

CEMENT A JEHO BUDÚCNOSŤ

Palou M., Ifka T., Jamnický M., Smrčková E. a Kovár V.

Oddelenie keramiky, skla a cementu, UACHTM FCHPT STU v Bratislave

Abstrakt

Základný a aplikovaný výskum stavebných materiálov je v oblasti cementárskeho priemyslu orientovaný na hľadanie spôsobov znižovania emisií CO₂ a zvyšovania výroby kvalitných cementov. Na dosiahnutie týchto cieľov je možné vyvíjať širokospektrálnu škálu zmesových cementov s nižším slinkovým faktorom, zaviesť výroby modifikovaných nízko energetických portlandských cementov, využívať alternatívne suroviny a palivá. Budúcnosť cementu závisí od niekoľkých faktorov: povedomie spoločnosti o globálnom otepľovaní, dostupnosť kvalitných surovín, rast cien energie, rozvoj cestnej a bytovej infraštruktúry, inovácia novej technológie (technológia splyňovania, fluidný výpal), využitie alternatívnych surovín a palív a výskum. Vývoj nových cementových produktov ako vysoko- a ultravysokohodnotných betónov (HPC a UHPC), samozhutiteľných betónov (SCC) a MDF cementov vyžaduje presné riadenie chemického, mineralogického a granulometrického zloženia samotného cementu. Nie je vylúčený vývoj nanocementu pre iné aplikácie než konštrukčné.

Úvod

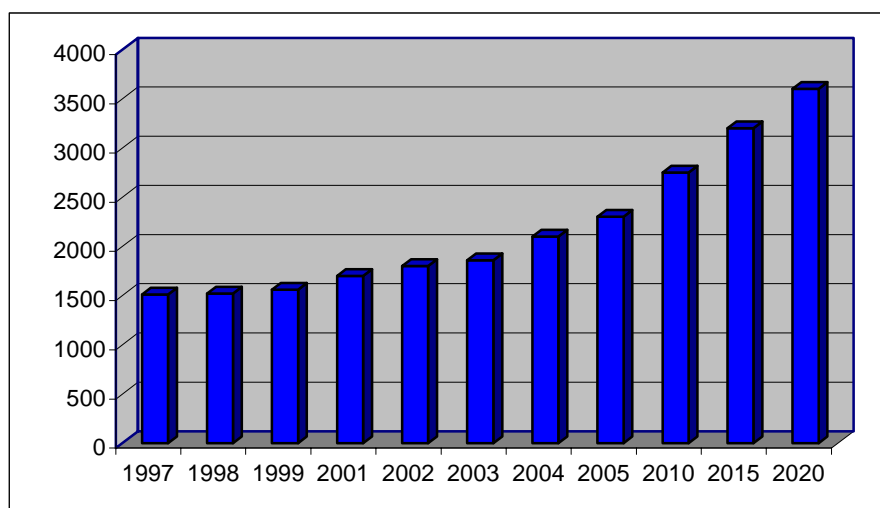
Stavebné materiály s hydraulickými vlastnosťami (takmer na báze PC) sú zďaleka najrozšírenejším materiálom na svete z hľadiska objemu produkcie[1]. Ekonomické, vedecké a demografické prognózy poukazujú na to, že vývoj a význam cementov ako aj nových druhov spojív sa bude zvyšovať. Cement sa vyrába všade z dostupných prírodných surovín bez náročnej ťažby a úpravy. Jeho aplikácia má dlhodobú tradíciu a je jednoduchá. Podstata výroby cementu spočíva v tepelnom spracovaní zmesi prírodných materiálov pri 1450 °C. Minerály surovinovej múčky sa v cementárskej peci rozložia a reakciami produktov rozkladu vzniknú nové fázy, ktoré si prechladením na normálnu teplotu uchovávajú určitý „energetický potenciál“ a tým špecifickú schopnosť reakcie s vodou. Slinkové minerály samovoľne reagujú s vodou za vzniku novej matrice s novou mikroštruktúrou, ktorá je nositeľom pevností [2]. Ide v podstate o zmenu mikroštruktúry za dodania energie, ktorá sa uvoľňuje ako hydratačné teplo pri tuhnutí a tvrdnutí cementov. Mechanické vlastnosti a trvanlivosti stavebných materiálov na báze cementov, ktoré sa dnes vyrábajú, vyhovujú v podstate účelom ich použitia v infraštruktúre, priemysle a bytovej výstavbe. Vďaka dostupnosti surovín a pomerne zvládanej technológii výroby je cement (veľmi) lacným stavebným materiálom (oproti sklu, drevu a železu). Taký stav je pre stavebný priemysel celkom vyhovujúci a konzervatívny trh stavebných materiálov nevyvíja tlak na inováciu nových cementových materiálov.

