

# OŠETROVANIE ČERSTVÉHO BETÓNU – 2. SUPERABSORPČNÉ POLYMÉRY ■ FRESH CONCRETE CURING – 2. SUPERABSORBENT POLYMERS

Peter Briatka, Peter Makýš

Jednou z progresívnych a v súčasnosti sa prudko rozvíjajúcich metód ošetrovania betónu je vnútorné ošetrovanie. Pod pojmom vnútorné ošetrovanie si môžeme predstaviť dodávanie „ošetrovacej“ vody priamo z vnútra betónu, kde je zabudovaná už počas jeho miešania, a to v hmote určitého nosiča tak, aby nezvyšovala vodný súčiniteľ čerstvého betónu a zároveň aby bola k dispozícii k náhrade stratenej vody či už odparovaním alebo autogénnym vysychaním. Jednou z foriem takéhoto nosiča sú superabsorbčné polyméry (SAP). Najširšie uplatnenie vnútorného ošetrovania a tým aj SAP sa javí v betónových konštrukciách s vysokým povrchovým modulom (pomer plochy vystavenej prostrediu a objemu konštrukcie) a zvlášť v tzv. vysokohodnotných betónoch, kde sa vonkajšie ošetrovanie dodávaním vody stáva neúčinným z dôvodu veľmi malej permeability betónu. ■ One of the progressive and nowadays intensively developing methods of concrete curing is internal curing. Under the notion of internal curing we can imagine supply of „curing“ water directly from inside of concrete where it's incorporated even during mixing and it's bound in the mass of certain carrier in order to avoid raising of water to cement ration of fresh concrete and simultaneously it would be available for replacement of lost water either by evaporation or self-dessication. One of the form of such a carrier is superabsorbent polymers (SAP). The most wide usage of internal curing and thus either SAP appears to be in concrete structures with high surface modulus (ratio of surface area exposed to the environment to volume of the structure) and particularly in so called high performance concrete where external curing by supplying additional water on the surface becomes ineffective by reason of very low permeability.

## VNÚTORNÉ OŠETROVANIE POUŽITÍM SUPERABSORPČNÝCH POLYMÉROV

Superabsorbčné polyméry (SAP) sú materiály na báze napr. sodných solí polyakrylovej kyseliny, polyakryl kopolymérov alebo polyvinyl alkohol kopolymérov. Vyznačujú sa schopnosťou viazať vo svojej štruktúre veľké množstvo vody a vodných roztokov prostredníctvom vodíkových väzieb. Štandardne sa vyrábajú dva typy SAP (dvomi technológiami). Pre ošetrovanie betónu je vhodné používať SAP so zrnami guľového tvaru s priemerom cca 50 až 200 µm v suchom stave. Tento typ je schopný viazať vodu do svojej štruktúry a zväčšiť tak svoj objem desaťkrát (priemer sa zväčší približne trikrát). Množstvo roztoku, ktoré je SAP schopný absorbovať je značne závislé od koncentrácie iónov solí v roztoku. Veľmi jednoducho povedané, zvyšujúca sa koncentrácia iónov solí v roztoku redukuje možnosti SAP prijímať vodu [1].

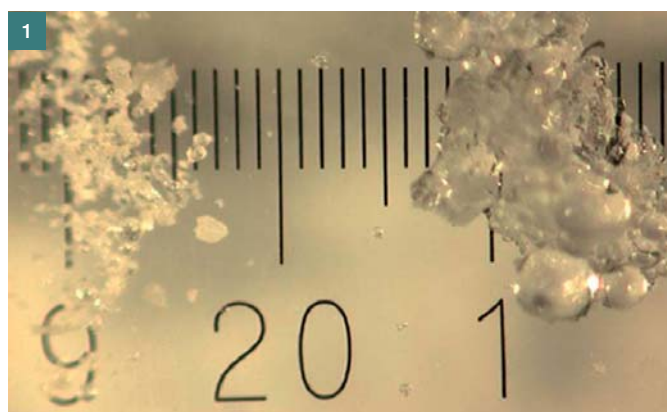
šujúca sa koncentrácia iónov solí v roztoku redukuje možnosti SAP prijímať vodu [1].

