

Michail LEMBÁK*, Vojtěch VÁCLAVÍK**, Branislav MOŠAŤ***

VYUŽITÍ PRŮMYSLOVÉHO ODPADU V TECHNOLOGII VÁLCOVANÉHO BETONU V PŘEHRADNÍM STAVITELSTVÍ

UTILIZATION OF INDUSTRIAL WASTE FOR ROLLED CONCRETE TECHNOLOGY OF DAM
BUILDING INDUSTRY

Abstrakt

V příspěvku se pojednává o soudobé technologii výstavby a konstrukčním řešení betonových přehrad s použitím průmyslových odpadů, zejména elektrárenského popílku a jemně mleté vysokopecní strusky. Uvádějí se konkrétní příklady realizace tížných přehrad technologií válcovaného betonu na bázi elektrárenských popílků, receptury betonových směsí a pevnostní charakteristiky betonu. Kromě toho příspěvek obsahuje i výsledky experimentálních ověření fyzikálně mechanických vlastností betonů na bázi jemně mleté vysokopecní strusky (jako náhrady určitého množství cementu), které by bylo možno použít při výrobě a rekonstrukci přehrad.

Abstract

By the paper a contemporary building technology and construction solution of concrete dams with application of industrial waste, especially of power plant fly ash and fine ground or comminuted blast furnace slag is discussed. Actual examples of realisation of gravity dams by means of rolled concrete technology based on power plant fly ash, recipes of concrete mixtures and strength characteristics are mentioned. In addition to this by the paper results of experimental testing research of physico-mechanical properties of concrete types based on fine ground or comminuted blast furnace slag (as substitute for a certain quantity of cement) are given which could be used for construction or reconstruction of dams.

Key words: gravity dam, industrial waste, rolled concrete.

Úvod

Jedním z hlavních reprezentantů průmyslových odpadů je elektrárenský popílek, který v mnoho zemích se zpracovává na stavbách přehrad, silnic, budov, při zakládání staveb a zemních pracích. V betonovém stavitelství vodo hospodářských, inženýrských a pozemních staveb se popílek požadovaných vlastností může zpracovávat jako částečná náhrada jemné frakce kameniva a cementu. Přítomnost popílku v betonu zabraňuje vzniku trhlin, zvyšuje jeho pevnost a odolnost proti agresivnímu prostředí.

V zahraničí využití popílku a úletů při stavbě a rekonstrukci přehrad je již docela běžné a používají se buď v přirozené formě anebo se upravují a jsou považovány za vhodnou náhradu cementu a jemné frakce kameniva. Žel u nás je zatím využití těchto druhotných surovin velmi nízké a vzhledem k dobrým zahraničním zkušenostem a kladným výsledkům našeho výzkumu by mohlo být rozsáhlejší a efektivnější [3 až 7].

* Prof. Ing., CSc., VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava

** Ing., Ph.D. VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava

*** Ing., VŠB-TU Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava

Současný ekonomický vývoj je stále podmiňován potřebou racionálnějšího použití energeticky náročného materiálu – cementu CEM I., jehož energetická náročnost výroby se odhaduje na 4000 MJ.t^{-1} (suchý způsob) až 6500 MJ.t^{-1} (mokrý způsob).

V mnoha zemích je prakticky ověřen efektivní způsob náhrady jemně mletou vysokopecní granulovanou struskou, která se mele na obdobný povrch jako cement a energetická náročnost, které odpovídá zhruba $1000 \text{ až } 1500 \text{ MJ.t}^{-1}$. Tím klesá energetická náročnost pojiva vhodného do betonu, pro stabilizaci zemin apod.

