

PREDIKTÍVNE RIEŠENIE VYHODNOCOVANIA A KVANTIFIKÁCIE AKTIVITY MLETEJ GRANULOVANEJ VYSOKOPECNEJ TROSKY V SÚVISLOSTI S KVANTIFIKÁCIOU NÁROKOV NA PROCES JEJ MLETIA ■ PREDICTIVE SOLUTION OF EVALUATION AND QUANTIFICATION GROUND GRANULATED BLAST-FURNACE SLAG ACTIVITY CONCERNING QUANTIFICATION REQUIREMENTS TO ITS MILLING PROCESS

Lubomír Ježo, Martin T. Palou

Spôsob vyhodnocovania a kvantifikácia aktivity mletej granulovanej vysokopecnej trosky (VPT) pomocou vypočítaného hodnotiaceho experimentálno-empirického kvalitatívneho ukazovateľa pre bežne dostupné mleté granulované vysokopecné trosky v zmysle STN EN 15167-1 pre použitie do cementov, betónov a mált s označením súčiniteľ aktivity mletej vysokopecnej trosky – SAM_{VPT} , skrátene Ladecký súčiniteľ – L_s , je možný použiť ako prediktívnu metódu a v podstatne kratšom časovom období niekoľkých hodín, oproti doterajšiemu normovému postupu, ktorý trvá 28 dní. Na základe vypočítaného L_s je možná kvantifikácia minimálne v troch stupňoch, tie boli experimentálne overené Vicatovou skúškou tuhnutia nasledovne:

- vyššie aktívna VPT, počiatok tuhnutia je v čase pod 1 000 min., $L_s = 400$ až 500 m²/kg,
- stredne aktívna VPT, počiatok tuhnutia je v čase 1 000 až 2 000 min., $L_s = 300$ až 400 m²/kg,
- nižšie aktívna VPT, počiatok tuhnutia je v čase viac ako 2 000 min., $L_s = 200$ až 300 m²/kg.

■ Evaluation and quantification of Ground blast furnace slag (GBFS) activity, labelled as "Activity coefficient" GBFS- SAM_{VPT} with abbreviation "Ladecký coefficient – L_s ", using calculated experimental-empirical qualitative method according to STN EN 15167-1 standard for available GBFS used in cement, concrete and mortar, is also possible to use as predictive method in substantially shorter time period of several hours, contrary to the standardized procedure which takes 28 days. Based on calculated L_s , quantification is possible at three levels, which were verified experimentally by the Vicat test of hardening as follows:

- higher active BFS with $L_s = 400$ to 500 m²/kg, initial setting time is less than 1 000 min.,
- middle active BFS with $L_s = 300$ to 400 m²/kg, initial setting time is between 1 000 to 2 000 min.,
- less active BFS with $L_s = 200$ to 300 m²/kg, initial setting time is higher than 2 000 min.

Granulovaná vysokopecná troska (VPT), ako latentne hydraulická prísada do cementov je tradičná cementárska surovina používajúca sa pri vý-

robe cementu prakticky od jeho vzniku už v 19. storočí [1, 2]. Jej jemné zomletie v spojení s cementárskym slinkom, s cementom alebo s betónom významnou mierou prispieva k vývoju pevnostných charakteristík portlandských cementov, čo sa využíva pri výrobe troskoportlandských a vysokopecných cementov [3, 4].

TEORETICKÁ ČASŤ

Pre kvalitatívne hodnotenie zomletej VPT v cementárskom a stavebnom priemysle platí v súčasnosti európska harmonizovaná norma [1]. Normovou metódou pre sledovanie aktivity je stanovenie indexu aktivity po 7 a 28 dňoch, kedy sa indexom, resp. percentom porovnávajú 7 a 28dňové pevnosti v tlaku u zmesi cementu s 50% náhradou sledovanej VPT a u rovnakého čistého cementu druhu CEM I 42,5, alebo vyššej pevnostnej triedy. Index aktivity na úrovni minimálne 70 % 28dňovej pevnosti v tlaku je pre bežné cementárske VPT v zmysle predmetnej normy postačujúci, pričom však predmetná norma bližšie netriedi kvalitatívne stupne, ktoré sú tak určené len percentuálnym hodnotením odvodených pomerov vlastností – pevnosti v tlaku po 28 dňoch tuhnutia zmesi VPT a cementu.

