

# VLIV KRYSTALIZAČNÍCH PŘÍMĚSÍ NA PEVNOST BETONU V TLAKU ■ CRYSTALLINE ADMIXTURE EFFECT ON CONCRETE COMPRESSION STRENGTH

Jiří Pazderka

Článek na základě výsledků experimentálního měření analyzuje vliv krystalizační příměsí na pevnost betonu a cementové malty v tlaku. U cementové malty byl monitorován průběh nárůstu pevnosti v závislosti na čase. Součástí článku je i shrnutí výsledků předchozího výzkumu, který se zabýval vodonepropustností betonu s krystalizační příměsí. ■ The paper describes the crystalline admixture effect on concrete and cement mortar compressive strength. Presented conclusions and results are based on experimental research. The cement mortar strength rise depending on time was observed as well. The paper also includes the conclusions of previous research in the field of waterproofing.

Krystalizační hydroizolační systémy patří v současné době mezi progresivní hydroizolační materiály, s jejichž použitím se u různých druhů staveb setkáváme stále častěji. Tyto hydroizolační materiály jsou určeny pro aplikaci na betonové konstrukce zatížené vodou nebo vlhkostí. Pojem „krystalizační hydroizolační systémy“ v sobě obecně zahrnuje několik odlišných technologických postupů, kterými lze v konečném důsledku dosáhnout vytvoření vodonepropustné betonové konstrukce. Pro každý způsob aplikace výrobce obvykle dodává speciální typ krystalizačního materiálu. Jednotlivé metody aplikace a funkční principy působení krystalizačních materiálů byly podrobněji popsány v článku [1]. V tomto článku bude dále pojednáno pouze o krystalizačních příměsích.

## BETON S KRYSTALIZAČNÍ PŘÍMĚSÍ

Krystalizační materiál v podobě příměsí do betonové směsi je samozřejmě využitelný pouze pro nové betonové konstrukce (na rozdíl od krystalizačních nátěrů). V určitých případech však lze i krystalizační příměsí použít pro sanaci starších konstrukcí (betonových i zděných), a to ve formě přídatné vrstvy (cementová malta + příměs) natorkretované na povrch sanované konstrukce. Krystalizační příměsí obvykle obsahují méně křemičitých částí než krystalizační materiály určené pro aplikaci formou nátěru, lze je tedy označit za jakousi „čistší“ formu krystalizačního materiálu. Při makroskopickém pohledu na krystalizační příměs v práškovitém stavu je však u většiny výrobků rozdíl oproti materiálu pro nátěry prakticky zanedbatelný (obr. 1).

Vlastní aplikace krystalizační příměsí do betonu probíhá způsobem, kdy je příměs nejprve rozmíchána v záměsové vodě a teprve poté spolu s vodou smíchána s cementem a kamenivem. Dodržení technologického postupu je důležité, neboť je nezbytné, aby krystalizační příměs byla v betonu rovnoměrně rozptýlena. Po uložení směsi do bednění (nebo natorkretování na povrch svislé konstrukce) nastává důležitá fáze ošetřování čerstvého betonu.

V případě použití krystalizačních materiálů pro konstrukce, které jsou ve styku s vodou, je nejdůležitějším parametrem hloubka průsaku vody v konstrukci. Vzhledem k tomu, že krystalizační příměsí mají v pozemním stavitelství poměrně široké uplatnění (od torkretových betonů, přes speciální malty a cementové potěry až po betony bílých van), není snadné zvolit výstižnou třídu betonu pro zkoušky tak, aby

