

**HEGKONF**

**27. Hegesztési Konferencia**

**PROCEEDINGS**

Budapest, 2014. május 22–24.  
Óbudai Egyetem

# Table of Contents

<b>KÖSZÖNTŐ.....</b>	<b>1</b>
<b>Dr. Gáti József</b>	
<b>IN MEMORIAM RITTINGER JÁNOS.....</b>	<b>3</b>
<b>Fehérvári Attila, Dr. Gáti József, Prof. Tóth László DSc</b>	
<b>Óbudai Egyetem</b>	
<b>FÁRADÁSOS REPEDÉSTERJEDÉSRE ÉRVÉNYES TERVEZÉSI GÖRBÉK HEGESZTETT SZERKEZETEK INTEGRITÁSÁNAK MEGÍTÉLÉSÉHEZ.....</b>	<b>19</b>
<b>Dr. Lukács János</b>	
<b>Miskolci Egyetem</b>	
<b>RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLAT ÉS SZERKEZETI INTEGRITÁS.....</b>	<b>39</b>
<b>Dr. Trampus Péter</b>	
<b>Dunaújvárosi Főiskola</b>	
<b>HEGESZTETT VASÚTI JÁRMŰSZERKEZETEK TERVEZÉSE ÉS MEGFELELŐSÉG-ÉRTÉKELÉSE AZ IC+ TÍPUSÚ NAGYSEBESSÉGŰ SZEMÉLYKOCSI FEJLESZTÉSÉNEK PÉLDÁJÁN KERESZTÜL.....</b>	<b>49</b>
<b>Borhy István*, Belső László**</b>	
<b>*TÜV Rheinland InterCert Kft.;**MÁV-START Zrt.</b>	
<b>TÓRIUM TARTALMÚ VOLFRÁM ELEKTRÓDÁK ÉLLETTANI HATÁSA.....</b>	<b>59</b>
<b>Bakos Levente</b>	
<b>Magyar Hegesztési Egyesület, TÜV Rheinland InterCert Kft</b>	
<b>600 MW TELJESÍTMÉNYŰ SZUPER-KRITIKUS ÜZEMŰ GŐZKAZÁNBLOKK MŰSZAKI ÁTVÉTELI FELADATAI.....</b>	<b>69</b>
<b>Kürtös László, Gémes Ferenc</b>	
<b>TÜV Rheinland InterCert Kft.</b>	
<b>V-MEREVÍTÉSŰ TÉRBELI TÖBBEMELETES ACÉLKERET TERVEZÉSE FÖLDRENGÉSRE .....</b>	<b>75</b>
<b>Dr. Jármái Károly, Dr. Farkas József</b>	
<b>Miskolci Egyetem</b>	
<b>MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS A HEGESZTÉSBEN .....</b>	<b>89</b>
<b>Nagy Ferenc</b>	
<b>REHM Hegesztéstechnika Kft</b>	
<b>LDX2101 ÉS 2205 TÍPUSÚ DUPLEX ACÉL LÉZERSUGARAS ÉS VOLFRÁMELEKTRÓDÁS HEGESZTÉSE.....</b>	<b>95</b>
<b>Lőrinc Zsuzsanna*, Dobránszky János**</b>	
<b>*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; **MTA–BME, Kompozittechnológiai Kutatócsoport</b>	
<b>A TECHNOLÓGIA BEFOLYÁSA NAGYSZILÁRDSÁGÚ DP ACÉLOK PONTHEGESZTETT KÖTÉSEINEK SZERKEZETÉRE .....</b>	<b>105</b>
<b>Prém László</b>	
<b>Miskolci Egyetem</b>	
<b>TECHNOLÓGIAI SZEMPONTOK A HIDROGÉN KÁROSODÁS ELKERÜLÉSÉRE .....</b>	<b>121</b>
<b>Fehérvári Gábor*, Gyura László**</b>	
<b>*Böhler-Uddeholm Hungary Kft.;**Linde Gáz Mo. Zrt.</b>	

