

Az optimális méretezés és a költségfüggvény ismeretése után három számpéldával illusztráltuk a hegesztett szerkezetek tervezése során elérhető tömeg- és költségcsökkentés mértékét.

A varratok utókezelésével jelentősen növelhető a fáradási élettartam és mivel az utókezelést csak a legjobban igénybevett, aránylag rövid varratszakaszokon kell elvégezni, az utókezelés többletköltsége ellenére is jelentős költségmegtakarítás érhető el.

A bordázott lemezeknél a fő paraméter a bordák száma, mert ez jelentősen befolyásolja a gyártási költséget a magas hegesztési költségek miatt. A tömegminimumhoz tartozó bordaszám rendszerint lényegesen nagyobb, mint a költségminimumhoz tartozó.

A szám adatok mutatják, hogy a szerkezetoptimalás hatékony eszköze a költségcsökkentésnek. Emellett az optimális méretezés olyan tervezési rendszer, amely lehetővé teszi az összes mérnöki szempont szintézisét, a számítógépes matematikai módszerek eredményes alkalmazását.

Jelenleg ezt a szerkezetszintézist fejlesztjük, pl. keretekre, csavarozott keretcsomópontok költségeire, rácsos csőszerkezetek összetettebb költségfüggvényeire, újabb matematikai módszerek alkalmazására.

Szívesen vennénk, ha a MAGÉSZ vállalatok költségadatokkal segítenék kutatómunkánkat.

1. Bevezetés

A fémszerkezetek szelvényválasztéka napjainkra rendkívül megnőtt. A hengerelt szelvények mellett lemezekből sokféle hegesztett szelvény állítható elő. Kör, négyzet és négyzet alakú vékony falú csőszelvények gyárthatók. A sajtolt alumíniumprofilok széles választéka áll rendelkezésre. Míg régen a rutinos tervező kiválaszhatta a hengerelt szelvények szűk választékából a megfelelőt, és kézi számítással ellenőrizhette azt, addig ma nincs olyan jó tervező, aki rutin alapján megmondhatná, hogy pl. egy hegesztett I szelvény milyen méretekkel lenne a legmegfelelőbb még a legegyszerűbb hajlítás esetén sem.

Szerencsére a szelvényválaszték bővülésével egyidejűleg a számítógépes matematikai módszerek is nagymértékben fejlődtek, így a tervezőnek lehetősége van nemcsak az optimális méretek, hanem az optimális szerkezeti alak meghatározására is.

A számítógépes szerkezettervezés megköveteli olyan rendszerek kiépítését, amelyek biztosítják, hogy a tervezett szerkezet minden mérnöki szempontot kielégítsen. Mate-

The article deals with the optimum design, the cost function of metal structures as well as the mass and cost savings achievable during the design of welded structures. This is illustrated by three numerical examples.

The fatigue strength of welded joints can significantly be improved by post welding treatments, since the treatment should be applied for relatively small weld lengths, it can result in cost savings in spite of the additional treatment cost.

In the design of stiffened plates the main parameter is the number of stiffeners, since it significantly affects the fabrication costs in which the high welding costs play an important role. The optimum number of stiffeners is much higher in the case of minimum mass design than that in the case of minimum cost design.

The numerical data show, that the structural optimization is an effective method to achieve cost savings. The optimum design is a synthesis, which enables to consider all the important engineering aspects and the efficient application of the mathematical computer methods.

We are developing this structural synthesis, e.g. for frames and for the cost of their bolted joints, for more advanced cost functions of tubular trusses and for implementation of newer mathematical methods.

We would appreciate to get more cost data from the members of MAGESZ for our research work.

matikailag felitételes függvényminimálás a feladat, vagyis meg kell határozni, hogy a változók mely értékeinél van az $f(x)$ célfüggvénynek szélső értéke a $g_j(x) \leq 0$ ($j=1...p$) feltételek betartása mellett. $x = [x_1 \dots x_n]$, n a változók, p a feltételek száma.

A szerkezetoptimalás a repülőgép-tervezésben fejlődött ki, mert ott a tömegcsökkentés volt a fő szempont. Ma a mérnöki szerkezeteknél nemcsak a tömeget, hanem a költségeket is minimálni kívánjuk. Ennek érdekében olyan költségfüggvényt határozunk meg célfüggvényként, amely tartalmazza a szerkezetet jellemző fő változókat. A költségfüggvény minimálásával így költségcsökkentés érhető el a tervezési stádiumban. Megjegyezzük, hogy mi csak a szerkezetjellemzők változtatásával elérhető költségcsökkentéssel foglalkozunk, nem tárgyalunk más módokat, pl. a mednezselést.

A szerkezetek előállításában nagy szerepet játszanak a gyártási költségek. Ezért a költségfüggvénybe ezeket is be kell építenünk, ha függenek a szerkezetjellemzőktől.

A matematikai g_j korlátozásokat a méretezési feltételek jelentik. Ezek szakszerű megfogalmazása során minden

mérnöki szempontot figyelembe kell venni. A feszültségi, alakváltozási, stabilitási (Iványi M. Papp F. 1998), fáradási, rezgési feltételek mellett a gyártási feltételek biztosítják a gyárthatóságot. A gyártási feltételek nélkül matematikailag megfelelő, mérnöki szempontból esetleg le nem gyártható szerkezet adódhat.

Összefoglalva megállapítható, hogy a szerkezetoptimalásban három fő mérnöki szempontot kell érvényesíteni, ezek a **gyárthatóság, terhelhetőség és gazdaságosság**. A gazdaságosságot a költségfüggvény minimalizálásával, a gyárthatóságot és terhelhetőséget a méretezési feltételek betartásával érjük el.