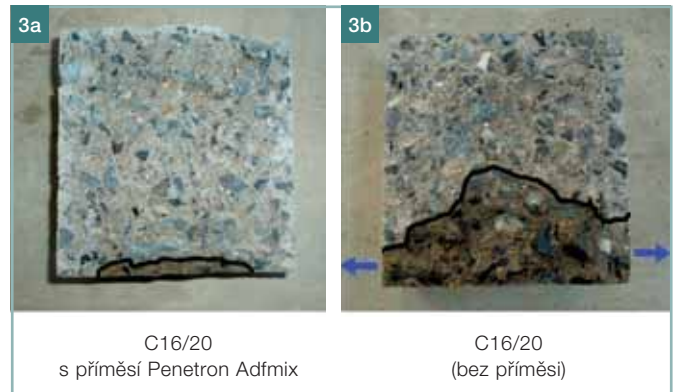
byly všechny tyto oblasti pokryty (např. Technická pravidla ČBS 02 Bílé vany – Vodotěsné betonové konstrukce doporučují pro bílé vany beton třídy min. C30/37). Pro zkoušky byl nakonec vybrán beton třídy C16/20, který je poměrně dobře propustný pro vodu. Nižší třída zkoušeného betonu je tak více „na straně bezpečnosti“, neboť se stoupající třídou betonu klesá jeho propustnost pro vodu (vysokopevnostní betony jsou pro vodu již zcela nepropustné). V budoucnu je samozřejmě možné obdobné měření provést také na betonech vyšších tříd.

Hloubka průsaku měřená zkouškou dle ČSN EN 12390-8 [4] (obr. 2) po 28 dnech od ukončení betonáže dosahuje u betonů C16/20 s krystalizační příměsí průměrné hodnoty cca 15 až 16 mm. Při zkouškách provedených autorem v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze (v laboratoři pod vedením Doc. Ing. Karla Koláře, CSc.) byl konkrétně u betonu C16/20 s krystalizační příměsí Penetron Admix naměřen průměrný průsak 16 mm (obr. 3) a u stejného betonu s příměsí Xypex Admix C-1000 15mm (referenční beton C16/20 bez příměsí vykazoval během zkoušky neustálý průsak vody přes stěny zkušebního tělesa – obr. 3). Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že z hlediska vodonepropustnosti jsou betony s krystalizační příměsí vhodným materiálem pro konstrukce zatížené tlakovou vodou. Kvalita těchto konstrukcí ale samozřejmě závisí (tak jako u všech bílých van) zejména na provedení pracovních a dilatačních spár a na pečlivém ukládání betonové směsi do bednění s vyloučením vzniku kaveren a jiných diskontinuit.

Konstrukci z betonu s krystalizační příměsí lze zatížit tlakovou vodou poměrně brzy po jejím vytvoření. V určitých případech je to možné již sedm dní po ukončení betonáže, jak prokázala experimentální analýza publikovaná v [3]. Výrobci však z bezpečnostních důvodů obvykle doporučují delší dobu mezi ukončením betonáže konstrukce a jejím prvním zatížením tlakovou vodou – většinou cca patnáct dní (v závislosti na konkrétním výrobku).

## VLIV KRYSTALIZAČNÍCH PŘÍMĚSÍ NA PEVNOST BETONU V TLAKU

Z hlediska použitelnosti konstrukcí z betonu s krystalizační příměsí pro reálné stavby však nestačí analyzovat pouze vliv krystalizačních příměsí na vodonepropustnost betonu, ale je nezbytné analyzovat také další aspekty jejich působení. Pro celkové hodnocení krystalizačních příměsí je nutné se zabývat jejich vlivem na pevnost betonu v tlaku, která je základním parametrem každé nosné betonové konstrukce. V podkladech většiny výrobců krystalizačních materiálů se obvykle setkáváme pouze s jakousi obecnou informací, že jejich krystalizační příměs „může zvyšovat pevnost betonu v tlaku“. Jen u některých výrobců bývá uváděn procentuální nárůst pevnosti betonu s danou krystalizační příměsí oproti pevnosti stejného betonu bez příměsí. Vždy však chybí jakékoliv bližší informace o tom, jak byla hodnota získána (např. pro jakou třídu betonu apod.). Nedostatek objektivních a přesných informací o vlivu krystalizačních příměsí na pevnost betonu v tlaku byl podnětem pro zkoušky popsané níže.



