

Kvalita stříkaného betonu

Lukáš Kopecný¹
Karel Dočkal²

¹ Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební; Veveří 331/95 602 00 Brno; kopeckyl@fce.vutbr.cz

² Vysoké učení technické v Brně Fakulta stavební; Veveří 331/95 602 00 Brno; dockal.k@fce.vutbr.cz

Grant: FAST-J-11-37

Název grantu: Předpokládání pevností stříkaného betonu

Oborové zaměření: Stavebnictví

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

Abstrakt Kvalita stříkaného betonu, jednoho z moderních stavebních materiálů, je ovlivněna mnoha faktory, ať již svým složením nebo fyzikálními parametry. Jednu z nejdůležitějších rolí při určování kvality betonu hraje množství vody přítomné ve směsi pro suchý nástřik. Experimenty založené na vzorkování suché směsi odebrané na reálných stavbách byly prováděny v laboratoři, kde byly váženy, měřeny, sušeny a měřeny ultrazvukem, s cílem vyvinout vhodnou metodu pro stanovení množství vody přímo na stavbě, která je mimo jiné ukazatelem kvality stříkaného betonu.

Klíčová slova Stříkaný beton, suchá směs, mokrá směs, zkoušení vzorků, kvalita mladého stříkaného betonu, mokrý způsob nástřiku, suchý způsob nástřiku

1. Úvod

Technologie stříkaných betonů je v současné době využívána stále častěji. Nejedná se již jen o používání této technologie pro zajišťování zemních těles, ostění tunelů nebo konstrukcí složitějšího tvaru ale stále častěji se s touto technologií setkáváme při rekonstrukcích, zejména tam, kde by bylo nákladné a mnohdy nemožné použití klasické technologie čerpání pomocí pump, ale také se používá při provádění pozemních staveb.

1.1 Rozdělení stříkaných betonů

V současné době rozdělujeme stříkané betony z několika hledisek. Základní dělení je podle způsobu provádění nástřiku a podle nárůstu pevnosti v tlaku.

Dělení dle technologie provádění:

Mokrá technologie nástřiku

Při této technologii je betonová směs vyráběna v certifikovaných betonárnách, odtud je dopravována pomocí auto domíchávačů na stavbu. Zde je čerstvá betonová směs za pomoci čerpadla dopravována k trysce. V trysce je směs míchána se vzduchem a často také s urychlující přísadou. Betonová směs je z trysky stříkána pod tlakem přiváděného vzduchu na podklad.

Suchá technologie nástřiku

Při této technologii je suchá betonová směs vyráběna v certifikovaných betonárkách, ale do směsi není přidávána voda. Suchá betonová směs je na stavbě dopravována pomocí stroje na

stříkaný beton dopravována pomocí stlačeného vzduchu k trysce. V trysce je suchá betonová směs promíchána vodou a je pomocí tlaku vzduchu nanášena na podklad.

V současné době se častěji pro větší množství nástřiku využívá mokrá technologie. Suchá technologie se uplatňuje zejména při malém objemu nástřiků, při nemožnosti dopravy mokré betonové směsi anebo při stísněných podmínkách.

Pro obě technologie jsou doporučeny receptury popsané v tab. 1 a v tab. 2 :

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5 R	400 kg
Kamenivo 0–4 mm	1140 kg
Kamenivo 4–8 mm	560 kg
Roztok urychlující přísady s vodou (přidávaný do trysky)	cca 190 kg
Urychlující přísada	6 až 8 % k hmotnosti cementu

Tab. 1 Doporučené složení směsi pro 1m³ stříkaného betonu prováděného suchou cestou¹)

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5 R	430 kg
Kamenivo 0–4 mm	1025 kg
Kamenivo 4–8 mm	645kg
Plastifikátor	4 kg
Roztok urychlující přísady s vodou (přidávaný do trysky)	cca 182 kg
Urychlující přísada	5,5 až 8 % k hmotnosti cementu

Tab. 2 Doporučené složení směsi pro 1m³ stříkaného betonu prováděného mokrou cestou¹)

Dělení pole oboru nárůstu pevnosti

Obor	Doba po nástřiku								
	6 min.	10 min	30 min.	1 hod.	2 hod.	3 hod.	6 hod.	12 hod.	24 hod
J1	0,10	0,1 4	0,1	0,3	0,5	0,7	0,1	2,0	
J2	0,20	0,2 5	0,3	0,5	0,7	1,00	1,6	2,5	5,0
J3	0,50	0,7 5	1,1	1,5	2,0	2,8	5,0	7,5	15,

Tab. 3 Předepsané pevnosti v tlaku mladého stříkaného betonu pro jednotlivé obory (MPa) 1)

1.2 Kvalita betonu

Výsledná kvalita provedení stříkaného betonu je závislá na několika faktorech. Kombinace těchto faktorů výrazně ovlivňuje výslednou kvalitu.

