

## BEMUTATKOZIK AZ „ÚJ GENERÁCIÓS ACÉLHIDAK” MTA-BME LENDÜLET KUTATÓCSOPORT

### INTRODUCTION OF THE “NEW GENERATION STEEL BRIDGES” MTA-BME LENDÜLET RESEARCH GROUP

A BME Hidak és Szerkezetek Tanszéken 2021. szeptemberben kezdte meg működését az új MTA-BME „Új generációs acélhidak” Lendület kutatócsoport dr. Kövesdi Balázs vezetésével. A cikk a kutatócsoport motivációját, kutatási terveit mutatja be, melyre az ötéves kutatócsoporti megbízatás szól. Az építőipar és ezen belül az acélhídépítés napjainkban jelentős átalakuláson megy keresztül három körülmény együttes megjelenésének következtében: (i) az Ipar 4.0 és az építőipari digitalizáció alapvetően átformálta nemcsak az ipari folyamatokat, de a hagyományos tervezés/kivitelezés folyamatait is, (ii) új anyagok és gyártástechnológiák jelentek meg, és (iii) új típusú hidakat alkalmaztak egyre gyakrabban. A megváltozott tervezési-gyártási-fenntartási körülmények a korábbi számítási módszerek megújítását, elméleti felülvizsgálatát igénylik. A Lendület program keretében tervezett kutatási program az új generációs acélhidak tervezési metodikájának felülvizsgálatát és alapvető megújítását tűzi ki célul az innovatív acélanyagok, szerkezeti megoldások és gyártási módszerek figyelembevételével. A kutatási program a következő három területre fókuszál: (i) az új generációs acélhidak méretezéselméleti háttérének pontosítása, (ii) az új gyártástechnológiák méretezési eljárásokban való figyelembevételi lehetőségének fejlesztése, és (iii) a tradicionális méretezési módszerek megújítása erős elméleti alapokon, de az új technológiai lehetőségek figyelembevételével.

#### ELŐSZÓ

A Magyar Tudományos Akadémia által indított Lendület program célja a hazai fiatal kutatóbázis erősítése kutatóintézetekben, egyetemeken, közgyűjteményekben és közintézményekben folyó kutatások dinamikus megújításával, valamint kimagasló teljesítményű kutatók és kiemelkedő fiatal tehetségek külföldről való hazahívásával, illetve itthon tartásával. A Lendület program a kiválóság és a mobilitás együttes támogatására irányul, ennek megfelelően célja, hogy a befogadó kutatóhelyeken új téma kutatására alakuló kutatócsoportok számára biztosítson forrást. A pályázati kiírásra idén 64-en jelentkeztek, közülük 15-en nyerték el az akadémiai támogatást (1. ábra).

A bölcsész- és társadalomtudományok területéről hárman, az élettudományok területéről öten, a matematikai és természettudományok területéről pedig heten kerültek a támogatottak közé.

The MTA-BME “New Generation Steel Bridges” Lendület Research Group, led by Dr. Balázs Kövesdi, started operating at the BME Department of Bridges and Structures in September 2021. The article introduces the plans and motivation of the research group for the upcoming 5-years. The construction industry, and particularly the steel bridge industry, is going through a significant change primarily due to three coincident circumstances: (i) Industry 4.0 and digitalization of the construction industry has fundamentally changed not only the industrial but also the traditional design/manufacturing processes; (ii) appearance of new materials and manufacturing methods; and (iii) the appearance of new bridge types. The altered circumstances in the design and manufacturing require the revision of the traditional design methods and renewal of design theories. The planned research program aims to investigate and renew the design methods and theoretical background of the new generation steel bridges accounting for innovative steel materials, structural solutions, and manufacturing techniques. The focus of the research plan is on the theoretical basis of steel bridge design, implementation of new technologies into the design theories, and renewal of traditional design methods having well-established theoretical backgrounds but with considering innovative technological solutions.

Az idei nyertesek között van dr. Kövesdi Balázs (2. ábra), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék egyetemi docense, aki hídépítési témában indíthat kutatócsoportot. Személyében ő az első, aki nemcsak a tanszék szakterületén, hanem az egész építőmérnöki szakmában megkapta a lehetőséget és támogatást a nagypresztízsű Lendület csoport kialakítására és vezetésére. Az elnyert pályázat a hazai acélszerkezeti kutatások és egyben a szakterületünk elismerése is. Gratulálunk Balázsnak és a kutatócsoport tagjainak, az ötéves kutatómunkájukhoz szakmai sikereket kívánunk!

A kutatási program eredményeiről rendszeresen beszámolunk a MAGÉSZ rendezvényein és az Acélszerkezetek folyóiratban is.

Aszman Ferenc,  
a MAGÉSZ elnöke

Dr. Dunai László egyetemi tanár, tanszékvezető  
BME Hidak és Szerkezetek Tanszék





1. ábra:  
A Lendület program  
idei nyertesei



2. ábra: Díjátadó ünnepség a MTA székházában,  
2021. szeptember 30.  
(balra: Erdei Anna, az MTA főtitkárhelyettese, középen:  
Kövesdi Balázs, jobbra: Czigány Tibor akadémikus,  
a pályázatokat elbíráló zsűri elnöke)

