

MECHANICAL PROPERTIES AND PHYSICO-CHEMICAL ASPECTS OF CONCRETE AFTER COOLING FROM HIGH TEMPERATURES

© Varga T., 2007

In the presented paper, changes of some mechanical properties of concrete after cooling from high temperatures are compared. Tested concrete was prepared according to the same composition, while only the mineral composition of aggregate was changed, which was andesite, dolomite or river gravel. Availability of various aggregate kind was purposed by comparison of mechanical properties of concrete.

Úvod. Problematika vplyvu vysokých teplôt na vlastnosti betónu je aktuálna v súvislosti s otázkou bezpečnosti objektov s nosným systémom z betónu, t.j. s bezpečnosťou všetkých druhov tunelov, jadrových ako aj klasických elektrární, ale aj teplární, spaľovní odpadov, chemických prevádzok a pod. V uvedených prípadoch vplyvajú vysoké teploty na betón namáhaný tlakom. Už v projektovej fáze je potrebné poznať vlastnosti betónových konštrukcií, ktoré by mohli byť vystavené vplyvu vysokých teplôt, resp. prípadným požiarom.

Ciele experimentu. Cieľom experimentu bolo nájsť závislosť medzi zmenami mechanických vlastností betónu a vplyvom vysokých teplôt postupným ohrevom až do 800 °C a následne riadeným ochladnutím späť na laboratórnu teplotu 20 °C. Mechanické vlastnosti betónu boli posudzované aj z hľadiska mineralogického zloženia kameniva. Na výrobu betónových vzoriek boli preto cielene použité rôzne druhy kamenív, konkrétne prírodné andezitové kamenivo (lokalita Vehec), dolomitické kamenivo (lokalita Sedlice) a prírodné ťažené kamenivo (lokalita Plaveč). Predmetom posudzovania bolo štúdium :

- vplyvu kameniva na zmršťovanie betónu $\varepsilon_{bk}(t)$ počas dozrievania,
- vplyvu vysokých teplôt na zmršťovanie - napučíavanie betónu $\varepsilon_b(T)$,
- vplyvu vysokých teplôt na zmeny modulu pružnosti betónu $E_b(T)$,
- vplyvu vysokých teplôt na zmeny kockovej pevnosti betónu v tlaku $R_{bk}(T)$.

Experimentálne podmienky. Receptúra experimentálnych vzoriek betónu pre všetky typy kamenív bola rovnaká a je uvedená v tabuľke 1. Na stanovenie mechanických vlastností betónu boli vyrobené hranoly s rozmermi 100 x 100 x 400mm a kocky s rozmermi 150 x 150 x 150mm. Objemová hmotnosť vyrobených vzoriek podľa tejto receptúry bola v rozpätí 2420 - 2518 kgm⁻³. Prehľad sérií, počtu vzoriek a pracovných teplôt ohrevu je v tabuľke 2.

Tabuľka 1

Zloženie betónu a vlastnosti čerstvej betónovej zmesi

zložka	množstvo
CEM I 47,5 - výrobca: Cementáreň Turňa n/Bodvou	425 kg/m ³
kamenivo frakcia 0 – 4 mm	865 kg/m ³
kamenivo frakcia 4 – 8 mm	393 kg/m ³
kamenivo frakcia 8 – 16 mm	593 kg/m ³
kremitý úlet - výrobca: OFZ Istebné	32 kg/m ³
prísada - superplastifikátor Melmet 40	5,6 l/m ³
voda	176 l/m ³

