

HODNOCENÍ STAVU ŽELEZOBETONOVÉHO OSTĚNÍ ŠTOL VYSTAVENÉHO CHEMICKY AGRESIVNÍMU PROSTŘEDÍ A PŘEDPOVĚDI JEHO DALŠÍ ŽIVOTNOSTI ■ THE APPRAISAL OF THE STATE OF REINFORCED CONCRETE JAMB STONE OF DADO TUNNELS EXPOSED TO AGGRESSIVE CONDITIONS TO PREDICT ITS DURABILITY

Amos Dufka

Tématem článku jsou diagnostické postupy a metody, které byly aplikovány při monitorování stavu ostění štol vystavených působení spodních vod agresivních vůči železobetonu. Cílem realizovaných stanovení bylo posoudit stav železobetonového ostění štol a zejména pak predikovat další životnosti těchto konstrukcí v daném prostředí. ■ Diagnostic procedures and methods applied while monitoring the state of jamb stone of dado tunnels exposed to impacts of aggressive groundwater against reinforced concrete are the topics of the article. The assessment of the state of dado tunnels and prediction of the future durability of these constructions in given environment were the aim of realized determinations.

Posuzovanými objekty jsou v tomto případě průzkumné štol, které jsou součástí výstavby silničního tunelu. Jedná se o dvě štol, jejichž délka v půdorysném průmětu činí přibližně 800 m (v dalším textu jsou štol označovány I a II). Při další výstavbě tunelu budou štol následně propojeny a jejich stěny se stanou součástí primárního ostění vlastního tubusu tunelu.

Ražba štol byla prováděna převážně technologií strojního ražení, výrub byl dočištěván klasickou ruční ražbou. Plocha výrubu pro jednu štolu činí 13 až 14 m² (dle staničení). V počátečních úsecích štol byly provedeny mikropilotové deštníky.

Ostění a počva štol jsou tvořeny stříkaným betonem se zaručenou pevností v tlaku 20 MPa. Ostění štol je vy-

ztuženo kari sítí (Ø6 – 100/100 mm) a tuhou důlní výztuží (ocelové profily K24). Tloušťka stříkaného betonu činí 100 mm. Stříkaný beton byl aplikován metodou tzv. suché torketáže. Byl použit portlandský cement CEMI 42,5R (dle ČSN EN 197-1), v dávce 430 kg na 1 m³ betonu. Jako plnivo bylo použito těžené kamenivo frakcí 0 až 4 a 4 až 8 mm. Směs byla modifikována bezalkalickým urychlovačem tuhnutí a tvrdnutí cementu.

Tématem tohoto článku jsou diagnostické postupy, jejichž cílem bylo komplexním způsobem posoudit stav ostění štol a zejména předpovědět jejich další životnost. Diagnostika stříkaného betonu ostění byla prováděna dva roky po dokončení výstavby štol.

SPECIFIKACE PROSTŘEDÍ

Z hlediska životnosti štol jsou velmi podstatné hydrogeologické poměry v lokalitách, kterými štol procházejí, a to především chemické složení podzemních vod. Pro posouzení míry jejich agresivity vůči ostění štol byly v rámci hydrogeologického průzkumu odebrány vzorky vod, které byly podrobeny chemickému rozboru (tab. 1).

Vzhledem k přítomnosti síranů lze agresivitu prostředí v jednotlivých štolách hodnotit dle normy ČSN EN 206-1 „Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ způsobem, který je uveden v tab. 2.

Po vyhodnocení výsledků geologického průzkumu a chemického rozboru vzorků vod bylo možno prohlá-

sit, že vody, které procházejí kvartérními sedimenty, beton síranovou korozi neohrožují. Odlišná situace nastává v případě, kdy vody prochází terciálními sedimenty. Tyto vody lze dle normy ČSN 206-1 označit za vody, které vykazují střední síranitou agresivitu.

Uvedené skutečnosti lze shrnout v konstatování, že životnost konstrukcí průzkumných štol je limitována nejen chemismem prostředí, ale též možností výskytu bludných proudů. Tyto skutečnosti bylo nutné zohlednit při posuzování stavu ostění štol resp. při předpovědi jejich další životnosti.

KONCEPCE ANALÝZ

Cílem prováděných analýz bylo posoudit stav stříkaného betonu ostění a na základě zjištěných skutečností predikovat další životnost ostění štol.

