

## **Vizsgálati-kutatási terv a padlóbetonokra készülő Műszaki Előíráshoz**

### *1. Bevezetés*

Egy 2010. évi kutatás-fejlesztési program keretében az Esztrich és Ipari Padló Egyesület (továbbiakban: EIP) külső szakértők és finanszírozók bevonásával egy K+F program keretében megkezdte egy, az ipari padlók tervezése és kivitelezése terén a gyakorlatban is várhatóan jól használható Műszaki Előírás elkészítését.

Erre a K+F munkára azért van szükség, mert az ipari padlóknak az épülethez viszonyított értéke, valamint a velük szemben támasztott elvárások a korábbi időszakokhoz képest jelentősen megnöttek; ugyanakkor számos olyan meghibásodás jelentkezik a beltéri ipari padlók használata során (pl. táblafelhajlás, táblaszéli/táblasarki repedezések, süllyedések), amelyek a szerkezet tartósságát, megfelelő teljesítőképességét kedvezőtlenül befolyásolják.

A készülő Műszaki Előírás tartalmazza a különböző igénybevételeknek megfelelő padlószerkezet (altalaj, ágyazat, betonpadló) tervezési, készítési és ellenőrzési szempontjait.

A Műszaki Előíráshoz kapcsolódik jelen vizsgálati-kutatási terv is, mely a padlószerkezetek megnövelt teljesítőképességét érintően, elsősorban a megszilárdult beton zsugorodási hajlama csökkentésének és a hajlító-húzószilárdság növelésének a megvalósítására, az ezt célzó összetétel-tervezési irányelvek kidolgozására fókuszál. A vizsgálati-kutatási terv során mért eredmények egyben olyan első típusvizsgálatnak tekinthetők, melyek alapját képezik az ipari padlókhöz javasolt betonkeverékek 3/2003. (I.25.) BM-GKM-KvVM együttes rendelet szerinti megfelelésig igazolásának.

Mindemellett, már itt is hangsúlyozni kell, hogy a gyakorlatban jelentkező minőségi problémák kezeléséhez, ill. azok megelőzéséhez nem elegendő a beton teljesítőképességének növelése. Ehhez olyan komplex adatszolgáltatás, tervezői-kivitelezői szemlélet és gyakorlat is szükséges, amellyel hosszútávon biztosítható mind beton jellemzőinek, mind pedig a szerkezet statikai modellje szempontjából legfontosabb elem, az alépítmény támaszmozgásának kis szórása. Ezért a Műszaki Előírás részletesen taglalja a statikai tervezéshez, az alépítményhez, a betontechnológiához és az üzemeltetéshez kapcsolódó szempontokat is.

A Műszaki Előírás tartalmazza a készítők, véleményezők, közreműködők névsorát, valamint lehetőséget ad a rövid bemutatkozásra azon támogató szervezeteknek, akik elősegítik a Műszaki Előírás megjelenését.

### *2. A vizsgálati-kutatási terv előzményei*

A 2010.05.21-i egyeztetést követően a résztvevő feleknek (BTC, KTI, EIP) 05.24-én megküldött levelemben problémaként jeleztem, hogy a jelenleg ismert közreműködő-támogató cégek igényei kielégítéséhez olyan mennyiségű kísérleti keverék előállítására volna szükség (432 db összetétel), amely önmagában nagyon megnehezíti a vizsgálati-kutatási terv realizálását.

A megfogalmazott elvárások szerint a kísérleteknél vizsgálni kell az adalékváz típusának (zúzottköves és homokos kavicsos), legalább 3 féle cementpéptartalomnak, legalább 3 féle víz-cement tényezőnek, 4 féle cementtípusnak, 2 féle folyósító adalékszernek és 2 féle zsugorodáscsökkentő adalékszernek a hatását a betonkeverék konzisztenciájára, eltarthatóságára, a megszilárdult beton hajlító-, hasító- és nyomószilárdságára, valamint zsugorodására.

