

Beltéri ipari padlók teljesítőképességének növelése

Spránitz Ferenc

1. Bevezetés

A vizsgálati-kutatási program célja a beltéri ipari padlóknál tapasztalható táblafelhajlási és táblaszéli/táblasarki repedezési problémák csökkentése.

A program a padlószervezetek teljesítőképességét érintő főbb jellemzőinek, de elsősorban a megszilárdult beton zsugorodási hajlama csökkentésének és a hajlító-húzószilárdság növelésének a megvalósítására irányul. A vizsgálati eredmények összefoglalásaként egy ajánlás készül a megnövelt teljesítőképességű ipari padlók beton anyagának készítésére. A program során mért vizsgálati eredmények egyben olyan első típusvizsgálatnak tekinthetők, melyek alapját képezik az ipari padlókhöz javasolt betonkeverékek 3/2003. (I.25.) BM-GKM-KvVM együttes rendelet szerinti megfelelés igazolásnak (példa az 1. sz. mellékletben).

2. Az MSZ EN 206-1 (MSZ 4798-1) szabványhoz való kapcsolódás

A hagyományoshoz képest csökkentett zsugorodású és megnövelt húzószilárdságú -ezáltal a táblaszéleken kisebb mértékben felhajló, valamint csökkentett repedésérzékenységgű- beton összetételének tervezéséhez a teljesítőképességhez kapcsolódó szemlélet és módszerek alkalmazását ajánlja az EN 206-1 (MSZ 4798-1) betonszabvány.

Idézet az EN 206-1 (MSZ 4798-1) szabvány bevezetőjéből:

„...Ennek az európai szabványnak a kidolgozása során fontolóra vették, hogy összeállítják a teljesítőképészen alapuló tartóssági műszaki feltételeket. Ennek érdekében kezdték meg áttekinteni a teljesítőképesség méretezési és vizsgálati eljárásait. A CEN/TC 104 szerint azonban ezek a módszerek még nem alakultak ki eléggé ahhoz, hogy ez a szabvány azokat részletesen előírja, de a bizottság elismerte, hogy néhány CEN-tagállamban bíznak a helyi vizsgálatokban és feltételekben. Ezért ez a szabvány a beton felhasználási helyén érvényes ilyen jellegű gyakorlat folytatását és fejlesztését megengedi az utasításon alapuló megközelítés alternatívájaként. A CEN/TC 104 folytatni fogja a teljesítőképességhez kapcsolódó módszerek fejlesztését a tartósság európai szintű szabályozása érdekében.”

3. A padlószervezetek teljesítőképességét befolyásoló tényezők

Az ipari padlók kellően hosszú idejű tartósságához, a megfelelő teljesítőképesség eléréséhez átfogó tervezői szemlélet szükséges. A tervezés során kompromisszumra kell törekedni a beruházói igények, a környezeti adottságok és a gazdaságos megvalósítás lehetőségei között.

Ezért az alábbi szempontok figyelembevétele javasolt:

- 3.1. az ipari padlóval szemben támasztott műszaki igények minél pontosabb megfogalmazása;
- 3.2. az igényeket várhatóan kielégítő szerkezeti kialakítás (alépitmény + padló) megtervezése,
- 3.3. a megfelelő teljesítőképességű betonösszetétel megtervezése, ezen belül
 - 3.3.1. a friss betonkeverék jó bedolgozhatósága (szükséges-e szivattyúzni a keveréket?),
 - 3.3.2. a szilárduló betonpadló repedezési hajlamának csökkentése (huzatmentesség biztosított?),
 - 3.3.3. a megszilárdult szerkezet minél kisebb zsugorodása,
 - 3.3.4. a megszilárdult beton minél nagyobb hajlító-húzószilárdsága,
 - 3.3.5. a szerkezet megfelelő kopásállósága, vegyszerállósága, stb.
- 3.4. a betonkeverék készítésének és a kivitelezés teljes folyamatának szem előtt tartása;
- 3.5. az igénybevétel időpontjának és a szilárdulás ütemének összehangolása;
- 3.6. a padlószervezet szükséges geometriai jellemzői (síkelterés, érdesség);
- 3.7. karbantartás és időszakos felülvizsgálat az üzemeltetés során.

A fenti szempontok összegzett értékelése során ellentmondások figyelhetők meg. Pl. a jó bedolgozhatóság (többnyire még szivattyúzhatóság igénye is felmerül) nagyobb péptartalmat igényel, ami növeli a zsugorodást és a repedésérzékenységet. A nagyobb hajlítózsilárdsághoz alacsonyabb víz-cement tényező szükséges, ami adott konzisztencia mellett növeli a zsugorodást. A nagyobb hajlítózsilárdságot elősegíti még a zúzott adalékanyag használata is, ez viszont a nagyobb pépigénye miatt a zsugorodáscsökkenés ellen hat. Az építetők minél nagyobb egybefüggő táblaméreteket igényelnek, így kevesebb a sérülésre fokozottan érzékeny hézag, viszont nagyobb a repedésérzékenység és a késői zsugorodás során mérhető táblaszéli felhajlás. Nagyobb mennyiségű kéregerősítő szárazhabarcs nagyobb kopásállóságot eredményez, viszont a felületi kéreg zsugorodási hajlamát is erősen megnöveli. Nagyobb hajlítási teherbírás és kisebb táblaszéli felhajlás érhető el nagyobb padlóvastagsággal, ez viszont ellentmond a gazdaságossági megfontolásoknak.

3.1. Az ipari padlóval szembeni műszaki igények

A tervezés során első lépésben -a beruházó adatszolgáltatására támaszkodva- rögzíteni kell a közlekedési és raktározási elképzeléseket. Figyelembe kell venni pl. a tárolópolcok magasságát (8 m alatt, 13 m alatt vagy afölött) és a targoncák mozgási lehetőségét (kötőtpályás vagy szabadon mozgó). Ezek az üzemeltetési kívánalmak, mint beruházói igények döntő mértékben meghatározzák egy padló adott feladatra való alkalmazhatóságát. A tervező ezekből a kívánalmakból kell, hogy kiinduljon a geometriai tűrések előírása, a betonozási technológia fajtájának (pl. hosszúcsíkos vezetősávós, vezetősáv nélküli vibrogerendás, automatikus lézerszintezővel terítő, stb.) megválasztása és műszaki leírásban való rögzítése során.