A változtatandó paramétereket a **szerkezetjellelmzők** elemzése alapján állapítjuk meg. Ezek az alábbiak: anyagok, terhek (rendeltetés), szelvények típusa és méretei, geometriai kialakítás (geometriai méretek), topológia (pl. a rudak száma), kapcsolatok, gyártási mód, üzemeltetés.

A szerkezetoptimalás fő fázisai a következők:

- (1) Előkészítés: a változtatandó szerkezetjellelmzők, vagyis a szóba jövő szerkezetvariánsok meghatározása, a költségfüggvény és a méretezési feltételek matematikai megfogalmazása.
- (2) A feladathoz legalkalmasabb matematikai optimáló módszer kiválasztása és a matematikai korlátozások függvény-szélsőérték számítása.
- (3) Az eredmények mérnöki értékelése, az optimális megoldások összehasonlítása, tervezési irányelvek kidolgozása.

A szerkezetoptimalási feladatok függvényei rendszerint bonyolultak, nemlineárisak, ezért csak kevés esetben van mód zárt képletek levezetésére, az esetek túlnyomó részében csak számszerű tárgyalással lehet illusztrálni az optimáló eljárást és eredményeit, a következtetések sem teljesen általános érvényűek, mégis fontos támpontot adnak a tervezőknek.

A szerkezetoptimalási kutatásokat három területen kell folytatni: a **költségfüggvény** minél részletesebb és reálisabb megfogalmazása, a **méretezési feltételek** korszerűsítése a legújabb kutatási eredmények és tervezési irányelvek alapján és a **matematikai számítógépes módszerek** továbbfejlesztése terén.

Az alábbiakban először ismertetjük a hegesztett acélszerkezetek számítására kifejlesztett költségfüggvényt, majd néhány konkrét szerkezetoptimalási eljárást és elérhető költségmegtakarítást mutatunk be.

2. A költségfüggvény

A szerkezet költségét az anyag-, a gyártási, a szállítási, a szerelési és a karbantartási költségek adják. A gyártási költségelemek a hegesztési, a vágási, az előkészítési, az összefűzési, festési stb. költségek. Ha az időt vesszük alapadatnak, mely egy adott technológia esetén kevéssé függ a gyártási helytől, akkor a gyártási költségek jól számíthatók a világ bármely részén. Habár az egyes gyártási idők sok paramétertől függenek, egy viszonylag egyszerű költségfüggvény hatékony lehet mind a tervezőnek, mind a gyártónak összehasonlításokat tenni az egyes variációk között. A költségfüggvény meghatározása során nem foglalkozunk az amortizáció, a szállítási, az összeszerelési és a karbantartási költségekkel, valamint a valuták keresztárfolyamainak változásával.

A költségfüggvény általános alakja a következő:

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i,$$

ahol K_m és K_f az anyag- és gyártási költségek, k_m és k_f a fajlagos költségek, ρ a sűrűség, V a térfogat, T_i a gyártási idők. Feltételezzük, hogy k_f értéke állandó egy gyártónál.

A képlet átírható a következő alakra:

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7).$$

Az egyes időelemek különállóan számíthatók:

$$T_1 = C_1 \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V},$$

az előkészítési idő, a szerelés, valamint az összefűzés ideje. Θ_d a bonyolultsági tényező, mely a szerkezet komplexitására utal. κ az összeszerelt szerkezeti elemek száma. Θ_d értéke 1 és 4 között választható a szerkezettől és a varrat pozíciójától függően.

$$T_2 = \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi},$$

a hegesztés ideje, a_{wi} a hegesztés mérete, L_{wi} a varrat hossza, C_{2i} a hegesztési technológia paramétere.

$$T_3 = \sqrt{\Theta_d} \sum_i C_{3i} a_{wi}^n L_{wi},$$

további gyártási elemek időigénye, mint elektródacsere, salakolás stb. Az előző egyenleteket Pahl és Beelich (1982) javasolta.

Ott & Hubka javaslata szerint:

$C_3 = (0,2-0,4)C_2$, átlagban $C_3 = 0,3C_2$. Így a módosított egyenlet $T_2 + T_3$ -ra, elhanyagolva $\sqrt{\Theta_d}$ -t a következő:

$$T_2 + T_3 = 1,3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi}.$$

A COSTCOMP (1990) software megadja a hegesztési időket a különböző eljárásokra elméleti és gyakorlati vizsgálatok eredményei alapján (Bodt 1990). Az a_w kitevője 2 helyett általában n (Farkas & Jármái 1997, Jármái & Farkas 1999).