V první fázi byla uskutečněna základní zkouška pevnosti betonu s krystalizační příměsí v tlaku – podle ČSN EN 12390-3 [5]. Zkoušky opět probíhaly v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze. Jejich cílem bylo stanovení pevnosti betonu s krystalizační příměsí v tlaku po 28 dnech a srovnání se vzorkem z betonu shodného složení bez příměsí. Zkoušena byla sada krychlí s délkou hrany 150 mm, vyrobených z betonu C16/20 podle [6]. Betonová směs poloviny zkušebních těles obsahovala krystalizační příměs Penetron Admix, která byla do betonu apliko-

vána dle pokynů výrobce [8]. Krystalizační příměs byla přidána ve váhovém množství odpovídajícímu 2 % hmotnosti cementu. Zkušební tělesa byla ošetřována standardním způsobem podle [6]. Po 28 dnech od vytvoření těles bylo přistoupeno ke zkoušce pevnosti v tlaku.

Zkouška pevnosti zkušebních těles v tlaku byla provedena podle normy [5] v hydraulickém lisu postupným zatěžováním tělesa až do překročení pevnosti betonu v tlaku (obr. 4). Před vložením zkušebního tělesa do lisu bylo těleso zváženo, byly zjištěny jeho rozměry a stanovena objemová hmotnost tělesa.

Tab. 1 Výsledky zkoušek pevnosti v tlaku zkušebních těles ■ Tab.1 Test specimen compression test results

Beton	Krystalizační příměs	Číslo tělesa	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]		Pevnost v tlaku [MPa]	
			jednotlivá	průměr	jednotlivá	průměr
C16/20	Penetron Admix	1	2447	2471	35,6	36,2
		2	2403		35,8	
		3	2563		37,1	
C16/20	bez příměsí	1	2403	2417	37,6	36,8
		2	2432		36,9	
		3	2415		36	



Obr. 1 Vizuální porovnání krystalizační příměsí Xypex Admix C-1000 a krystalizačního nátěrového materiálu Xypex Concentrate (v práškovitém stavu před aplikací) ■ Fig. 1 Crystalline admixture Xypex Admix C-1000 compared with crystalline coat Xypex Concentrate (powder before application)

Obr. 2 Zkušební tělesa z betonu C16/20 s krystalizační příměsí Penetron Admix během zkoušky dle ČSN EN 12390-8 (fáze zatěžování vodním tlakem) ■ Fig. 2 Test specimen (C16/20 concrete with crystalline admixture Penetron Admix) during the water pressure test in accordance with ČSN EN 12390-8

Obr. 3 Průsak tlakové vody v betonu C16/20 s krystalizační příměsí Penetron Admix v porovnání se stejným betonem bez příměsí ■ Fig. 3 The seepage shape in C16/20 concrete with crystalline admixture Penetron Admix compared with the same concrete without admixture

Obr. 4a, b, c Postupné zatěžování zkušebního tělesa z betonu C16/20 s krystalizační příměsí Penetron Admix v hydraulickém lisu ■ Fig. 4a, b, c Consecutive loading of test specimen (C16/20 concrete with crystalline admixture Penetron Admix) in hydraulic press



Obr. 5 Zkušební těleso z malty Sakret BE 04/15 s krystalizační příměsí Penetron Admix ■ Fig. 5 Test specimen – Sakret BE 04/15 mortar with crystalline admixture Penetron Admix

Obr. 6 Zkušební těleso v hydraulickém lisu během zatěžování ■ Fig. 6 Test specimen loaded in hydraulic press

Obr. 7 Graf závislosti pevnosti v tlaku zkušebních těles na čase ■ Fig. 7 Graph – test specimen compressive strength depending on time

Naměřené hodnoty krychelné pevnosti betonu v tlaku a objemové hmotnosti zkušebních těles jsou uvedeny v tab. 1.

Naměřené hodnoty ukázaly, že pevnost v tlaku zkušebních těles z betonu s krystalizační příměsí byla prakticky shodná jako u těles z betonu bez úpravy. V průměru vyšla pevnost těles s příměsí dokonce o něco málo menší než u těles bez úpravy, tento rozdíl byl však menší než technologická odchylka (přípustné rozdíly mezi jednotlivými vzorky). Shodná pevnost zkušebních těles s příměsí a bez příměsí byl poněkud překvapivý výsledek, zejména v kontextu všeobecného názoru, že krystalizační příměsí zvyšují pevnost betonu v tlaku. Rovněž při porovnání hodnot průměrných objemových hmotností, kdy objemová hmotnost těles s krystalizační příměsí byla o něco větší než u těles z betonu bez příměsí, se zdálo, že tělesa s příměsí by měla mít pevnost vyšší. Rozdíl mezi hodnotami objemových hmotností však nebyl příliš velký a opět se pohyboval pod hranicí technologické odchylky.