A tervezés következő lépéseként -a különböző típusú várható terhek és a talajmechanikai szakvélemény adatai alapján- elő kell írni a megkívánt ágyazási együtthatók, teherbírási modulusok értékeit, a vasalás módját vagy elhagyhatóságát, a beton hajlító-húzószilárdságát, kopásállóságát, az utókezelés módszerét, a geometriai jellemzőket, érdességet, a táblaméreteket, a dilatációs-, a szegély- és a vakhézagok helyét, a hézagok kitöltésének módját és idejét, stb.

Az ipari padló nem kívánt állapotának (pl. repedezettség, nem megfelelő síkbeli egyenletesség) vállalható, optimális kockázatát, az esetlegesen szükséges javítási módokat *a tervezőnek fel kell mérni* (pl. $p_{opt} = 10^{-2}$ vagy 10^{-3}). A BME Hidak és Szerkezetek Tanszék kiadványa (Szalai K. és Huszár Zs.: Az ipari betonpadlók méretezése megbízhatósági eljárás alapján, Műegyetemi Kiadó 2004.) és a Concrete Society TR 34 sz. kiadványa szerint repedésmentesség, műgyanta burkolat vagy igen nagy simasági igény a gyakorlatban ritkán szükséges. Ezek a megfontolások csak automatizált raktárak, vagy 13 m fölötti magasságban is zavartalanul működő targoncák, vagy különleges szerelő- feldolgozóműhelyek, vagy a vásárlók által látogatott igényes áruházak fokozott esztétikai elvárásainak megfelelő padlók esetében válhatnak szükségessé. Ilyen padlóknál az építmény nem kívánt állapotának (pl. repedezettség) kialakulásával létrejövő összes kár az építési költséget jelentősen meghaladja, a kárhányad magas. Az esetleges javítás vagy a padló feltörésével, vagy többretegű, költséges bevonattal, magas költségvonzattal oldható meg (pl. $D=12.5C_0$, ahol D az összes kár és C_0 az építési költség).

A gyakorlati esetek nagyobb részében a repedezési, síkeltérésbeli problémák csak esztétikailag zavaróak és a padlók állapota nem kritikus. A javítás nem sürgető, akkorra időzíthető, amikor a csarnokban folyó tevékenységet (technológiát, üzemelést) a legkisebb mértékben zavarja, a javítás utáni sötétebb eresztek, eltérő színű felületek nem okoznak gondot, az esztétikai igény csekély, az esetleges egyenetlenség nem zavarja a technológiát (pl. $D=1,25C_0$).

Amennyiben elmaradnak a szükséges mérések, nem rögzítik a beruházói elvárásokat, és emiatt a terhelések által keltett feszültségek, alakváltozások meghaladják az altalaj-ágyazat-padozat együttese által rugalmasan elviselhető igénybevételeket, akkor -a beton minőségi jellemzőitől

függetlenül– a padló repedezésére, törésére kell számítani.

3.2. A szerkezeti kialakítás

Bár jelen kutatási programnak nem tárgya az ipari padlók erőtani méretezése, a különböző szerkezeti kialakítások megtervezése, de a padlók nem tervezett alakváltozásai, repedései kapcsán érinteni kell ezt a témakört. Megjegyezzük, hogy a méretezési, szerkezetkialakítási kérdéseket ma legrészletesebben az alábbi kiadvány tartalmazza: *G. Lohmeyer – K. Ebeling: Betonpadlók gyártó- és raktárcsarnokokban, Publikál Kft, Budapest, 2008.*

A tervezés során figyelembe kell venni az építést megelőző és az építésközbeni talajmechanikai mérések, a talajra és az ágyazatra vonatkozó tömörségi, geometriai, összetételi, szilárdsági, alakváltozásbeli stb. vizsgálatok eredményeit. Ezek azért nem nélkülözhetők, mert a padló az alépítményével együttdolgozó teherhordó szerkezet, ezért más a méretezése, mint egy hagyományos vasbeton szerkezeté. A padlót teherbírásra méretezni az un. rugalmasan ágyazott lemezek statikája szerint kell. Ez egy bonyolult számítási módszer, melynek alapvetően fontos bemenő adata az altalaj, valamint az ágyazat teherbírási tényezője, a számítás megbízhatóságának feltétele pedig, hogy az ágyazat csak nagyon kis mértékben és rugalmasan alakváltozhat, de maradandóan nem.

3.3. Megfelelő teljesítőképességű betonösszetétel tervezése

A vizsgálati-kutatási programban elsősorban az összetétel-táblafelhajlás-húzószilárdság összefüggéseket kívánjuk a kivitelezés gyakorlatában és a használat közbeni állapotban alaposabban megismerni. Az 1. sz. táblázat mutatja be az összetétel általános hatását a padlóbeton jellemzőire.

1. táblázat

Optimalizálási teendők	
Nagy húzószilárdság	nagy cementtartalom/jó hidratáció alacsony víz-cement tényező cementtípus (CEM 52.5 jobb, mint CEM 32.5) adalékváz optimális szemmegoszlása (jobb a zúzottkő, mint a gömbölyödött kavics) alacsony levegőtartalom
Kis zsugorodás	alacsony víz- és cementtartalom alacsony víz-cement tényező cementtípus (CEM 32.5 jobb, mint CEM 52.5) optimális szemmegoszlás (kevés homok) zsugorodáscsökkentő adalékszer (SRA) minél alacsonyabb levegőtartalom
Repedésmentesség, ill. kevés repedés	száladagolás korai ráléphetőség utókezelés minél korábban ugyanazon tényezők, mint a kis zsugorodásnál gátolatlan zsugorodás
Jó (könnyű) bedolgozhatóság, szivattyúzhatóság	nagy homoktartalom nagy víztartalom és folyósítószer-tartalom nagy péptartalom nagy levegőtartalom nincs száladagolás csak gömbölyödött adalékanyag
Fenti hatásmechanizmusok egymással részben ellentétesek. Ezért minden teendőt technológiai utasítás szabályozzon, hogy az adott feladatra, az adott körülmények közötti optimális padlóbeton tulajdonságokat érjük el.	

