

# NOVÝ SUPERPLASTIFIKÁTOR PRE VYSOKOHODNOTNÉ BETÓNY

## ■ NEW SUPERPLASTICIZER FOR HIGH PERFORMANCE CONCRETE

Veronika Kmecová, Stanislav Unčák, Adriana Bariaková, Katarína Šalková

Príspevok sa zaoberá štúdiom novej plastifikačnej prísady na báze polykarboxylátov. Výsledky preukázali priaznivý účinok superplastifikátora na reologické vlastnosti a pevnostné charakteristiky cementových mált a jeho vhodnosť pre vysokohodnotné betóny. ■ *The paper deals with research of new plasticizing admixture based on polycarboxylates. The results showed beneficial effect of superplasticizer on the rheological behaviour and strength characteristics of cement mortars and its suitability for high performance concrete.*

Na prelome tisícročí sa hitom v stavebníctve stal tzv. vysokohodnotný betón, ktorý umožňuje vďaka svojim technologickým vlastnostiam realizáciu spoľahlivejších a trvanlivejších konštrukcií. Vysokú trvanlivosť a spoľahlivosť vysokohodnotného betónu je možné dosiahnuť modifikáciou reologických vlastností čerstvého betónu a mikroštruktúry zatvrdnutého betónu. Modifikácia týchto vlastností je možná použitím nových druhov prísad a prímiesí do betónu, a to superplastifikátorov novej generácie na báze polykarboxylátov a minerálnymi prímiesami.

Superplastifikátory na báze polykarboxylátov svojimi fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami výrazne ovplyvňujú vlastnosti čerstvého a zatvrdnutého betónu. Polykarboxyláty sú tvorené organickými makromolekulami s dlhými postrannými reťazcami, ktoré sa adsorbujú na povrchu zrn cementu a v dôsledku stérického efektu výrazne ovplyvňujú konzistenciu čerstvého betónu aj pri nízkom vodnom súčiniteli (0,25 až 0,30) [1 a 2].

Už pri obsahu desiatin percenta prísady polykarboxyláty účinne znižujú vodný súčiniteľ a súčasne zväčšujú sadnutie kužeľa čerstvého betónu, čo je veľmi významným faktorom pri výrobe a ukladaní samozhutniteľných betónov. S poklesom množstva vody sa cementové zrná navzájom dostávajú bližšie k sebe dochádza k vytvoreniu kompaktnejšej mikroštruktúry. Vďaka tomu je možné pripravovať takmer tekuté betóny s nízkou dávkou zámesovej vody, čo umožňuje dosiahnuť vysokú pevnosť a trvanlivosť.

Použitím polykarboxylátov je možné vyrobiť betón extrémne tekutý (samozhutniteľný – SCC), s rýchlym nárastom začiatkových pevností a aj betón s vysokými 28 dňovými pevnosťami (HSC, HPC).

Výskum a vývoj týchto prísad do betónu neustále prebieha a na trh sa dostávajú stále novšie a kvalitnejšie produkty. V príspevku sú uvedené výsledky skúšok novej plastifikačnej prísady Berament HT 5221 na báze polykarboxylátov, určenej na využitie pri výrobe vysokohodnotných a samozhutniteľných betónov.

### POUŽITÉ MATERIÁLY

#### Cement

Laboratórne skúšky sa robili na cementových maltách z portlandského cementu CEM I 42,5 R od výrobcu Cemmac, a. s., Horné Srnie. Základné vlastnosti použitého cementu sú: normálna hustota 29,6 %, začiatok tuhnutia 150 min, koniec

tuhnutia 190 min, objemová stálosť 5 mm, pevnosť v tlaku po 2 dňoch 30 MPa a po 28 dňoch 53,6 MPa.

#### Kamenivo

Cementové malty boli vyrobené s použitím ťaženého riečneho kameniva z lokality Okoč, z náplavov rieky Malý Dunaj, zložené z troch frakcií. Na základe optimalizácie zrnitosti kameniva boli jednotlivé frakcie kameniva namiešané v pomere: frakcia 0/1 = 15 %; 0/4 = 55 %; 2/4 = 30 %.

Petrografickým posúdením kameniva sa zistilo, že horninu tvoria: kremeň 64,2 %, granit 5,9 %, vápenec 12,2 %, pieskovec 5,6 %; kremenec 4,9 %; vulkanit a met. 7,2 %.