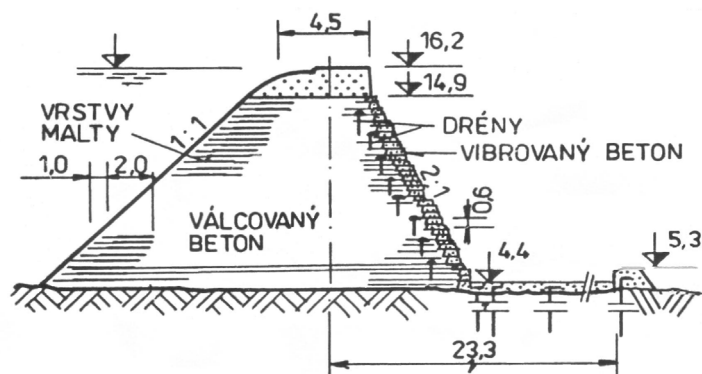
S tímto pojivem do betonu se v širším měřítku začalo v šedesátých letech v JAR a od sedmdesátých let ve Velké Británii a posléze v USA, Kanadě a v republikách bývalého SSSR.

Mezi významné větší stavby ze směsi portlandcementu a 50% jemně mleté strusky patří v Anglii přehrada West Sleddale ve Westmoreland i několik dalších, dále most Pothill Bridleway v Kentu a několik jaderných elektráren (Hartlepool aj.). Beton s obsahem 80% jemně mleté strusky se použil při realizaci základů pod jednu z největších vysokých pecí v Evropě v hutích Redcar. Desetitisíce metrů kubických betonů s obsahem 30 až 70% jemně mleté strusky se použilo při výstavbě silnic a dálnic. Toto pojivo jako základní složka výroby struskoalkalických betonů bylo použito při stavbě kanalizační sítě v Odese (Ukrajina), dvaceti a šestnáctipatrových obytných objektů v Lipecku (Ruská federace), komunikací v Maďarsku apod.

Rovněž autoři práce ověřili směsi s použitím jemně mleté strusky s různým obsahem jako náhrady cementu a fyzikálně mechanické vlastnosti betonů různého stáří vyrobené na bázi této strusky [6 až 10], které by bylo možno použít pro výstavbu a rekonstrukci vodohospodářských staveb v technologii válcovaného betonu.

Soudobý rozvoj výstavby přehrad novou technologií

Charakteristické zvláštnosti technologie válcovaného betonu, při výstavbě tížných přehrad je podrobně popsáno v pracích [1,2]. V současné době je o tento způsob výstavby na celém světě zvýšený zájem, poněvadž tato technologie umožňuje zkrácení lhůty výstavby v porovnání se sypanými přehradami, zvyšuje se stabilita hrází a jejich životnost. Například mezi významné přehrady realizované uvedenou technologií patří přehrady Tamagawa (Japonsko, $H=103 \text{ m}$) a Upper Stillwater (USA, $H=87 \text{ m}$). Technologie válcovaného betonu se však použila i při výstavbě nízkých vzdouvacích staveb, např. Bocca (Austrálie, $H=12 \text{ m}$, viz obr. 1) [1]. Tato technologie byla použita i při výstavbě klenbových přehrad Mohale, $H=162 \text{ m}$ a Mashai, $H=180 \text{ m}$, JAR a jiných objektů hydrotechnických staveb [1]. V posledních letech se rozvíjí též v přehradním stavitelství v Číně.



Obr. 1: Příčný profil jezu Bocca, Austrálie ($H = 12 \text{ m}$)

Moderní technologie válcovaného betonu v hydrotechnickém stavitelství

Ve světě existuje řada technologických postupů při realizaci hydrotechnických staveb:

- technologie hubeného suchého betonu zhutňovaného válcováním (RCC, „rollercrete“),
- technologie válcovaného betonu s vysokým dávkováním hydraulického pojiva, zejména elektrárenského popílku,
- japonské technologie (RCD).

Obdobné technologie, které se vyznačují značným zásahem do klasických technologických zásad, se uplatňují např. ve Francii, Austrálii, JAR, Maroku a dalších zemích, sleduje se hlavně plynulost a rychlost

výstavby. Snahou je vyloučit nebo maximálně omezit dilatační spáry v přehradním tělese a v co největší míře se vyhnout všem atypickým konstrukčním prvkům.