Az ipari padlók összetételének tervezésekor a mérlegelés azért szükséges, mert a padló szerkezeteknél általában kompromisszumot kell kötni a betonösszetétel tervezőjének az egyes elvárások teljesíthetőségénél, ill. meg kell határozni a prioritásokat (pl. fontosabb a kis zsugorodás, mint a nagy kopásállóság, vagy a nagy húzószilárdság). Nem egyszerű feladat a padlóbetonok ellenállóképességi jellemzői mindegyikének a gazdaságos elérése és a szükséges szinten tartása. A beton makrostrukturális jellemzői (pl. víztartalom, péptartalom, a pép szilárdanyag tartalma, a keverési arány, az adalékanyag legnagyobb szemnagysága, szemalakja), a >100 µm méretű pórusok térfogata, a bedolgozás hatékonysága, a beépítés körülményei, az utókezelés megkezdésének ideje és minősége (hidratációs fok), a karbonátosodás sebessége, a vízmozgás mértéke és iránya mind jelentősen befolyásolják a padlóbeton húzószilárdságát, ill. zsugorodását.

Az építetők elvárásoknak, az építési helyszín adottságainak és a hideg vagy meleg időjárási körülményeknek pontos meghatározása azért fontos, mert ez alapján kell mérlegelni a bedolgozhatósági jellemzőket, a péptartalmat, az adalékszerek típusát, a száladagolást, a megengedhető porozitást, a cementtípust. Ezt követően kell kiválasztani az összetétel tervezőjének az adott esetben alkalmazható kiegészítő anyagokat, adalékszereket és adalékanyagokat.

A padlóbetonok friss állapotában prioritásnak számít a lehúzott felületek jó minősége, a megfelelő tömörség, a kis felületközeli habarcsvastagság, ami összefügg a cementpép mozgékonyaságával, a habarcsstartalommal, az adalékváz szemszerkezetével.

A szilárdulás kezdetén prioritás a korai száradási-zsugorodásból, valamint a saját feszültségekből eredő repedések megelőzése, az utókezelés megkezdésének mielőbbi időpontja, majd a hézagvágás megkezdésének időpontja. Ezeket a tényezőket leginkább a felület párolgási intenzitása és a felületi valamint a mélyebb rétegek közötti nedvességgradiens (száladagolás), továbbá, a cement típusa, a homok, ill. habarcsstartalom, illetve a víz-cement tényező befolyásolja.

Az utókezelés egyenletessége és megkezdésének minél korábbi időpontja jelentősen befolyásolja a zsugorodási repedések megjelenését és a szerkezet későbbi húzószilárdságát. Mivel a víz betonból való távozása főleg egy napos korig jelentős és a padló szerkezetek frissen bedolgozott betonjából a nagy felületi modulus miatt a víz különösen könnyen távozik, így az utókezelés mielőbbi megkezdése és minél több víznek a szerkezetben tartása létfontosságú a padlóbetonok teljesítőképessége szempontjából. A friss szerkezetben lévő víz megtartása és a nedvességlépcsők mérséklése szempontjából ezért hatásos a vékony szálak (műanyag, üveg) adagolása. A beton húzószilárdsága nagy mértékben függ a benne lévő nedvesség mértékétől. A megszilárdult beton teljesen nedves és teljesen száraz állapota között akár ötszörös húzószilárdság különbség is lehet. (*Holcim Zsebkönyv 10.9. fejezet - Zsigovics I.*)

A padlók használata során prioritás a kellően nagy hajlítószilárdság és a minél kisebb mértékű táblaszéli felhajlás, amit jó bedolgozás és utókezelés mellett a cementtípus, a víz-cement tényező és a zúzottkőtartalom, illetve a felhajlás szempontjából a cementpép mennyisége és zsugorodási hajlama befolyásol.

A padlók zsugorodásának különböző típusait és okait a 6. pontban részletezzük.

3.4.-3.7. A betonkeverék készítése, a kivitelezés, geometriai ellenőrzés

A betongyári vizsgálatokról, körülményekről a betongyár betontechnológusa, az építéshelyszíni adottságokról, körülményekről, vizsgálatokról, munkafolyamatokról pedig a kivitelező betontechnológusa készítsen összesítő jelentést.

Tekintettel arra, hogy a különböző összetételekből várhatóan különböző időjárási körülmények között, különböző adottságú helyszíneken, más-más betongyár keverékeiből készülnek az egyes

padlók, ezért a későbbi értékelés-összehasonlítás szempontjából a lényeges körülményeket összesítő jelentések figyelembevétele nem nélkülözhető.

A hézagvágást követően a padlófelületről részletes geometriai felmérés készüljön (szintezéssel), különös tekintettel a táblaszélekre, sarkokra. Ugyanezen mérési pontokon kell az időszakos (célszerűen negyed, fél, egy és két év) geometriai ellenőrzéseket végrehajtani, hogy a táblafelhajlások ideje és mértéke (domborzati térképhez hasonlóan) dokumentálható legyen. Az időszakos ellenőrzések alkalmával célszerű, a forgalomnak kevésbé kitett helyekről magmintákat kifúrni, melyek hasító-húzószilárdságát össze kell hasonlítani a sablonban készített mintákéval.

4. Vizsgálati program

Minden egyes összetételnél a laboratóriumi próbakeverés során kell vizsgálni a betonkeverék mozgékonyasági, eltarthatósági jellemzőit, víztartalmát, testsűrűségét, ill. a megszilárdult betonon mérni kell a nyomó- és húzószilárdságot (célszerűen hasítással). Az alkalmasnak talált összetételekből betongyári próbakeverést kell készíteni, ahol a fenti vizsgálatokat ismételtelen el kell végezni, valamint fel kell jegyezni a tervezett konzisztenciához tartozó, az adott keverőgépen ürítés előtt mért teljesítmény- vagy áramfelvételt és a beton + a levegő hőmérsékletét.

A beépítési helyszínre gyártott betonkeverékeknel a betongyárban és a kivitelezés helyszínén is el kell végezni (a padló nagyságától függően ~50-100 m³-enként) a konzisztencia, hőmérséklet és testsűrűségi méréseket.