## 1. BEVEZETÉS

A Lendület kutatócsoport kutatási programjának fő célkitűzése az elmúlt évek hídépítési technológiai újításainak méretezelméletbe való átültetése, mely jelentős gazdasági előnyöket hozhat az építőiparban a tradicionális méretezési eljárásokkal szemben. A kutatócsoport által definiált új generációs acélhidak az anyagtudomány, a gyártástechnológia, a tervezélmélet és az új szerkezeti rendszerek innovatív fejlesztéseiből profitálnak, melyek elsődleges motorja az elmúlt években az Ipar 4.0 és az építőipar digitalizációja volt. Az elmúlt évek építőipari innovációjának során elért fejlesztéseket szeretnénk beépíteni a tudományos elveken alapuló méretezési módszerekbe. Megítélésünk szerint az új technológiák alkalmazása a tervezési és gyártási folyamatban megköveteli a hagyományos tervezési módszerek felülvizsgálatát és az alapvető tervezési elméletek megújítását. A tervezett kutatási program célja az új generációs acélhidak számítási módszereinek és elméleti hátterének elemzése, figyelembe véve az acélananyagok, szerkezeti megoldások és gyártástechnológiák terén elért újításokat. Jelentős fejlesztések történtek az elmúlt években a nagy szilárdságú acélszerkezetek tervezésében és az acélszerkezetek numerikus modell alapú méretezésében. A második generációs Eurocode szabványok (tervezett meg-

jelenésük 2024) célja, hogy ezeket a kutatási eredményeket beépítsék a mindennapi tervezési gyakorlatba. A tervezett kutatási program részei azok a közös európai kutatási tevékenységek is, melyek célja a szabványfejlesztés, ami lehetővé teszi rövid távon az új kutatási eredmények nemzetközi és hazai gyakorlati alkalmazását is. A kutatócsoport félévente beszámol eredményeiről három európai szabványügyi testületnek is (CEN/TC 250/SC 3/WG5, WG13 és WG22 bizottságok), így legújabb kutatási eredményeinket évente legalább hat alkalommal bemutatjuk európai szinten, ami alapot ad a továbbfejlesztett tervezési elméletek kidolgozásához.

A tervezett kutatási program a következő négy fókuszterületre összpontosít: (i) nagy szilárdságú acélszerkezetek méretezelmélete, (ii) új gyártási módszerek és azok méretezelméletben való figyelembevétele, (iii) acélszerkezetek numerikus modell alapú tervezése és (iv) új, innovatív szerkezeti rendszerek méretezési módszereinek fejlesztése. A cikkben mind a négy kutatási fókuszterület célkitűzéseit bemutatom nagy vonalakban.

Az elméleti és numerikus vizsgálatokon kívül a kutatócsoport két laboratóriumi kísérletsorozatot is tervez végrehajtani. A laboratóriumi vizsgálatok biztosítják a négy különálló fókuszterület összekapcsolását is, mert a gyártás, a nagy szilárdságú acél, a numerikus szimulációk és az új szerkezeti rendszerekkel foglalkozó kutatási területek is felhasználják a kísérleti eredményeket. A kísérleti kutatási programban tervezünk saját feszültség- és imperfekció-méréseket, melyek felhasználhatók a gyártástechnológiai, hegesztésszimulációs és numerikus szimulációs fókuszterületeken is. A kísérleti próbatestek teherbírási eredményeit pedig mind a négy fókuszterület alkalmazni tudja. A laboratóriumi kísérleteket tehát általános célú vizsgálatoknak tervezték, melyek kiindulási adatokat és validálási lehetőséget biztosítanak mind a négy kutatási témához. Az *első kísérleti program* hibrid (alacsony és nagy szilárdságú acél kombinációja) tartókkal foglalkozik és ezek statikus terhelésre vonatkozó tervezési specifikumait kutatja. A *második kísérleti program* új szerkezeti rendszereket vizsgál és trapézlemez-gerincű tartókkal foglalkozik.

Mindkét kísérleti programot az ötéves projekt első három évére tervezzük, hogy biztosítsuk a részletes értékelési lehetőségeket és a szükséges időkereteket ahhoz, hogy eredményeiket először numerikus modellekbe, majd méretezési elméletbe ültessék át.



3. ábra:  
A kutatócsoport fiatal kutató tagjai, divízióvezetői

## 2. A KUTATÓCSOPORT FELÉPÍTÉSE

A kutatócsoport magját három tehetséges fiatal kutató alkotja: dr. Somodi Balázs, dr. Kollár Dénes és dr. Jäger Bence (2. ábra), jelenleg mindhárman a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék adjunktusai. Somodi Balázs 2018-ban szerezte PhD fokozatát nagy szilárdságú acéloszlopok kihajlásvizsgálata témájában, a kutatócsoporton belül a nagy szilárdságú acélszerkezetek divízió vezetője lesz. Kollár Dénes 2020-ban szerezte PhD fokozatát, kutatási témája hegesztésszimuláció alkalmazása a gyártás-, és méretezési eljárásfejlesztésben, a kutatócsoporton belül a hegesztésszimuláció divízió vezetője lesz. Jäger Bence PhD fokozatát trapézlemez-gerincű tartók méretezése témájában szerezte, a kutatócsoporton belül az új szerkezeti kialakítások divízió vezetője lesz.

Ezt a csoportot egészíti ki minden évben több tehetséges MSc diplomatervező és TDK-zó hallgató, akik kutatómunkájukkal segítik, évente frissítik a kutatócsoportot, és akikből remélhetőleg új PhD hallgatók kerülnek ki. 2021 évben öt TDK-zó és négy MSc diplomatervező hallgató munkája kötődik a kutatócsoport működéséhez. Ezen lelkes hallgatókból a következő egy évben a kutatócsoport két új PhD hallgatót vár a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékre, akik be tudnak kapcsolódni a csoport működésébe.

