

az ismeretlenek száma tehát:

$$5n+2$$

Az ismeretlenek, és egyensúlyi egyenletek számának ismeretében tehát a szerkezet 2 szeresen határozatlan.

(Itt jegyzendő meg (!), hogy a vállvonalakon ébredő ismeretlen, megoszló erők, függvények. A szerkezet számíthatóságának feltétele, hogy ezeknek a függvényeknek az alakját ismerjük. Számításainkhoz feltesszük, hogy ezek a megoszló erők háromszög alakúak. De ugyanígy bármilyen alakot feltételezve a szerkezet számítható.)

### **Számítási mód leírása:**

Lebegő lépcsők statikai működését szeretnénk bemutatni, viszont a falra, és mind két végén pihenő lemezre támaszkodó lépcső megoldása hosszadalmas, nehézkes, jelen pillanatban még nem teljesen kidolgozott.

Azonban alsó pihenő, és faltámasz esetén, amikor a felső pihenőhöz nem csatlakozik a szerkezet, a megoldás viszonylag egyszerű. (Ez a modell megfelel az építési állapotnak.) Ekkor a vállvonalakon lévő erők eloszlását felvéve meghatározhatóak az igénybevételi ábrák az egyensúlyi egyenletekből.

Megjegyeznénk azt, hogy amennyiben a lépcsőkar alakváltozását is pontosan meg akarjuk határozni, akkor a lépcsőkarok szabad végeinél koncentrált erőket kell működtetnünk a vállvonalakon, annak érdekében, hogy a szabad végre vonatkozó peremfeltételek teljesíthetőek legyenek.

A bemutatott számítás közelítő.

*Szám példa:*

Tekintsük ugyanazt a gránit lépcsőt, melyet a Price modell (Price; 2005) vizsgálatánál alkalmaztunk, és vizsgáljuk önsúlyteherre.

$L = 1,00$  m (karszélesség)

$b = 345$  mm (keresztmetszet szélessége)

$h = 220$  mm (keresztmetszet magassága)

$c_1 = c_2 = 204,5$  mm (vállvonalak súlyponti tengelytől való távolsága)

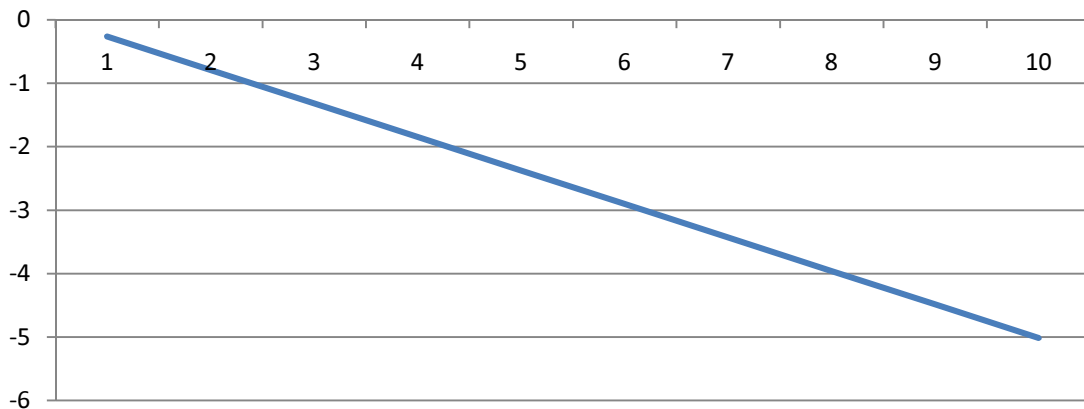
$q = 2,04$  kN/m (önsúlyteher)

Feltesszük, hogy

- a vállvonalak síkjában ébredő kapcsolati erők konstansok. Ebből adódóan nem hoznak létre nyíró hatást a támaszkeresztmetszetenél, a kapcsolatokban átadódva az alsó pihenőt terhelik.
- A vállvonalak síkjára merőleges vállerők háromszög alakban megoszlóak
- A szabad végen szerepeltetett koncentrált erőket most elhanyagoljuk.