#### Plastifikačná prísada

Na výrobu cementových mált bol použitý superplastifikátor na báze polykarboxylátov Berament HT5221. Základné vlastnosti prísady: svetlohnedý, homogénny roztok, hustota 1,063 gml<sup>-1</sup>, obsah sušiny 28,1 %, pH pri 20 °C 4,51. Prísada sa dávkovala v množstve 0,5; 1; 1,5 a 2 % prísady z hmotnosti cementu.

#### Voda

Na výrobu cementových mált bola použitá pitná voda z verejnej vodovodnej siete.

### VÝROBA A OŠETROVANIE VZORIEK, SLEDOVANÉ VLASTNOSTI

Zloženie referenčnej malty vychádzalo z normovej malty (STN EN 196-1) [3]. Obsahovala 450 g cementu, 1 350 g kameniva a 225 g vody. Malty s prísadou superplastifikátora obsahovali 450 g cementu, 1350 g kameniva a premenlivé množstvo vody v závislosti od dávky prísady.

Cementové malty sa miešali v normovej laboratórnej miešačke pri automatickom režime miešania podľa STN EN 196-1 [3]. Po skončení miešania sa hneď stanovila konzistencia cementovej malty skúškou rozliatia na rozlievacom stolíku podľa STN EN 12350-5 [4]. Konzistencia sa stanovovala pri tuhších zmesiach priemerom rozliatia po striasaní, pri tekutých konzistenciách bez striasania, resp. sa stanovila obidvoma spôsobmi.

Z cementových mált sa vyrobili vzorky tvaru valca s priemerom a výškou 30 mm, na skúšku pevnosti v tlaku a trámce s rozmermi 40 x 40 x 160 mm na skúšku pevnosti v ťahu pri ohybe, pevnosti v tlaku na zlomkoch trámcov a na skúšky zmršťovania mált. Vzorky na skúšky zmršťovania boli v čelách trámcov vybavené sklenenými meracími kontaktmi.

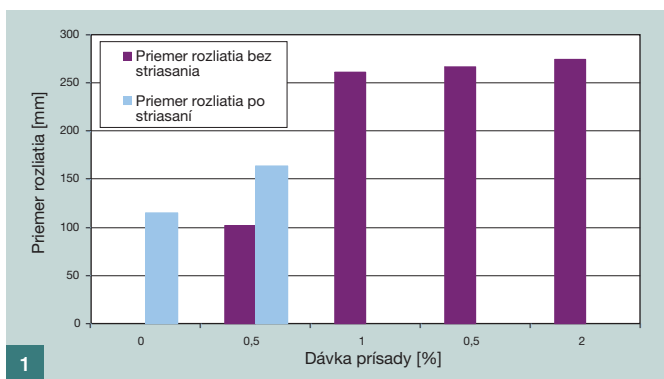
Cementová malta sa zhutňovala adekvátne konzistencii. Vzorky sa ošetrovali 24 h vo vlhkom prostredí a ďalej vo vode.

### VÝSLEDKY A DISKUSIA

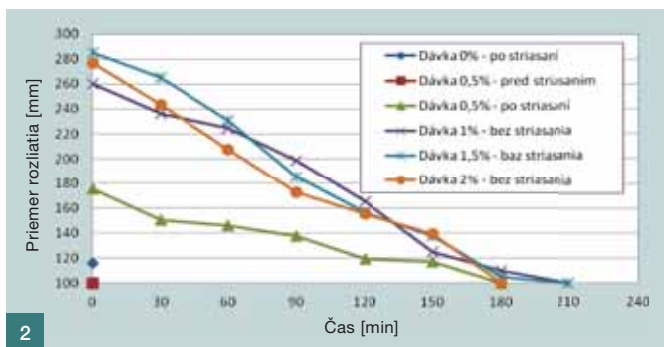
#### Konzistencia

Konzistencia čerstvej cementovej malty bola výrazne ovplyvňovaná použitím superplastifikátora Berament HT 5221. Dosiahnuté výsledky sú spracované graficky na obr. 1 a 2.

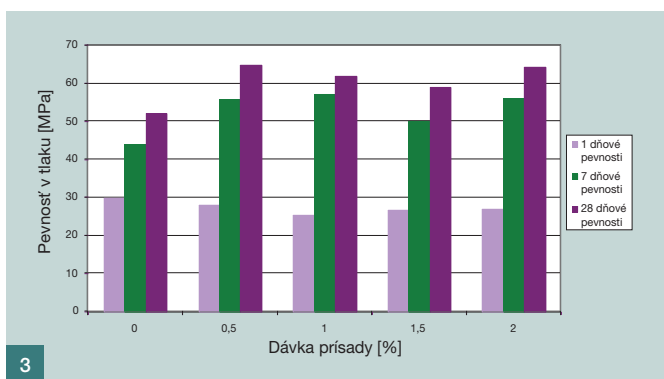
Vplyvom prísady sa konzistencia mált vo všeobecnosti