V tab. 1 jsou uvedené některé charakteristiky betonových směsí na bázi průmyslového odpadu – elektrárenského popílku, které se používaly pro různé přehradní stavby [1]:

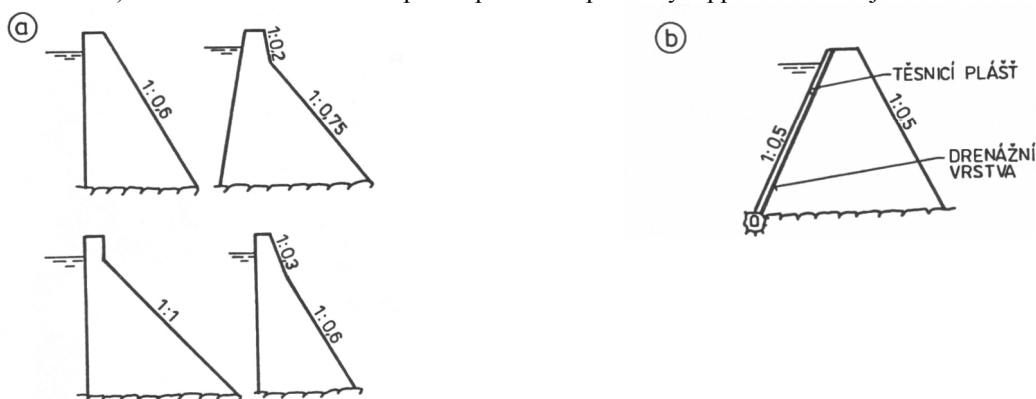
Tabulka 1: Charakteristiky betonů používané pro výstavbu přehrad

| Cement (kg.m ⁻³) | Popílek (kg.m ⁻³) | Maximální zrno (mm) | Pevnost v tlaku po 90 dnech (MPa) | Přehrada |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------|---|---------------------------|
| 66 | - | 75 | 14,3 | Middle Fork (USA) |
| 70 | 60 | 50 | 15,8 | Craigbourne (Austrálie) |
| 53 | 51 | 75 | 10,8 až 13,0 | Galeswille (USA) |
| 90 | 125 | 100 | 18,1 | Santa Eugenia (Španělsko) |
| 79,5 | 172,7 | 40 | 16,4 až 24,8 44,1 až 48,1 (po 365 dnech) | Upper Stillwater (USA) |

Z tabulky 1 je evidentní, že při stavbě přehrad složení betonové směsi má značnou variabilitu ve smyslu dávkování elektrárenského popílku. Přitom vodotěsnost uvedených staveb závisí na obsahu pojiva a mění se v širokých mezích: $K=10^{-5}$ m.s⁻¹ při dávkování 70 kg.m⁻³, $K=10^{-8}$ m.s⁻¹ při dávkování 130 kg.m⁻³ a $K=10^{-11}$ m.s⁻¹ při dávkování zhruba 250 kg.m⁻³ cementu+popílku.

Je zajímavé, že uvedena nová technologie realizace přehrad ovlivňuje i koncepční řešení přehrad, kde se používal pouze válcovaný beton, lze pozorovat určitý odklon od základního trojúhelníkového tvaru (viz obr. 2a). Velmi zajímavý je návrh sypané přehrad z válcovaného betonu znázorněný na obr. 2b, avšak velmi štíhlé, s ohledem na vlastnosti válcovaného betonu vytvářejícího stabilizační část.

Válcovaný beton se uplatňuje rovněž i při rekonstrukcích a při zvyšování již dříve realizovaných přehrad. Základní myšlenkou této technologie je podstatné zlepšení plynulosti betonářských prací a omezení použití speciálních strojů, možnosti vyloučení dilatačních spár mezi přehradními bloky (např. přehrada Upper Stillwater v USA). Skladba betonové směsi použité při stavbě přehrad Upper Stillwater je uvedena v tab. 2.