<b>ROBOTOS HEGESZTÉS MINT A MODERN GYÁRTÓSOROK ÉPÍTŐEGYSÉGE AUTOMATIKUS ELŐ- ÉS UTÓLAGOS MINŐSÉGELLENŐRZÉSSEL A HEGESZTETT SZERKEZETEK GYÁRTÁSÁBAN.....</b>	<b>145</b>
<i>Steinbach Ágoston</i>	
Crown International Kft.	
<b>AUTOMATIKUS DÖRZSHEGESZTŐ CELLA KÉTKAROS HUMANOID ROBOTTAL.....</b>	<b>156</b>
<i>Dr. Farkas Attila*, Katus Attila**, Losonci Pál, Pap Mátyás***, Sándor Tamás****</i>	
*Flexman Robotics Kft.; **Autóflex-Knott Kft.; ***Harlo Kft.; ****Autóflex-Knott Kft.	
<b>FOCUSBAN A MŰVÉSZET.....</b>	<b>171</b>
<i>Halász Gábor*, Nagy Ferenc**</i>	
*MESSER Hungarogáz Kft.; REHM Hegesztéstechnika Kft.	
<b>HEGESZTETT SZERKEZETEK LÁNGEGYENGETÉSE.....</b>	<b>175</b>
<i>Gyura László, Balogh Dániel, Szeránku Milán</i>	
Linde Gáz Magyarország Zrt.	
<b>HATÁROKON ÁTÍVELŐ NAGY ÁTMÉRŐJŰ CSÖVEK LEOLVASZTÓ TOMPAHEGESZTÉSE.....</b>	<b>187</b>
<i>Dr. Ladányi Péter</i>	
Interproject Europe	
<b>KRITIKUS SÁVOK A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ACÉLOK HEGESZTETT KÖTÉSEINEK HŐHATÁSÖVEZETÉBEN .....</b>	<b>195</b>
<i>Gáspár Marcell Gyula, Dr. Balogh András</i>	
Miskolci Egyetem	
<b>SPECIÁLIS MÉLYÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIAI HEGESZTÉSEK MINŐSÍTÉSE A GYAKORLATBAN .....</b>	<b>213</b>
<i>Dr. Deli Árpád</i>	
HBM Kft.	
<b>A RIDEG TÖRÉS NÉHÁNY KÉRDÉSE A VÁSÁROSNAMÉNYI TISZA-HÍDDAL KAPCSOLATOS TAPASZTALATOKKAL ÖSSZEFÜGGÉSBEN .....</b>	<b>217</b>
<i>Dr.-techn. Domanovszky Sándor</i>	
<b>FINITE ELEMENT ANALYSIS OF THERMIC PROCESSES IN WELDED JOINTS.....</b>	<b>231</b>
<i>József Harangozó, János Kuti</i>	
Óbuda University	
<b>DUPLEX KORROZIÓÁLLÓ ACÉLOK LÉZERSUGARAS HEGESZTÉSE.....</b>	<b>235</b>
<i>Bögre Bálint</i>	
BME	
<b>NAGYSZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK HEGESZTHETŐSÉGE .....</b>	<b>247</b>
<i>Pósalaky Dóra, Prof. Dr. Lukács János</i>	
Miskolci Egyetem	
<b>SAROKVARRAT HEGESZTÉS PARAMÉTER-OPTIMALIZÁLÁSA CLOOS ROBOTTAL .....</b>	<b>257</b>
<i>Szilágyi Gábor, Kovács-Coskun Tünde, Pinke Péter</i>	
Óbudai Egyetem	
<b>DUPLEX ACÉLCSÖVEK ORBITÁLIS HEGESZTÉSE .....</b>	<b>267</b>
<i>Pásku Péter*, Dobránszky János*, Rada Péter**</i>	
*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; **Acis Complex Kft.	
<b>JAVÍTÓHEGESZTÉSI TECHNOLÓGIA KIDOLGOZÁSA RUGÓVEZETŐ CSAPHOZ.....</b>	<b>283</b>
<i>Bögre Bálint</i>	
BME	

<b>A HEGESZTÉSTECHNOLÓGIA HATÁSA FINOMSZEMCSÉS NAGYSZILÁRDSÁGÚ SZERKEZETI ACÉL ISMÉTLŐDŐ IGÉNYBEVÉTELEL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁRA.....</b>	<b>291</b>
<i>Dobosy Ádám, Dr. Lukács János</i>	
Miskolci Egyetem	
<b>A HŐHATÁS ÖVEZET KEMÉNYSÉGÉNEK BECSLÉSE EGYSZERŰ MÓDON.....</b>	<b>307</b>
<i>Pogonyi Tibor, Dr. Palotás Béla</i>	
Dunaújváros Főiskola	
<b>M30 SAJÓ HÍD GYÁRTÁSA ÉS SZERELÉSE.....</b>	<b>323</b>
<i>Halász Krisztián</i>	
Közgép ZRt.	
<b>ALUMINIUMANYAGOK ÉS AZOK HEGESZTÉSE A HÍDÉPÍTÉS ÉS AZ ÉPÍTŐIPAR TERÜLETÉN.....</b>	<b>333</b>
<i>Érsek László</i>	
<b>TERMIKUS SZÓRÁSSAL ÉS LÉZERSUGARAS FELRAKÓHEGESZTÉSSEL KÉSZÜLT RÉTEGEK MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSI LEHETŐSÉGEI.....</b>	<b>373</b>
<i>MOLNÁR András*, BUZA Gábor**, BALOGH András***,</i>	
*Miskolci Egyetem; **BAY Zoltan Anyagtudományi Intézet; ***Miskolci Egyetem	
<b>NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGŰ ANYAGOK HEGESZTÉSE.....</b>	<b>381</b>
<i>Dr. Palotás Béla, Nagy Attila, Zemankó István</i>	
Dunaújvárosi Főiskola	
<b>ROBBANTÁSSAL PLATTÍROZOTT LEMEZEK ANYAGVIZSGÁLATA.....</b>	<b>395</b>
<i>Kovács-Coskun Tünde</i>	
Óbudai Egyetem	
<b>BIOANYAGOK LÉZERSUGARAS VÁGÁSI TECHNOLÓGIÁJA.....</b>	<b>405</b>
<i>Bitay Enikő<sup>a</sup>, Puskás Zsolt<sup>b</sup>, Kulin Tamás<sup>c</sup>, Meszlényi György<sup>d</sup>, Dobránszky János<sup>e</sup>,</i>	
<sup>a</sup> Sapientia EMTE; <sup>b</sup> Exasol Kutató, Fejlesztő Kft.; <sup>c</sup> BME; <sup>d</sup> Óbudai Egyetem; <sup>e</sup> MTA–BME	
Kompozittechnológiai Kutatócsoport	
<b>AZ MSZ EN ISO 9606-1:2014 HEGESZTŐ MINŐSÍTŐ RENDSZER SAJÁTOSságAI.....</b>	<b>415</b>
<i>Paluska Gyula</i>	
TÜV Rheinland InterCert Kft.	
<b>DUPLEX ACÉLOK LÉZERSUGARAS MEGMUNKÁLÁSA.....</b>	<b>423</b>
<i>Kun Levente Alex, Sándor-Kerestély Máttyás</i>	
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem	
<b>NAGYSZILÁRDSÁGÚ ALUMÍNIUMÖTVÖZETEK LINEÁRIS DÖRZSHEGESZTÉSSEL KÉSZÜLT KÖTÉSEINEK TULAJDONSágAI.....</b>	<b>435</b>
<i>Meilinger Ákos</i>	
Miskolci Egyetem	
<b>RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLÓK EURÓPAI KÉPZÉSI PROGRAMJA.....</b>	<b>445</b>
<i>Skopál István, Dóczy Miklós, Fücsök Ferenc, Lukovits László, Mészáros István, Trampus Péter</i>	
MAROVISZ Magyar Roncsolásmentes Vizsgálati Szövetség	

