

DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY POPÍLKOVÝCH BETONŮ LONG-TERM TESTS OF FLY ASH CONCRETE

JAROSLAV BEZDĚK,
VLADIMÍR MORAVEC

Spolupráce se slovenskými partnery umožnila vystavit vzorky popílkových betonů po dobu 22 let působení vysokohorského prostředí a následně je vyhodnotit. Výsledky ukazují do jaké míry byly splněny původní předpoklady a možnosti využití popílkových betonů podle současné normy ČSN EN 206-1. Cooperation with Slovak partners made it possible to expose samples of fly ash concrete to high-elevation environments for the period of 22 years and evaluate them subsequently. The outcomes indicate to what extent the original assumptions have been fulfilled and show the potential of the use of fly ash concrete by the current standard ČSN EN 206-1.

Soustavný výzkum využití popílku do betonu začal v Československu v roce 1970. Byly sledovány dva záměry:

- likvidace obtížného energetického odpadu,
- zlepšení kvality čerstvého i ztvrdlého betonu.

V roce 1970 bylo v Československu vyprodukováno 10 123 175 t popílku. Z tohoto množství bylo ve stavebnictví využi-

to pouze 7 %. Proto se objevila snaha využít popílek jako druhotnou surovinu při výrobě betonu.

Podle výsledků prvních laboratorních zkoušek se dospělo k závěru, že při optimálním dávkování popílku lze dosáhnout úspory cementu a částečně i drobného kameniva. V té době začala být ve větším rozsahu používána čerpadla pro dopravu čerstvého betonu. U nižších značek bylo nutné pro dosažení dobré čerpatelnosti zvýšit dávkování cementu a tuto zvýšenou dávku mohl nahradit popílek.

Podle vyhodnocení roční výroby betonu na betonárně CIFA v Praze-Modřanech představovalo použití 1 t popílku úsporu 180 kg cementu a 700 kg drobného kameniva.

Výsledky zkoušek popílkových betonů byly podstatně ovlivňovány granulometrií popílku a jeho chemickým složením.

Pro použití popílku do betonu platily dvě normy:

- ČSN 72 2064 Popílek jako aktivní příměs do betonu
- ČSN 72 2065 Popílek jako kamenivo do betonu.

Normy určovaly chemické složení:

- | | |
|-------------------------------------|-----|
| • vlhkost | 2 % |
| • ztráta žíháním | 7 % |
| • celková síra jako SO ₃ | 3 % |

- sírníková síra jako S 0,4 %

Popílký měly proměnné složení, jednalo se zejména o množství nespáleného uhlí. Popílký s obsahem spalitelných látek vyšším než 10 % byly z hodnocení vyřazeny. Nízký podíl spalitelných látek vykazoval např. popílek z teplárny SONP Kladno. Popílek z teplárny Malešice měl vyšší podíl spalitelných látek, většinou však požadavek norem splňoval.

Aktivnost popílků ovlivňuje rovněž obsah CaO. Nejvyšší množství vykazoval popílek z elektrárny Hodonín. Velmi příznivé výsledky byly dosahovány s upraveným, mletým popílkem.

Zkoušky byly zaměřeny zejména na nepoužívanější značky betonu: 135, 170 a 250, částečně na nižší i vyšší značky.

Při snížení dávky cementu o 10 až 20 % a doplnění stejným nebo vyšším množstvím popílku bylo dosaženo odpovídajících výsledků pevností betonu v závislosti na:

- technologických parametrech popílku
- použitím cementu (portlandský, struskoportlandský, jednosložkový)
- granulometrií drobného kameniva

Bylo předpokládáno využití popílků pro betony nižších a středních pevností, kde by popílek nemohl negativně ovlivnit pevnosti betonu. Mimo zkoušek pevnosti v tlaku byly zjišťovány pevnosti v tahu a ohybu, vliv popílku na korozi výztuže, samovolná objemová přetvoření a mrazuvzdornost.

