

## **STŘÍKANÉ BETONY – ZÁKLAD ÚSPĚCHU NRTM**

### **SPRAYED CONCRETE – THE BASIC OF THE SUCCESS OF THE NATM**

**Ing. Michal Zámečník<sup>1</sup>**  
**Bc. Michal Kudela<sup>2</sup>**

#### **ABSTRAKT**

Jedním ze základních stavebních prvků technologie ražby tunelů NRTM je použití stříkaného betonu pro stavbu tzv. primárního ostění, které zajišťuje dočasnou stabilitu výrubu tunelu. Pokud se význam stříkaného betonu podcení a zanedbá se příprava této důležité součásti technologie NRTM, může to mít dalekosáhlé důsledky pro realizaci celé ražby tunelu. A to nejen ekonomické, časové, ale také bezpečnostní.

Stříkaný beton se zásadním způsobem odlišuje od běžných litých betonů a je tak charakteristický nejen způsobem aplikace, ale i v mnoha dalších parametrech. Na Slovensku bude v letech 2014 - 2016 aplikováno minimálně 500 000 m<sup>3</sup> stříkaného betonu při ražbě tunelů. Snad tak bude konečně dostatečně srozuměna i odborná betonářská veřejnost s tím, že stříkaný beton není jen obyčejný beton C 20/25.

#### **ABSTRACT**

One of the basic principles of the technology NATM is the use of the sprayed concrete for the construction of the so-called the primary lining, which provides temporary stability of tunnel excavation. If the importance of the sprayed concrete is underestimated and neglect the preparation of this important part of NATM, it could have far-reaching implications for the realization of the entire tunnel excavation. And not only economic and time, but also safety.

Shotcrete is fundamentally different from conventional casted concrete and is thus not only a characteristic way of application, but also in many other parameters. There will be applied in The Slovak Republic at least 500,000 cubic meters of sprayed concrete in 2014 - 2016 for the tunnel excavation. Hopefully, it will be enough to finally understand by all the concrete experts that the sprayed concrete is not just an ordinary concrete C 20/25

## **1 Úvod**

Již v roce 1907 prováděla ve Spojených státech firma Cement-Gun Company v Allentownu první práce se stříkaným betonem. První metodu na stříkání suchých směsí pro novostavby vynalezl Carl Ethan Akeley v roce 1907 v Pensylvánii. Použil stroj, aby tvořil postříkem na drátěné síti dinosaury. Jeho firma, Cement-Gun Company, si jméno „Gunité“, pro stříkané betony které vyvinula, nechala patentovat. Tato směs se skládala z jemného kameniva a měla vysoký obsah cementu.

---

<sup>1</sup>Ing. Michal Zámečník, BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o., F.V.Veselého 2760/7, 193 00 Praha, tel.: +420 724 280 090, e-mail: michal.zamecnik@basf.com

<sup>2</sup>Bc. Michal Kudela, BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o., F.V.Veselého 2760/7, 193 00 Praha, tel.: +420 602 641914, e-mail: michal.kudela@basf.com

Pro nanášení stříkaného betonu jsou dnes běžné dvě metody: Technologie nástřiku suchou a mokrou cestou. Zpočátku existovala jen technologie nástřiku suchou cestou. Při něm se suchá směs cementu a kameniva plní do stříkacího stroje a dopravuje se pomocí stlačeného vzduchu hadicemi ke stříkací trysce. Záměsová voda nutná pro hydrataci se přivádí další hadicí přímo do stříkací trysky. Použití technologie nástřiku mokrou cestou začala po 2. světové válce. Jako u normálního betonu se směsi míchají s vodou, která je zapotřebí pro hydrataci. Směsi se dopravují hadicemi pomocí speciálního stroje ke stříkací trysce. Stlačený vzduch potřebný pro zrychlení směsi na výstupu z trysky, se přivádí zvláštní hadicí přímo do stříkací trysky. Na stříkací trysky je pak také přiváděna urychlovací přísada.

Jsou lidé, kteří tvrdí, že stříkaný beton je zvláštním druhem betonu. V podstatě je však stříkaný beton jen jednou z více metod zpracování směsi. Tak jako u tradičních způsobů zpracování betonu, klade i stříkaný beton zvláštní požadavky na vlastnosti čerstvého betonu. Rovněž musí být splněny běžné technologické požadavky na beton, jako je hodnota V/C, (voda/cement) obsah cementu, správná konzistence a následné ošetřování. Příčina toho, že v mnoha zemích se vyrábí velké množství stříkaného betonu špatné kvality, spočívá v tom, že se zjevně zapomnělo na to, že stříkaný beton je jen jednou z mnoha metod betonování a že musí být splněny všechny technologické požadavky na beton.

