

# AZ IPARI BETONPADLÓK MÉRETEZÉSE MEGBÍZHATÓSÁGI ELJÁRÁS ALAPJÁN

*Huszár Zsolt\* - Szalai Kálmán\*\**

## RÖVID KIVONAT

A ipari betonpadlókat jelenleg az évszázados múlttal rendelkező, megengedett feszültségek alapján méretezik. Az eljárás keretében a tervező a rugalmasságtan elvei szerint meghatározza a megrendelő által megadott használati teherből a tömörített talajon fekvő betonpadló szélső szálában keletkező legnagyobb feszültséget, ami nem lehet nagyobb a megengedett feszültségnél. A megengedett feszültség a beton hajlítási húzószilárdságának egy biztonsági tényezővel osztott értéke. A megengedett feszültség szerinti eljárás keretében felhasznált egyetlen biztonsági tényező értéke tapasztalati úton alakult ki. Az ipari betonpadlók iránti kereslet növekedésével párhuzamosan a használati követelmények (esztétikai, üzemeltetési, terhelési szempontból) fokozatosan finomodtak. Ezen igényeket a tapasztalati úton kialakult egyetlen biztonsági tényező módszerrel már nem lehet kielégíteni.

Az ipari betonpadló méretezési eljárása a matematikai statisztika és valószínűségelmélet eszköztárát felhasználó megbízhatósági elméletre alapítottan korszerűsíthető. A kidolgozott új méretezési eljárásunkat az alábbiakban foglaljuk össze.

A megbízhatósági módszerre alapított eljárás a komplex (megvalósítás és fenntartás) költségek minimumára tekintettel a vállalható kockázat, vagy az elegendő biztonság elvét használja, tekintettel a kivitel/használat során kialakuló/meglévő bizonytalanságokra.

## 1. A MEGBÍZHATÓSÁGI MÓDSZER ÉS ANNAK ALKALMAZÁSA BETONPADLÓRA

### 1.1. A megbízhatósági módszer alapösszefüggése

A kész betonpadló szempontjából az esztétikailag kedvezőtlen, illetve esetenként a használatot is korlátozó repedezettség a teherviselő szerkezetekre vonatkozó szabályzatok, illetve előírások szerint, használhatósági határállapotnak minősül. A határállapotok elkerülését a szokásos esetekben a különböző szabályzatok az illető határállapot következményétől függő biztonsági tényezők előírásával teszik lehetővé.

A méretezési szabályzatok nem foglalkoznak részletesen ipari betonpadlók tervezésével és ezen belül a mértékadó határállapot megadásával. Hiánypótló jelleggel a megbízhatósági eljárás [1] felhasználásával kidolgoztuk az alábbiakban bemutatásra kerülő, az ipari betonpadlók méretezéséhez használható méretezési eljárást. A tervezési eljárás

---

\* okl. építőmérnök, tudományos munkatárs, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

\*\* okl. mérnök, MTA doktor, kutató professzor, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

lényegében a megbízhatósági módszerre épített úgynevezett globális biztonsági tényezőre alapított méretezési eljárás.

A globális biztonsági tényezőre alapított méretezési eljárás alkalmazása a vizsgált határállapot – jelen esetben a repedezettség – optimális valószínűséggel való elkerülését biztosítja. Mistéth felfogása [2] szerint ez az alábbi egyenlőtlenség teljesülését jelenti:

$$\text{Prob}\{f_{ctm} - \sigma_{E,\max} = \Delta \geq 0\} \geq 1 - p_{opt} \quad (1)$$

Ez azt jelenti, hogy a padlóbeton a húzószilárdsága ( $f_{ctm}$ ) várható értékének – a teher és a szilárdság szórását figyelembe véve –  $1 - p_{opt}$  valószínűséggel nagyobbak kell lennie a teherből számítható  $\sigma_{E,\max}$  maximális húzófeszültségénél. Ezt az alábbi  $\gamma_m^*$  globális biztonsági tényező alkalmazásával érhetjük el

$$\gamma_m^* = \frac{R_m}{Q_m} = \left[ (1 - \beta \cdot \alpha_Q^{(-)} \cdot v_Q) \right] \exp(\beta \cdot \alpha_R^{(+)} \cdot v_R) \quad (2)$$