Obr. 2: Příčné profily některých tížných přehrad vybudovaných technologií válcovaného betonu (a), ideový návrh sypané přehrad z válcovaného betonu (b)

Tabulka 2: Skladba a pevnost betonu návodního líců přehrad (Upper Stillwater, USA)

| Pevnost betonu v tlaku (MPa) | Cement (kg.m ⁻³) | Popílek (kg.m ⁻³) | Voda (l.m ⁻³) | Teplota směsi (°C) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------|
| 1 den | 6,9 | 221,3 | 152,5 | 138,2 |
| 7 dnů | 20,1 | | | |
| 28 dnů | 30,5 | | | |
| 90 dnů | 40,0 | | | |

Výroba a ověření betonů s částečnou náhradou cementu jemně mletou vysokopecní struskou

Při rozpracování podkladů pro výrobu, navrhování betonových konstrukcí na bázi jemně mleté strusky, zejména technologii válcovaného betonu, bylo nutno provést rozsáhlý výzkum fyzikálně mechanických vlastností betonu vyrobeného s použitím jemně mleté strusky různého obsahu.

Základní složení zkušebních směsí tvořili objemový poměr drobného kameniva ku hrubému 40:20:40. Dále postupně byla nahrazovaná část cementu tř. CEM I. vysokopecní granulovanou struskou z výroby Kotouč, Štramberk, a to 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 % hmotnosti cementu. Spotřeba cementu komparační směsi činila 320 kg.m^{-3} . Konzistence směsi se pohybovala v rozmezí S2 až S3 (50-210 mm sednutí kužele). Zhutňování směsi probíhalo na vibračním stole VSB 40 po 2. vrstvách, doba vibrace jedné vrstvy činila 10 s. Složení některých směsí je dána v tab. 3 a 4.

Tabulka 3: Složení směsi - obsah strusky - 60 % hmot. cementu

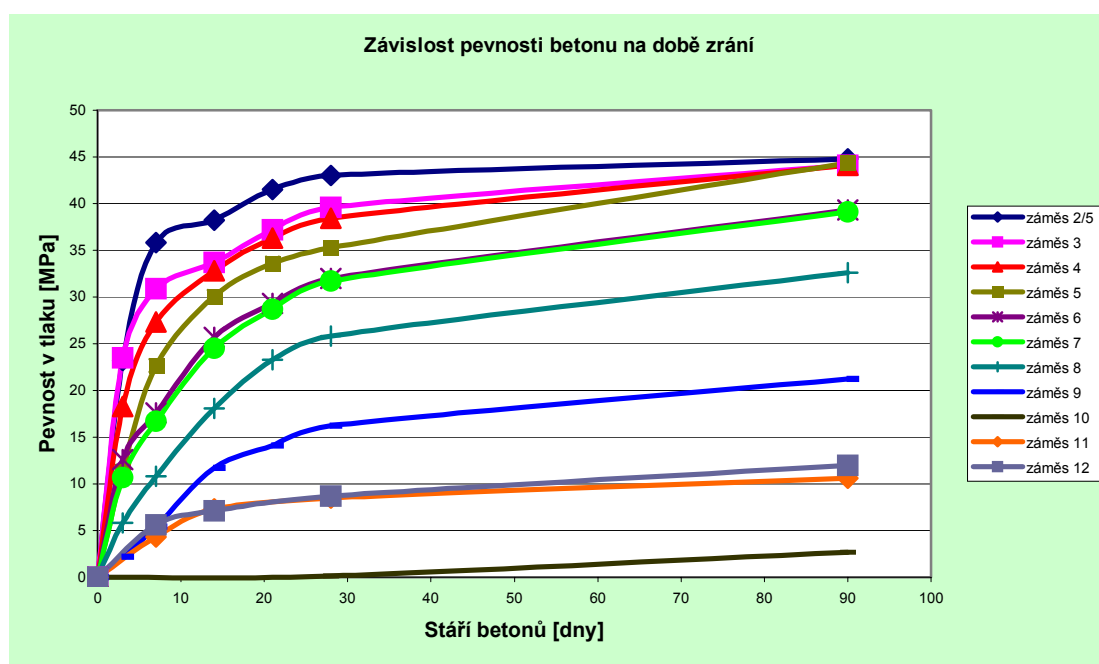
| Označení záměsi | Složky betonové směsi | Měrná jednotka | Dávkování složek (kg.m^{-3}) | Dávkování složek 1 etapa (kg.111 dm^{-3}) | Dávkování složek 2 etapa (kg.64 dm^{-3}) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---|--|---|
| Záměs číslo 8 C 20/25 w = 0,59 | Cement CEM I 42,5R | kg | 128 | 14,21 | 8,19 |
| | Voda | l | 192 | 21,31 | 12,29 |
| | Kamenivo fr. 0 – 4 Bohumín | kg | 627 | 69,59 | 40,13 |
| | Kamenivo fr. 4 – 8 Dolní Benešov | kg | 359 | 39,85 | 22,98 |
| | Kamenivo fr. 8 – 16 Dolní Benešov | kg | 806 | 89,47 | 51,58 |
| | Jemně mletá struska | kg | 192 | 21,31 | 12,29 |
| | Plastifikátor BV 1 | kg | 2,24 | 248,64 g | 143,30 g |

