

NOVÉ POZNATKY Z TECHNOLOGIE VÝROBY CEMENTU NEW EXPERIENCE FROM CEMENT PRODUCTION TECHNOLOGY

JAN TICHÝ, HAGEN ULIG

Požadované vlastnosti cementu lze ovlivňovat technologií výroby cementu. To platí zejména pro cementy, které mají speciální použití v praxi. V příspěvku bude zmínka o dvou cementech určených pro export do SRN. Jedná se o cement CEM I 32,5 R –st- DIN, tzv. silniční cement a CEM II/A – S 32,5 R, tzv. tunelový cement.

The required cement properties can be influenced by cement production technology. It applies particularly to cements with special practical use. This paper presents two cements to be exported to the FRG. They comprise CEM I 32.5 R –st-DIN, ie road cement, and CEM II/A – S 32.5 R, ie tunnel cement.

SILNIČNÍ CEMENT CEM I 32,5 R – ST – DIN

Výroba krytů silničních vozovek z betonu má svou dlouhodobou historii. Z obrázku 1 je patrné, jak vypadala cesta před a po vybetonování v Rensselaer County v New Yorku v roce 1908. Nedozvěděli jsme se však, jaké parametry vykazoval cement použitý pro výrobu této betonové silnice.

V současné době jsou pro cementy určené k výrobě betonu pro kryty betonových vozovek a letištních ploch přesně definovány parametry chemického složení a fyzikálně mechanických vlastností.

V České republice se touto problematikou zabýval v šedesátých letech v rámci resortního úkolu Výzkumný ústav stavebních hmot Brno a na základě dosažených výsledků zpracoval ing. Vladivoj Tomek

normu ČSN 72 2124 **Silniční cement**, která byla schválena v červnu 1972. Tato norma platila pro výrobu, zkoušení a dodávání silničního cementu používaného při výstavbě betonových vozovek a letištních ploch. Podle ní se vyráběl silniční portlandský cement (SC) a silniční struskoportlandský cement (SSC), které se podle nejmenší předepsané pevnosti v ohybu po 28 dnech dělily na třídy 65, 70 a 75. Norma byla zrušena k 31. prosinci 1992, protože k ní neexistovala žádná ekvivalentní evropská norma.

Od července 1994 u nás platí norma ČSN 73 6123 Stavba vozovek – Cementobetonové kryty, v níž jsou specifikovány mimo jiné i požadavky na cement. Mnohé z požadavků byly převzaty z původní normy ČSN 72 2124, některé byly zpřísněny. Portlandský cement třídy 42,5 pro cementobetonové kryty musí splňovat parametry podle ČSN EN 197-1 a navíc následující požadavky:

- ztráta žháním nesmí v době expedice překročit 3 % hmotnosti cementu,
- obsah oxidu hořečnatého (MgO) v používaném křemičitanovém slinku nesmí překročit 5 % hmotnosti slinku,
- obsah trikalciumpuluminátu (C_3A) v použitém křemičitanovém slinku nesmí být vyšší než 8 % hmotnosti slinku,
- kyselinou nerozložitelný podíl v silničním portlandském cementu nesmí být větší než 1,5 % hmotnosti cementu,
- obsah oxidu sírového (SO_3) nesmí být větší než 3,5 % hmotnosti cementu,
- měrný povrch podle Blaine musí být v rozmezí 225 až 350 m^2/kg s tím, že v jednotlivých dodávkách cementu nesmí být větší odchylka než 20 m^2/kg ,

- počátek tuhnutí nesmí nastat dříve než za 90 minut,
- doba tuhnutí cementu musí být ukončena do 12 hodin,
- objemová stálost se prokazuje dilatometrickou zkouškou, obvodová roztažnost nesmí být větší než 0,6 mm,
- opakovaná zkouška objemové stálosti rozprostřeného cementu po 3 dnech není povolena.

Od 1. října 2000 Ministerstvo dopravy a spojů prostřednictvím Ředitelství silnic a dálnic Praha vydalo předběžné technické podmínky „Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací“. Opatření provedená podle těchto technických podmínek mají zabránit škodám v důsledku alkalického rozpínání kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací. Jedním ze zásadních požadavků na cement je, že portlandský cement CEM I pro beton v prostředí 2,3 a 5 podle původní ČSN P ENV 206 nesmí obsahovat větší množství alkálií než 0,6 % eq. a portlandský struskový cement CEM II více než 0,8 % eq. Aktivními alkáliemi se rozumí $Na_2O + 0,658 K_2O$.

