
	Fagyálló beton, fagy- és olvasztósó-álló beton Fagyállóság és vizsgálat	
Németül:	Frostbeständiger Beton Beton mit Frost- und Tausalz-Widerstand	
Angolul:	Concrete for frost resistance Concrete for frost and de-icing salt resistance	
Franciául:	Béton résistant au gel Béton résistant au gel et aux sels de déverglaçage	

Bevezetés

A beton fagykárosodása általában szövetszerkezeti roncsolódás, illetve – főképp olvasztósó vagy más olvasztószer használata esetén – felületi mállás formájában jelentkezik. Mértéke a betont tekintve elsősorban annak porozitásától, víztartalmától és korától, a külső körülményeket tekintve a fagyhullámok gyakoriságától függ. Az eső után gyorsan kiszáradó magasépítési betonok fagyveszélye kisebb, mint a nehezen kiszáradó alapbetonoké és útpályabetonoké. Az utóbbiak fagyállóságát általában csak légbuborékképző adalékszer alkalmazásával lehet biztosítani. Ugyanez áll fenn a repülőtéri betonburkolatok esetén is, annak ellenére, hogy azok téli jégmentesítését a sónál kevésbé agresszív kloridmentes olvasztószerrel végzik.

A fagykárosodás elkerülésére a következő intézkedések tehetők:

- Elő kell segíteni a csapadékvíz betonfelületről való távozását. Vízszintes felületek esetén a víztelenítést már 2 % oldalesés is jelentősen előmozdítja. A vízzel úgy alakítandó ki, hogy a betonalakzat alsó felületén ne legyenek vízfolyások.
- A beton fagyállóságát – szemben például a nyomószilárdsággal – a sok ismeretlen folytán számszerűsíteni gyakorlatilag nem, csak becsülni lehet. Ezért egyrészt a betont a szabványokban szereplő környezeti osztályok [Kausay, 2009] feltételeinek megfelelő összetétellel (víz-cement tényező, cementtartalom), tömörséggel (levegőtartalom) és nyomószilárdsággal kell készíteni, másrészt a beton fagyállóságáról sokszor hosszadalmas kísérletekkel kell meggyőződni.
- Gondoskodni kell arról, hogy a betont egy hónapos kora előtt ne érje fagyhatás, illetve az első fagy a fiatal betont kiszáradt állapotban érje. A tavasszal vagy nyáron készített beton a fagy és a jégolvasztósó károsító hatásának sokkal jobban ellenáll, mint a késő ősszel vagy télen készített beton. Ha a beton legalább egy hétig 20 °C hőmérsékleten szilárdul, akkor általában eléri a 28 napos szilárdság 80 %-át.
- A fiatal beton nyomószilárdsága az első fagy idején legalább 5 N/mm² és száraz állapotú legyen. Ha a fiatal beton külső hatásra nedves, mert például a kémiai zsugorodáskor részben kiszáradt kapilláris pórusok ❖ az őszi esőzések alkalmával utólag esővizet szívnak fel, és fagyhatás éri, akkor nagy valószínűséggel károsodni fog.
- Ha fagyponthoz közeli hőmérsékleten kell betonozni, akkor a betonkeveréket általában +15 °C hőmérsékletre (a szabványok szerint legalább +10 °C hőmérsékletre) kell melegíteni. Az ilyen fiatal betont például szorosan illeszkedő fóliatakarással védeni kell a gyors kiszáradástól, a fóliáról lecsepegő kondenzvíztől, és nem szabad vízzel utókezelni. A fóliatakarás alá célszerű hőszigetelő réteget fektetni.
- A betont a lehető legkisebb víz-cement tényezővel és minél kevesebb akaratunk ellenére bevitt (bennmaradt) levegőtartalommal (légpórustartalommal) kell elkészíteni.

- Fagy- és olvasztósó-álló mélyépítési betonkeverékekhez feltétlenül légbuborékképző adalékszert ❖ kell használni, de a légbuborékképző adalékszer a magasépítési betonok fagy- és olvasztósó-állóságát is javítja.
- A 4 mm feletti adalékanyag szemek fagyállóak legyenek.
- Az adalékanyag, főképp a homok és a kőliszt agyag-iszaptartalmát és vízigényét alacsony szinten kell tartani. A 4 mm alatti adalékanyag mennyisége kevesebb legyen annál, mint amennyi ahhoz kell, hogy a betömörített beton felületén számottevő habarcsréteg keletkezzen. [*Springenschmid*, 2007]

Fagykárosodás folyamata

Ha a beton nem fagyálló, akkor fagyhatásra hajszálrepedések keletkeznek, amelyek vízzel megtelnek. Az újabb fagyok ezeket a repedéseket tágítják, aminek hatására a beton szövetszerkezete egyre inkább roncsolódik (*1. ábra*). A tönkremenetel oka szerteágazó, leegyszerűsítve négy fő okkal szokás a fagykárosodást magyarázni:

1. A fagyás során már az első jégkristály csírák vizet szívnak a környező kisebb pórusokból, és e helyeken a betonban mikro-jéglencsék képződnek.
2. Minthogy a jéggé fagyó víz térfogata 9 százalékkal növekszik, ha a beton pórusai térfogatának több mint 90 százaléka vízzel telt, akkor fagy esetén betonduzzadást okozó és hajszálrepedéseket ébresztő pórusvíznyomás lép fel. A beton duzzadása 50 fagyasztási ciklus hatására a 0,4 mm/m értéket is megközelítheti. A megfagyott beton rugalmassági modulusa felengedett állapotban az eredetinel kisebb.
3. A pórusvíz csak néhány fokkal 0,0 °C hőmérséklet alatt fagy meg a vízben oldott sók és a jégkristály csíra képződés szükségessé folytán. A pórusvíz fagyáspontja a pórusméret csökkenésével, a pórusnyomás ezzel járó növekedésével csökken. Jelentősebb lehülés esetén a vízzel telített betonréteg hirtelen átfagy, miközben ΔT hőmérsékletnövekedés mellett duzzad; a jégnyomás gyors növekedése a szövetszerkezetet húzásra veszi igénybe, mígnem az megreped.
4. A légbuborékos beton fagyállóságát eddig mindenekelőtt azzal magyarázták, hogy a sok kis levegővel telt buborék a megfagyó víz nyomását felveszi. Újabb kutatások szerint ennél nagyobb jelentősége van annak, hogy az első jégkristály csírák víz elszívását a légbuborékok megtörik. [*Springenschmid*, 2007]



1. ábra: Fagykárosodott vasalt beton hídkorlát

Olvasztósó hatása

Az utak jég- és hómentesítését általában nátrium-kloriddal (2. ábra), némely esetben kalcium-kloriddal (nagyon alacsony hőmérséklet esetén), magnézium-kloriddal (átlagosnál jobban óvott helyszíneken) végzik. Repülőterei betonpályák téli csúszásgátlását karbamiddal, alkohollal, kálium- és nátrium-acetáttal, valamint szerves anyagok keverékével oldják meg. Ezek az anyagok valamennyien hasonló módon károsítják a betont elsősorban fizikailag, de bizonyos mértékben kémiaiilag is. Alkalmazásuk fő hátránya, hogy fokozott nedvszívóképességük ((higroszkóposságuk) és oldataik alacsony felületi feszültsége folytán a beton víztelítettsége megnő.

Tapasztalatok szerint először a beton olvasztósóval át nem itatott mélyebb rétege és az a felszíni rétege fagy meg, amelynek hőmérséklete nagyon alacsony, de a fagypont megfelelő leszállításához szükséges sótartalma kevés. Ha további lehülés esetén a közbenső réteg megfagy, akkor az a felső réteget ledobja. Ez magyarázatát adja annak, hogy miért nagyobb a fagykár, ha az olvasztósó koncentráció csak 1-3 %, és miért kisebb már néhány év múlva, amikor az olvasztósó-oldat már mélyebben beszivárog.

A vasbetonba beszivárgó klorid az acélbetétet megtámadja, az korrrodál és megrepeszti a betont, és a korrózió akár acélbetét szakadáshoz is vezethet.

Megjegyezzük, hogy a só a növényvilágra is károsan hat és a vizeket is szennyezi, ezért külföldön számos helyen, de például természetvédelmi területeken hazánkban is tiltják az alkalmazását (3. ábra).