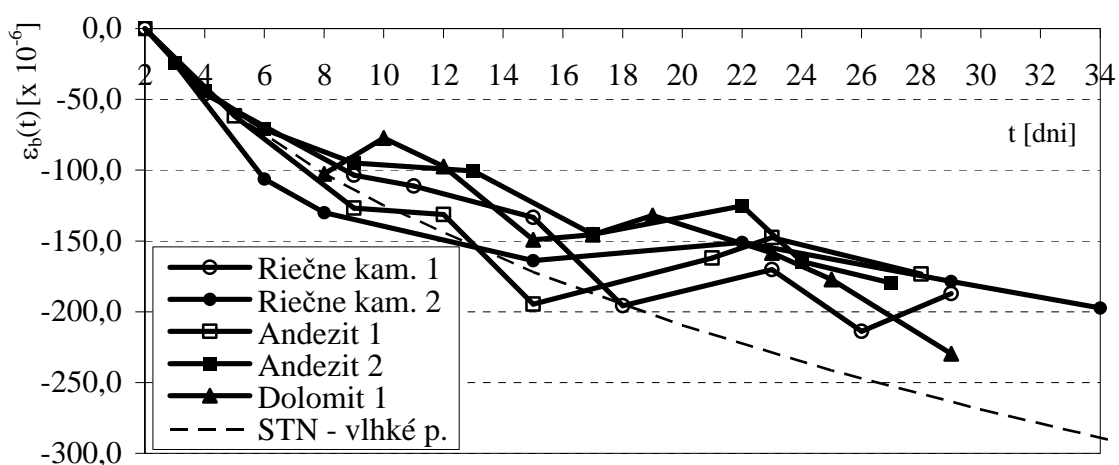
Štatistický popis programu experimentu

typ kameniva	označenie sérií	počet hranolov	počet kociek	ohrev na teploty [$^{\circ}\text{C}$]
andezitové	Andezit 1	30	16	60, 100, 200, 400, 600, 800
	Andezit 2	20	10	200, 400, 600, (800)
dolomitické	Dolomit 1	32	14	60, 200, 400, 600, 800
prírodné ťažené	Riečne 1	35	16	60, 100, 200, 400, 600, 800
	Riečne 2	29	4	60, 100, 200, 400, 600, 800

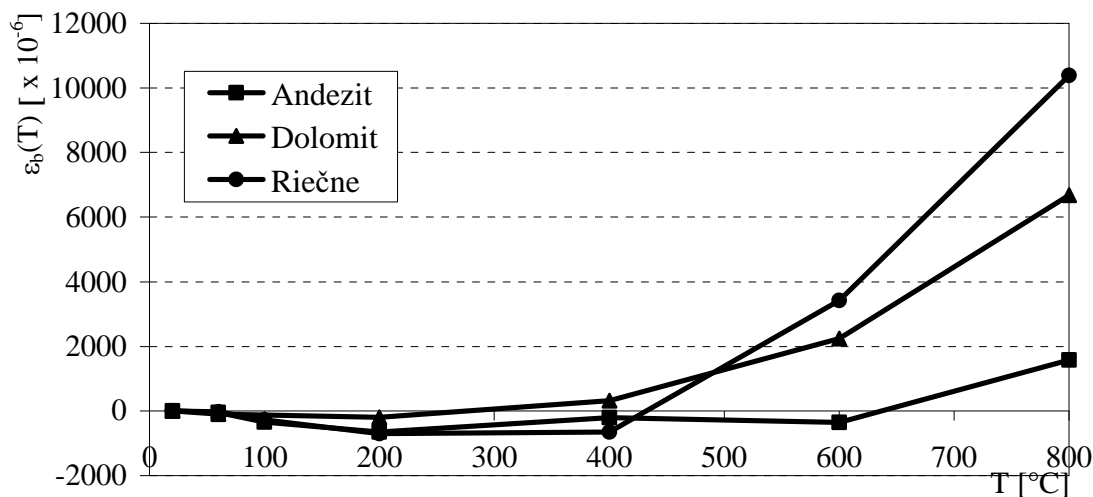
Prvé stanovenie - meranie zmršťovania vzoriek $\varepsilon_b(t)$ deformetrom sa realizovalo bezprostredne po odformovaní. Následne boli vzorky uložené do klimatizačnej jednotky s konštantnou teplotou 20°C a s relatívnou vlhkosťou vzduchu 80 %. Zmršťovanie vzoriek $\varepsilon_b(t)$ počas dozrievania betónu v klimatizačnej jednotke bolo priebežne merané v časových intervaloch 1 až 3 dni, v neskoršej fáze sa časové intervaly predĺžili na 4 až 7 dní. Celková reálna doba zrenia vzoriek bola z technických dôvodov od 28 až do 34 dní (viď obrázok 1).

Prvé kompletne meranie prebehlo po vybratí vzoriek z klimatizačnej jednotky, t.j. okrem merania zmršťovania - napučievania vzoriek sa stanovil dynamický modul pružnosti (na štyroch hranoloch) a na dvoch až piatich kockách pevnosť v tlaku. Následne boli vzorky vložené do elektrických pecí na 48-hodinový ohrev s riadeným nárastom teploty $20^{\circ}\text{C}/\text{hod}$. Po každom 48-hodinovom ohreve sa nastavil konštantný pokles teplôt $20^{\circ}\text{C}/\text{hod}$ až po dosiahnutie 20°C , pri ktorej prebehlo ďalšie kompletne meranie. Dĺžka ohrevu 48 hodín bola stanovená ako simulácia modelovej situácie pri haváriách vo výrobných prevádzkach, resp. ako model širšieho okolia požiaru. Mechanické vlastnosti betónov počas ohrievania neboli sledované. Výnimkou je zmršťovanie počas dozrievania betónu $\varepsilon_b(t)$, ktoré sa mení v čase t .