Každá země má však jiné požadavky a představy o silničních cementech. Není žádným tajemstvím, že společnost Lafarge Cement, a. s., vyváží cement do SRN, hlavně pak do nové spolkové země Sasko. V roce 1999 v rámci kooperace skupiny Lafarge byl společností Lafarge Cement, a. s., Čížkovice, zadán úkol vyvinout a pak vyrábět silniční cement podle požadavků příslušných norem v SRN. Tyto požadavky jsou specifikovány v tabulce 1. Na základě tohoto úkolu byl v závěru roku 1999 a počátkem roku 2000 vyroben cement CEM I 32,5 R –st – DIN s požadovanými parametry a následně pak certifikován německou zkušební laboratoří LMPA Magdeburg. V letech 2000 a 2001 Lafarge Cement, a. s., Čížkovice, vyrobil a dodal do SRN přibližně devadesát tisíc tun tohoto cementu pro výstavbu dálnic a odstavných parkovišť. Hodnoty průměrných parametrů, které silniční cement vykazoval v roce 2000 jsou uvedeny v tabulce 1.

Obr. 1 „Před a po“ – fotografie silnice z Rensselaer County, New York, 1908

Fig. 1 „Before and after“ – photographs of a road in Rensselaer County, New York, 1908



Tab. 1 Požadované parametry na silniční cement CEM I 32,5 R –st- DIN a dosažené průměrné hodnoty za rok 2000

Tab. 1 The required parameters of road cement CEM I 32.5 R – st-DIN and the average values achieved during the year 2000

Parametry	Limity normy SRN	Průměrné hodnoty za rok 2000
Obsah SO ₃ [%]	2,9 až 3,3	3,03
Jemnost mletí podle Blaine [m ² /kg]	280 až 310	300
Spotřeba vody pro normovou hustotu [%]	26 až 28	26,5
Počátek tuhnutí [min.]	190 až 230	200
Doba tuhnutí [min.]	260 až 300	266
Pevnost v tlaku po 2 dnech [N/mm ²]	24 až 28	26,3
Pevnost v tlaku po 28 dnech [N/mm ²]	48 až 51	50,6

Tab. 2 Požadované parametry na tunelový cement CEM II/A – S 32,5 R a dosažené průměrné hodnoty za 1 pololetí roku 2002

Tab. 2 The required parameters of tunnel cement CEM II/A – S 32.5 R and the average values achieved during the first half of 2002 year

Parametry	Požadavky SRN	Průměrné hodnoty za 1.pololetí 2002
Obsah SO ₃ [%]	2,9 až 3,3	3,04
Jemnost mletí podle Blaine [m ² /kg]	325 až 357	350
Spotřeba vody pro normovou hustotu [%]	30 až 32	30,7
Počátek tuhnutí [min.]	190 až 240	225
Doba tuhnutí [min.]	270 až 320	315
Rozdíl teplot při vývinu hydratačního tepla [°C]	36 až 40	38,5
Doba pro dosažení max. teploty při hydrataci [h]	max. 9	8,5
Bleeding po 120 min. [ml]	max. 20	11
Pevnost v tlaku za 1 den [N/mm ²]	12 až 18	16,5
Pevnost v tlaku za 2 dny [N/mm ²]	23 až 29	27,9
Pevnost v tlaku za 28 dní [N/mm ²]	48 až 52	51,1

MOŽNOSTI MODERNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY, KTERÝMI LZE OVLIVNIT PARAMETRY CEMENTU

Obecně lze říci, že celý technologický proces ovlivňuje parametry cementu. Čím je větší stupeň automatizace a kontroly kvality, tím jsou dosahované hodnoty rovnoměrnější a to je velmi důležitý faktor pro výrobu betonu.

Chemické složení slinku, který tvoří hlavní součást cementu, lze ovlivnit skladbou vstupní suroviny a její důkladnou homogenizací. První výsledky o surovině poskytuje geologický průzkum. Mletí suroviny je průběžně vzorkováno automatickými vzorkovači a dle chemické analýzy je upravován podíl korekčních přísad ve vstupní surovině. Po semletí suroviny kulovým mlynem následuje homogenizace suroviny. Zhomogenizovaná surovina se následně dávkuje do rotační pece, její kvalita je rovněž pravidelně vzorkována a analyzována.

