

László Gabriella¹

A BIMOMENT ÁTMENETÉNEK VIZSGÁLATA AZ ACÉL KERETSARKOKON

(EXAMINATION OF BIMOMENT TRANSITION IN JOINTS OF STEEL FRAMES)

Napjainkban egyre fontosabb a vázszerkezeteket, keretszerkezeteket alkalmazó gyorsépítkezés, melynek jellemző anyaga az acél. Felhasználjuk többek között csarnokok, raktárak, katonai hangárok építéséhez is. Épp ezért rendkívül fontos, hogy tervezése és építése kellő biztonsággal történjen. Acél esetén az egyik legfontosabb kérdés a stabilitás, főleg az arra igencsak érzékeny vékonyfalú szelvényeknél. Elkülönített rúdelemekre az elmúlt években kidolgozott stabilitásvizsgálati elméletek jól működnek, azonban keretszerkezetekre ugyanez nem mondható el. A számítógépes szoftverek a keretek sarkainál, ahol két vagy több elem csatlakozik, nem viszik át megfelelően az öblösödést, vagyis a feszültségátvitel nem reális. Jelen cikkben összefoglalom a legújabb tervezési módszereket, azok alkalmazásának korlátait keretszerkezetek esetében, valamint az erre vonatkozó legújabb kutatásokat és bemutatom a továbbfejlesztés lehetőségét.

Kulcsszavak: Keretszerkezet, Keretsarok, Vékonyfalú szelvény, Gátolt csavarás, Bimoment, Stabilitás vizsgálat

Nowdays constructing in a quick way with frame structures is becoming more and more important. Steel is one of the typical materials used for this method of constructing. These building can be used as halls, storehouses or even as military hangars among others. Thus it is significant to design and construct these buildings with a sufficient safety. Examining steel structures, one of the most concerned question is the stability, especially in case of thin-walled sections. The recently evolved theories of stability examination are validated for isolated bar elements, but not for steel frames. The computer aided softwares are unable to transmit properly the stresses through the joints of the frames, where two or more elements are connected. So the stress transmission is not real. This paper summarizes the most recent theories of designing, their problems in case of frame structures, the most recent relating researches and the possibilities of developement.

Kulcsszavak: Steel frame, Steel frame joint, Thin-walled member, Restrained torsion, Bimoment, Stability examination

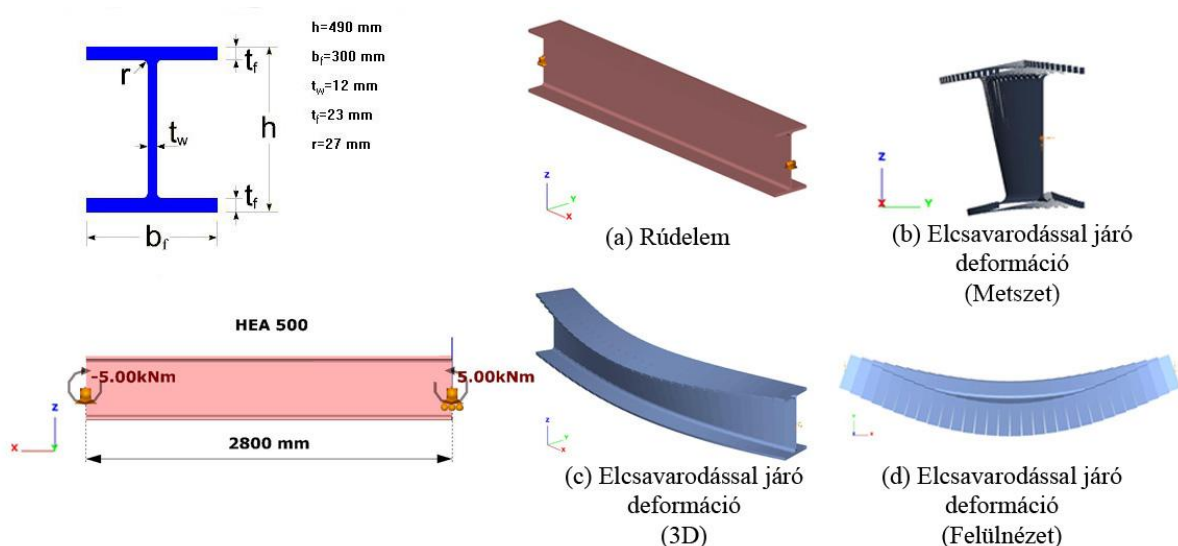
BEVEZETÉS

Az általam vizsgált csarnoképületek rendkívül széleskörű felhasználási körrel rendelkeznek. Ezeket az épületeket alkalmazzuk ipari célra, sportlétesítményként, közlekedési vagy kiállítási célból, továbbá gyülekezési térként, hangárként és katonai célokra is. A csarnokok egyik

¹ PhD hallgató, Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, E-mail cím: laszlo.gabriella@sze.hu ORCID azonosító: 0000-0001-5932-4358

leginkább alkalmazott építő eleme a vasbeton vázszerkezetek mellett az acél szerkezetek, azon belül is az acél keretszerkezetek. Az acél keretszerkezetek leggyakrabban viszonylag vékonyfalú nyitott szelvényekből készülnek. Vizsgálataim a viszonylag vékonyfalú nyitott szelvényű keretszerkezetek számítógépes tervezésére terjednek ki. Fontos kiemelni, hogy ezek a szelvények csak viszonylag vékonyfalúak, hiszen a valódi vékony-falú szerkezetek általában 2-3 mm vastagságúak (pl. szelemenek). Az általam vizsgált szelvények falvastagsága 6-20 mm-ig terjed. Rengeteg különböző keresztmetszetű nyitott szelvény ismert, ezek közül csak a kétszeresen-szimmetrikus I-szelvényekkel foglalkozom a továbbiakban.

