



ACÉLOSZLOP ÉS ACÉLGERENDA KÖZÖTTI HOMLOKLEMEZES KAPCSOLATOK VISELKEDÉSÉNEK ANALITIKUS ÉS NUMERIKUS VIZSGÁLATA

ANALYTICAL AND NUMERICAL STUDY ON THE BEHAVIOR OF STEEL FLUSH END PLATE (FEP) CONNECTIONS

Sütő Abigail-Bethsabé,¹ Urszuly Nóra,² Lőrincz Barnabás-Attila,³ Nagy Zsolt,⁴
Buru Marius-Ştefan⁵

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia. suto.at.abigail@student.utcluj.ro

² Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia. urszuly.sz.nora@student.utcluj.ro

³ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia. barnabas.lorincz@campus.utcluj.ro

⁴ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia. zsolt.nagy@dst.utcluj.ro

⁵ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia. marius.buru@mecon.utcluj.ro

Abstract

This study evaluates the behavior of the steel flush end plate (FEP) beam-to-column external joint, presented in reference [1]. The investigations involve both analytical and numerical approaches to assess the performance of this typical connection. The analytical method, described in reference [2], represents the Component Method and the numerical analyses involved two finite element method-based software, Consteel and IDEA StatiCa. These two software tools adopt two distinct methodologies - one utilizing the Component Method, while the other implements the Component-Based Finite Element Method. A comparative analysis of the results was performed to evaluate the reliability of the analytical and numerical methods and to analyse the differences between these procedures. The results of the investigations indicate that the end plate is the weakest component of the examined connection. Therefore, a numerical parametric study was conducted to analyse the influence of the end-plate thickness on the overall behavior of the steel flush end-plate beam-to-column external joint.

Keywords: *steel structures, flush end-plate (FEP) connections, component method, component-based finite element method (CBFEM), semi-rigid joint.*

Összefoglalás

Ez a tanulmány egy külső, nem túlnyúló homloklemez gerenda-oszlop kapcsolat viselkedését vizsgálja, amelyet az [1] hivatkozás ismertet. Az elemzés során analitikus és numerikus módszerek voltak alkalmazva. Az analitikus metodológia – amelyet a [2] hivatkozás ismertet – a komponensmódszeren alapul, valamint a numerikus vizsgálatok két végeselem-alapú szoftver, a Consteel és az IDEA StatiCa segítségével valósultak meg. Az említett szoftverek eltérő számítási eljárásokat alkalmaznak: egyikük a komponensmódszert, míg a másik a komponensalapú végeselem-módszert (CBFEM) használja. Az eredmények összehasonlítása lehetővé tette az analitikus és numerikus eljárások megbízhatóságának kiértékelését, valamint az alkalmazott módszerek közötti eltérések elemzését. Az eredmények szerint a vizsgált kapcsolat legkritikusabb eleme a homloklemez. Ennek fényében, numerikus eljárásokat alkalmazva, a parametrikus vizsgálatok kimutatták a homloklemez vastagságának hatását a csomópont viselkedésére nézve.

Kulcsszavak: *acélszerkezetek, nem túlnyúló homloklemez kapcsolatok, komponensmódszer, komponensalapú végeselem-módszer, félmerev csomópont.*

1. Bevezetés

A kapcsolatok kritikus elemei az acél- vagy öszvérszerkezeteknek, jelentősen befolyásolva azok viselkedését a belső erőeloszlás és alakváltozások szempontjából. A tanulmány azon vizsgálatokat mutatja be, amelyeket a szerzők az [1] hivatkozásban bemutatott kísérleti konfigurációkból izolált gerenda-oszlop kapcsolatokon végeztek.

A kutatás analitikus és numerikus eljárásokat felhasználva elemzi a homloklemez vastagságának hatását az izolált kapcsolat merevségére és teherbírására nézve. Az analitikus vizsgálatok az SR EN 1993-1-8:2005 [2] európai szabvány előírásai szerint, a komponensmódszer alkalmazásával készültek el.

A kapcsolatok numerikus számítása a Consteel és Idea StatiCa szoftverek alkalmazásával történt, amelyek két eltérő módszert alkalmaznak: a komponensmódszert és a komponensalapú végelem-módszert (CBFEM).