A vizsgálati-kutatási terv megvalósíthatósága érdekében célszerűnek láttam a kísérlettervezés matematikai modellezésében is jártas betontechnológus szakember (Pekár Gyula - Alba Qualit Bt) bevonását is a munkába. Közös kialakított kísérleti tervünkben

megpróbáltunk megfelelni annak az igénynek, hogy egyrészt matematikailag korrekt módon határozzuk meg a kísérleti beállításokat, másrészt azonban a kísérletek száma legyen korlátozott, azaz jóval alacsonyabb, mint a kiindulási állapot szerinti 432 kísérlet. Minderre az időszükséglet és a költségek csökkentése érdekében van szükség; meg kell találni azt az optimumot, amely még kellő információt ad a vizsgálat tárgyát képező objektum viselkedéséről -elősegítve a teljesítőképesség megtervezhetőségét-, bár a kísérleti beállítások száma nem éri el a teljeskörűség mértékét.

### 3. Röviden a matematikai modellekről

A betontechnológiában régóta foglalkoznak a megfigyelt jelenségeknek matematikai modellekbe foglalásával (pl. a víz-cement tényező és a nyomószilárdság kapcsolata Feret, Abrams, Bolomey, Palotás, Ujhelyi munkáiban). A beton esetében azért különösen nehéz értékelní az alkotórészek és az egész kölcsönhatását, mivel a végtermékre nagyszámú összetételbeli, készítési és igénybevételi tényező van hatással, amely tényezők és azok hatásai nehezen foglalhatók egységes modellbe.

A betonösszetételek vizsgálatánál ezért óhatatlanul mindig „kevés” az elvégzett kísérletek száma ahhoz, hogy az anyagi-minőségi jellemzőket minden lehetséges esetben azok alapján tervezni, vagy optimalizálni lehessen, azaz mindig marad bizonytalanság, illetve az egyes következtetések érvényességi tartománya korlátozott. Ez a megállapítás a csökkentett számú jelen kísérletekre is igaz, ugyanakkor a felhalmozódott műszaki tapasztalatok és tudás kellő alapot jelent arra, hogy a csökkentett számú kísérleteket a lényeges tényezők hatásaira fókuszáljuk.

Jelen kutatásunk célja nem más, mint általában is: optimumok keresése. Ebben a matematikai modellezés akkor lehet segítségünkre, ha egy folyamat megvalósíthatósága már bizonyossá vált, „csak” meg kell keresni a megvalósítás „legjobb” (vagyis optimális) feltételeit. Az adott esetben ez az összetétel bizonyos tulajdonságokra történő optimalizálását jelenti, hiszen a padlókészítés egyéb, a kivitelezés-technológiához tartozó megvalósítási feltételeit (pl. szivattyúzhatóság, felületképzés, keménysztrich besimíthatósága, stb.) ez a modell nem tartalmazza. Az anyagmodell alapján optimálisnak ítélt összetételeket a kutatás egy következő fázisában, a gyakorlati kivitelezés során lehet és kell megvizsgálni.

A kísérlettervezés során mindig pontosan meghatározható egy feladat megoldásához szükséges kísérleti beállítások száma; a folyamat összes hatótényezője (változója) egyidejűleg variálható speciális szabályok szerint, amely matematikai formalizmusokkal leírható.

Alkalmazott matematikai modellünk ebben az esetben egy  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k)$  függvény megismerésének eljárását célozza, ahol  $y$  az optimalizálandó célparaméter (pl. a beton zsugorodása, hajlítószilárdsága, a friss keverék konzisztenciája, stb.) az  $x_i$  pedig a hatótényezők más szóval „faktorok”. (Pl. pépmennyiség,  $v/c$ , stb.)

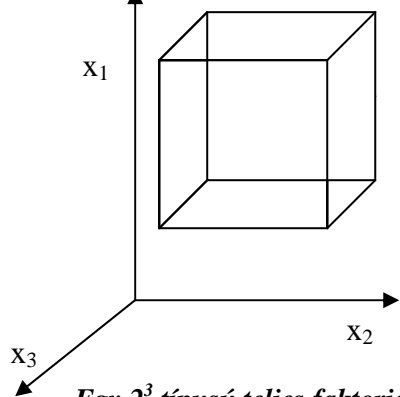
A meghatározandó ismeretlen függvény Taylor-sorba fejtvé polinommá alakítható:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + \dots, \text{ ahol}$$

$y$  - az optimalizációs paraméter  
 $b_0, b_1, \dots$  - a polinom együtthatói  
 $x_1, x_2, \dots$  - a faktorok (független változók).

