

PRELIMINARNO ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE CEMENTA NISKE TOPLOTE HIDRATACIJE U TC KAKANJ

THE PRELIMINARY EXAMINATION OF THE PRODUCTION POSSIBILITY OF LOW HEAT HYDRATATION CEMENT IN CF KAKANJ

Prof. dr. sc. Ilhan Bušatlić¹, doc. dr. sc. Nevzet Merdić², doc. dr. sc. Nedžad Haračić², as.
Amna Karić¹, dipl. ing., Sumeja Hibović¹, dipl. ing.

¹Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale
Zenica, Bosna i Hercegovina

²Kakanj cement, Heidelbergcement Grup
Kakanj, Bosna i Hercegovina

Ključne riječi: cement, toplota, hidratacija, elektrofilterski pepeo

REZIME

Cement je mineralno hidraulično vezivo koje nastaje sinterovanjem (termičkom obradom) osnovnih minerala cementnog klinkera na temperaturi sinterovanja. U cementnom kompozitu jedino cement reakcijom s vodom razvija toplotu, pa se određivanjem toplote hidratacije cementa dobija slika o količini toplote, odnosno temperaturi masivnog betona. Ugrađivanje cementa nepoznatih termičkih osobina može dovesti do razvijanja velike količine toplote i visokih temperatura, što uzrokuje veliko stezanje betona uz stvaranje brojnih pukotina u betonskoj masi. Time je oslabljena kompaktnost betona, a ujedno i otvoren put u masu raznim korozivnim tvarima. Za određivanje toplote hidratacije cementa u ovom radu korištena je kalorimetrijska metoda, odnosno metoda otapanja. Elektrofilterski pepeo, ima veliki uticaj na dobivene vrijednosti toplote hidratacije, te se može ustanoviti da što je veći sadržaj pepela u cementu, to je toplota koja se oslobađa za vrijeme procesa hidratacije manja.

Keywords: cement, heat, hydration, fly ash

ABSTRACT

Cement is a mineral hydraulic binder which is formed by sintering (heat treatment) primary minerals of cement clinker at a sintering temperature. In the cement composite only cement releases heat by reaction with water, and image about the amount of heat or about temperature of solid concrete is obtained by determination of the heat of hydration of cement. Incorporation of cement with unknown thermal properties can lead to the release of large amounts of heat and high temperatures, which causes a large tightness of concrete with the creation of numerous cracks in the concrete mass. With that the compactness of concrete is weakened, and also the way to the mass is opened for various corrosive substances. In this paper, calorimetric method, or a method of dissolving was used for determination of the heat of hydration of cement. Fly ash, has a great influence on the obtained values of the heat of hydration, and it can be determined that with the higher the content of fly ash in cement, the heat that is released during the process of hydration is less.

1. UVOD

Osnovni hemijski sastojci cementa, odnosno cementnog klinkera, su oksidi kalcijuma, silicijuma, aluminijuma i željeza (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3). Data jedinjenja se u cementu ne javljaju kao slobodna, već su ona uvijek u vidu različitih kompleksnih jedinjenja, a osnovna su: dikalcijum-silikat (C_2S), trikalcijum-silikat (C_3S), trikalcijum-aluminat (C_3A) i tetrakalcijum-alumo-ferit (C_4AF).

Miješanjem cementa sa vodom dolazi do reakcije hidratacije između konstituenata cementa s vodom, tj. dolazi do hidratacije cementa [6]. U striktno hemijskom smislu, hidratacija predstavlja reakciju između bezvodne (anhidritne) komponente i vode pri čemu nastaje nova komponenta, hidrat [2,6]. U hemiji cementa pod hidratacijom se podrazumijeva reakcija između nehidratisanog cementa ili jedne od njegovih komponenti sa vodom, pri čemu dolazi do određenih hemijskih i fizičko-mehaničkih promjena koje za posljedicu imaju vezivanje, ugušćivanje i skrućivanje (solidifikaciju) cementne smjese u čvrstu masu sličnu kamenu [6]. Razumijevanje problema vezanih za trajnost betona napravljenog od cementa, kao što su otpornost na cikluse smrzavanja uz prisustvo soli, brzina karbonizacije, sulfatna otpornost, naknadno formiranje etringita i slični problemi zahtijevaju poznavanje procesa hidratacije kao i produkata nastalih tim procesom [2,6].

