

**PODMIENKY VÝROBY Špeciálnych cementov pre masívne stavby**

VILIAM FIGUŠ

Výskumný ústav technológie a mechanizácie stavebníctva v Bratislave

**Úvod**

Posudzujúc hydraulické maltoviny z celkového hľadiska, možno pri cementoch vymedziť štyri vlastnosti, ktoré ich charakterizujú najmä vzhľadom na upotrebitelnosť v praxi. Sú to: pevnosť, zmršťovanie, tepelné zafarbenie a chemická odolnosť. Kým pre železobetónové konštrukcie sa najlepšie hodia cementy, ktoré sa vyznačujú rýchlym tvrdnutím a vysokými pevnosťami, pre betónové vozovky zasa cementy, ktorých najdôležitejšou vlastnosťou je mimoriadne malé zmršťovanie, pri cementoch pre masívne stavby sa vyžaduje vyhovujúce tepelné zafarbenie, ako je to potrebné najmä pri vodostavebných cementoch na stavbu priehrad; do štvrtej skupiny bolo by možné zaradiť cementy, pri ktorých rozhodujúcim znakom je chemická odolnosť.

Podľa dnešného stavu technológie možno v cementárňach vyrobiť uvedené typy cementov. Pritom sú možné aj prechodné typy, ktorých charakteristické vlastnosti sú zlúčené v jednom druhu cementu.

Naše cementárne vyrábajú dnes len obyčajné portlandské cementy o veľkých počiatočných pevnostiach, ďalej troskoportlandské cementy, ktoré v porovnaní s portlandským cementom sa vyznačujú nižším zmršťovaním, nižším vývojom hydratačného tepla a zvýšenou chemickou odolnosťou. Zloženie týchto dvojzložkových cementov je však veľmi nehomogénne, pretože vysokopecná granulovaná zásaditá troska použitá na ich výrobu je odpadovým produktom hüt, takže hutníci nedodržiavajú jej rovnomerné zloženie. Výrobcovia cementu nemajú potom už vplyv na zloženie trosky pri výrobe troskoportlandských (železoportlandských, vysokopecných a priehradových) cementov, preto tieto cementy nie sú najvhodnejšie pre masívne stavby, vodné diela, priehrady atď.

Pretože pri výstavbe socializmu v našej vlasti sa budujú veľké vodné diela, hydrocentrály, čím ďalej tým naliehavejšie sa ukazuje potreba zavedenia výroby špeciálnych jednozložkových cementov, ktoré by boli predovšetkým homogénne, vyznačovali sa nízkym vývinom hydratačného tepla, malými objemovými zmenami a dobrou odolnosťou voči účinku agresívnych vôd.

*Podmienky výroby a pokusný výpal jednozložkového cementu pre vodné stavby*

Za tým účelom uskutočnil Ústav stavebných konštrukcií a montáží v Bratislave výskum možnosti výroby vodostavebného cementu typu modifikovaného portlandského cementu, ktorý vyhovuje podmienkam kladeným na tento cement. Našou snahou bolo upotrebiť pre túto výrobu slovenské

suroviny, a preto sme vychádzali zo surovinovej základne cementárne v Stupave. Na výrobu normálneho portlandského cementu používajú v Stupave vápenc a hlinu. Na výrobu modifikovaného portlandského cementu nestačia tieto zložky, preto sme museli pribrať korekčné zložky: pyritové výpražky a kremičitý piesok.

Tabuľka 1

Suroviny	Vápenc %	Hlina %	Pyritové výpražky %	Kremičitý piesok %
Strata žíhaním	40,39	17,12	6,62	—
SiO <sub>2</sub>	2,26	45,27	5,20	99,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	19,00	10,73	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,28	1,21	62,28	0,27
CaO	53,83	10,40	3,29	stopy
MgO	0,89	3,05	—	1,80
SO <sub>3</sub>	stopy	1,40	11,70	—
Súčet	99,39	97,45	99,82	100,00

Chemický rozbor použitých surovín zachycuje tab. 1.

Pri skladovaní surovej zmesi z týchto surovín vyšli sme od mineralogického zloženia požadovaného slinku, od štandardu vápna, ako aj silikátového modulu  $M_S$  a hlinitanového modulu  $M_A$ .