## 3. KÜLÖNÖSEN NAGY SZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK MÉRETEZÉSELMÉLETE

A különösen nagy szilárdságú acélananyagokat (S500–S960 minőségek) külföldön egyre gyakrabban alkalmazzák hídépítésben (4. ábra), különösen nagy fesztávú hidak esetén. Széles körű alkalmazásukat azonban jelentősen korlátozza a hiányos méretezési háttér, mely további kutatásokat

igényel a nagy szilárdságú acélszerkezetek méretezésének témájában. A gazdaságos alkalmazásuk egyik jól ismert akadály a normálszilárdságú acélszerkezetekre kidolgozott méretezési módszerek gyakran túl konzervatívak a nagy szilárdságú acélszerkezetek esetén, ezt Ban és tsai. [1], Wang és tsai. [2], valamint Kövesdi és Somodi [3, 4] is több esetben megmutatták. A nagy szilárdságú acélszerkezetek anyagtulajdonságainak és gyártástechnológiájának sajátosságai miatt az is előfordulhat, hogy a hagyományos acélszerkezetekre kidolgozott méretezési eljárások nagy szilárdságú acélszerkezeteknél nem alkalmazhatók. Ebből a szempontból a legkritikusabbak határlapok a globális kihajlási és a lokális lemezhorpadási ellenállás valamint a fáradási élettartam vizsgálata. Előzetes kutatási eredményeket ezen témákban a kutatócsoport már publikált [5]. A jelenleg is folyó kutatómunka célja a korábbi kutatási eredmények általánosítása, a kihajlási és lemezhorpadási méretezési módszerek szilárdsági osztálytól független meghatározása, mely gazdaságos alkalmazhatóságot és kellő pontosságot biztosít a nagy szilárdságú acélszerkezetek esetén is. Ennek megfelelően a nagy szilárdságú acélszerkezetek fókuszterületen a kutatási célkitűzések a következő kutatási területekre fókuszálnak: (i) nagy szilárdságú acélszerkezetek stabilitási méretezési módszereinek általánosítása, (ii) nagy szilárdságú hegesztett zárt szelvényű nyomott oszlopok globális és lokális stabilitási ellenállásának pontosítása és (iii) hibrid tartók méretezéselméleti vizsgálata.

### Nagy szilárdságú acélszerkezetek stabilitási méretezési módszereinek általánosítása

A kutatás során a nyomott rudak globális stabilitási jellemzőit tanulmányozzuk és a nagy szilárdságú acélból



4. ábra:  
Tokyo Gate híd – BHS500 és BHS700 nagy szilárdságú acél felhasználásával [6]

készült hegesztett lemezes szerkezetek stabilitásvizsgálati módszereinek elméleti alapjait vizsgáljuk felül, és az új generációs acélhidak számára dolgozunk ki általános érvényű és megalapozott elméleti alapokon nyugvó, validált méretezési módszereket. Az elemzés középpontjában a hídépítési gyakorlatban általánosan alkalmazott szerkezeti elemek (zárt szelvények és I szelvények) állnak. A kutatási program tervezett eredménye a jelenlegi legfejlettebb méretezési módszerek kidolgozása nagy szilárdságú acélok esetére, és ezek hídépítési gyakorlatba való átültetése.

#### Nagy szilárdságú, hegesztett zárt szelvények globális és lokális stabilitásvizsgálata

A kutatási programban a nagy szilárdságú hegesztett zárt szelvények globális és lokális stabilitási jelenségeinek kölcsönhatását elemezzük; analitikus és numerikus modell alapú méretezési eljárásokat dolgozunk ki a különböző stabilitási jelenségek (kihajlási és lokális lemezhorpadási ellenállások) és ezek kölcsönhatásának vizsgálatára. A lokális és globális imperfekciók helyes alkalmazása kiemelt fontosságú a numerikus modell alapú tervezésben. Erre azonban jelenleg nincs kidolgozott méretezési ajánlás, hogy milyen módon kell kombinálni az egyes imperfekciókat. A kutatócsoport célja, hogy olyan tervezési szabályokat dolgozzon ki az imperfekciók megadására vonatkozóan, amelyek a globális, a lokális stabilitási ellenállás valamint ezek interakciójára is pontosan alkalmazhatók lesznek. Degée és tsai. [7]

2010-ben megmutatták, hogy a jelenlegi méretezési előírások az összetett stabilitási jelenségek esetén konzervatív ellenállást eredményeznek, ami akár 15–20%-os mértékben is alulbecsülheti a szerkezeti elem pontos teherbírását. A tervezett kutatási program célja ezen stabilitási problémák elméletileg megállapított hiányosságainak javítása, aminek révén pontosabban meg tudjuk majd határozni az összetett stabilitási jelenséghez tartozó ellenállást.