Így az egyensúlyi egyenletek megoldásával a következő diagramokat kapjuk:

*Csavaró nyomaték:*

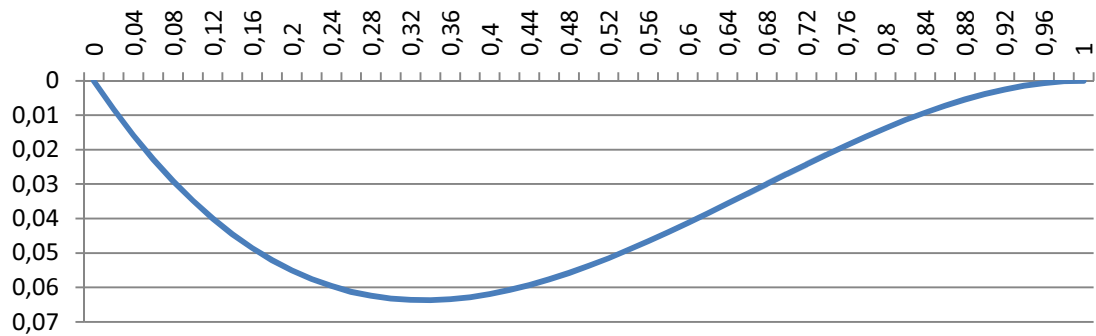


**4.1. diagram: Csavaró nyomatéki ábra**

(ahol a vízszintes tengely a fokok számát jelöli,  
a függőleges tengely pedig a csavaró nyomatéki értékeket [kNm])

$M_{x,max} = 5,014$  kNm

Hajlító nyomaték:



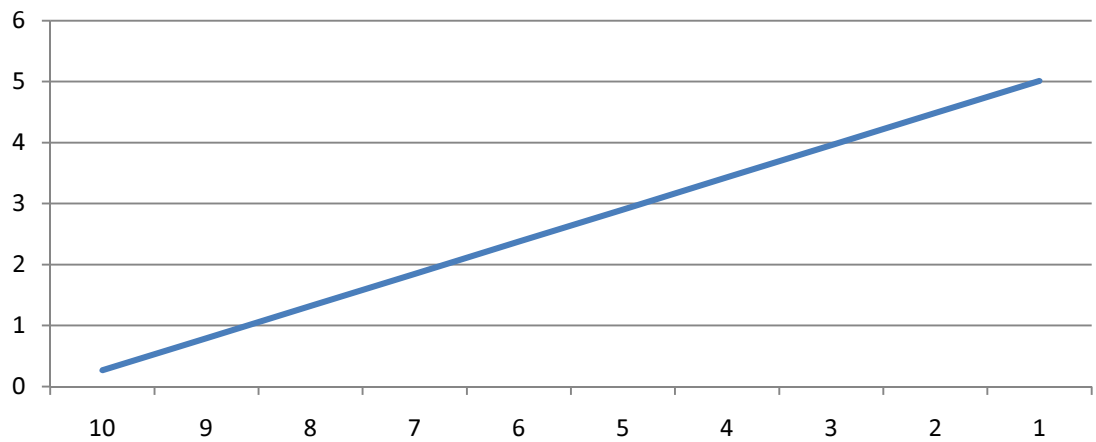
4.2. diagram: Hajlító nyomatéki diagram

(ahol a vízszintes tengely a támaszkeresztmetszettől mért távolságot mutatja a lépcsőfok tengelyén a függőleges tengely pedig a hajlító nyomatéki értékeket [kNm])

$M_{y,max}=0,063686\text{kNm}$

Nézzük meg, hogy alakul mindez a *Price modellel*, de a „k”-t válasszuk meg 2/3 nak(!), hogy a két modellben használt eredő erőink hatásvonala megegyezzen!