- Složení směsi

U složení betonové směsi je nutný správný poměr jednotlivých frakcí kameniva a správný vodní součinitel. Požadované vlastnosti upravujeme přidáním přísad a příměsí.

- Kvalita podkladu

Povrch by měl být očištěn od nekvalitní části horniny a je-li nástřik prováděn na nasávkavé horniny, je zapotřebí povést navlhčení povrchu.

- Realizace nástřiku

Tryska pro nástřik musí být vždy kolmo k povrchu, na který se provádí nástřik. Vzdálenost mezi tryskou a podkladem by měla být 1 -1,5 m.

- Teplota

Nástřiky je možné provádět bez zvláštních požadavků na teplotu a složení betonové směsi do teploty +5°C. Je-li teplota nižší, jsou nutná opatření, aby beton byl chráněn proti mrazu, než jeho pevnost dosáhne 5MPa.

- Ošetřování

Chránění nástřiku proti vysoušení a vysokým teplotám.

Velmi významným faktorem ovlivňující kvality stříkaného betonu je vodní součinitel. Jak bylo popsáno výše, hodnoty vodního součinitel jsou pro jednotlivé technologie nástřiku doporučeny. Tyto hodnoty jsou však velmi těžko kontrolovatelné neboť dokážeme namíchat mokrou betonovou směs v betonáře na předepsaný vodní součinitel a u suché betonové směsi můžeme odhadovat její vlhkost, ale při nástřiku je množství přidávané vody do trysky regulováno operátor a často je jen na jeho zkušenosti kolik vody při provádění nástřiku přidá. Operátor trysky reguluje množství vody s ohledem na teplotní podmínky, typ a vlhkost podkladu a množství spadu.

2. EXPERIMENT

Cílem experimentu bylo porovnat kvalitu stříkaného betonu prováděného „suchou cestou“. Vzorky byly odebírány na různých stavbách při stejné receptuře betonové směsi. Pro účely experimentu byla zvolná betonová směs bez použití urychlovače. Tato technologie byla volena místo ukládání prostého betonu „klasickým způsobem“ z důvodu stísněných pracovních podmínek při rekonstrukcích.

2.1 Složení směsi

Při experimentu byla použita suchá betonová směs bez požití urychlující přísady. Složení směsi vzorků A, B a C je popsáno v tab. 4 a tab. 5.

Složka	Množství
Cement CEM I 32,5 R	300 kg
Kamenivo 0–4 mm	1703 kg
Popílek	100 kg

Tab. 4 Složení zkoušené směsi pro vzorky A, B a C

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5 R	450 kg
Kamenivo 0–4 mm	1716 kg

Tab. 5 Složení zkoušené směsi pro vzorky Ž

2.2 Odběr vzorků

Vzorky byly odebírány v průběhu provádění nástřiku. Odběr vzorků byl prováděn podle normy ČSN EN 14488-1. Vzorky byly odebírány v teplotním rozmezí 15-25°C. Pro odběr vzorků byla použita forma z voděodolné překližky o rozměrech 500x500x150mm. Forma byla před nástřikem opatřena odbedňovacím přípravkem Sika Separol N. Bezprostředně po provedení nástřiku byl povrch vzorku ve formě uhlazen a zakryt igelitovou folií aby se zabránilo odpařování vody z povrchu vzorku. Vzorek byl na stavbě ponechán do druhého dne, aby byla pevnost vzorku dostatečná proto, aby bylo zabráněno poškození vzorku v průběhu přepravy vzorku do laboratoře. V laboratoři byl vzorek odbedněn a ponechán po dobu 7 dnů při teplotě 20°C.