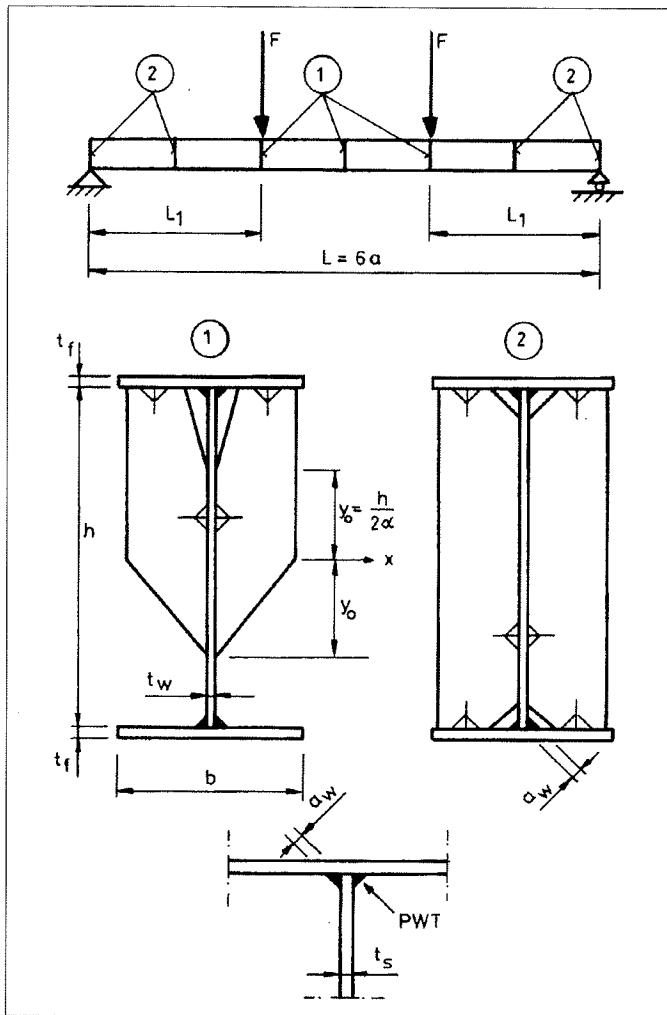
Az egyes hegesztési technológiák a következők: SMAW (fogyóelektródás kézi ívhegesztés), GMAW-C (CO₂ védőgáz ívhegesztés) és SAW (fedőporos hegesztés). Hasonló képletek írhatók fel a lemezegyengetés (T_4), a felületelőkészítés (T_5), a festés (T_6), a vágás, leélezés (T_7) időigényére.

Az összköltségnél a fajlagos költségek $k_m = 0,5-1$ \$/kg, $k_f = 0-1$ \$/min. A k_f/k_m arány 0-2 kg/min. között változik. A $k_f/k_m = 0$ adja a tömegminimumot. Ha $k_f/k_m = 2,0$ ez nagyon magas munkaköltségű országot jelöl (Japán, USA), $k_f/k_m = 1,5$ és $1,0$ nyugat-európai munkaköltséget jelent, $k_f/k_m = 0,5$ pedig fejlődő országokra jellemző.

3. Hegesztett I szelvények optimális méretezése fáradásra a hegesztési utókezelések figyelembevételével

Dinamikusan igénybevett hegesztett szerkezeteknél az egyik legveszélyesebb jelenség a fáradás. A hegesztési maradó feszültségek és a feszültségkoncentráció felelősek a fáradási szilárdság csökkenéséért. A részlegesen átolvadott T-kötéseknél, sarokvarratoknál a varratszegély és -gyök az a hely, ahol a repedések kialakulnak és terjednek.





1. ábra: Hegesztett I tartó függőleges merevítővel. Kétoldali sarokvarrat utókezeléssel (1) és anélkül (2)

Ennek a veszélynek a csökkentése és megszüntetése a célja a hegesztési utókezelések alkalmazásának. Ezen kezeléseket többletköltséget jelentenek a szerkezetnél. A vizsgálat célja bemutatni, hogy ezen utókezelésekkel tehető-e olcsóbbá a szerkezet. Számos utókezelési módszert megvizsgáltak, mint például a varratszegély köszörülése, AWI-kezelés, kalapácsolás, ultrahangos ütés (UIT – ultrasonic impact treatment). A módszerek hatékonyságát és megbízhatóságát számos kísérleti mérésorozattal vizsgálták Woodley (1983), Braid (1997), Janosch (1996). Az 1. táblázat mutatja a módszerek hatékonyságát. A módszerek gazdaságosságát egy számítással illusztráljuk: egy kéttámaszú, hajlított I tartó optimális méretezésével, ahol két lüktető terhelés hat. A függőleges merevítők az I szelvényhez vannak felül hegesztve, kétoldali sarokvarrattal, melyek okai a fáradási határ jelentős csökkenésének. Ez javítható utókezeléssel. A kísérleti eredmények felhasználásával mind a fáradási határ növekedésének mértéke, mind a megmunkáláshoz szükséges idő meghatározható (Janosch 1996, Horn 1998).

Eljárás	Hivatkozás	T ₀ (min/m)	Javulás %
Köszörülés	Woodley	60	40
AWI-kezelés	Horn	18	40
Kalapálás	Braid	4	100
Ultrahangos ütés	Janosch	15	70

1. táblázat: A különféle utókezelések fáradási határnövelő értéke és a hozzá szükséges idő publikált adatok alapján

A vizsgált tartónál csak a tartó közepén vannak a merevítőbordák varratai kezelve ott, ahol a merevítő a felső övlemezhez került rögzítésre (1. ábra). A lüktető erő 0–F_{max} között változik. Az összköltség az anyag-, a hegesztési és az utókezelési költség. Az első három az előző pontban leírtak szerint határozzuk meg:

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (\Theta d \sqrt{\kappa \rho V} + 1,3 \sum C_{2i} a_{wi}^2 L_{wi} + T_0 L_t)$$

A negyedik költségelem a hegesztési utókezelés időigénye

$$T_4 = T_0 L_t,$$

ahol T₀ a fajlagos időszükséglet (min/mm), L_t a kezelt varrat hossza (mm).