Podkladem umožňujícím analyzovat stav materiálů tvořících ostění štol byly skutečnosti zjištěné stanovením fyzikálně-mechanických a fyzikálně-chemických parametrů stříkaného betonu. Předpověď další životnosti ostění byla založena především na porovnání výsledků kontrolních zkoušek realizovaných při výstavbě ostění s výsledky zkoušek prováděných po dvou letech užívání štol. Stanovení parametrů stříkaného betonu bylo prováděno na zkušebních tělesech resp. vzorcích připravených z jádrových vývrtů odebraných ze stěn hodnocených štol. Byly určeny tyto charakteristiky stříkaného betonu:

Tab. 1 Výsledky chemického rozboru působících vod

■ Tab. 1 The results of chemical analyse of effecting water

Chemické složení	Místo odběru vzorků					
	Štola I			Štola II		
	Staničení A	Staničení B	Staničení C	Staničení A	Staničení B	Staničení C
Alkalita	7,7	7,4	7,7	7,2	7,3	7,4
Sírany	1 420 mg.l ⁻¹	154 mg.l ⁻¹	160 mg.l ⁻¹	320 mg.l ⁻¹	1490 mg.l ⁻¹	480 mg.l ⁻¹
Chloridy	160 mg.l ⁻¹	151 mg.l ⁻¹	240 mg.l ⁻¹	--	--	--
Dusičnany	131 mg.l ⁻¹	107 mg.l ⁻¹	162 mg.l ⁻¹	--	--	--
Amonné ionty	0,3 mg.l ⁻¹	--	--	8,4 mg.l ⁻¹	--	17,1 mg.l ⁻¹
Mineralizace	1 014 mg.l ⁻¹	--	--	--	--	1 396 mg.l ⁻¹

Tab. 2 Specifikace agresivity prostředí ■

■ Tab. 2 The specification of aggressivity of environs

	Lokalizace	Agresivita prostředí
Štola I	Staničení A	Středně agresivní chemické prostředí
	Staničení B	Bez síranové agresivity
	Staničení C	Bez síranové agresivity
Štola II	Staničení A	Slabě agresivní chemické prostředí
	Staničení B	Středně agresivní chemické prostředí
	Staničení C	Slabě agresivní chemické prostředí

Fyzikálně-mechanické parametry:

- stanovení objemové hmotnosti (dle ČSN EN 12390-7),
- stanovení pevnosti v tlaku (dle ČSN EN 12390-3),
- stanovení modulu pružnosti (dle ČSN ISO 6784).

Fyzikálně-chemická stanovení:

- chemický rozbor (dle ČSN 72 0100 a souvisejících ČSN resp. ČSN EN),
- rentgenová difrakční analýza (dle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1),
- diferenční termická analýza (dle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1),
- stanovení pH ve výluhu (dle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1).

VÝSLEDKY PROVEDENÝCH ANALÝZ

V následujícím textu jsou uvedeny poznatky získané monitorováním stavu ostění štol. Pro objektivní posouzení stavu ostění byly analyzovány parametry stříkaného betonu v lokalitách, v kterých je ostění atakováno vodami s rozdílnou agresivitou, tzn. stanovení byla prováděna tak, aby byla postižena jak místa, kde na ostění působí voda bez agresivity, tak místa, kde působí voda se slabou, příp. střední agresivitou.

Poznatky získané zkouškami resp. analýzami parametrů betonu ostění je možné shrnout následujícím způsobem:

Fyzikálně-mechanické parametry betonu:

- tloušťka ostění (tj. tloušťka vrstvy stří-

kaného betonu) se pohybuje v intervalu 120 až 170 mm,

- dle ustanovení normy ČSN EN 206-1 bylo možno stříkaný beton zařadit do pevnostní třídy C20/25,
- statický modul pružnosti stříkaného betonu se pohyboval v intervalu 24 400 až 26 200 Nmm⁻².

Fyzikálně-chemické vlastnosti betonu:

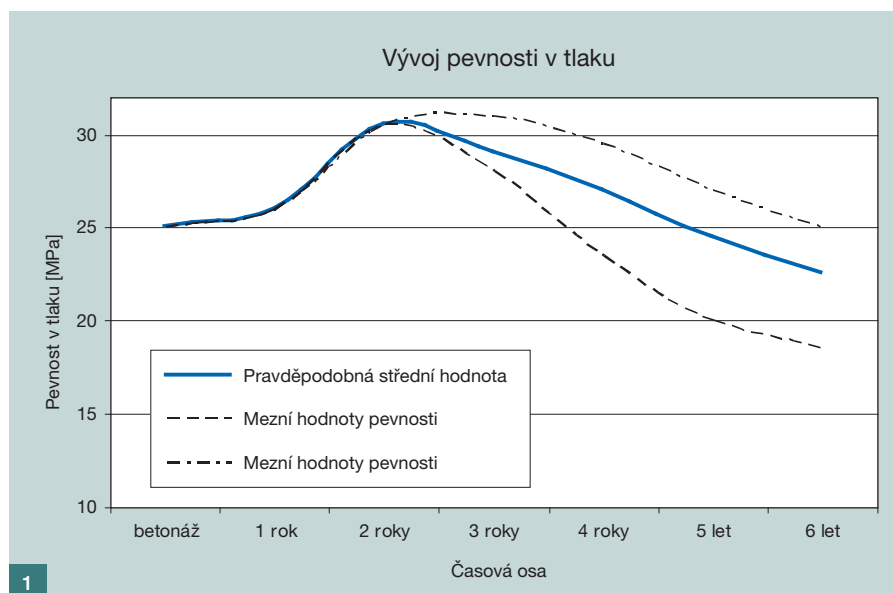
- v lokalitách, ve kterých jsou stěny vystaveny působení vod se střední síranovou agresivitou (tj. vod pronikajícími terciálními sedimenty), jsou vrstvy betonu, které jsou v bezprostředním kontaktu se zeminou, zasaženy působením síranů; po dvou letech užívání je míra degradace betonu tvořícího povrch stěn vyvolaná působením síranů nízká; beton „vnitřní“ masy stěny sírany zasažen není,
- v lokalitách, ve kterých jsou stěny vy-

staveny působení vod slabě agresivních resp. vod bez síranové agresivity, byla míra degradace betonu vyvolaná působením těchto vod v podstatě zanedbatelná,

- míra degradace způsobená postupným rozkladem („vyluhováním“) cementové matrice vodou pronikající do struktury betonu je po dvou letech užívání štol nízká.

ŽIVOTNOST STŘÍKANÉHO BETONU

Jedním z významných hledisek pro předpovědi životnosti ostění tvořeného stříkaným betonem bylo porovnání výsledků zkoušek pevnosti v tlaku realizovaných při kontrole kvality betonu při výstavbě ostění s výsledky zkoušek provedenými po dvou letech používání ostění. Bylo konstatováno, že výsledky kontrolních zkoušek prováděných při výstavbě štol zařazovaly postupem dle ČSN

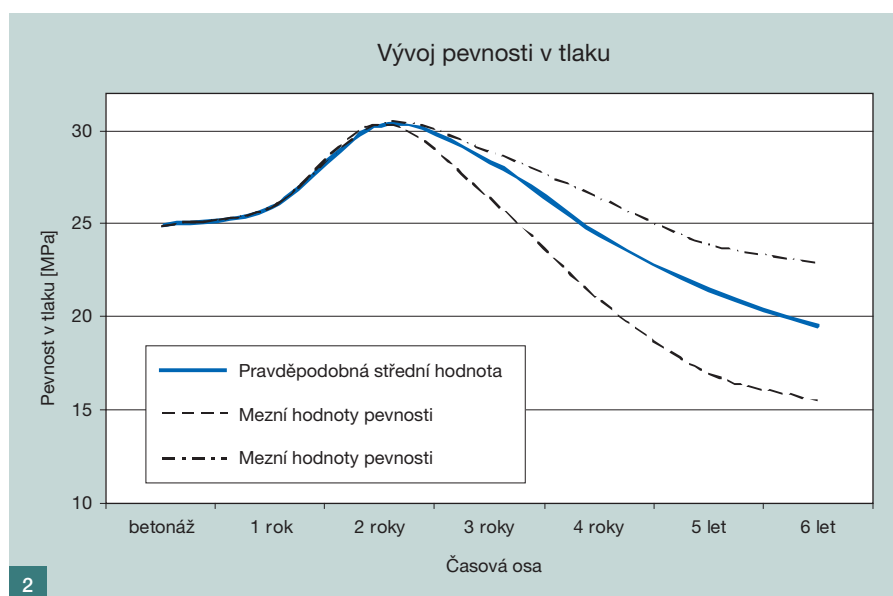


Obr. 1 Vývoj pevnosti stříkaného betonu – vody bez případně se slabou agresivitou ■ Fig. 1 The development of strength of jet crete – water without or with low chemical aggressivity

Pozn: Předpokládané hodnoty tlakové pevnosti betonu se budou pohybovat v oblasti vymezené šrafovými křivkami mezních hodnot.