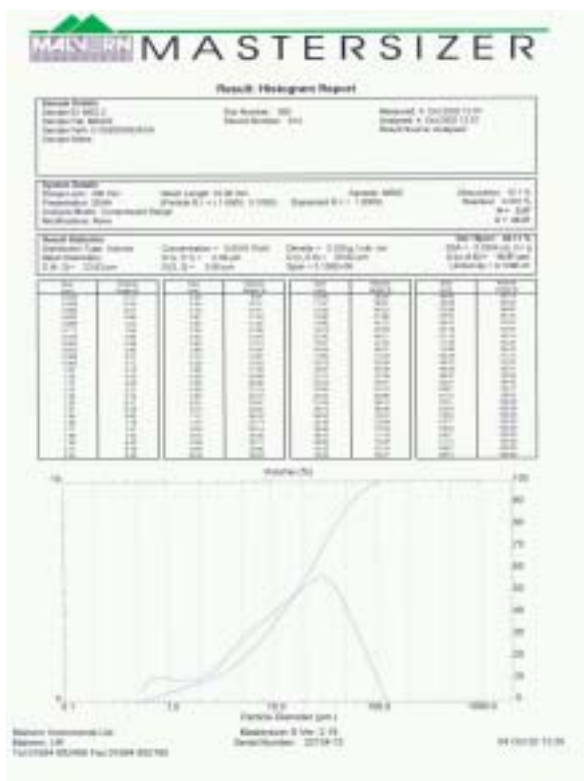
Výpal slinku je složitý technologický proces, vyžadující kontinuální měření řady parametrů, např. analýzy plynů, teplot a tlaků. Produktem výpalu je slínek, který se také v pravidelných intervalech vzorkuje a stanovují se u něj chemické a fyzikálně-mechanické parametry.

Semletím slinku a příslušných přísad vzniká cement. Kvalitu cementu lze ovlivnit jednak kvalitou slinku, dále množstvím a druhem přísad (struska, sádrovec, aditiva aj.) a v neposlední řadě jemností mletí a granulometrií.

Chemické složení namílaného cementu je sledováno rentgenfluorescenčním analyzátozem a granulometrie byla v minulosti stanovována Blaineho metodou. V současnosti se stále více používá laserový granulometr, který poskytuje komplexnější obraz o jemnosti a rozložení částic. Lafarge Cement, a. s., používá pro tento účel přístroj od firmy Malvern. Příklad analýzy

Obr. 2 Výsledky analýzy jemnosti mletí cementu – histogram z Malvernova přístroje

Fig. 2 Malvern result – histogram report



Obr. 3 Přípravná práce před betonáží sekundárního ostění tunelu

Fig. 3 Preparation works before concreting of the secondary jamb of the tunnel





Obr. 4 Detail definitivního ostění včetně části bednění
Fig. 4 Detail of the final jamb, including a part of the formwork



Obr. 5 Pohled na hotový tunel
Fig. 5 View of the completed tunnel

jemnosti mletí cementu je znázorněn na obrázku 2.

TUNELOVÝ CEMENT CEM II/A – S 32,5 R

V roce 2001 začal být realizován projekt „Tunnelbau BAB 17“ – stavba tunelů v Drážďanech pro dálnici A17, která má

v budoucnosti vést přes Cínovec a Ústí nad Labem do Prahy.

Doba výstavby je dle projektu plánována na tři a půl roku, délka tunelů je 1 070 a 2 332 m, délka mostu 225 m, výška mostu 30 m a předpokládané náklady jsou přibližně 138 mil. EUR. Předpokládané množství stříkaného betonu je cca 117 500 m³ a betonu pro vnitřní výstavbu cca 194 000 m³ (obr. 3 až 5).

Obdobně jako pro „silniční cement“, tak i pro tento, tzv. **tunelový cement** byly projektem specifikovány požadavky. Zde kromě běžných požadavků byl limitován maximální rozdíl teplot při vývinu hydratačního tepla, doba, za kterou se dosáhla maximální teplota a tzv. bleeding po 120 minutách od přidání vody. Srovnání požadovaných a dosažených parametrů je zřejmé z tabulky 2.