Výraznou nevýhodou tohto spôsobu vyhodnocovania kvality je relatívne dlhý čas, než je známy výsledok – pevnosti sa stanovujú po 28 dňoch uloženia normových trámčekov vyrobených zo sledovanej VPT a cementu. Rovnako tak je nevýhodou aj relatívne vysoká prácnosť a potreba špecializovaného laboratória s regulovanou teplotou s viacerými veľmi drahými meracími prístrojmi, ktoré sú k dispozícii len v cementárňach a špecializovaných betonárskych laboratóriách.

V súčasnosti produkovaná a v stredoeurópskom regióne dostupná VPT obsahuje vysoký podiel, okolo 80 až 97 %, nekryštalickej sklovitej fázy, ktorá sa v prítomnosti slinkových minerá-

lov, tj. v silne alkalickom vodnom prostredí, aktivuje a vytvára spolu v zmesi so slinkovými minerálmi pevne viazanú hydrátovú štruktúru [5, 6].

Aktivita VPT je závislá od viacerých fyzikálno-chemických faktorov a zvyšuje sa:

- so zvyšujúcim sa podielom sklovitej fázy, ktorá je v termodynamicknej nerovnováhe,
- so zvyšujúcim sa modulom zásaditosti, tj. s vyšším pomerom $(CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3)$,
- so zvyšujúcim sa modulom aktivity (SiO_2/Al_2O_3) ,
- so znižujúcim sa podielom Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO a ďalších kovov, či ich oxidov,
- so zvyšujúcim sa podielom Na_2O , K_2O ,
- s jemnejším mletím, tj. so zvyšujúcim sa merným povrchom,
- s rastúcou alkalitou prostredia vplyvom rozpustných slinkových minerálov [7, 8].

PODSTATA NOVÉHO RIEŠENIA

Sledovať a klasifikovať aktivitu mletej VPT v súčinnosti s alternatívnou fyzikálnou metódou aj bez nutnosti prácného overovania pevností je možné aj iným spôsobom v podstatne kratšom období tzv. penetračnou metódou, ktorá urýchli celý proces z 28 dní na rádo-vo 1 až maximálne niekoľko dní.

S normou porovnateľné výsledky možno dosiahnuť na normalizovanom technickom zariadení, ktoré využíva sledovanie vznikajúcich hydratačných síl, keď sa do tuhnuceho lôžka sledovaného spojiva rozmiešaného s vodou vpichuje kovová ihla presne definovanej hmotnosti a rozmerov.

Táto metóda bola doteraz používaná pre cementy a spojivá na báze cementov, nie pre podstatne nižšie aktívnu VPT, ktorá tuhne podstatne pomalšie. Vykonáva sa pomocou normového technického zariadenia, ktoré sa volá Vicatov prístroj podľa [9]. Uve-

dený prístroj je štandardne určený pre sledovanie procesu tuhnutia relatívne rýchlotuhnučích cementov a spojív na báze cementov, napr. práškových mált, lepidiel a omietkových zmesí, kde dochádza k hydratačným procesom rádo vo hodinách. Je preto vhodný aj s ohľadom na ľudský pracovný činiteľ.

Zaškolený pracovník v niekoľko-minútových intervaloch vpichuje ihlu umiestnenú na prístroji tak, aby vlastnou hmotnosťou vnikala do tuhnuceho lôžka cementu rozmiešaného s vodou na maltu vhodnej konzistencie. Na začiatku tuhnutia vniká ihla do malty výrazne, ale postupne čoraz menej až po ukončení tuhnutia nevniká do zatvrdnutej malty vôbec. Prístroj je opatrený milimetrovou stupnicou, a tak je možné zostrojiť krivku tuhnutia, kde na osi x je nezávisle premenný čas t a na osi y je hĺbka vniku ihly l , takže krivka je spravidla esovitého charakteru $l = f(t)$.

