

# SZABVÁNYOS KÖR KERESZTMETSZETŰ TÖBBTÁMASZÚ TARTÓK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE

## OPTIMUM DESIGN OF STANDARD SIZED CIRCULAR CONTINUOUS GIRDERS

Dr. Virág Zoltán\*, Dr. Jármai Károly\*\*

### ABSTRACT

Nowadays the optimum design is widely used in engineering practice. The economic crises always remind of saving. That is why it is important to aim at the best price or just material saving. In the minimum cost design the characteristics of the optimal structural version are sought which minimize the cost function and fulfil the design constraints. Further advance of the optimum design is that it gives a true base to compare the different structure versions. In this study only the material cost is minimised.

The aim of the present study is to apply the optimum design principle for continuous girders.

amivel a gazdaságosságot a számunkra legmegfelelőbb módon elérhetjük. [1]

Az egyes szerkezetekről az évek során összegyűlt elméleti és kísérleti ismeretek, tervezési, gyártási és üzemeltetési tapasztalatok lehetővé teszik, hogy mindezek figyelembevételével keressük az optimális megoldást. A minden szempontból optimális megoldáshoz az összes követelménynek megfelelő, elegendő számú adattal kell rendelkezniünk. Az optimális megoldás megtalálását tovább bonyolítja a többféle szerkezeti kialakítások lehetősége, hol nem csak az egyes elemeket lehet optimalni, hanem az egész szerkezetnek a felépítését is. Ennek egyik iskolapéldája a hidak tervezése (1. és 2. ábra).

### 1. BEVEZETÉS

Az optimalás a jobb megoldások keresése, amelyek jobban megfelelnek a követelményeknek. A teherviselő mérnöki szerkezetek fő követelményei: a terhelhetőség, a biztonság, a gyárthatóság és a gazdaságosság.

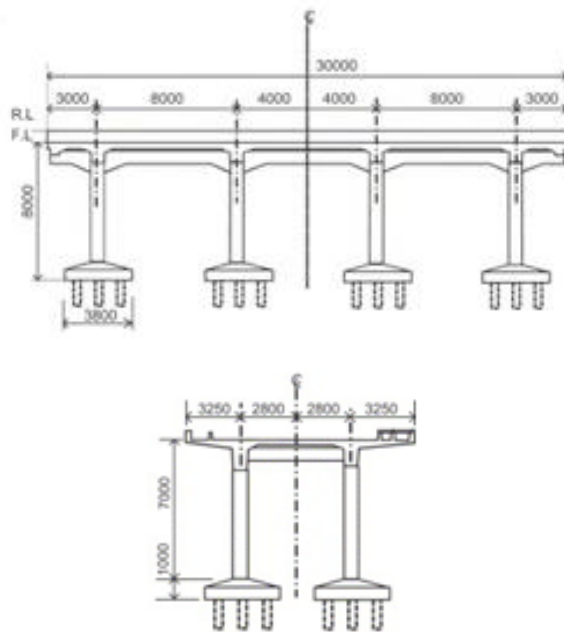


1. ábra Shinkansen gyorsvasúti híd Japánban

Az elemzés szintjén meg kell fogalmazni a tervezési és gyártási feltételeket, valamint azt a költségfüggvényt,

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Geotechnikai Berendezések Intézeti Tanszék

\*\* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszék



2. ábra Tipikus többtámaszú Shinkansen gyorsvasúti híd geometriája [2]

Ezért igen nagy jelentősége van az optimális méretezésre való törekvésnek abban, hogy az adatok, ismeretek rendszerezésére készlet, kiderül, hogy hol

vannak még elemzésre váró kérdések (például hiányosak esetleg a stabilitásra vonatkozó mérések, vagy kevés a gyártási költségadat stb.). Az optimális méretezés további előnye, hogy reális alapot (és általában egyszerű kifejezéseket) ad az egyes konstrukció-változatok összehasonlítására, ami a tervező számára rendkívül hasznos segítséget jelent.