#### Hibrid tartók méretezésméleti kutatása

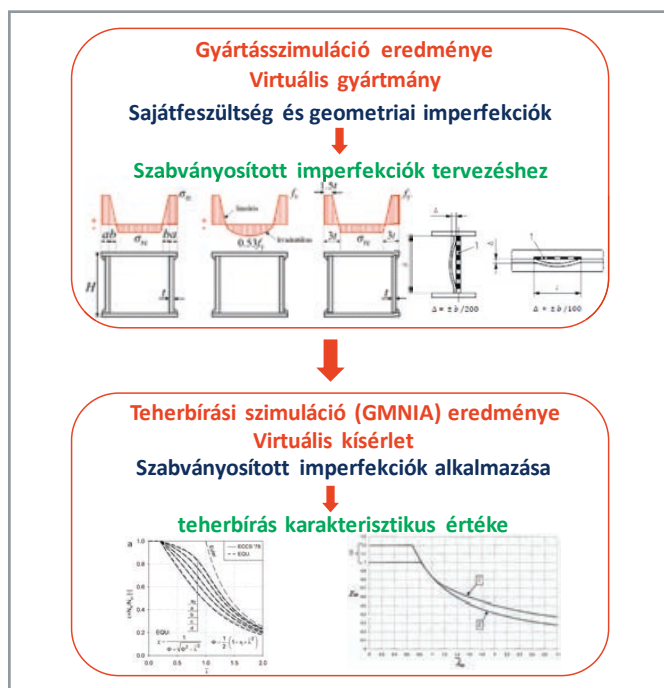
Acélhidaknál a normál- és nagy szilárdságú acélszerkezetek kombináló hibrid tartók alkalmazása hatékony és gazdaságos módszer lehet, a jelenlegi tervezési előírások és követelmények azonban nem teszik lehetővé ezen szerkezetek gazdaságos alkalmazását. A hibrid tartók gerinclemezei általában normál szilárdságú acélból, övlemezei nagy szilárdságú acélból készülnek. Néhány kisebb svédországi gyakorlati alkalmazástól és kutatási eredménytől eltekintve ezek a szerkezet típusok teljesen új megoldások acélhidak területén, szilárdsági és stabilitási méretezésük elméleti háttere teljes mértékben hiányzik a jelenlegi szabványos méretezési eljárásokból. A kutatócsoport célja ezen gerendatípus hídépítési célú méretezésméleti hátterének kidolgozása, valamint az alkalmazási lehetőségük demonstrálása és tesztelése laboratóriumi kísérleti program keretében. A hibrid tartók gazdaságos tervezése megköveteli a részleges képlékenyedés figyelembevételét a határállapot alapú tervezésben, ami jelenleg hidaknál nem, vagy csak komoly korlátokkal megengedett. A kutatás célja annak kidolgozása, hogy milyen módon, milyen mértékben lehet figyelembe venni a teherbírási határállapotban a részleges képlékenyedést, és milyen kiegészítő vizsgálatokkal (maximális megengedett képlékeny nyúlásra vonatkozó korlátok) kell igazolni ezen gerendák hídépítési alkalmazhatóságát.

## 4. GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ÚJÍTÁSOK MÉRETEZÉSELMÉLETI VIZSGÁLATAI

A jelenlegi tervezési gyakorlatban alkalmazott méretezési módszerek csak nagyon korlátozottan tudják figyelembe venni a gyártástechnológiai sajátosságokat. Közismert, hogy a különböző gyártástechnológiájú szerkezetek szerkezeti viselkedése és ellenállása jelentősen eltérő lehet, amint azt többek között egy példán keresztül Pasternak és tsai. [8] is bemutatták. Az új generációs acélhidak gyártása fejlett gyártástechnológiával történik, kihasználva az építőiparban jelenleg zajló digitalizáció vívmányait. Ezért a fejlettebb gyártástechnológiával készülő szerkezetek viselkedése kedvezőbb lehet, ami az ellenállás és a tartósság növekedését eredményezheti. Jelenleg azonban nem állnak rendelkezésre olyan általános érvényű méretezési módszerek, melyek képesek figyelembe venni ezen gyártástechnológiai specialitásokat, így a szerkezetek megnövekedett ellenállása a hagyományos méretezési eljárásokkal nem érvényesíthető. A javasolt kutatási terv célja (i) fejlett, numerikus szimuláción alapuló tervezési módszerek és ezek elméleti hátterének kifejlesztése valamint (ii) hegesztési szimuláción alapuló méretezési módszerek alkalmazása tipikus hídépítésben alkalmazott szerelvények esetén. A gyártási specialitások tervezési módszerekbe való figyelembevételére a kutatócsoport már korábban kidolgozott Kollár Dénes PhD dolgozatának keretében egy numerikus keretrendszert [9], melyet a további kutatásokban tervezünk alkalmazni és továbbfejlesztetni.

#### Hegesztésszimuláción alapuló numerikus vizsgálatok teherbírás-vizsgálatban

A fejlett, numerikus modellezésen alapuló vizsgálati módszerek (pl. hegesztésszimuláció alkalmazása) lehetővé teszi a tervezők és kutatók számára, hogy figyelembe vegyék a gyártástechnológiai sajátosságokat az ellenállás-számítási módszerekben, aminek sematikus ábráját mutatja az 5. ábra. Ez a tervezési módszertan jelenleg azonban tel-



5. ábra: Hegesztésszimuláción alapuló numerikus teherbírásvizsgálatok sematikus ábrája

jes mértékben hiányzik a szerkezettervezési gyakorlatból és a szabványosított méretezési módszerekből. A tervezett kutatási program célja hegesztésszimuláción alapuló numerikus számítások integrálása a teherbírás-számításba. A kutatási program keretében kidolgozunk saját feszültség modelleket és meghatározzuk különböző szerkezeti elemek geometriai imperfekcióit, melyeket ezután figyelembe lehet venni a pontosított tervezési modellekben, de akár a virtuális gyártmányokon is lehet virtuális szimulációt végrehajtani az ellenállás pontos meghatározására. Ezt az újszerű módszertant olyan új technológiák teszik lehetővé, mint a Big Data Analytics, az autonóm robotok, a szimulációk, a horizontális és vertikális rendszerintegrációk, melyek napjainkban már elérhetőek, de alkalmazásuk az építőmérnöki gyakorlatban jelenleg hiányzik.