Predmetná metóda skúšania na uvedenom prístroji je v súčasnosti už väčšinou zautomatizovaná a je teda vhodná pre spojivá s ukončeným tuhnutím, kde malta stvrdne tak, že do nej ihla už vlastnou hmotnosťou nemôže vniknúť, rádo nielen niekoľkých hodín, ale i dlhší čas.

Proces hydratácie a následne tuhnutia mletej VPT rozrobenej s vodou na pastu je podstatne pomalší ako u cementových pást, napriek tomu je v reálnom čase 1, 2 až tri dni merateľný, pričom je funkciou jej aktivity a tak aj kvality, tj. ručný prístroj – podľa normy [9] je prakticky nevhodný. Avšak ak použijeme prístroj automatický, tj. odstránime ľudský faktor a nastavíme jednotlivé vpichy rádo vo hodinách a na čas dlhý niekoľko dní, vtedy sa dá pomerne presne a exaktne stanoviť krivka tuhnutia aj u zomletej VPT. Týmto prístrojom je možné efektívne a rýchlo sledovať kinetiku počiatkovej fázy jej tuhnutia ako funkciu jej mechanického spevňovania a zhutňovania štruktúry v dôsledku chemickej hydratačnej reakcie v úvodnej eta-

Tab. 1 Rozdelenie vhodnosti VPT do cementu a betónu na základe rýchlosti tuhnutia pri ich hydratácii s vodou ■ Tab. 1 Suitability distribution of BFS in cement and concrete based on the speed of setting while hydrating with water

Stupeň	VPT	Počiatok tuhnutia v čase [min]	Koniec tuhnutia v čase [min]
1	vyššie aktívna mletá	< 1 000	900 až 1 500
2	stredne aktívna mletá	1 000 až 2 000	1 500 až 4 000
3	nížšie aktívna mletá	> 2 000	4 000 až 10 000

pe tuhnutia až po tvrdnutie. Tak sa dá relatívne presne určiť počiatok tuhnutia (PT) i doba, tj. koniec tuhnutia (KT) hydratujúcich troskových mált a pást.

U tejto metódy je tak reprodukovateľnosť, ako i opakovateľnosť na vyhovujúcej úrovni nad 90 %, rovnako tak korelačný koeficient pri porovnávaní aktivity stanovenej novonavrhovanou metódou v porovnaní s normovou, doteraz používanou metódou v zmysle [1].

Touto metódou sa na popísanom technickom zariadení doteraz aktivity zomletej VPT nestanovovala a ani neboli v odbornej literatúre stanovené žiadne klasifikačné stupne, ktoré by popisovali aktivitu, či komplexnú kvalitu zomletej VPT.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Podľa vyššie uvedených kritérií možno z rady experimentov a na základe dlhodobého pozorovania chovania desiatok VPT v Považskej cementárni, a. s., Ladce ich vhodnosť do cementu i betónu rozdeliť na základe rýchlosti tuh-

nutia pri ich hydratácii s vodou do troch stupňov (tab. 1).