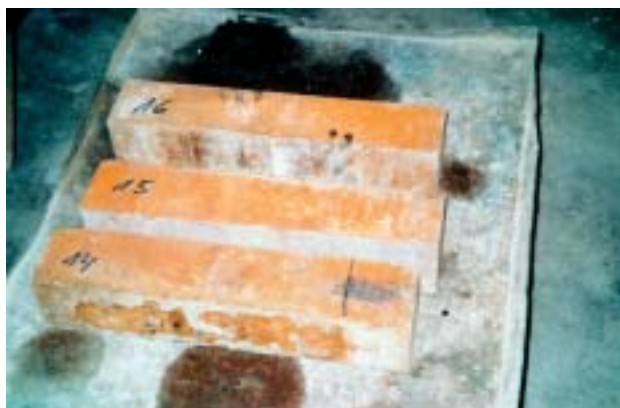
Při zkouškách mrazuvzdornosti popílkových betonů se dospělo k následujícím výsledkům:



Obr. 1 a) b) Uložení vzorků popílkových a referenčních betonů ve vysokohorské laboratoři

Fig. 1 a), b) Placement of samples of fly ash and reference concrete in the high-elevation lab





Obr. 2 Betonové trávce uložené v laboratorním prostředí
Fig. 2 Concrete beams placed in the laboratory environment

Z vyhodnocení nárůstu pevnosti u porovnávacích (nezmrazovaných) trámečků od 100 do 150 cyklů (stáří těles při 100 cyklech bylo 178 až 193 dnů a při 150 cyklech 212 až 227 dní) je patrné, že vzrostla pevnost v tahu za ohybu u betonu bez popílku za tuto dobu o 8 % a u betonu s popílkem o 14 až 20 %. Z výsledků zkoušek betonů značek 170, 250 a 330 vyplynulo, že příměs popílku do betonu se neprojeví nepříznivě při střídavém zmrazování a ve výsledcích zmrazování až 150 cyklů nebyly mezi zkoušenými betony bez popílku a s popílkem podstatné rozdíly.

DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY

V poslední fázi výzkumu popílkových betonů bylo dohodnuto, že by bylo účelné ověřit jejich technologické parametry dlouhodobými zkouškami. I když už byly potíže s financováním, přikročilo se k výrobě zkušebních těles a jejich postupnému hodnocení. Pro dlouhodobé zkoušky popílkových betonů byly v období od 4. do 30. listopadu 1981 vyrobeny zkušební vzorky – betonové trávce rozměrů 100 x 100 x 500 mm. Byly použity dvě třídy betonu B25 a B12,5.

Pro výrobu trámů byl použit cement SPC 250, který byl v té době nejužívanější. U betonu B25 bylo dávkování cementu do referenční receptury (bez popílku) 384 kgm⁻³. Při použití popílku z teplárny Kladno byla dávka snížena na 347 kg a bylo přidáno 61 kg popílku. U popílku z teplárny Malešice byla dávka cementu snížena na 341 kg a bylo použito 60 kg popílku. Sednutí Abramsova kužele bylo u všech vzorků 100 mm.

Do referenčního vzorku z betonu B12,5 bylo dávkování cementu 254 kgm⁻³ betonu. Při použití popílku z Kladna byla dávka cementu snížena na 232 kg při množství popílku 100 kg. Při použití popílku z Malešice byla dávka cementu snížena na 226 kg při množství popílku 98 kg. Sednutí Abramsova kužele bylo u všech vzorků 60 mm.

Z hlediska čtyřstupňového hodnocení aktivity (velmi aktivní, aktivní, středně aktivní, málo aktivní) lze označit popílek z Kladna jako velmi aktivní až aktivní a popílek z Malešic za středně aktivní až málo aktivní.