Csavaró nyomaték:

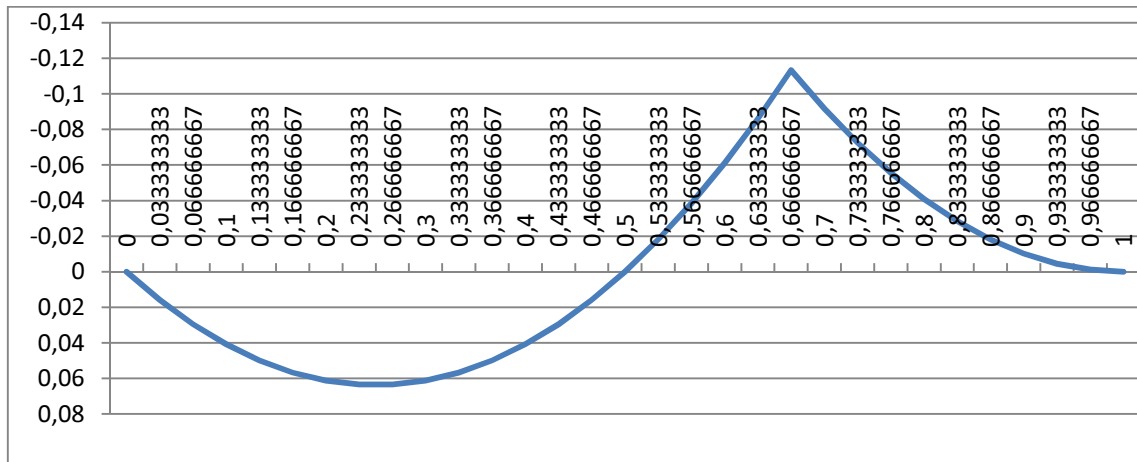


4.3. diagram: Csavaró nyomatéki ábra

(ahol a vízszintes tengely a fokok számát jelöli, a függőleges tengely pedig a csavaró nyomatéki értékeket [kNm])

Csavaró nyomatéki maximum: 5,012 kNm

Hajlító nyomaték:



4.4. diagram: Hajlító nyomatéki diagram

(ahol a vízszintes tengely a támaszkeresztmetszettől mért távolságot mutatja a lépcsőfok tengelyén a függőleges tengely pedig a hajlító nyomatéki értékeket [kNm])

Maximális hajlító nyomatékok: +0,0634 kNm; -0,1133 kNm

Eredmények összegzése:

	csavaró nyomaték (kNm)	hajlító nyomaték (kNm)
Price modell	5,012	-0,1133
bővített modell	5,014	+0,063686

Értékelés:

Mint láthatjuk, téglalap keresztmetszet esetén, a keresztmetszet főtengelye a vállvonalak síkjába esik. A *horonykapcsolatból* adódó síkbeli kapcsolati erők nem módosítják a csavaró igénybevételi ábrát, mivel nem tudnak csavaró hatást kifejteni a főtengelyre. Azonban a teher egy részét közvetlen erőátadásokkal eljuttatják a pihenő lemezre.

A *vonal menti fokkapcsolatok* miatt a szerkezet hajlító igénybevétele jóval kisebb lett, mint pontszerű kapcsolat esetén (Price). Jól látható, hogy maximális nyomaték a faltámaszhoz közel keletkezik, de nem a támaszban! Ezzel magyarázható a szerkezetre jellemző különleges töréskép.

A Price féle modellel számolt lépcső nyomatéki ábrájának maximális értéke a fokok kapcsolati pontjában jött létre (, függ a kapcsolódási pont helyzetétől).

## 2. számpélda:

Számítsuk ugyanezt a példát háromszög alakú keresztmetszet esetén is mindkét modellel.