## V-MEREVÍTÉSŰ TÉRBELI TÖBBEMELETES ACÉLKERET TERVEZÉSE FÖLDRENGÉSRE

### SEISMIC DESIGN OF A V-BRACED 3D MULTI-STORY STEEL

**Dr. Jármai Károly**

Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc  
Egyetemváros  
altjar@uni-miskolc.hu

**Dr. Farkas József**

Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc  
Egyetemváros  
altfar@uni-miskolc.hu

*Absztrakt: A tanulmány térbeli, V-merevítésű háromhajós, háromemeletes acélkeret földrengésre való méretezését tárgyalja. Az Eurocode 8 szerint egy térbeli keret síkbeliként számítható megadott növelő tényezővel való beszorzással. A V-merevítés körcső-szelvényű rúdjaiknak el kell nyelniük a szeizmikus energiát, de kihajlási teherbírásuknak kisebbnek kell lennie a szeizmikus rúderőnél. Az emeletközi kilengés olyan kicsi, hogy a keret merev megfogásúnak tekinthető. A hengerelt I szelvényű gerendákat normál erőre és hajlító nyomatékra kell méretezni, figyelembe véve, hogy a merevítő rudak kihajlásakor egyensúlyozatlan erők is keletkeznek. A körcső-szelvényű oszlopokat nyomásra kell méretezni. A tanulmány a kombinált hegesztett-csavarozott oszlop-gerenda kötések és merevítő rúd-bekötések méretezését is tárgyalja. MathCAD algoritmusok segítik a feltételek teljesítését.*

*Abstract: The seismic design process is detailed for a spatial V-braced three-bay three-story steel frame. In the case of a 3D frame the seismic forces should be multiplied by a factor prescribed in Eurocode 8. In this way the spatial frame can be regarded as a plan one. The V-bracing rods of circular hollow section (CHS) should absorb the seismic energy, but their overall buckling resistance should be smaller than the seismic rod force. The interstory drift is so small that the braced frame can be designed as a non-sway one. The beams of rolled UB profile are designed for normal force and bending moment, including the effect of the unbalanced force due to the buckling of braces. The columns of CHS profile are designed for compression force. The design of a bolted beam-to-column connection and a bolted joint of a brace is also treated. MathCAD algorithms are used to fulfil the design constraints.*

## 1. Bevezetés

A tanulmány numerikus probléma keretében mutatja be egy V-merevítésű térbeli keretszerkezet tervezését földrengésre. A merevítő rudak tervezésénél a szerzők által levezetett módszer kerül alkalmazásra az energia-elnyelési kapacitás számításánál.

A merevítő rudak, gerendák és oszlopok méretezésénél MathCAD algoritmusok segítik a feltételek minél pontosabb teljesítését, vagyis a gazdaságos tervezést. A számítás az Eurocode 3 és 8 tervezési szabályai szerint történik. A merevítő rudak és az oszlopok körcső-szelvényűek, a gerendák hengerelt I szelvényűek.

A szeizmikus erőket 1.3-mal szorozva a térbeli keret síkbeliként számítható. A merevítés miatt a keret nem kilengőként számítható, így történik a gerendák és oszlopok számítása. A merevítő rudakat úgy kell méretezni, hogy elnyeljék a szeizmikus energiát a kihajlás figyelembe vételével. A gerendák tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a merevítők kihajlása során kiegyensúlyozatlan erők is keletkeznek.

A gerendák és oszlopok tervezésénél a szeizmikus erőket 1.25-ös tényezővel kell szorozni. A tanulmány kitér az oszlop-gerenda kapcsolatok csavarozott kötésének és a merevítők kombinált hegesztett-csavarozott bekötésének méretezésére.

A V-merevítésű acélkeretek tervezésére vonatkozó szakirodalom rövid áttekintése.

Medhekar és Kennedy [1,2] centrikusan merevített egy-és kétemeletes keretet vizsgáltak üreges szelvényű merevítésekkel és I szelvényű oszlopokkal.

Mualla és Belev [3] a V-merevítéshez új típusú súrlódásos rezgéscsillapítót alkalmazott.

Moghaddam és társai [4] centrikusan merevített acélkeretek tervezését tárgyalták. A gerendák és oszlopok szelvényeit változatlanul hagyták az optimalás során és merevítőket úgy terveztek, hogy az emeletközi kilengés minimális legyen.