A fenti összefüggést betonpadlóra vonatkoztatva:

- $R_m$  a padlóbeton húzószilárdságának várható értéke,
- $Q_m$  a teherből származó szélsőszál húzófeszültség várható értéke,
- $v_Q$  a teher és a padló alatti ágyazás relatív szórásának együttes értéke
- $v_R$  a betonpadló teherbírásának illetve szilárdságának relatív szórása
- $\alpha_Q^{(-)}$  a teherre, mint statisztikai változóra vonatkozó érzékenységi tényező
- $\alpha_R^{(+)}$  a szilárdságra, mint statisztikai változóra vonatkozó érzékenységi tényező
- $\beta$  a biztonsági mérőszám.

## 1.2. Az optimális kockázat

A módszer alkalmazásának kulcsa az építmény létesítésével vállalható optimális kockázat ( $p_{opt}$ ) meghatározása. Ez a  $\delta$  kárhányad függvénye [2, 3]

$$p_{opt} = \frac{1}{b\delta} \quad (3)$$

ahol:

- $b$  a szerkezet típusától függő tényező, melynek értéke 50-80 közé esik
- $\delta$  kárhányad, ami

$$\delta = \frac{D}{C_0},$$

ahol:

- $D$  az építmény nem kívánt állapotának kialakulásával (a mi esetünkben ez a repedezettség) létrejövő összes kár. (Ennek tartalmaznia kell az esztétikai oldalról jelentkező erkölcsi kárt, vagy a felújítással, esetleges műgyanta bur-

kolatkészítéssel kapcsolatos többlet költségeket. Ide értendő pl. a felújítás időtartama alatt bekövetkező termelés kiesés, üzleti veszteség).

$C_0$  a szerkezet, azaz a betonpadló teljes építési költsége.

Nézzük meg, hogy a fenti paraméterek hogyan határozhatók meg.

A  $D$  káreseménnyel kapcsolatos komplex költséget a  $C_0$  építési költség valahányszorosaként célszerű felvenni. A vizsgált esetek gazdaságossági szempontból való mérlegelése alapján ítélve, a károsodás  $D$  mértékét illetően három használhatósági kategóriát célszerű megkülönböztetni ( $b = 80$  felvétele mellett)

- $D = 1.25 \cdot C_0$

A repedezettség csak esztétikailag zavaró, de ez sem kritikus. Elegendő a repedések egyszerű műgyantás kiinjektálása. A javítás nem sürgető, akkorra időzíthető, amikor a csarnokban folyó tevékenységet a legkisebb mértékben zavarja, a javítás utáni sötétebb érzetek nem okoznak esztétikai problémát.

- $D = 4 \cdot C_0$

A csarnokban a padlóval szemben támasztott esztétikai igény már magasabb szintű, továbbá az esetleges javítás idején nem elhanyagolható mértékű termelés kieséssel kell számolni.

- $D = 12.5 \cdot C_0$

Igényes kialakítású csarnokban fokozottak az esztétikai elvárások. A padló simasága technológiai igény a magas – elektronikusan vezérelt – a targoncák zavartalan működése érdekében. Az esetleges javítás nagyon költséges, mert csak a padló feltörésével, vagy többrétegű, drága műanyag bevonat készítésével oldható meg. A javítás alatt elveszített üzemidő költsége nagy.

A fentiek kategóriákhoz rendre a  $p_{opt} = 10^{-2}$ ;  $3 \cdot 10^{-3}$ ;  $10^{-3}$  tartozik.

### 1.3. A $\beta$ biztonsági mérőszám

A  $\beta$  lényegében azt mutatja meg, hogy a húzószilárdság és az igénybevételből származó húzófeszültség várható értékének különbsége e két jellemző együttes szórásának hányszorosa.

A különböző  $p_{opt}$  értékéhez tartozó  $\beta$  biztonsági mérőszámok értékeit – abban az esetben, ha az eloszlásoknak nincs ferdeségük – az 1. táblázatban foglaltuk össze [2].