Korábbi tanulmányokban már számos szerkezet optimális tervezését végeztük el [3, 4, 5], melyek megerősítették a szerkezetek optimalizálásának fontosságát. Az eredményeket jelentősen befolyásolja a figyelembe vett feltételek kiválasztása.

## 2. PÉLDA TÖBBTÁMASZÚ TARTÓK OPTIMÁLÁSÁRA

Mint az a bevezetésből is kitűnik a többtámaszú tartók vizsgálata egy nagyon régi széleskörű mérnöki feladat. Számítási példa ezek közül egy mostanában egyre inkább fontossá váló feladattal a káros gázok emissziójának csökkentéséhez kapcsolódó földfeletti többtámaszú csővezetékek optimalizálásával foglalkozik.



3. ábra Földfeletti többtámaszú csővezeték

Az ilyen nagy nyomású csővezetékek méretezésénél három feltételt kell figyelembe venni, melyek a feszültségi feltétel, a lehajlási feltétel és a karcúsági feltétel. Ezek teljesülésével kapható meg az a külső átmérő és falvastagság páros, amely az adott szerkezet legkisebb tömegét eredményezi.

### 2.1. Feszültségi feltétel

A feszültségi feltételt a különböző terheléseknek a összegzéseként számíthatjuk. Figyelembe kell vennünk az alap szerkezet önsúlyából adódó terhelésből számítható feszültséget és a csőszerkezet belső túlnyomása során keletkező feszültséget.

A megoszló terhelés

$$p = (1,2A\rho_a + 1,1A_{cs}\rho_g)g$$

ahol  $A$  csőszerkezet keresztmetszete,  $\rho_a$  a szerkezeti acél sűrűsége,  $A_{cs}$  csőszerkezet belső keresztmetszete,  $\rho_g$  a szállított nagynyomású gáz sűrűsége.

A szerkezet analízis során a Clapeyron egyenlet alkalmas arra, hogy háromtámaszú tartóknál a belső támasznál fellépő nyomatékokat meghatározza.

Legyen  $A, B, C$  a három támasz jele,  $l$  pedig az  $AB$  támasz távolsága,  $l'$  pedig a  $BC$  támasz távolsága.  $w$  és  $w'$  az egyes elemek egységnyi tömege. A hajlítónyomatékok meghatározhatók az egyes támaszoknál  $M_A, M_B, M_C$  a következő módon

$$M_A l + 2M_B(l + l') + M_C l = \frac{6a_1 x_1}{l} + \frac{6a_2 x_2}{l'}$$

ahol  $a_1$  a nyomatéki ábra alatti terület a függőleges terhelések hatására az  $AB$  szakaszon,  $a_2$  a nyomatéki ábra alatti terület a  $BC$  szakaszon,  $x_1$  az  $A$  támasz és a nyomatéki ábra súlypontjának távolsága az  $AB$  szakaszon,  $x_2$  a  $C$  támasz és nyomatéki ábra súlypontjának távolsága a  $BC$  szakaszon.

Ezáltal a hajlítónyomaték a Clapeyron formulával a következő a középső támasznál

$$M_2 = \frac{2,5pL^2}{4}$$

ahol  $L$  a támaszok közötti távolság.

A feszültség

$$\sigma_1 = \frac{M_2}{K_x}$$

ahol

$$K_x = \frac{(D^4 - d^4)\pi}{32D}$$

ahol  $D$  a csőszerkezet külső átmérője és  $d$  a belső átmérő.

A kazán formulából számítható feszültség értéke

$$\sigma_2 = \frac{p_b d}{2t}$$

ahol  $p_b$  a belső nyomás és  $t$  a falvastagság. A redukált feszültség

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_2$$

A megengedett legnagyobb feszültség

$$R_{adm} = \frac{f_y}{n_e}$$

ahol  $n_e$  a biztonsági tényező, melynek értékét 1,2-re vehetjük és  $f_y$  a folyáshatár.