2. TOPLOTA HIDRATACIJE CEMENTA

U toku reakcije koja se dešava pri dejstvu vode na cement, a koja ima za posljedicu vezivanje i očvršćavanje cementne mase oslobađaju se znatne količine toplote. Ova se toplota naziva toplotom hidratacije cementa. Pri običnim građevinskim radovima toplota oslobođena pri hidrataciji cementa ne predstavlja problem na koji bi trebalo obratiti pažnju jer se ona gubi zračenjem u atmosferu. Međutim pri izgradnji betonskih objekata velikih masa, kao što su naprimjer hidro-brane, količine toplote razvijene u tako velikoj masi mogu biti izvanredno velike pogotovo što su potencirane slabom toplotnom provodljivošću betona koja sprječava transfer toplote iz unutrašnjosti betonske mase na površinu odnosno u atmosferu. Ovo dovodi do visokih temperatura u samoj betonskoj masi koje mogu dostići i vrijednosti iznad 60°C koje mogu postati uzrokom raznih destrukcija koje se mogu javiti u još neočvrstjeloj betonskoj masi. Ove visoke temperature izazivaju naglo sušenje betonske mase koja se nalazi u fazi hidratacije usljed čega može doći do gubitka vode koja je potrebna za hidrataciju hidrauličnih sastojaka iz cementa. Ukoliko je proces hidratacije i bio završen, visoka temperatura na kojoj se zagrijava betonska konstrukcija velike mase dovodi do naglog sušenja i skupljanja monolitne betonske mase, a što ima za posljedicu stvaranje raznih pukotina u samom betonu. Time se otvara ulaz za eventualni prodor korozivnih voda čime se destrukcija cijele konstrukcije još više ubrzava. Stoga je pri izgradnji betonskih konstrukcija velikih masenih gabarita od presudnog značaja poznavanje karakteristika cementa u pogledu toplote hidratacije, odnosno toplote koju ti cementi razvijaju pri procesu svoje hidratacije [5].

2.1. Reakcije procesa hidratacije cementa

Silikati i aluminati prisutni u cementu reaguju sa vodom pri čemu formiraju odgovarajući hidrat, koji s vremenom očvršćavaju u čvrstu masu. Nastala jedinjenja očvršćavaju različitim brzinama. C_3S hidratizira vrlo brzo i odgovoran je za početne čvrstoće cementa. S druge strane, $\beta\text{-C}_2\text{S}$ očvršćava daleko sporije.

Hidratacija cementa je vrlo složen proces koji je vrlo težak za izučavanje zbog karaktera nastalih produkata. Naime, rezultat hidratacije nisu kristalični produkti, već, želatinozni - amorfni produkti ili slabo kristalični produkti, koje je teško pratiti i definisati uobičajenim metodama (difrakcija X-zraka). Glavni produkt, koji je veoma važan s obzirom da je nosilac čvrstoće, je slabo kristalični hidratizirani kalcijum silikat (CSH), koga često nazivamo *tobermoritni gel*. Sastav ovog produkta je neizvjestan, jer varira u pogledu stehiometrijskih

odnosa CaO/SiO_2 i $\text{SiO}_2/\text{H}_2\text{O}$. Uz to može sadržavati i neke ione, kao što su: Al^{3+} , Fe^{3+} i SO_4^{2-} kao i hidrate neizreagiranih oksida kalcijuma i aluminija, zatim alumosulfatne hidrate i vodu.

Hidratacija industrijski dobijenih Portland-cemenata se ponekad odvija drugačije u odnosu na hidrataciju pojedinih minerala klinkera. Reakcije hidratacije pojedinih konstituenata utječu jedna na drugu i kao rezultat toga uspostavlja se nova hemijska ravnoteža u tečnoj fazi, a sve to znatno utječe na formiranje produkata hidratacije.

Utjecaj elektrofilterskog pepela na hidrataciju Portland-cementa zavisi o doziranju i vrsti elektrofilterskog pepela, odnosno o njegovoj reaktivnosti. Razvijena toplota hidratacije u Portland-cementu s dodatkom elektrofilterskog pepela u principu se smanjuje, a taj efekat se iskorištava za komponiranje cementnih kompozita s niskom toplotom hidratacije. Samo u nekim slučajevima zamjene Portland-cementa elektrofilterskim pepelom klase C (visok sadržaj CaO) toplota hidratacije nije bila snižena. Ovakvi pepeli sa značajnom količinom CaO imaju latentne hidraulične osobine, što znači da u prisustvu vlage pokazuju pucolansku aktivnost.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Toplota hidratacije metodom otapanja određuje se u kalorimetru koji je prikazan na slici 1.



