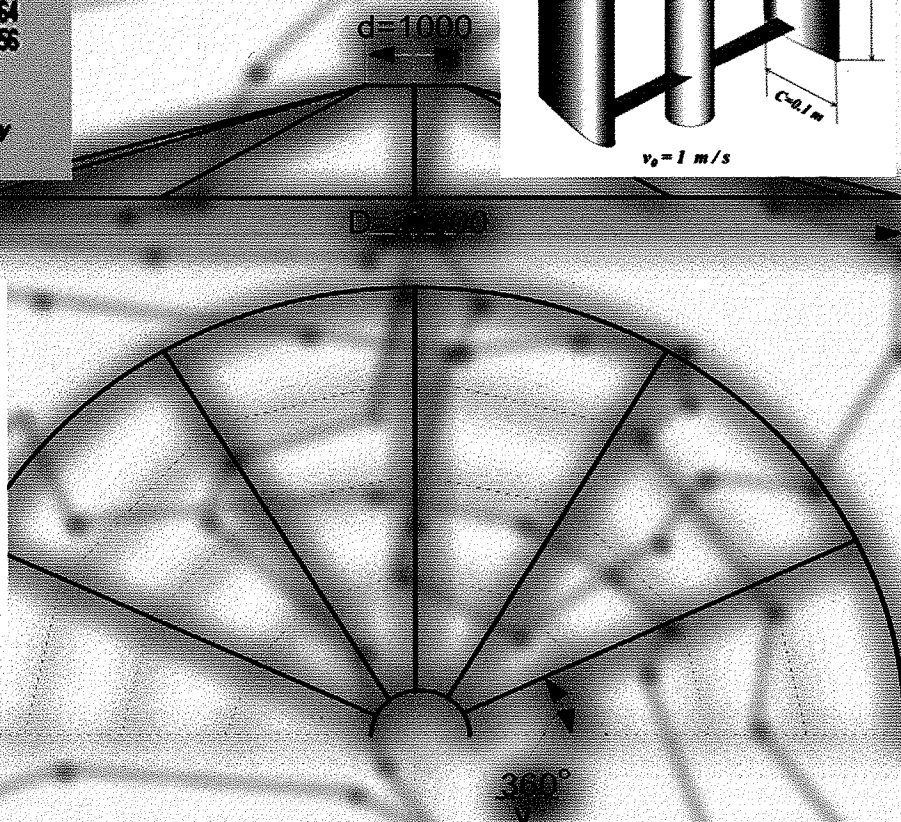
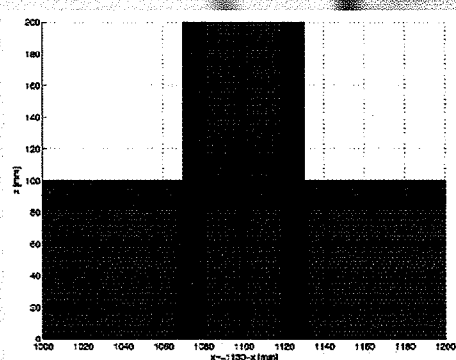
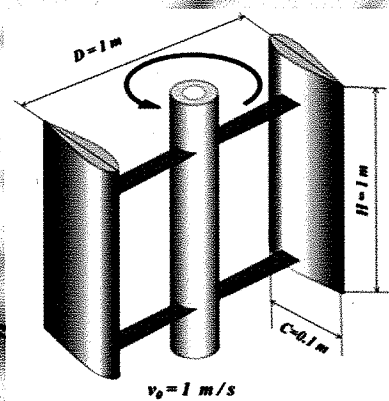
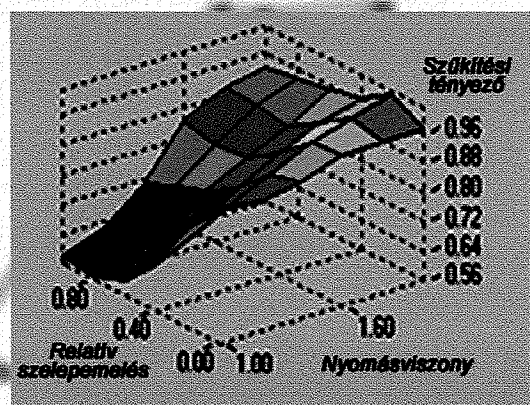


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓIRATA



TARTALOM

Hajdú Sándor, Czibere Tibor, Kalmár László

Szabadon álló járókerekkű keresztáramú

turbina indítása..... 5

A keresztáramú turbinák esetében a közeg ugyanazon a kerületen lép be a járókerék lapátosított terébe, amelyen a lapátosított téren való áthaladást követően azt elhagyja.

- Az indításhoz és az üzemi fordulatszám tartomány eléréséhez segédüzemi berendezés szükséges.

- A gyorsjárás adott tartományához meghatározott állásszög ciklikus állításához segédüzemi berendezés szükséges.

- A „segédüzem” a kiegészítő gépészeti berendezések, az összetett szabályozási feladatok ellátását biztosító eszközök és a segédberendezések energiaellátását biztosító eszközök összefoglaló elnevezése.

- A fenti elveket megtestesítő (helyesen tervezett és megfelelő segédüzemmel támogatott) szabadon álló keresztáramú turbina alkalmas a gyakorlatban is a megújuló energiaforrások hasznosítására. Ezzel ellentétben, a fenti elveket részben vagy egészben figyelmen kívül hagyó konstrukciók általában hasznavehetetlenek, felhasználhatóak azonban a laikus, de környezettudatos közönség félrevezetésére.

