

VLIV SEKUNDÁRNÍ KRYSTALIZACE NA VLASTNOSTI BETONU

THE EFFECT OF SECONDARY CRYSTALLIZATION ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

Michal Kropáček, Jiří Šafrata

Práce se zabývá účinkem krystalizačních přísad používaných při výrobě čerstvého betonu. Porovnává se účinek práškových krystalizačních přísad dostupných v ČR. Jako referenční beton byl zvolen beton třídy C20/25 XC3. ■ This work deals with effect of crystallization additives used during production fresh concrete. The effect of crystallization additives available in CR has been compared. As comparative concrete was chosen C20/25 XC3 concrete.

Beton je stavební materiál, který má i v moderním stavebnictví drtivou převahu nad ostatními materiály, proto je snaha tento materiál neustále zdokonalovat. Nejde pouze o zkvalitnění základních surovin, jejichž složení může podstatnou měrou ovlivnit kvalitu a vlastnosti daného betonu, ale také o přidávání odpadních (alternativních) nebo uměle vyrobených látek, bez kterých bychom nedokázali dosáhnout vlastností, které po moderním betonu požadujeme.

Krystalizační přísady jsou speciální látky, které mají za úkol především utěsnit strukturu betonu a vyplnit mikrotřhlinky, a tím zvýšit jeho odolnost proti vnějším vlivům. Složení těchto přísad tvoří vždy stejný základ, tím je jemně mletý portlandský cement, jemný křemičitý písek a chemické látky, které zajišťují vznik nových krystalů.

VSTUPNÍ SLOŽKY A NÁVRH RECEPTURY

Pro porovnávací zkoušky byl jako referenční zvolen beton C20/25 XC3, který byl navržen v souladu s normou ČSN EN 206-1 [4] (Změna normy proběh-

la až po zahájení zkoušek). Jednotlivé složky navrženého betonu jsou obsaženy v tab. 1.

Použité kamenivo 0/4 obsahuje málo jemných podílů, což je pro práci výhodné, protože se tím dá lépe ověřit účinnost krystalizačních přísad. Pro zkoušení byla vybrána uvedená třída betonu, protože se v praxi poměrně často používá a jeho odolnost proti vnějším vlivům je nízká. Při použití receptury v laboratorních podmínkách bylo dosahováno vyšších pevností, než je obvyklé při běžné výrobě. Do čerstvého betonu byly na závěr přidávány jednotlivé krystalizační přísady, jejichž dávkování bylo odvozeno z technických listů daného produktu. Pro zkoušení bylo zvoleno dávkování v polovině rozmezí optimálního dávkování udaného v technickém listě.

Jednalo se o krystalizační přísady s dávkováním uvedeným v tab. 2.

V technických listech mají všechny přísady uvedené zlepšení vlastností, jako je např. zvýšení pevnosti, snížení hloubky průsaku tlakovou vodou, některé by měly mít pozitivní vliv i na zpracovatelnost čerstvého betonu. Nicméně kromě výrobku Sika WT-200 P nejsou v technických listech uvedeny žádné podmínky použití, jako je třída betonu nebo obsah jemných částic apod. Použití přísady Sika WT-200 P je podmíněno minimálním množstvím cementu 350 kg/m^3 a maximálním vodním součinitelem 0,45 [14]. Jsou to tedy velice přísné podmínky, které samy o sobě obvykle zajišťují dobrou vodotěsnost. Zvolené složení betonu je v této práci nespĺňuje, avšak pro srovnání a zjištění účinnosti i na takové receptuře to lze považovat za přínosné.

PEVNOST V TLAKU

Krystalizační přísady se užívají především ke zvýšení těsnosti betonu, ale u některých přísad je uváděn v technickém listě také pozitivní vliv na pevnost betonu v tlaku. Ta byla zkoušena dle normy ČSN EN 12390-3 [6] na tělesech ve stáří 7, 28 a 90 dní (obr. 1). Krystalizační přísady by měly začínat působit v delším časovém období, proto byly zvoleny i delší časové intervaly, kde by bylo možné pozorovat jejich vliv na pevnost v tlaku.