A tervezési feltételek a fáradási feszültségre, a gerinclemez, valamint a nyomott övlemez helyi borpadására vonatkoznak az Eurocode 3 (EC3) alapján. A vizsgált számítási adatai a következők:

$$F_{max} = 138 \text{ kN}, L = 12 \text{ m}, L_1 = 4 \text{ m},$$

$$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf} = 80 / 1,25 = 64 \text{ MPa},$$

$$\Theta_d = 3; n = 2, \text{ a merevítők száma:}$$

$$2 \times 7 = 14, \text{ így } \kappa = 3 + 14 = 17.$$

Változó méretek a h, t_w, b és t_f. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

Utókezelés	k _f /k _m (kg/min)	h	t _w	b	t _f	K/k _m (kg)
Kezelés nélkül	0	1300	10	320	14	2191
	1	1230	10	310	16	3802
	2	1230	10	310	16	5399
Köszörülés	1	940	9	340	15	3343
	2	890	8	300	19	4704
AWI-kezelés	1	1000	9	330	14	3235
	2	1110	10	310	12	4770
Kalapálás	1	820	9	310	13	2762
	2	820	9	310	13	3999
UIT	1	970	10	300	12	3021
	2	810	8	300	17	4202

2. táblázat: Az I szelvény optimális méretei mm-ben K/k_m (kg) különböző k_f/k_m arányok esetén és különböző utókezelési módszerek mellett; k_f/k_m = 0 jelenti a tömegminimumot

Az egyes hegesztési utókezelésekkel a következő megtakarítás érhető el: a köszörüléssel 14–15%, az AWI-kezeléssel 13–17%, kalapácsolással 35–38%, UIT 26–28%. A költségmegtakarítás a legnagyobb a kalapácsolással. Hasonlóan k_f/k_m értékének hatása szintén jelentős, vagyis az, hol gyártják le a szerkezetet.

4. Egy irányban nyomott bordázott lemezek költségminimalizálása

A hegesztett, merevített lemezek széleskörűen alkalmazásra kerülnek teherhordó szerkezeteknél, pl. hajók, hidak, bunkerek, tartálytetők, tengeri olajfúró állomások, járművek stb. Többféle terhelésnek lehetnek kitéve: nyomás, hajlítás, nyírás és összetett terhelés. A lemezek alakja lehet négyszög, kör, vagy trapéz alakú stb. Merevítve lehetnek egy, vagy két irányban. A bordák alakja lehet lemez-, L, trapéz, vagy más alakú (2. ábra).

Ezekből a szerkezeti jellemzőkből választjuk a négyszög alakot, az egyirányú nyomást és az erővel párhuzamos bordázást.

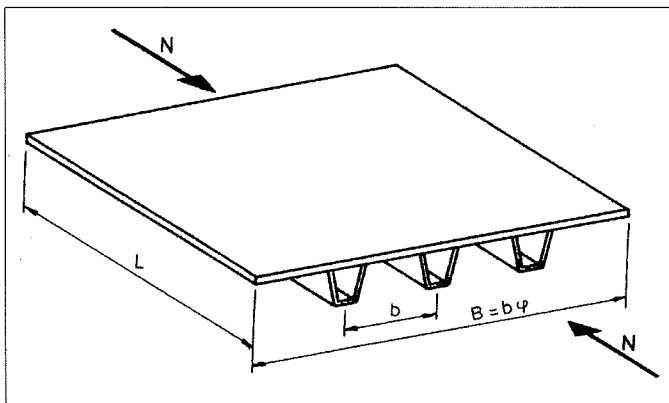


Az instabilitást jelentősen befolyásolja a kezdeti alakpontatlanság és a hegesztési maradó feszültségek. E hatásokat feltétlenül figyelembe kell venni.

Korábban az API (1987) tervezési előírásait használtuk (Farkas & Jármái 1997). Mikami és Niwa (1996) kifejlesztett egy számítási módszert, mely egy irányban nyomott négy-szög alakú merevített lemeznél meghatározza a stabilitási szilárdságot úgy, hogy figyelembe veszi mind a kezdeti alakpontatlanságot, mind a hegesztési maradó feszültségek hatását.

Megvizsgáljuk, hogy ugyanazon szerkezetnél milyen merevítő alkalmazása a legkedvezőbb költség szempontjából.

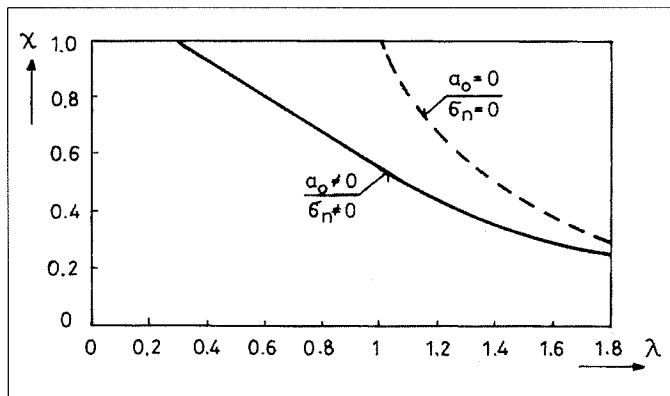
A költségek meghatározása az előzőek szerint történik, az anyag- és a hegesztési költségelemek figyelembevételével.



2. ábra: Egy irányban nyomott bordázott lemez

A méretezési feltételek a következők:

1. A **bordázott lemez globális horpadása**, ahol redukált karcsúsággal kerül meghatározásra a kritikus horpadási feszültség. A 3. ábra mutatja a horpadási görbéket a hosszmerítős lemezre a kezdeti alakpontatlanság és a hegesztési maradó feszültség hatásának figyelembevételével, vagy anélkül.



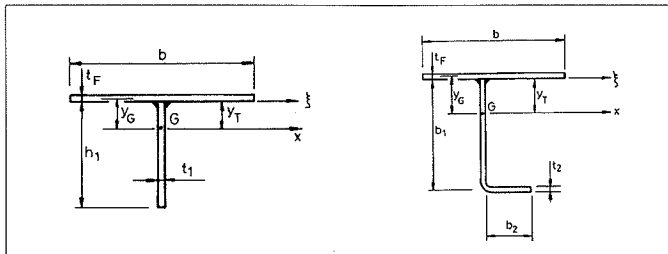
3. ábra: A globális horpadási tényező a kezdeti alakpontatlanság ($a_0 \neq 0$) és a hegesztési maradó feszültség ($\sigma_n \neq 0$) figyelembevételével, illetve anélkül

2. **Egy panel horpadása**, amikor figyelembe vesszük a merevítők közötti lemez horpadását.
3. A **merevítők helyi horpadása és elcsavarodása**, ahol a lemez-, az L és a trapéz bordák külön kerülnek vizsgálatra.
4. A **teljes lemez vetemedési feltétele**, ahol a varratsugorodás hatására bekövetkező görbületet, illetve alakváltozást korlátozzuk (Farkas & Jármái 1997).