Farkas József

Tároló tartály hegesztett bordázott

lemezes fix tetejének optimális méretezése 9

A tanulmány bordázott szektorlemezekből és sugárirányú tartókból hegesztett tartálytető gazdaságos tervezésével foglalkozik. A fixtetős függőleges tároló tartály fedele a hőteher mellett 15 cm vastag homokkal van terhelve. Ez utóbbi a tárolt kerozin párolgását csökkenti. A tervezés során a szektorlemezek vastagságát, a bordázat geometriáját, a bordák méretét, a sugártartók számát és méretét határozzuk meg úgy, hogy a tetőzet költsége minimális legyen és a szerkezet a méretezési feltételeknek eleget tegyen. A szektorlemezek félbevágott hengerelt I szelvényű bordáinak nem egyenletes osztását speciális MathCAD programmal határoztuk meg. A sugártartók hengerelt I szelvényűek. A költségfüggvény anyag-, hegesztési és festési költségéből áll.

Jármai Károly, Farkas József

Hegesztett oszlopok és gerendák optimális méretezése költségminimumra

tűzvédelemmel..... 15

A hegesztett szerkezetek két fontos alapeleme van optimálva költségminimumra tűzvédelemmel illetve anélkül. Egy négyzetes szekrényszelvényű nyomott oszlop van méretezve kihajlásra és lemezhorpadásra. Egy szekrényszelvényű kéttámaszú tartó esetén a feszültségi, lehajlási és horpadási feltételek vannak figyelembe véve. A költségfüggvény tartalmazza az anyagköltséget, a hegesztési, festési és tűzvédelmi költséget. A tűzvédelem nélküli esetben a kritikus hőmérséklet módszere van alkalmazva az Eurocode 3 képleteivel. Mindkét szerkezet esetén a tűzvédelemmel ellátott szerkezet olcsóbb, mint a védelem nélküli. Ennek oka, hogy védelem esetén sokkal vékonyabb lemezek szükségesek.

Dr. Kota László, Jármai Károly

Szentjánosbogár algoritmus diszkretizálása

több utazó ügynökös probléma megoldására..21

A kifejlesztett algoritmus jól teljesített a bemutatott több utazó ügynökös példafeladatokon és ezeken kívül számos ebbe a kategóriába eső generált teszt példán. Gyors konver-

gencia és kategóriájában igen jó futásidő jellemzi. A futtatások folyamán jól látszott, hogy a lokális és globális keresés arányának dinamikus változtatása jó hatással lehet az algoritmus konvergenciájára. Ez kivitelezhető például szimulált hűtéssel, mikor a futásidő elején inkább globális aztán egyre inkább lokális függvényeket használunk.

Kovács László, Dr. Szabó Szilárd

Belsőégésű motor töltéscsere vizsgálata 0d/1d

motormodell segítségével..... 25

Bemutattuk, hogy egy belsőégésű motor fejlesztése során az egyes alrendszerekben, alkatrészekben kialakuló áramlások pontos 3D modellezése nélkül is megfelelő pontosságú modell hozható létre. Az ismertetett módszer olyan lehetőségeket tár fel, amelyek segítségével szemmel követhetőek a működő motorban lezajló gázdinamikai jelenségek.

Ezek ismeretében olyan gázcsere rendszer tervezése javasolható, amely figyelembe veszi a bemutatott motor összekötőcsővel többszörösen közösített kipufogórendszerében kialakuló speciális áramlási fázisokat, azaz a motorkerékpárokra jellemző V hengerelrendezésű erőforrásokban lezajló aszimmetrikus hullámjelenségeket.

Krámer Gyula, Siménfalvi Zoltán, Szepesi L. Gábor

Ammónia-víz rendszer adatainak számítása

abszorpciós hűtési eljárások tervezéséhez..... 30

Jelen cikkben összefoglaltuk az ammónia-víz rendszer paramétereinek becslésére szolgáló leggyakrabban alkalmazott eljárásokat, a gőznyomás és az egyensúlyi görbe becslésére saját, az eddigieknél pontosabb eljárást mutattunk be. Ezen eljárásokra alapozva, egyszerű számítógépes háttérrel, nehézkes adatbázisok, nehezen hozzáférhető és drága programok nélkül is hozzájárulhatunk a hőszivattyús rendszer tervezéséhez. Továbbá feladatul tűztük ki, hogy az eddigi eredmények birtokában az oldat és gőz hőtartalmának becslésére is létrehozunk egy egyszerű becslési eljárást.

Páczelt István, Baksa Attila

Periodikus terhelésnél fellépő kopások

numerikus elemzése..... 34

Periodikusan változó terhelés esetén a rugalmas bolygó alatt állandó vagy változó sebességgel mozgó végtelen sáv esetén a bolygó periodikus állandósult kopási alakját jól meg lehet közelíteni az átlagos kopási disszipációs munka minimalizálásából nyert átlagos nyomás segítségével. Azonban a kopási ciklusok alatti változó nyomás lefutását csak a kopási törvény numerikus integrálásán keresztül, sok időt megkövetelő, pl. p-verziójú végeselemes számítás révén kaphatjuk meg. A fentiekben kidolgozott elméletet fékek tervezésénél használhatjuk fel.