## **2 Použití stříkaných betonů při stavbě tunelů v ČR a SR**

Stříkané betony nacházejí největší uplatnění při zajištění zpevnění skalního výrubu, základových jam a především pak při ražbě tunelů. V České republice, ale i na Slovensku je v posledních cca 10 letech nejpoužívanější metodou při výstavbě tunelů metoda NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda). Při použití této metody je jedním ze základních technologických prvků právě použití stříkaného betonu pro stavbu tzv. primárního ostění, které zajišťuje stabilitu výrubu tunelu do doby, než je vybetonováno sekundární neboli finální ostění tunelu. Základním parametrem, který odlišuje posuzování kvality stříkaného betonu od jiných typů betonu, jsou požadavky na rychlé počáteční pevnosti. Pevnosti v tlaku mladého stříkaného betonu se zkoušejí podle ČSN EN 14488-2. Podle naměřených počátečních pevností se potom beton zařazuje do jedné ze tří kategorií podle tří křivek náběhových pevností J1, J2, J3. Nejpoužívanější křivkou počátečních pevností při stavbách tunelů v našich podmínkách je křivka J2. Při ražbách tunelu v problematické geologii nebo při zastižení zvýšených vodních průsaků do tunelu se pak používá křivka J3. Zcela logicky byly na výrobu těchto betonů u nás doposud používány pouze cementy s rychlým nárůstem počátečních pevností třídy CEM I 42,5 R. V tabulce 1 je uveden stručný přehled staveb tunelů, které byly v posledních letech realizovány na území České a Slovenské republiky. U jednotlivých tunelů je pak uveden typ cementu, který byl použit pro výrobu stříkaného betonu. Z uvedeného je patrné, že až do roku 2009 byly na všech stavbách s jedinou výjimkou používány právě cementy třídy CEM I 42,5 R. Výjimkou je pak tunel SOKP 514, který stavěla německá společnost Hochtief. Tato firma si vybrala do stříkaných betonů cement směsný CEM II/A-S 52,5 R Karsdorf. Tento výběr nebyl náhodný, ale navazoval na kladné zkušenosti z několika tunelových staveb v Německu a Rakousku. Tak se k nám poprvé dostal „západní“ trend použití směsných cementů do stříkaných betonů. Nutno podotknout, že cement se dovážel na pražskou stavbu až z Německa, ale i přes to se tento dovoz vyplatil oproti použití cementů od českých výrobců.

Tabulka 1 Přehled použitých cementů do stříkaných betonů na tunelech v ČR a SR ražených metodou NRTM

Table 1 Overview of the cements used in shotcrete for tunnels in the Czech Republic and Slovakia driven by the NATM method

rok	název	Typ tunelu	země	cement
2002	Višňové	průzkumná štola	SR	CEM I 42,5 R Ladce
2003	Krasíkov	železniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Hranice
2004	Malá Huba	železniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Hranice
2004	Hněvkov II	železniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Hranice
2004	Valík	dálniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2004	metro IV C 2	metro	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2005	Nové Spojení	železniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2005	Panenská	dálniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2005	Klimkovice	dálniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Hranice
2006	Poľana	průzkumná štola	SR	CEM I 42,5 R Ladce
2006	Bórik	dálniční tunel	SR	CEM I 42,5 R Ladce
2006	SOKP 514	městský okruh Praha	ČR	CEM II/A-S 52,5 R Karsdorf
2006	SOKP 513	městský okruh Praha	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2007	Blanka	městský okruh Praha	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2007	Dobrovského	městský okruh Brno	ČR	CEM I 42,5 R Mokrá
2008	Laliki	silniční tunel	PL	CEM I 42,5 R Ladce
2008	Prackovice	dálniční tunel	ČR	CEM I 42,5 R Radotín
2009	Radejčín	dálniční tunel	ČR	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N Radotín
2009	Mypra	městský okruh Praha	ČR	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N Radotín
2009	Turecký vrch	železniční tunel	SR	CEM I 52,5 R Ladce
2010	metro V.A.	metro	ČR	CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N Radotín