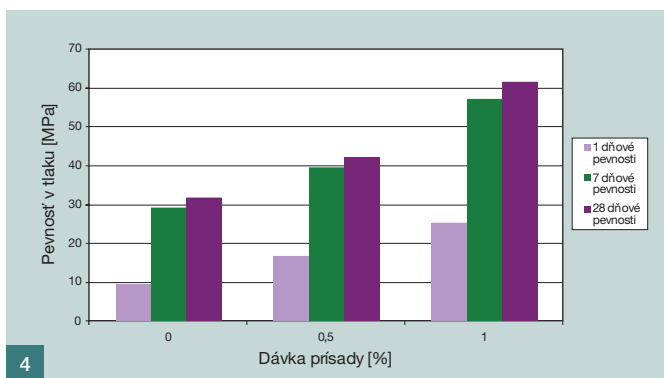
Obr. 1 Začiatková konzistencia čerstvých cementových mált pri rôznej dávke prísady Berament HT 5221 ■ Fig. 1 Initial flow of fresh cement mortars with different doses of admixture Berament HT 5221



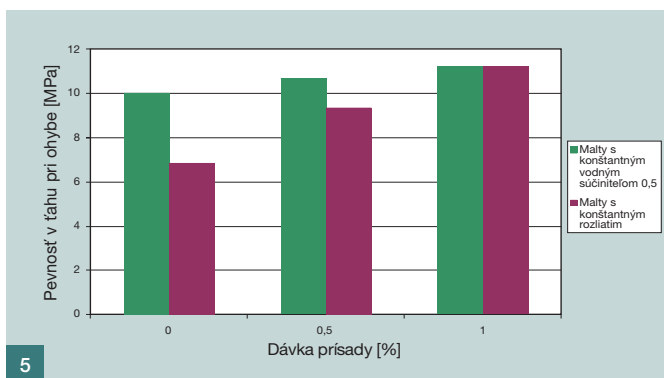
Obr. 2 Zmena konzistencie čerstvých cementových mált s časom odležania pri rôznych dávkach prísady Berament HT 5221 ■ Fig. 2 Loss of flow of fresh cement mortars with time at different doses of admixture Berament HT 5221



Obr. 3 Pevnosť v tlaku mált s konštantným vodným súčiniteľom 0,5 po 1, 7 a 28 dňoch tvrdnutia ■ Fig. 3 Compressive strength of mortars with constant water-cement ratio 0,5 after 1, 7 and 28 days curing.



Obr. 4 Pevnosť mált s konštantným rozliatím 260 mm v tlaku po 1, 7 a 28 dňoch tvrdnutia ■ Fig. 4 Compressive strength of mortars with constant flow of 260 mm after 1, 7 and 28 days curing



Obr. 5 Pevnosť cementových mált v ťahu pri ohybe po 28 dňoch tvrdnutia ■ Fig. 5 Flexural strength of cement mortars after 28 days curing

Obr. 6 Zmrašťovanie mált s konštantným vodným súčiniteľom ( $v/c = 0,5$ ) ■ Fig. 6 Shrinkage of mortars with constant water-cement ratio ( $v/c = 0,5$ )

Obr. 7 Zmrašťovanie mált s konštantnou konzistenciou (rozliatie 260 mm) ■ Fig. 7 Shrinkage of mortars with constant consistency (flow of 260 mm)

zlepšovala so zvyšujúcou sa dávkou prísady. Ako hraničná dávka prísady, ktorá mala ešte pozitívny vplyv na konzistenciu, sa pri danom vodnom súčiniteľi javila dávka 1 % prísady z hmotnosti cementu (priemer rozliatia 262 mm bez striasania). S ďalším zvyšovaním dávky prísady sa už priemer rozliatia výrazne nemenil, objavovala sa však tendencia k segregácii a odlučovaniu zámesovej vody.

Konzistencia čerstvých cementových mált sa postupne menila s časom odležania (obr. 2). Táto zmena však bola relatívne pomalá. Po cca 180 min bola konzistencia plastifikovaných mált prakticky rovnaká, ako začiatková konzistencia referenčnej malty bez prísady. Zvyšovaním dávky prísady do hodnoty 1 % z hmotnosti cementu sa zlepšovala podstatne začiatková konzistencia mált. K strate spracovateľnosti však došlo vo všetkých prípadoch za približne rovnaký čas.