Z obr. 1 vyplývá, že krystalizační přísady nemají na pevnost betonu v tlaku pozitivní vliv s výjimkou přísady Sika WT-200 P. Buď jsou pevnosti zhruba stejné s pevností referenčního betonu, nebo jsou dokonce nižší, a to i v dlouhodobém měřítku za laboratorních podmínek. V technických listech (Xypex) je zvýšení pevnosti v tlaku uvedeno jako pozitivum, které se ale konkrétně u těchto přísad na této receptuře nepotvrdilo. U přísady Xypex je naplnění příslibu podmíněno pouze přidáním min. 2% přísady na hmotnost cementu, což bylo dodrženo [12, 13].

MODUL PRUŽNOSTI

Kromě pevnosti betonu v tlaku byl zkoušen také jeho modul pružnosti (obr. 2). Vycházelo se z předpokladu, že pokud v betonu vznikají dodatečné krystaly, mohly by zvýšit jeho hutnost, a tím zvýšit i modul pružnosti betonu. Kromě statického modulu pružnosti, který byl zkoušen podle normy ČSN ISO 6784 [9] (Změna normy proběhla až po zahájení zkoušek), byl zkoušen také dynamický modul pružnosti v souladu s normou ČSN EN 12504-4 [8] a ČSN 73 1371 [2].

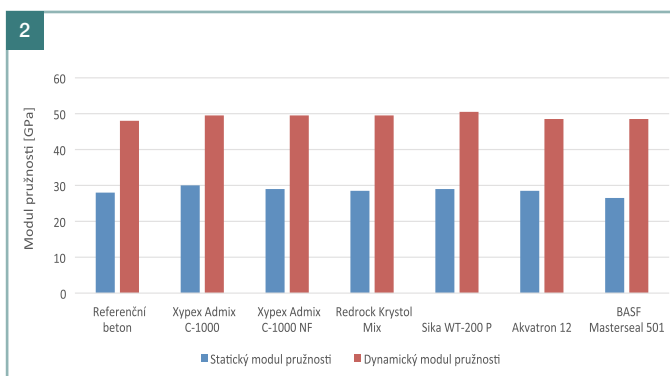
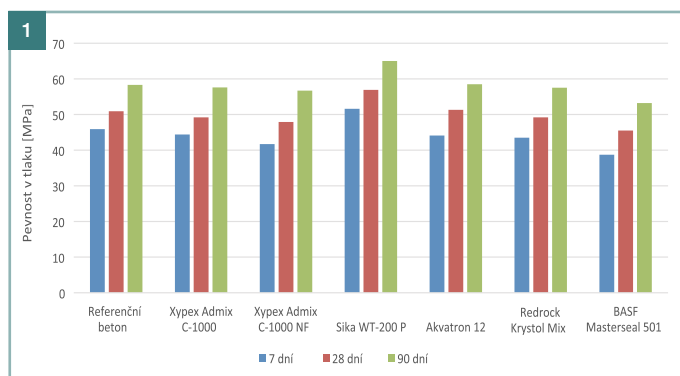
Z výsledků (obr. 2) je patrné, že krys-

Tab. 1 Složení betonu C20/25 XC3 [4] ■
Tab. 1 Composition of C20/25 XC3 concrete [4]

Složka		Množství na 1 m ³ [kg]
Vodní součinitel (w/c)		0,55
Cement	CEM I 42,5 R	280
Voda	-	154
Kamenivo Poměr - 46:8:46	0/4 Tovačov	871
	4/8 Hrabůvka	152
	8/16 Hrabůvka	871
Superplastifikátor PCE 0,8% z hmotnosti cementu	BASF Glenium SKY 665	2,24

Tab. 2 Zkoušené krystalizační přísady s příslušným dávkováním ■
Tab. 2 Tested crystallization additives with relevant proportioning

Krystalizační přísada	Dávkování		
	objemová hmotnost [kg/m ³]	[% obj. hm.]	rozsah dávkování dle technického listu [% obj. hm.]
Akvatron 12	1,96	0,7	0,4 až 1
BASF Masterseal 501	4,9	1,75	1,5 až 2
Redrock Krystol Mix	4,9	1,75	1,5 až 2
Sika WT-200 P	4,2	1,5	1 až 2
Xypex Admix C-1000	5,6	2	1 až 3
Xypex Admix C-1000 NF	2,8	1	0,5 až 1,5



talizační přísady nemají dle očekávání na modul pružnosti betonu žádný vliv. Drobné odchylky výsledků v řádu jednotek GPa budou pravděpodobně způsobeny pouze nepřesnostmi měření.