2. ábra:
Zsákolt olvasztósó



3. ábra:
Olvasztósózás alól
kivont erdei út

Fagy- és olvasztósó-álló betonok és összetevőik tulajdonságai

A fagy hatásának vagy a fagy és olvasztósó hatásának kitett betonoknak ki kell elégíteniük az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szerinti környezeti osztályok ❖ követelményét, és általában ki kell állniuk a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot is.

Ha a beton nincs olvasztósó hatásának kitéve és felülete függőleges (XF1 környezeti osztály), akkor az érdekelt felek megegyezése esetén a fagyállóságot szabad közvetett módon, a betonösszetétel határértékeivel előírni.

A beton fagyállósága jelentős mértékben függ a környezeti körülményektől (pl. a kritikus víztelítettség esélyétől), a beton összetevőinek tulajdonságától, a beton víz-cement tényezőjétől és struktúrájától, beleértve a légbuborékképző adalékszerrel bevitt légbuborékok méretét és eloszlását is.

A fagyálló beton készítésének feltétele a környezeti osztályok követelményén kívül a fagyálló adalékanyag, a megfelelő cement és légbuborékképző adalékszer alkalmazása, a hosszas utókezelés, a betonozás és a tél bekövetkezete közötti hosszú idő.

A fagyállóság szempontjából technológiailag előnyös a vákuum kezelés vagy a zsaluzati víztelenítő réteg (németül: Schalungsbahn) alkalmazása, amelyek esetén a beton felületén a víz-cement tényező lecsökken, a felületi réteg tömör lesz, és kevésbé karbonátosodik. [Springenschmid, 2007]

Adalékanyag megfelelése

Az MSZ EN 12620:2006 betonadalékanyag szabvány szerint a durva (2 mm feletti) adalékanyagok ❖ fagy- és olvasztósó-állóságát közvetlen fagyállóság vizsgálattal és közvetett módon, szulfátos kristályosítási vizsgálattal lehet meghatározni. A szabvány F melléklete a közettani és a vízfelvétel vizsgálatot ún. elővizsgálatnak nevezi, amelyek kimutathatják a kőanyag fagyérzékenységét, és az elővizsgálatok követelményét kielégítő kőanyagokat fagyállónak tekinti. A fagyállónak tekintett kőanyagra nézve számszerű követelmény, hogy az MSZ EN 1097-6:2001 szerint meghatározott vízfelvétele nem haladhatja meg az 1 tömeg%-ot.

A homokos kavics adalékanyag fagyállóságát hazánkban nem szokás vizsgálni, bár lehet, hogy ezt a gyakorlatot a jövőben felül kell vizsgálni.

Az MSZ EN 12620:2006 szabvány a durva (2 mm feletti) adalékanyagokra közvetlen fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság és fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2008 szabvány (amely a DIN EN 206-1:2007 szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma) az XF1 és XF3 környezeti osztályú betonok adalékanyagára írja elő.

A MSZ EN 1367-1:2007 szerinti fagyállóság vizsgálat elve, hogy az adott szemnagyságú adalékanyag légköri nyomáson vízzel telített vizsgálati adagjait lezárt fedelű dobozban, desztillált vízzel borítva, 10 fagyás-olvasztás ciklusnak kell kitenni. (Az előírt 10 ciklus a hazai mérsékeltövi kontinentális éghajlati körülmények között nem elegendő.) A ciklus 4 órán át tartó ($-17,5 \pm 2,5$) °C hőmérsékleten való, víz alatt történő fagyasztásból, utána (20 ± 3) °C hőmérsékletű vízfürdőben való felolvasztásból, és köztük felmelegítési és lehűtési szakaszokból áll. A vizsgálat ciklus ideje 24 óra. A hűtőszekrényt a hűtött felület közepén álló lezárt doboz közepének hőmérséklete segítségével kell szabályozni. A váltakozó fagyasztás-olvasztás befejezése után a kőanyaghalmoz változásait (repedésképződés, aprózódás, adott esetben szilárdságváltozás) meg kell vizsgálni. Veszteségnek az alsó szemnagysághatár felező szitáján áthullott vizsgálati anyagot kell tekinteni. A fagyállósági osztályok aprózódási veszteségre vonatkozó határértékei 1, 2 és 4 tömeg%.

Ha az adalékanyagból olvasztósó hatásának kitett szerkezet készül, akkor az MSZ EN 12620:2006 szabvány ajánlását követve indokolt a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot az MSZ EN 1367-1:2007 szabvány B mellékletében jelzett, 1 %-os nátrium-klorid oldat vagy telített karbamid oldat alkalmazásával elvégezni. Ennek eredményére nincsenek követelmény értékek, illetve osztályok előírva, a vízben történő fagyasztáshoz tartozó követelmények és osztályok nem érvényesek. Az 1 %-os nátrium-klorid oldat és 10 ciklus alkalmazásával végzendő fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat részletes leírását MSZ EN 1367-6:2009 szabványtervezet tartalmazza (lásd még DIN EN 1367-6:2008). Megjegyezzük, hogy *a legnagyobb fagykárosodást nem az 1 %-os, hanem a 3 %-os nátrium-klorid oldat okozza, ahogy azt a betonok vizsgálata során alkalmazzák is, a 10 fagyasztási ciklus pedig hazai időjárási viszonyaink közepette kevés.*

Az MSZ EN 12620:2006 szabvány a durva (2 mm feletti) betonadalékanyagokra közvetett fagyállóság vizsgálati módszerként az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálatot írja elő. Ezt a vizsgálatot a DIN 1045-2:2008 szabvány szerint az XF2 és XF4 környezeti osztályú betonok adalékanyaga esetén kell elvégezni..

Az MSZ EN 1367-2:1999 szerinti magnéziumszulfát oldatos kristályosítási vizsgálat 2 óra (20 ± 5) °C-on történő csepegtetésből, 23-25 óra (110 ± 5) °C-on való szárításból, 5 óra (20 ± 5) °C-on történő hűtésből, 17 óra (20 ± 2) °C-on való áztatásból áll. A ciklusidő (48 ± 2) óra, a ciklusok száma 5, a vizsgálat tehát 10 napig tart. A referencia vizsgálat szemnagysága 10 – 14 mm, és emiatt a referencia vizsgálat terméken általában nem alkalmazható. A termékek kristályosítási vizsgálatát *alternatív vizsgálattal* lehet végezni. Az alternatív magnézium szulfátos kristályosítási aprózódást a zúzottkő és zúzottkavics

termékek névleges felső méret (D) feletti és névleges alsó méret (d) alatti szemeinek eltávolítása után maradó vizsgálati mintán kell meghatározni az MSZ EN 1367-2:1999 szabvány szerint, annak B melléklete szellemében, mint azt az MSZ 4798-1:2004 szabvány előírja, a hazai termékfrakciók szemnagyságához igazítva.

A magnézium-szulfátos kristályosítási veszteség megengedett értékei a különböző osztályokban az MSZ EN 12620:2006 szabvány szerint rendre 18, 25 és 35 tömeg%, ez a követelmény nagyon laza. *Magyarországon* a betonadalékanyagként alkalmazott zúzottkövek és zúzottkavicok esetén – beleértve a betonútépítéshez használtakat is (ÚT 2-3.601-2:2008) – az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD 5.2. táblázat szerinti szigorúbb követelmény értékek (legfeljebb 5, 10, 15 tömeg% stb.) érvényesek, amelyek teljesülését – a vevő ellenőrzési jogát nem sértve – *alternatív vizsgálattal*, tehát a mindenkor termékből előállított vizsgálati mintán kell meghatározni.

Cement megfelelése

A MSZ 4798-1:2004 szabvány a fagyálló betonokhoz alkalmazható cementekre nem ad követelményt, de közli az EN 206-1:2000 szabvány svéd nemzeti alkalmazási dokumentumának (SS 137003:2002) ajánlását a CEM I és CEM II fajtájú cementek alkalmazására. (Az ajánlás a CEM III cementekre nem terjed ki.) A svéd ajánlás szerint fagyálló betonok készítéséhez legalább 42,5 szilárdsági osztályú cementet kell használni. A CEM I fajtájú „tisztá” portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok kötőanyagául. A CEM II fajtájú „heterogén” portlandcementeket tekintve, a svédek az XF1, XF2, XF3 fagyállósági környezeti osztályban bármely CEM II/A jelű portlandcement (kiegészítő anyag tartalom 6-20 tömeg%), az XF4 fagyállósági környezeti osztályban csak a savanyú pernye kiegészítő anyagos CEM II/A-V és a legfeljebb 0,5 tömeg% szerves-szén tartalmú, mészkőliszt kiegészítő anyagos CEM II/A-LL jelű cement alkalmazásával értenek egyet.