### 3 Tunelářský „boom“ na Slovensku

Na Slovensku začalo v roce 2014 pravý tunelářský „boom“. Tolik tunelových dálničních staveb nebylo a není v současné době nikde jinde v regionu východní Evropy stavěno. V Tabulce 2 uvádíme stručný přehled spotřeb stříkaných betonů v období 1 - 8/2015. Z uvedeného přehledu je možné předpokládat, že celková spotřeba stříkaného betonu v roce 2015 dosáhne nebývalých 100 000 m<sup>3</sup>. Dalo by se říci, že by měli být spokojeni těžaři, výrobci cementů, výrobci a dodavatelé betonů, výrobci přísad. Ale realita je spíš taková, že s ohledem na omezené kapacity základních surovin pro výrobu stříkaného betonu, se dostáváme do situace, kdy kvalita jde do pozadí nikoliv kvůli ceně, ale kvůli nedostatku surovin. Například, v okolí měst Žilina a Čadca, kde se většina tunelů razí, nejsou dostatečné zásoby kvalitních jemných písků a tak se vozí písek na některé stavby až od Bratislavy.

Tabulka 2 Přehled množství použitého betonu, cementu a urychlovací přísady do stříkaných betonů na Slovensku v období 1-8/2015

Table 2 Overview of the amount of concrete, cement and accelerator admixtures for sprayed concrete in the Slovak Republic in the period 1-8/2015

Projekt	množství betonu		množství cementu		množství urychlovací přísady	
Poľana	17 000	m <sup>3</sup>	7 905	T	510	T
Svrčinovec	7 500	m <sup>3</sup>	3 225	T	188	T
Ovčiarsko	25 500	m <sup>3</sup>	10 965	T	638	T
Višňové	11 500	m <sup>3</sup>	4 945	T	288	T
Považský Chlmec	22 500	m <sup>3</sup>	10 125	T	563	T
Žilina	5 500	m <sup>3</sup>	2 558	T	165	T
Celkem	89 500	m <sup>3</sup>	39 723	T	2 350	T

#### 4 Návrh receptury musí korespondovat s podmínkami

Každá stavba raženého tunelu je vždy jedinečná především s ohledem na geologické podmínky. S tím spočívá i to, že i každý návrh receptury stříkaného betonu by měl být vždy připravován s ohledem na místní podmínky, dostupné suroviny, logistiku a především pak s ohledem na zastiženou geologii.

V tabulce 3 uvádíme vzorové receptury stříkaných betonů, které byly použity na jednotlivých tunelových stavbách právě realizovaných tunelů.

Tabulka 3 Vzorové receptury stříkaných betonů  
Table 3 Samples of mix designs of sprayed concrete

Třída betonu		SB C 20/25		
		XC2 (SK) – CI 0,2 – Dmax 8 – F4		
		Letní J2	Zimní J2	J3
CEM I 42,5 R Ladce	kg	430	450	500
0 - 4 Čakany	kg	1080	974	830
4 - 8 Čakany	kg	560	618	695
MasterGlenium Sky 504	%	0,72 %	0,8 %	0,72 %
	kg	3,44	3,6	3,7
MasterRoc HCA 20	kg	1-3	1-3	1-3
v/c		0,47	0,46	0,45
voda	l	202	205	225
MasterRoc SA 183	%	6 %	6 %	11 %
	kg	25,8	27,0	55,0

#### 4.1 Tunel Poľana

Při ražbě tunelu Poľana bylo zastiženo v počátku ražeb velmi nepříznivé geologické prostředí. Z toho důvodu byla používána receptura s počátečními pevnostmi dle křivky J3. Dále bylo nutné dovážet beton až z betonárny ve městě Čadca. I když vzdálenost nebyla velká, tak velmi často dopravní komplikace protáhly dobu dodání betonu až přes 1 hodinu. Proto se začala do betonu přidávat zpomalovací přísada MasterRoc HCA 20 na prodloužení doby zpracovatelnosti betonu. V zimním období, kdy teploty klesaly hluboko pod bod mrazu, bylo nutno nasadit zimní recepturu J2 se zvýšenou dávkou cementu, aby byly splněny požadavky na počáteční pevnosti dle křivky J2.