A kísérletek – a matematikai értelmezés szerint - az együtthatók értékeinek meghatározásához szükségesek.

Ha egy faktort két szinten vizsgálunk és  $k$  számú faktorunk van, akkor  $2^k$  típusú teljes faktoriális kísérletről beszélünk. Az egyszerűség kedvéért vizsgáljunk meg egy 3 faktort tartalmazó kísérletet, amit tulajdonképpen egy kocka szimbolizál. A  $2^3$  típusú teljes faktoriális kísérlet beállításai a faktortérben egy kocka csúcspontjaiban vannak.



Egy  $2^3$  típusú teljes faktoriális kísérlet geometriai ábrázolása

Ha a faktorok száma háromnál több, geometriai ábrázolásuk már nem lehetséges, de az idom, amely a megfelelő többdimenziós térben megadja a kísérletezési tartományt, mégis a kocka valamilyen analógjának tekinthető, ezért hiperkockának is nevezik.

A polinom együtthatói mutatják meg az egyes faktorok hatásának erejét.

#### 4. A modell alkalmazása jelen kísérlettervünk során

Ha a faktorok összes lehetséges szintkombinációja realizálódik, azt teljes faktoriális kísérletnek nevezük (lásd 1. és 2. táblázat). A faktorok beállított értékeit szinteknek (faktorszint) nevezük. A faktorok nemcsak mennyiségi lehetnek (pl.  $V_{pép}$ ), hanem minőségi is (pl. adagolunk-e zsugorodáscsökkentő szert vagy sem, cement típusa,  $d_{max}$ ).

### Teljes faktoriális kísérlet beállításai

1. Táblázat

zúzottkőtartalom 3 kísérleti szint			péptartalom 3 kísérleti szint		v/c-tényező 3 kísérleti szint			zsugor.csökk.ad.szer 2 kísérleti szint			
Váz	-1	0% zúzottkő	Pép	-1	250 $l/m^3$	v/c	-1	0,4	Zsugor. csökkentő	-1	igen
	0	40% zúzottkő		0	280 $l/m^3$		0	0,5		1	nem
	1	65% zúzottkő		1	310 $l/m^3$		1	0,6		1	nem

### Teljes faktoriális kísérlet terve

2. Táblázat

Nö	Váz	Pép	v/c	Zs.csökk.	Nö	Váz	Pép	v/c	Zs.csökk.
1	-1	-1	-1	-1	28	-1	-1	-1	1
2	-1	-1	0	-1	29	-1	-1	0	1
3	-1	-1	1	-1	30	-1	-1	1	1
4	-1	0	-1	-1	31	-1	0	-1	1
5	-1	0	0	-1	32	-1	0	0	1
6	-1	0	1	-1	33	-1	0	1	1
7	-1	1	-1	-1	34	-1	1	-1	1
8	-1	1	0	-1	35	-1	1	0	1
9	-1	1	1	-1	36	-1	1	1	1
10	0	-1	-1	-1	37	0	-1	-1	1
11	0	-1	0	-1	38	0	-1	0	1
12	0	-1	1	-1	39	0	-1	1	1
13	0	0	-1	-1	40	0	0	-1	1
14	0	0	0	-1	41	0	0	0	1
15	0	0	1	-1	42	0	0	1	1
16	0	1	-1	-1	43	0	1	-1	1
17	0	1	0	-1	44	0	1	0	1
18	0	1	1	-1	45	0	1	1	1
19	1	-1	-1	-1	46	1	-1	-1	1
20	1	-1	0	-1	47	1	-1	0	1
21	1	-1	1	-1	48	1	-1	1	1
22	1	0	-1	-1	49	1	0	-1	1
23	1	0	0	-1	50	1	0	0	1
24	1	0	1	-1	51	1	0	1	1
25	1	1	-1	-1	52	1	1	-1	1
26	1	1	0	-1	53	1	1	0	1
27	1	1	1	-1	54	1	1	1	1

Ebben az esetben a 4 faktor (adalékváz típusa, péptartalom, v/c-tényező, zsugorodáscsökkentő szer) mellett 54 db kísérletet kell elvégezni 1 cementtípus és 1 folyósítószer alkalmazása esetén.