Pre naše pomery sme vypracovali tento návrh na zloženie vodostavebného cementu na báze slovenských surovín:

prípustný obsah C <sub>3</sub> S	45—55 %
prípustný obsah C <sub>2</sub> S	17—30 %
prípustný obsah C <sub>3</sub> A	1,5—6 %
prípustný obsah C <sub>4</sub> AF	10—16 %
prípustný obsah MgO	max. 5 %
prípustný obsah SO <sub>3</sub>	max. 3 %

Vodostavebný cement, ktorý má mineralogické zloženie v uvedených hraniciach, je v súlade so zložením a požiadavkami na vodostavebný cement (jednozložkový), ktoré sú predpísané v SSSR pre veľké stavby komunizmu v zmysle uznesenia sekcie Akadémie vied SSSR pre stavebné hmoty z r. 1954 [1], ako aj s federálnou normou USA z r. 1946 pre priehradu SS-C-192-5 [2].

V zmysle našich noriem ČSN 73 2021 majú vodostavebné cementy vyvíjať takéto hydratačné teploty:

za 3 dni	50—60 cal/g
za 7 dní	60—70 cal/g
za 28 dní	70—80 cal/g

Pevnosť v tlaku po 28 dňoch vodného uloženia má byť minimálne 350 kg/cm<sup>2</sup>.

V súhlase s návrhom na modifikovaný portlandský cement volil sa pre vodostavebný cement nami vyvinutý štandard vápna:

$$K_v = \frac{100 \text{ CaO}}{2,8 \text{ SiO}_2 + 1,1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3} = 87,6,$$

pričom modul silikátový  $M_S = 2,1$  a modul hlinitanový  $M_A = 1,0$ .

Vychádzajúc z chemických rozborov zložiek, zloženie surovej múky sme vypočítali pomocou hydraulikej ( $\varphi$ ), silikátovej ( $\psi$ ) a oxydickej odchýlky ( $\chi$ ):

$$\varphi = \frac{K}{100} (2,8 \text{ SiO}_2 + 1,1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\psi = \text{SiO}_2 - M_S (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$\chi = \text{Al}_2\text{O}_3 - M_A \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$$

Hodnoty  $\varphi$ ,  $\psi$  a  $\chi$  sme vypočítali osobitne pre vápenec ( $\varphi_k, \psi_k, \chi_k$ ), hlinu ( $\varphi_m, \psi_m, \chi_m$ ), piesok ( $\varphi_q, \psi_q, \chi_q$ ) a pre pyritové výpražky ( $\varphi_p, \psi_p, \chi_p$ ).

Pomocou týchto hodnôt sme vypočítali:

$$\varphi_k + x \cdot \varphi_m + y \cdot \varphi_q + z \cdot \varphi_p = 0$$

$$\psi_k + x \cdot \psi_m + y \cdot \psi_q + z \cdot \psi_p = 0$$

$$\chi_k + x \cdot \chi_m + y \cdot \chi_q + z \cdot \chi_p = 0$$

Túto sústavu troch lineárnych rovníc s tromi neznámymi sme riešili najprv pre jednu neznámu pomocou determinantov, potom pre obidve ďalšie substitúciou.

Výpočtom vyšlo pre  $K = 0,1369$ , pre  $y = 0,1287$  a pre  $z = 0,0972$ . Podľa tohto prípadu na:

1 diel vápenca . . . . .	73,42 %
0,1369 dielu hlíny . . . . .	10,03 %
0,1287 dielu piesku . . . . .	9,42 %
0,0972 dielu pyritových výpražkov . . . . .	7,12 %
<u>1,3648</u>	<u>100,00 %</u>

Z týchto surovín sme zostavili zmes tak, že sme najprv zmiešali hlinu s pyritovými výpražkami v pomere 75 : 25 a celú zmes sme ešte nakoniec korigovali pridaním 30 % vápenca, takže hydraulický modul surovej múky mal hodnotu 2,03, silikátový modul 2,41 a hlinitanový modul 0,91.