VODOTĚSNOST

Jednou z hlavních vlastností, kde by měly krystalizační přísady prokázat vysokou účinnost, je hloubka průsaku tlakovou vodou (obr. 3). Zkoušení se provádělo v souladu s příslušnou normou ČSN EN 12390-8 [7]. Betonové krychle byly uloženy, jako obvykle, v kádci po dobu 28 dní, což je ideální prostředí pro aktivaci sekundární krystalizace.

Z grafu na obr. 3 lze pozorovat významný vliv přísady Krystal Mix, jejíž použití dokázalo zredukovat hloubku průsaku na více než polovinu. Dobré snížení průsaku zajistila také přísada BASF Masterseal 501. Ostatní přísady měly minimální vliv.

CHRL

Další z pozitivních vlastností krystalizačních přísad by měla být zvýšená odolnost betonu proti působení mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám (CHRL) (obr. 4). Zkouška byla prováděna metodou automatického cyklování – A dle normy ČSN 73 1326 [1].

Stanovení odolnosti proti působení mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám je velmi agresivní zkouška. Jelikož referenční beton třídy XC3 nemá žádnou odolnost proti CHRL, by-

lo zkoušení z důvodu vysokých odpadů zastaveno po 75 cyklech. Ostatní betony prošly 100 cykly. Podle očekávání byl referenční beton již po 25 cyklech rozpadlý. U záměsí s krystalizačními přísadami došlo k relativnímu zlepšení, „nejméně rozpadlý“ byl beton s přísadou Krystal Mix. Je nutné také zmínit koncentrovanou variantu přísady Xypex Admix s označením C-1000 NF, která má výrazně odlišné vlastnosti od ostatních přísad. S největší pravděpodobností se bude jednat o špatnou kompatibilitu mezi surovinami, kdy může docházet k negativním jevům.

NASÁKAVOST

Krystalizační přísady by měly utěšňovat strukturu betonu, proto se zvolilo zkoušení nasákavosti betonových kostek. Jako experimentální metoda byla zvolena tato zkouška, která nemá normový postup.

Zkoušelo se po 28 dnech, kdy se tělesa vytáhla z kádě, povrchově se osušila a zvážila. Kostky byly poté uloženy do sušárny s teplotou nejprve 80 °C, později až do ustálené hmotnosti 105 °C. Čas byl předtím odzkoušen a byl dostačující k vysušení do ustálené hmotnosti. Tělesa byla poté opět uložena do vody na 48 h. Čas byl v případě potřeby prodloužen, pokud tělesa ještě přijímala vodu. Tím se získala hmotnost nasáklé kostky po vysušení. Graf na obr. 5 zobrazuje rozdíl vlhkostí mezi kostkou před vysušením a po vysu-

Obr. 1 Výsledná pevnost betonu v tlaku | Fig. 1 Resulting compressive strength of concrete

Obr. 2 Výsledné moduly pružnosti betonu | Fig. 2 Resulting modulus of elasticity of concrete

Obr. 3 Výsledná vodotěsnost betonu | Fig. 3 Resulting water tightness of concrete

Obr. 4 Výsledná odolnost betonu na CHRL | Fig. 4 Resulting resistance of concrete to freezing water and defrosting chemicals

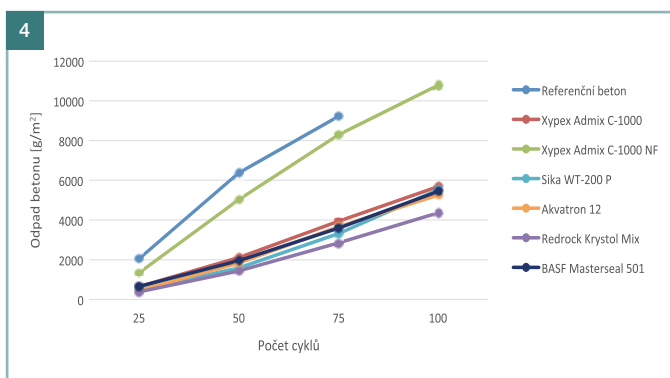
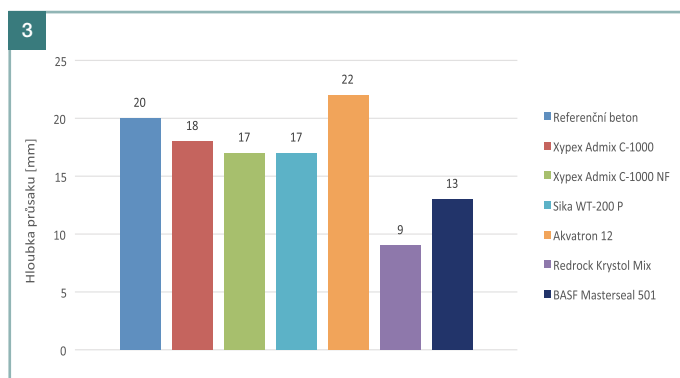
šení, jde tedy o znázornění míry utěšnění struktury, a tím snížení nasákavosti.