A húzószilárdsági vizsgálatokhoz célszerű olyan próbatesteket készíteni (pl. Ø 150×200 mm), amelyek alkalmasak a szerkezetből később kifúrt próbatestek eredményeivel való összehasonlításra.

4.1. Alapanyagok és azonosító vizsgálatok

- cement: MSZ EN 197 szerint, CEM I 42.5, CEM II/A-L 42.5, CEM II/B-S 32.5
- homok és kavics: MSZ EN 12620 szerint (kvarcalapú)
- zúzottkő: MSZ EN 12620 szerint
- folyósítószer: MSZ EN 934-2 szerint

Azonosító vizsgálatok:

- 1 A cement-beton iparágban szabványos fizikai és kémiai jellemzők meghatározása
 - Poranyagok (cement):
 - Mérendő: sűrűség, fajlagos felület, szemcseméreteloszlás, egyenletességi tényező, átlagos szemcseméret, kémiai-ásványi összetétel. Ezeket a vizsgálatokat nem kell feltétlenül a program elején elvégeztetni, lehet az eredményességtől függően bármikor a program közben is.
A cement szabványos vízigényére, duzzadására, hőfejlesztésére, hajlító és nyomószilárdságára a gyártótól kell bekérni az adatokat.
 - Adalékszerek:
 - Mérendő: anyagsűrűség, szárazanyag-tartalom, pH érték (gyártói adatok)
- 2 Más iparágakban használatos fizikai jellemzők meghatározása
 - Poranyagok (cementek) reológiai „alaptermészetének” vizsgálata: beszórási vízigény, hajlam a térkitöltésre, viszkozitásra, terülésre, vízmegtartásra).
- 3 Adalékanyagok (homok, kavics, zúzottkő) és szálak vizsgálata: A kiválasztott alapanyagok szállítói megfelelőségi nyilatkozatában tanúsított jellemzők közül legalább a geometriai és a vízfelvételi tulajdonságok méréses ellenőrzése.

4.2. Pépvizsgálatok

A pépvizsgálatok akkor célszerűek, ha több cementtípus, kiegészítőanyag és adalékszer közül kell kiválasztani az adott feladatra leghatékonyabbat. Ez jelentős költség- és időmegtakarítást eredményezhet.

A pépek mozgékonyági, eltarthatósági és korai szilárdsági jellemzőit a kinematikai viszkozitással (kifolyási idő mérésével), területméréssel (EN 12706 szerinti gyűrűvel), dinamikai viszkozitás mérésével (viszkoziméterrel) és 24 órás korban történő Shore D keménység mérésével célszerű elvégezni. Szükség szerint egyéb pépvizsgálatok is elvégezhetőek: friss sűrűség mérés, hajlító- és nyomószilárdsági vizsgálatok 4x4x16 cm-es Haegermann hasábokon (2, 7 és 28 napos kor).

4.3. Betonvizsgálatok

A 2. sz. táblázat tartalmazza azokat az összetételi jellemzőket, amelyekkel a víz/cement tényező $v/c=0.50$, 0.45 és 0.40 értékeinél célszerű vizsgálni a betonkeverékek mozgékonyági, sűrűségi, szilárdsági és zsugorodási jellemzőit. Több cementtípus mellett érdemes ezeket a vizsgálatokat elvégezni.

A $v/c=0.40$ víz-cement tényezőnél és CEM I 42.5 cementtípusnál ($m_c=390 \text{ kg/m}^3$, $m_{w+adszer}=156 \text{ kg/m}^3$, így $V_{pép}=280 \text{ l/m}^3$) a 28 napos nyomószilárdság várhatóan már $\sim 70 \text{ N/mm}^2$ értékre, de CEM III/A-val is $\sim 55 \text{ N/mm}^2$ -re adódik, így kisebb v/c -tényezőket már nem célszerű alkalmazni.

A $v/c=0.50$ víz-cement tényezőnél és CEM I 42.5 cementtípusnál a $V_{pép}=280 \text{ l/m}^3$ péptartalom eléréséhez ugyanezen mértékű vízadagolás esetén ($m_{w+adszer}=156 \text{ kg/m}^3$ és $m_c=312 \text{ kg/m}^3$ mellett) hiányzik még $\sim 25 \text{ l/m}^3$, amit célszerű pl. mészkőliszttel biztosítani ($m_{mköl} \sim 67 \text{ kg/m}^3$). A 28 napos nyomószilárdság így várhatóan $\sim 50 \text{ N/mm}^2$ -re adódik, tehát C 35/45 szilárdsági jelnél kisebb érték szinte csak tömörítési hiánnyal érhető el. A szokásosnál jóval alacsonyabb víztartalom ($m_{w+adszer}=156 \text{ kg/m}^3$) viszont megköveteli az állandó és jó minőségű homokfrakciót, valamint a hatékony folyósítószer és a huzatmentes beépítési környezetet.

Az alacsony víztartalmú betonok padlóképzési technológiákhoz való alkalmassága természetesen egyelőre olyan kérdés, melyet majd a gyakorlatban kell megvizsgálni.

A péptartalom, a pépek szilárdanyag tartalma, a beton konzisztenciája, nyomószilárdsága összefüggéseinek – a nemzetközi szakirodalmakat is beleértve - legújabb eredményeit *Pekár Gy.* ismertette (ÉMI, 2009.dec.), mely szerint a jelölt cementtartalmakkal és v/c -tényezőkkel a fentieknél nagyobb szilárdságok is elérhetők a pépek kellően nagy szilárdanyag-tartalma esetén.

2. táblázat

Keverék jelölése	Adalékanyag			Péptérfogat (l/m^3)	Víz-cement tényező			Zsugorodást csökkentő adalékszer	
	Kvarcalapú, gömbölyödött homok+kavics	Kvarcalapú, gömbölyödött homok+zúzottkő	Finomsági modulus					igen	nem
1-6.	35 + 65%	-	$6,5 \pm 0,1$	280	0,50	0,45	0,40	igen	nem
7-12.	35 + 25%	40%	$6,5 \pm 0,1$	280	0,50	0,45	0,40	igen	nem
13-18.	35%	65%	$6,5 \pm 0,1$	280	0,50	0,45	0,40	igen	nem

5. Vizsgálatok értékelése

A vizsgálati eredményeket több stádiumban kell értékelni. Az első értékelést a beépített szerkezetek egy hónapos korát követően, a másodikat fél éves korban, a harmadikat két éves korban célszerű elvégezni.

