

VLIV OBSAHU VZDUCHU VE ZTVRDLÉM PROVZDUŠNĚNÉM BETONU NA HODNOTU STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI A PEVNOSTI V TLAKU STANOVENÉ NDT METODAMI

EFFECT OF THE AIR CONTENT IN THE HARDENED AIR-ENTRAINED CONCRETE ON VALUES OF THE STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND COMPRESSIVE STRENGTH DETERMINED BY THE NDT METHODS

Tomáš Vymazal, Oldřich Žalud, Petr Misák,
Barbara Kucharczyková, Petr Janoušek

Příspěvek se zabývá simulací reálné výroby provzdušněného betonu s různým obsahem provzdušňovací přísady a vlivem obsahu vzduchu v čerstvých a ztvrdlých betonech na jejich fyzikálně-mechanické a trvanlivostní parametry. Množství základních složek čerstvých betonů bylo ve všech případech stejné. Vyrobené betony se lišily pouze množstvím provzdušňovací přísady. Získané výsledky byly srovnány s výsledky stanovenými na referenčním (neprovzdušněném) betonu. ■ The paper deals with the simulation of the common production of the air-entrained concrete with various volumes of the air-entraining agent. The aim of the experimental part was to measure the air content in fresh and hardened concretes and to determine the impact of the air content on the investigated physico-mechanical and durability parameters. The amount of basic components of the fresh concretes was the same in all cases. The manufactured concretes differed only in the amount of the air-entraining agent. Obtained results are compared with the results determined for the reference (non-air-entrained) concrete.

Provzdušněné betony se v hojně míře používají jako mrazuvzdorné betony, např. v konstrukcích dopravních staveb, jako jsou mostní pilíře, římsy nebo protihlukové stěny. Při návrhu provzdušněných betonů se musí počítat také s vlivem obsahu vzduchu v čerstvém i ztvrdlém betonu na jeho fyzikálně-mechanické a trvanlivostní charakteristiky.

Vyšší obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu totiž snižuje pevnost samotného cementového kamene tím, že zvyšuje jeho pórovitost, a dá se předpokládat, že bude snížena i soudržnost mezi cementovým kamenem a povrchem kameniva. Collepardi v knize Moderní beton [2] uvádí, že vnesením pórů provzdušnění do struktury cementového kamene se pevnost betonu v tlaku sníží až o 20 % oproti betonu bez provzdušnění. Tento fakt potvrzuje i Aicini v knize Vysokohodnotný beton [3], který uvádí, že v rozsahu od 4 do 6 % se zvýšením obsahu vzduchu o 1 % sníží pevnost v tlaku o 4 až 6 %. Je tedy zřejmé, že s rostoucím obsahem vzduchu ve ztvrdlém betonu klesá nejen pevnost v tlaku, ale i modul pružnosti – jak statický, tak dynamický.

Provzdušnění sice snižuje pevnost betonu v tlaku a modul pružnosti, ale při správném rozložení pórů zvyšuje mrazuvzdornost betonu. Správně rozložené póry totiž představují expanzní prostor pro vodu, která se při teplotách nižších než 0 °C mění v led, a tím zvětšuje svůj objem až o 9 %. Při použití provzdušněného betonu zpravidla dochází k menší degradaci konstrukce způsobené zamrznáním vody ve struktuře betonu.

Primárním cílem provedeného experimentu bylo posoudit vliv obsahu vzduchu v čerstvém a ztvrdlém betonu na vybrané vlastnosti, zejména na moduly pružnosti, pevnost

v tlaku a tvrdost – nebo chcete-li pevnost v tlaku s nezaručenou přesností. Sekundárním cílem experimentu bylo ověřit, zda beton vyrobený z kameniva 0/4 Bratčice prané splní požadavky na beton C30/37 XF4 (CZ, F.2) C10,2 S4 $D_{max} = 16$ mm podle ČSN EN 206-1 Z3.

Problematika byla řešena v rámci bakalářské práce s názvem „Vliv obsahu vzduchu ve ztvrdlém betonu na statický modul pružnosti provzdušněného betonu a pevnost betonu v tlaku stanovenou nedestruktivně“ [1] na Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně ve spolupráci s firmou Betotech, s. r. o.