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že pri danom vodnom súčiniteľi ( $v/c = 0,5$ ) sa z hľadiska okamžitého účinku prísady javí ako optimálna dávka 1 % prísady z hmotnosti cementu.

Aplikácia danej prísady viedla k výraznej redukcii zámesovej vody. Na dosiahnutie rovnakej začiatkovej konzistencie čerstvej malty (rozliatie 260 mm bez striasania) bez prísady bola potrebná podstatne vyššia dávka vody (vodný súčiniteľ 0,84). Pri optimálnej dávke prísady sa teda dosiahla redukcia zámesovej vody až o 40 %. Tieto výsledky potvrdzujú vysokú účinnosť danej prísady a sú v zhode s teoretickými predpokladmi a literárnymi údajmi o účinnosti prísad na báze polykarboxylátov [1, 5].

### Pevnosť v tlaku a ťahu pri ohybe

Priaznivý účinok polykarboxylátov mal vplyv aj na pevnosti zatvrdnutých cementových mált. Dosiahnuté výsledky sú spracované graficky na obr. 3 a 4.

V prípade mált s konštantným vodným súčiniteľom 0,5 dochádzalo k miernemu znižovaniu začiatkových (1 dňových) pevností mált s narastaním dávky prísady. Toto zníženie možno vysvetliť podstatným rozdielom v konzistencii čerstvých mált a spomaľovacím účinkom prísady, čo sa

prejavilo relatívne dlhým udržaním dobrej spracovateľnosti mált. S ďalším ošetrovaním však pevnosti mált s prísadou narastali výraznejšie ako v prípade mált bez prísady. Už 7 dňové pevnosti boli vyššie ako pri malte bez prísady a tento trend pokračoval aj v prípade 28 dňových pevností. Tie narastali s dávkou prísady a to až po dávku 1 % z hmotnosti cementu. Pri vyšších dávkach prísady už nedochádzalo k výraznému nárastu pevnosti, poprípade dochádzalo k jej zníženiu. Pri týchto dávkach prísady sa už objavovala segregácia mált, čo mohlo negatívne ovplyvniť rovnomernosť štruktúry malty a v dôsledku toho jej pevnosti.

Pri maltách s rovnakou konzistenciou (priemer rozliatia 260 mm, obr. 4) sa prejavil vplyv prísady veľmi výrazne. V dôsledku vysokej plastifikačnej účinnosti prísady sa s narastaním jej dávky podstatne znižoval vodný súčiniteľ, čo viedlo k enormnému nárastu pevnosti zatvrdnutých mált. Tento nárast bol výrazný už pri 1 dňových pevnostiach. V prípade 28 dňových pevností došlo k ich nárastu až o 100 % v porovnaní s maltami bez prísady.

Vo všeobecnosti sa dá konštatovať, že pevnosť v tlaku cementových mált sa aplikáciou superplastifikátora v optimálnej dávke zvyšovala, a to aj pri konštantnom vodnom súčiniteli. Toto zvýšenie pevnosti možno pripísať lepšej dispergácii cementu aplikáciou polykarboxylátu, v dôsledku čoho sa vytvorili lepšie podmienky na hydratáciu cementu. Aplikácia polykarboxylátov ovplyvňuje aj kryštalickú štruktúru CSH fázy, ktorá je vďaka ich pôsobeniu veľmi husto poprerastaná. Vyššej hutnosti zodpovedajú aj vyššie pevnosti cementového kameňa. Tieto výsledky korešponujú so zisteniami viacerých autorov [1, 2].

Výsledky pevnosti v ťahu pri ohybe a tiež pevnosti v tlaku na zlomkoch trámecov plne korešponujú s výsledkami zistenými na valcových vzorkách (obr. 5).

### Zmrašťovanie

Vplyv polykarboxylátov sa prejavil aj na hodnotách zmrašťovania cementových mált. Dosiahnuté výsledky sú spracované graficky na obr. 6 a 7.

Malty s konštantným vodným súčinitelom vykazovali mierne narastanie hodnôt zmrašťovania s narastaním dávky prísady. Opačná tendencia nárastu zmrašťovania sa prejavila pri maltách s konštantnou konzistenciou, kedy s narastaním dávky prísady sa zmrašťovanie podstatne zmenšovalo. Vysoká plastifikačná účinnosť prísady viedla k výraznej redukcii zámesovej vody, a tým aj k zmenšeniu zmrašťovania malty.

### ZÁVER

Z výsledkov dosiahnutých pri laboratórnych skúškach vyplýva, že nová prísada má vysokú plastifikačnú účinnosť a pozitívny vplyv na fyzikálne vlastnosti zatvrdnutých cementových kompozitov.