Az értékelések terjedjenek ki a frissbeton jellemzőinek, a kivitelezési tapasztalatoknak és körülményeknek, a sablonban készített és a padlókból egy hónapos, fél éves és két éves korban

kifűrt magminták sűrűségi és szilárdsági jellemzőinek, valamint a padlók geometriájának (célszerűen azonos táblaméretek széleinek és sarkainak) egy hónapos, fél éves és két éves geometriai vizsgálati összegzésére.

Az egy hónapos összegzésben a friss és a szilárd beton jellemzőket, a betongyári és a helyszíni betontechnológus mérési, kivitelezési tapasztalatait és a hézagvágáskor mért, valamint a kb. egy hónaposan mért geometriai jellemzőket (táblaszéli felhajlásokat) kell értékelni.

A fél éves és két éves táblafelhajlások, valamint a sablonban készült és a szerkezetből kifűrt magminták szilárdsági eredményeiből következtetéseket lehet levonni a beton összetételével (cement típusa, mennyisége, v/c tényező, pép szilárdanyag tartalma, zsugorodáscsökkentő, zúzottkő, stb.) esetleg más lényegesnek ítélt hatással (pl. altalaj, ágyazat, vízmozgás, polcterhek, dinamikus terhek) kapcsolatban.



1-2. kép: Ipari padló geometriájának átadáskori és használat közbeni mérések ellenőrzése

6. A padlók zsugorodásának szakirodalomban tárgyalt típusai, okai

6.1. Kinematikai terhek

Az esetek többségében a repedések jelentős része már az első 12 órában kialakul. Ebben az időszakban több tényező ébreszthet olyan mértékű húzófeszültségeket a betonban, mellyel szemben még nincs meg az ellenállóképessége. Az ilyen, korai repedések kialakulásában a kinematikai terheknek, vagyis a cement hidratációjából származó, valamint a klimatikus hőhatásnak és a beton zsugorodásának, ill. az ezekből adódó gátolt alakváltozásnak van meghatározó szerepe.

A tömegükhöz képest nagy lehűlő felületű, viszonylag vékony lemezekben a hidratációs hőfejlődés kis hőmérsékletkülönbségeket és ebből eredő sajátfeszültségeket eredményez a padlóban, de éppen a nagy vízszintes felületek hőmérsékletét befolyásolja legjobban az erős napsugárzás vagy az éjszakai lehűlés. Ezért is célszerű az ipari padlók építését zárt, fedett, huzatmentes térben végezni.

A beton minél korábbi hézagvágásához nagy korai húzószilárdság szükséges. A nagy korai szilárdsághoz viszonylag nagy (380-400 m²/kg) fajlagos felület és „tisztá” klinkercement szükséges. Ez azonban a tetemes hidratációs hőfejlődés és a padló szerkezet felületi kihűlése esetén nagy sajátfeszültségeket és ebből eredően nagy kéregrepedési kockázatot eredményez.

A „tisztá” 42.5, 52.5 szilárdsági jelű cementek hidratációs hőfejlődése 1 napon kb. 200-275 J/g; míg a 32.5 szilárdsági jelűeké csak 60-175 J/g (lásd: DDC Beton Zsebkönyv 1.6. táblázat).

Egynapos betonnál kétszer akkora fajlagos felületnél Erdélyi A. és S.G. Nehme kétszer akkora hajlító-húzószilárdságot mért (Holcim Beton Zsebkönyv 11.10. fejezet).

A nagy hidratációs hőfejlődés vagy a felület lehülése miatt a padlószerkezetben kialakuló hőmérsékletkülönbség nemcsak sajátfeszültségeket hoz létre, hanem a (padló)felület felé irányuló vízvándorlást is, ami növeli a korai száradási zsugorodást (*Holcim Zsebkönyv, 10.9. fejezet – Zsigovics I.*). A kis kinematikai terhek és a nagy korai szilárdság tehát egymásnak ellentmondó tényezők.

6.2. Korai száradási zsugorodás

A korai zsugorodást és az ebből fakadó repedéseket a bedolgozott frissbeton szabad felső kérgének térfogatcsökkenése, kiszáradása okozza. Ha a felület párolgási vesztesége (normál szilárdságú, v/c~0,5 víz-cement tényezőjű betonoknál) megközelíti az óránkénti 1000 g/m² értéket, a repedések megjelenése szinte elkerülhetetlen. A párolgási veszteség mértékét a betonhőmérséklet, a levegő hőmérséklete és páratartalma, a szélesebb és a bedolgozástól eltelt idő befolyásolja. Mivel a padlók nagy felületi modulusú szerkezetek, ezért a párolgás mérséklése érdekében már a készítéskor oldalról és fölülről is zárt, huzatmentes teret kell biztosítani.

Ha nem is a párolgás mértékét, de a felület és a belső részek közötti nedvességlépcső kialakulását, ezáltal a felső kéreg térfogatcsökkenését igen hatékonyan akadályozzák a megfelelő mennyiségben bekevert kellően vékony műanyag- és üvegszálak, melyek mentén a szerkezet belsejéből kapilláris úton szívódik fel a nedvesség a felületre.

A padlók esetében az utókezelés megkezdéséig törvényszerűen hosszabb idő telik el, mint más szerkezetnél, mivel a kéregerősítő felhordása és betárcsázása már megköveteli a fiatal betontól egy bizonyos állékonyságot, ráléphetőséget.

Az utókezelés megkezdéséhez, a kipárolgásgátló mielőbbi felhordhatóságához a padlóbetonokat célszerű a minél korábbi állékonyságot biztosító, viszonylag durva, nagyszemcsés szemszerkezetű adalékvázzal készíteni.