A globális felmelegedés hatására hazánkban is megjelenő időjárási szélsőségek extrém terhelést gyakorolnak épületeinkre [1], a viszonylag vékonyfalú, nyitott szelvények könnyen elcsavarodhatnak a különböző terhelések hatására.[2] Az 1. ábrán egy kétszeresen szimmetrikus I-szelvényű kéttámaszú tartót látunk két egymással ellentétes irányú nyomaték hatása alatt. A tartó a geometriai tökéletlenségek miatt oldalra elmozdulhat. Ha a deformált alakú tartót tovább terheljük, a hajlító-nyomaték kifordulást fog eredményezni, a kifordulással pedig együtt jár a keresztmetszet öblösödése, mely a következő ábrán látható.[3]

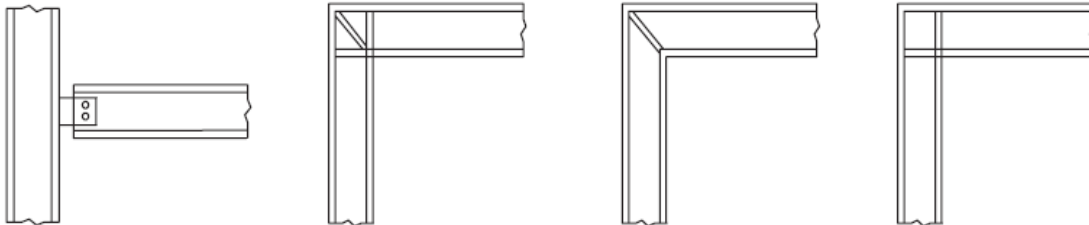


1.ábra Viszonylag vékonyfalú, nyitott szelvények kifordulása²

Mivel keretszerkezetek esetében ezek a rúdelemek csatlakoztatva vannak egymáshoz, a szomszédos elemek hatást gyakorolnak egymásra, a kapcsolat kialakításától függően. Így fontos megvizsgálni a különböző keretsarok kialakítási típusokat. Keretsarkok készülhetnek hegesztett valamint csavarozott kivitelben. Eddigi kutatások a hegesztett keretsarok kialakításokra vonatkoztak, így ezeket mutatom be. A szerkezeti analízisre gyakorolt hatásuk - vagyis a merevségük és az öblösödést gátló hatásuk - alapján három különböző kialakítást vizsgáltam. Az első egy egyszerű kapcsolat, melynél azzal a feltételezéssel élek, hogy a csomópont nem továbbítja a hajlítónyomatékokat és öblösödést gátló hatása nincs. A második egy merev kapcsolat, melyben diagonális és doboz merevítés is található három pár merevítő lemezből kialakítva. A csomópontnak a feltételezés alapján nincs hatása az analízisre és nem

² saját ábra, szerkesztette: László Gabriella

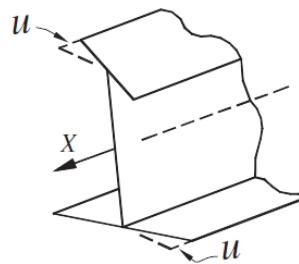
történik öblösödés a rúdvégeken, vagyis az öblösödéssel szembeni gátló hatás teljes. A harmadik típus egy fél-merev kapcsolat, ahol a gátló hatás csupán részleges. Ezt a típust kétféle módon lehet kialakítani: használatos a diagonális merevítővel, valamint egy doboz merevítéssel kialakított verzió is.[4] Keretszerkezetek esetében a diagonálisan merevített változat a leginkább elterjedt.



2. ábra Keretsarok kapcsolati kialakítások³

BIMOMENT A KERETSARKOKON

Ahogy az a bevezetésben szerepelt a viszonylag vékonyfalú, nyitott szelvények különösen érzékenyek a kifordulásra, melynek következtében a rúdvégek öblösödést szenvedhetnek a csavaró hatás miatt. Ez az öblösödés a kétszeresen szimmetrikus I-szelvény esetén a két öv ellentétes irányú, lineáris, hosszanti elmozdulásaiból áll (3. ábra).[2]



3. ábra Övek elmozdulása az öblösödés hatására⁴

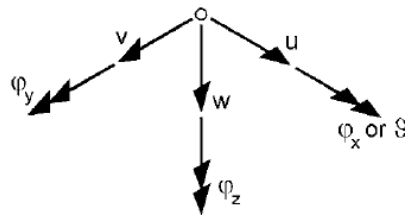
A gerenda-oszlop kapcsolat kialakításától függően az öblösödések a rúdvégeken hatást gyakorolnak a szomszédos elemek csavarodására és egy gátló hatás fog megjelenni, ez a gátolt csavarás. A gátolt csavarás okozza a bimoment kialakulását a rúdelemek végein. Számítógépes modellezés terén mára igencsak elterjedt módszer a végeleemes analízis. A módszer alapján írt programok általában a St. Venant-féle szabad csavarás elméletén alapszanak, vagyis hat szabadságfokot vesznek figyelembe – három elmozdulást és három elfordulást (4. ábra) – mindkét rúdvégen. A csavarás gátlásából származó gátolt keresztmetszeti öblösödés egy további szabadságfok bevezetésével kezelhető, vagyis egy hetedik szabadságfokkal.[3] Ez a hetedik szabadságfok további modellezési kérdéseket vet fel, melyeket a későbbiekben tárgyalok.