Péter József, Németh Géza

Dörzs-bolygómu rugalmas alakváltozáson

alapuló terheléskiegyenlítése 38

A cikkben a szerzők /kb/ típusú, erőzáró kapcsolaton és a gyűrűkerék rugalmas alakváltozásán alapuló bolygómuvel foglalkoztak. A gyűrűkerék alakváltozása a bolygókerék átmérő változásának és a bolygókerékek elhelyezésének függvénye. A cikk a dörzs bolygómu elemeinek (példánkban a gyűrűkerék) rugalmas alakváltozásával foglalkozó tanulmány része.

HEGESZTETT OSZLOPOK ÉS GERENDÁK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE KÖLTSÉGMINIMUMRA TŰZVÉDELEMMESEL

OPTIMIZATION FOR COST MINIMUM OF WELDED COLUMNS AND BEAMS FOR FIRE SAFETY

Prof. Dr. Jármai Károly*, Prof. Dr. em. Farkas József**

ABSTRACT

The two important principles of welded structures is optimized for cost minimum with and without fire protection. A square box section compressed column is designed for overall and local buckling. For a simply supported box beam the stress, deflection and buckling conditions are taken into account. The cost function includes the cost of materials, welding, painting and fire protection costs. In the case of design without fire protection the critical temperature formula of Eurocode 3 is applied. For both kinds of structures the fire protected version is cheaper than the unprotected one. The reason is that in case of protection much thinner plates are necessary.

ÖSSZEFOGLALÁS

A hegesztett szerkezetek két fontos alapeleme van optimalva költségminimumra tűzvédelemmel illetve anélkül. Egy négyzetes szekrényoszlop nyomott oszlop van méretezve kihajlásra és lemezhorpadásra. Egy szekrényoszlop két támaszú tartó esetén a feszültségi, lehajlási és horpadási feltételek vannak figyelembe véve. A költségfüggvény tartalmazza az anyagköltséget, a hegesztési, festési és tűzvédelmi költséget. A tűzvédelem nélküli esetben a kritikus hőmérséklet módszere van alkalmazva az Eurocode 3 képleteivel. Mindkét szerkezet esetén a tűzvédelemmel ellátott szerkezet olcsóbb, mint a védelem nélküli. Ennek oka, hogy védelem esetén sokkal vékonyabb lemezek szükségesek.

1. BEVEZETÉS

A korszerű teherviselő szerkezetektől megkívánt követelmények a biztonság, gyárthatóság és gazdaságosság. Az optimaló rendszerben ezeket a tervezési és gyártási feltételek kielégítése valamint a költségfüggvény minimalálása garantálja.

Az egyes szerkezeti változatok reális összehasonlításához aránylag egyszerű költség számítási módszert fejlesztettünk ki (Farkas – Jármai 1997, 2003,

2008). Az anyag-, hegesztési és festési költségeket kiegészítettük a tűzvédelmi költségekkel.

Az acélszerkezetek tűzvédelmi tervezésével foglalkozó szakirodalomból megemlíti Choi és társai (2002), Franssen és társai (1995), Vila Real és társai (2005) és Farkas-Jármai (2010) tanulmányát.

A bonyolult függvények miatt az optimalás általában csak numerikusan tárgyalható és így teljesen általános következtetések nem vonhatók le. Ennek ellenére az eredmények igen hasznosak lehetnek az innovatív tervezés számára, mert a numerikus problémákat a valósághoz közelebb választjuk.

A tűzek okozta tönkremenetek azt mutatják, hogy az acélszerkezetek nagyon érzékenyek a magas hőmérsékletekre. Ezért a tűzvédelmi méretezésre Eurocodokat dolgoztak ki (Eurocode 1, Eurocode 3-2005a, 2005b).

Két numerikus problémát tárgyalunk: négyzetes szekrényoszlop nyomott oszlop és szekrényoszlop két támaszú, hajlításra és nyírásra igénybevett tartó esetén tűzvédelemmel és anélkül.

2. A KRITIKUS HŐMÉRSÉKLET MÓDSZERE

Az 1. ábra a hőmérséklet-idő görbét mutatja égő gáz illetve acél esetére. A gáz-hőmérséklet képlete

$$\Theta_g = 20 + 345 \log \left(\frac{8T}{60} + 1 \right) \quad (1)$$

T az idő $-s$ -ban.

Az acélszerkezet hőmérséklete egy idő-intervallumban

$$\Delta \Theta_a = \frac{A_m}{V} \frac{h_{netd}}{c_a \rho_m} \Delta T \quad (2)$$

c_a az acél fajhője,

$$c_a = 425 + 7.73 \times 10^{-1} \Theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \Theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \Theta_a^3 \quad (3)$$

ρ_m az acél sűrűsége, A_m/V állandó keresztmetszetű rudakra a kerület/keresztmetszeti terület viszonyszám, négyzetes szekrényoszlopra

* egyetemi tanár, ** emeritusz professzor, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc, Egyetemváros

$$A_m/V = 1/t \quad (4)$$

A tényleges hőáram egységnyi felületre jutó tervezési értéke

$$h_{netd} = h_{netc} + h_{netr} \quad (5)$$

A konvekciós hőáram

$$h_{netc} = 25(\Theta_g - \Theta_a) \quad (6)$$

és a sugárzási hőáram

$$h_{netr} = 0.8 \times 5.67 \times 10^{-8} [(\Theta_g + 273)^4 - (\Theta_a + 273)^4] \quad (7)$$

5.67×10^{-8} a Boltzmann-állandó.