POPIS EXPERIMENTU A VÝSLEDKY

Čerstvý beton byl připravován v akreditované laboratoři firmy Betotech, s. r. o. Bylo namícháno celkem pět záměsí betonu o objemu 50 l s různým obsahem provzdušňovací přísady a jedna záměs o objemu 40 l bez přídavku provzdušňovací přísady jako referenční záměs. Složení čerstvého betonu je uvedeno v tab. 1.

Z každé záměsí byl odebrán vzorek podle ČSN EN 12350-1 [4]. Na všech odebrávaných vzorcích čerstvého betonu byly provedeny zkoušky objemové hmotnosti podle ČSN

Tab. 1 Složení čerstvého betonu ■ Tab. 1 Mixture proportions of the fresh concrete

Materiál	Množství
CEM I 42,5 R Mokrý [kg/m ³]	400
Kamenivo 0-4 Bratčice prané [kg/m ³]	820
Kamenivo 4-8 Olbramovice [kg/m ³]	180
Kamenivo 8-16 [kg/m ³]	720
Síka VSC 1035-CZ [kg/m ³]	2
Voda [kg/m ³]	140
Provzdušňující přísada Sika Fro-V5-A [% z hmotnosti cementu]	Referenční – 0 Záměs č. 2. – 0,025 Záměs č. 3. – 0,050 Záměs č. 4. – 0,075 Záměs č. 5. – 0,101 Záměs č. 6. – 0,125

Tab. 2 Výsledky zkoušek čerstvého betonu ■ Tab. 2 Results of the fresh concrete tests

Záměs	Sednutí kužele [mm]	Obsah vzduchu v ČB [%]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
1 referenční	200	2,9	2 350
2	200	4	2 380
3	220	6,5	2 260
4	230	5,8	2 280
5	180	8	2 240
6	190	5	2 300

Obr. 1 Závislost pevnosti betonu v tlaku na obsahu vzduchu; R_{be} značí pevnost v tlaku stanovenou NDT metodou a f_c je pevnost betonu v tlaku stanovená destruktivně ■ Fig. 1 Relationship between compressive strength and air content; where R_{be} is compressive strength determined by the NDT and f_c is compressive strength determined by the destructive method

Obr. 2 Grafické znázornění závislosti statického a dynamického modulu pružnosti na obsahu vzduchu; E_c značí statický a E_{bu} dynamický modul pružnosti ■ Fig. 2 Graphic presentation of the dependence of the static and dynamic modulus of elasticity on the air content; where E_c is static and E_{bu} is dynamic modulus of elasticity

EN 12350-6 [6], zkouška sednutím kužele podle normy ČSN EN 12350-2 [5] a zkouška obsahu vzduchu v čerstvém betonu podle ČSN EN 12350-7 [7]. Výsledky zkoušek čerstvého betonu jsou uvedeny v tab. 2.

Pro zjišťování vybraných charakteristik byla vyrobena zkušební tělesa odpovídající ČSN EN 12390-1 [8], a to krychle o hraně 150 mm a válce průměru 150 mm a výšce 300 mm. Ze všech záměsí bylo vyrobeno po šesti zkušebních tělesech tvaru válce a třech tvaru krychle. Způsob plnění čerstvého betonu do forem a jeho hutnění byl u všech záměsí vždy stejný. Válce i krychle byly plněny ve dvou vrstvách a obě byly hutněny na vibračním stolku po dobu 10 s. Poté byl povrch zarovnan ocelovým hladítkem. Vždy po 24 h po namíchání záměsí byla zkušební tělesa odformována, řádně označena a převezena do zkušební laboratoře Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně. Tam byla tělesa uložena do tzv. vlhkého prostředí (vlhkost 95 %, 20 ± 2 °C) dle ČSN EN 12390-2 [9], tělesa pro zkoušku odolnosti betonu vůči působení vody a CHRL podle ČSN 73 1326 [18] byla uložena ve vodě.