³ [5] Wu, Liping, Mohareb, Magdi Finite-element formulation for the lateral torsional buckling of plane frames. Journal of Engineering Mechanics 2013;139:512-524

⁴ [6] Basaglia, C., Camotim, D., Silvestre, N. Torsion warping transmission at thin-walled frame joints: Kinematics, modeling and structural response. Journal of Constructional Steel Research 2012;69:39-53

Lehetséges szabadságfokok:

- Elmozdulások: u , v és w
- Elfordulások: φ_x vagy ϑ (csavarás), φ_y , φ_z



4.ábra Szabadságfokok a St. Venant-féle csavarás elmélet alapján⁵

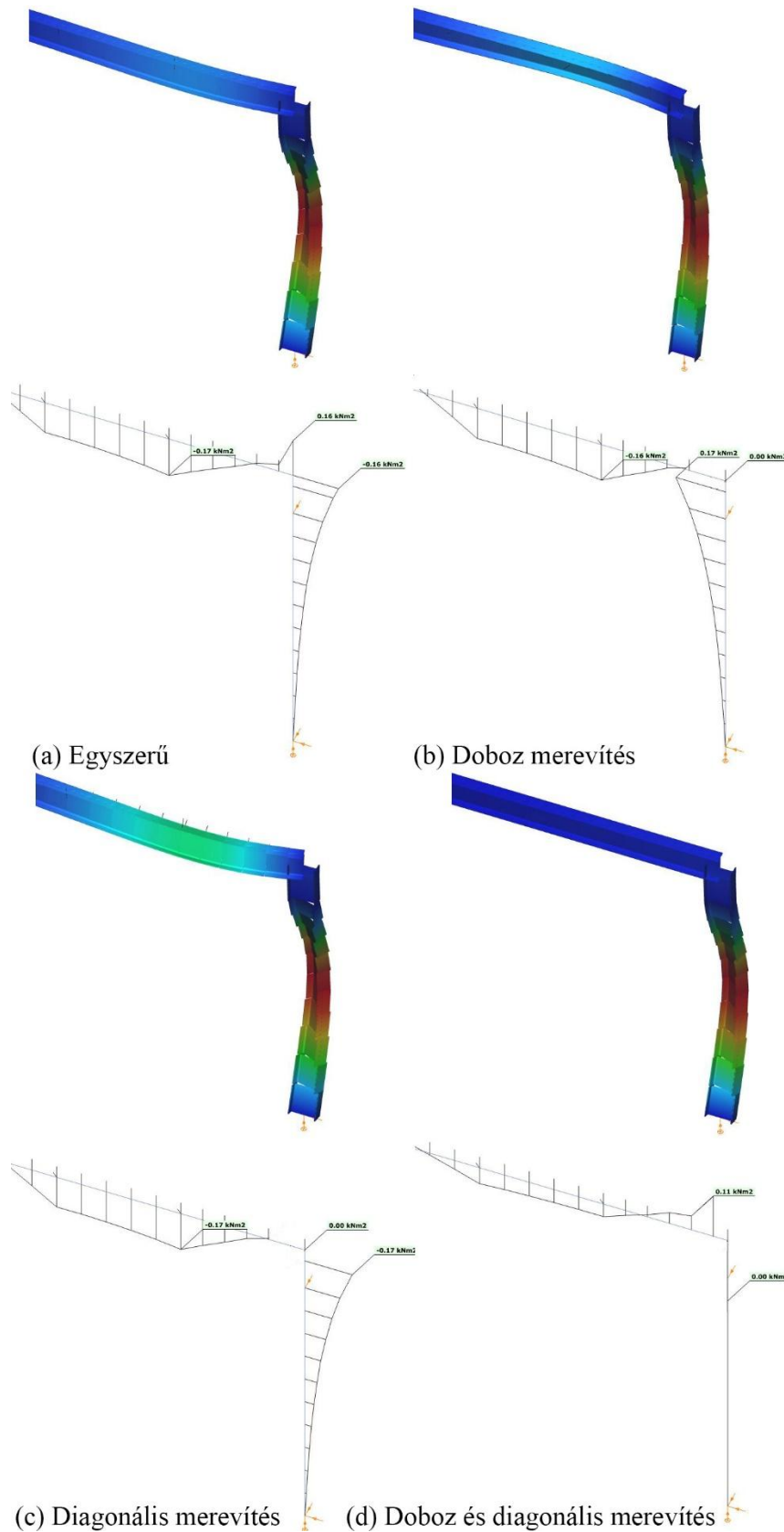
Az 5. ábra képsorán keresztül lekövethetjük, hogy milyen hatással van a keretsarok csomópontjának kialakítása az öblösödés és a bimoment átmenetre, és ami látványosabb, a kifordulási alakra. Az ábrákon a már említett négy keretsarok kialakítás került összehasonlításra csavarás hatása alatt.