Slika 1. Kalorimetar

Standard EN 196-8 je europska metoda za određivanje toplote hidratacije cementa pomoću kalorimetra za otapanje, poznata i kao metoda otapanja. Metoda se sastoji od mjerenja toplote otapanja u mješavini kiselina nehidratiziranog cementa i hidratiziranog cementa pod normom propisanim uvjetima, kroz unaprijed određen vremenski period.

Toplota hidratacije za svaki period H_i proizilazi iz razlike između toplote hidratacije nehidratiziranog cementa, Q_a i one hidratiziranog cementa, Q_i [7].

Korigirani prirast temperature se računa iz jednadžbe (1) [7]:

$$\Delta T_C = (\bar{T}_{30} - T_0) - 2[(T_0 - \bar{T}_{-15}) - K(\bar{T}_{30} - T_0)] \quad \dots(1)$$

gdje je:

K – koeficijent toplotnih promjena, u Kelvinima po 15 min po Kelvinu temperaturne razlike,

$$(\text{K}/15\text{min K}^{-1})$$

Toplota otapanja nehidratiziranog cementa \bar{Q}_a , (J/g), računa se iz jednadžbe (2) [7]:

$$\bar{Q}_a = \frac{C \times \Delta T_C}{P} + 0,8(T_f - T_a) + 0,8(T_f - 20) \quad \dots(2)$$

gdje je:

ΔT_C – korigirani prirast temperature, (K),

C – toplotni kapacitet, (J/K),

P – masa nehidratiziranog cementa, (g),

T_f – temperatura na kraju perioda otapanja nehidratiziranog cementa, (°C),

T_a – temperatura nehidratiziranog cementa u trenutku dodavanja u kalorimetar (npr. temperatura okoline), (°C),

0,8 – specifična toplota nehidratiziranog cementa, (J/gK),

-0,8 – temperaturni koeficijent toplote otapanja nehidratiziranog cementa, (J/gK).

Toplota otapanja hidratiziranog cementa, \bar{Q}_i , (J/g), računa se iz jednadžbe (3) [7]:

$$\bar{Q}_i = \frac{C \times \Delta T_c}{P \times F} + 1,7(T_f - T_a) + 1,3(T_f - 20) \quad \dots(3)$$

gdje je:

P – masa hidratiziranog cementa, (g),

T_f – temperatura na kraju perioda otapanja hidratiziranog uzorka, (°C),

T_a – temperatura hidratiziranog cementa u trenutku dodavanja u kalorimetar (npr. temperatura

okoline), (°C),

F – faktor korekcije za vezanu vodu,

1,7 – specifična toplota hidratiziranog cementa, (J/gK),

-1,3 – temperaturni koeficijent toplote otapanja hidratiziranog cementa, (J/gK).

Faktor korekcije za vezanu vodu računa se iz jednadžbe(4) [7]:

$$F = \frac{100 - m_h}{100 - m_a} \quad \dots(4)$$

gdje je:

m_h – promjena mase žarenjem hidratiziranog uzorka, u postocima po masi (%),

m_a – promjena mase žarenjem nehidratiziranog uzorka, u postocima po masi (%).

Toplota hidratacije cementa, H_i , koja se odnosi na 20°C, računa se i izražava u J/g, kao razlika između toplote otapanja nehidratiziranog i hidratiziranog cementa iz jednadžbe (5) [7]:

$$H_i = \bar{Q}_a - \bar{Q}_i \quad \dots(5)$$

3.1. Rezultati ispitivanja

Za određivanje toplote hidratacije uzeta su tri uzorka cemenata, a to su uzorci:

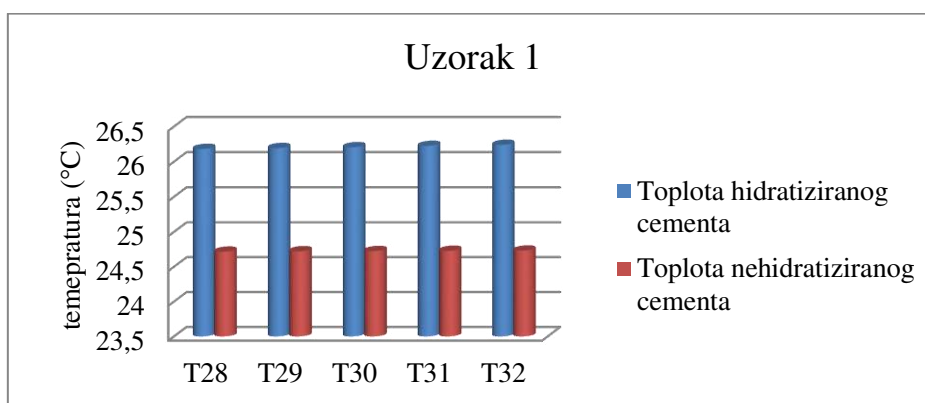
- Uzorak 1, koji se sastoji od 96 % klinkera i 4 % gipsa
- Uzorak 2, koji se sastoji od 68 % klinkera, 28 % elektrofilterskog pepela i 4 % gipsa
- Uzorak 3, koji se sastoji od 54 % klinkera, 42 % elektrofilterskog pepela i 4 % gipsa

Tabela 1. Ispitivanje toplote hidratacije za uzorak 1

Temperatura (°C) uzorka u određenom vremenu (min)	Temperatura hidratiziranog cementa	Temperatura nehidratiziranog cementa
T ₁	22,654	21,336
T ₂	22,660	21,345
T ₃	22,675	21,450
T ₄	22,680	21,458
T ₅	22,684	21,462
T _{sr} (T ₋₁₅)	22,671	21,410
Pauza od 5 do 13 minute		
T ₁₃	22,661	21,121
T ₁₄	22,668	21,125
T ₁₅	22,669	21,128

Nastavak tabele 1.

T_{16}	22,723	21,133
T_{17}	22,780	21,138
$T_{sr} (T_0, T_a)$	22,700	21,129
$T_{okoline}$	19,340	19,000
Pauza od 17 do 28 minute		
T_{28}	26,181	24,716
T_{29}	26,193	24,722
T_{30}	26,205	24,725
T_{31}	26,224	24,729
T_{32}	26,239	24,732
$T_{sr} (T_{30}, T_f)$	26,208	24,725
Gubitak žarenjem	25,940	0,830



Dijagram 1. Temperature hidratacije za uzorak 1 određena metodom otapanja

U tabeli 1. prikazane su temperature otapanja cementa tokom cijelog procesa, a za određivanje toplote otapanja korišteni su podaci od 28 do 32 minute za hidratizirani i nehidratizirani uzorak kao što se vidi na dijagramu 1. Iz tabele i dijagrama se može vidjeti da hidratizirani uzorak pokazuje veću temperaturu u odnosu na nehidratizirani uzorak. Toplotni kapacitet cementa (C) iznosi 2057,077 J/K, a koeficijent toplotnih promjena (K) iznosi 0,01949 K/15minK⁻¹. Korigirani prirast temperature (ΔT_C) iznosi 10,768K. Faktor korekcije za vodu (F) iznosi 0,747. Toplota otapanja nehidratiziranog cementa (Q_a) iznosi 7392,14 J/g, a toplota otapanja hidratiziranog cementa (Q_i) iznosi 7082,06J/g. Toplota hidratacije (H_i) za ovaj uzorak iznosi 310,1J/g.

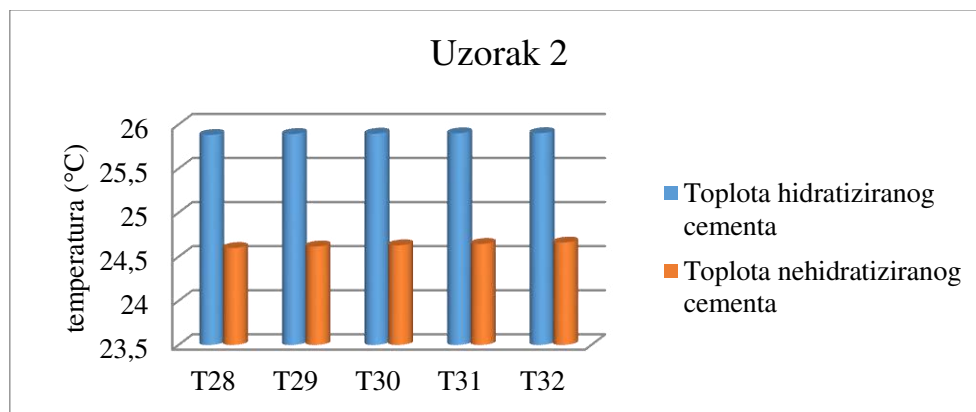
Tabela 2. Ispitivanje toplote hidratacije za uzorak 2