2.3 Výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa byla vyráběna po 28 dnech od provedení odběru vzorků. Zkušební tělesa byla vyráběna pomocí vývrtů z odebraných vzorků. Velikost vývrtu byla volena na základě normy ČSN12390-12). Vývrtky byly odvrátány z odformovaného betonového bloku pomocí diamantové jádrové korunky o průměru 104,0 mm. Proto, aby bylo možné provádět na odvrtech zkoušky, bylo zapotřebí vyrovnat podstavy odvrataného válečku. Odvrataný váleček byl zkrácen pomocí diamantové pily tak, aby bylo dosaženo vodorovnosti podstavy Volba poměru výšky válečku a šířky válečku 1:1 byla volena z důvodů porovnávání pevností s krychelnou pevností. Výška tedy byla volena stejně jako průměr válečku 104,0 mm.

Vzorky na základě náhodného výběru rozděleny do tří skupin. První skupina vzorku byla uložena pro zjištění objemové hmotnosti v laboratoři při teplotě 20°C, druhá skupina vzorků byla uložena do vodní lázně o teplotě 8°C do maximálního nasáknutí, a třetí skupina vzorků byla vysušována v sušárně při teplotě 60°C po dobu 7 dní.

2.4 Zkoušení vzorků – objemová hmotnost

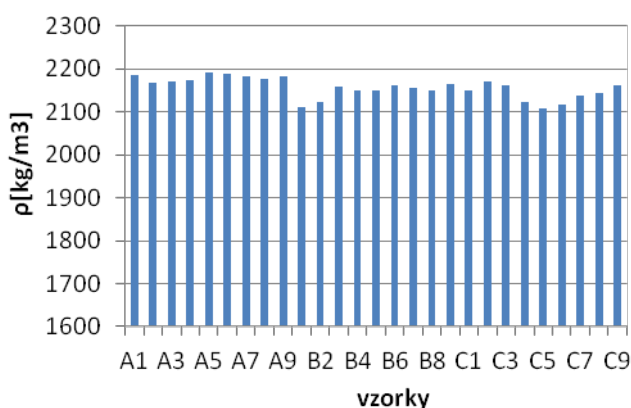
Z každého odebraného zkušebního tělesa bylo provedeno 9 vývrtů. Po přípravě zkušebních těles o rozměrech R = 104,0 mm a v = 104,0 mm. Zkušební vzorky byly po odvrátání ponechány 7 dní v laboratoři, aby došlo k jejich částečnému vysoušení. Poté byly vzorky zváženy s přesností na 0,1g. Následně byly vzorky změřeny pomocí digitálního posuvného měřidla. Podstava zkušebního válečku a výška válečku byla změřena s přesností 0,01 mm ve dvou na sebe kolmých směrech.

Na základě změřené hmotnosti a rozměrů vzorků byla vypočítána Objemová hmotnost betonu s přirozenou vlhkostí D_r v kg/m^3 .

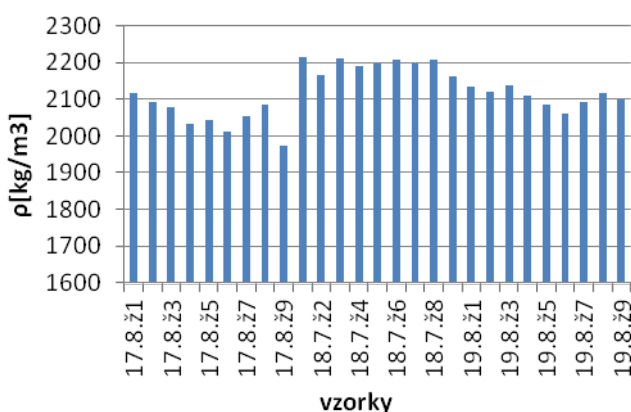
$$D_r = m_r / V$$

V je objem tělesa v m^3 ,

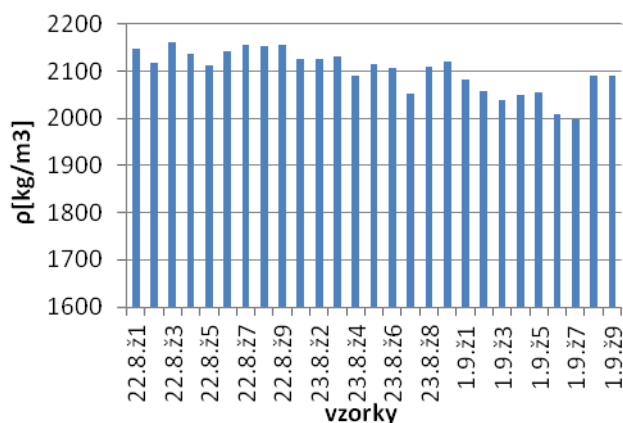
m_r je hmotnost dodaného vzorku s přirozenou vlhkostí v kg.