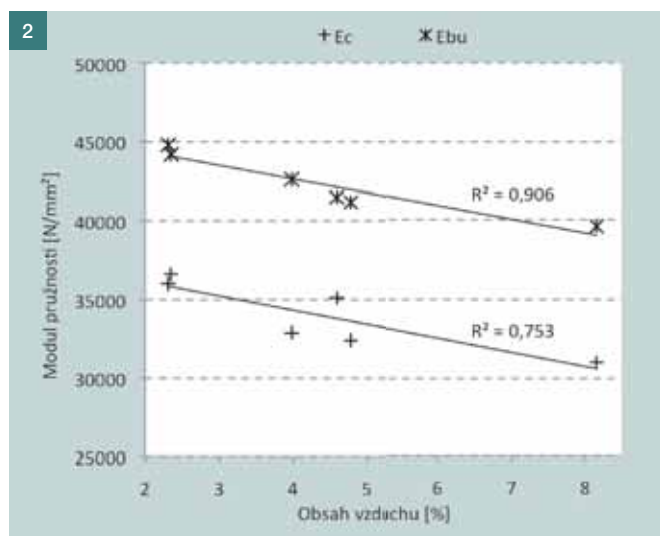
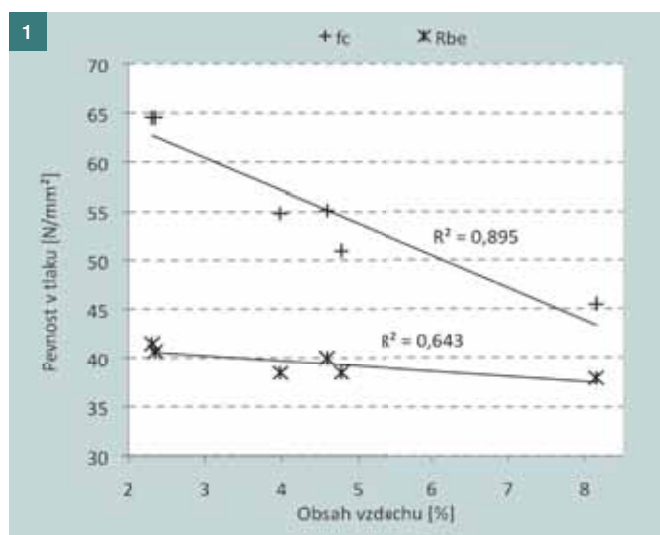
Po 28 dnech zrání byly zjišťovány charakteristiky betonu, a to objemová hmotnost podle normy ČSN EN 12390-7 [11],

Tab. 3 Výsledky zkoušek ztvrdlého betonu; R_{be} značí pevnost v tlaku stanovenou NDT metodou a f_c je pevnost betonu v tlaku stanovená destruktivně na krychlich 150 mm ■ Tab. 3 Results of the hardened concrete tests; where R_{be} is compressive strength determined by the NDT and f_c is compressive strength determined by the destructive method for the cubes with the edge of 150 mm

Záměs	A [%]	Tvrdość	R_{be} [N/mm ²]	f_c [N/mm ²]
1	2,35	42	40,7	64,5
2	2,31	43	41,5	64,5
3	4,78	38	38,5	51
4	4,59	41	40	55,1
5	8,15	37	38	45,5
6	3,98	38	38,5	54,8

Tab. 4 Výsledky zkoušek statického a dynamického modulu pružnosti stanovené na válcích 150 x 300 mm ■ Tab. 4 Results of static and dynamic modulus of elasticity determined for the cylinders with dimensions of 150x300 mm

Záměs	Obsah vzduchu [%]	Objemová hmotnost ZB [kg/m ³]	Statický modul pružnosti E_c [N/mm ²]	Rychlost prostupu ultrazvukových vln V_l [m/s]	Dynamický modul pružnosti E_{bu} [N/mm ²]
1 referenční	2,35	2 360	36 500	4 370	44 000
2	2,31	2 370	36 000	4 400	45 000
3	4,78	2 270	32 500	4 300	41 000
4	4,59	2 300	35 000	4 290	41 500
5	8,15	2 250	31 000	4 240	39 500
6	3,98	2 310	33 300	4 340	42 500



pevnost v tlaku podle normy ČSN EN 12390-3 [10], statický modul pružnosti podle normy ČSN ISO 6784 [13], dynamický modul pružnosti podle normy ČSN 73 1371 [14] a obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu postupem dle ČSN EN 480-11 [19].