$L= 1,00$  m (karszélesség)

$b= 345$  mm (keresztmetszet szélessége)

$h=220$  mm (keresztmetszet magassága)

$c_1=136$  mm (alsó vállvonal súlyponti tengelytől való távolsága)

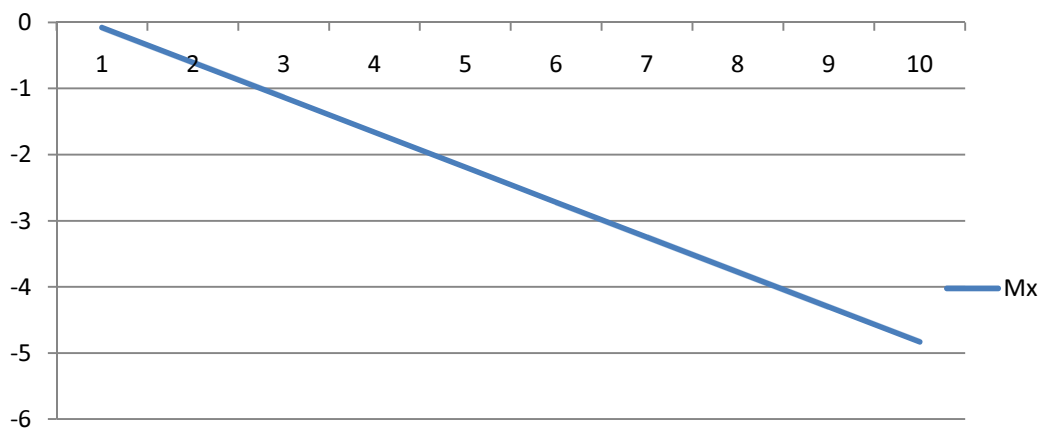
$c_2=273$  mm (felső vállvonal súlyponti tengelytől való távolsága)

$c_3=87$  mm (súlyponti tengely távolsága a vállvonalak síkjától)

$q=2,04$  kN/m (önsúlyteher)

Az ezekből az adatokból nyert eredmények:

*Csavaró nyomaték: (4.5 diagram)*



**4.5. diagram: Csavaró nyomatéki ábra**

(ahol a vízszintes tengely a fokok számát jelöli,  
a függőleges tengely pedig a csavaró nyomatéki értékeket [kNm])

$M_{x,max}= 4,83$  kNm

*Hajlító nyomaték:*

A keresztmetszet alakja nem befolyásolja a hajlító nyomatéki ábra alakulását.

A Price modellel is végezhetünk számításokat háromszög keresztmetszetű fokokra, de ne feledjük, hogy ezek a fokok csak függőlegesen támasztják meg egymást, horonykapcsolat nincs közöttük!

$L = 1,00$  m (karszélesség)

$b = 345$  mm (keresztmetszet szélessége)

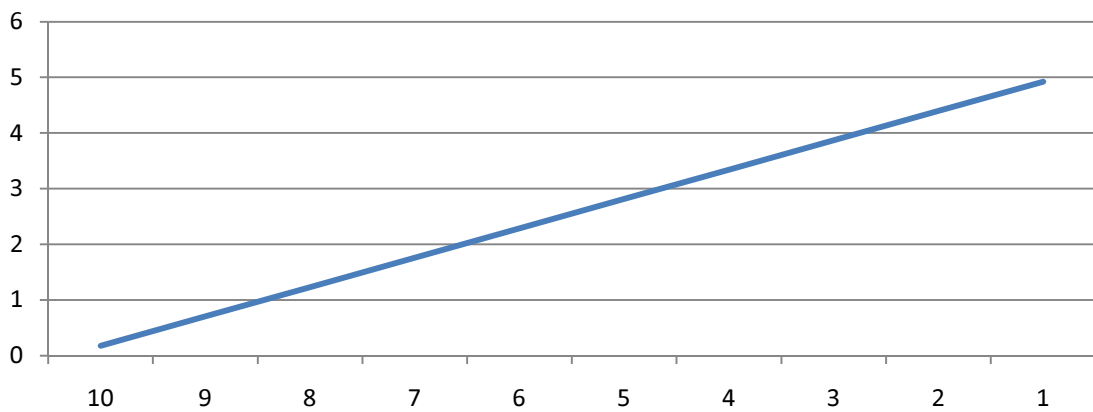
$h = 220$  mm (keresztmetszet magassága)

$b_1 = 115$  mm (a függőleges megtámasztás súlyponti tengelytől való távolsága)