A fiatal beton állékonyságát, ráléphető korát befolyásolja a felületi habarcsréteg vastagsága is. A vastagabb felületi habarcsréteg később válik állékonnyá, a korai repedezésre hajlamosabb. A habarcsvastagságot növeli a nagy cement- és víztartalom, a nagy homoktartalom és a túlzott tömörítési energia. A felület minél kisebb energiával történő megfelelő mértékű tömörítése azért fontos, hogy a felületi habarcsréteg minél vékonyabb lehessen. Bár a felületnek zártnak kell lennie, de ujjunkat a felületen végighúzva már a felület alatt 1-2 mm-rel érezni kell a kavics vagy zúzottkőszemcséket. Zárt, tömör felület eléréséhez a kissé képlékeny konzisztencia esetén a vibrogerendával való többszöri lehúzás szükséges, ami nagyobb mértékű felületi habarcsosodást eredményez, mint a képlékeny konzisztenciával, egyszeri lehúzással elérhető zárt felület.

A felületi száradás miatti kérgesedésből eredő, korai száradási-zsugorodási repedések a padlókészítés gépeivel a tárcsás és a szárnyas simítás során még eltüntethetők. Többnyire 1 hónap múlva ezek a repedések újból előhívódnak.

Ha 3 hónapos korban egy padló még mindig repedésmentes, akkor a korai száradási-zsugorodási repedések okait az adott esetben jól mérték fel és sikerült ezek következményeit elkerülni a kivitelezés során.

6.3. Késői száradási zsugorodás

A késői száradási zsugorodással kapcsolatban a beton összetétele, ezen belül is a víz-cement tényező és a cementtartalom ill. az ebből adódó péptartalom (és az adalékvázzal együtt értelmezhető telítettség/túltelítettség) a döntő és nem a cementfajta (*Ujhelyi J. MÉASZ-ME 04.19.-16.22 ábra*).

A beton zsugorodása csökkenthető az acélszál adagolás mennyiségének növelésével, víztartalom csökkentéssel, péptartalom csökkentéssel, valamint zsugorodáskompenzáló adalékszer adagolással (*Zsigovics I. Holcim Cement-Beton Kisokos 9.4. fejezet*).

A kis zsugorodású betonok összetételének tervezéséről hazánkban *Ujhelyi J.* (MÉASZ ME 04.19:1995), *Erdélyi A.* (DDC Cement-Beton Zsebkönyv 2007) és *Zsigovics I.* (Holcim Cement-Beton Kisokos 2008) írt részletesen.

Az összetételek tervezésének alapvető irányelveivel kapcsolatban a lényegét tömören fogalmazza meg *Zsigovics I.*: „**sok cement**→**sok víz**→**sok homok**→**sok probléma**” (Holcim Cement-Beton Kisokos 9.4. fejezet).

Az alapvető tervezési irányelvektől való részleges eltérés indokolt esetben lehetséges, de ilyenkor tudatában kell lenni a kockázatoknak, lehetséges problémáknak és azok megelőzésére, kezelésére fel kell készülni a gyakorlati kivitelezés során. Pl. felületkeményítő beszórása nélkül elérhető nagy kopásállóság, valamint nagy húzószilárdság igénye miatti nagy cementtartalom alkalmazásáról számol be *Spránitz F.*: Betonburkolatok – Beton Újság 2005. májusi számban, ahol a cementtartalom $m_c=370 \text{ kg/m}^3$ mellett, 65% zúzottkő adalékvázzal készült 7000 m² szabadtéri 18-20 cm közötti vastagságú betonfelület. Itt a legnagyobb táblaméret sem haladta meg a 6×6 métert.

A megszilárdult betonpadlók levegővel érintkező felülete hamarabb eljut az egyensúlyi állapotig (kiszárad), mint az alsó felület. Az ebből *a száradási zsugorodásból fakadó, tehát kényszererők okozta táblafelhajlások* bár mérsékelhetők, de gyakorlatilag nem akadályozhatók meg. A deformációk a széleken, sarokrészekben, tehát a látható fugák környezetében és az esetleg megjelent repedések mentén jelentkeznek. Ezek időbeni és térbeni kifejlődése jól érzékelhető a fugáktól vagy a repedésektől a táblaközép felé elvégzett Schmidt-kalapácsos ütésekkel. A felhajlott padlórészek az ütés során kongó, az ágyazatra feltámaszkodó részek pedig tompa hangot hallatnak.

A jelenlegi gyakorlatban a felhajlások mértékét a betonkeverék víz- és cementtartalmának csökkentésével, a felületi habarcsréteg vastagságának minimalizálásával, a felső rétegbe, vagy középre helyezett betonacél hálóval, min. 40 kg/m³ acélszál adagolásával, esetenként ezek kombinációjával mérséklük.

A szivattyúzott, ezáltal potenciálisan nagyobb péptartalmú padlóbetonoknál jelentősebb felhajlások várhatók, mint a nem szivattyúval helyszínre juttatott padlóbetonoknál. Szivattyúzott padlóbetonoknál a minél nagyobb csőátmérővel (Ø125 mm), a szivattyú kellően nagy teljesítményével mérsékelhető a szivattyús anyagszállítás megkövetelte nagyobb pépigény, valamint az ebből fakadó jelentős késői zsugorodás, táblaszéli felhajlás.

A vasalatlan, 800-1000 m² nagyságú, vágásmentes padlóképzéskor jó tapasztalatok vannak a 32 mm legnagyobb szemnagyságú adalékvázzal, 35% homoktartalommal, 250 l/m³ cementpéptartalommal, folyósítószerrel elért képlékeny konzisztenciájú (roskadás 120-150 mm), mixerkocsis szállítású, nem szivattyúzott kavicsbetonokkal. Szivattyúzott padlóbetonoknál is megfelelő a 35% homoktartalom, de az akadálymentes szivattyúozhatóság érdekében még kavicsbetonoknál is célszerű a 270-280 l/m³ cementpéptartalommal, folyósítószerrel elért képlékeny konzisztencia (roskadás 130-180 mm). A nem túl nagy péptartalom és a folyósítószerrel elért viszonylag híg konzisztencia a szokványosnál nagyobb technológiai fegyelmet követel meg a betongyár részéről. A víz, vagy a folyósítószer túladagolása először a bedolgozott keverék vézését, majd a vézés során felúszott folyósítószer a beszíthatóság idejének radikális eltolódását, végül a felszört kéregerősítő leveles elválását eredményezheti.