Ezek ismeretében a feszültségi feltételt végleges alakja

$$\sigma_R \leq R_{adm}$$

## 2.2. Lehajlási feltétel

A csőszerkezet lehajlását korlátoznunk kell, hogy egy bizonyos deformációt a szerkezet már ne haladjon meg, ami már káros hatással lenne. A lehajlás mértékét a támaszok között a következő egyenlettel számíthatjuk

$$w = \frac{pL^4}{284EI_x}$$

ahol  $E$  a rugalmassági modulus és az inercianyomaték pedig

$$I_x = \frac{(D^4 - d^4)\pi}{64}$$

A lehajlás értékét a támasztávolság 300-ad részében maximalizálhatjuk

$$w \leq \frac{L}{300}$$

## 2.3. Stabilitási feltétel

A stabilitás az egyik legfontosabb probléma a fémszerkezetek tervezésében, mert az instabilitás sok esetben okoz meghibásodást vagy tönkremenetelt. A feltétel ez esetben a csőszerkezet külső átmérő és a falvastagság hányadosától függ

$$\frac{D}{t} \leq 90\varepsilon^2$$

ahol

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235\text{MPa}}{f_y}}$$

## 2.4. KIINDULÓ ADATOK

A vizsgálat célja megtalálni a legkisebb folyóméter tömeget egy adott terhelés esetére. Az alapozás és megtámasztás költségeit állandónak vettük mivel a feszítáv adott, nem változik. Ahhoz, hogy megtaláljuk az

optimális szerkezetet, ismernünk kell a gyakorlatban használt csőszerkezetek külső átmérőit és a falvastagságokat. Ezeket a gyakorlatban alkalmazott geometriákat az EN 10220 [6] tartalmazza. Ezek közül kell kiválasztani azokat az alkalmazott méret kombinációkat, amelyek kielégítik a tervezési feltételeket. A számpéldában a csőszerkezetben levő terhelést 82 m<sup>3</sup>/s térfogatáramú széndioxid biztosítja, mely térfogatáram előfordul a Weyburn csővezeték rendszerben [7]. A támaszközök nagysága  $L = 20$  m nagyságban rögzített. A szélesebb körű összehasonlítás érdekében a csőszerkezet alapanyagának folyáshatárát két értékben  $f_y = 355$  MPa és 448 MPa választottam meg.

## 2.5. SZÁMÍTÁSI EREDMÉNYEK

A számítás során a különböző külső átmérőkhöz választottam a lehető legkisebb, a tervezési feltételeknek még megfelelő falvastagságot, amely párosítás így a lehető legkisebb folyómétertömeget eredményezi. Az optimális eredményeket dőlt számokkal jelölték az 1. és 2. táblázatban.

1. táblázat. Eredmények  $f_y=448\text{MPa}$  folyáshatárú alapanyagra

külső átmérő [mm]	falvastagság [mm]	folyóméter tömeg [kg/m]
508	12,5	153
457	12,5	137
406,4	14,2	137
355,6	14,2	120
323,9	16	121

2. táblázat. Eredmények  $f_y=355\text{MPa}$  folyáshatárú alapanyagra

külső átmérő [mm]	falvastagság [mm]	folyóméter tömeg [kg/m]
610	12,5	184
508	14,2	173
457	14,2	155
406,4	16	154
355,6	20	166

## 2.6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az adott külső átmérők értékét csökkentve juthatunk el az optimumhoz, minden esetben keresve a lehető legkisebb falvastagságot. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik először aktívvá. Ezeknek a feltételeknek a hatása az, hogy a külső átmérő csökkentése egy bizonyos szint után már nem eredményez folyómétertömeg csökkenést és az érték már növekedni

fog. Ez a változó tendencia igazolja, hogy a különböző feltételek aktívvá válása befolyásolja az optimális szerkezet végleges geometriáját.