Temperatura (°C) uzoraka u određenom vremenu (min)	Temperatura hidratiziranog cementa	Temperatura nehidratiziranog cementa
	T_1	22,354
T_2	22,362	21,245
T_3	22,375	21,252
T_4	22,382	21,258
T_5	22,384	21,262
$T_{sr} (T_{-15})$	22,371	21,251
Pauza od 5 do 13 minute		
T_{13}	22,661	21,021

Nastavak tabele 2.

T ₁₄	22,668	21,025
T ₁₅	22,669	21,028
T ₁₆	22,723	21,033
T ₁₇	22,78	21,038
T _{sr} (T ₀ , T _a)	22,700	21,029
T okoline	19,340	19,000
Pauza od 17 do 28 minute		
T ₂₈	25,881	24,599
T ₂₉	25,892	24,617
T ₃₀	25,896	24,630
T ₃₁	25,900	24,645
T ₃₂	25,902	24,661
T _{sr} (T ₃₀ , T _f)	25,894	24,630
Gubitak žarenjem	26,090	0,870

Tabela 2. se odnosi na temperaturu otapanja hidratiziranog i nehidratiziranog uzorka za cjelovito ispitivanje, a za određivanje toplote otapanja korišteni su podaci od 28 do 32 minute. Potvrdu toga predstavlja dijagram 2. sa kojeg se može vidjeti da hidratizirani uzorak ima veću temperaturu od nehidratiziranog uzorka. Toplotni kapacitet cementa (C) iznosi 2057,077 J/K. Koeficijent toplotnih promjena (K) iznosi 0,01949 K/15minK⁻¹. Korigirani prirast temperature (ΔT_C) iznosi 10,351K. Faktor korekcije za vodu (F) iznosi 0,746. Toplota otapanja nehidratiziranog cementa (Q_a) iznosi 7105,86 J/g, a toplota otapanja hidratiziranog cementa (O_i) iznosi 6818,49 J/g. Toplota hidratacije (H_i) za ovaj uzorak iznosi 287,4 J/g.



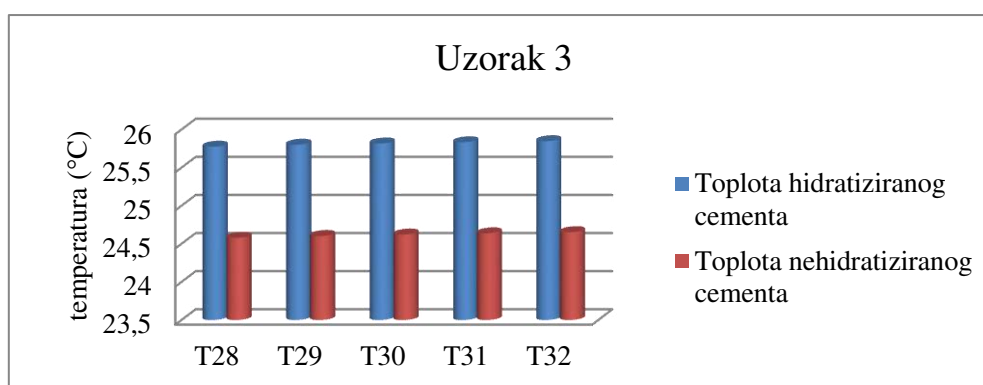
Dijagram 2. Temperature hidratacije u uzorku 2

Tabela 3. Ispitivanje toplote za uzorak 3

Temperatura (°C) uzoraka u određenom vremenu (min)	Temperatura hidratiziranog cementa	Temperatura nehidratiziranog cementa
	T ₁	22,304
T ₂	22,319	21,208
T ₃	22,324	21,177
T ₄	22,327	21,116
T ₅	22,332	21,090
T _{sr} (T ₋₁₅)	22,321	21,165
Pauza od 5 do 13 minute		

Nastavak tabele 3.