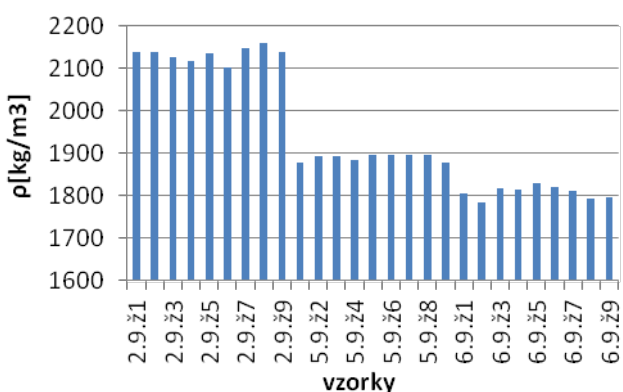
Graf 1: Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních vzorků A, B a C



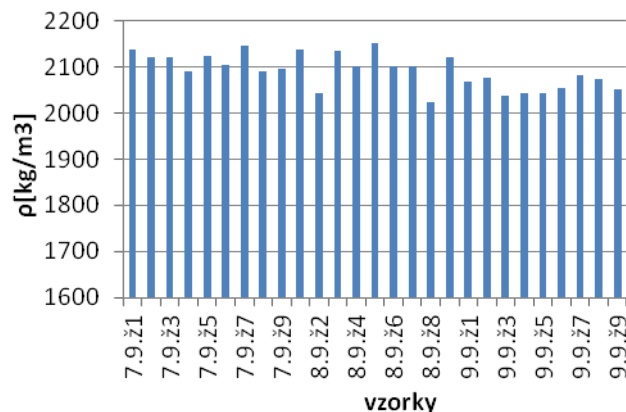
Graf 2: Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních vzorků ž první část



Graf 3: Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních vzorků ž druhá část



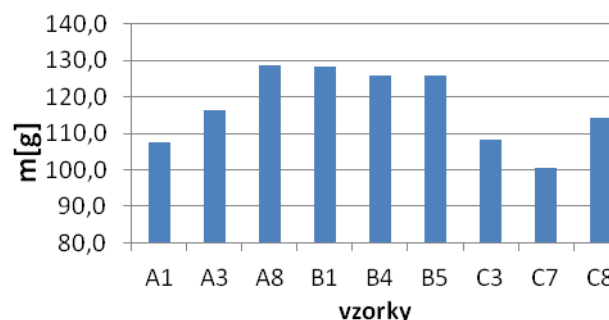
Graf 4: Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních vzorků ž třetí část



Graf 5: Objemová hmotnost jednotlivých zkušebních vzorků ž čtvrtá část

2.5 Zkoušení úbytku vodu při vysušování vzorku

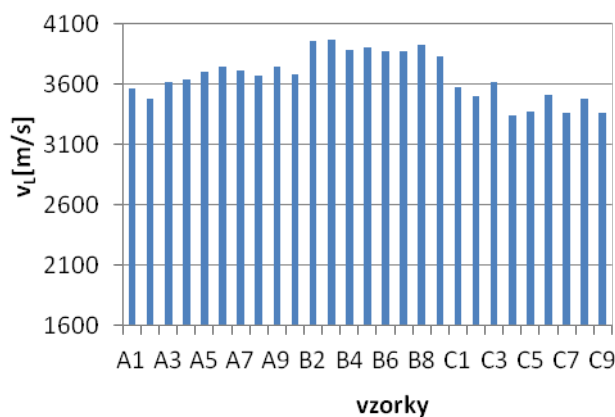
Z každé sady devíti vývrtnů byly vybrány tři vzorky, které byly vysušeny po dobu 7 dní v sušičce při teplotě 60°C. Následně byly tyto vzorky zváženy a byl porovnán váhový úbytek „volné vody“. Zkoušení bylo provedeno jen na vzorcích A, b a C.