### Hegesztésszimuláción alapuló számítási módszerek összetett hídszerkezetek vizsgálatára

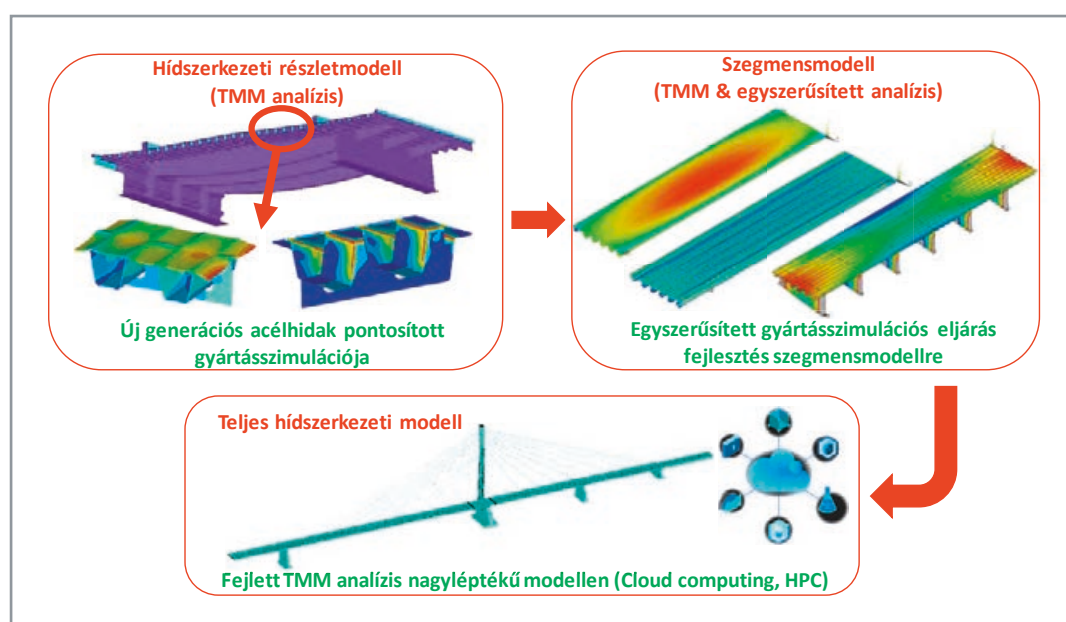
A kutatási program tartalmazza a hegesztésszimuláción alapuló vizsgálatok alkalmazásának kiterjesztését komplex hídszerkezetekre is, melynek sematikus ábráját a 6. ábra mutatja be. Napjainkban a nagy számítási erőforrások igénye miatt a hegesztésszimulációt általában kis léptékű lokális modellekben alkalmazzák. A teljes léptékű modelleknél általában egyszerűsített elméleteket alkalmaznak, melyek pontossága a legtöbb esetben megkérdőjelezhető. A kutatási terv célja egy olyan tervezési módszertan elméleti alapjainak kidolgozása, amely lehetővé teszi komplex termometallurgiai és mechanikai elemzések alkalmazását nagy léptékű numerikus modelleken is. A továbbfejlesztett hegesztési szimulációs technika globális modellen történő alkalmazása áttörést jelenthet hidak elemzésében, amelyet mind az acélgyártók (pl. gyártásfejlesztés, selejtszám csökkentése stb.), mind a tervezők (pontosított saját feszültségek és imperfekciók figyelembevételével) hasznosíthatnak. A tervezett kutatási program nem kötődik és nem korlátozódik egy konkrét gyártástechnológiára, komplex keretet ad a gyártási sajátosságok méretezési módszerekben való figyelembevételéhez.

## 5. NUMERIKUS MODELL ALAPÚ MÉRETEZÉS

A kutatócsoport harmadik fókuszterülete az új, numerikus modell alapú méretezéssel foglalkozó Eurocode szabvány (prEN 1993-1-14 [10]) háttéranyagának kidolgozása, az új szabványos méretezési elvek méretezeselméleti háttérének tisztázása és dokumentálása. A javasolt kutatási program elsődleges célja a szabvány elméleti háttéréként szolgáló alapkutatás. A tervezett kutatási program tehát szorosan kapcsolódik a jelenlegi európai kutatási irányzatokhoz, ugyanakkor ezek nagy része alkalmazásorientált, és nem mindig ad elméletileg helyes eredményeket. A kutatási terv két fő fókuszterületből áll: (i) a feszültségkoncentrációs zónák vizsgálatának elvi háttérének és megoldási módszereinek kifejlesztése valamint (ii) hegesztett, lemezes szerkezetek pontosított méretezési eljárásainak kidolgozása. A kutatócsoport nagy hagyományokkal és számos publikációval rendelkezik ezen a kutatási területen, amelyek lehetővé teszik számunkra a célzott kutatási munka hatékony elvégzését.

### Feszültségkoncentrációs zónák vizsgálata

A tervezési gyakorlatban egyre pontosabb és részletesebb numerikus modellek kerülnek kidolgozásra, melyek sok esetben megmutatják a szerkezetekben természetes módon fellépő feszültségkoncentrációs zónákat (7. ábra). A numerikus modellek pontosítása azonban megköveteli az ellenállás-oldali kritériumok pontosítását is. Az eddigi szakirodalomból azonban teljes mértékben hiányzik a feszültségkoncentrációs zónák numerikus modellezéssel segített teherbírás-vizsgálatában való figyelembevételi módszerének kutatása, valamint annak helyes elméleti megoldása. A pontosított numerikus modell által meghatározott feszültségkoncentráció legtöbb esetben együttesen tartalmazza a valós fizikai feszültségkoncentrációt és a numerikus szingularitást. A kutatási program keretében méretezési módszerek és tervezési ajánlások kerülnek kidolgozásra a fejlett héj- és testelemes modellek feszültségkoncentrációs zónáinak figyelembevételére, valamint ajánlást dolgozunk ki a numerikus szingularitás és a valós feszültségkoncentráció szétválasztására. A jelenlegi hídtervezői gyakorlatban