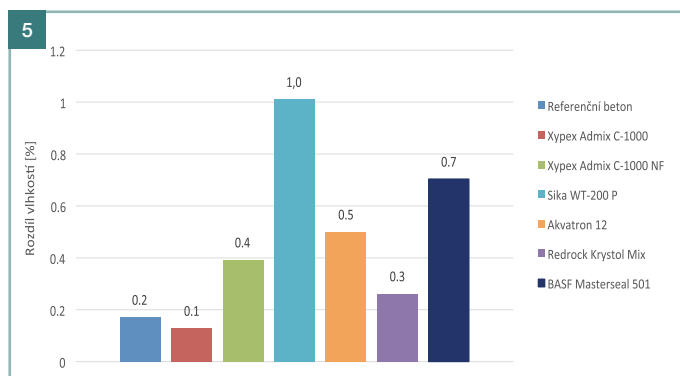
Zkoušení nasákavosti je jedna z možností, jak přímo zkoušet účinnost krystalizačních přísad na strukturu betonu. Podle předpokladu by měla být vlhkost a tedy míra nasákavosti po vysušení kostky nižší než před vysušením. Vychází to z předpokladu, že pokud došlo v betonu ke krystalizaci a utěšnění kapilár a pórů, tak po vysušení už není v betonu místo pro stejný obsah vody jako před vysušením.

Z naměřených hodnot lze vyhodnotit, že přísady Sika WT-200 P a BASF Masterseal 501 poměrně významně utěšily strukturu betonu. Ve zkoušce bude hrát velkou roli také velikost pórů a kapilár, proto by bylo vhodné doplnit pozorování struktury pod mikroskopem případně využít rtuťovou porozimetrii.

KAPILÁRNÍ ABSORPCE

Druhou možností, jak nepřímo zkoušet účinnost krystalizačních přísad, je sta-





Obr. 5 Výsledný poměr vlhkosti kostek před a po vysušení ■ Fig. 5 Resulting ratio of humidity of cubes before and after drying

Obr. 6 Kapilární absorpce cementových trámečků ■ Fig. 6 Capillary absorption of cement beams

novení kapilární absorpce na trámečcích z cementové malty. Tato zkouška vychází z normy ČSN EN 480-5 [5], která se mimo jiné zabývá přísadami do betonu, je tedy její zkoušení vhodné.

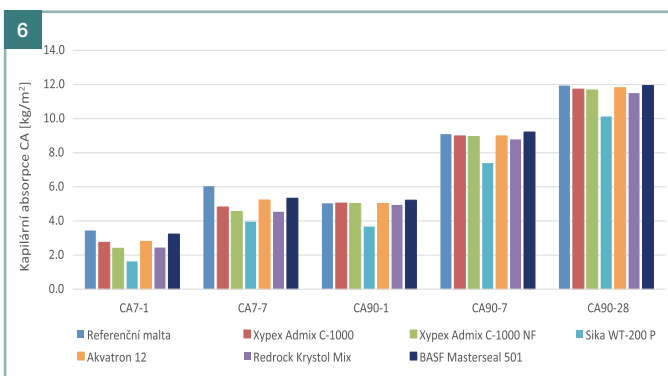
Podstata zkoušky spočívá v měření absorpce vody v časových úsecích, které přesně definuje norma. Tělesa, která jsou uložena v prostředí o teplotě 20 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 ± 5 %, se zhotovila po šesti kusech od každé přísady s cementovou maltou dle normy ČSN EN 196-1 [3]. K vyhodnocení bylo nezbytné zhotovit také referenční cementovou maltu bez přísady. Dávkování přísad bylo shodné s procentuálním dávkováním na cement u betonu. Tři trámečky byly po sedmi dnech zváženy a vloženy do vody. Po jednom dni byly povrchově osušeny, zváženy a opět uloženy do vody. Stejný postup byl opakován po sedmi dnech. Zbylé tři trámečky byly v požadovaném prostředí uloženy 90 dní a poté následoval totožný postup s časovými intervaly 1, 7 a 28 dní. Výsledná absorpce se poté vypočítá z rozdílu hmotností trámečků před kontaktem s vodou a jejich absorpcí dělený plochou, která je v kontaktu s vodou (norma udává $1\,600\text{ mm}^2$).