Négy cementtípus és két adalékszer mellett a vizsgálatok száma  $54 \times 4 \times 2 = 432$  db.

**Kísérleti beállítások a vizsgálati számok csökkentése után**

Mivel a teljes faktoriális kísérlet elvégzése időben, munkában és költségekben túlzottnak tűnt, ezért készítettünk egy, csökkentett kísérleti beállítást tartalmazó tervet is.

Ez csak két adalékváz típust tartalmaz: egy 100% homokos kavicsból, ill. egy 45% zúzottkőből + 55% homokos kavicsból álló vázat. Emellett egyéb egyszerűsítéseket is alkalmaztunk a kísérletek számának csökkentéséhez, így a teljes faktoriális kísérlet beállításait kb. a tizedére csökkentettük.

**A négyféle cementtípust és a két adalékszer családot is figyelembe véve a kísérleti beállítások száma 60 db-ra csökkenthető.**

E terv szerint mindegyik cementtípushoz hozzárendeljük valamennyi v/c-tényezőt és valamennyi péptartalmat, hogy a cementtípusra esetleg jellemző és kifejezetten a péptartalomtól vagy a v/c-tényezőtől függő zsugorodás hatását is megfigyelhessük.

Kétfajta cementtípusból 10-10 db keverék, míg a másik kétfajta cementtípusból 20-20 db keverék készül, mert a zsugorodáscsökkentő adalékszerek hatásának vizsgálatát két cementtípussal való kombinációra csökkentettük le.

Az adalékváz hatására mindegyik cementtípus, mindegyik v/c-tényező, mindegyik péptartalom és mindegyik adalékszer párosítás mellett kapunk adatokat.

A csökkentett számú kísérleti beállítások faktorszintjeit, a szintekhez tartozó mennyiségi vagy minőségi jellemzőket rövidítve a 3. és 4. sz. táblázat, az egyes összetételek kísérleti beállításait pedig az 5. sz. táblázat tartalmazza.

**Csökkentett számú kísérleti beállítások faktorai és kísérleti szintjei****3. Táblázat**

Cementtípus 4 kísérleti szint		Váz 2 kísérleti szint		Péptartalom 3 kísérleti szint		v/c-tényező 3 kísérleti szint		Adalékszerpárosítás 4 kísérleti szint	
pc	-2 „A”	-1	0% zúzottkő	-1	250 l/m <sup>3</sup>	-1	0,4	Folyósító + zsugor. csökk.	-2 „F1”+ „Zs1”
	-1 „B”								-1 „F1”
	1 „C”	1	0	0,50	1 „F2”				
	2 „D”	1	310 l/m <sup>3</sup>	1	0,60	2 „F2”+ „Zs2”			

**4. Táblázat**

Szintek	Cement	Adalékszer	Váz	Pép	v/c
-2	„A”	F1+Zs1			
-1	„B”	F1	0% ZK	0,250	0,40
0				<b>0,280</b>	<b>0,50</b>
1	„C”	F2	45% ZK	0,310	0,60
2	„D”	F2+Zs2			

**Csökkentett számú kísérletek terve**

(60 db összetétel)