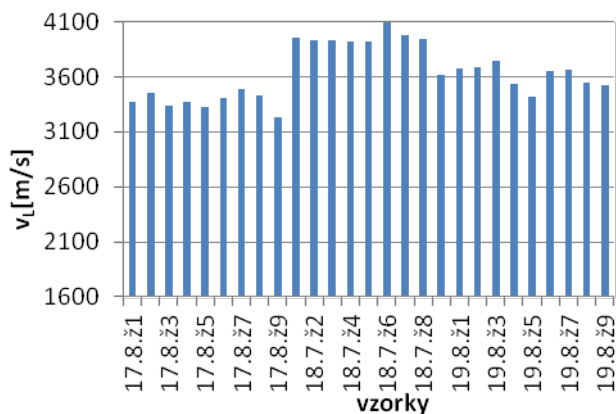
Graf 6: Hmotnostní úbytek vody při vysušování vzorků A, b a C

2.6 Měření rychlosti šíření ultrazvuku v jednotlivých vzorcích

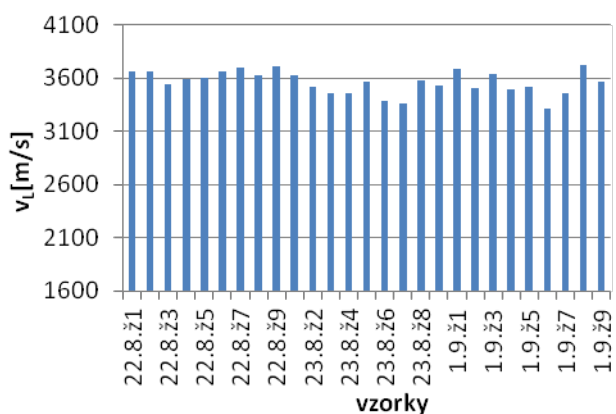
Měření stejnorodosti betonu bylo provedeno pomocí nedestruktivního stanovení rychlosti šíření ultrazvukového vlnění. Měření bylo prováděno pomocí přímé rezonanční metody. Jednotlivé vzorky odvrtné z různých částí odebraného vzorku byli prozkušování pomocí přístroje Tico se sondami s frekvencí 54 kHz.



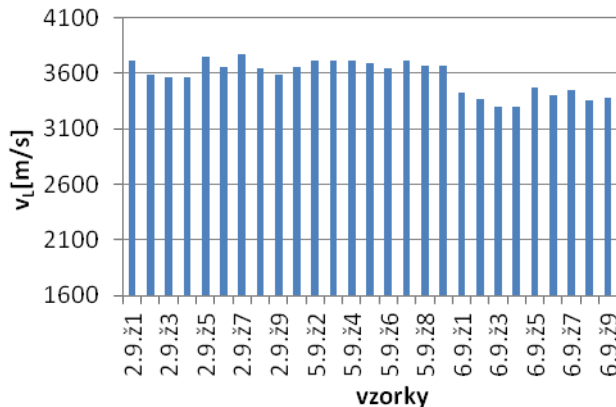
Graf 7: Rychlost průchodu ultrazvuku jednotlivými vzorky vzorků A, B a C



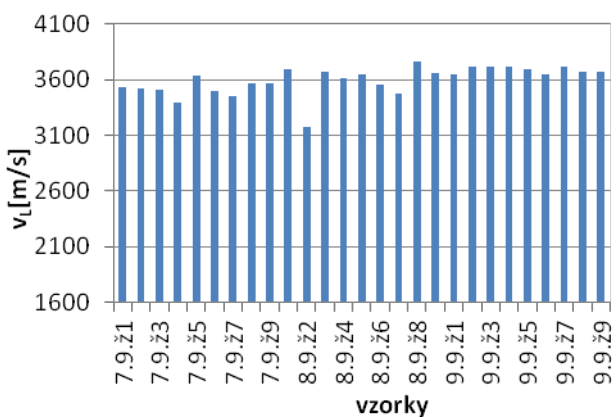
Graf 8 :Rychlost průchodu ultrazvuku jednotlivými vzorků ž první část