Tabulka 4: Složení směsi - obsah strusky - 80 % hmot. cementu

| Označení záměsi | Složky betonové směsi | Měrná jednotka | Dávkování složek (kg.m^{-3}) | Dávkování složek 1 etapa (kg.111 dm^{-3}) | Dávkování složek 2 etapa (kg.64 dm^{-3}) |
|--------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---|--|---|
| Záměs číslo 9 C 20/25 w = 0,59 | Cement CEM I 42,5R | kg | 64 | 7,10 | 4,10 |
| | Voda | l | 192 | 21,31 | 12,29 |
| | Kamenivo fr. 0 – 4 Bohumín | kg | 627 | 69,59 | 40,13 |
| | Kamenivo fr. 4 – 8 Dolní Benešov | kg | 359 | 39,85 | 22,98 |
| | Kamenivo fr. 8 – 16 Dolní Benešov | kg | 806 | 89,47 | 51,58 |
| | Jemně mletá struska | kg | 256 | 28,42 | 16,38 |
| | Plastifikátor BV 1 | kg | 2,24 | 248,64 g | 143,30 g |

Za účelem realizace vytyčeného programu experimentálního výzkumu bylo zhotoveno 462 ks zkušebních těles: 330 ks krychlí o rozměrech 150x150x150 mm, 132 ks hranolů o rozměrech 100x100x400 mm. Po odformování byla zkušební tělesa uložena do vodní lázni při teplotě 20°C.

Stanovení krychelné pevnosti u všech 11 záměsí bylo prováděno po 3, 7, 14, 21, 28 a 90 dnech. Některé výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 5 a 6 a znázorněny na obr. 3 [9,10].



Obr. 3: Průběh nárůstu pevnosti v tlaku betonu v závislosti na obsahu strusky a jeho stáří

Tabulka 5 : Výsledky zkoušek betonu (cement + 60% jemně mletá struska)

| Označení sady | Číslo vzorku | Hmotnost [kg] | Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] | Rozměry vzorků | | | Tlačná plocha [mm ²] | Zatěžovací síla [kN] | Pevnost | | Stáří betonu [Dny] |
|---------------|--------------|---------------|---|----------------|--------|--------|----------------------------------|----------------------|---------|---------|--------------------|
| | | | | L [mm] | B [mm] | H [mm] | | | [MPa] | Ø [MPa] | |
| 8 | 1 | 7,662 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 135 | 6,0 | 5,8 | 3 |
| | 2 | 7,671 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 115 | 5,11 | | |
| | 3 | 7,751 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 140 | 6,22 | | |
| 8 | 1 | 7,744 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 245 | 10,9 | 10,8 | 7 |
| | 2 | 7,725 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 240 | 10,7 | | |
| | 3 | 7,750 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 240 | 10,7 | | |
| 8 | 1 | 7,676 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 415 | 18,4 | 18,1 | 14 |
| | 2 | 7,776 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 405 | 18,0 | | |
| | 3 | 7,662 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 400 | 17,8 | | |
| 8 | 1 | 7,698 | 2281 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 515 | 22,9 | 23,3 | 21 |
| | 2 | 7,761 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 535 | 23,8 | | |
| | 3 | 7,758 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 525 | 23,3 | | |
| 8 | 1 | 7,720 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 575 | 25,6 | 25,8 | 28 |
| | 2 | 7,685 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 565 | 25,1 | | |
| | 3 | 7,666 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 600 | 26,7 | | |
| 8 | 1 | 7,708 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 730 | 32,4 | 32,6 | 90 |
| | 2 | 7,722 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 735 | 32,7 | | |
| | 3 | 7,777 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 735 | 32,7 | | |