5. Táblázat

№	Cement	Adalékszer párosítás	Váz	Pép	v/c	№	Cement	Adalékszer párosítás	Váz	Pép	v/c
1	-1	1	-1	-1	0	31	2	-1	-1	-1	0
2	-1	1	-1	0	-1	32	2	-1	-1	0	-1
3	-1	1	-1	0	0	33	2	-1	-1	0	0
4	-1	1	-1	0	1	34	2	-1	-1	0	1
5	-1	1	-1	1	0	35	2	-1	-1	1	0
6	-1	-1	1	-1	0	36	2	1	1	-1	0
7	-1	-1	1	0	-1	37	2	1	1	0	-1
8	-1	-1	1	0	0	38	2	1	1	0	0
9	-1	-1	1	0	1	39	2	1	1	0	1
10	-1	-1	1	1	0	40	2	1	1	1	0
11	1	-1	-1	-1	0	41	-2	2	-1	-1	0
12	1	-1	-1	0	-1	42	-2	2	-1	0	-1
13	1	-1	-1	0	0	43	-2	2	-1	0	0
14	1	-1	-1	0	1	44	-2	2	-1	0	1
15	1	-1	-1	1	0	45	-2	2	-1	1	0
16	1	1	1	-1	0	46	-2	-2	1	-1	0
17	1	1	1	0	-1	47	-2	-2	1	0	-1
18	1	1	1	0	0	48	-2	-2	1	0	0
19	1	1	1	0	1	49	-2	-2	1	0	1
20	1	1	1	1	0	50	-2	-2	1	1	0
21	-2	1	-1	-1	0	51	2	-2	-1	-1	0
22	-2	1	-1	0	-1	52	2	-2	-1	0	-1
23	-2	1	-1	0	0	53	2	-2	-1	0	0
24	-2	1	-1	0	1	54	2	-2	-1	0	1
25	-2	1	-1	1	0	55	2	-2	-1	1	0
26	-2	-1	1	-1	0	56	2	2	1	-1	0
27	-2	-1	1	0	-1	57	2	2	1	0	-1
28	-2	-1	1	0	0	58	2	2	1	0	0
29	-2	-1	1	0	1	59	2	2	1	0	1
30	-2	-1	1	1	0	60	2	2	1	1	0

*Példák:* Az 1. sorszámú kísérleti beállításhoz (-1, 1, -1, -1, 0) tartozik:

- „B” cementtípus,
- „F2” folyósítószer,
- 100% homokos kavicsból álló adalékváz,
- $V_{pép} = 250 \text{ l/m}^3$  cementpép tartalom,
- $v/c = 0,50$  víz-cement tényező,

ahol a jelölt anyagsűrűségek és nedvességtartalmak mellett pl. az  $1,0 \text{ m}^3$ -re vonatkozó összetétel:

6. Táblázat

Receptura $\text{kg/m}^3$												sűrűségek $[\text{kg/m}^3]$					receptból		
A cem.	B cem.	C cem.	D cem.	AG	0/4 homok $W=1,0\%$	4/8 $W=0,5\%$	8/16 $W=0,2\%$	16/32 $W=0,1\%$	ZK 11/22 $W=0,2\%$	W	$AD_{1(F)}$	$AD_{2(zs.c.s.)}$	$\Gamma_{por}$	$\Gamma_{foly}$	$\Gamma_a$	$\Gamma_{pép}$	v %	v/c	R
	296			1942	648	407	299	589	0	146	2,2	0,00	2940	1000	2621	1790	6,12%	0,50	2387

Vagy az 57. sorszámú kísérleti beállításhoz (2, 2, 1, 0, -1) tartozik:

- „D” cementtípus,
- „F2” folyósítószer + „Zs2” zsugorodáscsökkentő szer,
- 45% zúzottkővet is tartalmazó adalékváz,
- $V_{pép} = 280 \text{ l/m}^3$  cementpép tartalom,
- $v/c = 0,40$  víz-cement tényező.

7. Táblázat

Receptura $\text{kg/m}^3$												sűrűségek $[\text{kg/m}^3]$					receptból		
A cement	B cement	C cement	D cement	AG	0/4 homok	4/8	8/16	16/32	ZK 11/22	W	$AD_{1(F)}$	$AD_{2(zs.c.s.)}$	$\Gamma_{por}$	$\Gamma_{foly}$	$\Gamma_a$	$\Gamma_{pép}$	v %	v/c	R
			383	1887	624	455	0	364	446	149	2,7	1,37	3043	1001	2656	1926	6,21%	0,40	2423