A kritikus hőmérséklet

$$\Theta_{cr} = 39.19 \ln \left(\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right) + 482 \quad (8)$$

$$\text{ahol } \mu_0 = N_{fi}/N_0 \quad (9)$$

N_{fi} és N_0 a határ-nyomóerő tűz illetve szobahőmérséklet esetén.

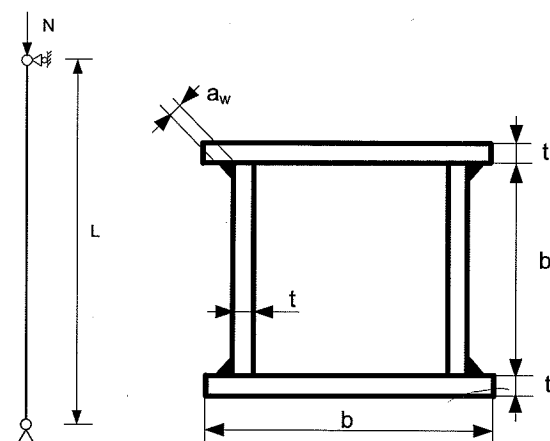
A kritikus hőmérsékletre tartozó R tűzellenállási időt az (1)-(9) képletek lépésről lépésre való alkalmazásával határozzuk meg. Mivel 600°C -ig a (2) képletben szereplő paraméterek három lineáris intervallummal közelíthetők meg, így a három intervallum

$$\Theta_{a1} = \Theta_{cr}/3, \Theta_{a2} = 2\Theta_{cr}/3, \Theta_{a3} = \Theta_{cr} \quad (10)$$

A végleges $R = \sum R_i$ három iterációval határozható meg MathCAD algoritmussal

$$\Delta R_i = \frac{\Theta_{ai} c_{ai} \rho_m}{6 \times 10^4 h_{netdi}}, i = 1, 2, 3 \quad (11)$$

3. CSUKLÓS VÉGŰ, KÖZPONTOSAN NYOMOTTHEGESZTETT NÉGYZETES SZEKRÉNYSZELVÉNYŰ RÚD



1. ábra. Hegesztett négyzetes szekrényszelvényű nyomott rúd

3.1. Kihajlási feltétel szobahőmérséklet esetén

$$N \leq N_0 \quad (12)$$

$$N_0 = \chi f_y A \quad (13)$$

A kihajlási tényező

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \phi = \frac{1}{2} [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (14)$$

ahol

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_E}, \lambda = \frac{L}{r}, r = \sqrt{\frac{I}{A}}, \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (15)$$

Négyzetes szekrényszelvényre

$$A = 4bt \quad (16)$$

$$I = \frac{2b^3t}{3} + \frac{bt^3}{6} \quad (17)$$

Tűzvédelmi méretezés esetén $\alpha = 0.49$.

3.2. Kihajlás tűz esetén

$$N \leq N_{fi,t} \quad (18)$$

$$N_{fi,t} = \chi_{fi} A k_{y\Theta} f_y / \gamma_{Mfi} \quad (19)$$

$$\gamma_{Mfi} = 1$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\Theta} + \sqrt{\phi_{\Theta}^2 - \bar{\lambda}_{\Theta}^2}}, \phi_{\Theta} = \frac{1}{2} (1 + \alpha \bar{\lambda}_{\Theta} + \bar{\lambda}_{\Theta}^2) \quad (20)$$

$$\alpha = 0.65 \sqrt{\frac{235}{f_y}}, \bar{\lambda}_{\Theta} = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y\Theta}}{k_{E\Theta}}} \quad (21)$$

A $k_{y\Theta}$ és $k_{E\Theta}$ tényezőket lineáris intervallumokkal közelíthetjük

$$k_{y\Theta 0} = 1 \quad \text{if } 20^\circ\text{C} < \Theta_a < 400^\circ\text{C} \quad (22)$$

$$k_{y\Theta 1} = \frac{500 - \Theta_a}{100} 0.22 + 0.78 \quad \text{if } 400^\circ\text{C} < \Theta_a < 500^\circ\text{C} \quad (23)$$

$$k_{y\Theta 2} = \frac{600 - \Theta_a}{100} 0.31 + 0.47 \quad \text{if } 500^\circ\text{C} < \Theta_a < 600^\circ\text{C} \quad (24)$$

és

$$k_{E\Theta 0} = 1 \quad \text{if } 20^\circ\text{C} < \Theta_a < 100^\circ\text{C} \quad (25)$$

$$k_{E\Theta 1} = \frac{500 - \Theta_a}{400} 0.4 + 0.6 \quad \text{if } 100^\circ\text{C} < \Theta_a < 500^\circ\text{C} \quad (26)$$

$$k_{E\Theta 2} = \frac{600 - \Theta_a}{100} 0.29 + 0.31 \quad \text{if } 500^\circ\text{C} < \Theta_a < 600^\circ\text{C} \quad (27)$$