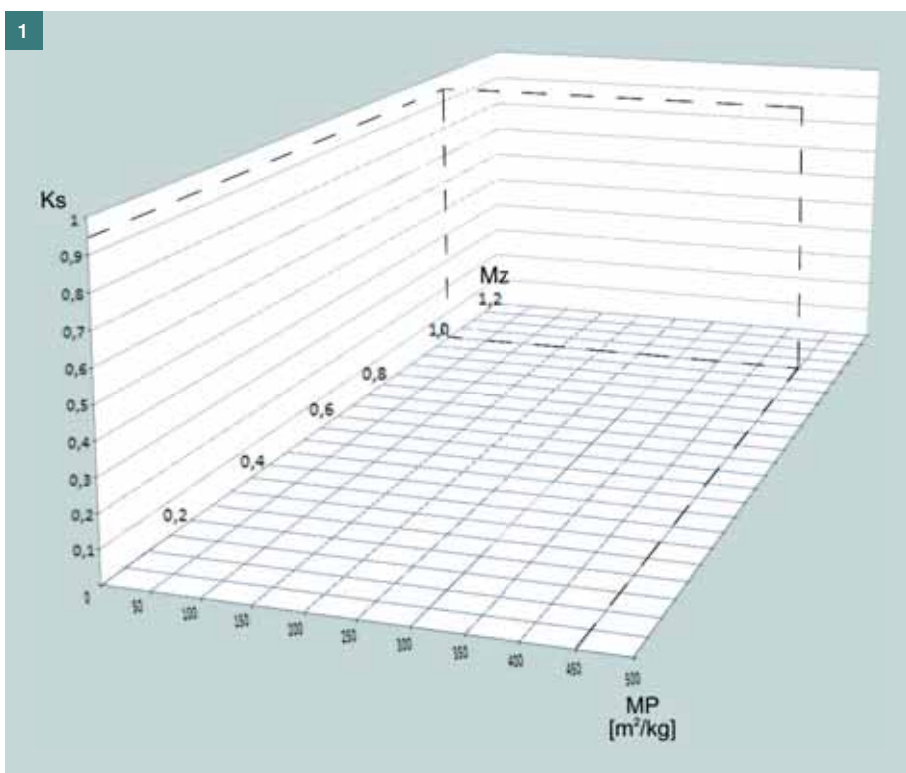
Z vyššie uvedeného vyplýva, že počiatok tuhnutia jemne mletej VPT je relevantná a kvalitu určujúca fyzikálna veličina a jej vypovedacia hodnota je zrovnateľná s normou stanoveným indexom aktivity. Naviac – uvedené tri kvalitatívne stupne možno dať do priamej korelačnej súvislosti s teoreticky vypočítaným tzv. „Ladeckým súčiniteľom“ ďalej označovaným L_s , ktorý možno nazvať „Súčiniteľ aktivity mletej VPT“ – SAM_{VPT} , ktorý sa vypočíta podľa vzorca

$$SAM_{VPT} = L_s = K_S M_z MP \text{ [m}^2/\text{kg]}, \quad (1)$$

kde K_S označuje koeficient sklovitosti, tj. podiel sklovitej fázy vo VPT, stanovený napr. mikroskopickou metódou počítaním sklovitých zŕn a vykryštalizovaných zŕn v prechádzajúcom svetle podľa [10]. Doba stanovenia na štandardnom mikroskope vrátane prípravy vzorky je cca 1 až 2 h. M_z značí modul zásaditosti vyjadrujúci podiel zásadotvorných a kyslotvorných prvkov

Obr. 1 Trojrozmerné znázornenie imaginárneho priestorového útvaru – kvádra (mierka je len iluzórna) L_s v jednotke efektívneho merného povrchu $[\text{m}^2/\text{kg}]$, $L_s = 0,95 \cdot 1 \cdot 450 \text{ [m}^2/\text{kg}] = 427,5 \text{ [m}^2/\text{kg}]$

■ Fig. 1 3D representation of imaginary space object – cuboid (the measure is only illusionary), L_s in effective measurement surface unit $[\text{m}^2/\text{kg}]$, $L_s = 0,95 \cdot 1 \cdot 450 \text{ [m}^2/\text{kg}] = 427,5 \text{ [m}^2/\text{kg}]$



Obr. 2 Vicatova krivka tuhnutia konkrétnej VPT ■ Fig. 2 Vicat's curve of setting time of specific BFS

vo forme hmotnostného podielu základných oxidov vo VPT, $(CaO + MgO) / (Al_2O_3 + SiO_2)$, hodnota sa vypočíta po chemickej analýze, ktorá stanovená na röntgenoflórescenčnom analyzátoe vrátane prípravy vzorky trvá menej ako 0,5 h [11]. $MP [m^2/kg]$ označuje merný povrch stanovený Blaineho metódou permeability vzduchu vzorkou cementu, či iného práškoveho spojiva podľa [12]. Doba stanovenia na jednoducho predpísanom prístroji, známej to U trubici, vrátane prípravy vzorky je menej ako 1 h.