A DIN 1045-2:2008 szabvány az összes németországi cementfajtára részletes ajánlási/tiltási jegyzéket ad meg. A német szabvány F.3.1. táblázata szerint a CEM I fajtájú „tisztá” portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók a fagyálló betonok készítéséhez. A CEM II fajtájú „heterogén” portlandcementek németországi alkalmazhatósága árnyaltabb. A CEM II/A-S és a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcementek valamennyi környezeti osztályban felhasználhatók. A CEM II/A-V jelű pernye-portlandcementet az XF1 és XF3 környezeti osztályban, a CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet (kiegészítő anyag tartalom 21-35 tömeg%) csak az XF1 környezeti osztályban szabad alkalmazni. A CEM II/A-LL mészkő-portlandcement felhasználását valamennyi környezeti osztályban megengedik. A CEM II/A-M és a CEM II/B-M kompozit-portlandcementek alkalmazhatóságát a kiegészítő anyag kombinációktól teszik függővé. Úgy rendelkeznek, hogy a CEM II/A-M (S-LL) jelű (kohósalak + mészkőliszt) kompozit-portlandcement valamennyi fagyállósági környezeti osztályban, a CEM II/A M (V-LL) jelű (pernye + mészkőliszt) kompozit-portlandcement az XF1 és XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni. Az ugyanilyen összetételű, de nagyobb kiegészítő tartalmú CEM II/B-M (S-LL) és CEM II/A M (V-LL) jelű kompozit-cementek felhasználását tiltják. A CEM III/A és a CEM III/B jelű kohósalakcementek alkalmazása Németországban az XF1, XF2, XF3 környezeti osztályban megengedett, az XF4 környezeti osztályban a CEM III/A fajtájú kohósalakcement használható akkor, ha a szilárdsági osztálya legalább 42,5, vagy ha legalább 32,5 R (nagy kezdőszilárdságú) és a kohósalaktartalma legfeljebb 50 tömeg%.

Német megállapítás, hogy növekvő kohósalaktartalom mellett csökken a légbuborékok hatékonysága, és fagyhatás esetén a légbuborékos beton hámlási vesztesége egyre jobban megközelíti a légbuborékképző adalékszer nélkül készült beton hámlási veszteségét (*Lohaus*, 2007). Légbuborékos beton esetén az XF4 környezeti osztályban CEM III/A 42,5 jelű kohósalakcementet szabad használni, de a betont a szokásosnál hosszabb ideig kell utókezelni.

Az osztrákok az ÖNORM B 4710-1:2007 szabvány NAD 10. táblázatában a CEM I és a CEM II/A fajtájú, nálunk is gyártott portlandcementek valamennyi fagyállósági környezeti osztályban való alkalmazását engedélyezik. Ugyancsak alkalmazható valamennyi környezeti osztályban a CEM II/B-S jelű kohósalak-portlandcement. A CEM II/B-V jelű pernye-portlandcementet feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban szabad felhasználni, az XF2 és XF4 környezeti osztályban pedig felhasználását a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolásához kötik. A CEM III/A fajtájú kohósalakcement használatát feltétel nélkül csak az XF1 és az XF3 környezeti osztályban engedik meg. A CEM III/A fajtájú kohósalakcement használata az XF2 és XF4 környezeti osztályban, valamint a CEM III/B fajtájú kohósalakcement használata valamennyi környezeti osztályban szintén a légbuboréktartalomra vonatkozó osztrák előírások teljesülésének igazolása esetén megengedett.

A svéd, német és osztrák ajánlásokat is figyelembe véve a hazánkban gyártott cementek közül fagy- és olvasztósó-álló betonok készítésére az XF1 és az XF2 környezeti osztályban a CEM I és a CEM II/A-S fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement, illetve kohósalak-portlandcement, az XF3 és az XF4 környezeti osztályban a CEM I fajtájú, legalább 42,5 szilárdsági osztályú portlandcement ajánlható.

Légbuborékképző adalékszer megfelelése

A légbuborékképző adalékszer ❖ a beton fagy- és olvasztósó-állóságát növelik, ezért alkalmazásuk az XF2 – XF4 környezeti osztályokban ajánlott (az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint kötelező), pályabetonok építése során előírt. Alkalmazásuk elsősorban útpályaszerkezetek esetén elengedhetetlen, magas- és mélyépítési betonok fagyállósága légbuborékképzőszer nélkül is megoldható [XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztály]. Az XF3 és XF4 környezeti osztályú légbuborékképző adalékszer nélküli fagyálló betonokra a DIN 1045-2:2008 alternatívát ad.

Különleges hatásuk abban áll, hogy a betonban igen nagyszámú, kisméretű (átmérőjük kisebb, mint 0,3 mm) légbuborékot hoznak létre. A friss betonba légbuborékképzőszerrel bevitt légbuborékok a megszilárdult betonban is megmaradnak. A beton megfagyásakor a kapillárisokból kiszorított víz egy részét felveszik, és a képződő jégkristály-nyomást levezetik. A kapillárisokban megfagyó víz kitágulásának teret adnak, a kapillárisok megszakításával csökkentik a vízfelszívást, ezáltal a beton jégkristály-nyomás okozta szétrepedezésének veszélye lecsökken. Hasonló jelenség játszódik le a kikristályosodó olvasztósó kristály-nyomásának semlegesítésekor is.

Az adalékszer légbuborékképző hatása hatékonyságuktól és adagolásuktól, a cement fajtajától, a beton összetételétől, konzisztenciájától (víztartalmától), hőmérsékletétől, keverési módjától függ. A légbuborékok mennyisége a betonban általában *növekszik*, ha például a légbuborékképző adalékszer adagolása nő, a 0,25/0,5 mm-es finom homok tartalom nő, a homok szemlakja szögletes, a cementtartalom kisebb, a légbuborékképzőszer a keverővízben feloldják, a betonba kötégysorsítószer is adagolnak, a keverési idő mintegy 1,5 perc, a konzisztencia képlékeny (de nem önthető) a földnedves helyett stb., és általában *csökken*, ha például a 0,125 mm alatti szemek mennyisége nő, finomabb őrlésű a cement, a cement pernye- vagy kohósalaktartalma nő, a betonba késleltetőszer is adagolnak, az optimálisnál hosszabb a keverési idő, hosszú a szállítási vagy a bedolgozási idő, a nyári melegben stb. (Erdélyi, 1983)

A betonban képzett légbuborékok általában csökkentik a beton szilárdságát, kivéve, ha a képlékenyítő hatást a víz-cement tényező csökkentésére használjuk. Ez azonban általában csak viszonylag csekély levegőtartalom vagy soványbetonok esetén lehetséges. A légbuborékképzőszer túladagolása a beton nyomószilárdságának jelentős csökkenését okozza. A légbuborékos beton kúszása mindig nagyobb, mint a légbuborékképzőszer nélkülié.

A légbuborékképző adalékszerek valamelyest képlékenyítenek és csökkentik a vízigényt is. Légbuborékképzőszer és képlékenyítő- vagy folyósítószer együttes alkalmazása során hatásvizsgálattal meg kell győződni arról, hogy a légbuborékképzés a képlékenyítő- vagy folyósítószerben lévő habzástól ellenére szavatolható, továbbá az adalékszerek és a cement összeférhetők.

Szivattyús szállításkor a légbuborékos friss betonban lévő jelentős mennyiségű levegő összenyomódása folytán a betonszivattyú hatékony működése, a légbuborékos beton szivattyúzhatósága a szállítási távolságtól függő mértékben romlik.

A beton kémiai hatásokkal szembeni ellenállását légbuborékképzőszerrel nem lehet növelni.

Ha az érdekelt felek a bedolgozott friss betonon mért vagy számított levegőtartalom kimutatásával nem elégszenek meg, vagy megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálat elhagyásában, vagy egyéb szempontok szólnak mellette, akkor a beton megfelelőségének igazolásához a megszilárdult beton próbatestből (vagy ritkán a kész szerkezetből vett magmintákból, ugyanis az értékeléshez ismerni kell a beton pontos összetételét is) kimunkált és megcsiszolt próbatesteken kell a légbuborékok távolsági tényezőjét ❖ és mennyiségét az MSZ EN 480-11:2006 szerinti sztereomikroszkópos vizsgálattal meghatározni.