3.3. Lemezhorpadási feltétel

Szobahőmérsékletre

$$b/t \leq 42\varepsilon, \varepsilon = \sqrt{235/f_y} \quad (28)$$

Tűz esetére az Eurocode 3 csökkentett értéket javasol

$$b/t \leq 0.8x42\varepsilon = 33.6\varepsilon \quad (29)$$

Knobloch és társai (2005) kísérletei alapján

$$b/t \leq 0.6x42\varepsilon = 25.2\varepsilon \quad (30)$$

3.4. Költségfüggvény

A hegesztési költség általános képlete (Farkas – Jármai 2003, 2008, 2013)

$$K_w = k_w \left(C_1 \Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 \sum_i C_{wi} a_{wi}^n C_{pi} L_{wi} \right) \quad (31)$$

k_w [\$/min] a hegesztési költségtényező, C_1 az előkészítési tényező, értéke $C_1 = 1 \text{ min/kg}^{0.5}$, Θ az előkészítés (összeszerelés) bonyolultsági tényezője, a képlete első tagja az előkészítési idő, κ az összeszerelt elemek száma, ρV az összeszerelt szerkezeti egység tömege, a második tag a hegesztési idő, C_w és n állandók, amelyek az alkalmazott hegesztési eljárásához és varratalakhoz tartoznak, C_p a hegesztési helyzet tényezője (vályúhelyzet 1, függőleges 2, fejelett 3), L_w a varrathossz, az 1.3 szorzó a járulékos hegesztési időket veszi figyelembe (salakolás, kifaragás, elektródcseré).

Az anyagköltség

$$K_m = k_m \rho V, V = AL, k_m = 1.0 \$ / \text{kg} \quad (32)$$

Esetünkben a 4 sarokvarrat költsége GMAW-C (Gas metal arc welding with CO₂ --CO₂ védőgáz) hegesztés

$$K_w = k_w \left(C_1 \Theta \sqrt{\kappa \rho V} + 1.3 C_w a_w^2 L_w \right) k_w = 1.0 \$ / \text{min} : \\ C_1 = 1.0 \text{ min/kg}^{0.5} \quad (33)$$

$\Theta_c = 2$, $\kappa = 4$, sarokvarrat-méret $a_w = 0.3t$, $C_w = 0.3394 \times 10^{-3}$, $L_w = 4L$.

Festési költség

$$K_p = k_p S, k_p = 28.8 \times 10^{-6} \$ / \text{mm}^2, S = 4bL \quad (34)$$

Teljes költség

$$K = K_m + K_w + K_p \quad (35)$$

3.5. Számadatok és eredmények

Centrikus nyomó erő tűz esetére $N = 10^7$ [N]. Ez az erő a tényleges erőből van számítva η_f tényező figyelembe vételével. Rúd hossz $L = 6$ m. Acél folyáshatár $f_y = 235$ MPa.

Az optimalálás szisztematikus kereséssel történt MathCAD algoritmussal. Az eredményeket az 1. és 2. táblázat adja meg.

1. táblázat. Eredmények védelem nélküli rúdra $R = 30$ min idejű tűz ellenállásra. Az optimum vastag betűkkel van kiemelve

b mm	t mm	$10^{-3}A$	K \$	Θ_{cr} °C	R min	$10^{-7}N_{RT}$ [N]
500	38	76.00	5541	556	31.2	1.013
500	37	74.00	5372	551	30.2	0.977
510	37	75.48	5451	555	30.5	1.003
520	36	74.88	5359	554	29.9	0.856
530	35	74.20	5265	553	29.4	0.857

2. táblázat. Eredmények védelemmel ellátott rúdra $R = 60$ min idejű tűz ellenállásra. Az optimum vastag betűkkel van kiemelve. K a költség a (35) szerint védelmi költség nélkül. Az utolsó sorban feltüntetett eredmény nem felel meg a horpadási feltételnek

b mm	t mm	$10^{-3}A$	K \$	$10^{-7}N_{RT}$ [N]	b/t
630	20	50.40	3385	1.012	31.5
660	19	50.16	3357	1.014	34.7
700	18	50.40	3361	1.028	38.9
720	17	48.96	3271	1.003	42.4

3.6. A védelmi költség figyelembe vétele

Az alábbi adatok a magyar iparból származnak.

(a) „Polylack” festés

Költségtényező $k_{p1} = 60$ \$/m², felület: $S = 4 \times 0.66 \times 6 = 15.84$ m²

$$K_{p1} = k_{p1} S = 950 \$$$

$$K_1 = K - K_p + K_{p1} = 3357 - 456 + 950 = 3851 \$$$

A védelem nélküli költség $K = 5451$ \$, vagyis a költségmegtakarítás 29%.

(b) „Rigips” gipszkarton 12.5 mm vastagsággal

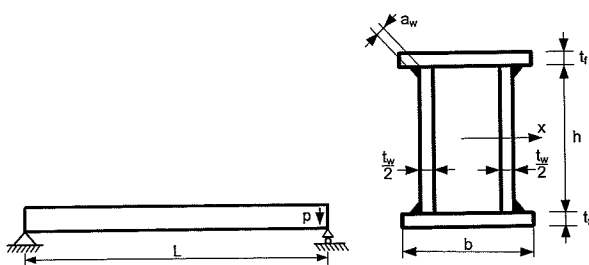
Költségtényező $k_{p2} = 5.0$ \$/m², $K_{p2} = k_{p2} S = 79.0$ \$, munkaköltség $K_L = 70$ \$

$$K_2 = 3357 - 456 + 79 + 70 = 3050 \$$$

A védelem nélküli költség $K = 5451$ \$, a költségmegtakarítás 44%.