Přestože některé z uvedených parametrů lze jen velmi těžko udržet v požadovaných mezích, z tabulky 2 je patrné, že i tento náročný úkol se podařilo zvládnout. Proto jsme také obstáli při náročném výběrovém řízení v konkurenci s německými cementárnami a na zmíněný projekt dodáme celkem přibližně šedesát tisíc tun tzv. tunelového cementu.

ZÁVĚR

V příspěvku byly zmíněny některé možnosti moderní technologie výroby, kterými lze ovlivnit parametry cementu.

Přestože se nám podařilo ve dvou uvedených případech dodržet náročné požadavky ze strany německého zadavatele, neexistují jednoznačné nástroje na ovlivnění všech jednotlivých vlastností cementu. To znamená, že změna určité charakteristiky cementu pomocí jistého zásahu v technologii výroby, může mít a zpravidla také mívá vliv na další vlastnosti cementu. Například množství dávkovaného plnivá ovlivňuje pevnosti, spotřebu vody i další parametry cementu.

Díky vývoji „tunelového cementu“ se nám také podařilo nalézt další korelace mezi některými vlastnostmi cementu. Nově získané zkušenosti z výroby speciálních cementů jsou okamžitě přenášeny do výroby ostatních druhů cementu.

Ing. Jan Tichý, CSc.
Lafarge Cement, a. s.
411 12 Čížkovice
tel.: 416 577 450, fax: 416 577 600, 601
e-mail: jan.tichy@lafarge-czech.lafarge.com
Dipl.-Bauing. Hagen Ulig
Karsdorfer Zement GmbH
Str. der Einheit 25
D-06638 Karsdorf / Unsturt
tel.: +49 34461 74526, fax: +49 34461 74349
e-mail: hagen ulig@lafarge-zement.lafarge.com

BUDOUCNOST BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Zvyšující se nároky na spolehlivost a trvanlivost staveb, při nízké efektivnosti procesů údržby, vyžadují stále náročnější konstrukční opatření k ochraně ocelové výztuže. V této situaci je třeba reálně posoudit zásadní řešení, kterým je využití nekorodujících materiálů s odpovídajícími fyzikálně mechanickými vlastnostmi. Cenné informace k tomuto řešení nám poskytuje kniha **Nekovové kompozity jako výstuž betonových konstrukcí** autorského kolektivu Doc. Ing. Ludovít Naď, CSc., Ing. Mulu Muruts, PhD., Ing. Anton Bajzecer, Ing. Branislav Spemoga ze Stavební fakulty Technické univerzity v Košicích (vydavatelství Elfa, Košice, 2001, 102 str.).

Nabídka na trhu nekovových vysokopevnostních materiálů poskytuje široké možnosti pro jejich využití i v těch oborech stavebního inženýrství, které jsou dosud výsadní doménou vysokopevnostních ocelí. Publikace nás seznamuje s jednosměrnými vláknovými kompozity, jejichž vlastnosti a technologie výroby umožňují ekonomicky přijatelné využití, a to za předpokladu posouzení nákladů celého životního cyklu stavby. V úvodních kapitolách jsou hodnoceny fyzikálně-mechanické vlastnosti vláken uhlíkových, aramidových (polyamidových) a vláken skleně-

ných. Cenné jsou informace o složkách (vlákno, matrice), výrobě a výsledných vlastnostech kompozitní výztuže. Tyto výsledky dlouholetého výzkumu byly dosud publikovány převážně v časopisech a sbornících, čtenář pak z této pestré mozaiky si vytvářel obtížně ucelený obraz. Souhrnné statě o vlastnostech a způsobu porušování kompozitních výztuží jsou doplněny přehledem zkušebních metod.

Po zvážení výrobních a ekonomických možností soustředili autoři pozornost na skleněná vlákna odolná v alkalickém prostředí. V závěrečných oddílech knihy jsou uvedena doporučení pro návrh betonových konstrukcí vyztužených nekovovými kompozity. Experimentální analýza souboru složeného z 21 kusů nosníků vyztužených sklenou kompozitní výztuží (včetně výztuže předpínací) prokazuje reálnost úvah o směřování vývoje výztužných materiálů betonových konstrukcí.

Všem zájemcům zbývá popřát, aby se tato zajímavá publikace objevila i na našem trhu.

Doc. Ing. Vojtěch Mendl, CSc.
FAST VUT v Brně