Tabulka 6: Výsledky zkoušek betonu (cement + 80% jemně mletá struska)

| Označení sady | Číslo vzorku | Hmotnost [kg] | Objemová hmotnost [kg.m ⁻³] | Rozměry vzorků | | | Tlačná plocha [mm ²] | Zatěžovací síla [kN] | Pevnost | | Stáří betonu [Dny] |
|---------------|--------------|------------------|---|----------------|-----------|-----------|--|----------------------------|------------|-------|--------------------------|
| | | | | L [mm] | B [mm] | H [mm] | | | Ø [MPa] | [MPa] | |
| 9 | 1 | 7,687 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 49 | 2,2 | 2,2 | 3 |
| | 2 | 6,678 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 49 | 2,2 | | |
| | 3 | 7,634 | 2260 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 51 | 2,3 | | |
| 9 | 1 | 7,696 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 122 | 5,4 | 5,4 | 7 |
| | 2 | 7,746 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 121 | 5,4 | | |
| | 3 | 7,678 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 121 | 5,4 | | |
| 9 | 1 | 7,701 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 260 | 11,6 | 11,7 | 14 |
| | 2 | 7,692 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 259 | 11,5 | | |
| | 3 | 7,669 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 268 | 11,9 | | |
| 9 | 1 | 7,687 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 320 | 14,2 | 14,1 | 21 |
| | 2 | 7,726 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 320 | 14,2 | | |
| | 3 | 7,733 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 310 | 13,8 | | |
| 9 | 1 | 7,643 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 368 | 16,4 | 16,2 | 28 |
| | 2 | 7,775 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 362 | 16,1 | | |
| | 3 | 7,671 | 2270 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 362 | 16,1 | | |
| 9 | 1 | 7,689 | 2280 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 479 | 21,3 | 21,2 | 90 |
| | 2 | 7,743 | 2290 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 468 | 20,8 | | |
| | 3 | 7,773 | 2300 | 150 | 150 | 150 | 22500 | 486 | 21,6 | | |

Z uvedených výsledků je zřejmé, že při větší náhradě cementu jemně mletou vysokopecní granulovanou struskou (60, 80, 100%) dochází ke snížení počátečních pevností betonů oproti komparační záměsi (záměs 2/5-0% strusky).

Vypočtené hodnoty jedno a troj denní pevnosti betonů na bázi jemně mleté vysokopecní strusky nejlépe korenspondovaly experimentálními hodnotám dle vzorců :

$$R_{bc1} = 0,235 R_{bc28} \text{ [MPa]}, \quad (1)$$

$$R_{bc3} = 0,520 R_{bc28} \text{ [MPa]}, \quad (2)$$

kde:

R_{bc1} (R_{bc3}) – krychelná pevnost betonu 1-denní (3-denní),

R_{bc28} – krychelná pevnost betonu 28-denní.

Kromě krychelné pevnosti R_{bc} byly vypočteny z této pevnosti i hodnoty hranolové pevnosti R_b dle vzorců :

$$R_b = 0,7 R_{bc} \text{ [MPa]} - \text{Skramtajevův vzorec} \quad (3)$$

$$R_b = \left(\frac{130 + R_{bc}}{145 + 3R_{bc}} \right) R_{bc} \text{ [MPa]}, \quad (4)$$

$$R_b = \frac{C - a}{b + 18 \frac{35 - R_c}{35 + R_c}} \text{ [MPa]}, - \text{Gvozděvův vzorec}, \quad (5)$$

kde:

R_c – jakostní třída cementu,

C – množství cementu na 1 m³ hotového betonu [kg],

a, b – součinitele závislé na vstupní zpracovatelnosti betonové směsi ($a = 1,0$; $b = 11,5$).