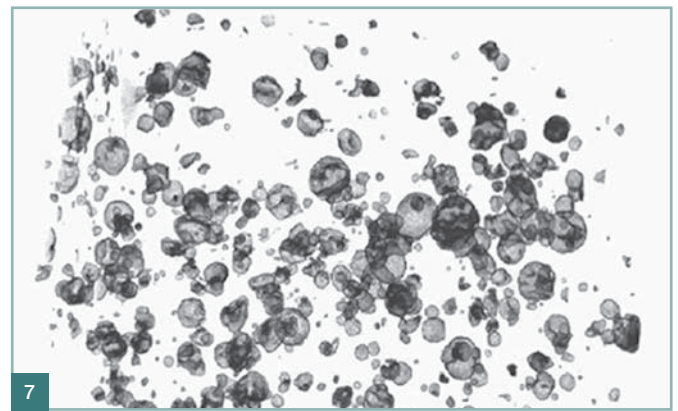
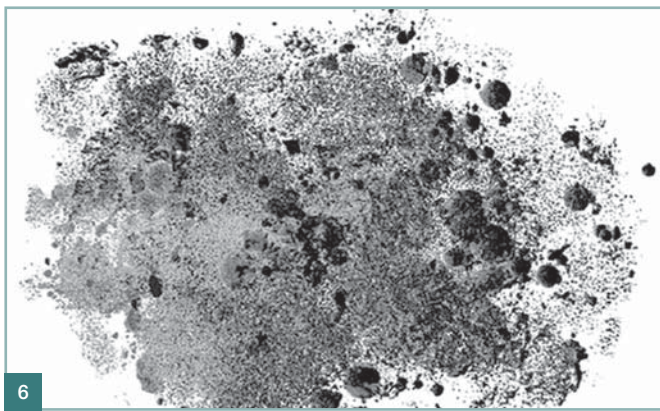
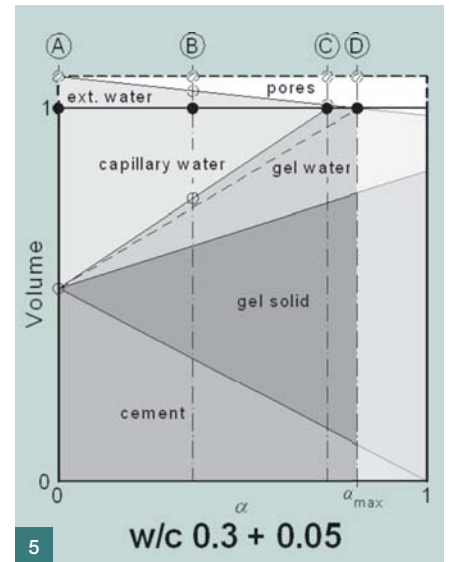
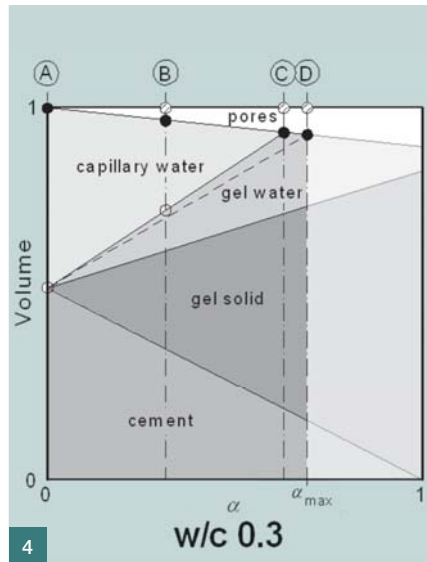
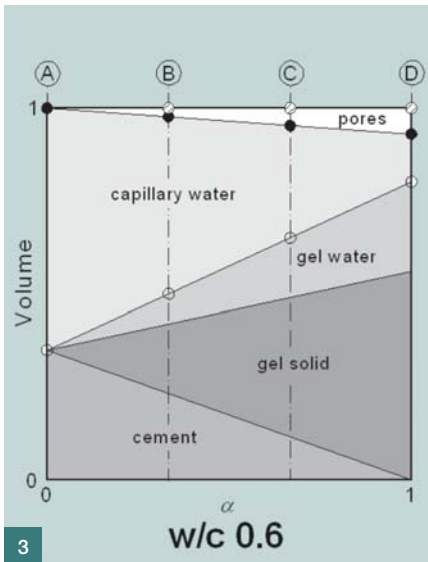
Pojem superabsorbčný polymér nie je výtvarným posledných rokov. Výskum SAP ako takých v osemdesiatych a deväťdesiatych rokoch minulého storočia vyústil až do získania patentu v roku 1991. Od tejto doby sa hľadajú stále nové možnosti ich uplatnenia a jednou z nich sa zdá byť aj vnútorné ošetrovanie betónu.