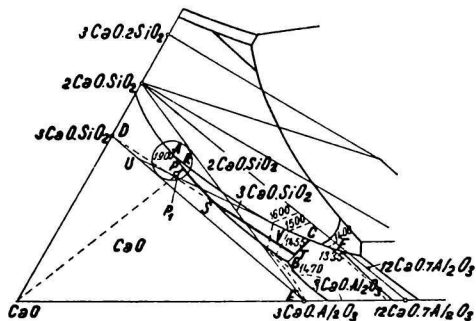
Táto surová múka sa pred pálením formovala v miešacom koryte s 13 % vody na granulý, ktoré sa potom pálili v pokusnej rotačnej peci rozmerov 0,5 × 10 m, vyhrievanej zemným plynom pri teplote 1350—1400 °C.

## Diskusia

Taveniny vzniknuté z uvedenej surovej múky pálením v peci nachádzajú sa podľa svojho zloženia v bode  $P_1$  Rankinovho diagramu, t. j. vo fázovom trojuholníku vytvorenom zlúčeninami  $C_2S$ ,  $C_3S$  a  $C_3A$  ( $C_4AF$ ) [3. str. 227, 126]; pozri obr. 1.

Ak na tomto diagrame sledujeme od bodu  $P_1$  kryštalizačnú dráhu taveniny, môžeme dospieť k týmto pre prax dôležitým záverom:

1. Z hľadiska viazania vápna chová sa slinujúca masa v okamihu, keď slinovací proces je ukončený, tak, akoby sama sústava vyšla z dokonalej taveniny čiastočnou kryštalizáciou; to znamená, že pri chladení slinku v bode  $P_1$  možno od skončenia slinovania sledovať kryštalizačnú dráhu spôsobom, aký vyplýva pre tuhnutie zo zákonov rovnovážnych stavov.



Obr. 1. Kryštalizačná dráha cementovej taveniny.

Kryštalizácia sa začína vylučovaním vápna, v dôsledku čoho sa tavenina ochudobní o vápno; tavenina sa vzdaluje od rohu  $CaO$  a putuje podľa čiary  $PR$  na hranicu poľa  $AB$  proti poľu, ktoré vylučuje  $C_3S$ . V okamihu, keď tavenina dosiahne hranicu poľa pri  $R$ , je už tak schladená, že  $C_3S$  je schopný jestvovať:  $C_3S$  sa vytvorí tak, že vápno predtým vylúčené reaguje s taveninou chudobnou na vápno. Táto reakcia, t. j. resorpcia vápna primárne vylúčeného taveninou je ukončená, keď tavenina pri pokračujúcom ochladzovaní dosiahne bod  $S$ . Tu nastáva už len kryštalizácia  $C_3S$ . Pritom sa tavenina ochudobní o vápno, vzdaluje sa od určeného bodu  $C_3S$  a mení pritom svoje zloženie pozdĺž čiary  $ST$ . V bode  $T$  dosiahne sa hranica poľa  $BC$  medzi poľami vylučovania  $C_3S$  a  $C_3A$  ( $C_4AF$ ). Tavenina teraz postupuje touto hraničnou čiarou smerom k bodu  $C$ , pričom okrem  $C_3S$  vykryštaluje aj  $C_3A$  ( $C_4AF$ ). Po dosiahnutí bodu  $C$  nastane dokonalé stuhnutie jestvujúcej ešte zvyškovej taveniny za resorpcie tých množstiev  $C_3S$ , ktoré boli vylúčené v nadbytku, a za tvorby  $C_2S$ , takže nakoniec celá kryštalická masa pozostáva z  $C_3S$ ,  $C_3A$  ( $C_4AF$ ) a  $C_2S$ , ako to zodpovedá polohe počiatočného bodu  $P$  vo fázovom trojuholníku.

Pri rýchлом ochladení nemusí vôbec dôjsť ku kryštalizácii a tavenina stuhne úplne alebo čiastočne na sklovinu (najmä v bode  $C$ ). Okrem toho môže sa zvyšková tavenina v bode  $C$  chovať aj tak, akoby bola úplne izolovaná a nedotýkala sa vôbec už vylúčených tuhých fáz; tu môže tak vykryštalovať, ako to zodpovedá jej polohe vo fázovom trojuholníku  $C_2S-C_3A-12CaO \cdot 7Al_2O_3$ .