Pevnost betonu v tlaku lze odhadnout také nedestruktivními metodami, např. tvrdoměry. Tvrdoměrné metody jsou založeny na měření tvrdosti povrchu materiálu, přičemž pro beton se nejčastěji používají Schmidtovy odrazové tvrdoměry. Ty jsou založeny na principu měření velikosti odrazu beranu, který je vržen proti měřenému povrchu. Pomocí kalibračních vztahů se potom určí pevnost v tlaku s nezaručenou přesností, nebo upřesněná pevnost betonu v tlaku. V experimentu byly stanoveny výsledky pevnosti betonu v tlaku s nezaručenou přesností podle ČSN 73 1373 [15]. Výsledky provedených zkoušek jsou uvedeny v tab. 3 a 4. Grafy na obr. 1 a 2 ukazují závislosti těchto charakteristik na obsahu vzduchu ve ztvrdlém betonu.

Podle normy ČSN 73 1326 [18] metodou A byla stanovena odolnost cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Hodnoty byly porovnány s požadavky normy ČSN EN 206-1 Z3 [17] pro třídu agresivity prostředí XF4 (tab. 5). Za účelem stanovení charakteristik vzduchových pórů podle ČSN EN 480-11 [19] byla z válců vyřezána zkušební tělesa o rozměrech 100 x 150 x 40 mm. Zkušební povrch byl zabroušen za mokra do roviny a očištěn od nečistot.

Tab. 5 Výsledky zkoušek odolnosti proti CHRL a stanovení charakteristik vzduchových pórů na zkušebních tělesech připravených z válců 150 x 300 mm ■ Tab. 5 Test results of the resistance of cement concrete surface to defrosting chemicals and determination of the characteristics of the air voids determined for the specimens prepared from the cylinders with dimensions of 150x300 mm

Záměr	Odpad po 100 cyklech [g/m ²]	L [mm]	A ₃₀₀ [%]	Třída XF4
1 referenční	41 051	0,361	1,48	Nevyhovuje
2	35 440	0,675	0,39	Nevyhovuje
3	1 010	0,383	1,14	Nevyhovuje
4	1 369	0,311	1,78	Nevyhovuje
5	635	0,196	3,16	Vyhovuje
6	2 063	0,328	1,39	Nevyhovuje

Účelem zabrušování je vytvořit povrch vhodný pro mikroskopické vyšetřování struktury vzduchových pórů v betonu. Výsledkem zkoušky je součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů L a obsah mikroskopických vzduchových pórů A_{300} , což je vypočtený parametr obsahu vzduchových pórů o průměru 0,3 mm (300 μ m) a menším. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 5.

ZÁVĚR

Modul pružnosti je spolu s pevností betonu v tlaku jednou z nejdůležitějších charakteristik ztvrdlého betonu. Je zřejmé, že jsou ovlivňovány stejnými proměnnými, a to zejména pevností rozhraní kameniva se ztvrdlým cementovým tmelem, pevností samotného ztvrdlého cementového tmele a pevností kameniva.

Pevnost kameniva nelze změnit, je dána kvalitou horniny. Proto je velmi důležité věnovat pozornost výběru kameniva, především pro výrobu vysokopevnostních betonů. Dále je nutné věnovat pozornost pevnosti ztvrdlého cementového tmele a jeho pevnosti na rozhraní s kamenivem, která je ovlivňována především měrným povrchem cementu, kvalitou povrchu kameniva, obsahem vody v čerstvém betonu a dalšími aspekty.

Pevnost samotné ztvrdlé cementové pasty bývá ovlivněna především hodnotou vodního součinitele, stupněm hydratace cementu, jeho mineralogickým složením, způsobem ošetřování betonu a pórovitostí ztvrdlé cementové pasty.