Longo és társai [5] egy V-merevítésű háromhajós négyemeletes keretet terveztek. Európai HE szelvényeket alkalmaztak.

Ragni és társai [6] analitikus képleteket ajánlottak a rezgéselnyelő merevítésekhez és ezeket alkalmazták 5-hajós 4-és 8-emeletes keretekre.

Roeder és társai [7] kidolgoztak egy egyszerű tervezési eljárást centrikus csomólemezes merevítésre folyási mechanizmust feltételezve. A függelékben részletes számpélda található.

A tervezési lépések az alábbiak:

1. A keret fő méreteinek megadása.
2. Terhek és szeizmikus erők számítása.
3. Körcső-szelvényű merevítő rudak tervezése.
4. Hengerelt I szelvényű gerendák tervezése.
5. Körcső-szelvényű oszlopok tervezése.
6. Oszlop-gerenda kapcsolatok és merevítő rúd bekötések számítása.

## 2 A vizsgált keret fő méretei

A keret V-merevítésű, szimmetrikus alaprajzú, térbeli, háromhajós háromemeletes (1. ábra)

## 3 Terhek

### 3.1 Független terhek

Állandó teher (G): tető 5.5 kN/m<sup>2</sup>, födémek 5.0 kN/m<sup>2</sup>, hasznos teher (Q) 2.0 kN/m<sup>2</sup>

$$G + \psi Q, \psi = \varphi \psi_2, \psi_2 = 0.3, \text{ tetőre } \varphi_1 = 1, \text{ födémekre } \varphi_2 = 0.5$$

Tető:  $5.5 + 0.3 \times 2 = 6.1$  kN/m<sup>2</sup>, födémek:  $5 + 0.15 \times 2 = 5.3$  kN/m<sup>2</sup>

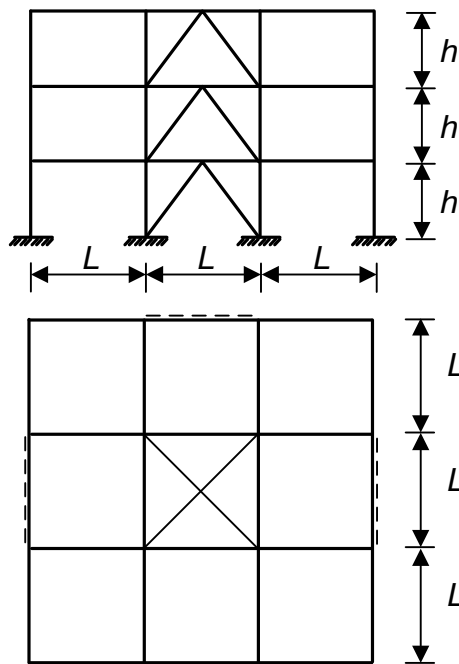
A teljes  $8 \times 6 \times 6 = 288$  m<sup>2</sup> mezőre és az összes emeletre

$$W = 6.1 \times 288 + 2 \times 5.3 \times 288 = 4809.6 \text{ kN}$$

### 3.2 Szeizmikus erők

Az Eurocode 8 [8] szerint a vízszintes szeizmikus erő képlete

$$F_b = S_d(T_1)m\lambda \quad (1)$$



1. ábra. A vizsgált keret alaprajza és oldalnézete. A középső mező terheletlen, a V-merevítések a külső síkokban vannak.  $L = 6$  m,  $h = 3.6$  m

Centrikus merevítésű keretre  $3 \times 3.6 = 10.8$  m magasság esetén

$$T_1 = 0.050 \times 10.8^{0.75} = 0.298, q = 2.5 \quad (2)$$

C-típusú altalajra  $S = 1.15$ ,  $T_B = 0.2$ ,  $T_C = 0.6$ ,  $T_D = 2$ ,

$T_B < T_1 < T_C$  esetén  $a_g = 0.4$  m/s<sup>2</sup>-vel számolva

$$S_d = a_g S \times 2.5 / q = 0.4 \times 1.15 = 0.46 \text{ és } \lambda = 0.85 \quad (3)$$

$$F_b = 0.46 \times 0.85 \times 4809.6 = 1880 \text{ kN}$$

A szeizmikus erő elosztása a tetőre és födémekre

$$F_i = \frac{z_i W_i}{\sum_i z_i W_i} \quad (4)$$

$$\sum_i z_i W_i = 3.6 \times 288 (3 \times 6.1 + 2 \times 5.3 + 5.3) = 35458 \text{ kNm}$$

$$F_{roof} = 1880 \frac{3.6 \times 3 \times 6.1 \times 288}{35458} = 1006 \text{ kN},$$

$$F_{floor2} = 1880 \frac{2 \times 3.6 \times 5.3 \times 288}{35458} = 583 \text{ kN},$$

$$F_{floor1} = 1880 \frac{3.6 \times 5.3 \times 288}{35458} = 291 \text{ kN}$$

Ezeket a vízszintes szeizmikus erőket 1.3-mal kell szorozni a térbeliség miatt és 2-vel osztani egy keretsíkra vonatkoztatva.