Z uvedeného vyplýva, že schladená tavenina zloženia  $P_1$  môže okrem  $C_3S$ ,  $C_2S$  a  $C_3A$  ( $C_4AF$ ) obsahovať i voľné vápno a  $C_{12}A_7$ , ako aj sklovitú zvyškovú taveninu stuhnutú v bode  $C$  a  $F$ .

2. Za pomerov existujúcich v praxi predstavuje slinok — čo do viazania vápna — rovnovážnu sústavu stuhnutú pri slinovacej teplote.

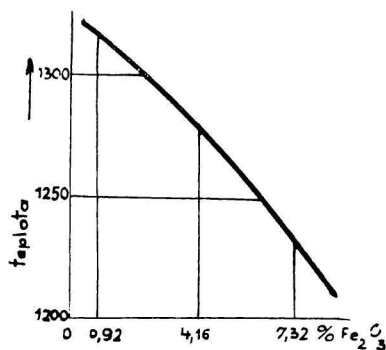
Záveru uvedené pod bodom 1 a 2 platia v plnej miere aj pre sústavy obsahujúce  $Fe_2O_3$ ; toto možno doplniť tým, že hranica viazania vápna prebieha v surových zmesiach obsahujúcich  $Fe_2O_3$  od určeného bodu  $C_3S$  smerom k určenému bodu  $C_4AF$ .

Pri surovinách obsahujúcich  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  treba pripomenúť, že pri ich pálení sa prítomnosťou  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  uľahčí a veľmi urýchli reakčný proces, pričom vzniká už spomenutý  $\text{C}_4\text{AF}$ , ktorého skorý vznik má obzvlášť veľký význam pre priebeh slinovacieho procesu. Ako zistili mnohí bádatelia (Nacken, Ardenne, Endell, Dittler, Jesser, Dyckerhof), reakčná teplota surovej múky obsahujúcej  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sa znižuje o  $110^\circ\text{C}$ , čo možno vysvetliť tvorbou nižšie ležiaceho eutektika za účasti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a ostatných vedľajších zložiek ( $\text{MgO}$ , alkálie).

Pôsobením týchto vedľajších zložiek môžu surové múky obsahujúce  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  vytvoriť tekutú fázu už pri teplotách  $1250\text{--}1300^\circ\text{C}$ . Pre dosiahnutie slinovacej teploty treba túto teplotu zvýšiť ešte o  $100\text{--}150^\circ\text{C}$ , aby sa získal dobre vypálený slinok.

Na slinovací proces má teda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  veľký vplyv, preto je potrebné tejto stránke pri výrobe slinku typu modifikovaného cementu (s hlinitanovým modulom blízko 1,0) venovať zvýšenú pozornosť.

Veľký význam, ktorý pripadá  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pri pálení slinku, najlepšie vysvitá z porovnania teplôt, pri ktorých je badateľné tavenie najjemnejších častíček slinku s rôznymi množstvami  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (podľa Ardenna a Endella) [3, str. 235]; pozri obr. 2.



Obr. 2. Závislosť teploty pri začiatku tavenia od obsahu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Z diagramu na obr. 2 jasne vyplýva, ako je teplota pri začiatku tavenia približne úmerná obsahu  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  v slinku.

V tejto súvislosti treba uviesť, že pri cementoch veľmi bohatých na  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tento kyslíčnik neuľahčuje už slinovanie, ale jeho nadmerné množstvo má opačný účinok.

Ako dokázal L. A. Dahl [4], množstvo eutektickej tavnej fázy závisí od chemického zloženia sústavy. Jej tvorba prestáva v tom okamihu, v ktorom najmenej jeden z podielov surovej zmesi je spotrebovaný. V surových zmesiach, kde hlinitanový modul je pod 1,38 (čo vysvitá aj z diagramu na obr. 2), spotrebuje sa najprv  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na tvorbu taveniny a určuje tým kvantitatívny podiel taveniny v celkovej sústave. Pri surových zmesiach bohatých na  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  s hlinitanovým modulom pod 1,38 pôsobí ako tavivo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a nie  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ako je to aj v našom prípade.

Treba poznamenať, že podľa novšieho bádania M. A. Swayzeho [5] (1945) mala by sa zlúčenina  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  nahradiť zlúčeninou  $6\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ; pre účelnosť budeme však aj naďalej pri našich výpočtoch uvažovať  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Pálením spomenutej surovej múky získali sme slinok veľmi tvrdý a pevný, tmavej farby, s nádychom do hnedá, litrovej váhy  $1043\text{ g/l}$  (vypálilo sa  $240\text{ kg}$  slinku).