## 4.2 Tunel Žilina

Ještě náročnější geologické podmínky byly zastiženy při ražbě tunelu Žilina, kde je receptura s počátečními pevnostmi dle křivky J3 používána víceméně stále. Obdobně je i zde používána zpomalovací přísada MasterRoc HCA 20 na prodloužení doby zpracovatelnosti betonu. Ovšem na tunelu Žilina je používána z jiného důvodu. Také to souvisí s logistikou. Nicméně důvodem je, že po otevření čelby je nutné mít k dispozici domíchávač s betonem po celou dobu postupného otvírání a okamžitě postupně zastříkávat s tím jak je odtěžováno jednotlivé části čelby a výrubu. Tato operace je časově zdlouhavá a tak je někdy celý mix spotřebován až po 6 hodinách od namíchání.

## 4.3 Tunel Považský Chlmec

Mohlo by se zdát, že dobré geologické podmínky, kdy je zastižen pevný skalní masiv, budou pro aplikaci stříkaného betonu optimální. Nicméně i tady je potřeba brát ohled na jiná specifika. Pokud je délka jednoho záběru i více jak 3 metry a požadovaná tloušťka primárního ostění méně než 10 cm, pak jsou nároky na počáteční pevnosti stříkaného betonu také vysoké. Je třeba si uvědomit, že při aplikaci stříkaného betonu na takto velké plochy a při takto malých vrstvách jsou kladeny vysoké požadavky na lepivost a počáteční pevnosti v časech od cca 3 minut do 30 minut. Z tohoto důvodu jsme na tunelu Považský Chlmec po počátečních zkušenostech nasadili jiný typ urychlovací přísady než na ostatních stavbách. Urychlovací přísada MasterRoc SA 193 prokázala, že i přes vyšší cenu se vyplatí, jelikož při stejném dávkování dosahuje lepší lepivosti a počátečních pevností. Dále bylo nutno upravit recepturu stříkaného betonu tak, aby obsahovala více jemných částic právě kvůli zvýšeným požadavkům na lepivost.

## 5 Kritické parametry stříkaného betonu a vliv teploty

Mohlo by se zdát, že takovou recepturu stříkaného betonu lze jednoduše připravit v laboratoři, vyzkoušet laboratorně její vlastnosti a pak ji okamžitě nasadit do provozu. Je však nutno podotknout, že zkoušení právě základní charakteristiky stříkaných betonů, totiž počátečních pevností, má jedno zásadní úskalí; nelze provádět laboratorně. Existují samozřejmě laboratorní metody zkoušení počátečních pevností na cementových pastách a maltách. Výsledky těchto zkoušek však jen naznačí, jak by mohl beton fungovat v praxi, ale rozhodně nejsou vše určující. Oproti laboratoři je totiž při praktickém použití stříkaných betonů nutno brát v potaz mnoho dalších vlivů, které betonovou směs pro výrobu stříkaného betonu ovlivňují. Jsou to především:

- Použité kamenivo
- Typ a dávkování superplastifikační přísady
- Množství použitého cementu v receptuře
- Doba zpracovatelnosti
- Stříkácí stroj použitý na aplikaci stříkaného betonu
- Vodní součinitel
- Geologické podmínky
- Rychlost a způsob aplikace
- Typ a dávkování urychlovací přísady
- Teplota betonové směsi, urychlovací přísady a prostředí

A právě teploty jsou jedním ze základních parametrů, které jsou mnohdy při používání stříkaných betonů podceňovány. Pokud si však uděláme porovnání různých výsledků počátečních pevností stříkaného betonu ve srovnatelných podmínkách a budeme se pouze

soustředit na teplotu betonu a teplotu urychlovací přísady při různých dávkách urychlovací přísady dojdeme k těmto závěrům:

1. Pokud má beton i urychlovací přísada optimální teploty je dosaženo požadovaných počátečních pevností možné i za použití poměrně malého množství urychlovací přísady.
2. Pokud jedna ze složek má nižší pevnosti, pak je nutné zásadně zvyšovat dávku urychlovací přísady.
3. Důležitější je teplota betonu než teplota urychlovací přísady. Pokud je studený beton, pak teplotou urychlovací přísady již situaci nezachráníme.
4. Pokud teplota betonu nebo i urychlovací přísady jsou vyšší než optimální, pak se zvyšující se dávkou urychlovací přísady se naopak průběh počátečních pevností zhoršuje. Beton je takzvaně přepálen.

## **6 Zoznam použitej literatúry**

Bc. Michal Kudela, Diplomová práce, Vliv teploty stříkaného betonu a urychlovače tuhnutí na vývoj jeho pevností

Tom Melbye, Sprayed Concrete for Rock Support, 11th edition, 11/2006