4. EGYENLETESEN MEGOSZLÓ TERHŰ KÉTTÁMASZÚ, HEGESZTETT SZEKRENY-SZELVÉNYŰ TARTÓ

Az optimalálást négy esetre végezzük el: védelem nélküli és védelemmel ellátott tartó feszültségi illetve lehajlási feltétellel. A képletekben az alábbi indexeket használjuk: védelem nélkül, feszültségi feltétel σ , védelem nélkül lehajlási feltétel w , védelem, feszültségi feltétel σ_1 , védelem, lehajlási feltétel w_1 .



3. ábra. Kéttámaszú szekrénytartó

4.1. Optimalizálás

A négy hossz-sarokvarrat költsége nem jelentős a teljes költséghez képest, ezért elég a keresztmetszet-területet minimálni feltételezve, hogy a keresztmetszet állandó.

A h , t_w , b , t_f méreteket kell optimalizálni, hogy a

$$A = ht_w + 2bt_f \quad (36)$$

keresztmetszet-terület minimális legyen és alábbi feltételek teljesüljenek

(a) feszültségi feltétel

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W_x} \leq f_{y1} \quad \text{or} \quad W_x \geq \frac{M}{f_{y1}} = W_0 \quad (37)$$

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{6} + 2bt_f \left(\frac{h}{2} \right)^2; W_x = \frac{I}{h/2} = \frac{h^2 t_w}{3} + bt_f h \quad (38)$$

A hajlító nyomaték

$$M = p_s L^2 / 8, \quad (39)$$

Figyelembe vesszük a tartó öntömegét is

$$p_s = 1.5p + 1.1\rho_1 A, \quad \rho_1 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3. \quad (40)$$

(b) Lehajlási feltétel

$$w_{\max} = \frac{C_w}{I} \leq w_{\text{adm}} = \frac{L}{\phi}; \quad C_w = \frac{5p_d L^4}{384E}; \quad \phi = 300 \quad (41)$$

vagy

$$I \geq I_0 = \frac{5p_w L^4}{384Ew_{\text{adm}}} \quad (42)$$

A lehajlási feltételt a biztonsági tényező nélküli teherintenzitással számítjuk, így

$$p_w = p + \rho_1 A \quad (43)$$

(c) A gerinclemezek horpadási feltétele

$$\frac{h}{t_w/2} \leq \frac{1}{\beta}; \quad \text{vagy} \quad t_w \geq 2\beta h \quad (44)$$

$$\text{ahol } 1/\beta = 69\varepsilon; 1/\beta_f = 69\varepsilon\alpha_{fi}, \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (45)$$

A védelem nélküli tartóra $\alpha_{fi} = 0.6$, a védelemmel ellátottra $\alpha_{fi} = 1$.

(d) A nyomott övlemez horpadási feltétele

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta} = 42\varepsilon, \quad \frac{1}{\delta_{fi}} = 42\varepsilon\alpha_{fi}, \quad \alpha_{fi} = 0.6 \quad \text{vagy} \quad t_f \geq \delta b \quad (46)$$

Aktívnak véve a gerinchorpadási feltételt, a feszültségi feltétel

$$W = \frac{\beta h^3}{3} + bt_f h \geq W_0 \quad (47)$$

bt_f -et kifejezve és a (36)-ba helyettesítve

$$A = \frac{2W_0}{h} + \frac{4\beta h^2}{3} \quad (48)$$

3. táblázat. Az optimális szekrényoszlopok jellemzői

Feszültségi feltétel	Lehajlási feltétel
$h_\sigma = \sqrt[3]{0.75W_0 / \beta}$	$h_w = \sqrt[4]{3I_0 / \beta}$
$t_{w\sigma} / 2 = \beta h_\sigma$	$t_{ww} / 2 = \beta h_w$
$A_\sigma = 4\beta h_\sigma^2 = \sqrt[3]{36\beta W_0^2}$	$A_w = 8\beta h_w^2 / 3 = \sqrt[4]{64\beta I_0^3 / 3}$
$b_\sigma = h_\sigma \sqrt{\beta / \delta}$	$b_w = h_w \sqrt{\beta / (3\delta)}$
$t_{f\sigma} = \delta b_\sigma$	$t_{fw} = \delta b_w$
$I_{x\sigma} = 2\beta h_\sigma^4 / 3$	$I_{xw} = \beta h_w^4 / 3$
$W_{x\sigma} = 4\beta h_\sigma^3$	$W_{xw} = 2\beta h_w^3 / 3$

$$A \frac{dA}{dh} = 0 \quad (49)$$

feltételből kapjuk a feszültségi feltételre érvényes optimális h képletét

$$h_\sigma = \sqrt[3]{\frac{3W_0}{4\beta}} \quad (50)$$

Hasonlóan a lehajlási feltétel esetén

$$h_w = \sqrt[4]{\frac{3I_0}{\beta}}; I_0 = \frac{\phi C_w}{L} \quad (51)$$

Ezzel a közelítő optimalizálással az optimális keresztmetszet többi fontos képletét a h_σ vagy h_w értékeivel kifejezhetjük. Ezeket adja meg a 3. táblázat

Szám adatok

$p = 90 \text{ N/mm}$, $L = 15 \text{ m}$, $f_y = 235 \text{ MPa}$, $f_{y1} = f_y / 1.1 = 213.6 \text{ MPa}$.