Így egy merevített keretsíkra az alábbi szeizmikus erők működnek (2- ábra)

$$F_1 = 654, F_2 = 379, F_3 = 189 \text{ kN}.$$

## 4 A V-merevítések körcső szelvényű rúdjaik méretezése

### 4.1 A húzott rudak feszültségi feltétele

$$S_b \leq A_b f_y, f_y = 235 \text{ kN} \quad (5)$$

ahol

$$S_b = F_S / L \quad (6)$$

a húzó erő,  $F$  a merevítés fölött működő vízszintes szeizmikus erők összege

### 4.2 A kihajlási feltétel

Az Eurocode 3 [9] szerint

$$S_{cr} = \chi A_b f_y \leq S_b, \quad \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \quad (7)$$



mert a nyomott merevítő rúdnak ki kell hajolnia, hogy elnyelje a szeizmikus energiát.

$$\phi = 0.5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right], \alpha = 0.34 \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{ks}{r}, s = \sqrt{h^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (9)$$

$k = 0.7$  az 1b jelű merevítő rúd,  $k = 1$  a 2b és 3b jelűekre.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E}, \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (10)$$

#### 4.3 A szeizmikus zóna rúdjaik karcsúsági feltétele

$$\lambda \leq 80 \quad (11)$$

#### 4.4 Az energia-elnyelési kapacitás feltétele

Alkalmazva a (Farkas-Jármai [10]) könyvben levezetett képleteket

$$S_b \leq F_{br} = \left( \sum_i a_i \right) A_b f_y \quad (12)$$

$$\sum_i a_i = a_{el} + a_{pl} + 10 \frac{0.5}{2} - 10.5 \frac{z_{\min}}{2} \quad (13)$$

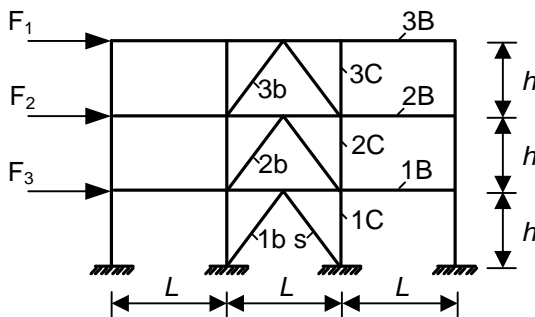
$$a_{el} = z_0^2 / 2, \quad z_0 = 0.5 \chi \quad (14)$$

$$a_{pl} = \int_{x_0}^{x_1} z dx = 2C_1^{1/2} \left[ \left( x_1 - x_0 + \frac{C_1 \pi^2}{4} + C_1 C_2 \right)^{1/2} - \left( \frac{C_1 \pi^2}{4} + C_1 C_2 \right)^{1/2} \right] \quad (15)$$

$$x_1 - x_0 = C_1 \left[ \frac{\cos^2(\pi z / 2)}{z^2} - C_2 \right]; \quad C_1 = \frac{\alpha D^2 E}{4 s^2 f_y}; \quad C_2 = \frac{\cos^2(\pi z_0 / 2)}{z_0^2} \quad (16)$$

$$\alpha = 1, z = \frac{S_b}{A_b f_y}, \quad z_{\min} = C_1^{1/2} \left( x_1 - x_0 + \frac{C_1 \pi^2}{4} + C_1 C_2 \right)^{-1/2}, \quad x_1 = 10 \quad (17)$$

A körcső profilok méreteit az EN10210-2 szabvány tartalmazza.



2. ábra. Vízszintes szeizmikus erők  $F_1 = 654$ ,  $F_2 = 379$ ,  $F_3 = 189$  kN. b – merevítések, B – gerendák, C – oszlopok,

$$s = \sqrt{h^2 + (L/2)^2}$$

#### 4.5 A méretezés eredményei

Az eredményeket az 1. táblázat adja meg

1.táblázat A merevítések jellemzői. Méretek mm-ben, erők kN-ban

Merevítés	F	S <sub>b</sub>	Dxt	A <sub>b</sub> mm <sup>2</sup>	Húzás (5)	λ (11)	S <sub>cr</sub> (7)	F <sub>br</sub> (12)
1b	1222	955	193.7x8	4670	1097	71.4	822	4647
2b	1033	807	177.8x8	4270	1003	71.4	709	3995
3b	654	511	177.8x5	2710	637	76.7	455	2558

Látható, hogy a merevítések megfelelőek.  $F_{br}$  sokkal nagyobb mint  $F$ , mert a méretcsökkenést megszabja a  $\lambda_{max} = 80$  feltétel.

Számítsuk ki a 3b jelű nyomott merevítés alakváltozását a kihajlás során. A jelzett könyv képleteivel

$$\Delta = \Delta_{el} + \Delta_{pl} = \frac{S_{cr}s}{A_b E} + \frac{D^2}{4s} \left( \frac{S_y}{S_b} \cos \frac{\pi S_b}{2S_y} \right)^2 = \frac{455000 \times 4686}{2710 \times 2.1 \times 10^5} + \frac{177.8^2}{4 \times 4686} \left( \frac{637}{511} \cos \frac{\pi 511}{2 \times 637} \right)^2 \quad (18)$$

$$\Delta = 2.15 + 0.24 = 2.39 \text{ mm.}$$

Az emeletközi kilengés a fenti érték vetülete

$$\Delta_d = \Delta \frac{L}{2s} = 2.39 \frac{3}{4.69} = 1.53 \text{ mm.} \quad (19)$$

Ez a kis érték azt mutatja, hogy a merevített keret nem kilengőként (merevként) számítható.