V březnu 1982 byly vzorky popílkových i referenčních betonů odvezeny do vysokohorské laboratoře Technického a průmyslového ústavu stavebního v Tatranské Štrbě. Všechny vzorky byly po dobu čtrnácti dnů uloženy v klimatizované komoře při teplotě 30 °C a relativní vlhkosti 60 %. Po ukončení klimatizace byly u všech vzorků zjištěny:

- hmotnosti
- rozměry
- dynamické moduly pružnosti

Po ukončení měření byly všechny vzorky 8. dubna 1982 v Tatranské Štrbě uloženy na vodorovné roštové stojany (obr. 1). V průběhu expozice byly dvakrát ročně, vždy po uplynutí letního a zimního období, měřeny jejich hmotnosti a dynamické moduly pružnosti.

Z každé série betonů byly referenční vzorky uloženy v laboratorním prostředí v Praze (obr. 2).

POZNATKY Z VYSOKOHORSKÉ LABORATOŘE

Z vyhodnocení naměřených dynamických modulů pružnosti a zkoušek pevnosti v tahu za ohybu vyplývají rozdíly mezi měřeními po zimním a letním období. V zimním období byly vzorky betonů na-



Obr. 3 Zkouška pevnosti v tahu za ohybu
Fig. 3 Test of tensile strength by bending

máhány zmrazovacími cykly. V průměru byly vzorky každý rok v zimním období podrobené 81 cyklům s přechodem teploty přes 0 °C, 5 cyklům s přechodem teploty od +6 °C do -6 °C a 2 cyklům s přechodem teploty od +10 °C do -10 °C. Během těchto cyklů se v betonu vytváří systém mikrotrhlin, který se projeví poklesem dynamických modulů pružnosti.

V letním období, kdy při dostatečném množství přírodních srážek jsou vytvořeny příznivé podmínky pro pokračování procesu hydratace, docházelo k reakci mezi vodou a neúplně zhydratovanými zrnky původního cementu. Vytvářely se krystalické fáze hydrosilikátů vápenatých, hydroaluminátů vápenatých, hydroxidu vápenatého a jiných fází, které zčásti vyplnily mikrotrhliny vytvořené účinkem zmrazovacích cyklů v zimním období. Z hlediska klimatické odolnosti je možné považovat zkoušené betony za trvanlivé.

Expozice ve vysokohorské laboratoři byla ukončena 2. října 2003. Po převezení

Obr. 4 Zlomená část betonového trávce
Fig. 4 A broken part of a concrete beam



trámčů do Prahy byly 20. října 2003 provedeny zkoušky pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku (obr. 3 a 4). Výsledky zkoušek jsou uvedeny v závěrečném hodnocení.

ZÁVĚR

Celkové hodnocení popílkových betonů vychází z těchto údajů a měření:

- laboratorní zkoušky z období 1970 až 1982
- dlouhodobé zkoušky betonů uložených ve vysokohorské laboratoři a v laboratorním prostředí po dobu 22 let
- hodnocení některých konstrukcí z popílkových betonů.

Je třeba vzít v úvahu, že za uplynulých třicet let se změnila jak kvalita cementů, tak popílků. Současné technologie, použité složky včetně přísad umožňují vyrábět betony vyšších tříd než v uvedeném období. Celkově lze závěry shrnout do těch-

to bodů s přihlédnutím k terminologii používané v normě ČSN EN 206-1:

- pro betony tříd C8/10 až C30/37 uložené v prostředí X0, XC1, XC2 a XC3 je použití popílku vhodné
- pro betony tříd C8/10 a C12/15 uložené v prostředí XF1 až XF4 – se střídavým působením mrazu a rozmrazování (mrazové cykly) se použití popílků nedoporučuje
- pro betony tříd C20/25 až C30/37 vystavené mrazovým cyklům je použití popílků vhodné
- betony vyšších tříd nebyly v dostatečném rozsahu zkoušeny. Předpokládá se vhodnost použití popílku. Z hlediska čerpateľnosti však většinou nebude nutno zvyšovat množství jemných podílů přidáním popílku
- zkoušky prováděné na jiných pracovištích mohou mít poněkud jiné výsledky

Literatura:

- [1] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČSN, Praha. Září 2001

zejména při použití jiných cementů a jiných popílků.