A 16 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyag 40-45% homoktartalmat és akár 300 l/m³ mértékű, tehát jóval nagyobb cementpéptartalmat igényel a képlékeny konzisztencia eléréséhez.

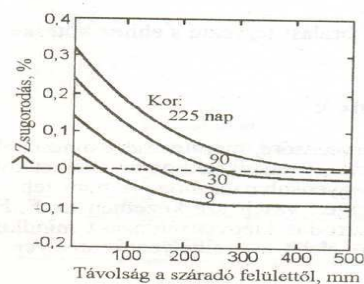
A *Swedish Cement and Concrete Research Institut* által kiadott „Minimization of Cracks in Industrial Concrete Floors - 2005” kiadvány szerint *az adalékváz helyes megválasztása döntő jelentőségű* a zsugorodás mértéke szempontjából. A nagy D_{max} , a kis homoktartalom, a kavics adalékanyag gömbölyded alakjából adódó kis szemcsefelület/szemcsetérfogat arány, az ebből fakadó kis péptartalom lehetősége a hosszú idejű zsugorodást akár 40%-kal is mérsékelheti.

Ugyanakkor vannak kedvező tapasztalatok a gömbölyű kavics helyett zúzottkővet tartalmazó, tehát potenciálisan nagyobb pértartalmú padlóbetonokkal is. Általában a zúzottkőves betonok előnye a nagyobb hajlítószilárdság. A padlóbetonok esetén ez a szempont nagy jelentőségű. Hátrányuk azonban a nagyobb szemcsefelület/szemcsetérfogat arány, az ebből fakadó nagyobb pépigény, mely a késői zsugorodást megnöveli. A zúzottkőves betonkeverékek összetételének tervezésénél a szokásos szempontokon kívül figyelembe kell venni az adalékanyag 1 órás vízfelvételét, mely az EN 206-1 szabvány szerint nem számít bele a keverék hatékony víztartalmába.

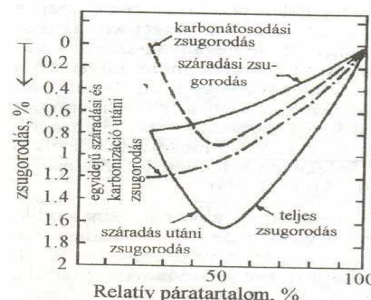
A hivatkozott svéd kiadványban kedvező laboratóriumi tapasztalatokról (28 napos korra 30-50% zsugorodáscsökkenés) számolnak be a polipropilén-glikol bázisú zsugorodáscsökkentő („shrinkage reducing agent”-SRA), valamint a zsugorodáskompenzáló (értsd: duzzadó) adalékszerekkel kapcsolatban. A padlóbetonoknál azonban még sem külföldi, sem hazai gyakorlati tapasztalatok nem ismertek.

6.4. Karbonátosodási zsugorodás

Az ipari padlók az egyéb méreteikhez képest viszonylag kis vastagságúak és nagy felületi modulusúak. Emellett csak az egyik síkjukkal érintkeznek a környező levegővel. Az érintkező felület karbonátosodása az ismert módon, már viszonylag fiatal korban (~20 óra) megkezdődik.



16.23. ábra : A zsugorodás változása a száradó felülettől mért távolságtól függően



16.17. ábra : A szárítási és a karbonátosodási zsugorodás

A karbonátosodás és a belőle fakadó karbonátosodási zsugorodás akkor teljeseedik ki, ha a felület érintkezik a levegő vagy egyéb közeg CO_2 tartalmával (lásd a MÉASZ ME-04.19:1995 Műszaki Előírás 16. füzetének grafikonjait).

A felsorolt tényezők kedvezőtlen hatásai, valamint az egyirányú szárítási és alakváltozási adottságok miatt a padlótáblák felhajlása természetes anyagtani jelenségnek tekinthető. A felhajlás mértéke a szilárdság növelésével és a levegő CO_2 -tartalmával való érintkezés idejének növelésével arányosan akár többszörösére is nőhet.

6.5. Autogén zsugorodás

A víz-cement tényező csökkentésével exponenciális arányban növekvő zsugorodást részben a nagyobb pértartalom, illetve túltelítettség (mely adalékszerekkel, valamint betontechnológiai tervezéssel ellensúlyozható), részben pedig a cementkő növekvő kémiai (autogén) zsugorodása okozza. A víz és a cement reakciójából keletkező hidráttermék térfogata kb. 11%-kal kisebb, mint a reakcióban résztvevő anyagok eredeti térfogata. Ez a térfogatcsökkenés -a víz-cement tényező csökkenésével a gyakorlatban általában együtt járó cementtartalom emelkedés miatt- növeli a hidráttermékek közötti gélpórusok mennyiségét, a határfelületek, a mikro- és a mezostruktúra feszültségtartalmát, mely a kémiai (autogén) zsugorodás növekedéséhez vezet. Ugyanakkor a kapilláris porozitás, a pórusok átjárhatósága gyakorlatilag szinte teljesen megszüntethető.

Az EC-2 szabvány 3.6. „A zsugorodás számítása” című pontban közölt összefüggésekből az autogén zsugorodás mértékére az alábbi arányok számíthatók ($\phi_{rel}=80\%$, $k_h=1$): autogén zsugorodás/teljes zsugorodás C20: 7%; C40: 23%; C60: 38%; C90: 57%.

Ezeknek az ismereteknek a birtokában célszerű a tervező részéről a minimálisan szükséges, de még elégséges szilárdsági jellemzőket meghatározni. Egyes kutatások szerint a zsugorodáscsökkentő adalékszerek az autogén zsugorodás mértékét is jelentősen mérséklik.