Obzvlášť dôležité je ošetrovanie betónov s nízkym vodným súčiniteľom (0,2 až 0,36). Zvyčajne sú to vysokohodnotné betóny (HPC) podstupujúce výrazné samovysychanie (strata voľnej vody, ktorá sa počas hydratácie viaže v hydratačných produktoch) a súvisiace chemické zmrašťovanie (obr. 3). U betónov s nízkym vodným súčiniteľom (menej ako 0,36) nemôže prebehnúť kompletná hydratácia (stupeň hydratácie  $\alpha < 1$ , obr. 4), čo spôsobuje nevyužitie potenciálu mechanických parametrov navrhnutého betónu. Dosiahnutie vyššieho stupňa hydratácie (obr. 5) ideálne 1 si vyžaduje zvýšenie dávky vody, no táto voda sa nesmie podieľať na vodnom súčiniteľ, čiže to musí byť voda ošetrovacia. Avšak, ak je ošetrovacia voda dodávaná na povrch konštrukcie HPC, potom nie je schopná penetrácie do jadrovej oblasti betónu kvôli jeho vysokej hutnosti (nízkej permeabilite), a tak je potrebné ošetrovaciu vodu dostať do betónu inou metódou – tzv. vnútorným ošetrovaním.

Vnútorné ošetrovanie prostredníctvom SAP poskytuje vodu na hydratáciu (dosiahnutie vyššieho stupňa hydratácie) a ošetrovacia voda nevytvára kapilárne póry lebo je viazaná v SAP odkiaľ sa postupne uvoľňuje, čím eliminuje vznik mikropórov v cementovom géle. Aby vnútorné ošetrovanie takýmto spôsobom mohlo fungovať, musia byť zabezpečené určité podmienky. Voda obsiahnutá v SPA musí byť ľahko uvoľniteľná do cementového tmelu keď dôjde k jej potrebe. Keďže SPA sa správajú ako zásobníky vody s diskretnou veľkosťou a polohou, je nevyhnutné, aby boli homogénne distribuované do celého objemu betónu. Cementový tmel tak bude mať v každom mieste dostatok blízkych zdrojov ošetrovacej vody (obr. 6 a 7).

SPA sa pridáva do betónu (v suchom stave) počas miešania spolu s cementom v dávkach približne 0,3 až 0,6 hmotnostných percent z dávky cementu. Voda, ktorá má byť viazaná v SAP sa pridáva do betónu spolu s bežnou dávkou vody. SPA ju v priebehu niekoľkých minút absorbuje.