Az első ábrán az egyszerű kialakítást láthatjuk, ahol a 7. szabadságfokú elmozdulások átvitele független a csomópont kialakításától. Ennélfogva az oszlop- és gerenda elem nem hat egymásra, nem alakul ki gátló hatás, így a kihajlási sajáthalak az általános esetek alapján feltételezett módon alakul. A második ábrán az egyik fél-merev kapcsolatot láthatjuk, mégpedig a doboz merevítéssel kialakított csomópontú keretsarok kialakítást. Ebben az esetben a 7. szabadságfokú elmozdulások egymás ellentettjei lesznek, tehát az öblösödés ellentétes előjellel megy át a két elem között. A kifordulási alaknál látható, hogy ennél a keretsarok kialakításnál mind az oszlopelem, mind a gerendaelem egy irányba mozdul el.

A harmadik ábra a fél-merev kapcsolat másik változata, diagonális merevítéssel. Ilyen csomóponti kialakítás esetében az öblösödés megegyező előjellel kerül átvitelre a két elem között. A kifordulási alakot tekintve az elemek ellentétes irányban mozdulnak el. Itt látható a legjobban a csomóponti kialakítás hatása, hiszen bár mindkét kapcsolat fél-merev, a merevítés típusától függően jelentősen különbözik mind a deformáció, mind a bimoment átmenet előjele a két elem között.

Az utolsó ábrán a merev kapcsolatot láthatjuk, ami a két merevítés kombinálásával jön létre. Itt, ahogy azt már korábban említettem teljes a gátló hatás, vagyis a 7. szabadságfokú elmozdulások, tehát az öblösödés nem továbbítódik. A kifordulási alakon is látható, hogy a gátló hatás miatt csak az oszlop elemen alakul ki deformáció.

⁵ [7] Kindmann, Rolf, Matthias, Kraus Steel Structures Design using FEM. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin Germany; 2011

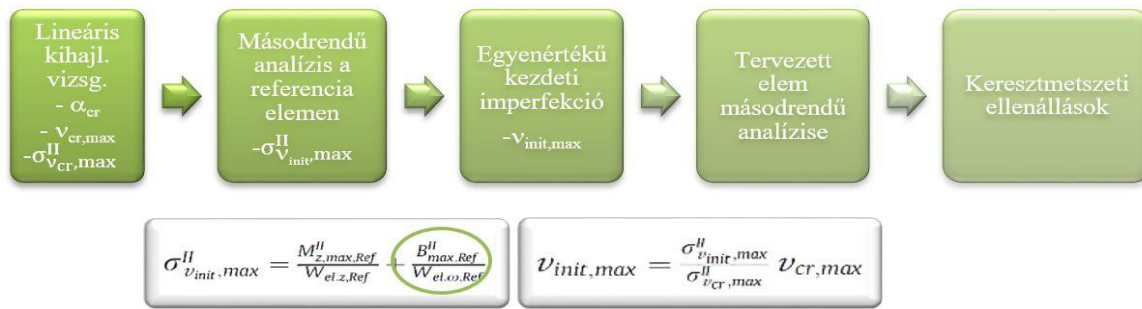


5. ábra Keretsarok kialakítás hatása a kifordulási alakra⁶

⁶ saját ábra, az ábra a ConSteel szoftver felhasználásával készült, szerkesztette: László Gabriella