Légbuborékképzős fagyálló beton esetén – a szilárd betonban, az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – a távolsági tényező legfeljebb 0,22 mm, a bevitt, 0,3 mm-nél kisebb névleges átmérőjű hatékony légbuborékok (mikrolégbuborékok, jele: L300) mennyisége (jele: A₃₀₀) legalább 1,0 térfogat% (az XF2 és XF3 környezeti osztályban), illetve legalább 1,8 térfogat% (az XF4 környezeti osztályban) legyen.

Az MSZ EN 934-2:2009 adalékszer szabvány azt a légbuborékképző adalékiszert tekinti megfelelőnek, amelynek hatására a légbuborékképzős friss beton levegőtartalma legalább 2,5 térfogat%-kal nagyobb, mint a légbuborékképző nélküli beton levegőtartalma, és a friss beton teljes levegőtartalma 4-6 térfogat%. Követelmény továbbá, hogy a légbuborékképzőszer a megszilárdult betonban – az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint meghatározva – legfeljebb 0,20 mm távolsági tényezőt hozzon létre. Az MSZ EN 934-2:2009 szabvány szerint 28 napos korban a légbuborékképző adalékiszerttel készült beton nyomószilárdságának el kell érnie a légbuborékképző adalékiszert nélkül készített ellenőrző beton nyomószilárdságának 75 %-át.

Mint ahogy az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályú betonok légbuborékképző adalékiszert nélkül készülnek, ezek fagy- és olvasztósó-állóságát az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszát, vagy esetleg más, megállapodás szerinti szabványt (például ÖNORM B 3303:2002) követő vizsgálatokkal igazolni kell. Az XF2(BV-MI) és XF3(BV-MI) környezeti osztályban a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóság, illetve fagyállóság vizsgálata nem hagyható el.

Mikroléggyöngy („előregyártott légbuborék”) alkalmazása

Ha a légbuborékképzős beton előállítása nehézségekbe ütközik (például száraz eljárású lövellt beton esetén), akkor a beton fagyállóságát szilárdság csökkenés nélkül mikroléggyöngy (németül: Mikrohohlkugel, rövidítve: MHK) adagolásával lehet javítani. A mikroléggyöngy héja vékony műanyagfilm, szemnagysága 0,01-0,06 mm, adagolása 0,7-0,8 térfogat%. A rendkívül könnyű gyöngyszemeket nehéz bekeverni, amit megkönnyítendő vizes pép alakjában műanyagzacskóban forgalmazzák. Adagoláskor figyelembe kell venni, hogy hosszabb keverési idő alatt a gyöngyszemek egy része sérülhet, kipukkadhat. Hátránya, hogy beszerzési költsége jelenleg még magas. [*Springenschmid*, 2007]

Szilikapor alkalmazása

A szilikapor ❖ kémiailag kevesebb, fizikailag több vizet köt meg, aminek következtében a beton víztartalma és fagyérzékenysége megnő.

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány kétféle fagyállóság, ill. fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatot ismer: vagy a beton belső szerkezeti sérülését („A” eset), vagy a beton felületi hámlását („B” eset) vizsgálja. Az „A” eset az MSZ EN 12371:2002 szabványt követi, a „B” eset hasonló az MSZ EN 1338:2003 szabvány D mellékletében leírt eljáráshoz.

A fagyállóságot, ill. a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány és a BV-MI 01:2005 műszaki irányelv szerint a következőképpen kell vizsgálni és értékelni, amelyhez megjegyzést is fűzünk:

- Az XF1 és az XF3 környezeti osztály esetén, ahol csak fagyhatás éri a betont, – ha a fagyállóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. *Véleményünk szerint* a betonösszetétel határértékeivel történő előírás csak az XF1 környezeti osztályban engedhető meg;
- Úgy véljük, hogy az XF3 környezeti osztályban a fagyállóság vizsgálatot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint el kell végezni, ha a légbuborék szerkezetet (légbuborék eloszlás és távolsági tényező) nem határozzák meg;
- Az XF2 és az XF4 környezeti osztály esetén, ahol fagy- és olvasztósó-hatás éri a betont, – ha a fagy- és olvasztósó-állóságot nem közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor – a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. Ha megegyeznek a fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat elhagyásában, és a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel írták elő, akkor a szilárd beton légbuborék eloszlását és távolsági tényezőjét kell meghatározni az MSZ EN 480-11:2006 szerint. *Véleményünk szerint* az XF2 és XF4 környezeti osztályban nem elegendő a fagy- és olvasztósó-állóságot közvetve a betonösszetétel határértékeivel előírni, hanem el kell végezni az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerinti vizsgálatot, amely az XF2 környezeti osztály esetén elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák. Az XF4 környezeti osztályban ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is;
- Az XF2(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagy- és olvasztósó-állóságot az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagy- és olvasztósó-állóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni;
- Az XF3(BV-MI) környezeti osztály esetén a fagyállóságot együtt a „referencia” betonnal, az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint kell megvizsgálni és értékelni. A fagyállóságot közvetett módon a betonösszetétel határértékeivel nem szabad előírni, hanem a fenti vizsgálatot el kell végezni.

A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje tehát javaslatunk szerint az *1. táblázat* szerinti legyen. Az *1. táblázatban* javasolt vizsgálati rend érvényre juttatásához az MSZ 4798-1:2004 szabvány átdolgozása lenne szükséges.

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának követelménye az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszában található. A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatához 100 m³ beton-térfogatonként, vizsgálatonként legalább 1 db, de tételenként legalább 3 db próbatestet kell készíteni. A fagyállóság vizsgálatához szükséges referencia próbatestek darabszáma ugyanennyi kell, hogy legyen.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint, ha a beton fagynak ki van téve, de olvasztósó hatása nem éri (azaz környezeti osztálya XF3), akkor a megszilárdult

beton fagyállóságát legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített próbatesteken, légtérben történő fagyasztással és víz alatti olvasztással kell vizsgálni az MSZ EN 12371:2002 szabvány módszerét alkalmazva (2. táblázat). Ezt az eljárást váltotta fel a „belső szerkezeti fagykárosodásokat” vizsgáló európai eljárás, amelyet európai műszaki jelentés (MSZ CEN/TR 15177:2009) formájában tettek közzé.

1. táblázat: A fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatának rendje (javaslat)

Környezeti osztály	Olvasztósó hatás éri a betont	A beton felülete	Vizsgálati rend
XF1	Nem	Függőleges	Megengedhető a betonösszetétel határértékeivel történő előírás
XF2 (XF2 _{LP})	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF3 (XF3 _{LP})	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint, amely elhagyható, ha a légbuborék szerkezetet meghatározzák
XF4 (XF4 _{LP})	Igen	Vízszintes	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint és ajánlott meghatározni a légbuborék szerkezetet is
XF2(BV-MI), ill. XF2(H)	Igen	Függőleges	Fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint
XF3(BV-MI), ill. XF3(H)	Nem	Vízszintes	Fagyállóság vizsgálat az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „A” esete szerint

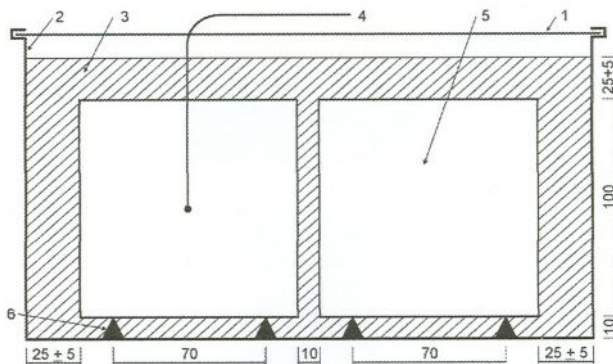
Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.6. szakaszának „B” esete szerint (az MSZ 1338:2003 szabványt követve), ha a beton fagynak és olvasztósó hatásának is ki van téve (azaz környezeti osztálya XF2 vagy XF4), akkor a megszilárdult beton fagy- és olvasztósó-állóságát ugyancsak legalább 28 napos, de legfeljebb 35 napos korú és vízzel telített, és öt oldalán gumiréteggel körülragasztott, a vizsgált felületen túlnyúló peremmel körülhatárolt, a peremen belül 3 százalékos, 3 mm mélységű nátrium-klorid oldattal feltöltött próbatesteken kell, ún. „hámlasztásos” (vagy „felületi mállási”) eljárással vizsgálni. A peremes hámlasztásos vizsgálatot a jövőben a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltó, a CEN/TS 12390-9:2006 európai műszaki előírás honosításával bevezetett MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban szereplő referencia módszer alkalmazásával kell végezni. A peremes hámlasztásos vizsgálat hazai tapasztalatok szerint túlzottan erős hatása folytán elsősorban összehasonlító jelleggel alkalmazható.