Príprava surovinovej múčky, výpal slinku pri teplote 1450 °C a mletie cementu si vyžaduje v najmodernejšom cementárskom závode so suchým spôsobom 3300 kJ / kg slinku. Veľká časť tejto energie sa spotrebováva na dekarbonizáciu surovinovej zmesi a na krytie tepelných strát pecného systému pri výpale slinku. Z toho vyplýva, že tepelnú spotrebu na prevádzkovanie výrobného zariadenia možno účinne znižovať buď znížením obsahu vápenca v surovinovej múčke alebo znížením teploty výpalu. Zníženie obsahu vápencov v surovinovej múčke vedie k zníženiu obsahu alitu a zvýšeniu obsahu belitu v slinku a tým k poklesu krátkodobých pevností, ktoré možno udržať na približne rovnakej úrovni len rýchlym ochladením slinkov, čo opäť vedie k zhoršeniu tepelnej bilancie výpalu [4,5].

Okrem energetickej náročnosti je výroba slinku sprevádzaná emisiou CO₂ z rozkladu vápenca a zo spaľovania fosílnych palív, ako aj ekvivalentné množstvo CO₂ z výroby elektrickej energie potrebnej na mletie, transport a iné operácie. Celková emisia CO₂ na kg slinku je 0,87 kg až 0,98 kg [3]. Nezanedbateľná je aj emisia NO_x, SO_x a prachu .

Súčasný stav problematiky výroby cementu

V posledných rokoch prežíval svet stavebný boom a podľa predpokladu sa bude dramaticky zvyšovať objem výroby cementu v nastávajúcich dekádach. Hoci spotreba cementu sa vo vyspelých krajinách zvyšuje pomaly, v rozvojových krajinách je tento nárast 55 percentný. Predpokladá sa, že v roku 2020 narastie svetová spotreba cementu o 115-180 % v porovnaní s rokom 1990.



Vývoj produkcie cementu od roku 1997 s predpokladom do roku 2020 [4]

Hoci súčasný stav je uspokojaci, budúcnosť cementárskeho priemyslu závisí od niekoľko faktorov:

Povedomie obyvateľstva o klimatických zmenách

Všeobecne je akceptované, že klimatickú zmenu spôsobujú skleníkové plyny, medzi ktorými je CO₂ hlavnou príčinou globálneho oteplenie. Kyótsky protokol o znížení emisií skleníkových plynov a o pridelení kvóty emisie CO₂ je jedným, ale podstatným z doteraz prijatých opatrení trvalo udržateľného rozvoja na zmierenie klimatických zmien. Koncentrácia skleníkových plynov v 20-tom storočí mimoriadne vzrástla. Tento jav je spojený s ľudskou činnosťou pri používaní fosílnych palív, v poľnohospodárstve a úbytku pôdy (najmä odlesňovanie). Podľa údajov z literatúry [3], výroba cementu je zodpovedná za 5 až 8 hm. % celkovej emisie CO₂. V porovnaní s post industriálnou érou, koncentrácia CO₂, metánu (CH₄) a N₂O vzrástla o 37, 153 a 19 hm. % resp., aby dosiahla dnešnú úroveň 381 ppm CO₂, 1775 ppb CH₄ a 320 ppb.

Trvalo udržateľný rozvoj

Trvalo udržateľný rozvoj podľa World Business Council for Sustainable Development (Rada Svetového obchodu pre Stálo udržateľný rozvoj) je definovaný ako „forma pokroku, ktorá uspokojuje súčasné potreby bez ohrozenia (kompromitovania) schopnosti budúcich generácií zabezpečiť si (uspokojiť) svoje potreby“. WBCSD pokračuje: „Vzhľadom na rozsah chudoby na svete, je výzva uspokojiť naše potreby naliehavá a urgentná. Musíme však hľadiť vpred a urobiť všetko, čo je v našich silách, aby sme zabezpečili, že to, čo robíme dnes pre neustále rastúcu populáciu, nebude kompromitovať environmentálne, sociálne a ľudské potreby našich potomkov“.