1. táblázat. A  $\beta$  biztonsági mérőszámok

$p_{opt}$	$\beta$
$10^{-2}$	2.326
$3 \cdot 10^{-3}$	2.745
$10^{-3}$	3.090

#### 1.4. A globális biztonsági tényező meghatározása

A globális biztonsági tényező meghatározásához csak a domináns esetleges terhet, a foltszerűen megoszló targoncaterhet használtuk fel, mivel az önsúly nem okoz igénybevételt, továbbá a csúsztató fóliára fektetett, alacsony vízcement-tényezőjű lemez zsugorodása sem okoz jelentős feszültségeket. A parciális tényező ( $\gamma_m^*$ ) értékei függnek a  $p_{opt}$  értékeitől (I. II. és III. eset), a padlót érő hatásoktól, melyre a megrendelő  $\nu_Q = 5, 10, 15\%$  relatív szórással tud becslést adni, illetve a padló beton húzószilárdságától, melyre a kivitelező  $\nu_R = 5, 10, 15\%$  relatív szórással tud becslést adni (2. táblázat).

2. táblázat. A  $p_{opt}$ -okhoz tartozó  $\gamma_m^*$  parciális tényezők

minőségi osztályok	III.			II.			I.		
	$\nu_Q=0.05$	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15	0.05	0.10	0.15
$\nu_R=0.05$	1.183	1.285	1.399	1.215	1.335	1.468	1.238	1.369	1.516
0.10	1.309	1.391	1.494	1.368	1.466	1.587	1.410	1.518	1.653
0.15	1.465	1.536	1.629	1.561	1.646	1.759	1.628	1.724	1.852

A betonpadló erőjátékának speciális vonása, hogy az ágyazat merevségére, és e merevség térbeli változására nagyon érzékeny. Tekintettel arra, hogy a számítási eljárások ezt nem tudják követni, indokolt a számítási modellben rejlő bizonytalanság miatt további,  $\gamma_{modell} = 1.05$  értékű parciális-módosító tényezőt célszerű figyelembe venni.

A 2. táblázatban megadott parciális tényező ( $\gamma_m^*$ ) alapértéke, mely értéket a számítási modell bizonytalanságára tekintettel szorzandó a  $\gamma_{modell} = 1.05$  parciális módosító tényezővel, így a tervezési globális biztonsági tényező:

$$\gamma_m = \gamma_m^* \cdot \gamma_{modell} \quad (4)$$

## 2. A SZÁLERŐSÍTÉSŰ PADLÓBETON SZILÁRDSÁGÁNAK VÁRHATÓ ÉRTÉKE

Kísérleti tapasztalatok és elméleti következtetések alapján ítélve a szálerősítésű padlóbeton teherbírását a szilárdság húzási szilárdságának várható értéke határozza meg. A felületszerkezet és a szálerősítéssel anyag korlátozott képlékeny alakváltozó képessége

ugyanis együttesen kiegyenlítődést teremt a síkban elterülő, egymástól különböző szilárdságú zónák között. A lemezszerkezet e kiegyenlítő képességéből kiindulva elfogadjuk, hogy a szálerősített lemez teherbírását a beton húzási szilárdságának várható értéke határozza meg. Az Eurocode-2 szerint a beton húzási szilárdságának várható értéke:

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3} \quad (5)$$

módon határozható meg, ahol

$f_{ck}$  a beton karakterisztikus szilárdsága (3. táblázat)

3. táblázat. Betonok húzószilárdságának várható értéke

Jel	C25/30	C30/37	C35/45
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	25	30	35
$f_{ctm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3.02	3.31	3.65

A hajlítási húzószilárdság [4] várható értéke

$$f_{Rd} = f_{ctm} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad (6)$$

ahol:

$\alpha_1$  a száltartalom alapján tapasztalati alapon javasolható módosító tényező, ami

$$\alpha_1 = 1.0 + \frac{q_{sz} - 20}{50} \quad \text{és} \quad 1.0 \leq \alpha_1 \leq 1.5 \quad (7/a)$$

továbbá  $q_{sz}$  a száltartalom [kg/m<sup>3</sup>]

$\alpha_2$  a lemezvastagságot figyelembevevő módosító tényező az EC-2 szerint, ami

$$\alpha_2 = 1.6 - \frac{h}{1000} \geq 1.0 \quad (7/b)$$

ahol  $h$  a lemezvastagság [mm].