Zomletím slinku s 8 % sadrovca na jemnosť 4—5 % zvyšku na site o 4900 otv./cm<sup>2</sup> dostali sme vodostavebný cement o tomto zložení:

strata žíhaním . . . .	2,47 %
nerozložiteľný podiel	1,58 %
SiO <sub>2</sub>	20,39 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	3,89 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .	5,18 %
CaO	61,92 %
MgO	0,79 %
SO <sub>3</sub> . . . .	3,15 % (v sadrovci bolo
voľné vápno .	0,92 % 19,5 % anhydritu)

Porovnanie s portlandským cementom  
Stupava triedy 350

hydraulický modul	2,10	M <sub>H</sub>	2,21
silikátový modul	2,24	M <sub>S</sub>	1,54
hlinitanový modul	0,75	M <sub>A</sub>	1,75

Z chemického zloženia tohto cementu sa vypočítalo jeho mineralogické zloženie podľa Kinda a zistilo sa:

pri obyčajnom portlandskom cemente

C <sub>3</sub> S .	54,23 %	61,8 %
C <sub>2</sub> S .	17,18 %	6,3 %
C <sub>3</sub> A	1,5 %	11,4 %
C <sub>4</sub> AF .	15,76 %	9,1 %

Tento modifikovaný portlandský cement vyhovuje svojim mineralogickým zložením uvedeným požiadavkám, ako aj sovietskym predpisom pre vodostavebné cementy. Výpočet bol overený aj röntgenografickým rozborom podľa metódy Debye—Scherrerovej, pričom sa ukázala celková zhoda medzi výpočtom a mineralogickým zložením príslušných röntgenogramov.

Po zdarenom výpale v pokusnej peci prikočili sme k veľkopokusu priamo v cementárni v Stupave, kde sme vyrobili 200 ton jednozložkového vodostavebného cementu z rovnakých surovín a zmesi ako pri pokuse v malej rotačnej peci, za podmienok normálnej prevádzky na rotačnej peci rozmerov  $\varnothing$  3,45 m, dĺžky 70 m, kubatúry 490 m<sup>3</sup> (mokrý proces, 14 m reťaze, planetové chladiče, kúrenie uhlím).

Takto vyrobený cement mal hydraulický modul 2,17, silikátový modul 2,26 a hlinitanový modul 0,70. Mal teda prakticky rovnaké zloženie ako pokusný cement.

Treba vyzdvihnúť skutočnosť, že pri veľkopokuse nebolo možné pozorovať nebezpečné pripekanie k vymurovke pece napriek nízkemu hlinitanovému modulu (0,70), čo možno vysvetliť vysokým silikátovým modulom surovej múky (2,4), ktorá paralyzuje sklon takejto zmesi s vysokým obsahom Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> k pripekaniu.

O vhodnosti mineralogického zloženia nami vyvinutého vodostavebného cementu sme sa presvedčili aj jeho vnesením do Féretovho zobrazenia v trojuholníku [6], ktoré práve prihliada na štyri hlavné zložky: C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF (pozri obr. 3).

Tento cement sa umiestuje do vyznačenej vrstvy, pričom vyhovuje týmto podmienkam:

$$\frac{C_3S + C_2S}{C_3A + C_4AF} = K, K > 3,35$$

vodostavebný cement  
4,40

$$C_3S + C_2S + C_3A + C_4AF = h, h > 92 \%$$

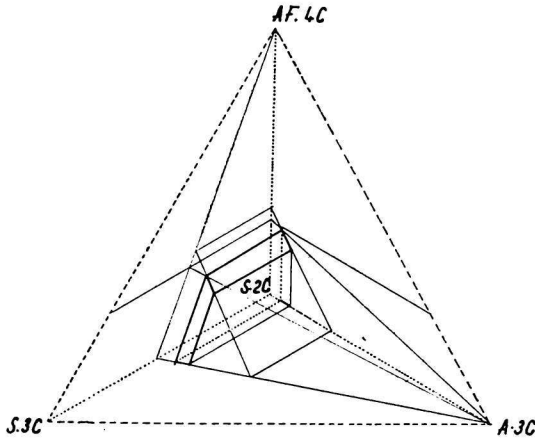
93,47

$$C_4AF < 0,2 h \quad (93,47 \times 0,2 = 18,69)$$

18,69 > 15,76

$$0,03 h < C_3A < 0,06 h$$

2,8 < C<sub>3</sub>A < 5,6



Obr. 3. Umiestenie vodostavebného cementu vo Férétovom obrazei.