Ohrozuje súčasná výroba cementu jeho budúcnosť?

Súčasný a budúci osud výroby cementu závisí od environmentálnych a energetických aspektov na jednej strane a na strane druhej od kvantitatívnych a kvalitatívnych požiadaviek spoločnosti. V posledných 20. tých rokoch prekonal cementársky priemysel mnohé prekážky inováciou novej technológie a vývojom nových produktov. Tieto pozoruhodné pokroky mali za následok starostlivosť o životné prostredie, lepšie sociálne podmienky zamestnancov a ekonomický rast. Cementársky priemysel sa stal riešením pre mnohé akútne problémy tým, že sa vyvinuli nové kompozity na báze cementu.

Dostupnosť kvalitných surovín

Výroba cementu je založená na použití neobnoviteľných surovín a často je spojená s odlesňovaním. Odlesňovanie prispieva ku globálnemu otepľovaniu, čím sa znižuje schopnosť zeme pohlcovať CO₂. Kvalita surovín (chemické a mineralogické zloženie,

homogenita, fyzikálne vlastnosti) je hlavnou podmienkou výroby kvalitných produktov. Mnohé cementárne zápasia s problematikou kvalitných surovín.

Využitie alternatívnych surovín

Cementársky priemysel má obrovskú možnosť zužitkovať vhodné priemyselné odpady a vedľajšie produkty na výpal slinku, tak ako aj na výrobu zmesových cementov. Využitie alternatívnych surovín prispieva k zníženiu emisií CO₂ pri výrobe cementu a prespieva k riešeniu ekologických problémov so skladovaním a zhodnocovaním odpadov. (troska, popolčeky, karbidové vápno, energo a chemo sadrovce).

Využitie alternatívnych palív

Cementársky priemysel ponúka lepšiu variantu energetického a čiastočne materiálového zhodnotenia obrovského množstva a širokého sortimentu odpadov vo forme alternatívnych palív. Odpad ako alternatívne palivo musí spĺňať tri základne podmienky (chemické zloženie, výhrevnosť a vlhkosť) a nesmie mať negatívny vplyv na kvalitu produktu, na sprevádzkovanie zariadení a na bezpečnosť a zdravie pracovníkov. Energetické a materiálové zhodnocovanie odpadov v cementárskej rotačnej peci prispieva k ušetreniu fosílného paliva, k zníženiu globálnej emisie CO₂ a k riešeniu ekologických problémoch pri skladovaní a spaľovaní v bežných spaľovniach.

Inovácia novej technológie

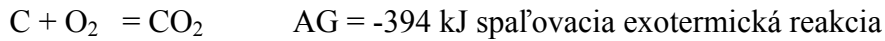
Inovácia novej technológie a produktov má byť hnacou silou stálo udržateľného rozvoja cementárskeho priemyslu.

Gasification technology – technológie splyňovania tuhých palív, zameraná najmä na alternatívne palivá.

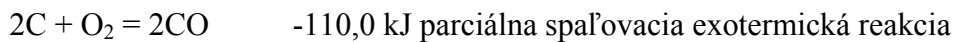
Splyňovanie je proces, ktorý dokáže meniť tuhé a kvapalné palivá na veľmi čisté energie. Táto technológia je vhodná nielen pre fosílna palivá (uhlie, lignit), ale najmä na zhodnocovanie alternatívnych palív (TAPI, pneumatiky, ťažké vykurovacie olej, biomasa a zvyšky ropy a pod.). Princíp spočíva v tom, že v systémoch účelného splyňovania s kombinovaným cyklom (IGCC - Integrated Gasification Combined Cycle) tuhé alebo kvapalné palivo nie je priamo spaľované, ale podstechiometricky reaguje s kyslíkom a parou a

tak sa vytvára syntetický plyn - „syngas“. Syntetický plyn sa po čistení spaľuje v plynovej turbíne na výrobu elektrickej energie.