6. ábra: Hegesztésszimuláción alapuló vizsgálatok alkalmazásának kiterjesztését komplex hídszerkezetekre

nincs szabványos és elméletileg igazolt méretezési ajánlás a feszültségkoncentrációs zónák numerikus modellekben történő figyelembevételére vagy igazoltan biztonság oldalán történő elhanyagolására, ami napjainkban általában a teherbírás jelentős alulbecsléséhez és/vagy elméletileg hibás méretezésre vezethet. A tervezett kutatás célja, hogy olyan elméleti hátteret dolgozzon ki a hegesztett lemezes szerkezetek feszültségkoncentrációs zónájának elemzéséhez, ami megoldást jelent a jelenlegi hiányos méretezési módszerekre. A kutatócsoport ebben a témában előzetes eredményeit az illetékes szabványügyi testület számára már bemutatta [11]. A tervezett kutatómunka ezeknek az eredményeknek a folytatása, pontosítása, a kutatás befejezése.

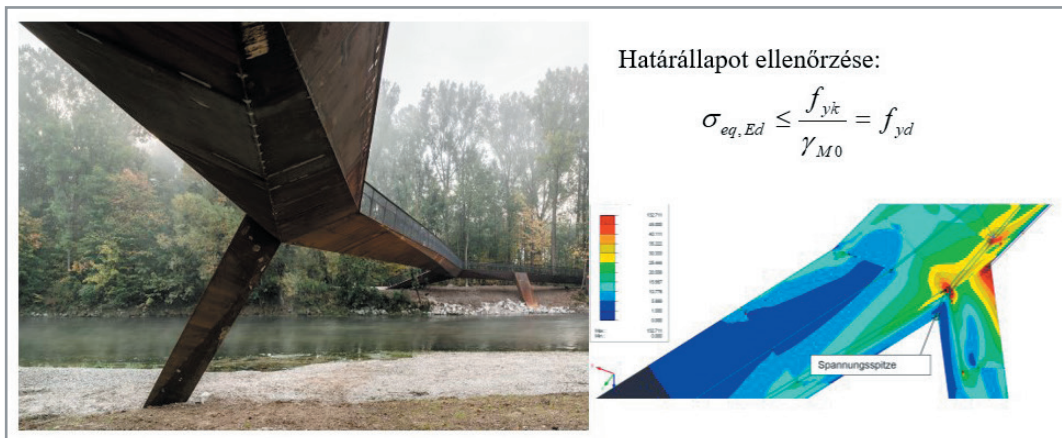
### Pontosított méretezési módszerek fejlesztése lemezes szerkezetek stabilitásvizsgálatára

A kutatási terv szintén tartalmazza a lemezes szerkezetek stabilitási méretezési módszereinek pontosítását is olyan stabilitási jelenségek esetén, melyekre a jelenlegi Eurocode alapú méretezési eljárások közismert módon nem kellően pontosak. Ilyen méretezési módszerek a (i) hossz- és keresztbordákkal merevített lemezek oszlop- és lemezszerű viselkedésének interakciója, valamint (ii) hosszirányú merevítőbordákkal merevített, karcsú, tömör gerincű tartók beroppanási ellenállása.

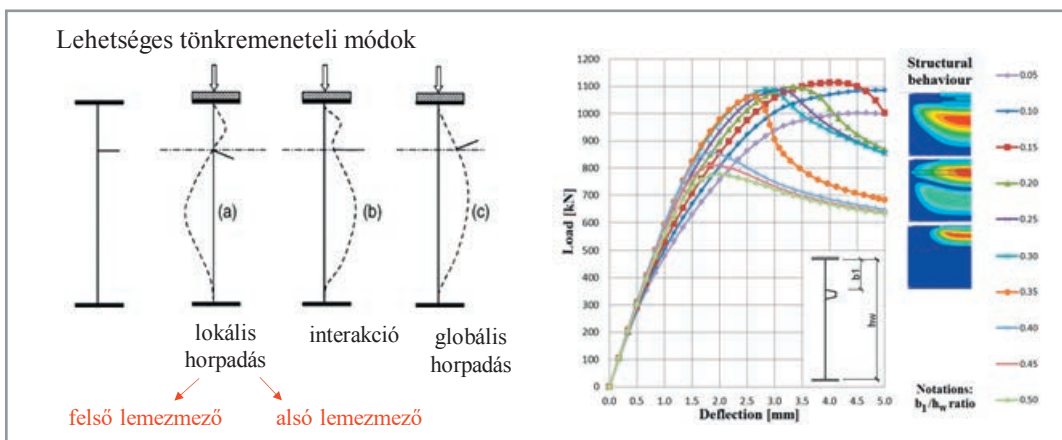
A kutatócsoport korábban igazolta, hogy a merevített lemezek oszlopszerű és lemezszerű viselkedésének kölcsönhatását ellenőrző Eurocode alapú méretezési módszer felülvizsgálatra szorul, mert jelentős különbségek vannak a valós szerkezeti viselkedés és az elméleti megoldás között [13]. A korábbi vizsgálatok megmutatták, hogy a különbségek oka egyrészt a tisztán lemezszerű viselkedés horpadási el-

lenállásának meghatározási módjában, valamint a kihajlási és a horpadási görbe közötti interpolációs függvény jellegében keresendő. A kutatócsoport célja, hogy a korábban tapasztalt méretezési módszer hiányosságait javítsa és egy új interpolációs képletet dolgozzon ki az oszlopszerű és a lemezszerű viselkedés közti kölcsönhatás pontosabb figyelembevételére.