## 5 A gerendák méretezése

Az UB profilú gerendákat az Eurocode 8 szerint méretezzük függőleges erőkre és vízszintes szeizmikus erőkre, a szeizmikus erőket 1.25-tel szorozva. A keretet nem kilengőként méretezzük elhanyagolva a merevítések gerenda-alátámasztó hatását.

Az 1B jelű gerenda méretezése (2. ábra).

$$f_y = 335 \text{ MPa}$$

A nyomó erő

$$N = 1.25 \times 1222 = 1528 \text{ kN}$$

A függőleges teher

$$p = 5.3 \times 3 = 15.9 \text{ kN/m}$$

Hajlító nyomaték a függőleges teherből a gerendát két végén befogottként számolva

$$M = pL^2/12 = 71.55 \text{ kNm} \quad (20)$$

Az EC8 szerint a gerendát a nyomott merevítő kihajlásakor fellépő kiegyensúlyozatlan erőre is méretezni kell. A két végén befogott gerenda esetén

$$V = Fh/L, M_v = VL/8 \quad (21)$$

$N$  és  $M+M_v$  hatását figyelembe véve a kifordulást is számolva

$$\frac{N}{\chi_y A f_y} + k_{yy} \frac{M + M_v}{\chi_{LT} W_y f_y} \leq 1 \quad (22)$$

$$\frac{N}{\chi_z A f_y} + k_{zy} \frac{M + M_v}{W_y f_y} \leq 1, k_{zy} = 0.8 k_{yy} \quad (23)$$

$$\lambda_i = \frac{L}{r_i}, \bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_E}, i = y, z \quad (24)$$

$$\chi_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}, \quad (25)$$

$$\phi_i = 0.5 \left[ 1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0.2) + \bar{\lambda}_i^2 \right] \alpha_y = 0.21, \alpha_z = 0.34 \quad (26)$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + 0.6 \bar{\lambda}_y \frac{N}{\chi_y A f_y} \right), C_{my} = 0.95 \text{ if } \bar{\lambda}_y \leq 1 \quad (27)$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + 0.6 \frac{N}{\chi_y A f_y} \right) \text{ if } \bar{\lambda}_y \geq 1 \quad (28)$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - 0.75 \lambda_{LT}^2}} \quad (29)$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0.4) + 0.75 \lambda_{LT}^2 \right], \alpha_{LT} = 0.49 \quad (30)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}, M_{cr} = \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_\omega + L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \quad (31)$$

Az eredményt a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A merevített mezők gerendáinak jellemzői. Feszültségek MPa-ban

Gerenda	N (kN)	$\rho$ (kN/m)	V (kN)	$M_V$ (kNm)	UB szelvény	Feltételek (22,23)
1B	1528	15.9	733.2	550	610x305x149	0.806<1, 0.758<1
2B	1291	15.9	621.0	466	610x229x140	0.903<1, 0.952<1
3B	818	18.3	392.4	294	610x229x101	0.938<1, 0.920<1

A gerendák megfelelnek a feltételeknek.

A többi nem merevítéses mező gerendáira, ahol  $M_V = 0$  az alábbi szelvények alkalmazandók (3. táblázat)

3. táblázat. A nem merevített mezők gerendáinak jellemzői. Feszültségek MPa-ban

Gerenda	N (kN)	$\rho$ (kN/m)	V (kN)	$M_V$ (kNm)	UB szelvény	Feltételek (22,23)
1B	1528	15.9	733.2	0	610x229x125	0.35<1, 0.89<1
2B	1291	15.9	621.0	0	610x229x113	0.35<1, 0.86<1
3B	818	18.3	392.4	0	533x210x82	0.41<1, 0.94<1

## 6 Oszlopok méretezése

Az 1C jelű oszlop méretezése kihajlásra

A vízszintes szeizmikus erőkből keletkező nyomó erő

$$N_h = 1.25 \times 1033 \frac{3.6}{6} = 775 \text{ kN}$$

Nyomó erő a függőleges teherből

$$N_v = 1.1 \frac{(6.1 + 2 \times 5.3)6^2}{2} = 331 \text{ kN}$$

Összes nyomó erő

$$N = N_h + N_v = 1106 \text{ kN}$$

A hajlító nyomatékok elhanyagolhatók, mert az oszlopok inercia nyomatéka a számítások szerint sokkal kisebb mint a gerendáké.

A gerendák, merevítők és oszlopok önsúlyát a következőkben vesszük figyelembe: 3C-re 8 kN, 2C-re 21 kN és 1C-re 37 kN.

A kihajlási feltétel

$$\frac{N}{A} \leq \chi f_y, f_y = 235 \text{ MPa} \quad (32)$$

A rúdvég megfogási tényező 1C-re  $k = 0.7$ , 2C és 3C-re  $k = 1$ .

A körcső szelvények adatait az EN 10210-2 szerint számítjuk.

A méretezés eredményeit a 4. táblázat adja meg.

4. táblázat. A körcső szelvényű oszlopok adatai

Oszlop	N (kN)	Szelvény	A (mm <sup>2</sup> )	r (mm)	Feltétel (32) (MPa)
1C	1143	219.7x8	5310	74.7	215 < 219
2C	737	193.7x8	4670	65.7	158 < 198
3C	129	114.3x3.6	1250	39.2	103 < 143

Az oszlopszelvények megfelelnek.