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007, MSZ EN 12371:2002 és MSZ EN 1338:2003 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatok jellemzőit a 2. táblázatban hasonlítjuk össze.

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabványban egy referencia (*peremes hámlasztás*) és két alternatív (*bemerítéses leválási és kapilláris felszívásos hámlasztási*) fagyasztási vizsgálati módszer található. A módszerek mind ionmentes vízzel, mind nátrium-klorid oldattal alkalmazhatók. A *kapilláris felszívásos alternatív vizsgálat* során a próbatesteket egyirányú kapillárisfelszívásnak teszik ki, és ha a fagyasztóközeg ionmentes víz, *CF-vizsgálatnak*

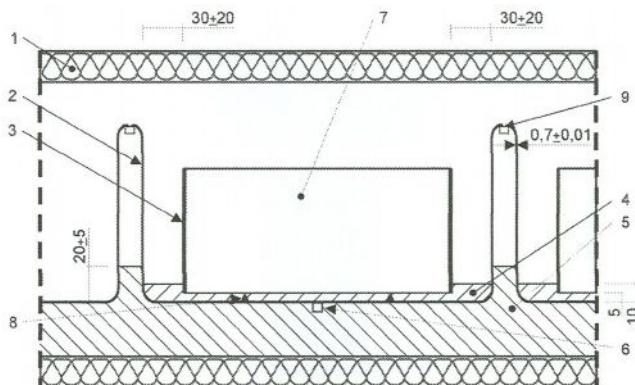
(Capillary suction of water and Freeze thaw test), ha nátrium-klorid oldat, *CDF-vizsgálatnak* (Capillary suction of Deicing solution and Freeze thaw test) nevezik. (A kapilláris felszívásos alternatív CDF-vizsgálat a bemeztetéses alternatív vizsgálatnál szigorúbb, mert a kapillárisokba felszívódó sóoldat párolgásával a nátrium-klorid a pórusokban feldúsul és repesztőhatása növekszik.) A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma általában 56, kivéve a kapilláris felszívásos alternatív vizsgálatot, ha a fagyasztóközeg nátrium-klorid oldat (CDF-vizsgálat), mely esetben a ciklusszám 28. Megegyezés szerint vagy a referencia módszert, vagy a két alternatív módszer egyikét, kétség esetén mindig a referencia módszert kell alkalmazni. A három vizsgálati módszerrel kapott eredmény között nincs összefüggés. A peremes hámlasztás referencia módszere nagy hasonlóságot mutat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti hámlasztásos, „B” módszerrel. A szabvány követelmény értéket nem tartalmaz, irodalmi ajánlások alapján (Setzer, 1990) fagy- és olvasztósó-állónak tekintik a betont, ha a CDF-vizsgálat során 28 fagyasztási-olvasztási ciklus után a hámlási veszteség legfeljebb 1500 g/m^2 . Ez a követelmény csak laboratóriumi próbatetek esetén érvényes, kifűrt magminták esetén (a beton kora, igénybevétele stb. miatt) nem alkalmazható (Lang 2003; Bollmann – Lyhs, 2005; Bilgeri et al., 2007).

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti bemeztetéses leválási kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya a 4. ábrán, a kapilláris felszívásos hámlasztási CF/CDF alternatív vizsgálat alapelrendezése az 5. ábrán látható.



4. ábra:

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti bemeztetéses kockavizsgálat (alternatív-módszer) tartálya próbatetekkel
Jelmagyarázat: 1) Csúszófedél, 2) Tartály, 3) Fagyasztóközeg, 4) Hőmérő a próbakocka közepén, 5) Próbakocka, 6) 10 mm magas alátámasztás



5. ábra:

Az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti CF/CDF vizsgálat kapilláris felszívásos hámlasztással (alternatív módszer) alapelrendezése
Jelmagyarázat: 1) Tartály fedele, 2) Vizsgálótartály, 3) Próbatest oldalainak szigetelése, 4) Fagyasztóközeg, 5) Hűtőfolyadék, 6) Hőmérő a hűtőfolyadékban a középső tartály közepe alatt, a vizsgálotartály aljára erősítve, 7) Próbatest, 8) 5 mm magas alátámasztás, 9) Támasztékok a vizsgálotartályok beállításához

2. táblázat: Fagy- és olvasztósó-állóság szabványos vizsgálatainak összehasonlítása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 4. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 5. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Vizsgálat jellege	Peremes hámlasztás	Bemerítéses leválás	Kapilláris felszívásos hámlasztás	Bemerítéses leválás	Peremes hámlasztás
Fagyasztóközeg	3 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Próbatestet (25±5) mm- rel ellepő ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	10 mm mély réteg: ionmentes víz vagy 3 %-os NaCl oldat	Fagyasztás levegőn, olvasztás vízben	3 mm mély réteg: 3 %-os NaCl oldat (esetleg csapvíz, lásd az „A” esetet)
Eredeti próbatest mérete	150 mm-es kocka	100 mm-es kocka	I-alakú PTFE (pl. Teflon) betéttel függőlegesen két részre osztott, 150 mm-es kockasablonban készülő, kb. 140·150 mm vizsgálati felületű, (70±5) mm magas próbatest	Vízzel telített 100 vagy 150 mm-es kocka, vagy Ø150·150 vagy Ø100·100 mm-es henger	Legalább 20 napos 150 mm-es kocka, amelynek felezőjéből ki lehet vágni az 50·150·150 mm-es vizsgálati próbatestet
Próbatestek száma	4 db kockából kivágott 1-1 próbatest	4 db kocka, két tartály 2-2 kockával	5 db próbatest	3 db vízzel telített fagyasztandó és 1 db nem fagyasztott referencia próbatest hőmérsékletmérésre	3 db próbatest
Vizsgálati felület	A vizsgálati felület az eredeti próbatest felezősíkjával azonos vágott felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	A sablonban a függőleges PTFE anyagú elválasztó lemezzel érintkezett, kb. 140·150 mm-es felület	Mind a hat oldal érintkezik a fagyasztóközeggel	7500-25000 mm ² közötti felület
Fedővel zárható, rozsdamentes tartály mérete	—	Széles: (120±15) mm Hossz: (260±15) mm Magas: (150±15) mm Falvastagság: kb. 1 mm	Alakja speciális. A próbatest és a tartály függőleges fala között (30±20) mm hely legyen. Falvastagság: (0,7±0,01) mm	—	—

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 4. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 5. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Próbatestek előkészítése	<p>21 nap: 2 db (50±2) mm vastagságú, azaz 50-150-150 mm-es próbatestet kell kivágni minden eredeti próbatestből.</p> <p>(25±1) nap: A (vágott) vizsgálati felület kivételével minden oldalra gumilemezt kell ragasztani.</p> <p>Perem-magasság: (20±1) mm.</p> <p>28 nap – (72±2) óra: (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) ionmentes vízréteget kell önteni a peremek közé. Vizsgálat megkezdése előtt: A próbatest 5 oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani. Vizsgálat kezdetén a fagyasztókamrába helyezés (31 nap) előtt legalább 15 perccel: Az ionmentes vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, 3 mm magas (kb. 67 ml) fagyasztóközeggel, és a próbatest polisztirol falát polietilén-lemezzel le kell takarni</p>	<p>27 nap: Próbatest lemérés után a tartályba kerül, és rá kell önteni a fagyasztóközeget, úgy, hogy a kockát (25±5) mm-rel ellepje.</p> <p>28 nap: Meg kell határozni a kocka tömegét, és ki kell számítani a felvett fagyasztóközeg tömegét.</p> <p>Fagyasztókamrába helyezés: 28 nap</p>	<p>21-26 nap között: A próbatest oldalsó lapjait (4 oldal) vagy befedjük alumínium-fóliával és azt gumiragasztóval rögzítjük, vagy oldószer nélküli epoxigyantával tömítjük.</p> <p>28 nap: Ultrahangfürdőben eltávolítjuk a próbatestről a szennyeződések.</p> <p>A próbatestet a vizsgálati tartályba tesszük az (5±0,1) mm magas alátámasztásokra, a vizsgálati felülettel lefelé.</p> <p>Ezután beöntjük a fagyasztóközeget úgy, hogy rétegvastagsága 10 mm legyen.</p> <p>(A szabvány 7.4. szakasz második bekezdésének és a 7.5. feletti része a) pontjának szövege hibás, a 8. ábra helyes.)</p> <p>29-35 nap: 7 nap a fagyasztóközeg felszívására, majd kezdődik a fagyasztás</p>	<p>28-35 nap: A fagyasztás kezdete</p>	<p>28-35 nap között, 7 napon át: Klímakamrában kell tárolni. Ez alatt idő alatt a próbatest 5 oldalára, – a vizsgálat felület körül (20±2) mm magas peremmel – gumi réteget kell ragasztani.</p> <p>A peremek közé (5±2) mm magasan (20±2) °C-os vizet kell önteni, és klímasekrénybe kell tenni (72±2) óra hosszára.</p> <p>A fagyasztást 28-35 nap között kell elkezdni.</p> <p>A vizsgálat megkezdése előtt a próbatest 5 oldalára (20±1) mm vastag polisztirolréteget kell ragasztani.</p> <p>Vizsgálat kezdetén a fagyasztókamrába helyezés előtt 15-30 perccel a vizet ki kell cserélni (20±2) °C-os, (5±2) mm magas 3 %-os NaCl oldattal, és a próbatest polisztirol falát polietilén-fóliával le kell takarni</p>