A megengedett alakváltozásra $f_0 = L/1000$ -es határt alkalmazunk, ahol L a lemez hossza

$$f_{\max} = CL^2/8 \leq f_0 = L/1000, \quad (L \text{ mm-ben}),$$

ahol a görbület C meghatározható az acél anyagjellemzőiből és a hegesztési paramétereiből (Farkas & Jármái 1998).



4. ábra: A lemezborda méretei

5. ábra: Az L borda méretei

Kevertgáz hegesztésnél (GMAW-M Gas Metal Arc Welding with mixed gas) sarokvarratokra a fajlagos gyártási idő

$$C_2 a_w^n = 0,3258 \times 10^{-3} a_w^n.$$

A varrat dolgozó mérete:

$$a_w = 0,4t_1, \text{ de } a_{w\min} = 4 \text{ mm.}$$

A lemezbordánál a helyi horpadás az EC3 szerint $h_1/t_1 \leq 14\epsilon$.

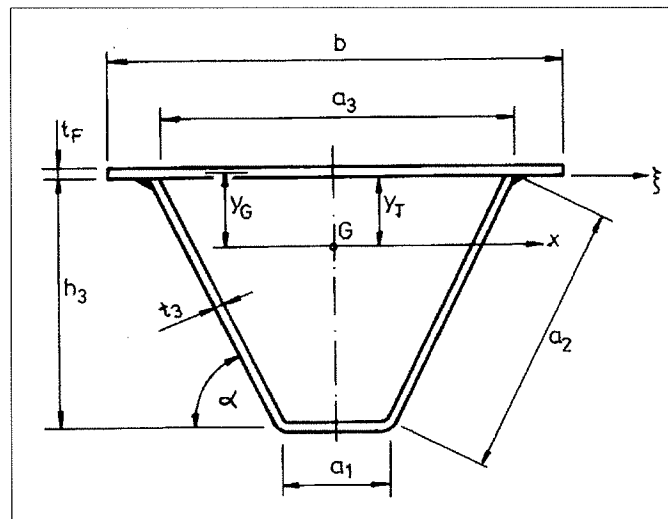
L borda (5 ábra).

A merevítő hidegen hajlított.

A helyi horpadás a DASt Richtlinie 016 (1986) szerint

$$b_1/t_2 \leq 30\epsilon; \quad b_2/t_2 \leq 12,5\epsilon.$$

A trapézmerevítő



6. ábra: A trapézmerevítő méretei

A helyi horpadás

$$a_2/t_2 \leq 38\epsilon, \text{ ezt a feltételt aktívnak vesszük.}$$

Szám példa:

Adatok $B = 6000 \text{ mm}$, $L = 3000 \text{ mm}$,

$N = 1,974 \times 10^7 \text{ [N]}$, $f_y = 235 \text{ MPa}$, $E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa}$,

$G = E/2,6$; $\rho = 7,85 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$, $\Theta_d = 3$.

A változók a ϕ , t_F és t_1 , t_2 és t_3 az egyes merevítőalakoknál. Az optimalizálást a Rosenbrock-féle Hillclimb matematikai programozási módszerrel végeztük, mely kerekített értéket is meghatároz. Az eredményeket a 7. ábra tartalmazza.



Az optimumokat $k_f/k_m = 2$ értékre az egyes bordaalakokra a 3. táblázat mutatja.

Merevítők	k_f/k_m (kg/min)	φ	t_F	t_1	K/k_m (kg)
Lemez	2	7	18	13	4554
L alakú	2	3	28	10	5081
Trapéz alakú	2	11	11	8	3940

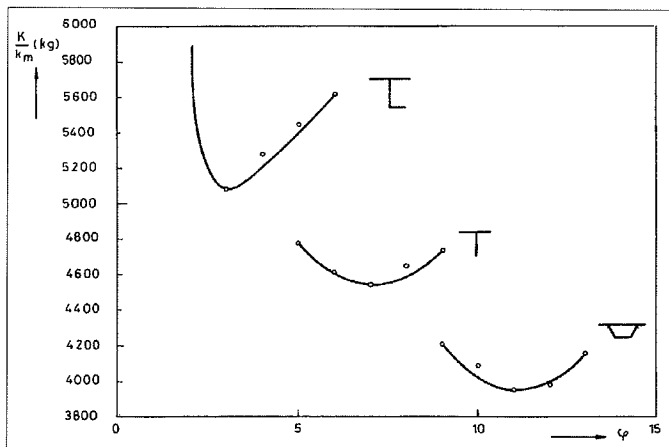
3. táblázat: A nyomott lemez és a merevítők optimális méretei mm-ben

Látható a számpéldából, hogy a legolcsóbb kialakítás a trapéz merevítő. A lemez- és L merevítős kialakítás $k_f/k_m = 2$ kg/min esetén $(4554-3940)/3940 \times 100 = 16\%$ -kal, valamint 29%-kal nagyobb költségű. A lemezmerevítő hatékonyságának oka, hogy jóval vastagabb lehet, mint a hidegen hajlított merevítőborda. A trapéz merevítő kedvező hatása a nagy csavarási merevség.