Jak je ukázáno např. v [20], [21], [22], modul pružnosti může nabývat rozdílných hodnot při podobné pevnosti betonu v tlaku. Otázkou zůstává, jakým způsobem se mění modul pružnosti při použití moderních technologií při výrobě betonu.

Na základě provedených experimentů lze konstatovat, že teoretické předpoklady o vlivu obsahu vzduchu ve ztvrdlém betonu na jeho charakteristiky byly potvrzeny. Bylo zjištěno, že se zvyšujícím se obsahem vzduchu ve ztvrdlém betonu se snižuje pevnost betonu v tlaku nezávisle na tom, zda byla použita destruktivní nebo nedestruktivní metoda (obr. 1). Pozvolnější pokles hodnot pevnosti betonu v tlaku s nezaručenou přesností je v tomto případě způsoben zvoleným kalibračním vztahem. Rovněž bylo potvrzeno, že s rostoucím obsahem vzduchu ve ztvrdlém betonu také klesá dynamický i statický modul pružnosti (obr. 2).

Pro lepší dokreslení zkoumaných materiálových charakteristik byla ověřena i souvislost mezi charakteristikou rozložení vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu a odolností cementového betonu proti chemickým rozmrazovacím látkám. Nejnižší odpad (635,14 g/m²) měla zkušební tělesa vyrobená ze záměsi číslo 5, jejichž parametry rozložení vzduchových

Literatura:

- [1] Janoušek P.: Vliv obsahu vzduchu ve ztvrdlém betonu na statický modul pružnosti provzdušněného betonu a pevnost betonu v tlaku stanovenou nedestruktivně, Bakalářská práce, VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2011. 47 s.
- [2] Collepardi M.: Moderní beton: The new concrete. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s. r. o., 2009, 344 s., ISBN 978-80-87093-75-7
- [3] Aïctin, P.-C.: Vysokohodnotný beton, Praha: Informační centrum ČKAIT a ČBS, 2005, 320 s., ISBN 80-86769-39-9
- [4] ČSN EN 12350 Zkoušení čerstvého betonu, – Část 1: Odběr vzorků, ČNI, 2007
- [5] ČSN EN 12350 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím, 2009
- [6] ČSN EN 12350 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost, 2009
- [7] ČSN EN 12350 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – tlakové metody, 2009
- [8] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy, 2001
- [9] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti, 2001
- [10] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, 2009
- [11] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu, 2009
- [12] ČSN EN 12390 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou, 2009
- [13] ČSN ISO 6784 Beton – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku, ČNI, 1993
- [14] ČSN 731371 Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu, ČNI, 1982
- [15] ČSN 731373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu, ČNI, 1983
- [16] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI, 2001
- [17] ČSN EN 206-1 ZMĚNA Z3 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI, 2008
- [18] ČSN 73 1326: Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, ČNI, 2003
- [19] ČSN EN 480-11 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Zkušební metody – Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu, ČNI, 2006
- [20] Misák P., Vymazal T.: Modul pružnosti vs. pevnost v tlaku, Beton TKS, 9/2009, s. 58–59, ISSN 1213-3116
- [21] Vašková J., Števíla M., Veselý V.: Modul pružnosti automaticky? Beton TKS, 6/2007, s. 57–59, ISSN 1213-3116
- [22] Cikrle P., Bilek V.: Modul pružnosti vysokopevnostních betonů různého složení, Beton TKS, 5/2010, s. 40–44, ISSN 1213-3116

pórů L i obsah mikroskopického vzduchu A_{300} jako jedině splňovaly požadavky normy ČSN EN 206-1 Z3 [16].

Článek vznikl za podpory projektu FAST-S-11-22 s názvem „Ověření a určení možností stanovení a způsobu hodnocení kvality povrchových vrstev betonu“.



Ing. Oldřich Žalud



Ing. Barbara Kucharczykova, Ph.D.

Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.

Ing. Petr Misák

Bc. Petr Janoušek

všichni: Ústav stavebního zkušebnictví
Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno