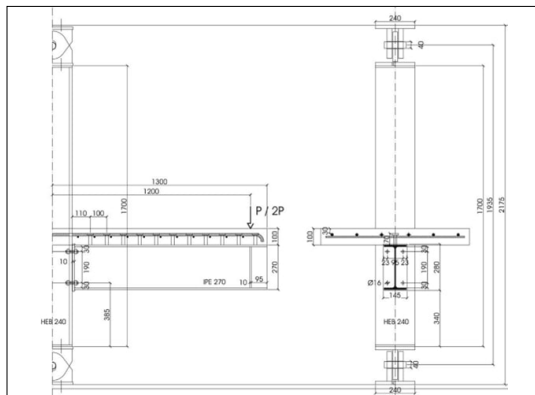
Az [1] hivatkozásban bemutatott kísérleti konfigurációk egy 8.00 m fesztávú keretszerkezet nem túlnyúló homloklemezkes kapcsolatait reprezentálták. Az első kísérletet egy belső csomóponton (T1) végezték el, míg két kísérletet külső csomópontokon (T2, T3) hajtottak végre. Mindhárom esetben a csomópontok acéloszlopokból és öszvérgerendákból álltak, amelyekhez egy 10 cm vastag és egy méter széles vasbeton födém csatlakozott.

A konfigurációkat HEB240 keresztmetszetű acéloszlop és IPE 270 keresztmetszetű gerenda alkotta. A terhelési pontnál, amely a gerendakonzol végén helyezkedett el, 10 mm vastagságú merevítőbordákat rögzítettek. Az IPE270 keresztmetszetű gerendához 10 mm vastag, nem túlnyúló homloklemez hegesztettek, és négy darab M16-átmérőjű csavarral rögzítették az oszlophoz. A konfigurációkat alkotó acélelemek S275 acélból készültek, míg a csavarok a 10.9-es osztályba tartoztak.

A vizsgált kísérleti konfigurációkat az **1. ábra** szemlélteti és a külső öszvérkapcsolatok kezdeti merevségére és hajlítási kapacitására vonatkozó eredményeket az **1. táblázat** mutatja be.

1. táblázat. A T2-T3 öszvérkapcsolatok kísérleti vizsgálatainak eredményei

Konfiguráció	Kezdeti merevség $S_{j,ini}$ [kNm/rad]	Hajlítási kapacitás $M_{j,Rd}$ [kNm]
T2	13700	147.4
T3	15800	163.1



1. ábra. Az [1] kísérleti program keretében vizsgált konfigurációk geometriai kialakítása

2. Analitikus vizsgálat

Az analitikus vizsgálat a komponensmódszer elvei szerint volt alkalmazva, ahol minden komponens egy nemlineáris erő-alakváltozás görbével jellemzett rugóként azonosítanak, ahogyan azt J. Jaspart [3] is említi. Ennek megfelelően minden komponens egy félmerev elemnek tekinthető. A módszer a következő lépésekből áll:

- a csomópont aktív komponenseinek azonosítása;
- a komponensek merevségének és teherbírásának meghatározása, beleértve a kezdeti merevséget, a hajlítási és nyírási kapacitást;
- a leggyengébb komponens azonosítása, amely meghatározza a csomópont végső teherbírását.

Az analitikus eredmények szerint a vizsgált, zárólag acélelemből álló homloklemezkes kapcsolat esetében a homloklemez a leggyengébb komponens. Az eredmények jelentős növekedést mutatnak a hajlítási kapacitásban és a csomóponti merevségben a vastagság növekedésével. Ugyanakkor a 16 mm-es vastagságot meghaladón ez a hatás csökken, mivel ekkor az oszlop talpa válik a legérzékenyebb elemmé.

A **2. táblázat** a vizsgált csomópont analitikusan meghatározott kezdeti merevségét és hajlítási kapacitását mutatja a különböző homloklemez-vastagságok függvényében.

3. Numerikus analízis

A külső, nem túlnyúló homloklemezkes kapcsolat numerikus vizsgálatához a Consteel és Idea StatiCa szoftverek alkalmazása vált szükségessé. A Consteel szoftverben a komponensmódszer, míg az Idea StatiCa szoftverben a komponensalapú végelem-módszer (CBFEM) van implementálva.