Hodnoty hranolové pevnosti betonu ve stáří 3, 7, 14, 21, 90 dnů byly rovněž vypočteny ze vzorce:

$$R_{bt} = R_{bt28}(0,325 \cdot \log t + 0,5) \text{ [MPa]}, \quad (6)$$

kde:

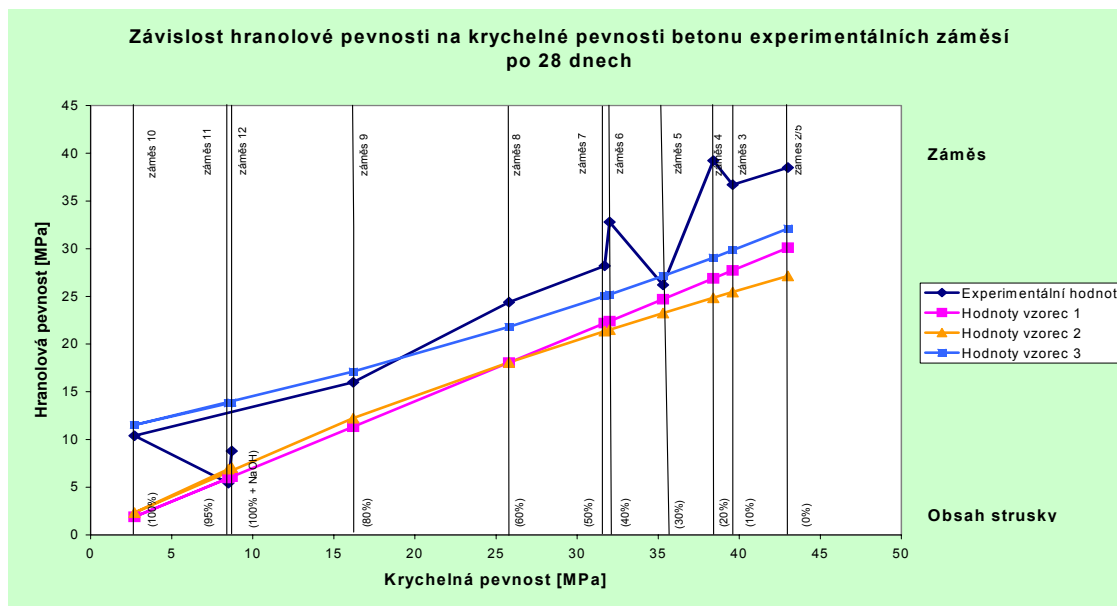
R_{bt} – hranolová pevnost betonu libovolného stáří (MPa),

R_{bt28} – hranolová pevnost betonu

t – stáří betonu (dny).

Provedeným experimentálním výzkumem bylo zjištěno, že ve většině případů zvolených kombinací náhražek cementu krychelná a hranolová pevnost betonu včetně betonu bez obsahu strusky (komparační) se téměř srovnaly.

Na obr. 4 jsou uvedeny grafy experimentální závislosti hranolové pevnosti na krychelné a pro srovnání i výpočtové hodnoty. Z průběhu grafů můžeme konstatovat, že nejlépe odpovídají experimentálním hodnotám vypočtené hodnoty dle vzorce (5) záměs 5, 7, 9, 10.



Obr. 4: Závislost hranolové pevnosti na krychelné pevnosti betonu po 28 dnech

Poměr experimentálních hodnot R_b/R_{bc} pro betony záměsů 2/5 až 9 – $0,9 \div 1,0$ a pro záměsů s vyšším obsahem jemně mleté strusky (č. 10 až 12) – $0,64 \div 1,0$. Kromě toho byly vypočteny hodnoty hranolové pevnosti betonu dle vzorce (6) pro betony ve stáří 3, 7, 14, 21, 28 a 90 dnů. Z porovnání vypočtových a experimentálních hodnot hranolové pevnosti betonu ve stáří 28 dnů vyplývá, že vzorec (6) velmi dobře koresponduje s experimentálními hodnotami.