Fyzikálny význam

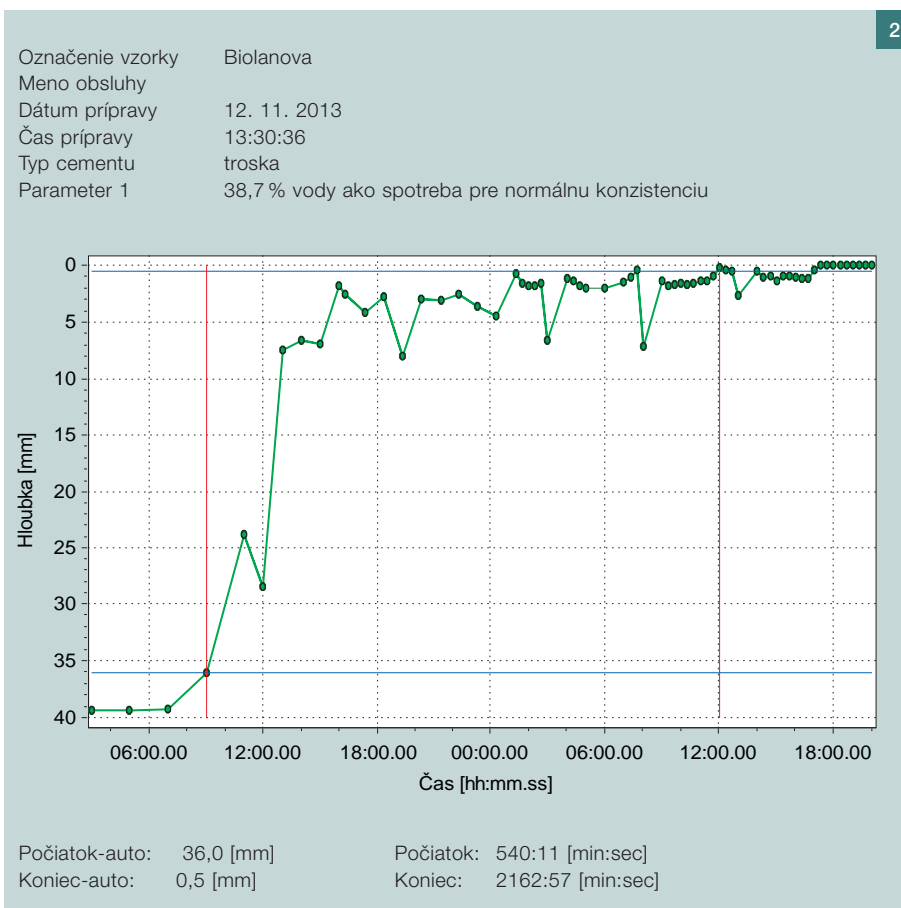
L_s vyjadruje mieru nárastu, či poklesu aktivity jemne zomletej VPT, ktorá priamo súvisí s následnou hydraulicitou po rozrobení s vodou, vyjadrenej fyzikálno-mechanickým parametrom – dosiahnutím vyššieho, či nižšieho merného povrchu, ktorý môžeme nazvať aj „efektívny MP “, oproti teoretickému ideálnemu stavu, kedy je podiel sklovitej fázy maximálnych 100%. Taktiež zohľadňuje činiteľ dôležitého chemického zloženia a známu skutočnosť, že bázickejšie VPT sú podstatne aktívnejšie, než VPT menej bázické alebo kyslé, ktoré do cementu základná cementárska norma ani nepovoľuje. Hodnota $M_z \geq 1$ je takmer ideálna, hoci existujú aj VPT s priaznivejším – vyšším modulom zásaditosti, avšak dosiaľ previerané VPT dostupné v stredoeurópskom regióne zvýšené hodnoty M_z nad 1,2 dosahovali len ojedinele.