V grafu na obr. 6 lze tedy zkratky CAX-Y interpretovat jako kapilární absorpci (CA), kde X je doba uložení v laboratorním prostředí a Y čas, po který byly trámečky uloženy ve vodě.

ZÁVĚR

Provedené experimenty nepotvrzují zlepšení vlastností betonu tak, jak je deklarují dodavatelé přísad.

U pevnosti betonu v tlaku má použití krystalizačních přísad za následek do-



Literatura:

- [1] ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, Praha: ČNI, 2003
- [2] ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkušební metoda zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [3] ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti, Praha: ČNI, 2005
- [4] ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, Praha: Český normalizační institut, 2014
- [5] ČSN EN 480-5 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 5: Stanovení kapilární absorpce, Praha: ČNI, 2006
- [6] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [7] ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009
- [8] ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu, Praha: ČNI, 2005
- [9] ČSN ISO 6784 Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku, Praha, ČNI, 1993
- [10] Basf, s. r. o., Masterseal 501: Technický list. Chrudim, 2011
- [11] Moramis, s. r. o., Akvatron 12: Technický list. Ostrava, 2009
- [12] Nekap, s. r. o., Xypex Admix C-1000 (NF): Technický list. Praha, 2010
- [13] Redrock Construction, s. r. o., Krystal Mix: Technický list. Praha, 2012
- [14] Sika CZ, s. r. o., Sika WT-200 P: Technický list. Brno, 2013

konce pokles jeho pevnosti oproti referenčnímu betonu. Jedinou výjimkou je přísada Sika WT-200 P, která má velmi pozitivní vliv na pevnost betonu v tlaku a to hned po sedmi dnech. Tato skutečnost ale může být způsobena spíše vyšším množstvím cementu s mikrosilikou než samotnými aktivními chemikáliemi, které jsou podstatou krystalizačních přísad. Ačkoliv má krystalizační přísada Xypex Admix v technickém listě uvedené zvýšení pevnosti o 15 % za podmínky dávkování alespoň 2 % z hmotnosti cementu, což bylo splněno, tato vlastnost se nepotvrdila.

Vyhodnocení lze položit do dvou rovin. Klasické zkoušky určující odolnost betonu vycházejí ve prospěch přísady Redrock Krystal Mix, která dokázala snížit hloubku průsaku na polovinu a měla největší (byť sporný) účinek na snížení množství odpadů při zkoušce CHRL. Nejhorší dopadla koncentrovaná varianta Xypex Admix C-1000 NF.

Zajímavá je ale skutečnost, že zkoušky nasákavosti a kapilární absorpce, které by měly přímo prokázat účinnost krystalizačních přísad, určitým způsobem popírají výsledky předchozích zkoušek.

Z hlediska nasákavosti a kapilární absorpce dopadla nejlépe přísada Sika WT-200 P, což by mělo korespondovat s nízkou hloubkou průsaku tlakovou vodou. Tato souvislost se ale nepotvrdila.

V některých parametrech sice došlo k zlepšení měřených parametrů při aplikaci krystalizační přísady, ale lze to považovat za nepříliš přesvědčivý a ojedinělý jev. Pokud bychom recepturu upravili podle běžných technologických pravidel (např. jemné částice, provzdušnění), tak by se dosáhlo přesvědčivých výsledků při mnohem nižších nákladech. Vynaložené prostředky na krystalizační přísady tedy nebudou efektivní.

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

Ing. Michal Kropáček
Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava
tel.: 608 351 165
e-mail: kropackemichal@gmail.com



Ing. Jiří Šafřata
Betotech, s. r. o.
tel.: 602 429 702
e-mail: jiri.safřata@betotech.cz