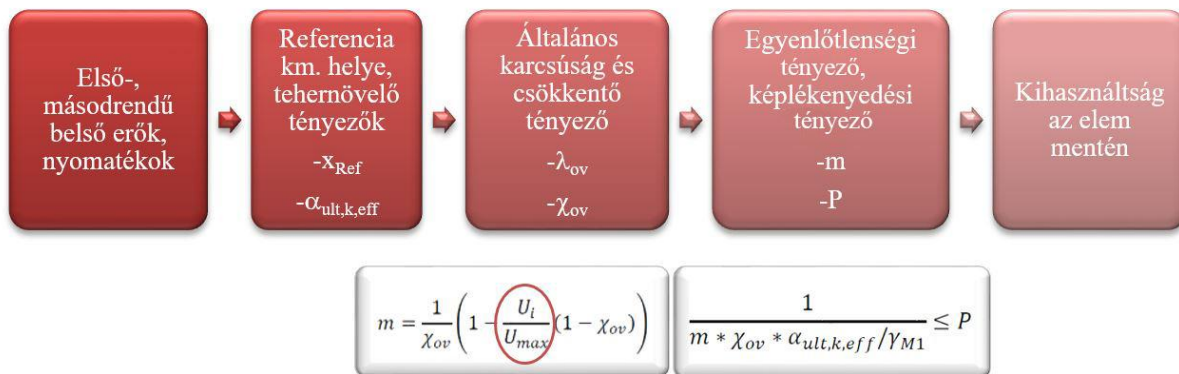
ÚJ TERVEZÉSI MÓDSZEREK

Miért fontos, hogy megfelelően közvetítsük a bimomentet a két elem között, hiszen ahogy az látható, értéke nem túl nagy, így közvetlen hatása elhanyagolható a szerkezet globális tönkremenetele szempontjából. Az acélszerkezetek tervezésére vonatkozó szabványok kifordulással szembeni ellenállásra csupán különálló elemekre adnak útmutatást, keretekre nem. A közelmúltban azonban két új tervezési módszer került kifejlesztésre, melyek alkalmazhatók a kifordulásra, valamint a kihajlás és kifordulás interakciójára is, egyenes tengelyű rudakra. Mindkét módszer fontos eleme a másodrendű igénybevételek okozta keresztmetszeti kihasználtság maximum helyének keresése. Ebben pedig a bimomentnek is jelentős szerepe van. Ezen módszerek alkalmazása kiterjeszhető volna keretszerkezetekre is, amennyiben a bimoment átmenet megfelelő pontossággal van megoldva. Az első módszert egyenértékű tökéletlenség módszernek hívják (OIM – Overall Imperfection Method). A kezdeti geometriai tökéletlenség (görbeség), továbbá a maradó feszültségek csökkenthetik a rúdelem ellenállását. Az OIM által ajánlott számítógépes módszer az egyenértékű kezdeti globális és lokális geometriai tökéletlenséget alkalmazza a rúd rugalmas stabilitásvesztési alakjának formájában. Ez azt jelenti, hogy a tervezés nem a tökéletes rúdelemre vonatkozik, hanem a tökéletlen alakra, keresztmetszeti ellenállás vizsgálat formájában. Így külön stabilitásvizsgálatot elvégezni nem szükséges. Ezzel a módszerrel az acélszerkezetek méretezési folyamata felgyorsul, és egyben megbízhatóbb is lesz. Az egyenértékű kezdeti tökéletlenség azonban a másodrendű hatásokkal szembeni ellenállásokból származtatható, amiben viszont a bimomentet is figyelembe kell venni. Tehát ahhoz, hogy a módszer alkalmazható legyen keretszerkezetekre, ami gyorsabbá, hatékonyabbá teszi azok tervezését, szükség van a bimoment megfelelő átvitelére a csomópontokon. A módszer fő lépései a 6. ábrán láthatók. Az első lépés a lineáris stabilitásvizsgálat elvégzése, mely által meghatározható a kritikus tehernövelő tényező, valamint a stabilitásvesztési alak, egyelőre tetszőleges amplitúdóval. Ezt követően az előző lépésben meghatározott tetszőleges kezdeti amplitúdó és stabilitásvesztési alak mellett elvégezhető a másodrendű analízis, amiből megkapjuk a legnagyobb másodrendű normálfeszültséget ($\sigma_{v_{cr,max}}^I$). A következő lépésben a referencia keresztmetszet adatai alapján (a referencia keresztmetszet az, ahol a másodrendű hatás a legnagyobb) felvett referencia elemen meghatározzuk a legnagyobb másodrendű normálfeszültséget ($\sigma_{v_{init,max}}^I$). Ezután ezek arányából meghatározható az egyenértékű kezdeti amplitúdó ($v_{init,max}$), amivel a másodrendű analízis és a keresztmetszeti ellenállás vizsgálata elvégezhető.[9]



6. ábra Az OIM főbb lépései⁷ [8]

A másik módszer az OSDM (Overall Stability Design Method), melynek alapja az acélszerkezetek tervezéséhez használatos Eurocode 3 szabványban ismert csökkentő tényezős módszer. A fő különbség a szabványban található módszerhez képest, hogy ez az eljárás a referencia keresztmetszetre vonatkozik, ami nem a legjobban kihasznált keresztmetszet, hanem az, ahol a másodrendű hatások okozzák a legnagyobb kihasználtságot. Ehhez egy úgynevezett egyenlőtlenégi tényezőt (nonuniform effect factor) vezetett be a módszer fejlesztője. A módszer főbb lépései a 7. ábrán láthatók. Az első lépés az első- és másodrendű belső erők és nyomatékok kiszámítása, valamint a rugalmas stabilitásvesztési alak meghatározása. Második a referencia keresztmetszet kijelölése, ami a másodrendű igénybevételekből számított kihasználtságok (U) számításával hajtható végre. Ezután ki kell számítani a tehernövelő tényezőket, az általános karcsúságot és az általános karcsúsághoz tartozó általános csökkentő-tényezőt. A csökkentő-tényező és a kihasználtságok segítségével az egyenlőtlenégi tényező kiszámítható. A képlékenyedési tényező – mely figyelembe veszi a képlékeny zónák kedvező hatását – kiszámításával vizsgálhatók a keresztmetszeti kihasználtságok az elem mentén.[9]



7.ábra OSDM főbb lépései⁸ [9]

Mindkét módszerhez szükség van tehát a másodrendű hatásokra, így a bimoment sem elhanyagolható. Ahhoz azonban, hogy figyelembe tudjuk venni a bimomentet, egy reális bimoment-átviteli modellre van szükség.

⁷ saját ábra, szerkesztette: László Gabriella

⁸ saját ábra, szerkesztette: László Gabriella

SZÁMÍTÓGÉPES MODELLEZÉS KÉRDÉSEI

A szabványokban, és a gyakorlatban is, az elfogadott módszer keretszerkezetek tervezésére, hogy elemei külön-külön kerülnek megtervezésre, egymásra való hatásukat közelítő módon figyelembe véve. Ez azonban sokszor távol áll a valóságtól, az egymásra gyakorolt hatások figyelembevétele nem reális. Az új tervezési módszerek segítségével ez a probléma megoldódna, ehhez azonban a számítógépes programok fejlesztésére is szükség van. Számítógépes vizsgálatok elvégzésének mára minden területen elterjedt módja a vége-selemes módszer. Egyenes és egyedül álló rúdelemekre viszonylag egyszerű vége-selemes eljárások kerültek kifejlesztésre, melyekkel a kifordulás jelensége is kezelhető. Ám törtvonalú szerkezetekre, amilyenek a keretek is, nem született még ilyen egyszerű megoldás. Az elemzők és tervezők kénytelenek a héj vége-selemes módszerre támaszkodni, mely egy járható út, azonban nem túl hatékony gyakorlati szempontból a nagy modellezési, számítási és futtatási időigénye miatt.[5]