Výsledky zkoušky jednoznačně prokázaly, že pevnost v tlaku obou druhů zkušebních těles (s příměsí i bez příměsí) byla po 28 dnech vysoko nad hodnotou pevnosti požadovanou pro danou třídu betonu (20 MPa). Bylo tedy možné konstatovat, že krystalizační příměs Penetron Admix nijak neovlivnila pevnost zkoušeného betonu v tlaku. I tak ale vyvstala otázka, co bylo příčinou nulového vlivu krystalizační příměsí na pevnost. Po vyhodnocení výsledků byla odvozena hypotéza, že krystalizační příměs přidaná do betonu v množství 2 % hmotnosti cementu zřejmě způsobila mírné zpomalení celkového tvrdnutí betonu. Beton s krystalizační příměsí, který by měl mít podle obecného názoru v konečném důsledku vyšší pevnost než stejný beton bez úpravy, měl tedy po 28 dnech „pouze“ shodnou pevnost vlivem pomalejšího celkového nárůstu pevnosti. Jako příčina této mírné retardace tvrdnutí bylo s odstupem času stanoveno zbytečně velké množství krystalizační příměsí přidané do betonové směsi – příměs totiž byla aplikována podle starších předpisů výrobce (dnes již upravených), odpovídajících době provedení zkoušky.

#### ANALÝZA ČASOVÉHO FAKTORU PŮSOBNÍ KRYSTALIZAČNÍ PŘÍMĚSI

V návaznosti na výsledky popsaných zkoušek, byla na přelomu let 2009 a 2010 provedena další experimentální analýza. Jejím cílem bylo na základě měření zmapovat nárůst pevnosti cementové malty s krystalizační příměsí v různých časových intervalech.

Výsledky zkoušek však zároveň měly zodpovědět otázku shodné pevnosti betonu s krystalizační příměsí z předešlého měření. Součástí experimentu proto byla komparativní analýza pevnosti cementové malty s příměsí a malty bez úpravy po 28 dnech od vytvoření zkušebních těles. Pro potvrzení hypotézy příliš velkého množství přidané krystalizační příměsí byla zkušební tělesa vyrobena s polovičním množstvím příměsí (1 %) oproti tělesům z předchozího měření.

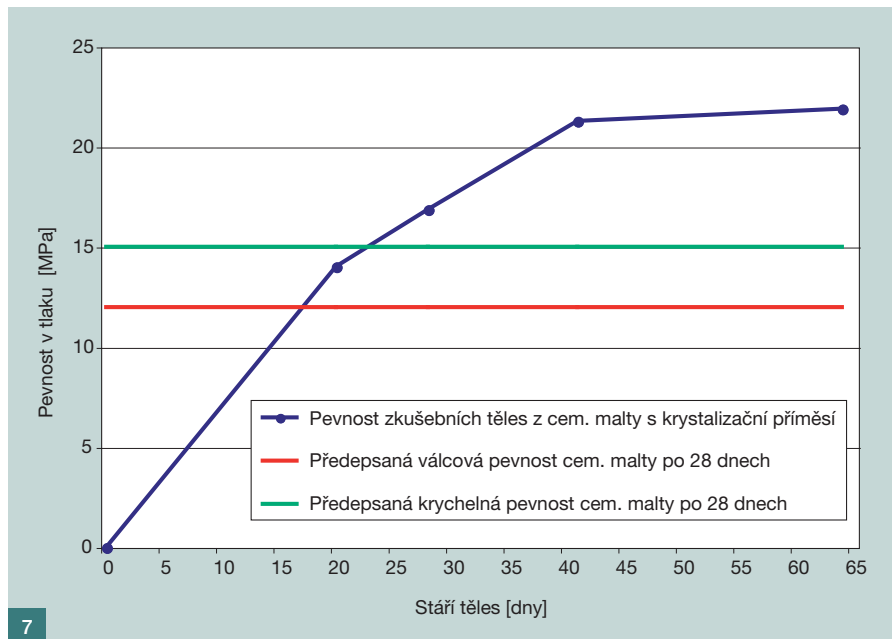
Pro zkoušku bylo vyrobeno celkem šestnáct kusů zkušebních těles z cementové malty Sakret BE 04/15, do které byla přidána krystalizační příměs Penetron Admix ve váhovém množství odpovídajícímu 1 % hmotnosti cementu. Sakret BE 04/15 je cementová potěrová malta, jejíž pevnost v tlaku deklarovaná výrobcem odpovídá betonu třídy C12/15 podle [7]. Suchá maltová směs je složena z anorganických pojiv a kameniva zrnitosti 0–4 mm.