Z obr. 8 je zřejmé, že aj typ A SAP dosiahne v priebehu prvých 5 min viac ako 50% saturáciu, resp. absorbuje viac ako 50 % svojej kapacity. Tu treba poznamenať, že typ A je charakteristický guľovitým tvarom zŕn, čo je ideálny tvar význačný minimálnou povrchovou plochou, a preto absorpcia je pomalšia ako u typu B s nepravidelným tvarom zŕn. Zaujímavý je aj poznatok, že v priebehu prvých 30 min sa absorpcia prakticky zastaví a kapacita absorpcie dosahuje pre jednotlivé typy SAP hodnoty cca 35 g resp. 17 g pórového roztoku na 1 gram SAP. Pri dávke 0,3 % SAP typu B z dávky cementu 300 kg/m<sup>3</sup> to predstavuje 31,5 kg vody viazanej v SAP. Z tohto jednoduchého výpočtu vyplýva, že dávku vody možno bez obáv zvýšiť o 31,5 kg/m<sup>3</sup>, lebo túto časť pórového roztoku v krátkom čase absorbuje SAP a počas hydratácie nebude ďalej zvyšovať vodný súčiniteľ ani vyvolávať súvisiace negatívne efekty.

Počas tuhnutia a tvrdnutia betónu sa z SAP uvoľňuje akumulovaná voda. Spätným uvoľňovaním vody sa zabezpečuje skoro konštantná RH v betóne. Na obr. 9 je vidieť ako vplyva množstvo SAP na vlhkosť betónu v čase. Už pri dávke 0,3 hmotnostných % z cementu sa RH udržuje stabilne na úrovni cca 97 % čo eliminuje kapilárne ťahové napätia na hodnotu cca 5 MPa. V dôsledku vysokej RH betónu teda nedochádza ku vzniku takých výrazných kapilárnych ťahových napätí v betóne, ako je tomu u vzorky s 0 % SAP, kde sa napr. po 14 dňoch podľa vzťahu 1 dajú očakávať napätia okolo – 25 MPa.

$$P_{CAP} = -\frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{r_{CAP}} = \frac{R \cdot T \cdot \ln(RH)}{V_{mol,f}} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

kde  $P_{CAP}$  značí kapilárne napätie [MPa],  $\gamma$  povrchové napätie pórového roztoku [N/m],  $\theta$  stykový uhol pórového roztoku

Obr. 1 Pohľad na SAP pred a po nasiaknutí vodou [2] | Fig. 1 View of SAP before and after water saturation [2]

Obr. 2 Zrná SAP v suchom a nasiaknutom stave [1] | Fig. 2 SAP particles in dry and saturated state [1]

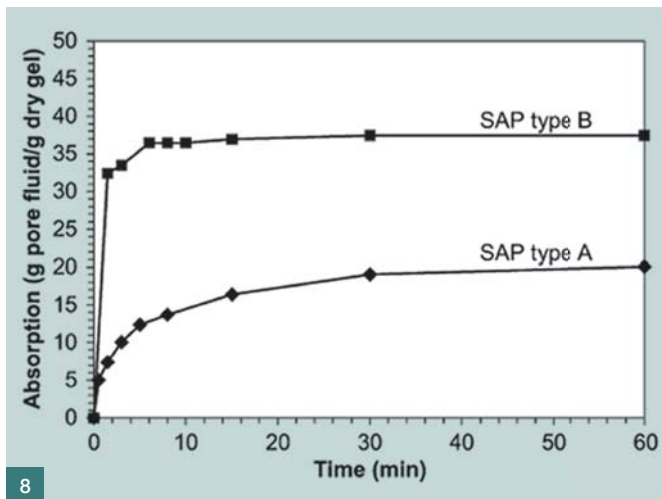
Obr. 3 Model chemického zmršťovania a zmeny fáz zložiek cementového tmeľu pri vysokom vodnom súčiniteli (0,6) [4] | Fig. 3 Model of chemical shrinkage and changes in state of cement paste components with high water to cement ratio (0,6) [4]