Dosahovaný MP u mletej VPT je najvýznamnejšou i najviac variabilnou premennou a vzhľadom na vysoké náklady na mletie VPT je určujúci parameter jej kvality – jej hlavný hodnotiaci parameter.

Veličina L_s môže relatívne rýchlo, komplexne a exaktne určiť užitkovú hodnotu vyrábaných a na trhu dostupných mletých VPT v zmysle hodnotiacej normy formou „efektívneho merného povrchu“ a v praxi sa uplatní tak v cementárskom, ako i betonárskom priemysle.

Matematický význam

V trojrozmernom iluzórnom priestorovom diagrame (obr. 1) vytvára L_s kubický útvar – kváder – v imaginárnom fyzikálno-chemicko-mechanickom priestore, kde na osi z je v mierke 0 až 1,2 vy-



Tab. 2 Rozdelenie vhodnosti VPT do cementu a betónu na základe rýchlosti tuhnutia pri ich hydratácii s vodou ■ Tab. 2 Suitability distribution of BFS in cement and concrete based on the speed of setting while hydrating with water

Kategória	VPT	Počiatok tuhnutia v čase [min]	$L_s [m^2/kg]$
1	vyššie aktívna mletá	< 1 000	400 až 500
2	stredne aktívna mletá	1 000 až 2 000	300 až 400
3	nižšie aktívna mletá	> 2 000	200 až 300

Tab. 3 Kvantifikácia nárokov na proces mletia VPT na základe parametra K_s ■ Tab. 3 Quantification of requirement for milling process BFS based on the K_s parameter

Stupeň	Nároky na proces mletia VPT	$K_s [%]$
1	ťažko meliteľná	90 až 100
2	stredne meliteľná	75 až 90
3	ľahšie meliteľná	< 70

nesená hodnota M_z , na osi y je v mierke 0 až 1 vynesená hodnota K_s a na osi x je v mierke 0 až 500 m^2/kg vynesená hodnota MP .

Veľkosť takéhoto imaginárneho kvádra a teda hodnota L_s je pri relatívne stabilných bezrozmerných členoch K_s a M_z , viac-menej blízkych hodnote 1, určená najvýznamnejšou premennou $MP [m^2/kg]$, merané Blaineho metódou. MP je taktiež najviac variabilnou premennou, pretože na meliteľnosť VPT vplýva viacero faktorov. I keď samozrejme L_s nie je lineárne závislý na svojich troch činiteľoch v celom rozsahu od nu-

lovej hodnoty a presne proporcionálne v 1/3, s určitým priblížením sa dá povedať, že v užšom pracovnom rozsahu použitia mletej VPT v bežne používaných hraniciach 350 až 500 m^2/kg a v definičnom obore podľa [1] je linearita preukázateľná, pretože L_s je vo vyhovujúcej korelácii s indexom aktivity VPT stanoveným po 7 i 28 dňoch tvrdnutia v zmysle predmetnej normy [1, 13].

Proces hydratácie a následne tuhnutia sledovaného na automatickom Vicatovom prístroji mletej VPT rozrobenej s vodou na pastu je podstatne pomalší ako u cementových pást, rovna-

ko tak i vývoj pevností, napriek tomu je v reálnom čase 1 až 3 dní merateľný a je funkciou jej aktivity a tak aj kvality, tj. aj uvedeného ukazovateľa L_s .

Podľa vyššie uvedených kritérií možno empiricky, na základe dlhodobého pozorovania desiatok VPT v Považskej cementárni, a. s., Ladce [14] ich vhodnosť do cementu i betónu rozdeliť na základe rýchlosti tuhnutia pri ich hydratácii s vodou do troch kategórií (tab. 2).

Uvedený L_s pomerne exaktne a komplexne vystihuje všetky tri rozhodujúce činitele vhodnosti použitia VPT ako prídavku do cementov i betónov a určuje tak jej základnú užitkovú hodnotu v hydraulických vlastnostiach cez príspevok k vývoju pevností v zmysle [1, 15].