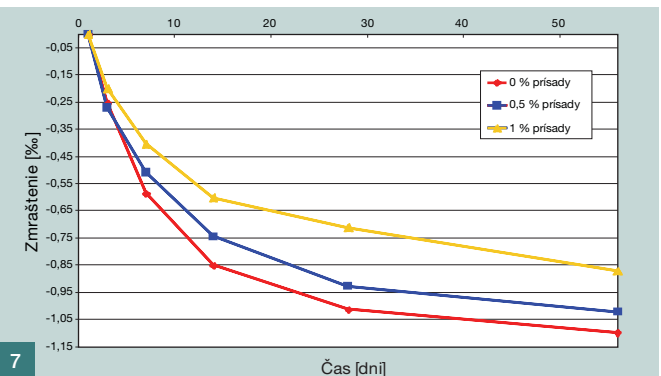
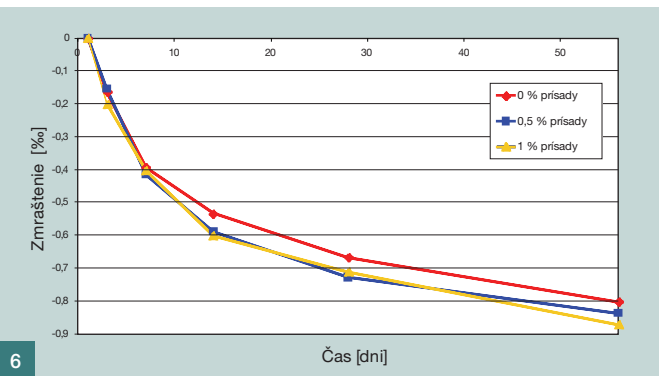
Pri optimálnej dávke prísady (1 % prísady z hmotnosti cementu) sa dosiahla redukcia zámesovej vody až o 40 %. V dôsledku toho podstatne narastali pevnosti mált. Pevnosť v tlaku po 28 dňoch tvrdnutia sa zvýšila až o 100 %.

Konzistencia cementových mált s prísadou sa menila relatívne pomaly, čo vytvára dobré predpoklady na jej používanie pri výrobe transportbetónu.

Aplikácia prísady viedla pri konštantnom vodnom súčiniteli k miernemu zvýšeniu zmrašťovania. Pri rovnakej konzistencii čerstvých mált však bolo v dôsledku plastifikačného účinku prísady a zníženia dávky zámesovej vody zmrašťovanie mált s prísadou podstatne menšie ako mált bez prísady.

#### Literatúra:

- [1] Aitcin P. C.: Vysokohodnotný beton. 1. české vyd. Praha: Edice betonové stavitelství, Praha 2005, 320 s., ISBN 80-86769-39-9
- [2] Kučerová H., Rößler Ch.: Spolupůsobení cementu a superplastifikačních přísad z pohledu reologického chování cementové pasty, [online], Dostupné na internete <[http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/04\\_Fyzikalni%20a%20stavebne%20materialove%20inzenyrstvi/4\\_01\\_Fyzikalni%20a%20chemicke%20vlastnosti%20stavebnich%20hmot/Kucerova\\_Hana.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/04_Fyzikalni%20a%20stavebne%20materialove%20inzenyrstvi/4_01_Fyzikalni%20a%20chemicke%20vlastnosti%20stavebnich%20hmot/Kucerova_Hana.pdf)>
- [3] STN EN 196-1 Metódy skúšania cementu. 1. časť: Stanovenie pevnosti (1997)
- [4] STN EN 12350-5 Skúšanie čerstvého betónu. Časť 5: Skúška rozliatím (2010)
- [5] Unčik, S. O vplyvňovaní vlastností betónu prísadami. Habilitačná práca, Bratislava: SvF STU BA, 2000, 32–62 s.



Tieto výsledky potvrdzujú vysokú kvalitu prísady a jej potenciálne využitie pri náročných aplikáciách, ako je výroba samozhutiteľných betónov a vysokohodnotných betónov. Dosiahnuté výsledky však treba rozšíriť a overiť na maltách s nízkym vodným súčinitelom a na betónoch.

Ing. Veronika Kmecová  
e-mail: veronika.kmecova@stuba.sk



Doc. Ing. Stanislav Unčik, PhD.  
e-mail: stanislav.uncik@stuba.sk

Ing. Adriana Bariaková  
e-mail: adriana.bariakova@gmail.com

Ing. Katarína Salková  
e-mail: salkovak@gmail.com

všichni: KMTI, Stavebná fakulta STU v Bratislave  
Radlinského 11, Bratislava, Slovenská republika