### 3. A TERHEKBŐL ÉS EGYÉB TERHELŐ HATÁSOKBÓL SZÁRMAZÓ HÚZÓFESZÜLTÉG VÁRHATÓ ÉRTÉKE

Az idevonatkozó vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a foltszerű teher alatti pozitív nyomatéki repedés megelőzi a negatív, azaz a lemez felső felületén megjelenő repedést. Ennek megfelelően a Westergaard [5] formulája használható a lemez alsó síkjában keletkező, mértékadó  $\sigma_{max}$  hajlítási húzási feszültségek kimutatásához. A foltszerű teherből a lemez szélén ill. az esetleges vakfűgánál a húzófeszültség értéke:

$$\sigma_{t,a} = 0,529 \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \frac{Q}{h^2} \left[ \log_{10} \left( \frac{E \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,71 \right] \quad (8)$$

ahol:

$Q$  a lemezt terhelő megoszló teher eredője vagy koncentrált teher

$\nu$  Poisson tényező

$h$  a padlólemez vastagsága

$E$  a padlóbeton effektív rugalmassági modulusa, azaz

$$E = \frac{E_{b0}}{1 + \varphi},$$

melyben  $\varphi$  a beton kúszási tényezője,  $E_{b0}$  a beton pillanatnyi teherre vonatkozó rugalmassági modulusa,

$k$  az ágyazási tényező

$b$  a teher megoszlását jellemző paraméter, mely

$$b = \sqrt{1.6c^2 + h^2} - 0.675h \quad \text{ha } c < 1.724h \quad \text{ill.}$$

$$b = c \quad \text{ha } c > 1.724h,$$

melyben  $c$  annak a kör alakú területnek a sugara, amelyen a  $Q$  erő megoszlik. A fenti képlet végtelen kiterjedésű lemez belső pontjára vonatkozik.

A zsugorodásból származó feszültség

$$\sigma_{d, \text{zsug}} = 0,5 \cdot c_0 \cdot L \cdot \frac{g}{h} \quad (9)$$

ahol:

$g$  a megoszló teher intenzitása,

$c_0$  súrlódási tényező,

$L$  a jellemző táblaméret

A lemezmező szélén az alsó síkban a feszültség várható értéke a folszerű teher és a zsugorodás okozta feszültség összegezésével adódik.

#### 4. A BETONPADLÓ TEHERBÍRÁSÁNAK IGAZOLÁSA

A teherbírás és a mértékadó húzófeszültség várható értékei alapján a betonpadló biztonsága, illetve teherbírása megfelelő, ha

$$\sigma_{Sd} = \gamma_m \cdot \sigma_{\max} \leq f_{Rd} \quad (10)$$

feltétel teljesül, ahol  $\gamma_m$  globális biztonsági tényező (4) szerint, mely a számítási modell bizonytalanságát ( $\gamma_{modell}$ ) és a beton szilárdsági osztályától és a szerkezet használhatóságát kifejező kategóriától függő  $\gamma_m^*$  parciális tényező szorzata.

## 5. AZ ELJÁRÁS GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

Az elvégzett vizsgálatok és számítások eredményei alapján az ipari betonpadló méretezése, megvalósítása az alábbiak szerint hajtható végre.

### 5.1. A betonpadló használhatósági kategóriájának kiválasztása

A padló meghibásodásához – feltűnő repedezettséghez – tartozó,  $\delta = \frac{D}{C_0}$  kárhányad mértéke alapján három használhatósági vagy minőségi kategóriát megkülönböztetését javasoljuk.

#### *I. Használhatósági osztály*

Az esetleges meghibásodással járó kár az építési költséget jelentősen meghaladja, a kárhányad magas. Ilyen magas költséghányaddal lehet számolni az automatizált rak-tárak és vásárlók által használt igényes áruház esetében. Ilyen esetben az üzem-technológiai igények, vagy a vásárlók esztétikai elvárásai miatt fokozottan igényes felületi kialakításra van szükség. Az esetleges javítás vagy a padló feltörésével, vagy többretegű, költséges kiegészítő javítási bevonattal, magas költségvonzattal oldható meg.