Obr. 2 Vývoj pevnosti stříkaného betonu – vody se střední síranovou agresivitou ■ Fig. 2 The development of strength of jet crete – water with middle chemical aggressivity

Pozn: Předpokládané hodnoty tlakové pevnosti betonu se budou pohybovat v oblasti vymezené šrafovými křivkami mezních hodnot.



Literatura:

- [1] Dobrý O., Palek L.: Korozí betonu ve stavební praxi, Praha 1998
- [2] Matoušek M., Drochytka R.: Atmosférická korozí betonu, IKAS Praha 1998
- [3] Attiogbe E. K. and Rizkalla S. H.: Response of concrete to sulfuric acid attack, ACI Mater. J. 84 6 (1988), pp. 481–488

EN 206-1 stříkaný beton do pevnostní třídy C16/20 (tj. třídy předepsané projektovou dokumentací), po dvou letech od výstavby bylo možno beton ostění zařadit dokonce do pevnostní třídy C20/25. Skutečnost, že po dvou letech byly zjištěny vyšší pevnosti než bezprostředně po vybudování ostění, souvisí především s postupně narůstající mírou hydratace slínkových minerálů, což je doprovázeno „zpevňováním“ cementové matrice betonu.

Fyzikálně-chemickými analýzami bylo prokázáno, že míra degradace stříkaného betonu je nízká. Toto zjištění jednoznačně koresponduje s výsledky zkoušek pevnosti betonu. S ohledem na zjištěné skutečnosti byl sestaven matematický model umožňující simulovat chování železobetonového ostění štol a predikovat jeho další životnost. Matematický model zahrnoval především výsledky provedených zkoušek (zejména porovnání údajů získaných při výstavbě štol s parametry získanými po dvouleté užívání štol), podmínky vlastního užívání štol a zohledňoval empirické zkušenosti získané s obdobnými typy konstrukcí. Na základě výsledků získaných matematickými simulacemi lze formulovat následující:

- **Predikce životnosti betonu v lokalitách s pronikajícími neagresivními vodami či vodami se slabou síranovou agresivitou** – vývoj tlakové pevnosti stříkaného betonu v těchto lokalitách lze vyjádřit způsobem uvedeným na obr. 1.
- **Predikce životnosti betonu v lokalitách s pronikajícími vodami se střední síranovou agresivitou** – vývoj tlakové pevnosti stříkaného betonu v lokalitách lze vyjádřit způsobem uvedeným na obr. 2.

ZÁVĚR

Záměrem souboru analýz prezentovaných v článku je posoudit stav železobetonového ostění průzkumných štol vystavených působení vod se zvýšenou chemickou agresivitou a predikovat jejich další životnost.

Na základě podrobné a komplexní analýzy této problematiky byl sestaven matematický model umožňující simulovat chování ostění štol v závislosti na míře agresivity protékajících vod a době jejich užívání. Je vhodné, aby získávané poznatky byly zahrnuty do technologických postupů při výstavbě vlastního silničního tunelu.

Práce byla řešena s podporou VVZ MSM 0021630511 „Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí“, GAČR 103/08/0145 „Vývoj stříkaných betonů určených pro expozici v extrémních podmínkách“.

Ing. Amos Dufka, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Ústav technologie hmot a dílců
tel.: 541 147 514, fax: 541 147 502
e-mail: dufka.a@fce.vutbr.cz



síla zkušenosti

Mott MacDonald Ltd.
je jedna z největších světových
multi-disciplinárních projektově
inženýrských konzultačních
společností

Mott MacDonald Praha, s.r.o. je česká pobočka mezinárodní společnosti Mott MacDonald Ltd. Naše organizace poskytuje služby v mnoha oblastech inženýrského poradenství a projektového managementu. Jedná se o poradenské služby, zpracování studií ekonomického hodnocení, zpracování a posuzování všech stupňů projektové dokumentace, řízení a supervize projektů. Tyto činnosti zajišťujeme v těchto oblastech:

Silnice a dálnice
Železnice
Mosty a inženýrské konstrukce
Tunely a podzemní stavby
Vodní hospodářství
Životní prostředí
Geodetické práce
Grafické aplikace
Inženýring a konzultační činnost

Kontakt:

Mott MacDonald Praha, spol. s r.o.
Ing. Jiří Petrák
Národní 15, 110 00 Praha 1
tel.: +420 221 412 800, fax: +420 221 412 810
www.mottmac.com


Mott MacDonald