Klasické spaľovanie je exotermická reakcia medzi uhlíkom a kyslíkom za vzniku CO₂ podľa rovnice 1



Proces splyňovania je parciálna exotermická reakcia medzi uhlíkom a kyslíkom za vzniku CO podľa rovnice 2



Množstvo vzduchu závisí od druhu a vlastností alternatívneho paliva (výhrevnosť a obsah popola) a činí max. 50 až 60 % teoreticky potrebného spaľovacieho vzduchu. To umožňuje udržať teplotu plynu v rozmedzí 800 až 900 °C. Táto nízka teplota zabezpečuje, že nedôjde k taveniu popola. Nový plyn sa stáva plynným palivom, ktoré reaguje dokonale s kyslíkom v kalcinátore a tým odovzdá teplo priamo materiálu. Teplo slúži na rozklad vápenca. Popol alebo škvara z alternatívneho paliva (materiál- surovina) postupuje do rotačnej pece a participuje na fyzikálnom a chemickom procese tvorby slinkových minerálov. Veľkou výhodou tohto procesu je, že zložky popola z alternatívnych palív sú chemicky viazané v slinkových mineráloch.

Rozšírenie výroby zmesových cementov

1. CEM II A(B)-L(LL)

Vápenec ako zložka cementu

Všeobecne je akceptovaný, že vápenec je inertnou zložkou

Vápenec ako jemné plnivo

Vývoj samozhutnujúcich cementov

2. CEM III, CEM IV a CEM V

3. románsky cement pre rekonštrukciu pamätných budov: hrady, kaštieľ, kostol a historické budovy

4. Vývoj nových cementových kompozitov pre murivo

Vývoj nových typov cementových kompozitov

Vývoj nových stavebných materiálov ako MDF, geopolymerné cementy a samo zhutňujúce cementy – (self compacting cement SCC) s vyššou prídavnou kvalitatívnou hodnotou zvyšuje ich cenu tak, že tieto materiály nie sú cenovo konkurencieschopné. Práve táto skutočnosť a rastúca spotreba stavebných materiálov sa stali hnacou silou výskumu nových produktov, alternatívnych palív a surovín a technologických procesov (Hot-disc). Výskum v oblasti stavebných materiálov trpí nedostatkom finančných prostriedkov a aj záujem spoločnosti o nové produkty je nízky. Napriek tomu vedci, akademici a pedagógovia v oblasti výroby a aplikácie hydraulických stavebných materiálov vyvíjajú enormné úsilie na hľadanie riešenia akútnych problémov cementárskeho priemyslu (využitie alternatívnych palív a surovín, vývoj nových superplastifikátorov, vývoj redukčných činidiel na Cr⁶, vývoj intenzifikátorov výpalu a pod) a skúmajú vplyv fyzikálnych a chemických pochodov na mikro a nano úrovni na úžitkové vlastnosti betónov.

Aplikácie nových metódik vo výskume maltovín

Najnáročnejšou záležitosťou vo výskume cementu je, že slinky, cementy a betóny sú komplexné a heterogénne systémy. Mechanizmus a kinetika heterogénnych reakcií tvorby slinkových minerálov a ich polymorfnej premeny, fyzikálne a chemické reakcie pri hydratácii, tuhnutie a tvrdnutie, interakcie slinkových minerálov s prísadami a kompatibilita cementov s plastifikátormi sú komplikované procesy, ktoré vyžadujú základný výskum. Na objasnenie a pochopenie týchto procesov je nevyhnutné používať nové experimentálne metódy, moderné zariadenia a prístroje, výpočtové metódy a techniky ako:

- Rietveldová analýza RTG dáta, čo umožňuje kvantifikovať zložité tuhé roztoky a zmesi.
- Rastrovací a transmisný elektrónový mikroskop spojený s mikro analýzou na určenie vývoja mikroštruktúry a mikrochémie cementových fáz
- Nukleárna magnetická rezonancia (NMR), táto technika umožňuje získať zaujímavé informácie o štruktúre CSH a o štruktúre pórov v cementových materiáloch.