K_S vyjadruje vo vzťahu (1) fyzikálny vplyv, rýchlosť ochladenia VPT, teda podiel sklovitej fázy, tj. dostatočne vysokú vnútornú energiu, bežne 75 až 95 %, tj. pre príklad výpočtu použijeme hodnotu $K_S = 0,95$, M_z – vyjadruje chemický vplyv, tzn. zásaditosť VPT stanovenú bežným jednoduchým chemickým rozborom, bežne dosahuje hodnoty 0,95 až 1,1, tj. pre výpočet použijeme $M_z = 1$.

MP – nutný predpoklad dostatočnej aktivity VPT v cemente či betóne je jej dostatočne jemné zomletie na minimálne 350 m²/kg, optimálne 400 až 450 m²/kg (tá hodnota sa použije pre výpočet v príklade), ideálne nad 500 m²/kg, čo umožní dostatočne rýchly nábeh procesu hydratácie pri bežnej laboratórnej teplote. Dosiahnutý činiteľ MP možno s určitým priblížením charakterizovať ako mechanickú vlastnosť mlecieho zariadenia transformovať mlecíu energiu na zomletý materiál – VPT a takto schopnosť dostatočne zjemniť hrubú – prakticky nereaktívnu granulovanú VPT na jemný reaktívny sklovitý púder, schopný stuhnúť počas jedného až maximálne niekoľkých dní.

Príklad výpočtu súčiniteľa L_s reálnej jemne zomletej VPT

Príklad výpočtu aktivity a kvality obecné konkrétnej vysokokvalitnej zomletej VPT:

$L_s = 0,95 \cdot 1 \cdot 450 \text{ [m}^2/\text{kg]} = 427,5 \text{ [m}^2/\text{kg]}$
= vyššie aktívna VPT, ktorá tuhne spravidla v čase pod 1 000 min. merané Vicatovou metódou.

Podobne v minimálne troch stupňoch sa na základe parametra K_S dá pomerovo stanoviť kvantifikácia nárokov na proces mletia VPT (tab. 3).

ZÁVER

Na strane výrobcu uvedený spôsob sledovania aktivity jemne zomleanej VPT umožňuje operatívne v reálnom čase 1 až 2 h vykonávať kvalifikovaný zásah do procesu výroby dôležitej a základnej zložky betónu – jemne mletej VPT. Na strane spotrebiteľa (pri výrobe finálneho výrobku – betónu) zasa umožňuje na základe vypočítaného L_s určitú korekciu, či optimalizáciu množstva použitej mletej VPT do betónu [16] a jej kvantifikácia v kvalite sa môže stať efektívnym nástrojom pri preberke a kontrole v dodávateľsko-odberateľských vzťahoch. V cementárskom priemysle je možné pri včasnom a operatívnom sledovaní parametrov M_z a K_S vykonávať určitú korekciu množstva VPT pri namiešaní cementov druhu CEM II a CEM III, a tak optimalizovať jemnosť namiešania cementu pri zachovaní jeho konštantnej kvality.

Ing. Lubomír Ježo, PhD.
Považská cementáreň, a. s.
Ladce
e-mail: jezo.l@pcla.sk



prof. Ing. Dr. Martin T. Palou
Slovenská akadémia vied
FCHPT STU v Bratislave
e-mail: martin.palou@stuba.sk



Literatúra:

- [1] STN EN15167-1 Mletá granulovaná vysokopecná troska na použitie do betónov, mált a injektážnych mált, SÚTN, August 2006
- [2] Bárta R.: Chemie a technologie cementu, NČAV, Praha, 1961, s. 249, 294, 872
- [3] STN EN 197-1: Cement. Časť 1: Zloženie, špecifikácia a kritéria na preukazovanie zhody cementov na všeobecné použitie. SÚTN, Apríl 2002
- [4] Hlaváč J.: Základy technologie silikátů, SNTL, Praha, 1981, s. 450–468
- [6] Palou T. M., Jaklovský Š., Majling J.: Výroba p-cementu s vysokým obsahom aktívneho belitu na báze vysokopecnej trosky z US Steel vo VSH, a. s., Turňa, Cement. konf. „Cement 2002“, 10/2002, Stará Lesná, Vysoké Tatry
- [7] Asim M. E.: Die Verarbeitung von Hochofenschlacken zu Zement-Kalk-Gips, 1992, č. 10, s. 519
- [8] Jirku E.: Vysokopecná troska ako surovina na výrobu maltovín – požiadavky na technologické vlastnosti, IZ/HS č. 4–5/66, s. 2–13
- [9] STN EN 196-3: Metódy skúšania cementu. Stanovenie doby tuhnutia a objemovej stálosti. SÚTN 2005
- [10] STN P EN 196-4: Kvantitatívne stanovenie hlavných zložiek cementu, SÚTN 4/2004
- [11] STN EN 196-2: Chemický rozbor cementu, SÚTN 4/2004
- [12] STN EN 196-6: Metódy skúšania cementu. Stanovenie jemnosti mletia. SÚTN 08/2010
- [13] Uhrín M., Madej J., Horák I.: Technická pomoc pri overovaní a zavádzaní výroby jemne mletých granulovaných trosiek, Správa za etapu 1 – Laboratórne a technologické skúšky, Bratislava, jún 1994, s. 29
- [14] Madej J.: Technická pomoc pri overovaní a zavádzaní výroby jemne mletých granulovaných trosiek, Prehľad zahraničných poznatkov, Správa vypracovaná pre Považskú cementáreň, a. s., Ladce, Bratislava, jún 1995, s 9–15
- [15] STN EN 196-1: Metódy skúšania cementu. Stanovenie pevnosti. SÚTN 2010
- [16] STN EN 206-1 Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, SÚTN, 2004

DAS STRUCTURALE KOMPONIEREN VON TRAGWERKEN BEI JÖRG SCHLAICH

Dialektiku deduktívni a induktívni metódy v konštrukčnom inžinýrstve vysvetľujú architekt Oskar Büttner a stavební inžinýr Erhard Hamppe prostredníctvom konceptuálnych formulácií. Jednostranné vyhranené pracovné prístupy jsou však stále obvyklou normou v každodenní inženýrské praxi. A tak omezený (možná až úzkoprsý) postup od abstraktného ke konkrétnému (deduktívni metoda) nakoniec vede k navrhovaniu založenému na výpočtoch. Naopak, stejně omezený postup od konkrétného k abstraktnému (induktívni metoda) vede ke konštrukčným podřízeným formám. Jörg Schlaich se nikdy neomezil ani jedním z těchto přístupů. Místo toho k navrhování nosných konstrukcí využíval inženýrskou kompozici, aplikoval intuici a kreativitu jako nedílitelné součásti komplexního přístupu podloženého hlubokými teoretickými znalostmi. Podstatou inženýrské kompozice

nosných konstrukcí je dosažení „rovnovážného stabilního stavu“ mezi systémem zatížení a nosnou konstrukcí. Přejchod od nosného systému k nosné konstrukci je tam, kde se model stává skutečností a naopak přechod nosné konstrukce do nosného systému je tam, kde se skutečná konstrukce stane abstraktním modelem, aby se ukázala její nosná funkce. Oba přechody tvoří jádro řešení, kde se setkává analýza nosného systému a syntéza a kde je možné vyvíjet nové nosné konstrukce. Takové konstrukce však lze realizovat pouze za předpokladu, že v obou směrech zůstane otevřený plynulý přechod z jedné fáze do druhé, a pokud projektové i realizační týmy chtějí a jsou schopny se ztotožnit s takovou příležitostí. To je základním a podstatným rysem stuttgartské školy konštrukčních inženýrů a prací Jörga Schlaicha zvláště.

Bögle A., Kurrer K.-E.: Das structurale Komponieren von Tragwerken bei Jörg Schlaich, Beton- und Stahlbetonbau 109 (2014), Heft 11, pp. 829–837