Podľa tohto zodpovedá nami vyvinutý cement celkove všeobecným podmienkam. Práve tým, že obsahuje tak málo C<sub>3</sub>A, hodí sa dobre do betónov, kde tvrdnú veľké objemy.

Veľmi dôležité je pri vodostavebných cementoch zmenšenie hydratačného tepla zmenšením účasti C<sub>3</sub>A. Pripomína sa, že nie vždy sú výhodnejšie cementy, ktoré predlžujú hydratáciu, ako napr. tzv. bisilikátové cementy, keďže sa pri nich nezíska menšie zahriatie hrubých múrov, ak sa nezmenší celkové množstvo vráteného tepla. Preto je výhodnejšie použiť cementy rýchlo tvrdnúce, alitového typu, ako sme ich vyvinuli u nás.

Pre poznanie vlastností nami vyrobeného vodostavebného cementu urobili sme skúšky na väznosť, zmrašťovanie, hydratačné teplá a na odolnosť voči chemickým účinkom.

Normové skúšky podľa ČSN 1213 s týmto cementom (z veľkopokusu) vykazovali v malte po 28 dňoch pevnosti v tlaku 530 kg/cm<sup>2</sup> a v pevnosti v ťahu 45 kg/cm<sup>2</sup>.

Ako je známe, správny výber cementu má pre masívne betóny veľký význam s ohľadom na tepelné zafarbenie. Pritom si treba uvedomiť, že jestvuje súbežnosť medzi tepelným zafarbením a väznosťou cementu v tom zmysle, že zníženie vývinu tepla ide väčšinou na úkor pevnosti cementu. W. Humm, M. Spindel, F. M. Lea [7] a najnovšie V. N. Jung [8], ako aj P. P. Budnikov poukázali na to, že nie je celkom správne, ak sa pri cementoch pre masové betóny opomínajú pevnosti, lebo tým je spojené aj zoslabenie hutnosti a trvanlivosti betónu. Preto nastal odklon od cementu s veľmi nízkym hydratačným teplom (tzv. Low-heat cementu) a zavádza sa vodostavebný cement s miernejším vývinom tepla, avšak súčasne s požiadavkou vyšších pevností. Z toho

dôvodu sme aj my radšej nastúpili cestu jednozložkového modifikovaného portlandského cementu s vyšším obsahom  $C_3S$ , s nižším obsahom  $C_2S$  a s veľmi nízkym obsahom  $C_3A$ .

Hydratačné teplá nami vyvinutých vodostavebných cementov (z veľkopokusu), stanovené metódou rozpúšťacích tepiel podľa Kallaunera a Bürgla, upravenou podľa normy SS-C-158a/1943, vykazovali po 3 dňoch 50 cal/g, po 7 dňoch 59 cal/g a po 28 dňoch 71 cal/g (obyčajný portlandský cement vyvinie po 3 dňoch 70 cal/g, po 7 dňoch 84 cal/g a po 28 dňoch 91 cal/g). Podľa toho zodpovedá tento cement našim normám ČSN 73 2021 pre vodostavebné betóny.

Okrem toho sme urobili aj zmršťovacie skúšky podľa DIN 1164; po 28 dňoch sme zistili zmršťovanie 0,510 mm/m a po 90 dňoch 0,660 mm/m (obyčajný portlandský cement triedy 350 vykazuje po 28 dňoch 0,637 mm/m, po 56 dňoch 1,062 mm/m a po 90 dňoch 1,085 mm/m).

Z praktického hľadiska je dôležité sledovanie uvedených objemových zmien hydratovaného cementu, lebo veľké zmršťovanie môže viesť k tvorbe trhlín a ohroziť betónové stavby.

