók nem tudnak, vagy érthető módon nem akarnak felelősséget vállalni azért, ha felhasználó a saját számításai szerint igyekezne lerövidíteni ezeket a száradási időket, ezért nem publikálnak ilyen számítási módszereket. Több festékgyártóval történt konzultáció alapján megállapítható, hogy az egyes projektekre értékesített festékanyagokra vonatkozó száradási adatok értelmezésében technikai támogatást nyújtanak, de abban nem tudnak segíteni, hogy egy algoritmus segítségével közöljék, a különböző befolyásoló tényezők változása esetén hogyan alakul a száradási idő, mikor tudja a termelő cég a munkadarabokat forgatni, rakatolni, szállítani, vagy csak a következő réteget felvinni a felületre. Maradnak hát a technikai adatlapokon szereplő statikus adatok.

Egy festék száradását/kötését sok tényező befolyásolja. Először is meg kell különböztetni a **festéktípusokat**. Ezek az alábbiak: **fizikai száradású, oxidatív száradású** és a **kémiai kötésű** anyagok. Valamint fontos különbség, hogy **milyen hígítású** anyaggal van dolgunk. **Szénhidrogén-származék, vagy víz** hígítású festékekkel akarunk dolgozni. A fizikai száradású anyagok általában magas VOC-tartalommal rendelkeznek, a száradás úgy megy végbe, hogy az oldószer kipárolgása után a szárazanyag-tartalom a felületen egy bevonatot képez. Az oxidatív száradású anyag hasonlóképpen működik azzal a különbséggel, hogy a levegő oxigéntartalmával is reagál, így polimerizálódik. A kémiai kötésű anyagok mások. Általában kétkomponensűek, vannak 100% szárazanyag-tartalmú bevonati anyagok is. A két komponens összekeverését követően egy harmadik, új anyag jön létre, kémiai reakció útján. Ebből is látszik, hogy egy minden festéktípusra alkalmazható száradási/kötési algoritmus megalkotása szinte lehetetlen feladat. Az azonban lehetségesnek tűnik, hogy az egyes festékek adatait egy programba táplálva tájékoztató adatokat kapjunk a száradási/kötési időkről a befolyásoló tényezők függvényében. Ennek megalkotásához alaposabban meg kell ismernünk a száradás/kötés befolyásoló tényezőit.

Hőmérséklet és páratartalom

A magasabb hőmérséklet általában gyorsítja a száradást, mivel a festékben lévő oldószerek vagy a víz gyorsabban párolognak. Ezzel szemben a magas páratartalom lassítja a száradási folyamatot, mert kevesebb nedvességet – oldószert tud a levegő felvenni a festékből. Különösen a vízhígítású festékeknel van ennek nagy jelentősége, mivel a víz elpárolgása a fő száradási mechanizmus. Ez alól vannak különleges kivételek, mint pl. az etil cinkszilikát bevonatok, ahol a magas páratartalom feltétele a kémiai kötésnek.

Légmozgás, szellőzés

A légmozgás segíti a párolgást azáltal, hogy a festék felülete közelében lévő telített levegőt friss, száraz levegővel cseréli le. Ezért egy jól szellőző helyiségben vagy a szabadban, légmozgással együtt, a festék gyorsabban szárad, mint egy zárt, levegőtlen térben.

A bevonat vastagsága

A festékréteg nedves rétegvastagsága közvetlenül befolyásolja a száradási időt. Egy vastagabb rétegnek több időre van szüksége arra, hogy a nedvesség vagy az oldószerek elpárologjanak a mélyebb rétegekből is. Ezért több, vékonyabb réteg felhordása, a rétegek közötti száradási idő betartásával, sokkal hatékonyabb lehet, mint egyetlen vastag réteg felvitele. Kétkomponensű, forrón szórt oldószertmentes bevonatot viszont akár 2000 μm vastagságban is lehet építeni egy munkamenetben.

Festéktípus és kémiai összetétel

A festék kémiai összetétele is kulcsfontosságú. A hagyományos vízhígítású festékek, akrilok és latexfestékek fizikai száradással, azaz a víz elpárolgásával szilárdulnak meg. Az oldószeres festékek (például az olajfestékek vagy az alkidfestékek) ezzel szemben kémiai reakciók, például oxidáció révén száradnak, ami időigényesebb folyamat. Az olajfestékek száradási ideje napokig, akár hetekig is tarthat, míg egy vékony akril festékréteg akár 30 perc alatt is porszáraz lehet. A kétkomponensű festékek kémiai kötéssel szilárdulnak meg. Ha a komponensek összekeverése megtörtént, a térhálósodás be fog következni – akár levegőtől elzárt állapotban is.