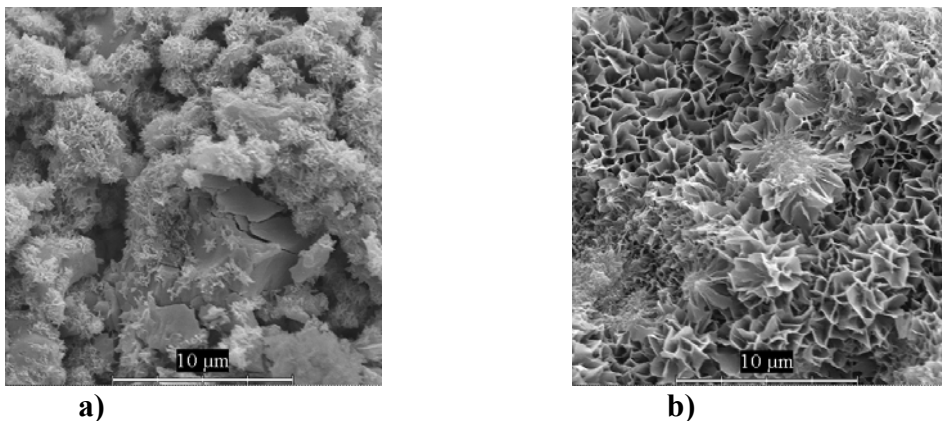
Tieto moderné metódy môžu pomôcť pri vyšetrení:

- vplyvu použitia alternatívnych palív a surovín na reaktivitu slinkových minerálov

- spôsobu distribúcie a integráciu minoritných anorganických zložiek obsiahnutých v palivách a surovinách do jednotlivých slinkových minerálov
- mechanizmu imobilizácie ťažkých kovov v slinkových mineráloch a následne v hydratačných produktoch

Nanocementy, MDF materiály, samozhutmiteľné betóny, vysoko a ultravysokohodnotné betóny, geopolymerné cementy a povrchovo aktívne materiály predstavujú nové pole pre základný výskum cementu v súčasnosti aj v budúcnosti. Tieto ciele by bolo iste možné dosiahnuť plánovaným skúmaním vplyvov rôznych činiteľov, ale veľký krok dopredu by nesporne znamenalo pochopenie mechanizmu reaktivity a hydratácie na atomárnej úrovni a riadenie vývoja mikroštruktúry stavebných materiálov na dosiahnutie vyšších kvalitatívnych hodnôt.

Aplikácia sól-gél metódy pri syntéze nanočastíc slinkových minerálov umožnila pripraviť veľmi aktívne hydraulické materiály. Napríklad C_2S (obr. 1) a C_2AS , ktoré majú slabé hydraulické vlastnosti, sú veľmi aktívne, ak sú syntetizované sól-gél metódou [5]. Nanotechnológia raz umožní pripraviť inteligentné cementové materiály (Smart materials) pre špeciálne aplikácie. To sú materiály, ktoré niektoré svoje vlastnosti vhodne menia pri reakcii na zmenu okolitého prostredia. Predpokladom pre rozvoj inteligentných cementov (betónov) je zvládnutie nanotechnologických operácií umožňujúcich vytváranie priemyselne koncipovanej materiálovej štruktúry na molekulovej úrovni.



**Obr. 1 Mikroštruktúra hydratovanej vzorky C_2S syntetizovanej
a) konvenčným výpalom a b) sól-gél metódou**

Cement budúcnosti

V súčasnosti smeruje aplikovaný výskum hlavne do nasledujúcich oblastí:

- znižovanie a použitie (sekvestrácia) CO_2 z výroby cementu
- intenzifikácia využitia alternatívnych palív vrátane biomasy a alternatívnych surovín
- vývoj modifikovaných nízko energetických portlandských slinkov

- vývoja nových binárnych a ternárnych zmesových cementov s nízkym slinkovým faktorom (nových zmesových cementov)
- vývoja nových cementových materiálov
- vývoja kompozitných betónov s minimálnom environmentálnym dopadom výberom typu cementov, typu a dávkovania vedľajších materiálov a kvality.
- využívania potenciálnej možnosti recyklovať betón

Vývoj modifikovaných nízko energetických portlandských slinkov

Ako vyplýva z názvu, jedná sa o výrobu cementov so zníženými nárokmi na spotrebu energie s následnou redukciou emisií CO₂ a spotreby fosílnych palív. S ohľadom na tieto skutočnosti došlo k vývoju nových modifikovaných portlandských cementov v rámci oxidovej sústavy CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-SO₃. Tieto nové slinky resp. cementy patria do veľkej skupiny „Nízko energetických cementov“, ktoré v podstate môžeme rozdeliť do troch kategórií [6-11]:

1. kategória nízko energetických cementov s vysokým obsahom aktívneho C₂S. Tento cement obsahuje podstatne menej C₃S. Ostatné mineralogické zloženie je podobné ako v portlandskom cimente. Zvýšenie aktivity belitických cementov zabezpečuje
 - rýchle chladenie slinku
 - stabilizácia vysoko teplotnej polymorfnej modifikácie belitu
 - adícia prímiesí a prísad
2. kategória nízko energetických cementov bez C₃S, ale obsahujúcich C₂S, C₄A₃ \bar{S} , C \bar{S} , C₄AF, CF, C₂F, C₃A a pod.
3. kategória nízko energetických cementov obsahujúcich C₃S, C₂S, C₄A₃ \bar{S} , C \bar{S} a C.

Dve posledné kategórie predstavujú sulfoaluminátové belitové cementy. Hlavným motívom ich vývoja bola predstava o znížení skleníkových plynov a energetickej náročnosti výpalu portlandského slinku [6,7].

Jediným spôsobom aspoň čiastočného zníženia CO₂ je preto zníženie zastúpenia vápenca v surovinovej zmesi alebo zužitkovanie vedľajších a priemyselných odpadov. Zníženie vápenca vedie k zníženiu obsahu alitu (C₃S) a zvýšeniu obsahu belitu (C₂S) v slinku a tým k poklesu počiatkových pevností, čo je nevýhodné pre väčšinu priemyselných aplikácií. Prítomnosť C₄A₃ \bar{S} a C \bar{S} zabezpečuje rast počiatkových pevností a spolu s C₂S tvoria nový slinok označený ako „SULFOALUMINATOVÝ BELITOVÝ tzv. SAB cementy“ [5, 9, 11]

Modifikované nízko energetické slinky na báze alternatívnych surovín

Pri tejto práci sme čiastočne nahradili pecovú múčku fluidným popolčekom a mletou troskou. Cieľom práce bola syntéza modifikovaných portlandských slinkov obsahujúcich $C_4A_3\bar{S}$. Na základe algoritmu výpočtu surovinových a mineralogických zložiek, bolo vybratých sedem vzoriek s rôznym obsahom voľného vápna tak, aby výpal pri 1350 °C viedol k tvorbe aj C_3S podľa reakcie



Táto reakcia prebieha nad 1250 °C.

Tab. 1 Zloženie surovinových zmesí

Vzorka	Pecová múčka	Fluidný popolček	Mletá troska
1.	91	9	0
2.	88,47	9	2,52
3.	85,94	9	5,06
4.	83,41	9	7,59
5.	80,77	9	10,12
6.	78,33	9	12,67
7.	75,80	9	15,20

Algoritmus výpočtu umožňuje nahradiť pecovú múčku alternatívnymi surovinami, čo znižuje emisiu CO₂, pretože ani popolček ani troska nie sú nositeľom karbonátov.

Tab.3 Mineralogické zloženie vzoriek vypálených pri 1350 °C

Vzorka	C ₂ S	C ₃ S	C	C ₄ AF	C ₄ A ₃ \bar{S}	C \bar{S}
1.	41,9	32,05	4,12	11	8,61	2,2
2.	53,3	19,7	5,17	10,75	8,82	2,2
3.	54,75	20,3	3,00	10,54	9,03	2,2
4.	60	16	2,06	10,25	9,25	2,2
5.	65	11,8	1,094	10	9,47	2,2
6.	71	6,8	0,33	9,75	9,68	2,2
7.	78,1	0	0,03	9,5	9,9	2,2

Využitie alternatívnych surovín pri výrobe PS vo VSH a.s.

V rokoch 2002 až 2006 sme študovali možnosti použitia UHKT (umelá hutná kryštalická troska) na výrobu portlandského slinku v rotačnej peci. Dôvody, pre ktoré je výhodné používať UHKT-VP (kryštalickú vysokopecnú trosku) pri výrobe portlandského slinku sú predovšetkým: zhodnocovanie odpadov vo forme alternatívnych surovín, zníženie emisie CO₂ a úspora energie a prírodných neobnoviteľných vápencov.