Hasonlítsuk össze gazdaságosság szempontjából a körcső szelvényű oszlopot egy hengerelt UC profilú oszloppal. Mivel az UC profil nyitott, ezért figyelembe kell venni az elcsavarodó kihajlást is. Ezt a (Farkas-Jármai [11]).könyvben lévő alábbi képletekkel tesszük:

$$\frac{N}{A} \leq \chi_T f_y \quad (33)$$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi_T + \sqrt{\phi_T^2 - \lambda_T^2}}, \quad \phi_T = 0.5 [1 + \alpha_T (\lambda_T - 0.2) + \lambda_T^2], \quad \alpha_T = 0.49 \quad (34)$$

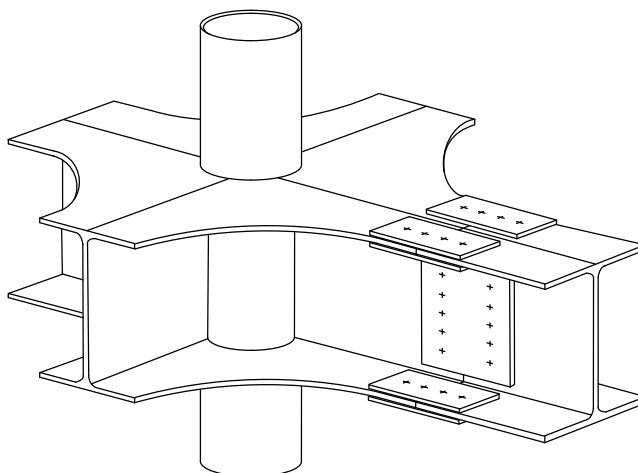
$$\lambda_T = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{Tcr}}}, \quad \sigma_{Tcr} = \frac{\pi^2 E I_\omega}{h^2 I_p} + \frac{G I_t}{I_p}, \quad I_p = I_y + I_z \quad (35)$$

A számítás eredményét az 5. táblázat tartalmazza. A hajlítási kihajlást a z tengely körül végezzük.

5. táblázat. Az UC szelvényű oszlopok jellemzői. Feszültségek MPa-ban

Osz- lop	$N$ (kN)	UC profil	$A$ mm <sup>2</sup>	Feltétel (32)	Feltétel (33)
1C	1143	203x203 x52	6628	172<195	172<190
2C	737	203x203 x46	5873	125<163	125<185
3C	129	152x152 x23	2925	44<122	44<166

A 4. és 5. táblázat keresztmetszeti területeit összehasonlítva látható a körcső szelvények nagyobb mértékű gazdaságossága az UC szelvényekkel szemben. A 3C oszloptól eltekintve, amelynél a minimális UC-t kellett alkalmazni, kb. 20% tömeg-megtakarítás érhető el körcső szelvények alkalmazásával.



3. ábra. Kombinált hegesztett csavarozott oszlop-gerenda kapcsolat

## 7 Kapcsolatok méretezése

### 7.1 Oszlop-gerenda kapcsolatok

Méretezzük az 1B jelű gerenda bekötő csavarkötését a 3. ábra szerint. A csatlakozó oszlopok közé van beiktatva hegesztéssel az a szerkezeti rész, amelynek ívelt csonkjaihoz csatlakoznak csavarozással a gerendák.

Feltételezzük, hogy a hajlító nyomaték csak az övek csavarkötéseiben okoz erőket.

A 10.9-es (1000 MPa szakító szilárdságú) M27-es csavarok nyíró ereje az Eurocode 3-1-8 szerint [12]

$$F_R = \frac{2 \times 0.5 A f_{bu}}{\gamma_{M2}} = \frac{2 \times 0.5 \times 573 \times 1000}{1.25 \times 1000} = 458.4 \text{ kN} \quad (36)$$

Az  $M = 550$  kNm hajlító nyomaték okozta erő az övkapcsolatokban

$$F_{BM} = 550000/602.6 = 912.8 \text{ kN},$$

$$\text{Egy csavarra } F_{BM1} = 912.8/4 = 228.2 \text{ kN}$$

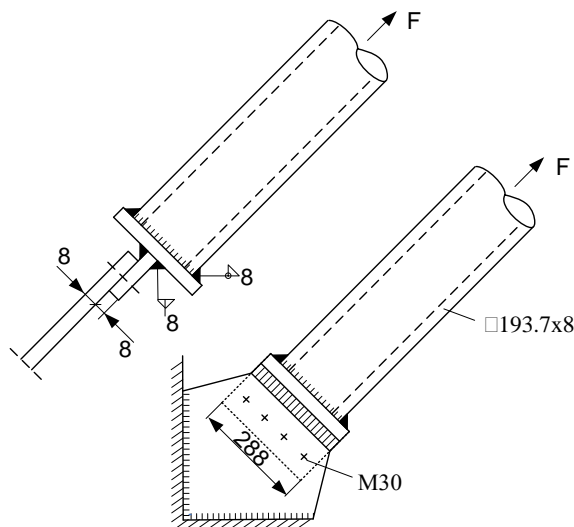
Az  $N = 1532$  kN normál erőből keletkező erők a csavarokban  $F_{BN} = 1532/13 = 117.1$  kN

Az  $M$  és  $N$ -ből keletkező erő

$$F_t = 226.2 + 117.1 = 345.3 < 458.4 \text{ kN}, \text{ a csavarok megfelelnek.}$$