T ₁₃	22,655	21,049
T ₁₄	22,657	21,051
T ₁₅	22,66	21,051
T ₁₆	22,663	21,053
T ₁₇	22,666	21,054
T _{sr} (T ₀ , T _a)	22,660	21,052
T okoline	19,340	19,500
Pauza od 17 do 28 minute		
T ₂₈	25,774	24,578
T ₂₉	25,800	24,602
T ₃₀	25,816	24,621
T ₃₁	25,832	24,637
T ₃₂	25,846	24,652
T _{sr} (T ₃₀ , T _f)	25,814	24,618
Gubitak žarenjem	26,290	1,01



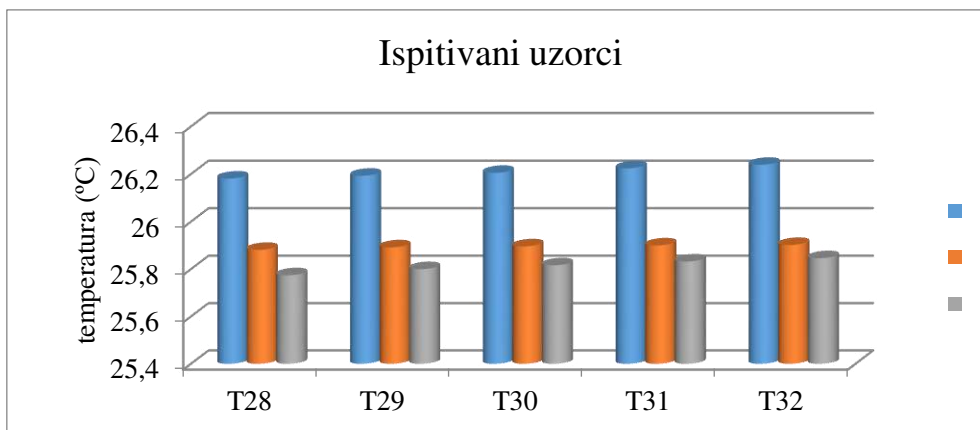
Dijagram 3. Toplota hidratcije u uzorku 3

Tabela 3. odnosi se na rezultate ispitivanja toplote otapanja od 1 do 32 minute, sa pauzama u određenim vremenskim intervalima. Dijagram 3. pokazuje vrijednosti ispitivanja temperatura hidratiziranog i nehidratiziranog uzorka od 28 minute do 32 minute, pri čemu se može vidjeti da hidratizirani uzorak ima veću temperaturu od nehidratiziranog uzorka. Toplotni kapacitet cementa (C) iznosi 2057,077 J/K, a koeficijent toplotnih promjena (K) iznosi 0,01949 K/15minK⁻¹. Korigirani prirast temperature (ΔT_C) iznosi 8,648 K. Faktor korekcije za vodu (F) iznosi 0,745. Toplota otapanja nehidratiziranog cementa (Q_a) iznosi 5937,86 J/g, a toplota otapanja hidratiziranog cementa (Q_i) iznosi 5707,05 J/g. Toplota hidratacije (H_i) za ovaj uzorak iznosi 230,8 J/g.

3.1.1. Usporedba temperatura hidratiziranih uzoraka cementa

Tabela 4. Poređenje temperatura hidratiziranih uzoraka cementa

Temperatura (°C) u određenom vremenu (min)	Ispitivani uzorci		
	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
T ₂₈	26,181	25,881	25,774
T ₂₉	26,193	25,892	25,800
T ₃₀	26,205	25,896	25,816
T ₃₁	26,224	25,900	25,832
T ₃₂	26,239	25,902	25,846