Zmršťovanie betónu počas dozrievania vzoriek. Časová závislosť priebehu zmršťovania vzoriek podľa druhu kameniva, resp. podľa sérií je na obrázku 1. Z priebehov vyplývajú značné rozdiely a to v porovnaní sérií ako aj v porovnaní s teoreticky vypočítaným priebehom podľa STN 73 1201 [1]. Tieto rozdiely možno vysvetliť predovšetkým rozdielnou pórovitosťou kameniva.

Obrázok 1: Zmršťovanie vzoriek $\varepsilon_b(t)$

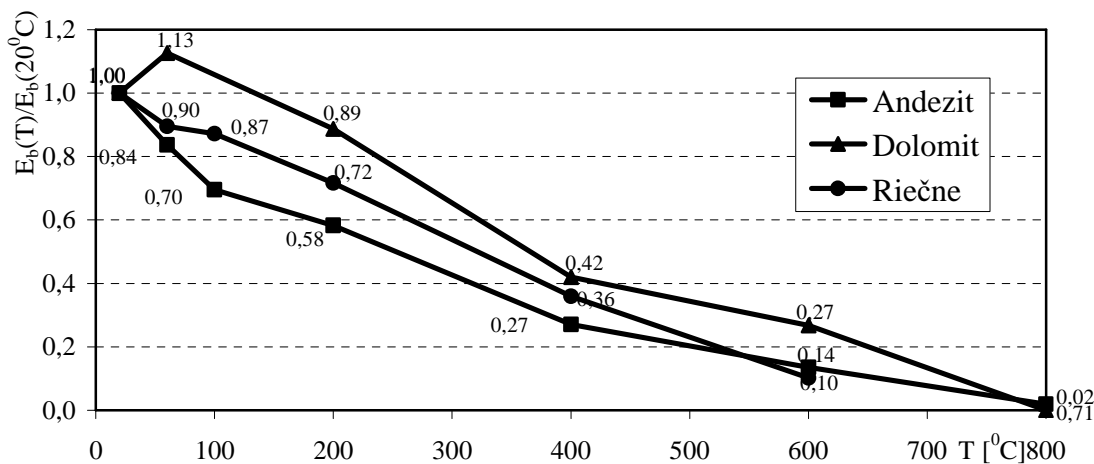
Vplyv vysokých teplôt na zmršťovanie - napučievanie betónu. Pretvorenia vzoriek - hranolov $\varepsilon_b(T)$ po ochladnutí boli porovnávané s referenčným meraním pri teplote 20°C po 28 dňoch dozrievania. Reálna doba referenčného merania bola pri niektorých sériách odlišná (viď obrázok 1). Vplyv dĺžky dozrievania betónov na referenčné merania bol zanedbaný, pretože dĺžkové zmeny zmršťovania betónov po 28 dňoch dozrievania sú zanedbateľné voči zmršťovaniu - napučievaniu vzoriek v dôsledku ohriatia na vysoké teploty.



Obrázok 2: Zmrašťovanie - napučívanie vzoriek po ochladnutí $\varepsilon_b(T)$

Vplyv vysokých teplôt na zmenu modulu pružnosti a kockovej pevnosti betónu. Referenčná hodnota modulu pružnosti betónu z andezitového kameniva je 34,3 GPa, z dolomitického kameniva 42,7 GPa a z prírodného ťaženého kameniva 31,2 GPa.