A 7. ábra mutatja a költségértékeket $k_f/k_m = 2$ kg/min esetén különböző bordaszám mellett. A legjobb és a legrosszabb megoldás lemezmerevítő bordára $(4783-4554)/4554 \times 100 = 5\%$ eltérést mutat, L bordára 25% és trapéz bordára 7%. Megjegyezzük, hogy az összes összehasonlított eredmény optimum, csak eltérő bordaszámra.

A gyártási költség relatíve alacsony, mert kicsi a bordaszám. Az összköltség kb. 25%-át teszi ki. Ez a hatás növekszik nagyobb bordaszám esetén.

Az aktív feltételek a következők: a bordázott lemez globális horpadása, valamint a nyitott bordák elcsavarodása. A vetemedési feltétel ebben az esetben passzív. Ez akkor válik fontosabbá, ha növekszik a merevítők száma.



7. ábra: Költséggörbék a merevítők száma függvényében különböző bordaalak mellett

5. Hidrosztatikus nyomásnak kitett bordázott lemez optimális méretezése

A bordázott lemezek számos helyen lehetnek hidrosztatikus nyomásnak kitéve, például bunkerek oldalfalai (8. ábra), gátak kapui. Wickert (1971) könyvében a megoldást a vízszintes merevítők optimális távolsága jelenti, melynél a merevítők egyenletesen vannak terhelve. Ez a megoldás nem foglalkozik az alaplemez vastagságával, így nem ad igazi optimumot. McGrattan (1985) mind súly-, mind költség-optimumot határozott meg egyenlő osztású hossz- és keresztirányú merevítővel. Kravanja (1998) gátkapuszerkezetek költségoptimalizálását végezte el, ahol nem egyenletes osztásúak a merevítők. A számpéldában kimutatta, hogy az egyiptomi Asszuánban lévő gátkapuhoz képest a számított szerkezettel 28% költségmegtakarítást lehetett volna elérni.

Jelen tanulmányban négyzet alakú alaplemezt vizsgálunk, állandó vastagsággal, vízszintes merevítővel (8. ábra). Független bordázatokra is kiszámítjuk a költségeket. Amikor a vízszintes merevítők távolsága azonos, akkor csak az alaplemez alsó része terhelhető a folyáshatárig, így a megoldás nem optimális. A merevítők optimális távolsága úgy határozható meg állandó alaplemez-vastagság esetén, hogy az alaplemez minden eleme a folyáshatárig terhel.

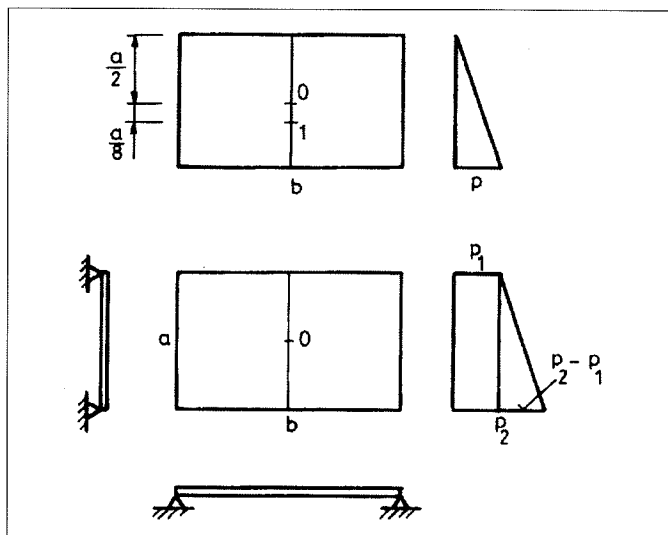
A maximális hajlítónyomaték szabadon felfekvő alaplemezelemnél hidrosztatikus nyomás mellett Vaynberg (1970) alapján, nemlineáris függvényekkel, különböző b/a arányra adható meg (9. ábra). Az optimális bordahelyzeteket az x_i értékek jellemzik (10. ábra), melyek a MathCAD program felhasználásával nemlineáris egyenletekből meghatározhatók. A trapézbordákat (11. ábra) hajlításra és helyi horpadásra méretezzük.



8. ábra: Bunkerszerkezet bordázott lemezekből

A költségfüggvény hasonló a korábban használtakhoz, anyag- és gyártási (hegesztési) költségek figyelembevételével.

Az alaplemezt és terhelését a 9. ábra mutatja.

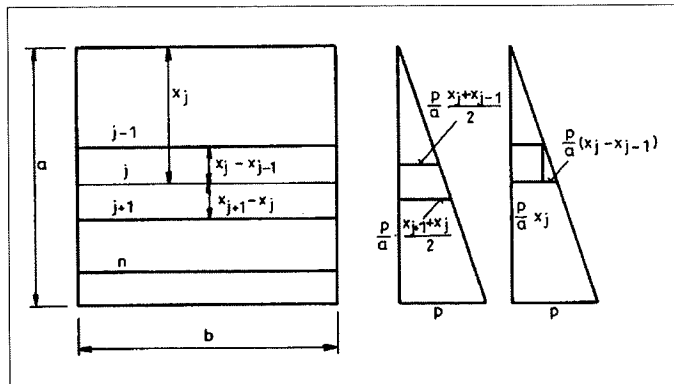


9. ábra: Az alaplemezelemek terhelései



A maximális hajlítónyomaték a lemezelemeknél a p_1 állandó, egyenletesen megoszló terhelésből, illetve a p_2 háromszög alakú terhelésből számítható.

A 10. ábra mutatja a nem egyenlő távolságú merevítőket.