Szárazanyag-tartalom és hígítás

Az egyes festékek szárazanyag-tartalma különböző lehet. Általában az egykomponensű anyagok alacsony szárazanyag-tartalommal rendelkeznek, míg a 2K anyagok lehetnek ún. high-solid (HS), ultra high solid (UHS) vagy akár 100% szárazanyag-tartalmúak is. Minél kevesebb oldószert kipárolgására van szükség, annál gyorsabb lehet a bevonat száradási/kötési ideje. Ez a tényező természetesen egy hígító használata esetén tovább bonyolítja egy száradási/kötési algoritmus felállítását.



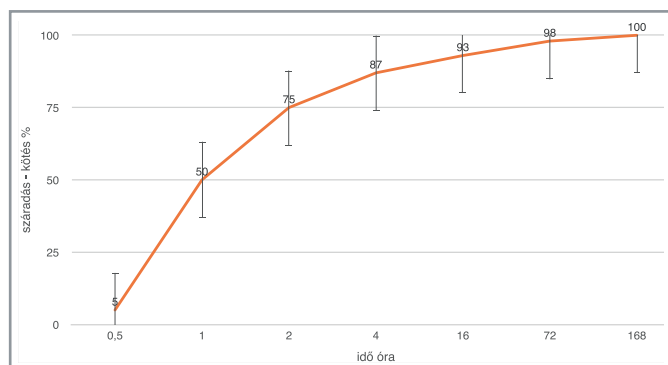
A DIN EN ISO 9117-5:2012 szabvány száradási fokozatai

TG fokozat	Vizsgálati módszer	Megnevezés (angol)	Magyar megnevezés	Rövid leírás
TG 1	Ballotini öntése a bevonat felületére. Az üveg-golyók könnyen és teljesen lesöpörhetőek puha ecsettel, a felület sérülése nélkül.	dust dry	porszáraz	A felület nem ragad a porhoz, nem tapadnak rá szőszök.
TG 2	20 g súly alkalmazása papírkorongon és gumikorongon. Ha a papír nem ragad a bevonathoz, a TG 2 fokozatot elérték.	surface dry	felületszáraz	A felület száraznak tűnik, de enyhe nyomásra még benyomható.
TG 3	200 g súly alkalmazása. Ha a papír nem ragad a bevonathoz, a TG 3 fokozatot elérték.	through dry (early)	kezdeti átszáradt	A bevonat felszíne száraz, enyhén nyomásálló, de még puha alatta.
TG 4	2 kg súly alkalmazása. A papír nem ragad a bevonathoz, de a terhelés hatására a bevonat felületén látható változások jelennek meg.	tack free / touch dry	érintésszáraz	Érintésre nem hagy nyomot, nem ragad. Óvatos kezelés már lehetséges.
TG 5	2 kg súly alkalmazása. A papír nem ragad a bevonathoz, és a terhelés hatására a bevonat felületén nem jelennek meg látható változások.	dry to assembly	összeszerelésre alkalmas	A bevonat már ellenáll a könnyű szerelési műveleteknek.
TG 6	20 kg súly alkalmazása. A papír nem ragad a bevonathoz, de a terhelés hatására a bevonat felületén látható változások jelennek meg.	dry to handle	kezelhető / szállítható	Mechanikailag stabil, belső szállításra alkalmas, nem deformálódik.
TG 7	20 kg súly alkalmazása. A papír nem ragad a bevonathoz, és a terhelés hatására a bevonat felületén nem jelennek meg látható változások.	fully cured / through dry	teljesen átszáradt / kikeményedett	A bevonat teljesen megszilárdult, végső mechanikai és vegyi ellenállás elérve.

Fontos megérteni, hogy a festék száradása/kötése több fázisból áll. A DIN EN ISO 9117-5:2012 szabvány 7. számú táblázatát különböztet meg (lásd táblázat).