Egy alkalmazható alternatíva volna a rúd vége-selemes módszer alkalmazása a csavarodást is figyelembe vevő 7. szabadságfokkal.[10] Ahhoz azonban, hogy rúdmodellben végezhessük számításainkat, szükséges a merevségi mátrixok meghatározása mindkét rúdvégen, továbbá szükség van egy úgynevezett transzformációs mátrixra is. A transzformációs mátrix segítségével lehet a rúdban ható belső erőket és a rúdon létrejövő elmozdulásokat a rúd lokális koordináta-rendszeréből átültetni a globális koordináta-rendszerbe. Azonban itt problémába ütközünk, ugyanis amíg általános, 6 szabadságfokú teheresetekre – mint például hajlítás egy tengely körül – ez a transzformációs mátrix validált és jól működik, addig összetettebb teheresetekre, – például hajlítás két tengely körül - ahol megjelenik a 7. szabadságfok, ott egy kérdőjel jelenik meg a bimoment helyén, vagyis nem meghatározott, hogy milyen értékkel lehet globális koordináta-rendszerbe átvinni (8. ábra).[6]

$$\begin{bmatrix} \bar{N}_a \\ \bar{V}_{za} \\ \bar{M}_{ya} \\ \bar{N}_b \\ \bar{V}_{zb} \\ \bar{M}_{yb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & & & & \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & & & & \\ & & 1 & & & \\ \hline & & & \cos \alpha & \sin \alpha & \\ & & & -\sin \alpha & \cos \alpha & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_a \\ V_{za} \\ M_{ya} \\ N_b \\ V_{zb} \\ M_{yb} \end{bmatrix} \quad \bar{\underline{s}}_e = \underline{T}_e \cdot \underline{s}_e$$

$$\begin{bmatrix} \bar{N}_a \\ \bar{V}_{ya} \\ \bar{M}_{za} \\ \bar{V}_{za} \\ \bar{M}_{ya} \\ \bar{M}_{xa} \\ \bar{M}_{oa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & & & \sin \alpha & & & \\ & 1 & & & & & \\ & & \cos \alpha & & & & -\sin \alpha \\ -\sin \alpha & & & \cos \alpha & & & \\ & & & & 1 & & \\ & & & \sin \alpha & & \cos \alpha & \\ & & & & & & ? \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_a \\ V_{ya} \\ M_{za} \\ V_{za} \\ M_{ya} \\ M_{xa} \\ M_{oa} \end{bmatrix} \quad \bar{\underline{s}}_e = \underline{T}_e \cdot \underline{s}_e$$

(a) Belső erők transzformációja 6 szabadságfok esetén

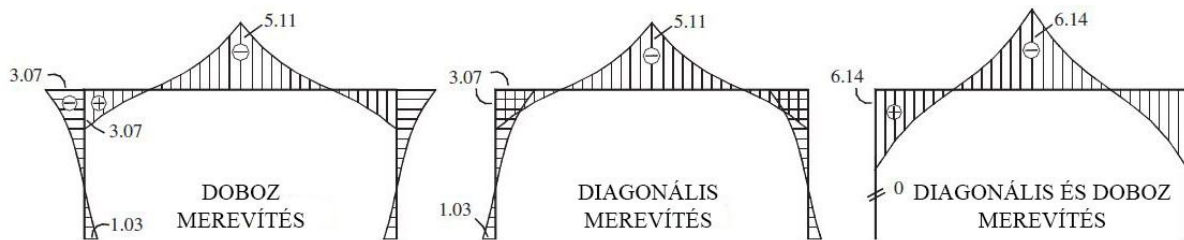
(b) Transzformáció részlete 7 szabadságfok esetén

8. ábra Transzformációs mátrixok⁹ [7]

Általában három keretsarok kialakítást vizsgál az irodalom. Eddigi kutatások erre a három változatra már előálltak ajánlásokkal a bimoment transzformációs mátrixban felvett értékére vonatkozólag. Az értékek Ansys és Abaqus szoftverrel elvégzett rúdmodellben vége-selemes modellkísérleteken alapulnak (9. ábra). Egy 10 m széles, 5 m magas keretet vizsgáltak, a keretsarkokon $P=1\text{kN}$ terhelésnek alávetve. Ahogy azt a bevezetésben a deformációk esetében is láthattuk, a két fél-merev kapcsolatnál egyik esetben a bimoment értékek előjele megegyezik (diagonális merevítés), a másik esetben pedig éppen ellentétes (doboz merevítés).

⁹ szerkesztette: László Gabriella

A merev kapcsolati kialakításnál, ahol a csomópontban doboz és diagonális merevítés is alkalmazásra kerül, nem adódik át torzulás és bimoment a két elem között, így az oszlopelemen a bimoment értéke 0.[6]



9. ábra Bimoment igénybevételi ábrák változatai

Ezek azonban mind hegesztett csatlakozások, az elemek derékszögben kapcsolódnak, valamint szoftveresen még mindig nem tökéletesen megoldott az átvitel. Felmerül a kérdés, hogy csavarozott kapcsolat esetén, valamint abban az esetben, ha az oszlop- és gerenda elem szöget zár be egymással, milyen értékkel fog közvetítődni a bimoment.

FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

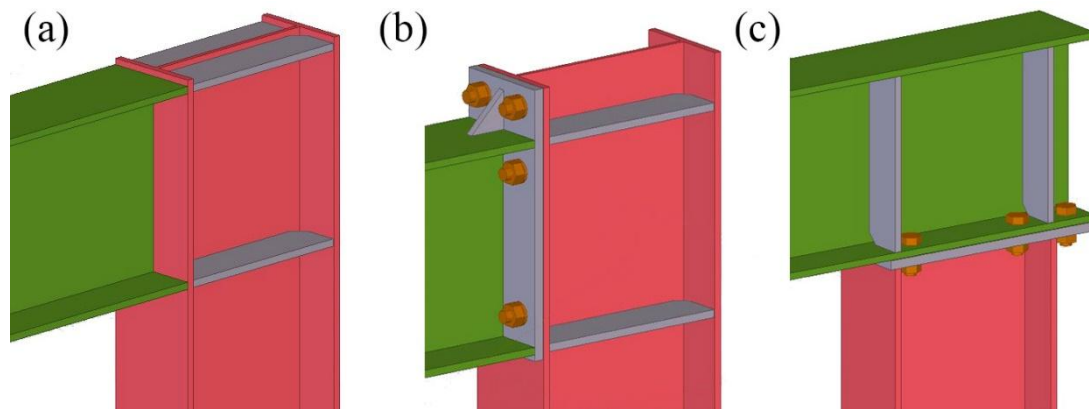
Feltételezzük, hogy ha laboratóriumi körülmények között sikerül kimérni egy hegesztett kapcsolat esetében a bimoment átvitelt, majd ezen adatok felhasználásával egy numerikus modellt kalibrálunk, akkor a modell segítségével meghatározhatunk egy transzformációs mátrixot. A folyamatot csavarozott kapcsolatra is elvégezve pedig ajánlást tehetünk a bimoment transzformációs mátrixban felvett értékére csavarozott kapcsolat esetén is, valamint a numerikus modell tulajdonában további vizsgálatok futtathatók egyéb esetekre is, mint például egymással szöget bezáró oszlop-gerenda kapcsolatra is (10. ábra).