A másik kutatási cél a jelenleg egyre nagyobb számban betolások építési móddal épülő hídszerkezetek esetén releváns beroppanási ellenállás meghatározása. A jelenlegi hídépítési gyakorlatban a legtöbb betolással épülő hídszerkezet esetén a gerinclemez alsó szakaszát sűrű bordázással látják el a tervezők. Az előzetes vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy sok esetben ezek a merevítőbordák elhagyhatók lennének, amennyiben a tervezők rendelkezésére állna a jelenleginél pontosabb, kisebb szórással rendelkező és kevésbé konzervatív méretezési eljárás. A hosszbordával merevített gerendák beroppanási tönkremenetele összetett jelenség, mely öt különböző stabilitási jelenséget tartalmaz (8. ábra), a jelenlegi Eurocode alapú méretezési módszert azonban ezen jelenségek alsó burkológörbéjére dolgozták ki, mely számos esetben túlzottan konzervatív megoldásra vezet. A kutatócsoport korábban megmutatta, hogy az Eurocode jelenlegi tervezési módszere nem veszi megfelelően figyelembe a hosszmerevítő elhelyezkedését, és nem alkalmazható több hosszbordával merevített tartók esetére, ami a hídépítési gyakorlat döntő többsége. Ezért a kutatócsoport célja a több hosszbordával merevített, gerinclemez tartók beroppanási ellenállásának pontosított meghatározása, melyet tipikusan a hídépítési gyakorlatban jellemző kialakítású gerendák tönkremeneteli módjára fejlesztünk ki.



7. ábra: Pontosított numerikus modellen megjelenő feszültségkoncentráció [12]



8. ábra: Hosszbordával merevített gerinclemez tartók beroppanási viselkedése [14]

## 6. ÚJ SZERKEZETI KIALAKÍTÁS MÉRLETEZÉSI MÓDSZEREI

Az innovatív szerkezeti kialakításokkal készülő új generációs acélhidak szerkezeti viselkedése jelentősen eltérhet a hagyományos szerkezetek viselkedésétől (9. ábra), így ezek a szerkezet típusok a hagyományos hidakhoz képest fejlettebb számítási módszereket igényelnek. A kutatási program keretében trapézlemez-gerincű tartókat vizsgálunk, melyeket napjainkban egyre gyakrabban alkalmaznak hídépítésben a trapézlemez számos kedvező tulajdonságának köszönhetően. Magyarországon eddig a Móra Ferenc Tisza-híd készült ilyen szerkezeti kialakítással, illetve ilyen szerkezettel készül a napjainkban épülő Kalocsa–Paks új Duna-híd is.

A trapézlemez-gerincű tartók szerkezeti viselkedésének pontos megértésére és méretezési módszereinek fejlesztésére számos korábbi nemzetközi szintű vizsgálat készült Magyarországon. A Dunai László, Kövesdi Balázs és Jáger Bence alkotta kutatócsoport 2010–2020 között is intenzív kutatásokat végzett ezen híd típus (i) speciális feszültségeloszlásának, (ii) beroppanási ellenállásának, (iii) övhorpadási ellenállásának és (iv) a M-V-F (hajlítás–nyírás keresztirányú erő) interakciójának vizsgálatára. A jelen kutatási program két további vizsgálatra fókuszál: (i) kifordulási ellenállás meghatározására, valamint (ii) nagy szilárdságú acél alkalmazására a trapézlemez-gerincű tartókban, melyekre jelenleg nagyon kis számú szakirodalmi vizsgálat és méretezési ajánlás található. Ugyanakkor trapézlemez-gerincű tartók esetén a hibrid szerkezeti kialakítás különösen aktuális, mivel az ún. harmonika hatás következtében a gerinclemez nem, vagy csak nagyon korlátozott mértékben vesz részt a gerenda hosszirányú teherviselésében. Így ezen szerkezeti rendszerek esetén különösen gazdaságos lehet a gerinclemez normálszilárdságú acélból, az övlemezeket pedig nagy szilárdságú acélból készíteni, amelyre eddig egyáltalán nincs számunkra ismert szakirodalmi kutatási eredmény.

### Kifordulási ellenállás vizsgálata

A trapézlemez-gerincű tartók a hullámzó gerinclemez következtében kifordulási szempontból a síklemez gerincű és a zárt szelvényű tartók között helyezkednek el, melynek kifordulási ellenállása lényegesen nagyobb lehet a síklemez gerincű tartókéhoz képest, azonban a kifordulási kritikus nyomaték és a kifordulási ellenállás pontos meghatározására nincs jelenleg kellően megalapozott és validált méretezési módszer, illetve csak nagyon kis számú laboratóriumi vizsgálat található a nemzetközi szakirodalomban. A kutatá-

si programban ezért tervezzük új laboratóriumi kísérleteket a kifordulási ellenállás meghatározására, és célunk egy pontosított kifordulási görbe meghatározása, ami figyelembe veszi a trapézlemez-gerincű tartók speciális szerkezeti viselkedési sajátosságait.