Zkušební tělesa měla tvar válce s průměrem podstavy 50 mm a výškou 100 mm (obr. 5). Pokud je zkouška pevnosti v tlaku prováděna na tělesech tvaru válce, definuje norma [5] zkušební tělesa jako válce o průměru 150 mm a výšce 300 mm. Tělesa použitá pro popisovanou zkoušku tedy byla vyrobena ve trojnásobném zmenšení oproti normovým rozměrům, proporce těles však zůstaly zachovány. K menším rozměrům zkušebních těles bylo přistoupeno z úsporných důvodů (větší počet vzorků). Zmenšení velikosti těles v tomto případě bylo možné díky jemné frakci kameniva (0–4 mm), kterou obsahovala testovaná cementová malta. I přes tyto odlišnosti bylo zkoušení vzorků provedeno na principu metodiky normy [5] (namísto normy [9], která je jinak obvyklá pro zkoušení pevnosti malt), aby bylo možné alespoň částečně porovnat výsledky s předchozí zkouškou, při plném vědomí skutečnosti, že zkušební metodika dle [5] je určena primárně pro zkoušky betonu, který obsahuje kamenivo podstatně větších frakcí (proto jsou předepsány tak velké rozměry těles). Dále si je autor vědom, že porovnávání výsledků zkoušek působení krystalizačních příměsí ve dvou rozdílných materiálech (beton, cementová malta) je samozřejmě pouze orientační.

Všechny připravené vzorky byly uloženy do speciální nádoby a ošetřovány podle [6] po dobu 28 dní (resp. 20 dní u první sady vzorků). Zkouška pevnosti zkušebních těles v tlaku byla provedena v hydraulickém lisu v laboratoři Katedry konstrukcí pozemních staveb na Stavební fakultě ČVUT v Praze (obr. 6). Zkoušky proběhly ve čtyřech etapách (viz dále), v každé byla měřena sada tří těles. Před uložením zkoušeného tělesa do lisu byly zabroušeny obě podstavy válce

Tab. 2 Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku provedené v různých časových intervalech ■ Tab. 2 Compression test results in different intervals of time

Číslo měření	Stáří těles [dny]	Materiál vzorku	Pevnost v tlaku – válcová [MPa]			
			1	2	3	průměr
1	20	Cem. malta s krystal. příměsí	13,51	13,82	14,75	14,03
2	28	Cem. malta s krystal. příměsí	14,49	17,56	18,55	16,87
		Cem. malta (bez příměsí)	15,87	17,06	14,9	15,94
3	41	Cem. malta s krystal. příměsí	24,01	18,58	21,2	21,26
4	64	Cem. malta s krystal. příměsí	21,83	23,64	20,26	21,91