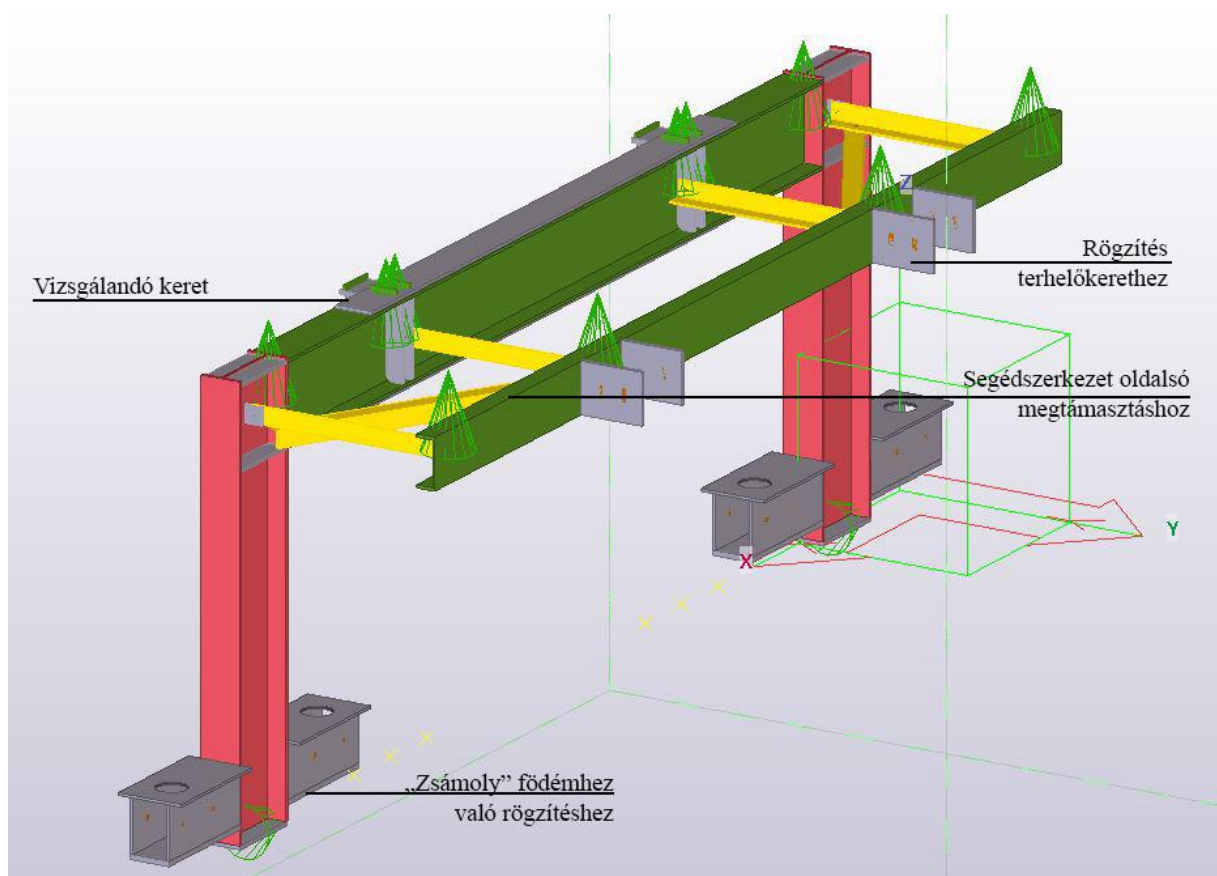
10. ábra Fejlesztési lépések¹⁰

Vizsgálati programunk három különböző kapcsolat laboratóriumi vizsgálatát foglalja magába. Ezek a következők: doboz merevítéssel kialakított hegesztett kapcsolat, egy homloklemez csavarozott kapcsolat, valamint egy fordított homloklemez csavarozott kapcsolat (11. ábra). A keretek a padlófödémhez úgynevezett „zsámolyok” közbeiktatásával lesznek lecsavarozva, így fél-merev kapcsolatot kialakítva. Szükséges a vizsgálandó kereteket oldalirányban is megtámasztani a kifordulás és a teljes szerkezet stabilitásvesztésének elkerülése végett. Ezt a terhelőkerethez segédszerkezetekkel történő rögzítéssel oldjuk meg.

¹⁰ saját ábra, szerkesztette: László Gabriella



11. ábra Vizsgált keretsarok kialakítások;
(a) doboz merevítéssel kialakított hegesztett kapcsolat;
(b) homloklemez csavarozott kapcsolat; (c) fordított homloklemez kapcsolat.¹¹



12. ábra Vizsgáló keret elhelyezése és megtámasztásai¹²

A vizsgáló keret a terhelőkeretek alatt, azokra merőlegesen helyezkedik el, és két ponton a terhelőkeretről befüggesztett hidraulikus terhelőhengerral külpontosan terheljük (12. ábra). Az alakváltozások (feszültségek) méréséhez keretenként 16 (keresztmetszetenként 4) nyúlásmérő

¹¹ saját ábra, szerkesztette: László Gabriella, az ábra a Tekla Structures Learning szoftver felhasználásával készült

¹² saját ábra, szerkesztette: László Gabriella, az ábra a Tekla Structures Learning szoftver felhasználásával készült

bélyeget szerelünk fel (mind az oszlop-, mind a gerenda elemen 2-2 keresztmetszetben mérünk). A keretsarok elmozdulását is mérjük, ezt induktív útdadó segítségével.

ÖSSZEGZÉS

A keretek tervezése jelenleg nagy egyszerűsítésekkel és elhanyagolásokkal él, valóságtól sokszor távol eső módszerekkel történik. Mivel használatuk egyre inkább elterjedt a gyorsépítkezésnek köszönhetően, így időszerű a tervezési módszer fejlesztése. A fejlesztésre a közelmúltban már voltak törekvések, azonban egyelőre igencsak szűk határok között, meghatározott kapcsolati kialakítások esetében. Két új tervezési módszer lehetővé tenné a keretek sokkal realisabb és gyorsabb tervezését, azonban ehhez a szoftveres környezet fejlesztésére is szükség van. Kutatásaimmal rávilágítottam, hogy az acél keretszerkezetek tervezése során alkalmazott módszerek folyamatos fejlesztése szükséges. Feltártam a gyenge pontokat bemutattam a fejlesztési lehetőségeket. Eddigi eredményeim felhasználásával egy olyan gyakorlatban is hatékonyan használható rúd végeelemes módszer kifejlesztésére töreksem, mely képes a bimoment reális átvitelére a keretsarkokon, és így lehetővé teszi az új tervezési módszerek alkalmazását. Laboratóriumi és numerikus modellek vizsgálatával olyan tervezési módszert fejleszt ki, mely globálisan tudja kezelni a keretszerkezeteket, így megkönnyítve, meggyorsítva és biztonságosabbá téve azok tervezését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kuti Rajmund, Nagy Ágnes: Weather Extremities, Challenges and Risks in Hungary, *ACADEMIC AND APPLIED RESEARCH IN PUBLIC MANAGEMENT SCIENCE* 14, (4) pp. 299-306. (2015)
- [2] Shayan, S., Rasmussen, K.J.R.: A model for warping transmission through joints of steel frames. *Thin-Walled Structures* 2014;82:1-12
- [3] Tong, G.S., Yan, XX., Zhang, L.: Warping and bimoment transmission through diagonally stiffened beam-to-column joints. *Journal of Constructional Steel Research* 2005;61:749-763
- [4] Pi, Yong-Lin, Trahair, Nicholas S.: Distorsion and warping at beam supports. *Journal of Structural Engineering* 2000;126:1279-1287
- [5] Wu, Liping, Mohareb, Magdi: Finite-element formulation for the lateral torsional buckling of plane frames. *Journal of Engineering Mechanics* 2013;139:512-524
- [6] Basaglia, C., Camotim, D., Silvestre, N.: Torsion warping transmission at thin-walled frame joints: Kinematics, modeling and structural response. *Journal of Constructional Steel Research* 2012;69:39-53
- [7] Kindmann, Rolf, Matthias, Kraus: *Steel Structures Design using FEM*. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin Germany; 2011
- [8] Papp, Ferenc: Buckling assessment of steel members through overall imperfection. *Engineering Structures* 2016;106:124-136

- [9] Szalai, József, Papp, Ferenc: Reforming the “General method”: Overall Stability Design Method OSDM – the Hungarian proposal. Coimbra: European Convention for Constructional Steelwork, 2017
- [10] Iványi, Miklós, Papp, Ferenc: Acél CAD. Acél rúdszerkezetek számítógéppel segített tervezése. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998