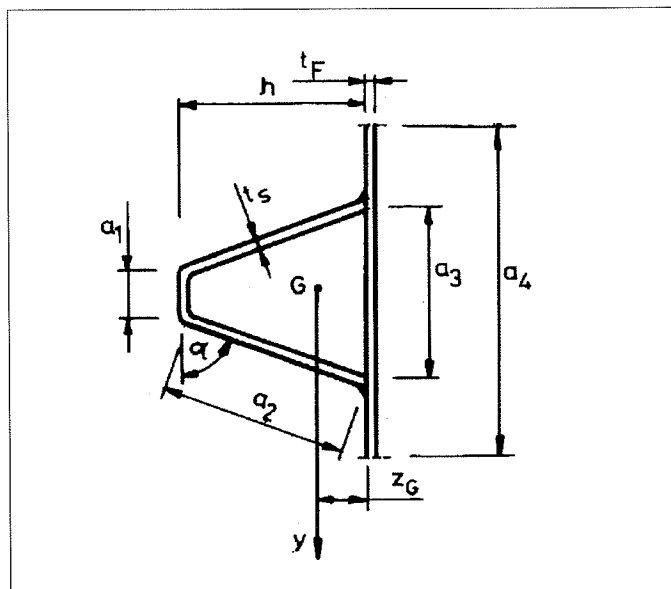
10. ábra: A nem egyenlő távolságú merevítők elhelyezése

A trapézmerevítők méreteire a Stahlbau Handbuch (1985) ad adatokat: $a_1 = 90$, $a_3 = 300$ mm (11. ábra), a helyi horpadásra az Eurocode 3 előírását használjuk

$$a_2 \leq 38t_s \varepsilon; \quad \varepsilon = \sqrt{235/f_y}$$

Ha ezt egyenlőségnek vesszük, akkor az ismeretlen t_s vastagsággal adhatók meg a szelvény méretei, keresztmetszet-területe.

$$A = (90 + 76t_s \varepsilon)t_s$$



11. ábra: A trapézmerevítő méretei

Az optimálás bemutatására a számpélda a következő: $a = b = 6$ m, a biztonsági tényezővel megnövelt hidrosztatikus terhelés $p = \gamma p_0 = 1,5 \times 0,036 = 0,054$ N/mm², $f_y = 235$ MPa. Feltételezzük, hogy az alaplemez 1500 mm szélességű lemezsávokból tompavarratokkal van összehesesztve. A merevítők két $a_w = 0,7t_s$ méretű sarokvarrattal vannak lehegesztve. A technológia GMAW-M (Gas Metal Arc Welding with mixgas). A hegesztési idők:

$$a_w = 10-40 \text{ mm X-varrat } C_2 a_w^n = 0,1433 a_w^{1,9035}$$

$$a_w = 4-15 \text{ mm V-varrat } C_2 a_w^n = 0,1861 a_w^2$$

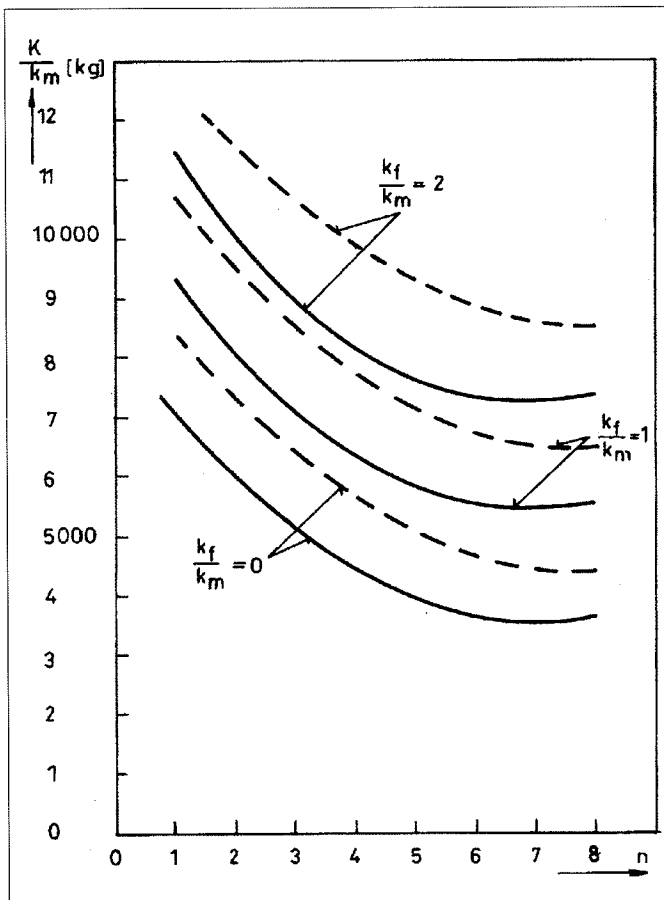
$$a_w = 0-15 \text{ mm sarokvarrat } C_2 a_w^n = 0,3258 a_w^2$$

Az eredményeket a 12. ábra és 4. táblázat mutatja.

n	x_j (m)	t_s (mm)	t_F (mm)	K/k_m (kg) $k_f/k_m=0$	K/k_m (kg) $k_f/k_m=1$	K/k_m (kg) $k_f/k_m=2$
7	1,4410	7	7	3705	5566	7427
	2,3398	7				
	3,0898	8				
	3,7575	8				
	4,3705	8				
	4,9431	8				
8	5,4843	8	6	3446	5344	7242
	1,3301	6				
	2,1615	7				
	2,8544	7				
	3,4714	8				
	4,0377	8				
	4,5668	8				
	5,0668	8				
5,5432	8					

4. táblázat: Optimális bordatávolságok, borda- és alaplemezvastagságok és költségek a bordaszám (7,8) függvényében