2. táblázat. A vizsgált kapcsolat analitikus eredményei

Név	Kezdeti merevség $S_{j,ini}$ [kNm/rad]	Hajlítási kapacitás $M_{j,Rd}$ [kNm]	Különbség (%)
A-p10mm	10034.49	34.28	0
A-p12mm	11466.35	39.54	14.26
A-p14mm	12312.10	45.77	22.70
A-p16mm	12796.50	52.94	27.53
A-p18mm	13064.54	57.64	30.19
A-p20mm	13201.75	57.82	31.56

3. táblázat. A vizsgált kapcsolat Consteelből származó eredményei

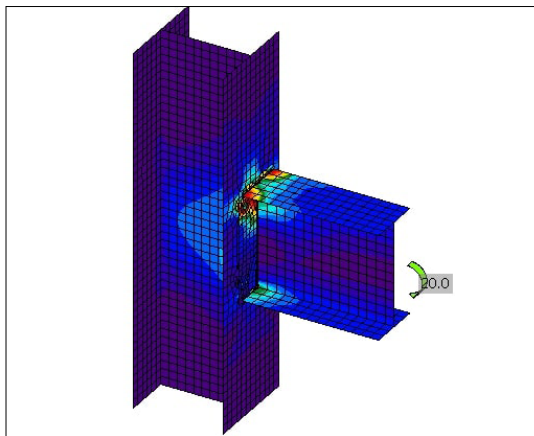
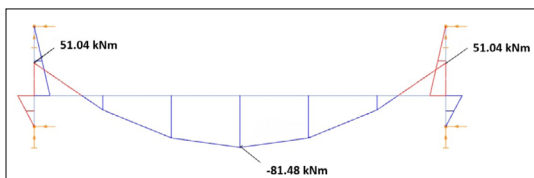
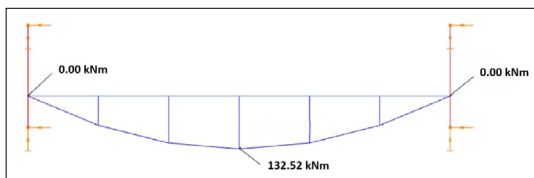
Név	Kezdeti merevség $S_{j,ini}$ [kNm/rad]	Hajlítási kapacitás $M_{j,Rd}$ [kNm]
NC-p10mm	9216.41	34
NC-p12mm	10929.6	39.14
NC-p14mm	12026.5	45.22
NC-p16mm	12700.32	52.23
NC-p18mm	13102.63	52.07
NC-p20mm	13333.14	52.07

4. táblázat. A vizsgált kapcsolat Idea StatiCából származó eredményei

Név	Kezdeti merevség $S_{j,ini}$ [kNm/rad]	Hajlítási kapacitás $M_{j,Rd}$ [kNm]
NI-p10mm	9319.441	31.022
NI-p12mm	11359.719	38.301
NI-p14mm	11818.897	45.233
NI-p16mm	12629.169	52.165
NI-p18mm	13351.153	53.032
NI-p20mm	13860.144	53.205

A komponensmódszerrel szemben a CBFEM-eljárás ötvözi a komponensmódszer és a végeselem-módszer előnyeit azáltal, hogy a csomópontot egyedi komponensekre bontja, majd nemlineáris anyagelemzést alkalmaz ezek egyenkénti és teljes szerkezeti vizsgálatára. Ezáltal az említett metodológia figyelembe veszi a komponensek közötti kölcsönhatásokat, amelyek végső soron meghatározzák a csomópont teljes teherbírását, ahogyan azt Lubomír Šabatka [4] is leírja.

Numerikus elemzés készült mindkét módszer összehasonlítására, valamint az analitikus eredmények validálására. A Consteel és az analitikus módszer eredményei nem mutattak jelentős különbségeket. Az eltérések a vizsgált kapcsolat kez-

**2. ábra.** A vizsgált kapcsolat végeselem-modellje**3. ábra.** A vizsgált kapcsolat hajlítónyomaték-diagramja**4. ábra.** Egy csuklós kapcsolat hajlítónyomaték-diagramja

deti merevsége és a hajlítási kapacitása szintjén 10% alatt maradtak.