Az 1. és 2. táblázatból látható, hogy a  $f_y = 448$  MPa folyáshatárú alapanyagra a 355,6 mm külső átmérőjű és 14,2 mm falvastagságú csőszerkezet lett a legkedvezőbb folyóméter tömegű szerkezet, míg az  $f_y = 355$  MPa folyáshatárú alapanyagra számolva a 406,4 mm külső átmérőjű és 16 mm falvastagságú csőszerkezet.

Az optimalás során kapott eredményekből látható, hogy a tervezési tapasztalatoknak megfelelően a magasabb folyáshatárú alapanyagú szerkezet optimumának folyóméter tömege lett a kedvezőbb, jelen példában 34 kg/m-rel, ami 22%-os csökkenést eredményez.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A különböző szerkezetek optimális tervezése nagyon jelentős megtakarításokat hozhat mind a felhasznált alapanyagok, mind a ráfordított költségek tekintetében. Számos tanulmány igazolja, hogy a tervezés során figyelembevett feltételek pontos megválasztása nagyon fontos szerepet játszik az optimális szerkezet végleges geometriájában.

Kör keresztmetszetű többtámaszú tartók méretezésében a feszültségi feltétel, a stabilitási feltétel és a lehajlási feltétel játszhat jelentősebb szerepet. Csőszerkezeteknél úgy juthatunk el a lehető legkisebb folyóméter tömegekhez, hogy a feltételeket figyelve csökkentjük a külső átmérőket és a hozzájuk tartozó falvastagságokat. Nagy külső átmérők esetén a falvastagság csökkentésének stabilitási feltétel szab határt, míg kisebb külső átmérők esetén pedig a feszültségi feltétel válik aktívvá, így szabva határt a tömeg csökkentésének.

A számított eredmények e szerkezet optimális tervezésénél is megmutatják, hogy bizonyos méret csökkentés már nem hoz további végeredmény javulást. Ezért ebben az esetben is igazolható az optimális méretezés létjogosultsága és fontossága.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. A kutatómunka támogatást kapott az OTKA 75678 projekt által.

### 5. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] FARKAS, J., JÁRMAI, K.: Analysis and optimum design of metal structures. Rotterdam-Brookfield, Balkema, 1997.
- [2] HIROKAZU, T., BIAN, X. C.: Shinkansen high-speed train induced ground vibrations in view of viaduct-ground interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 27, Issue 6, pp. 506–520, 2007.
- [3] FARKAS, J., JÁRMAI, K., VIRÁG, Z.: Optimum design of a belt-conveyor bridge constructed as a welded ring-stiffened cylindrical shell, Welding in the World, Vol.48, N° 1/2, pp. 37-41., 2004.
- [4] VIRÁG, Z.: Optimum design of stiffened plates, Pollack Periodica, Vol. 1, No. 1, pp. 77-92, HU ISSN 1748-1994, 2006.
- [5] VIRÁG, Z.: Determination of optimum diameter of a welded stiffened cylindrical shell, Pollack Periodica, Vol 4. No.1, pp. 41-52, HU ISSN 1788-1994, 2009.
- [6] EN 10220:2002. Seamless and welded steel tubes - Dimensions and masses per unit length
- [7] IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 442, 2005.

## KÖSZÖNET A LEKTOROKNAK

A GÉP jelen számában szereplő cikkek lektoráltak. Ezúton is köszönetet mondunk a lektoroknak a szakmai segítségükért, Wagner Györgynek és Dr. Kota Lászlónak a kötet összeállításánál nyújtott segítségükért.

#### Lektorok:

Borsody Tamás, Dr. Csernák Gábor, Dr. Döbröczöni Ádám, Dr. Kamondi László, Dr. Kovács György, Ludman Csaba, Németh István Gergely, Dr. Orbán Ferenc, Dr. Rácz Pál, Dr. Timár Imre, Dr. Tolvaj Béla, Dr. Török Imre, Dr. Varga Gyula, Dr. Virág Zoltán