4.2. A védelem nélküli tartó optimalizálása feszültségi feltételre

Biztonsági tényezővel szorzott teher szobahőmérsékletre

$$p_{\sigma} = 1.5p + 1.1\rho_1 A_{\sigma} \quad (52)$$

és tűz esetére

$$p_{\sigma f} = 1.5p + 1.1\rho_1 A_{\sigma f}; A_{\sigma f} = 4\beta_{fi} h_{\sigma}^2 \quad (53)$$

Hajlító nyomaték tűz esetére

$$M_{fi} = p_{\sigma f} L^2 / 8 \quad (54)$$

Határnyomaték szobahőmérsékletre

$$M_0 = W_{x\sigma} f_{y1} \quad (55)$$

Kihasználási tényező

$$\mu_0 = \frac{M_{fi}}{M_0} \quad (56)$$

A kerület/keresztmetszeti terület viszonyszám szekrényszelvényre

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(h_{\sigma} + b_{\sigma})}{A_{\sigma}} = \frac{1 + \sqrt{\frac{\beta}{\delta}}}{2\beta_{fi} h_{\sigma}} = \frac{61.41\epsilon\alpha_{fi}}{h_{\sigma}} \quad (57)$$

Az optimális h_{σ} meghatározása a kritikus hőmérséklet módszerével történik. Az $R = 30$ min tartóssági időre vonatkozó optimum $h_{\sigma} = 1230$ mm. A tartó további értékeit a 4. táblázat adja meg.

A maximális feszültség

$$\sigma_{max\sigma} = \frac{M_{fi}}{W_{x\sigma}} \quad (58)$$

ahol $W_{x\sigma}$ –t a (38) képletből számítjuk.

A legnagyobb lehajlás

$$w_{max\sigma} = \frac{5p_{\sigma f} L^4}{384k_{E\sigma} EI_{x\sigma}} \quad (59)$$

ahol $k_{E\sigma}$ –t a (27)-ből számítjuk,

$$p_{\sigma f} = p + \rho_1 A_{\sigma} \quad (60)$$

A költségsszámításhoz a (32)-(35) képleteket használjuk az alábbi változtatásokkal

$$V_{\sigma} = A_{\sigma} L; S_{\sigma} = 2L(h_{\sigma} + b_{\sigma}), \alpha_{w\sigma} = 0.3 \frac{t_{w\sigma}}{2} \quad (61)$$

A költségeket a (32, 33, 34) képletekhez hasonlóan számítjuk az alábbi különbségekkel

$$K_m = k_m \rho V_{\sigma}, \quad K_p = k_p S_{\sigma} \quad (62)$$

4.3. Védelemmel ellátott tartó optimalálása feszültségi feltétel esetén

Az optimalálást a 3. táblázat alapján végezzük. A σI indexet használjuk. Az optimális tartó-magasság $h_{\sigma I} = 990$ mm.

$$\sigma_{max\sigma I} = \frac{p_{\sigma I} L^2}{8W_{x\sigma I}}; p_{\sigma I} = 1.5p + 1.1\rho_1 A_{\sigma I} \quad (63)$$

$$w_{max\sigma I} = \frac{5p_{\sigma I} L^4}{384EI_{x\sigma I}}; p_{\sigma I} = p + \rho_1 A_{\sigma I} \quad (64)$$

A költségeket a 3.6 pontnak megfelelően számítjuk

Megjegyezzük, hogy a védelem öntömegét el lehet hanyagolni. (A 12.5 mm vastag Rigips gipszkarton térfogatsúlya 10.5 kg/m², és a tűzálló festéké 2 mm vastagság esetén 3.5 kg/m².)

Az eredményeket a 4. táblázat adja meg.

4. táblázat. A védelemmel ellátott és védelem nélküli tartó jellemzői feszültségi feltétel esetén. Méretek mm-ben, feszültségek MPa-ban, költségek \$-ban

Védelem nélkül	Védelemmel
$h_{\sigma} = 1230$	$h_{\sigma I} = 990$
$b_{\sigma} = 960$	$b_{\sigma I} = 775$
$t_{w\sigma} = 60$	$t_{w\sigma I} = 30$
$t_{f\sigma} = 38$	$t_{f\sigma I} = 19$
$\sigma_{max\sigma} = 69$	$\sigma_{max\sigma I} = 202$
$w_{max\sigma} = 22$	$w_{max\sigma I} = 31$
$K_m = 17280$	$K_{mI} = 6965$
$K_w = 2670$	$K_{wI} = 870$
$K_p = 1892$	$K_{pI} = 3177, K_{pII} = 476$
$K = 21840$	$K_I = 11010, K_2 = 8311$

A 4. táblázat értékei mutatják, hogy a védelemmel ellátott tartó sokkal olcsóbb, mint a védelem nélküli. A Rigips-szel védett tartó olcsóbb, mint a tűzálló festékkel bevont.

4.4. Védelem nélküli tartó optimalálása lehajlási feltétel esetén

A 3. táblázat jobboldali oszlopának képleteit használjuk w indexszel. Az (52)-(55) képleteket alkalmazzuk w indexszel σ index helyett. Az (56) képlet

$$\mu_0 = \frac{p_{wI}}{p_w} = \frac{E_{fi} I_{0fi}}{EI_0} = \frac{k_{E\sigma} (600^0)}{\beta_1} = \frac{0.31}{0.6} = 0.517 \quad (65)$$

Az (57) képlet

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2(h_w + b_w)}{A_w} = \frac{3 \left(1 + \sqrt{\frac{\beta}{3\delta}} \right)}{\beta h_w} = \frac{75.06\epsilon\alpha_{fi}}{h_w} \quad (66)$$

A kritikus hőmérséklet a (8) képlettel 579°C.