$b_2 = 230$  mm (a következő fokról átadódó erő súlyponti tengelytől való távolsága)

$q = 2,04$  kN/m (önsúlyteher)

Csavaró nyomaték: (4.6 diagram)



**4.6. diagram: Csavaró nyomatéki ábra**

(ahol a vízszintes tengely a fokok számát jelöli,  
a függőleges tengely pedig a csavaró nyomatéki értékeket [kNm])

$M_{x,max} = 4,92$  kNm

*Értékelés:*

Láthatjuk, hogy a horonykapcsolat csökkenti a falcsatlakozás csavaró igénybevételét egy ellentétes csavaró hatással, melynek értéke a legalsó lépcsőfokon **0,1 kNm**.

Jelentősége a felső lépcsőfokoknál mutatkozik, ahol a teljes csavaró igénybevételt a tízedik lépcsőfokon **54,4 %**-kal csökkenti, az kilencediken **13,5 %**-kal.

Szerelés közben a legfelső lépcsőfok falkapcsolata, a horonyképzéseknek köszönhetően, gyengébb lehet (pl. ékelés), lehetővé téve a finombeállításokat. A következő lépcsőfok beépítésénél természetesen a kapcsolatot véglegesíteni kell.

### *Számításokkal kapcsolatos összefoglalás:*

Jelen tanulmányban a számítási modellünket építési állapotra vonatkozóan használtuk. Így a szerkezet, a *kapcsolati erők megoszlási jellegének ismeretében* határozottnak tekinthető.

A vizsgálat oka, hogy az így nyert egyenletekkel egyszerűen lehet számolni, *érthetővé válik a szerkezet működésének lényege.*

*Térbeli tartószerkezetről* van szó, mely egy három (, építési állapotban kettő) oldalról megfogott lemezként viseli a terheket. Ezt szemlélteti a nyomatéki ábra is, mely megmutatja, hogy a lépcsőfokokban alul alakul ki húzás.

A szabad végnél szerepeltetett koncentrált válleroőkkel a peremfeltételek teljesülnek. A *szerkezet tényleges teherbírása véges lépéssel számítható.*

### *Cél:*

Célunk, hogy a továbbiakban ezeket a bonyolult számításokat egyszerűbben kezelhetővé tegyük, leírjuk a beépített szerkezet teljes statikai működését.

### *Megjegyzés:*

A közölt számítások „alulról közelítik” a szerkezet tényleges teherbírását. A megadott számításokkal tervezett szerkezet biztonságos.

A szerkezet teherbírását jól szemlélteti a tanulmányban tapasztaltak alapján készült modell. (4.7 kép)

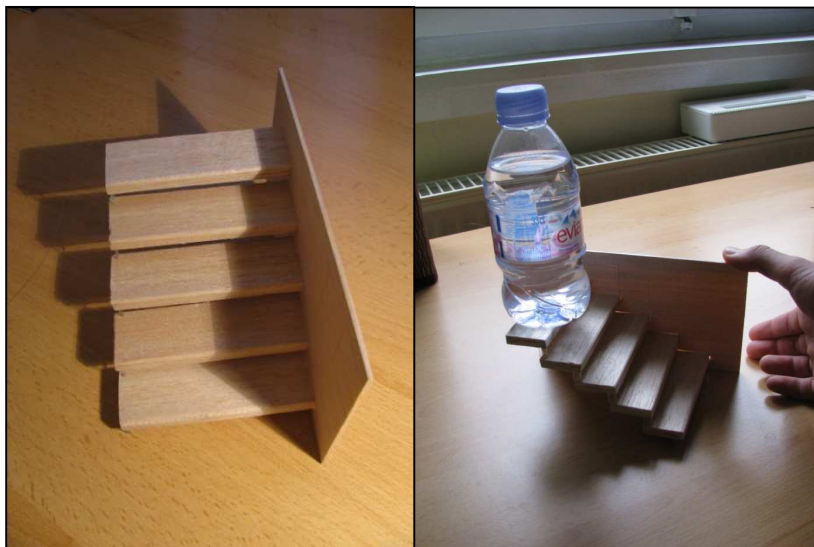
*A modell anyaga balsa fa.*

*teher: 0,33 l víz=0,33 kg*

*szerkezet önsúlya: pár gramm*

*szerkezeti méretek: fal= 1,5 mm (!) karszélesség: 10 cm fellépés/belépés: 1,5/3,0 cm*