Úlohou tohto aplikovaného výskumu bolo zabezpečiť homogenitu surovinovej zmesi z hľadiska chemického a granulometrického zloženia surovinovej múčky. Vzhľadom na rozdielnosť v meliteľnosti jednotlivých surovín (kryštalickej vysokopecnej trosky, vápenca, ílu a železitej prísady), mení sa chemické zloženie surovinovej zmesi s granulometrickým zložením. Ďalšou úlohou bolo štúdium reaktivity surovinovej múčky obsahujúcej vysokopecný štrk. Surovinové zložky sú po rozklade aktívnejšie a lepšie reagujú. Samostatné mletie UHKT-VT a následné miešanie so surovinovou zmesou (z vápenca, ílov a Fe- prísady) a rekonštrukcia pecnej linky umožnili pripraviť surovinovú múčku s rovnomerným granulometrickým a chemickým zložením.

Tab.5 Súhrn výsledkov

	Blaine m ² .kg	Tuhnutie			Pevnosť v tlaku		
		Spotreba vody %	Tuhnutie		T ₁ MPa	T ₂ MPa	T ₂₈ MPa
			zač. hod.	doba hod.			
Cement s UHKT-VP-06	299.9	24.9	2:59	4:09	12.8	20.9	53.7
Cement bežný	325.2	24.8	2:13		12.8	21.4	53.9

Fyzikálne a mechanické vlastnosti nového cementu sú totožne s vlastnosťami bežného cementu.

Tab.5 uvádza výsledky fyzikálno-mechanických vlastností cementov pripravených počas riešenia projektu. Cement pripravený za laboratórnych podmienok zo surovinovej zmesi obsahujúcej UHKT-VP má štandardné vlastnosti. Cement vyrobený za prevádzkových podmienok zo surovinovej múčky získanej spoločným mletím s UHKT-VP má vlastnosti belitického cementu. Po rekonštrukcii pecnej linky a zavedení samostatného mletia UHKT-VP sme dokázali pripraviť surovinovú múčku s rovnomerným granulometrickým a oxidovým zložením, čo nám umožnilo vyrábať cementy so štandardnými vlastnosťami pri ušetrení

prírodných surovín, znížení emisného faktoru CO₂ a pri znížení energetickej náročnosti pri rovnakom výkone rotačnej pece.

Intenzifikácie výroby zmesných cementov

Aktuálna STN EN 197 – 1 uznáva 27 portlandských cementov rozdelených do piatich skupín. Len CEM I pozostáva zo slinku a sadrovca. Ostatné cementy sú zmesové cementy s 6 – 20 % u typu A a 21 – 35% u typu B prídavku latentných anorganických materiálov (kremičitý úlet, puzolány, popolčky, kalcinovanú bridlicu, alebo vápenec). V súčasnosti sa vývoj orientuje na ternárne systémy pozostávajúce z portlandského slinku a prímеси dvoch zložiek. CEM II / A-M alebo CEM II /B-M 20 % u typu A – M a 21 – 35% u typu B – M. Zdá sa, že s rastúcou cenou vysokopecnej trosky, cementárne alebo betonárky budú vyvíjať nové zmesové cementy. Skúšky realizované v PCLA a.s. poukazujú na nutnosť dlhodobého sledovania vlastností týchto cementov a mapovať oblasť aplikácie jednotlivých zmesových cementov. V tejto oblasti je veľký potenciál pre zužitkovanie priemyselných odpadov, prírodných puzolánových surovín, mletého vápenca a pod.

Táto práca bola realizovaná vďaka podpory VEGA č. 1/0571/08

Literatúra

1. Karen L. Scrivener, R. James Kikpatrick, *cem. Concr. Res.* 38(2008) 128-136
2. Hewlett P.C., *Lea's Chemistry of cement and concrete*, 4th ed. St. Edmundsbury Press, 1998
3. J. S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino, E.M. Gartner, *Cem. Concr. Res.* 38(2008) 115-127
4. Martin Palou, cementárska konferencia 2006, Stará Lesná 2006
5. Dovál' Martin .: Dizertačná práca, STU, Bratislava, 2006
6. Sahu S.: Developments in low energy clinkers, *Ceramics*, 1994, str. 191- 200,
7. Muzhen, Kurdowski W. and Sorrentino F.: Development in non-portland cements, 9th ICCS, New Delpi, 1992, Vol. 1, str. 317-354.