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 4. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 5. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Próbatestek tárolása	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – vizsgálat kezdetégig: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 27 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 7 nap: (20±2) °C csapvíz alatt 7 nap – 28 nap: Klímakamrában, ahol kiszárad	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt, vízzel telített	0-(24±2) óra: sablonban; (24±2) óra – 28 nap: Végig víz alatt tárolt
Hőmérsékletmérés	Legalább egy próbatest felületén a fagyasztóközegben	A kocka közepén	A folyadékűtésű kád hűtőfolyadékában, a középső tartály alatt	Próbatest közepén	A próbatest NaCl oldattal elárasztott felületén
Hőmérséklet	Legnagyobb °C: (+24) – (+16) Legkisebb °C: (-18) – (-22)	Legnagyobb °C: (+22) – (+18) Legkisebb °C: (-13) – (-17)	Legnagyobb °C: (+21) – (+19) Legkisebb °C: (-19,5) – (-20,5)	Legnagyobb °C: (+5) – (+20) Legkisebb °C: (-12)	Legnagyobb °C: (+16) – (+24) Legkisebb °C: (-16) – (-20)
Teljes ciklusidő	24 óra	24 óra	12 óra	14 óra	24 óra
Ciklusok száma	56	56	CF vizsgálat: 56 CDF vizsgálat: 28	XF1 esetén: 50 XF3 esetén: 100	56
Olvasztás	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között	A tartályokat a fagyasztóközegben lévő kockákkal és a (20±2) °C-os vizes kádba kell helyezni úgy, hogy a víz (20±5) mm-rel legyen a tartályok felső pereme alatt. Az olvasztási fázis ideje: 8 óra	Olvasztás alatt a próbatest a régi fagyasztóközegben áll, míg azt ki nem cseréljük friss folyadékra	Olvasztás (20±5) °C-os vízben	Fagyasztókamrában fagyasztóközeggel a peremek között

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 4. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 5. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
Teendők a fagyasztás-olvasztás folyamata alatt. Megjegyzés: Valamennyi NaCl oldatos vizsgálat során tanácsos a leöntött oldatokat megelemezni a betonnól kioldott alkotók meghatározása céljából	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a lehámlott anyag összegyűjtése, kiszáritása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	(7±1), (14±1), (28±1) és 56 fagyasztási ciklus után az olvasztási fázisban a levált anyag összegyűjtése, a fagyasztás előtt új fagyasztóközeggel való feltöltése. Tartályok cseréje hetente, elforgatásuk és helycseréjük ciklusonként	CF vizsgálat: (14±1), (28±1), (42±1) és 56 fagyasztási ciklus után. CDF vizsgálat: (4±1), (6±1), (14±1) és 28 fagyasztási ciklus után mialatt a hőmérséklet 15 °C felett van. A vizsgálótartályt 3 percre bemejtjük az ultrahangfürdőbe. A lehámlott anyag összegyűjtése, kiszáritása (110±10) °C-on, tömegmérése, és a fagyasztóközeg cseréje	Legfeljebb 14 ciklusonként el kell forgatni a próbatestet 180°-kal	7 vagy 14 ciklusonként össze kell gyűjteni a lemállott részeket, és cserélni kell a NaCl oldatot
Megjegyzés	A kockából kivágott próbatestet egyikét ionmentes vízzel, a párját NaCl oldattal lehet vizsgálni. Így egy fagyasztóközegben 3 próbatestet lehet vizsgálni	—	CF: Capillary suction of water and Freeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás ionmentes vízben kapilláris felszívás mellett) CDF: Capillary suction of Deicing solution and Freeze thaw test (Fagyasztás-olvasztás NaCl oldatban kapilláris felszívás mellett)	Az olvasztósó hatásának ki nem tett beton fagyállósága a „B” módszerrel is vizsgálható, ha a fagyasztóközeg víz. Ebben az esetben az elfogadási feltétel 56 ciklus után: Tömegveszteség legfeljebb: XF1: átl.: 250, max.: 350 g/m ² XF3: átl.: 125, max.: 175 g/m ²	—

2. táblázat folytatása

Szabvány	MSZ CEN/TS 12390-9:2007			MSZ 4798-1:2004	
				„A” eset (MSZ EN 12371:2002)	„B” eset (MSZ EN 1338:2003)
Vizsgálati módszer	REFERENCIA	ALTERNATÍV (lásd 4. ábra)	ALTERNATÍV CF/CDF (lásd 5. ábra)	NORMATIV Előírás	NORMATIV Előírás
ALTERNATÍV vizsgálati lehetőség	<ul style="list-style-type: none"> - Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig 50 mm legyen. - Vizsgált felület nem feltétlenül vágott. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható 	<ul style="list-style-type: none"> - Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága és szélessége mindig 80-100 mm között legyen. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható 	<ul style="list-style-type: none"> - Más a kiindulási próbatest mérete, de a vastagsága mindig (70±5) mm legyen. - Más lehet az elválasztó lemezek helyzete, de akkor a próbatestet is másképp kell kialakítani. - Más tárolási feltételek és korok. - NaCl helyett más olvasztószer. - Ciklusok száma megválasztható 	MSZ EN 12371:2002 szabvány az itt leírt általános „Technologische Prüfung (Verfahren A)” módszer mellett az „Identitätsprüfung (Verfahren B)” módszert is ismeri	—
Elfogadási határérték	—	—	CDF: 1500 g/m ² A követelmény csak laboratóriumi próbatestek esetén érvényes	Tömegveszteség max.: 5 tömeg%, nyomószilárdság csökkenés legfeljebb 20%	Tömegveszteség max.: XF2: átl.: 500, max.: 700 g/m ² XF4: átl.: 250, max.: 350 g/m ²

A fagyasztás–olvasztás hatására (modell-folyamat) a beton, ill. cementkő belső szerkezete (struktúrája) sérül, és ennek mértékét a beton „alaptulajdonságaira” (szilárdság, rugalmassági modulus stb.) roncsolásos és roncsolásmentes módszerrel lehet meghatározni. *Roncsolásos módszerként* – mint említettük – elsősorban a nyomószilárdság vizsgálatot alkalmazzák, de ajánlható az annál érzékenyebb hajlító-húzószilárdság vizsgálat is.