Závěr

Výzkumem bylo prokázáno, že pevnostní charakteristiky betonů na bázi jemně mleté granulované vysokopecní strusky jako náhrada 60 – 70% cementu poukazují na možnost jejich použití při výstavbě přehrad a konstrukcí vodohospodářských staveb realizovaných technologií válcovaného betonu, jejichž nejvýznamnějším rysem je zkrácení lhůty výstavby. Zatím tato technologie výstavby u nás nenašla v širším měřítku své uplatnění, zejména ve vodohospodářském stavitelství a již vůbec ne s použitím průmyslových odpadů (jemně mleté strusky, popílku a dalších odpadů), které by tuto technologii z konstrukčního a zejména ekonomického hlediska značně zefektivnily.

Literatura

- [1] Broža, V.: Technologie válcovaného betonu v přehradním stavitelství. *Inženýrské stavby*, č. 2, 1989, s. 70-74.

- [2] Broža, V.: Beton zhutňovaný válcováním – účinný způsob racionalizace výstavby tížných přehrad.. *Inženýrské stavby, č. 3, 1986, s. 126-130.*
- [3] Lembák, M.a kol.: K problematice racionálního využití elektrárenského popílku ve stavebnictví. *VII. Vědecká konference s mezinárodní účastí. Sb.Environmentální inženýrství, Technická Univerzita, Košice, 2002, s. 226-229.*
- [4] Lembák, M.a kol.: Vliv popílků na pevnostní parametry betonů. *VII.vědecká konference s mezinárodní účastí, Sb. Environmentální inženýrství, Technická Univerzita, Košice, 2002, s. 230-233.*
- [5] Lembák, M.: Některé poznatky v problematice popílkových betonu vhodných pro důlní výstavbu. *Sb. Aktuální problémy hornictví, VŠB-TU Ostrava, 1997, s. 219-226.*
- [6] Lembák, M.: Problematika racionálního využití průmyslových odpadů ve stavebnictví a při zakládání do podzemních důlních děl. *Monografie, VŠB-TU Ostrava, 1999, 181 s.*
- [7] Lembák, M.: Fyzikálně mechanické vlastnosti a receptury materiálů na bázi průmyslového odpadu. *Výzkumná zpráva, VVÚPS Ostrava, 1969, 57 s.*
- [8] Lembák, M.: Bezcementové betony a jejich aplikace ve stavebnictví. *Sb. Aktuální problémy v hornictví. VŠB-TU Ostrava, 1997, s. 254-260.*
- [9] Lembák, M., Václavík, V.: Příprava a některé fyzikálně mechanické vlastnosti betonů na bázi jemné mleté vysokopecní strusky. *IV.konferencia s medzinárodnou účasťou „Partikulárne látky vo vede, priemysle a životnom prostredí. Košice, november 2003, s. 3-11.*
- [10] Václavík, V.: Racionální využití průmyslového odpadu ve stavebnictví. *Disertační práce doktorského studia. VŠB-TU Ostrava, 2003, 178 s.*

Summary

In the paper some implementations of gravity dam construction using industrial waste treated by rolled concrete technology which have occurred throughout the world are presented. Additionally an overview of suitable waste materials and of their potential of successful maximum utilization fix technology of rolled concrete is published. The core part of paper deals with procedures of industrial waste treatment as well as with practical experiences gained when analysing construction of embankments using building material produced by this technology.

Aim of the paper is not to give a detailed analysis and solving of all problems connected with technology of building gravity dams by rolled concrete technology, but to specify the domain of practical use of this technology being based on verification of applicability of such waste materials for building of gravity dams.

The paper could be of use for construction engineering branch and especially for construction engineers and workers as well as for specialists in dam construction and in treatment and utilization of waste materials for building of waterworks.

Recenzenti: Prof. Ing. Ingrid Šenitková, Ph.D., Katedra environmentalistiky, Košice,
Prof. Ing. Vojtěch Broža, Dr.Sc., Fakulta stavební, katedra hydrotechniky, ČVUT Praha.