### Nagy szilárdságú acél alkalmazása trapézlemez-gerincű tartókban

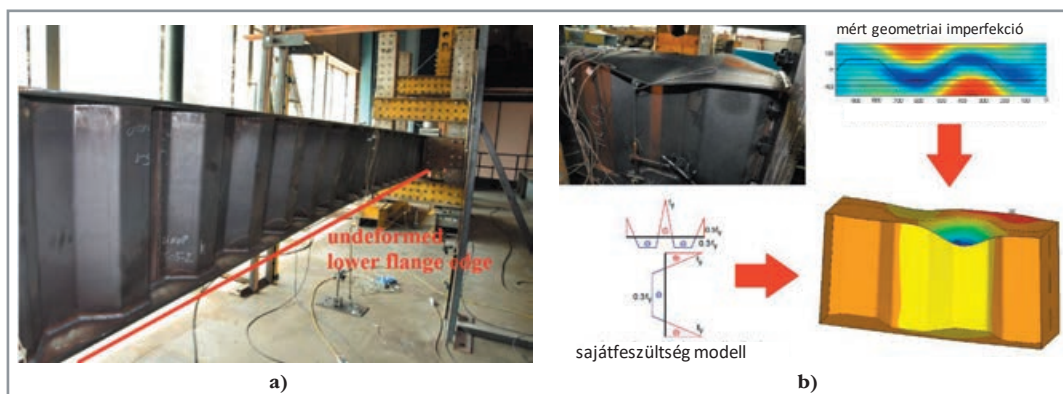
A kutatási terv utolsó pontjában azt vizsgáljuk, hogy gazdaságosan alkalmazható-e nagy szilárdságú acél a trapézlemez-gerincű tartókban, különös tekintettel arra, ha csak az övlemezek készülnek nagy szilárdságú acél anyagból. Sok esetben a trapézlemez képlékeny alakváltozó képessége korlátozza a trapézlemez gerinc geometriai kialakíthatóságát és ebből a szempontból a normálszilárdságú acél alkalmazása lényegesen kedvezőbb a trapézlemez-gerincű tartókban, ugyanakkor a nyomatéki és a kifordulási ellenállás szempontjából pedig kedvező a nagy szilárdságú acélövek alkalmazása. Ilyen típusú hibrid szerkezetekre eddig nem készült vizsgálat, ezért kísérleti és numerikus vizsgálatokat tervezzük ebben a témában végrehajtani.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéknek, különösképpen Dunai László professzor úrnak, aki irányítása alatt nevelkedett a kutatócsoport minden tagja és aki folyamatosan figyelemmel kíséri és minden lehetséges módon támogatja a tanszéken folyó kutatómunkát. A BME Hidak és Szerkezetek Tanszék, valamint az Építőmérnöki Kar olyan befogadó intézmény, ahol magas színvonalú kutatómunkát lehet végezni és nemzetközi szinten is jegyzett kutatási eredményeket lehet elérni. Ezenkívül köszönetünket fejezzük ki a Magyar Tudományos Akadémiának, hogy lehetővé teszi a kutatócsoport anyagi finanszírozását és a Lendület programon keresztül erkölcsi megbecsülést ad a hídépítési témájú acélszerkezeti kutatásoknak.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] H. Ban, G. Shi, Y. Shi, M.A. Bradford: Experimental investigation of the overall buckling behaviour of 960 MPa high-strength steel columns, *Journal of Constructional Steel Research* 88 (2013) 256-266.
- [2] Y.B. Wang, G.Q. Li, S.W. Chen, F.F. Sun: Experimental and numerical study on the behaviour of axially compressed high-strength steel box columns, *Engineering Structures* 58 (2014) 79-91.



9. ábra:  
Trapézlemez gerincű tartók  
a) kifordulási és  
b) övlemez  
horpadási tönkremenetele

- [3] B. Kövesdi, B. Somodi: Buckling resistance of HSS box-section columns, Part I: Stochastic numerical study, *Journal of Constructional Steel Research* 140 (2018) 1-10.
- [4] B. Kövesdi, B. Somodi: Buckling resistance of HSS box-section columns, Part II: Analytical study, *Journal of Constructional Steel Research* 140 (2018) 25-33.
- [5] B. Somodi, B. Kövesdi: Flexural buckling resistance of welded HSS box-section members *Thin-Walled Structures* 119 (2017) 266-281.
- [6] IABSE-AIPC-IVBH: Structural Engineering Documents, Use and application of High-Performance Steels for Steel Structures – 8, 2005.
- [7] H. Degée, A. Detzel, U. Kuhlmann: Interaction of global and local buckling in welded RHS compression members, *Journal of Constructional Steel Research* 64(7) (2008) 755-765.
- [8] H. Pasternak, B. Launert, T. Krausche: Welding of girders with thick plates – fabrication, measurement and simulation, *Journal of Constructional Steel Research* 115 (2015) 407-416.
- [9] D. Kollár, B. Kövesdi: Welding simulation of corrugated web girders – Part 1: Effect of manufacturing on residual stresses and imperfections, *Thin-Walled Structures* 146 (2020).
- [10] prEN 1993-1-14:2024 Eurocode 3 Design of Steel Structures – Part 1-14: Design assisted by finite element analysis.
- [11] B. Kövesdi: Consideration of stress concentrations in numerical models, Scientific presentation, CEN/TC250/SC3/AHGFE committee meeting, 14.02.2019, Innsbruck, Austria.
- [12] A. Taras: Relation FEM stress calculation vs. ULS-checks, CEN/TC250/SC3/AHGFE committee meeting, 05.05.2017, Budapest, Hungary.
- [13] B. Kövesdi: Buckling resistance of orthotropic plates subjected by compression interpolation between plate and column-like behaviour, *Journal of Constructional Steel Research* 160 (2019) 67-76.
- [14] Álló L.: Hosszbordával merevített acél szekrénytartók beroppanásvizsgálata, MSc Diplomamunka, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék, 2013.
-