Graf 9: Rychlost průchodu ultrazvuku jednotlivými vzorků ž druhá část

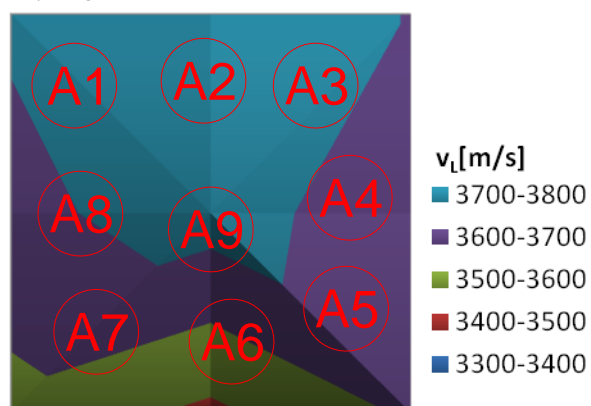


Graf 10: Rychlost průchodu ultrazvuku jednotlivými vzorků ž třetí část

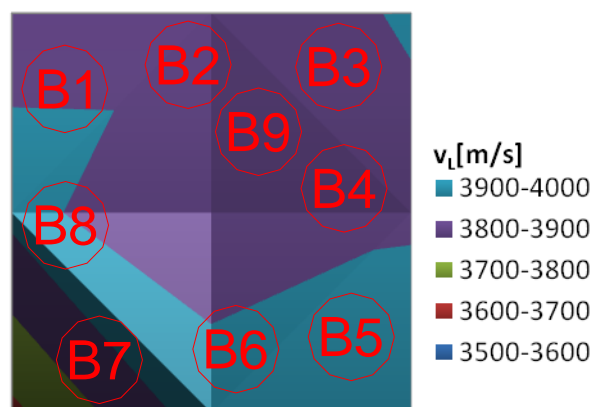


Graf 10 :Rychlost průchodu ultrazvuku jednotlivými vzorků ž čtvrtá část

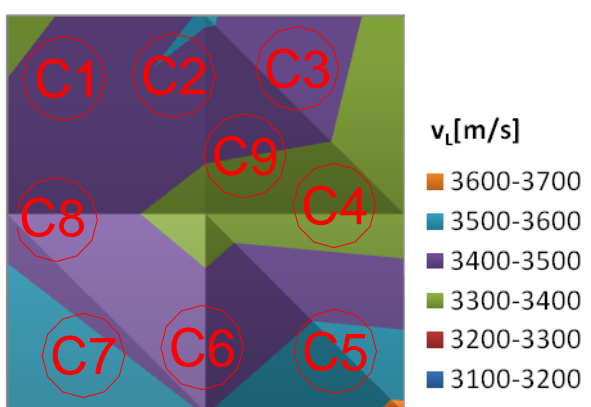
Na základě provedeného měření byla zjišťována homogenita odebraného betonu. Výsledky homogenity vzorků A, B, a C jsou znázorněny na grafech 11, 12 a 13.



Graf 11: Rychlost šíření UZ v jednotlivých částech odebraného vzorku A



Graf 12: Rychlost šíření UZ v jednotlivých částech odebraného vzorku B



Graf 13: Rychlost šíření UZ v jednotlivých částech odebraného vzorku C

3. ZÁVĚR

Ze zjištěných výsledků měření je patrné, že při použití stejné receptury a stejných podmínek dochází k výrobě stříkaného betonu různé kvality a to nejen objemové hmotnosti, ale také rychlosti šíření ultrazvuku. Výsledky se liší u jednotlivých odběrů ale také v jednotlivých částech odebraných vzorků. Tato oblast stříkaných betonů vyžaduje podrobnějšího zkoumání, a proto bych výzkum dále rozšířil o měření pevnosti v tlaku, změny rychlosti šíření UZ u vysušených vzorků a u vzorků uložených ve vodní lázni. Součástí

výzkumu je také porovnání skutečného dávkování vody přímo na stavbě v průběhu nástřiku a jeho porovnání s výsledky obsahu vody ve zkušebnách pomocí vysušování vzorků. Tyto části výzkumu jsou zatím rozpracovány.

Zdroje

1. HILAR, Matoués. Stříkaný beton v podzemním stavitelství [online]. [s.20.], [s.21.] [s.40.], 2008 [cit. 2011-10-16]. Dostupné z WWW: <http://www.it-a-ites.cz/files/edice_CTuK/ctuk_03_strikany_beton.pdf>. ISBN 80-254-1262-8.
2. ČSN EN 12390-1. Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy. Praha: Český normalizační institut, 5.2001. 12 s.