Na odstránenie, prinajmenšom na zmenšenie nebezpečenstva tvorby trhlín sa veľmi dobre hodia cementy typu Ferrari, ktoré sú bohaté na  $Fe_2O_3$ , pretože vykazujú veľmi malú mieru zmršťovania. Do tejto skupiny cementov patrí aj modifikovaný portlandský cement vyrobený pokusne v Stupave.

Kind, Okorokov a Volfson [9] dokázali, že pre časový vzrast zmršťovania veľkú úlohu hrá  $C_2S$ . Preto majú vodostavebné cementy obsahovať skôr menej  $C_2S$ , t. j. majú byť alitového typu, o čo sme sa pri našom špeciálnom cemente aj snažili.

Na sledovanie objemových zmien urobili sme tiež autoklávovú skúšku s modifikovaným portlandským cementom podľa ČSN 73 2021. Táto skúška je veľmi citlivá na voľný  $CaO$ ,  $MgO$  a  $C_3A$ . Objemová stálosť zistená v autokláve pri tlaku saturovanej pary 20,75 atm má byť maximálne 0,5 %.

Autoklávové skúšky majú preto veľký význam, lebo z ich výsledkov možno bezpečne predvídať priebeh objemových zmien v priebehu niekoľko rokov. Pri našom vodostavebnom cemente zistila sa autoklávová expanzia +0,06 %. To znamená, že nami vyvinutý vodostavebný cement veľmi dobre vyhovuje požiadavkám, ktoré stavbári naň kladú.

Pretože odolnosť betónových stavieb voči vplyvu náporových vôd závisí okrem iného aj od správnej voľby cementu, vykonali sme príslušné skúšky, v zásade podľa GOST 4799-48. Ako je známe,  $C_3A$  je najchúlostivejší minerál v portlandskom cemente z tohto hľadiska, preto je žiaduci modifikovaný portlandský cement s nižším obsahom  $C_3A$ . Pri vytváraní špeciálneho cementu sa teda aj tento zreteľ bral do úvahy. Skúšky ukázali, že nami vyvinutý vodostavebný cement prejavuje lepšiu odolnosť voči vplyvu agresívnych vôd než trasový, prípadne portlandský cement.

Naším výskumom sme dokázali, že je možné z domácich surovín vyrobiť špeciálny cement typu modifikovaného portlandského cementu pre masívne stavby. Výroba tohto cementu vo veľkom bude možná, pričom sa zaručí kvalita cementu po všetkých stránkach, ako aj jeho rovnomerné zloženie, predĺži sa životnosť veľkých stavieb socializmu a zvýši sa trvanlivosť i bezpečnosť všetkých objektov zhotovených z tohto cementu.

## Súhrn

Pre masívne stavby sa doteraz používal u nás dvojzložkový cement na báze vysokopecnej granulovanej zásaditej trosky, ktorý však úplne nevyhovoval, najmä pre svoju nehomogénnosť. Preto sa aj u nás pristúpilo k výskumu



a pokusnej výrobe jednozložkového cementu, ktorý by bol predovšetkým homogénny a vyznačoval by sa nízkym vývinom hydratačného tepla, malými objemovými zmenami a dobrou odolnosťou voči účinkom agresívnych vôd.

Pri výskume sa použili domáce suroviny, z ktorých sa podarilo vyrobiť cement typu modifikovaného portlandského cementu.

Pri tomto výskume sa sledovali kryštalizačné dráhy taveniny podľa Rankinovo diagramu a podľa Lea a Parkera, z čoho sa robili závery dôležité pre prax. Poukázalo sa najmä na pôsobenie  $Fe_2O_3$  na slinovací proces.

Dokázalo sa, že je možné z domácich surovín vyrobiť špeciálny cement pre masívne stavby, ktorý celkove zodpovedá všeobecným podmienkam pre vodostavebné cementy.

Fyzikálnymi a mechanickými skúškami sa ďalej dokázali priaznivé vlastnosti tohto cementu, ktorý svojou alitickou povahou lepšie vyhovuje aj stavebnej výrobe než cement belitického typu.

## УСЛОВИЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ ДЛЯ МАССИВНЫХ ПОСТРОЕК

ВИЛИАМ ФИГУШ

Исследовательский институт технологии и механизации строительства в Братиславе

### Выводы

Для массивных построек был у нас до сих пор применен двухкомпонентный цемент, основанный на базе гранулированного шлака из высокой печи, который все же не отвечал требованиям, главным образом из за своей неоднородности. Поэтому у нас приступили к исследованию и опытному производству однокомпонентного цемента, который бы был во-первых однородный, был бы характеризован малым выделением гидратационного тепла, малыми объемными изменениями и большим сопротивлением по отношению к действию агрессивных вод.

Для исследования было применено домашнее сырье, из которого удалось приготовить цемент типа модифицированного порландского цемента.

При этом испытании были следованы процессы кристаллизации расплавленной массы по диаграммам Ранкина, Леа и Паркера и из этого делались важные заключения для практики. Главным образом было обращено внимание на действие  $Fe_2O_3$  при процессе клинкерования.

Было доказано, что предоставляется возможность приготовить специальный цемент для массивных построек из домашнего сырья. Этот цемент в общем отвечает условиям, предъявляемым для водостроительных цементов.

Физическими и механическими испытаниями были проказаны дальнейшие выгодные качества этого цемента, который своими алитицкими свойствами удовлетворяет больше требованиям строительного производства, чем цемент белитицкого типа.

Поступило в редакцию 15. 2. 1956 г.

# HERSTELLUNGSBEDINGUNGEN VON SPEZIALZEMENTEN FÜR MASSIVE BAUTEN

VILIAM FIGUŠ

Forschungsinstitut für Technologie und Mechanisierung des Bauwesens  
in Bratislava

## Zusammenfassung

Für massive Bauten wurde bisher in der ČSR ein zweibestandteiliger Zement auf der Basis granulierter basischer Hochofenschlacke verwendet, welcher jedoch in keiner Weise entsprochen hat, hauptsächlich zufolge seiner Inhomogenität. Deshalb schritt man auch in der ČSR an die Erforschung und die versuchsweise Erzeugung von einbestandteiligem Zement, welcher vor allem homogen ist, sich durch eine geringe Hydratationswärmeentwicklung, durch geringe Volumsänderungen und eine gute Widerstandsfähigkeit gegenüber der Einwirkung aggressiver Wässer auszeichnete.

Diese Forschung wurde unter Verwendung einheimischer Rohstoffe durchgeführt, aus denen die Herstellung eines Zements vom Typ eines modifizierten Portlandzements gelang.

Bei dieser Forschung wurden die Kristallisationsweglängen der Schmelze nach dem Rankin-schen Diagramm und nach Lea und Parker untersucht, aus denen für die Praxis wichtige Schlüsse gezogen wurden. Namentlich wurde auf die Einwirkung von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  auf den Sinterprozess hingewiesen.

Es wurde nachgewiesen, dass es möglich ist, aus einheimischen Rohstoffen einen Spezialzement für massive Bauten herzustellen. Dieser Zement entspricht den allgemeinen Bedingungen für Wasserbautenzemente.

Durch physikalische und mechanische Prüfungen wurden ferner die günstigen Eigenschaften dieses Zements dargelegt, welcher durch seinen alithischen Charakter auch dem Baugewerbe besser entspricht als Zement belithischen Typs.

In die Redaktion eingelangt den 15. 2. 1956

## LITERATÚRA

1. Budnikov P. P., *Diskusia o technických požiadavkách na cement pre veľké stavby komunizmu*, Sovětská věda — Vodní stavitelství I, 470—473 (1953). — 2. Jambor J., *Cementy pre vodné stavby*, Sborník prác o betóne a cementoch, Bratislava 1952. — 3. Köhl H., *Zement-Chemie II*, Berlin 1951. — 4. Dahl L. A., *Rock Products* 35, 14, 16, 18, 20, 22 (1932). — 5. Swayze M. A., *Am. J. Sci.* 244, 1 (1946). — 6. Féret R., *Zement-Kalk-Gips 1951*, 299. — 7. Lea F. M., *Spezialzemente für Massenbetonkonstruktionen*, Zement 277 (1937). — 8. Jung V. N., *Osnovy technologii viažuščich veščestv*, Moskva 1951, 489—510. — 9. Anonym, *Specialnyje cementy*, Stroitel'naja promyšlennost 1940, č. 10—11.

Došlo do redakcie 15. 2. 1956