*A szerkezetet felborulás ellen kellett megfogni, a falat le kell terhelni, vagy le kell kötni.*



4.7 kép: lebegő lépcső modell

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS:

---

Láthattuk, hogy a lebegő lépcsőkkel kapcsolatos ismeretek nem bővültek számottevően a huszadik század folyamán, a szerkezet feledésbe merült. Azonban ettől függetlenül a szerkezet létezik, statikai működése nem ismert.

Statikai viselkedésében a falra való felfekvésből adódó, hajlító nyomaték felvételére alkalmas, konzolos működés *elhanyagolható*, és *nem szükséges* a szerkezet állékonyságához. Sejtette ezt velünk, hogy Európa távolabbi területein az általános befogási méretek jóval kisebbek, mint nálunk. (Anglia: 10-12cm)

A falcsatlakozásnál az állékonyságot biztosító *csavarási megfogás* a lényeges, a fogadófalat a csavarásból adódó erőkre méretezni kell.

A hornyolt kapcsolatok jelentőségére *Csonka Pál* már felhívta a figyelmet gyámolított lépcsőknél, és mint kiderült ez a fajta együttműködés ennél a szerkezetnél is kulcsfontosságú. Lehetővé teszi a térbeli, lemezszerű teherviselést.

A működés megértésével, ezt az egyébként ősi szerkezetet *újra fel lehet fedezni*. Érdekes statikai működéséből adódóan izgalmas formálási lehetőségeket biztosít, így építészeti meghatározó motívuma lehet épületeinknek.

*Csikai Barna*



## IRODALOM

---

1. ANDREA PALLADIO: *Quattro libri dell'architettura*, Venice, 1570; Képzőművészeti Alap Kiadó, Budapest, 1982
2. ANDREAS KOLBITSCH: *Altbau konstruktionen*, Wien New York, 1989. pp. 153-168.
3. G. U. BREYMANN: *Allgemeine Baukonstruktionslehre, Band I. Stein*, 1903.
4. BRIK J. E.: *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-vereines*. XLVIII. Jahrgang. Wien. 1896. NR. 22.
5. BRIK J. E.: *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-vereines*. L. Jahrgang. Wien. 1898. NR. 31.
6. BRIK J. E.: *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-vereines*. L. Jahrgang. Wien. 1898. NR. 32.
7. BRIK J. E.: *Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten-vereines*. L. Jahrgang. Wien. 1898. NR. 33.
8. F. CHMELKA: *Über die beanspruchung freitragender Stiegenstufen*. Österreichische Bauzeitschrift 9. (1954) pp. 45-54.
9. CSONKA PÁL: *Horonnyal kapcsolat tömblépcsők erőjátéka*. A MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei, 19 (1956), pp. 257-264.
10. DR GÁBOR LÁSZLÓ: *Épületszerkezettan, I.kötet*. 1962 Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt. Bp. 2006. pp. 191-193.
11. GÁLOS M.: *Lebegő kőlépcsők szerkezete és statikai számítása*, Szerk.: Török Á. Mérnökgeológiai Jubileumi konferencia, Műegyetemi Kiadó, Budapest 2003. pp. 69-89.
12. SAM PRICE: *Stone cantilevered staricases*, The Structural Engineer, 2005. Jan. pp. 29-36.
13. SAM PRICE: *Cantilevered staircases*, Architectural research quarterly. Vol. 1. 1996, pp. 76-87
14. SOBÓ J.: *Erdészeti Építéstan*, Soproni Egyetem; Sopron 1998, 1-2. kötet
15. TÖRÖK Á.: *Geológia mérnököknek*; Műegyetem Kiadó, Budapest, 2007.