Az analizált kapcsolat végeselem-modelljét a **2. ábra** mutatja be, a numerikus modellek eredményei pedig a **3** és **4. táblázat**ban találhatók. Továbbá, egy paraméteres vizsgálat is készült a homloklemez vastagságának növelésével.

4. Eredmények

Az ArcelorMittal többszintes épületekre vonatkozó tervezési útmutatója [5] szerint, a relatív vékony homloklemezrel (10 mm vastag S275 acélminőségű) kialakított kapcsolatok többnyire csuklósnak tekintendők. Ennek ellenére a kifejlesztett numerikus modellek azt mutatták, hogy a vizsgált, nem túlnyúló kapcsolat félmerev. A **3.** és **4. ábra** szemlélteti a hajlítónyomaték eloszlása közötti különbségeket egy 8.00 m fesztáv-

volságú keretszerkezet esetében. Az első változat a vizsgált kapcsolat hatását szemlélteti a hajlítónyomaték szerkezeten belüli eloszlására, míg a második esetben egy csuklós kapcsolat lett alkalmazva referenciaként, amely a különböző kapcsolattípusok szerkezeti viselkedésre gyakorolt hatásának összehasonlítását teszi lehetővé.

A 10 mm vastagságú, nem túlnyúló homloklemez-es kapcsolat esetén a számítási eredmények magas fokú hasonlóságot mutatnak, az eltérések mértéke kevesebb mint 10%. Az analitikus számoláshoz hasonlóan, a Consteel szoftver is a komponensmódszert alkalmazza, és mindkét esetben a vizsgálatok közel azonos hajlítási kapacitás- és kezdetimerősség-értékeket eredményeztek. Annak ellenére, hogy az Idea StatiCa szoftver a komponensalapú végelem-módszert (CBFEM) használja, az általa rögzített eredmények nem térnek el jelentősen a komponensmódszerrel meghatározott értékektől.

A különböző módszerekkel végzett elemzések egybehangzóan igazolták, hogy a vizsgált kapcsolat legkritikusabb eleme a homloklemez. Vastagságának növelése jelentősen javítja a vizsgált kapcsolat hajlítási kapacitását és a kezdeti merevségét, azonban 16 mm vastagság felett ez a hatás csökken.

5. Következtetések

A tanulmány egy kizárólag acélból gyártott oszlop és gerenda közötti, nem túlnyúló homloklemez-es kapcsolatot vizsgált. Az analitikus és numerikus vizsgálatok igazolták a kapcsolat fél-

merev viselkedését és hajlítónyomaték-átadó képességét.

Az eredmények azt mutatják, hogy a komponensmódszer és a komponensalapú végelem-módszer (CBFEM) hasonló nyomatéki ellenállási és merevségi értékeket ad, az eltérések a vizsgált csomópont esetében elfogadható tartományon belül maradnak.

A tanulmány további célkitűzései között szerepel egy kísérleti program megvalósítása, amely kétféle kapcsolat vizsgálatát foglalja magában: kizárólag acélelemekből álló csomópontokat, valamint acéloszlopokból és öszvérgerendákból álló csomópontokat.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Gil B., Bayo E.: *An Alternative Design for Internal and External Semi-Rigid Composite Joints. Part I: Experimental research*. Engineering Structures, 30, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.03.009>
- [2] Eurocode 3: Design of Steel Structures-Part 1-8: Design of Joints, European Standard, 2005.
- [3] Jaspart J.-P., Weynand K.: *Design of Joints in Steel and Composite Structures*. ECCS-European Convention for Constructional Steelwork, Berlin 2016. 401.
- [4] Šabatka L., Wald F., Kabeláč J., Kolaja D., Pospíšil M.: *Structural Analysis and Design of Steel Connections Using Component-Based Finite Element Model*. Journal of Civil Engineering and Architecture 9/8. (2015).
<https://doi.org/10.17265/1934-7359/2015.08.002>
- [5] ArcelorMittal: *Multi-Storey Steel Buildings – Part 2: Concept Design*, 2008.