A 2. pont szerinti optimalálás $R = 30$ min tűzállósági idő esetére $h_{wopt} = 1500$ mm.

Az (58)-(62) képletekben az indexeket σ -ról w -re cseréljük.

Az optimális tartó jellemzőit az 5. táblázat tartalmazza.

4.5. Védelemmel ellátott tartó optimalálása lehajlási feltétel esetén

Az optimalizálást a 3. táblázat segítségével végezzük. A w_l indexet használjuk. Az optimális tartómagasság $h_{wl} = 1050$ mm. A (63) és (64) képletekben a σ_l indexet kicseréltük w_l -re.

Az eredményeket az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. Eredmények védelem nélküli és védelemmel ellátott tartóra lehajlási feltétel esetén. Méretek mm-ben, feszültségek MPa-ban, költségek \$-ban

Védelem nélkül	Védelemmel
$h_w = 1500$	$h_{wl} = 1050$
$b_w = 680$	$b_{wl} = 475$
$t_{ww} = 74$	$t_{wvl} = 32$
$t_{fw} = 27$	$t_{fwl} = 19$
$\sigma_{maxw} = 75$	$\sigma_{maxwl} = 255$
$w_{maxw} = 21$	$w_{maxwl} = 37$
$K_m = 17390$	
$K_w = 3789$	
$K_p = 1884$	
$K = 23070$	

Látható, hogy a védelemmel ellátott tartó nem felel meg a feszültségi feltételnek ($255 > 213$ MPa), így az ehhez tartozó költségeket nem számítottuk ki.

A 4. és 5. táblázat értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy a költségek magasabbak a lehajlási, mint feszültségi feltétel esetén.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Hegesztett négyzetes szekrényszelvényű nyomott rúd méretezése történt kihajlásra és lemezhorpadásra. Hegesztett szekrényszelvényű kéttámaszú tartó optimalizálása történt feszültségi, lehajlási és lemezhorpadási feltételekkel.

Analitikus optimáló módszert alkalmaztunk a hajlított tartóra, a bonyolultabb optimalizációs problémákra MathCAD algoritmus használtunk.

A költségfüggvény az anyag-, hegesztési, festési és tűzvédelmi költségeket tartalmazta. A Polylack tűzálló festéket illetve a Rigipsz gipszkartont vettük figyelembe.

A védelem nélküli rudakra a 30 perces, a védelemmel ellátottakra a 60 perces tűzállósági időt vettük figyelembe. Az Eurocode 3 kritikus hőmérsékletre megadott képleteit alkalmaztuk.

A feszültségi feltételre méretezett hajlított tartó költsége kisebb mint a lehajlási feltételre optimalt.

Mindkét tartónál a tűzvédelemmel ellátott verzió sokkal olcsóbb mint a védelem nélküli. Ezt a különbséget a szükséges kisebb lemezhastagságok okozzák.

6. 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.

7. IRODALOM

- Choi, S.K., Burgess, I.W., Plank, R.J. (2002) Structural behaviour of unrestrained composite truss systems in fire. In Proceedings of Third European Conference on Steel Structures. 2002 Coimbra, Portugal, Eds Lamas, A., Simoes da Silva, L. Vol. II. 1459-1468.
- Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-2. General actions. Actions on structures exposed to fire. Brussels, 2005.
- Eurocode 3 (2005a) Design of steel structures. Part 1-2. General rules. Structural fire design. Brussels, 2005.
- Eurocode 3. (2005b) Design of steel structures. Part 1-1. General structural rules. Brussels, 2005.
- Farkas, J., Jármay, K. (1997) Analysis and optimum design of metal structures, Rotterdam: Balkema.
- Farkas, J., Jármay, K. (2003) Economic design of metal structures, Rotterdam: Millpress...
- Farkas, J., Jármay, K. (2008) Design and optimization of metal structures, Chichester: Horwood Publishing Ltd.
- Farkas, J., Jármay, K. (2010) Minimum cost design for fire resistance of welded steel structures. J. Structural Fire Engineering Vol. 1. No. 2. 2010. 101-113.
- Farkas, J., Jármay, K. (2013) Optimum design of steel structures. Springer, Heidelberg etc.
- Franssen, J.M., Schleich, J.B., Cajot, L.G. (1995) A simple model for the fire resistance of axially loaded members according to Eurocode 3. Journal of Constructional Steel Research 35(1995) 49-69.
- Knobloch, M., Fontana, M., Frangi, A. (2008) On the interaction of global and local buckling of square hollow sections in fire. 5th Internat. Conference on coupled instabilities in metal structures. CMIS 2008. Sydney, Australia. pp. 587-594.
- Vila Real, P.M.M., Simoes da Silva, L., Lopes, N., Franssen, J.M. (2005) Fire resistance of unconstrained welded steel beams submitted to lateral-torsional buckling. In Proceedings of 4th European Conference on Steel and Composite Structures. Maastricht, The Netherlands, 2005. Verlag Mainz, Aachen, 2005. Vol. C. 5-1-119-126.