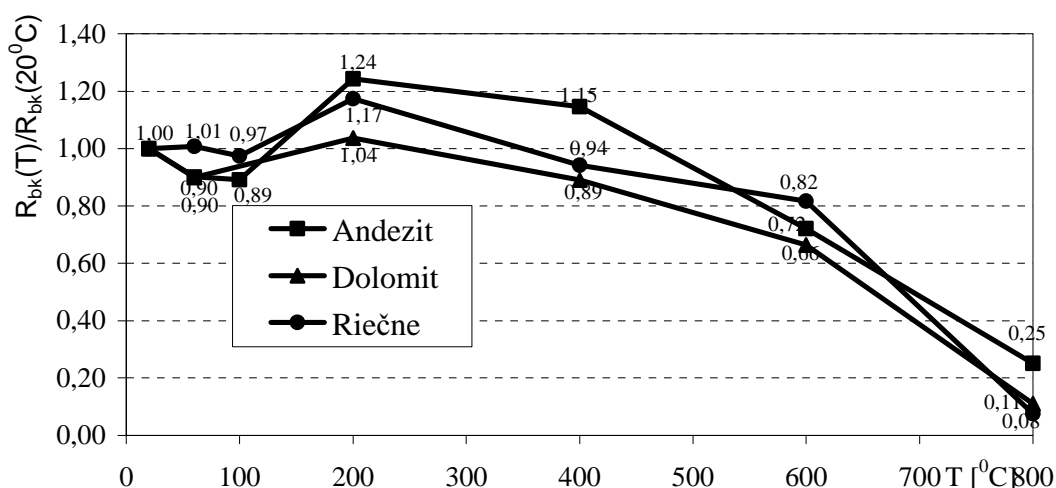
Modul pružnosti vzoriek po ochladnutí z vysokých teplôt má všeobecne klesajúci trend, avšak rozdiely v poklese svedčia o významnom vplyve kameniva. Priebeh pomerného modulu pružnosti po ochladnutí vzoriek sú znázornené na obrázku 3.



Obrázok 3: Pomerný modul pružnosti vzoriek po ochladnutí $E_b(T)/E_b(20^\circ\text{C})$

Referenčná hodnota kockovej pevnosti betónu z andezitového kameniva je 46,6 MPa, z dolomitického kameniva 57,1 MPa a prírodného ťaženého kameniva 39,8 MPa.

Priebeh pomernej kockovej pevnosti vzoriek po ochladnutí sú znázornené na obrázku 4, z ktorého vyplýva, že rozdiely nastávajú už po ohreve na teplotu 60 °C a 100 °C. Pri betóne z andezitového a dolomitického kameniva dochádza k zmenšeniu kockových pevností oproti pevnostiam pred ohrevom. Maximálna kocková pevnosť pri všetkých druhoch betónov bola po ohreve z teploty 200 °C. Po ohreve na 400 °C dochádza postupne k zníženiu kockovej pevnosti. Tento trend pokračuje aj po ohreve na vyššie teploty.



Obrázok: 4 Pomerná kocková pevnosť vzoriek v tlaku po ochladnutí $R_{bk}(T)/R_{bk}(20^{\circ}\text{C})$

Fyzikálne – chemické aspekty ohrevu betónu. Najdôležitejšie činitele ovplyvňujúce správanie betónu pri vysokých teplotách sú: rýchlosť ohrevu, druh spojiva a kameniva, strata hmotnosti v dôsledku uvoľňovania fyzikálne viazanej vody, tvorba pórov a trhlín, zmena štruktúry, pokles pevnosti a modulu pružnosti [3], [4]. Röntgenovou analýzou použitých kamenív boli ako hlavné zložky identifikované živce, dolomit, kalcit, kremeň [3]. Prehľad stanovených zložiek je uvedený v tabuľke 3.

Tabuľka 3

Priebeh termického rozkladu hlavných zložiek kamenív podľa [2]

zložky kameniva	teplota počiatku [°C]	teplota vrcholu [°C] (efekt exo–endo pík)	reakcia
kremeň SiO_2	550	573 endo malý	$\alpha \rightarrow \beta$ – premena
kalcit CaCO_3	830 až 920	830 až 940 endo veľký	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
dolomit $\text{MgCO}_3, \text{CaCO}_3$	745 až 870	790 až 950 exo veľký dvojité	$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
živce $(\text{K}, \text{Na-Ca})\text{AlSi}_3\text{O}_8$	700	710	

Zo záverov súvisiacich štúdií [5], [6] vyplýva, že rozhodujúca úloha v deteriorácii kvality betónu po ohreve spočíva v zmenách štruktúry cementového kameňa a nepredpokladá sa štatisticky významná zmena v štruktúre zrn kameniva. Na mechanické parametre betónových vzoriek podstatnou mierou vplyva fyzikálno-chemická zmena hydratačných produktov. Pri termickom rozklade sa postupne uvoľňujú rôzne viazané formy vody:

- pri teplote od 105 °C do 110 °C fyzikálne viazaná voda,
- pri vyšších teplotách dochádza k postupnému uvoľňovaniu aj chemicky viazanej vody gelovitých hydratačných produktov (do 200 °C), resp. samotných hydratovaných zložiek spojív (do 400 °C) [3]. Na zvýšenie porozity vplyva aj obsah CO_2 , ktorý sprevádza termický rozklad uhličitanov (kalcitu, resp. dolomitu).