## Literatura:

- [1] Pazderka J.: Účinnost sanačních postupů založených na krystalizačních materiálech, odborný článek, časopis Beton TKS 2/2009, str. 16–19, Praha 2009
- [2] Pazderka J., Burgetová E.: Krystalizační hydroizolace, odborný článek, časopis Stavitel 6/2008, str. 12–14, Economia, a. s., Praha 2008, ISSN 1210–4825
- [3] Burgetová E., Pazderka J.: Betony s krystalizační příměsí a jejich odolnost proti tlakové vodě, odborný článek, časopis Stavební obzor 7/08, ČVUT Fakulta stavební, Praha 2008, ISSN 1210–4027
- [4] ČSN EN 12390-8 – Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou, ČSN, Praha 2001
- [5] ČSN EN 12390-3 – Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, ČSN, Praha 2002
- [6] ČSN EN 12390-2 – Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušku pevnosti, ČSN, Praha 2001
- [7] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČSN, Praha 2001
- [8] Penetron – hydroizolační systém, ABF stavební katalog, CPM, spol. s r. o., Praha 2001
- [9] ČSN EN 1015-11 – Zkušební metody malt pro zdivo – Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku, ČSN, Praha 2000

tak, aby při zatěžování došlo k rovnoměrné distribuci zatížení na celou plochu.

Zkoušky pevnosti zkušebních těles v tlaku byly prováděny po 20, 28, 41 a 64 dnech od výroby vzorků. Po 28 dnech byly zkoušeny dvě sady těles (cementová malta s krystalizační příměsí a cementová malta bez příměsí) tak, aby bylo možné porovnat vliv krystalizační příměsí na pevnost cementové malty v tlaku. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 2.

Výsledky měření č. 2 (uvedené v tabulce) ukázaly, že pevnost vzorku cementové malty s krystalizační příměsí v tlaku je po 28 dnech od vytvoření vyšší než odpovídající pevnost cementové malty bez příměsí. Toto zjištění potvrdilo hypotézu stanovenou na základě předchozího měření, že poloviční podíl krystalizační příměsí přidané do zkoumané cementové směsi má podstatně nižší retardační efekt. Obě skupiny vzorků dosáhly po 28 dnech požadované válcové pevnosti v tlaku (12 MPa) a přímo (bez přepočtu) splnily i požadavek na pevnost krychelnou (15 MPa) (obr. 7).

## ZÁVĚR

Po předchozích zkouškách vodonepropustnosti betonu s krystalizační příměsí, kdy byla nezávislým měřením v univerzitní laboratoři potvrzena vysoká vodonepropustnost betonu s krystalizačními příměsími (Penetron Admix a Xypex Admix C-1000), bylo přistoupeno k analýze vlivu krystalizačních příměsí na pevnost betonu v tlaku. První fáze zkoušek ukázala, že krystalizační příměs přidaná do betonové směsi ve váhovém množství odpovídajícímu 2 % hmotnosti cementu nijak neovlivňuje pevnost betonu (C16/20) v tlaku (měře-

nou metodikou dle [5] po 28 dnech). Další zkoušky ale ukázaly, že pokud je krystalizační příměs (Penetron Admix) přidána do směsi ve váhovém množství odpovídajícímu pouze 1 % hmotnosti cementu, způsobuje po 28 dnech zvýšení pevnosti (v daném případě cementové malty) o cca 6 %. Z časového porovnání výsledků dále vyplynulo, že mezi 28. a 41. dnem od výroby vzorků došlo k dalšímu nárůstu pevnosti materiálu v tlaku o 25 %.

Na základě rozboru výsledků lze doporučit aplikaci krystalizační příměsí ve váhovém množství odpovídajícímu pouze 1 % hmotnosti cementu. K tomuto závěru je však zatím možné přistupovat pouze orientačně, neboť výsledky naměřené pro cementovou maltu nelze paušálně vztahovat i na beton. Proto jsou plánovány další testy se zkušebními tělesy z betonu, které by měly zmíněné závěry definitivně potvrdit.

V současnosti vše nasvědčuje tomu, že beton s krystalizační příměsí je z technického hlediska vhodným stavebním materiálem pro konstrukce, které jsou ve styku s vodou a vlhkostí.

Článek byl vytvořen za podpory výzkumného záměru MSM 6840770001 – Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí. Text článku byl posouzen odborným lektorem.

Ing. Jiří Pazderka, Ph.D.  
Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
e-mail: jiri.pazderka@fsv.cvut.cz  
tel.: 224 354 708