#### *II. Használhatósági osztály*

Az esetleges meghibásodással járó kár az építési költséget közepes mértékben haladja meg, a kárhányad közepes. Ilyen közepes kárhányaddal lehet számolni olyan ipari üzem (pl. finommechanika) esetében, ahol az esztétikai igény kisebb, de az esetleges javítás idején nem elhanyagolható mértékű termeléskieséssel kell számolni. Ide tartoznak az üzletsarnokok árusítási célú helyiségei is, ahol az esztétikai igény közepes és az esetleges javítás ideje alatt az árusítást részben (részlegesen) kell szüneteltetni.

#### *III. Használhatósági osztály*

Az esetleges meghibásodással járó kár az építési költséget kismértékben haladja meg, a kárhányad alacsony. Ilyen alacsony kárhányaddal lehet számolni az olyan ipari üzem (pl. mechanikai megmunkáló műhely) esetében, ahol az esztétikai igény csekély és az esetleges egyenetlenség nem zavarja a technológiát. Az esetleges felület-javítások az üzemelést kismértékben zavarják és a javított felület, nem okoz gondot.

### 5.2. A globális biztonsági tényező meghatározása

A gyakorlati számítás szempontjából feltételezhető, hogy a betonpadló használati terhének és a padló alatti talaj ágyazási tényezőjének együttes relatív szórása  $v_Q = 0.15$ , illetve  $v_Q = 0.10$ . A két érték közül I osztályhoz 0.15, míg a II. és III. használhatósági osztályhoz pedig 0.10 érték tartozik. A betonpadló szilárdságának relatív szórása  $v_R = 0.05$  értékűnek vehető fel. A relatív szórás ezen feltételezett értékihez 2. táblázatból

nyerhető  $\gamma_m^*$  parciális tényezőt a 4. táblázat 1. sorában tüntetjük fel. A számítási modell bizonytalanságát az Eurocode-2 alapelveire hivatkozva  $\gamma_{modell} = 1.05$  értékű tényezővel célszerű figyelembe venni. A betonpadló tervezésénél számításba veendő  $\gamma_m$  globális biztonsági tényező (4) szerinti értékei a 4. táblázatban találhatók.

4. táblázat. A globális  $\gamma_m$  biztonsági tényezők a minőségi osztályokhoz.

Osztály	III.	II.	I.
$\gamma_m^*$	1.285	1.335	1.516
$\gamma_{modell}$	1.05	1.05	1.05
$\gamma_m$	1.35	1.40	1.60

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A méretezési eljárás során a számítás közvetlen feladata a használat, illetve a kivitel (megvalósítás) bizonytalanságait figyelembe vevő vállalható kockázat mellett, egy globális biztonsági tényező kimutatása a betonpadlók repedésmentességét feltételezve, tekintettel a vastagság mentén változó gátolt zsugorodásból származó igénybevételekre is. Az eljárás gyakorlati alkalmazásának elősegítése céljából a tervezési folyamathoz közvetlenül használható méretezési eljárást dolgoztunk ki. Ez a módszer lehetőséget biztosít a Megrendelő igénye szerinti használati és esztétikai követelmények figyelembevételével meghatározható minőségi kategóriák alapján való tervezésre.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fenti tanulmány a Pro Progresszió Alapítvány, az MTA Támogatott kutatóhelyek irodája Vasbeton Kutatócsoportjának részvételével és a T-32055 számú OTKA támogatásával készült.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Szalai K.: *Vasbetonszerkezetek*. Tankönyvkiadó. Budapest 1990.
- [2] Mistéth E.: *Erőtani méretezés valószínűségelméleti alapon*. ÉTK. 1974.
- [3] Kármán T.: *A szerkezetek erőtani vizsgálatának néhány valószínűségelméleti problémájáról*. ÉTI Budapest. 1965.
- [4] Szalai K. – Huszár Zs.: *Ipari betonpadlók erőtani vizsgálata*. (Időközi jelentés 2003. július. Pro Progresszió Alapítvány részére).
- [5] Thimoshenko, S. - Woinowsky - Krieger: *Lemezek és héjak elmélete*. Műszaki Könyvkiadó Budapest 1966.