Roncsolásmentes módszer az ultrahang terjedési idő és a rezonancia-frekvencia mérés, amelyek eredményei a dinamikai rugalmassági modulus (E_{dyn}) változásáról adnak képet. „A fagyasztás során a mikro-repedések miatt a *Poisson*-szám megváltozik, ezért az ezt figyelembe vevő rezonancia-frekvenciás módszer megbízhatóbb, mint az ultrahangos eljárás. Amerikai kutatók rezonancia-frekvenciás méréssel mutatták ki, hogy a 350 – 400 kg/m³ cementadagolású, légbuborékképzős kísérleti betonjaik kezdeti rugalmassági modulusa 300 fagyasztási ciklusig lényegében nem változott, de a légbuborékképző nélküli betonok nagy részének kezdeti rugalmassági modulusa 150 – 300 fagyasztási ciklus között az eredetinek 60 %-a alá esett. Svéd kutatók 40 – 140 N/mm² közötti nyomószilárdságú betonok fagyasztása során azt tapasztalták, hogy míg a légbuborékképző nélküli betonok önrezgésszáma 250 fagyasztási ciklus után kezdett csökkenni, és a megindult repedezés miatt a kezdeti rugalmassági modulus a kiindulásinak 80 %-ára csökkent, addig a légbuborékos betonok és az agyagkavics adalékanyagú könnyűbetonok rugalmassági modulusa 10 %-nál kevesebbet változott. A megfelelő pórusrendszerű könnyű-adalékanyag légbuborékrendszerként működik.” (Erdélyi, 1996)

A beton belső szerkezete (struktúrája) fagyhatásra történő változásának (zavarának, sérülésének, károsodásának) vizsgálatával az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés foglalkozik. A műszaki jelentés *Setzer* (2004) munkáján alapul. A fogalom-meghatározás szerint „belső szerkezeti zavar” vagy „belső szerkezetsérülés” alatt olyan repedések keletkezését kell érteni, amelyek kívülről nem láthatók, mégis a betontulajdonságok változását (pl. a dinamikai rugalmassági modulus csökkenését) okozzák. A műszaki jelentés kidolgozói úgy vélik, hogy a gyakorlatban előforduló fagyási-olvasztási feltételeket egyetlen vizsgálati módszerrel modellezni nem lehet, ezért három eljárást tesznek közzé, amelyek különböző európai országokban beváltak, és mindig megfelelő eredményekre vezettek. Ezek az eljárások arra nem értek meg, hogy valamelyiküket referencia vizsgálatként jelöljék meg, ezért ha két laboratórium azonos betont vizsgál, akkor a vizsgálati módszerben és mérési eljárásban meg kell, hogy állapodjon. Követelmény értékek alkalmazásához módszerenként meg kell határozni a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a beton gyakorlati állapota közötti összefüggést, ugyanis a három vizsgálati módszer eredménye között nincs szoros korreláció. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 európai műszaki jelentés a hasáb-vizsgálatot, a lemez-vizsgálatot és a CIF-vizsgálatot (Capillary suction Internal damage and Freeze thaw test) tartalmazza. Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti vizsgálatok alapvetően hasonlítanak az MSZ CEN/TS 12390-9:2007 szabvány szerinti fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálatokhoz, azzal a különbséggel, hogy ezekkel a vizsgálatokkal nem a fagyasztási ciklusok okozta tömegvesztéséget, hanem a roncsolásmentes vizsgálatok eredményének változását, ill. esetenként a hosszmeret-változást és kiegészítésként a vízfelvételt kell meghatározni. Ezeket a vizsgálatokat a fagyállóság vizsgálat előtt (kezdeti mérési eredmény), majd a (7 ± 1), (14 ± 1), (28 ± 1), (42 ± 1) és 56 olvasztási ciklust követően kell elvégezni.

A roncsolásmentes vizsgálatok relatív eredményének négyzete arányos a relatív dinamikai rugalmassági modulussal (RDM).

A relatív dinamikai rugalmassági modulus a *keresztirányú önrezgésszám* mérése esetén az n -edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{FF,n} = (f_n/f_0)^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: f_n a keresztirányú önrezgésszám az n -edik olvasztási ciklus után, [Hz]
 f_0 a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) keresztirányú önrezgésszám, [Hz]

A relatív dinamikai rugalmassági modulus az *ultrahang terjedési idejének* mérése esetén az n -edik olvasztási ciklus után:

$$RDM_{UPTT,n} = (t_{S,0}/t_{S,n})^2 \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol: $t_{S,0}$ a kezdeti (az első fagyasztási ciklus előtt mért) ultrahang terjedési idő, [μ s]
 $t_{S,n}$ az ultrahang terjedési idő az n -edik olvasztási ciklus után, [μ s]

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *hasáb-vizsgálat* során a sablonban készült 400·100·100 mm méretű próbahasábokat 1 napos korban ki kell zsaluzni, 7 napos korig műanyagfóliába csomagolva levegőn, majd kicsomagolva 7 napos kortól 28 napos korig víz alatt kell tárolni. A „*bemerítéses*” fagyállóság vizsgálatot a vízből való kiemelés után legkésőbb 2 órával el kell kezdeni, és az erre a célra készített próbatest közepén mért hőmérséklettel a fagyasztási diagramot követve kell végezni. A fagyasztóközeg ionmentes víz, a fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hullámokat elnyelő anyagra (pl. habanyagra) fektetett hasábokon keresztirányban a relatív önrezgésszám és hosszirányban a relatív ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidejűleg meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *lemez-vizsgálat* 150·150·50 mm méretű próbatestét 150 mm méretű, 1 napos korban kizsaluzott, 7 napos korig víz alatt, azt követően 28 napos korig klímasekrényben tárolt próbakockából, 21 napos korban, a próbakocka lesimított felületére merőlegesen kell kivágni. A vizsgálati felület a kocka felezősíkjának vágott felülete. A kivágott próbatest alsó lapjára és oldalaira – a vizsgált 150·150 mm méretű, vágott lap kivételével – gumilapokat kell ragasztani, amelyek az oldalakon peremet képezve 20 mm-rel túlnyúlnak, és külső hőszigetelést kapnak. A „*peremes*” fagyállóság vizsgálat 28 napos korban, a vizsgált felület ionmentes vízzel, 72 órán át tartó telítésével kezdődik, és a fagyasztósekényben folytatódik. A peremek közé kerülő fagyasztóközeg ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat, amelynek rétegvastagsága 3 mm. A hőmérsékleti diagramot a fagyasztóközegben, a vizsgált felület közepén mért hőmérséklettel kell követni. A fagyasztási-olvasztási ciklusok száma 56, de több is lehet. A hossz méret-változást (referencia-vizsgálat) három-pontos, mérőórás eszközzel, két szemben lévő oldallapra erősített mérőpont között kell vizsgálni. A keresztirányú önrezgésszámot (alternatív vizsgálat) a vizsgált 150·150 mm méretű felületen, az ultrahang terjedési időt (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni, miközben a próbalemez habanyagon fekszik. A lemez-vizsgálat során a hossz méret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében.

Az MSZ CEN/TR 15177:2009 szerinti *CIF-vizsgálat* próbatesteinek mérete, tárolása és a fagyállóság vizsgálat lényegében megegyezik az MSZ EN 12390-9:2007 szabvány szerinti „*kapillaris felszívós*” vizsgálattal. A fagyasztás a 28 napos korban kezdett, 7 napig tartó, (20 ± 2) °C hőmérsékleten végzett folyadék-felszívást követően kezdődik. A fagyasztóközeg a vizsgálatortályban lévő 10 mm rétegvastagságú ionmentes víz vagy 3 %-os nátrium-klorid oldat. A CIF-vizsgálat során az ultrahang terjedési időt (referencia-vizsgálat) a pl. plexi

tartóba helyezett próbatest két-két szemben lévő oldallapja között, a hossz méret-változást (alternatív vizsgálat) két szemben lévő oldallap között kell megmérni. A keresztirányú önrezgésszám (alternatív vizsgálat) vizsgálatához a próbatestet a vizsgált 140-150 mm méretű vizsgálati felülettel lefele a hullámnyelő habanyagra kell fektetni, és a keresztirányú önrezgésszámot a felső felületen kell vizsgálni. A CIF-vizsgálat során a hossz méret-változást, a relatív keresztirányú önrezgésszám és a relatív hosszirányú ultrahang terjedési idő változását kell meghatározni az idő függvényében. A roncsolásmentes vizsgálatokkal egyidőben meg kell mérni a próbatestek vízfelvételét is.

Végül a betonok fagy- és olvasztósó-állóságával kapcsolatban megjegyezzük, hogy az – mint ismeretes – a beton áteresztőképességének is függvénye. A beton áteresztőképességéről, ill. a sóoldat kapillaris felszívódásáról a kloridionok behatolásával szembeni ellenállóképesség ASTM C 1207:1997 szabvány szerinti 6 órás gyorsvizsgálata adhat tájékoztatást.

A felületi bevonat fagy- és olvasztósó-állóság vizsgálata

A *betonszerkezetek védelmére és javítására* szolgáló cement (CC: Cement-Concrete), műanyag-cement (PCC: Polimer-Cement-Concrete) és műanyag (PC: Polimer-Concrete) kötőanyagú finomhabarcs, habarcs és beton felületi bevonatok és rendszerek fagy-, olvasztósó- és hőállóságának vizsgálatára külön szabványokat dolgoztak ki (MSZ EN 13687 sorozat). A próbatestek előírt módon szilárdított felületi bevonatokkal (feltehetően a vizsgálati felületen) ellátott 300·300·100 mm méretű, MSZ EN 1766:2000 szerinti referencia betonból készített lapok, amelyeket a vizsgálat előtt a hátoldal és az oldallapok folyadékfelvétele ellen a vizsgált 300·300 mm méretű felület kivételével hőre szilárduló gyantával kell bevonni.