Nyíró erő a kapcsolatban a  $V$ -ből és  $p$ -ből

$$Q = \frac{V}{2} + \frac{pL}{2} = \frac{733.2}{2} + \frac{15.9 \times 6}{2} = 366.6 + 47.7 = 414.3 \text{ kN} \quad (37)$$



4. ábra. A merevítő rúd kombinált hegesztett-csavarozott bekötése

A gerinclemez-kapcsolat egy csavarjában keletkező erő

$$Q_W = 414.3/5 = 82.9 \text{ kN}$$

Nyíró erő  $N$ -ből  $F_{BN} = 117.1$  kN

Nyíró erő egy gerinc-csavarban  $Q$ -ból és  $N$ -ből

$$F_w = \sqrt{82.9^2 + 117.1^2} = 143.5 < 458.4 \text{ kN, megfelel.}$$

## 7.2 A merevítő rudak bekötése

A kombinált hegesztett-csavarozott kötéseket a 4. ábra mutatja.

Az 1b merevítő rúdban keletkező erő  $F = 955$  kN. A 10.9-es (1000 MPa szakító szilárdságú) M30-as 4 csavar teherbírása az Eurocode 3 1-8 (2002) szerint

$$F_v = \frac{4 \times 0.5 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{4 \times 0.5 \times 1000 \times 707}{1.25} = 1131 > 955 \text{ kN.} \quad (38)$$

A  $t = 8$  mm lemez esetén a csavarok teherbírása palástnyomásra

$$F_b = \frac{1.5 f_u d t}{\gamma_{M2}} \cdot 4 = \frac{1.5 \times 1000 \times 30 \times 8 \times 4}{1.25 \times 1000} = 1152 > 955 \text{ kN} \quad (39)$$

Az  $a = 8$  mm dolgozó méretű két sarokvarrat teherbírása ( $f_y = 235$  MPa folyáshatár)

$$F_w = \frac{2a288f_u}{1000\sqrt{3}\beta_w} = \frac{2 \times 8 \times 288 \times 360}{1000\sqrt{3} \times 0.8} = 1197 > 955 \text{ kN} \quad (40)$$

A körcsövet a fejlemezhez kapcsoló 8 mm-es kör-sarokvarrat teherbírása megfelel, mert

$$F_{w1} = \frac{D\pi a f_u}{1000\sqrt{3}\beta_w} = \frac{193.7\pi \times 8 \times 360}{1000\sqrt{3} \times 0.8} = 1265 > 955 \text{ kN.} \quad (41)$$

## 8 Összefoglalás

A központos V-merevítő rudak úgy vannak méretezve, hogy kihajlásuk során el tudják nyelni a szeizmikus energiát. A merevített mezők gerendáinak méretezésénél figyelembe kell venni a merevítő rudak kihajlásakor keletkező kiegyensúlyozatlan vízszintes erőt is. Az Eurocode 8 szerint a gerendák és oszlopok méretezésénél a szeizmikus erőket 1.25 szorzóval kell beszorozni.

Mivel az emeletközi kilengés nagyon kicsi, a keret mereven megfogottnak tekinthető. Az UB szelvényű gerendák stabilitás-számításánál a kifordulást is figyelembe kell venni.

Összehasonlító számítások szerint a körcső szelvényű oszlopok 20%-kal kisebb tömegűek mint a nyitott UC szelvényűek, mert a nyitott szelvényűeknél az elcsavarodó kihajlást is figyelembe kell venni.

MathCAD programok segítségével gazdaságos szelvényeket határoztunk meg a merevítésekre, gerendákra és oszlopokra úgy, hogy a feltételek legyenek minél jobban kihasználva, vagyis közelítsenek az egyenlőséghez.



### Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg. A kutató munka részben a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg, valamint az OTKA T 109860 projekt támogatásával.

### Hivatkozások

- [1] Medhekar MS, Kennedy DJL (1999a) Seismic evaluation of single-storey steel buildings. *Can J Civ Eng* 26: 379-394
- [2] Medhekar MS, Kennedy DJL (1999b) Seismic response of two-storey buildings with concentrically braced steel frames. *Can J Civ Eng* 26: 497-509
- [3] Mualla IH, Belev B (2002) Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation. *Eng Struct* 24: 365-371
- [4] Moghaddam H, Hajirasonliha L, Doostan A (2005) Optimum seismic design of concentrically braced steel frames: concepts and design procedures. *J Constr Steel Res* 61: (2). 151-166
- [5] Longo A, Montuori R, Piluso V (2008) Plastic design of seismic resistant V-braced frames. *J Earthquake Eng* 12: 1246-1266
- [6] Ragni L, Zona A, Dall'Asta A (2011) Analytical expressions for preliminary design of dissipative bracing systems in steel frames. *J Constr Steel Res* 67: 102-113
- [7] Roeder ChW, Lumpkin EJ, Lehman DE (2011) A balanced design procedure for special concentrically braced frame connections. *J Constr Steel Res* 67: 1760-1772
- [8] Eurocode 8 (2008) EN 1998-1. Design of structures for earthquake resistance. Part 1. General rules, seismic actions and rules for buildings
- [9] Eurocode 3 (2009) Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. EN 1993-1-1
- [10] Farkas, J., Jármai, K. (2013) Optimum design of steel structures. Springer, Heidelberg.
- [11] Farkas J, Jármai K (1997) Analysis and optimum design of metal structures. Balkema, Rotterdam-Brookfield
- [12] Eurocode 3 (2002) Part 1.8. Design of joints. EN 1993-1-8