6.6. Kéreg erősítők okozta felületi zsugorodásnövekmény

A kéreg erősítő szárazhabarcsok gépi besimításával létrehozott felületi habarcsréteg tömör, kemény, rideg jellege a besimítás intenzitásával együtt növekszik. A géppel kevésbé simított felületeken a későbbi száradás és karbonátosodás során kevesebb hajszálrepedezés mutatkozik. Ugyanakkor az ilyen padlók kopásállósága is gyengébb. Nagy kopásállóság nemcsak az erős besimítási energiával, azaz a felületi cementhabarcsréteg nagy tömörségével érhető el, hanem a besimított kéreg erősítő szárazhabarcs megfelelő minőségével is. Egyes kéreg erősítők kb. 40-50%-ban tartalmaznak korundszemcséket, min. 2,5%-ban porformájú műanyagdiszperziót, cementtartalmuk viszont alacsony (15-20%). A korundtartalom és a polimeradalék jelentősen növeli a kopásállóságot. A polimertartalom növeli a hajlítószilárdságot, a tapadószilárdságot, csökkenti a száradási zsugorodást, a rugalmassági modulust és a karbonátosodás sebességét. A nagy felületi keménység és kopásállóság tehát nem feltétlenül kell, hogy együtt járjon a rideg, repedésérzékeny jelleggel.

A megfelelő összetételű kéreg erősítő szárazhabarcs lehetővé teszi a kisebb besimítási energiával is kellően nagy kopásállóságot, valamint a száradás és karbonátosodás által okozott zsugorodási feszültségek mérséklését, azok leépítését.

SZÁLLÍTÓI MEGFELELŐSÉGI NYILATKOZAT

Sorszám: ../...

[a 3/2003.(I.25.) BM-GKM-KvVM együttes rendeletben az építési termékekre előírt, 2+ módozat szerint]

1. Gyártó/gyártás helye: **TBG Hungária Kft, ... Budapest ...**
2. A termék megnevezése: **Transzportbeton**
3. A termék leírása: **A gyártás tanúsított üzemi gyártásellenőrzési rendszer keretén belül történik.**
A hozzáadott keverővíz származása^x: vezetékes ivóvíz/újrahasznosított mosóvíz
A gyártás során alkalmazták/nem alkalmazták^x a csökkentett zsugorodásra ható tényezőket
A gyártás során alkalmazták/nem alkalmazták^x a megnövelt hajlító-húzószilárdságra ható tényezőket
Max. víz/cement tényező^x: 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40
Min. cementtartalom: 260 kg/m³; Max. cementtartalom: 390 kg/m³
Finomrésztartalom: ≤ 450 kg/m³ (max. cementtartalom mellett)
Max. cementpéptartalom^x: 260, 280, 300 t/m³
A keverék erősítő szálakat tartalmaz^x/nem tartalmaz^x
(^xa megfelelő rész aláhúzendó)
4. Termék kereskedelmi kódja: **C 25/30 X0^x (XC1, XC2)^x-F3^x(F4, S3, S4)^x-24^x (32)^x:MSZ 4798-1**
C 30/37 X0^x (XC1, XC2)^x-F3^x(F4, S3, S4)^x-24^x (32)^x:MSZ 4798-1
C 35/45 X0^x (XC1, XC2)^x-F3^x(F4, S3, S4)^x-24^x (32)^x:MSZ 4798-1
C 45/55 X0^x (XC1, XC2)^x-F3^x(F4, S3, S4)^x-24^x (32)^x:MSZ 4798-1
C 50/60 X0^x (XC1, XC2)^x-F3^x(F4, S3, S4)^x-24^x (32)^x:MSZ 4798-1
(^xa vasalástól, konzisztenciától, legnagyobb szemmagyságtól függően a megfelelő rész aláhúzendó)
5. Termék felhasználása: **Betonpadozatok készítéséhez beltéri ipari padlóknál és más műtárgyknál**
6. A gyártás időpontja: **2010. ...**
7. Különleges használati utasítások:
- Eltarthatóság^x ... °C-on: **2, 1 vagy 0.5 óra** (^xaz aktuálisan megfelelő rész kitöltendő, ill. aláhúzendó)
- Hajlító-húzószilárdság^x 28, 91 napos korban: **p_{50%} ≥ 3, 4, 5, 6 N/mm²** (^xa megfelelő rész aláhúzendó)
- Zsugorodás 28 napos korban: **ε_{max} ≈ 0.1, 0.3, 0.5‰** (^xa megfelelő szám aláhúzendó)
- Zsugorodás 91 napos korban: **ε_{max} ≈ 0.3, 0.5, 0.7‰** (^xa megfelelő szám aláhúzendó)
- Zsugorodás 180 napos korban: **ε_{max} ≈ 0.5, 0.7, 0.9‰** (^xa megfelelő szám aláhúzendó)
Fenti jellemzők a beton anyagára vonatkoznak, melyek a bedolgozási körülményektől függően változhatnak
8. Bejelentett szervezet megnevezése, azonosító száma, amely tanúsítványa alapján a nyilatkozat kiadásra került:
... Nonprofit Kft. (Notified body number: ...)
9. Műszaki specifikáció, amelynek a termék vizsgálattal igazoltan megfelel: **MSZ 4798-1:2004 Beton 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon**
10. A nyilatkozat érvényességi ideje: **A termékből készített ipari padlók és más műtárgyak tervezett élettartamáig.**
A gyártó felé reklamáció a termékre vonatkozó számla, szállítólevél és e nyilatkozat alapján kezdeményezhető.
(A nyilatkozatot és a hozzátartozó megfelelés igazolásokat a gyártó – a kiállítását követően – 10 évig őrzi.)

Budapest, 2010.....

.....
üzemi gyártásellenőrzési megbízott.....
ügyvezető igazgató**Kiegészítő információ:**

- Első Típusvizsgálati Jegyzőkönyv azonosító száma: ... (...Laboratórium, ... Budapest, ...)
- Fenti Típusvizsgálati Jegyzőkönyvet a TBG-Hungária Kft meghatalmazásával használja a TBG ... Kft.
- EK–Üzemi Gyártásellenőrzési Tanúsítvány azonosító száma: ...
- A nyilatkozat – az MSZ 4798-1 szabvány szerinti adatokkal, és a tanúsítvány másolatával együtt – a termékre vonatkozó szállítólevél mellékleteként kerül átadásra.
- A vevőnek tájékoztatnia kell a gyártót minden, a rendelés időpontjában az adott végfelhasználással kapcsolatos különleges követelményről, valamint az olyan kiegészítő információkra vonatkozó követelményekről, amelyek az MSZ 4798-1 szabványban nem szerepelnek.
- A termék megfelel a Padló ME 21 számú padozati Műszaki Előírásnak is.