Autoři příspěvku děkují Ing. Michalu Številovi, Ph.D. a Ing. Vladimíru Křišťákovvi za jejich účinnou spolupráci při hodnocení výsledků zkoušek.

*Ing. Jaroslav Bezděk, CSc.
 Velehradská 27, 130 00 Praha 3
 tel./fax: 222 717 250
 Ing. Vladimír Moravec
 Qualiform, a. s.
 Rohanský ostrov, 186 00 Praha
 tel./fax: 222 325 267*

SYSTÉM OBLOUKOVÝCH PREFABRIKOVANÝCH STĚN V PODZEMNÍ UNIVERZITNÍ KNIHOVNĚ

Vzhledem k nedostatku prostoru rozhodlo se vedení Minesotské univerzity vybudovat novou knihovnu v podzemí.

Konstrukce za 35 mil. USD je umístěna v podzemí. Bylo třeba vytěžit 76460 m³ pískovce. Dvě kaverny jsou každá 183 m dlouhá, 7,62 m vysoká a 21,3 m široká (obr. 1). Geologické podmínky vyžadovaly budovat podpěrné stěny nadloží těsně za raženým profilem. Pokud by byl použit monolitický beton, vyžadovalo by to manipulaci s těžkým ocelovým bedněním, výztuží a ukládání betonu ve velmi omezeném prostoru. Po zvážení dalších negativních vlivů (nízké teploty) byla zvolena alternativní metoda – prefabrikovaný stěnový systém. Bylo vyrobeno 400 kusů zakřivených panelů o poloměru 9,1 m, 3 m širokých a 203 mm

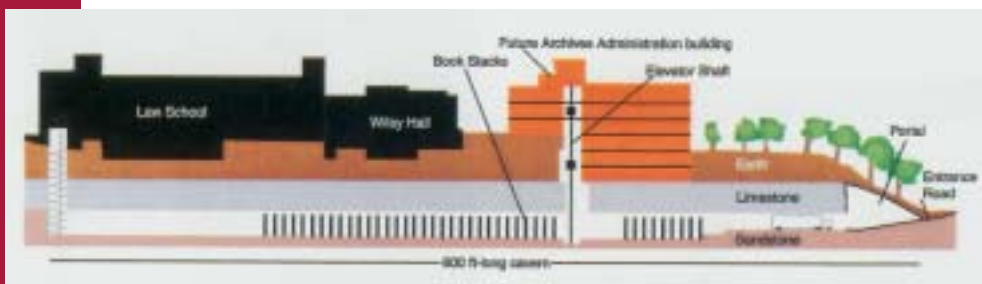
tlustých. Jejich výška se pohybovala od 4,6 do 7,6 m. Průměrná váha panelů byla 11340 kg.

Pro manipulaci s panely byl upraven podzemní nakladač Caterpillar tak, aby mohl panely ve vodorovné poloze zavážet 4,6 m vysokým vstupním tunelem. Na místě osazení panely sklápěl do svislé polohy s vůlí 51 mm (obr. 2). Osazování plně nosných panelů za čelo ražby umožnilo rychlé vytěžení podzemních prostor. Transport a osazení panelu zvládla tříčlenná skupina za 30 min.

Po osazení panelů byla dutina mezi nimi a horninou zainjektována tak, aby se vytvořil těsný kontakt podpůrné zakřivené stěny, působící jako oblouk, a horniny stlačované vahou nadloží a stávajících staveb na povrchu (obr. 3 a 4).

Náročnému projektu a realizaci za použití prefabrikovaného podpůrného stěnového systému v podzemí, který ušetřil investorovi peníze a výrazně zkrátil a zjednodušil výstavbu byla udělena prestižní cena Harryho H. Edwardse.

PCI Journal, September-October 1999, pp. 44–46



Obr. 1 Podélný řez kavernou budoucí knihovny, příjezdovým tunelem, se stávajícími a projektovanými budovami na povrchu

Obr. 2 Usazování stěnového panelu v podzemí

Obr. 3 Diagram interakce sil mezi zakřiveným panelem a horninou

Obr. 4 Panely připravené k injektáži