Ezek az állapotok nem statikusak, a száradást befolyásoló környezeti tényezők függvényében változnak. A nedves rétegvastagság, a szárazanyag-tartalom, a hígítás mértéke, valamint a környezeti hőmérséklet és páratartalom az adatlapon meghatározott referencia száradási időkhöz viszonyítva adnak információt, hogy milyen körülmények között lehet gyorsítani a száradási/kötési időket.

Az egyes fokozatok elérése időben nem lineáris. A TG1–TG5 fokozatokat általában 24 órán belül el lehet érni, azonban a teljes mechanikai és vegyi ellenálló képességét egy hagyományos bevonat 7 nap alatt éri el. Léteznek ún. fast-dry anyagok is, amelyekkel a teljes bevonati rendszer felhordható akár egy műszak alatt, de ez nem jelenti azt, hogy a bevonati rendszer elérte a TG7 fokozatot.



~80–100 µm vastag hagyományos bevonat száradási/kötési karakterisztikája általános környezeti tényezők mellett

A száradási idő pontos értékét a festékgyártó adhatja meg, figyelembe véve az adott termék specifikációit.

Látható tehát, hogy egy minden befolyásoló tényezőt figyelembe vevő, minden festéktípusra alkalmazható száradási/kötési adatokat pontosan meghatározó algoritmus felállítása nem lehetséges. Konkrét festék és konkrét festési körülmények esetén azonban lehetséges, de ez egy komplex munka, ami helyszíni korróziós szakértői vizsgálatokat és informatikai háttér munkát követel. Felhasználói igény esetén érdemes a témában jártas szakembert megbízni a feladattal. Elméletileg létrehozható egy folyamatosan bővülő, tapasztalati és statisztikai adatokat felhasználó alkalmazás, ami jó közelítéssel megadhatja a száradási/kötési időket a különböző befolyásoló tényezők fényében. Hasonlítana egy ilyen fejlesztés az időjárás-előrejelzéshez, ami köztudottan nem ad 100%-os bizonyosságot, de a szakterület folyamatosan növekvő „big data”-jának elemzésével mégis olyan – egyre pontosabb – információhoz jutunk, ami az egész társadalmunk napi döntéseit befolyásolja...



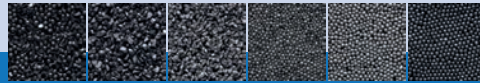
Terítékes festőcsarnok



IPARI MECHANIKUS FÉMFELÜLET TISZTÍTÁS

- SZEMCSESZÓRÓ BERENDEZÉSEK
- SZEMCSESZÓRÓ ANYAGOK
- SZERVIZ ÉS PÓTKATRÉSZEK

Innovation. Together.



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: magesz@t-online.hu címre kérjük.

H I R D E T É S

1 oldal (A/4) színes:

MAGÉSZ tagoknak 100 000 Ft+áfa

külső cégeknek 140 000 Ft+áfa

1/2 oldal (A/5) színes:

MAGÉSZ tagoknak 50 000 Ft+áfa

külső cégeknek 70 000 Ft+áfa

Nagy József

Telefon:

06 20 468-4680

Telefon/fax:

06 25 581-623

E-mail:

jnagy62@freemail.hu

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

MAGÉSZ[®] ACÉLSZERKEZETEK

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

www.magesz.hu

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

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

Felelős kiadó: a MAGÉSZ elnöke

Felelős szerkesztő: Aszmann Ferenc

A szerkesztő munkatársa: Nagy József

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

ISSN: 1785-4822

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

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

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

Ha a
tartósság a cél.

Wagner magasnyomású pumpák és szórópisztolyok

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



NAGÉV CINK KFT.

HASZNOS KÁDMÉRET:

 15x1,8x3 M

LEGNAGYOBB MÁRTHATÓ SZERKEZET TÖMEGE:

 MAX 6000 KG

 H-2364 Ócsa,
Hammerstein Péter u. 1.

 +36 20 233 0129

 kontakt@nagev.hu

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




NAGÉV

CSOPORT

NAGEV.HU



MAGYARORSZÁG KÉT LEGMODERNEBB TŰZIHORGANYZÓ ÜZEME




NAGÉV KFT.

HASZNOS KÁDMÉRET:

9,2X1,2X2,8 M 

LEGNAGYOBB MÁRTHATÓ SZERKEZET TÖMEGE:

MAX 4000 KG 

 H-4066 Tiszacsege,
Ipar utca 30.

+36 20 227 0129 

csege@nagev.hu 

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