A próbatestek száma három, ebből egy referencia próbatest. A vizsgálatok ciklusszáma 10, a ciklusokat az MSZ EN 1504-2:2005, ill. MSZ EN 1504-3:2006 szabványban előírtak szerint egyszer kell megismételni. (Az előírt 20 ciklus a hazai időjárási körülmények között nem feltétlenül elegendő.) A próbatesteknek a vizsgálatot meghibásodás és elváltozás nélkül kell viselniük. A fagyasztási-olvasztási ciklusok után a próbatesteket laboratóriumi körülmények között [(21 ± 2) °C levegő hőmérséklet és (60 ± 10) % relatív levegő nedvességtartalom] legalább 7 napon át kell tárolni, majd ezután meg kell vizsgálni a felületi bevonat, ill. rendszer tapadó-húzószilárdságát az MSZ EN 1542:2000 szabvány szerint. Ha a bevonat a gyakorlatban függőleges felületre kerül, akkor a tapadó-húzószilárdság átlaga legalább 0,8 N/mm², legkisebb értéke legalább 0,5 N/mm²; ha terhelés nélküli vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,0 N/mm², a legkisebb érték legalább 0,7 N/mm²; ha terhelt vízszintes felületre kerül, akkor az átlag legalább 1,5 N/mm², a legkisebb érték legalább 1,0 N/mm² kell legyen.

Az MSZ EN 13687-1:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek olvasztósó oldatba merítéses fagy- és olvasztósó-állósági vizsgálatával foglalkozik. A fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű telített nátrium-klorid oldatban, az olvasztás (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben történik. Mindkét fázis hossza 2 óra, a ciklusidő tehát 4 óra.

MSZ EN 13687-3:2002 szabvány a felületi bevonattal ellátott beton próbatestek fagy- és hőállósági vizsgálatát írja le, olvasztósóoldat hatása nélkül. A vizsgálat referencia-eszköztára (-15 ± 2) °C hőmérsékletű fagyasztó légtér, (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízfürdő és (60 ± 2) °C hőmérsékletű melegítő légtér előállítására alkalmas berendezésekből áll, amelyek között a próbatesteket kézzel mozgatják. A vizsgálat programozható fagyasztó-temperáló-fűtő berendezéssel is végezhető. A ciklus kézi mozgatású vizsgálat esetén a következő fázisokból áll: 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 4 óra fagyasztás (-15 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben, 2 óra (21 ± 2) °C hőmérsékletű vízben, 16 óra hevítés (60 ± 2) °C hőmérsékletű légtérben. A ciklusidő tehát 24 óra. Programozható berendezés alkalmazásakor a lehűtés és felmelegítés időigénye miatt a hevítés ideje 10 óra, a fagyasztás és felhevítés között a vízfürdő ideje 75 perc, a hőtartás után 105 perc. A ciklusidő ez esetben is 24 óra.

Felhasznált irodalom

- MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon
- MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés (Módosítások: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005)
- MSZ EN 480-11:2006 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész: A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása
- MSZ EN 934-2:2009 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelés, jelölés és címkézés
- MSZ EN 1097-6:2001 Kőanyagalmazatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása (Módosítás: MSZ EN 1097-6:2000/A1:2006)
- MSZ EN 1338:2003 Beton útburkoló elemek. Követelmények és vizsgálati módszerek
- MSZ EN 1367-1:2007 Kőanyagalmazatok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálata. 1. rész: A fagyállóság meghatározása
- MSZ EN 1367-2:1999 Kőanyagalmazatok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás
- MSZ EN 1367-6:2009 Kőanyagalmazatok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálatai. 6. rész: A fagyállóság meghatározása só (NaCl) jelenlétében
- MSZ EN 1504-2:2005 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelésgértékelés. 2. rész: A beton felületvédelmi rendszerei
- MSZ EN 1504-3:2006 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Fogalommeghatározások, követelmények, minőség-ellenőrzés és megfelelésgértékelés. 3. rész: Szerkezeti és nem szerkezeti javítás
- MSZ EN 1542:2000 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. A tapadószilárdság meghatározása leszakítással
- MSZ EN 1766:2000 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálati módszerek. Referenciabetonok vizsgálatához
- MSZ EN 12371:2002 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A fagyállóság meghatározása
- MSZ EN 12620:2006 Kőanyagalmazatok (adalékanyagok) betonhoz (Módosítás: MSZ EN 12620:2002+A1:2008)

- MSZ EN 13687-1:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálási módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 1. rész: Fagyasztási-olvasztási ciklusok olvasztósó oldatba merítéssel
- MSZ EN 13687-3:2002 Termékek és rendszerek a betonszerkezetek védelmére és javítására. Vizsgálási módszerek. A hőmérséklet-változással kapcsolatos tűrőképesség (összeférhetőség) meghatározása. 3. rész: Hőmérséklet-változási ciklusok olvasztósóoldat hatása nélkül
- prEN 12390-9:2002 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling, ill. Prüfung von Festbeton. Teil 9: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand, Abwitterung
- MSZ CEN/TS 12390-9:2007 A megszilárdult beton vizsgálata. 9. rész: Fagyállóság. Lehámlás. Műszaki előírás, amely a prEN 12390-9:2002 szabványtervezetet felváltotta.
- MSZ CEN/TR 15177:2009 A beton fagyállóságának vizsgálata. Belső szerkezeti károsodás. Műszaki jelentés
- DIN 1045-2:2008 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. A DIN EN 206-1 európai szabvány német nemzeti alkalmazási dokumentuma
- DIN-Fachbericht 100:2005 Beton. Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung Zusammenstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- Balázs L. Gy. – Kausay T.: Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények. Vasbetonépítés. 1. rész: értelmezés. X. évf. 2008. 4. szám. pp. 127-135.; 2. rész: Vizsgálat. XI. évf. 2009. 2. szám. pp. 55-65.
- Bilgeri, P. – Eickschen, E. – Felsch, K. – Klaus, I. – Vogel, P. – Rendchen, K.: Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen in Fahrbahndeckenbeton. Beton-Informationen. 2007. No. 2. pp. 15-31.
- Bollmann, K. – Lyhs, P.: Hüttensandhaltiger Zement für Betonfahrbahndecken – CEM II/B-S 42,5 N (st). Beton-Informationen. 2005. No. 5. pp. 91-100.
- Erdélyi A.: Légpórusrendszer és betontartósság. c. fejezet a „Betonszerkezetek tartóssága” c. konferencia kiadványban (szerk.: Balázs Gy. és Balázs L. Gy.), 1996. pp. 129-138. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- Kausay T.: Betonok környezeti osztályai. Beton. XVII. évf. 2009. 7-8. szám. pp. 3-8.
- Lang, E.: Einfluss unterschiedlicher Karbonatphasen auf den Frost-Tausalz-widerstand – Labor- und Praxisverhalten. Beton-Informationen. 2003. No. 3. pp. 39-57.

- Setzer, M. J.: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Betonwaren. Universität GH Essen. Forschungsberichte aus dem Fachbereich Bauwesen. 1990. Nr. 49.
- Setzer, M. J.: CIF Test – Testmethode zur Bestimmung des Frostwiderstands von Beton (CIF) – RILEM Recommendation TC 117-FDC: CIF-Test: Capillary suction, internal damage and freeze thaw test – Referenze method and alternative methods A and B. Materials and Structures. Vol. 37. 2004. pp. 743-753.
- Springenschmid, R.: Betontechnologie für die Praxis. Bauwerk Verlag GmbH., Berlin, 2007.
- Zement Taschenbuch: Verein Deutscher Zementwerke e. V. 2002. Düsseldorf

Jelmagyarázat: ❖ A jel előtt álló fogalom a fogalomtár szócikke.

A cikk eredeti változata megjelent a	 <p>BETON szakmai havilap</p>	2010. február havi számának 14-18. oldalán (1. rész) és a 2010. április havi számának 14-19. oldalán (2. rész)
--------------------------------------	---	--

Vissza a

Noteszlapok abc-ben

Noteszlapok tematikusan



tartalomjegyzékhez



Vissza a Fogalmak könyvtár tartalomjegyzékéhez