Obr. 4 Model chemického zmršťovania a zmeny fáz zložiek cementového tmeľu pri nízkom vodnom súčiniteli (0,3) [4] | Fig. 4 Model of chemical shrinkage and changes in state of cement paste components with low water to cement ratio (0,3) [4]

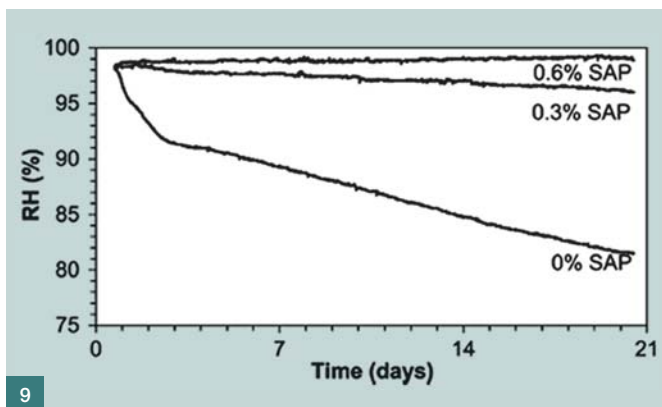
Obr. 5 Model chemického zmršťovania a zmeny fáz zložiek cementového tmeľu pri nízkom vodnom súčiniteli (0,3) a ošetrení 0,05 [4] | Fig. 5 Model of chemical shrinkage and changes in state of cement paste components with low water to cement ratio (0,3) and with curing 0,05 [4]

Obr. 6 Distribúcia SAP v cementovom tmele získaná mikrotomografiou – upravené z [2] | Fig. 6 Distribution of SAP in cement paste obtained by microtomography – altered from [2]

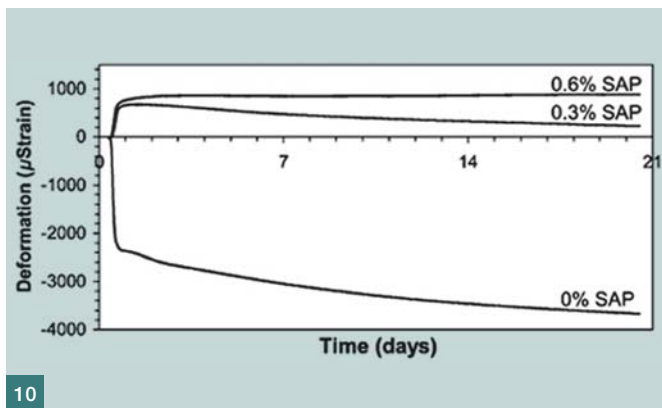
Obr. 7 Distribúcia SAP v cementovom tmele získaná mikrotomografiou – upravené z [2] | Fig. 7 Distribution of SAP in cement paste obtained by microtomography – altered from [2]



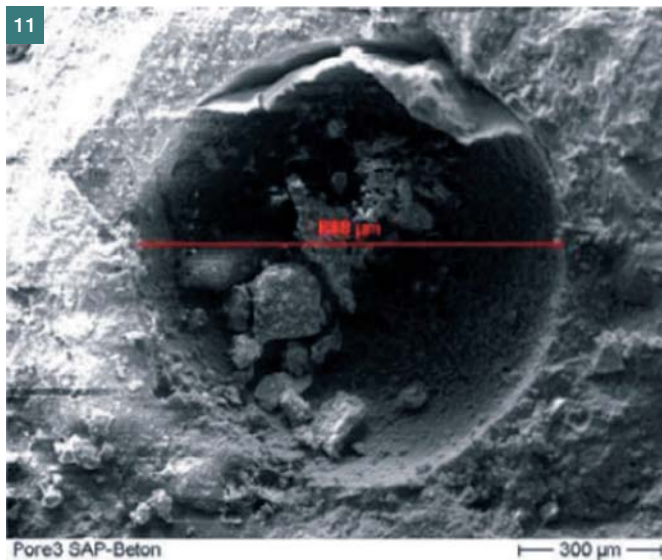
8



9



10



Pore3 SAP-Beton

300 μm

Literatúra:

- [1] Jensen O. M., Hansen P. F.: Water-entrained cement-based materials, 1. Principles and theoretical background, Cement and Concrete Research, Volume 31, USA, 2001, pp. 647–654
- [2] Lura P.: Superabsorbent polymer in concrete, Workshop Reducing Early-Age Cracking in Concrete Today, held at Purdue University, West Lafayette, 2008
- [3] Jensen O. M., Hansen P. F.: Water-entrained cement-based materials, 2. Experimental observations, Cement and Concrete Research, Volume 32, USA, 2002, pp. 973–978
- [4] Lura P.: Powers' model, Workshop Reducing Early-Age Cracking in Concrete Today, held at Purdue University, West Lafayette, 2008
- [5] ASTM C 157 – Standard test method for length change for hardened hydraulic-cement, mortar and concrete.

Obr. 8 Kinetika absorpcie pórového roztoku (A – guľovité častice SAP; B – nepravidelné častice SAP) [3] ■ Fig. 8 Kinetics of absorption of pore solution (A – spherical SAP particles; B – irregular SAP particles) [3]

Obr. 9 Priebeh relatívnej vlhkosti betónu v čase ako funkcia množstva ošetrovacej vody resp. SAP [3] ■ Fig. 9 Curve of relative humidity of concrete in time as a function of curing water amount or SAP dosage [3]

Obr. 10 Priebeh deformácií v betóne v závislosti od času a dávky SAP meraný podľa ASTM C 157 [3] ■ Fig. 10 Curve of deformations in concrete in dependence on time and dosage of SAP measured according to ASTM C 157 [3]

Obr. 11 Pór vzniknutý vyprázdnením SAP [2] ■ Fig. 11 Pore left after evacuation of SAP [2]

ku a steny kapiláry,  $\theta = 0$  rad,  $r_{CAP}$  polomer kapiláry [m],  $RH$  relatívnu vlhkosť cementového tmele (-),  $V_{mol,f}$  molový objem pórového roztoku,  $V_{mol,f} \approx 18 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$ ,  $R$  univerzálna plynová konštanta = 8,3114 J/mol/K a  $T$  absolútna teplota [K].

Zabudovaním ošetrovacej vody do betónu pomocou SAP sa obmedzia kapilárne napätia a aj celkové zmrštenie (obr. 5). Vedľajším efektom tejto ošetrovacej metódy je vznik voľných pórov v cementovom tmele, ktoré vzniknú vyprázdnením zrníčok SAP (obr. 11). Znamená to, že vnútorné ošetrovanie má v konečnom dôsledku podobný účinok na dlhodobé vlastnosti betónu ako napríklad prevzdušňovacie prísady – mierne zníženie, pevností a modulu pružnosti ale aj zvýšenie odolnosti proti pôsobeniu zmrazovania a rozmrazovania. V tomto bode však treba zdôrazniť, že zníženie pevnosti vznikom prázdnych pórov nemusí v konečných číslach znamenať absolútny pokles pevnosti betónu, pretože správnym návrhom a prevedením ošetrovania pomocou SAP sa obzvlášť u betónov s nízkym vodným súčiniteľom dosiahne vyšší stupeň hydratácie, s čím súvisí lepšie využitie zabudovaných zložiek.

Ing. Peter Briatka  
Technický a skúšobný ústav stavebný  
Studená 3, 821 04 Bratislava  
e-mail: briatka.p@gmail.com



Doc. Ing. Peter Makýš, PhD.  
Stavebná fakulta STU  
Katedra technológie stavieb  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