Vysoké teploty sú zároveň príčinou zväčšenia polomeru pórov a tým aj hodnôt celkovej porozity betónu s následnými fyzikálno-mechanickými zmenami. Degradácia štruktúry betónu s poklesom pevnosti betónu v tlaku je výrazne ovplyvnená aj rozpínavosťou zrn kameniva. Rozpínanie sa prejavuje ako dôsledok teplotného pretvorenia v zrne kameniva, následne dochádza ku vzniku mikrotrhlín v cementovom kameni a to v prvom rade na stykoch zrn a cementového kameňa. Pri vyšších teplotách prebieha už aj termický rozklad samotného kameniva, tak ako je to uvedené v tabuľke 4.

Pri teplotách nad 800 °C prebieha tiež rekryštalizácia nových neväzných fáz vznikajúcich z hydratovaných cementových minerálov pri opakovanom tepelnom pôsobení, t.j. v podstate dochádza k „výpalu vzoriek“, čo dokazovala aj výrazná zmena farby vzoriek. Poškodený betón po vystavení vysokých

teplôt bude celkovo menej odolný voči pôsobeniu vlhkosti a vplyvom prostredia, napr. pôsobeniu CO₂ a ďalších polutantov. Tým sa môže iniciovať karbonatácia a iné korozívne procesy a dochádza k znižovaniu trvanlivosti a životnosti.

Záver. Experimentálne bolo dokázané, že druh kameniva podstatne neovplyvňuje mechanické vlastností betónu po ochladnutí z vysokých teplôt. Napriek rozdielnym typom kamenív majú zmeny v mechanických vlastnostiach betónov zhodné tendencie. Pri ohreve vzoriek do 200 °C boli v zmrašťovaní betónov len minimálne rozdiely. Nad touto teplotou je napučiavanie najnižšie pri betóne z andezitového kameniva a dolomitického a výrazne najväčšie pri betóne z ťaženého kameniva. Modul pružnosti, pevnosť v tlaku pri betónoch zo všetkých druhov kameniva klesá a po ohreve 800 °C nadobúda prakticky nulové hodnoty.

Výsledky stanovení by mali poslúžiť aj ako podklady pre realizáciu sanácií a rekonštrukcií v prípade poškodenia betónov účinkom vysokých teplôt.

1. STN 73 1201 - Navrhovanie betónových konštrukcií. 2. Blažek, A.: Termická analýza. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1972. 3. Jávora, T.: Diagnosis, Safety and Aging of Concrete Structures in NPPs - Conclusion Report with Main Results Obtained During the Period of 5.4.94-5.4.96. CEC/PECO 93 Cooperation Programme Nuclear Safety, Košice, April 1996. 4. Varga, T.: Vplyv vysokých teplôt na betón pri namáhaní tlakom. Dizertačná práca, Košice, 2002. 5. Kjellsen, K. O. - Fjallberg, L. - Wallevik, O. H.: Microstructure and Micro-chemistry of the Paste-aggregate Interfacial Transition Zone of High Performance Concrete. Advances in Cement Research, Vol. 10, No. 1, 1998, p. 33-40. 6. Escalante-García, J. I. - Sharp, J. H.: Effect of Temperature on the Hydration of the Main Clinker Phases in Portland Cements, Part I: Neat Cements, Part II: Blended cements. Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 9, 1998, p.1245-1274.

Vilčeková S., Burdová E., Šenitková I.

Technical University of Košice,
Civil Engineering Faculty
Slovakia, 042 00, Košice, 4 Vyšokoškolská
E-mail: silvia.vilcekova@tuke.sk,
eva.burdova@tuke.sk,
ingrid.senitkova@tuke.sk

SUSTAINABLE BUILDING ASSESSMENT SYSTEMS SUMMARY

© Vilčeková S., Burdová E., Šenitková I., 2007

In the past decade, building environmental assessment methods have been developed in different countries for evaluating the building performance. Seven models used world wide in relation to environmental assessment of buildings, were compared on the basis of their covered. In this paper will be presented the summary of sustainable building assessment systems and the proposal of system applicable in Slovakia.

Introduction. Since 1990s building environmental assessment systems or methods have emerged as a legitimate means to evaluate the performance of buildings in many countries. Sustainable building assessment and certification systems are intended to foster more sustainable building design, construction and operations by promoting and making possible a better integration of environmental concerns with cost