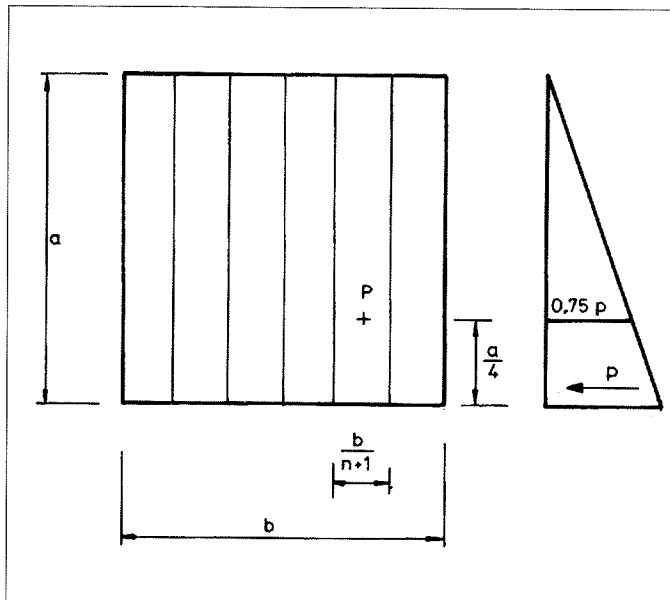
Ha a 8 merevítőt egyenletes távolságban helyezzük el, akkor a K/k_m -értékek $k_f/k_m = 0, 1$ és 2 esetén a következők: 4349, 6472 és 8595. Ez azt mutatja, hogy a változó bordatávolság 26, 19 és 21% költségmegtakarítást eredményez.



12. ábra: A költségfüggvény a bordaszám függvényében $k_f/k_m = 0, 1$ és 2 esetén



Összehasonlításként kiszámítjuk, hogy a függőleges merevítők (13. ábra) esetén milyen költségek adódnak.



13. ábra: Megoldás függőleges merevítőkkel

Az optimumok $k_p/k_m=0, 1$ és 2 kg/min értékekre a következők: a függőleges merevítők száma $n=5$, a költség $4710, 6752$ és 8794 kg, $n=8$ merevítőre $3901, 5805$ és 7709 kg. Ez azt mutatja, hogy a vízszintes merevítők alkalmazása $4-18\%$ költségmegtakarítást eredményez a függőlegesekhez képest.

Hivatkozások

American Petroleum Institute API (1987), Bulletin on design of flat plate structures. Bulletin 2V. Washington.

Braid, J.E.M., Bell, R., Militaru, D.V. (1997), Fatigue life of as-welded, repaired, and hammer-peened joints in high-strength structural steel. *Welding in the World* 1997, 39(5), pp. 248–261.

COSTCOMP (1990), Programm zur Berechnung der Schweisskosten. Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf.

DAST (Deutscher Ausschuss für Stahlbau) Richtlinie 016. (1986), Bemessung und konstruktive Gestaltung von Tragwerken aus dünnwandigen kaltgeformten Bauteilen. Köln.

Eurocode 3. (1992), Design of steel structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. European Pre-standard ENV 1993-1-1. CEN European Committee for Standardisation, Brussels.

Farkas, J. & Jármái, K. (1997), *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 347 p.

Farkas, J., Jármái, K. (1998), Analysis of some methods for reducing beam curvatures due to weld shrinkage. *Welding in the World* 41, No.4. 385–398.

Horn, A.A., Huther, I., Lieurade, H.P. (1998), Fatigue behaviour of T-joints improved by TIG dressing. *Welding in the World*, 41 (4). pp. 273–280.

Iványi, M., Papp, F. (1998), *Acél CAD, Acél rúdszerkezetek számítógéppel segített tervezése*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998, ISBN 963 420 590 9.

Janosch, J.J., Koneczny, H. et al. (1996), Improvement of fatigue strength in welded joints (in HSS and aluminium alloys) by ultrasonic hammer peening. *Welding in the World*, 37 (2). pp. 72–83.

Jármái, K., Farkas, J. (1999), Cost calculation and optimization of welded steel structures. *J. Construct. Steel Res.* 50, No.2. 115–135.

Kravanja, S., Kravanja, Z. and Bedenik, B.S. (1998). The MINLP optimization approach to structural synthesis. Part III. Synthesis of roller and sliding hydraulic steel gate structures. *Int. Journal for Numerical Methods in Engineering* 43, 329–364.

McGrattan, R.J. (1985). Weight and cost optimization of hydrostatically loaded stiffened flat plates. *Journal of Pressure Vessel Technology Transactions of ASME*, 107. Febr. 68–76.

Mikami, I., Niwa, K. (1996), Ultimate compressive strength of orthogonally stiffened steel plates. *J. Structural Engineering ASCE* 122 (1996) No.6. 674–682.

Pahl, G. & Beelich, K.H. (1982), Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweißverbindungen. *VDI-Bericht*, Nr. 457, pp. 129–141, Düsseldorf.

Stahlbau Handbuch (1985), Band 2. Köln, Stahlbau-Verlag.

Vaynberg, D.V., Vaynberg, E.D. (1970). *Raszczet plasztin*. Kiev, Budivelnik.

Wickert, G., Schmausser, G. (1971). *Stahlwasserbau*. Springer, Berlin–Heidelberg–New York.

Woodley, C.C. (1983), Practical applications of weld toe grinding. In „Improving the Fatigue Strength of Welded Joints. The Welding Institute, Abington, Cambridge, UK.”. pp. 19–22.

Köszönetnyilvánítás

A kutatási munkát az OTKA 22 846, 29 326 és az FKFP 8/2000 projektek támogatták.

✉ Jármái Károly

✉ Farkas József

egyetemi tanárok,

Miskolci Egyetem

H-3515 Miskolc, Egyetemváros

e-mail: altjar@gold.uni-miskolc.hu,

altfar@gold.uni-miskolc.hu