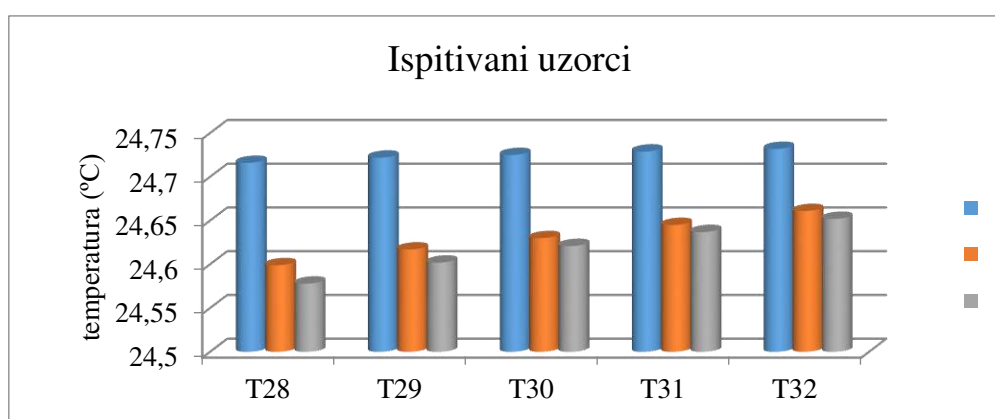
Dijagram 4. Temperature hidratiziranih uzoraka cementa

Tabela 4. i dijagram 4. odnose se na rezultate oslobođenih temperatura dobijenih metodom otapanja za sve tri uzorka cementa, a iz tabele i dijagrama se može zaključiti da najveću temperaturu oslobađa uzorak 1, a najmanju temperaturu oslobađa uzorak 3.

3.1.2. Usporedba temperatura nehidratiziranih uzoraka cementa

Tabela 5. Poređenje temperatura nehidratiziranih uzoraka cementa

Temperatura (°C) u određenom vremenu (min)	Ispitivani uzorci		
	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
T ₂₈	24,716	24,599	24,578
T ₂₉	24,722	24,617	24,602
T ₃₀	24,725	24,630	24,621
T ₃₁	24,729	24,645	24,637
T ₃₂	24,732	24,661	24,652



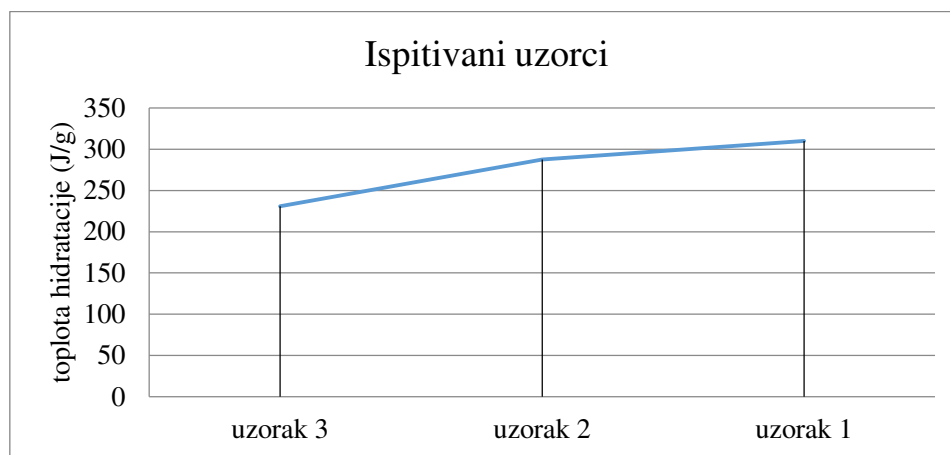
Dijagram 5. Toplote otapanja nehidratiziranih uzoraka cementa

U tabeli 5. i dijagramu 5. navedeni su rezultati ispitivanja oslobođenih temperatura nehidratiziranih uzoraka cementa, u periodu od 28 do 32 minute. Iz tabele i dijagrama može se zaključiti da najmanju temperaturu ima uzorak 3, a najveću temperaturu uzorak 1.

3.1.3. Usporedba dobijenih toplota hidratacije metodom otapanja za uzorak 1, uzorak 2 i uzorak 3

Tabela 6. Poređenje toplota hidratacije za tri uzorka cementa

Ispitivani uzorci	Toplota hidratacije H_i (J/g)
Uzorak 1	310,10
Uzorak 2	287,37
Uzorak 3	230,81



Dijagram 6. Toplota hidratacije za tri uzorka cementa

Tabela 6. i dijagram 6. su navedeni iz potrebe da se usporede oslobođene toplote hidratacije za tri uzorka cementa, koje su dobijene metodom otapanja. Iz tabele i dijagrama se vidi da najveću toplotu hidratacije oslobađa uzorak 1 dok najmanju toplotu hidratacije oslobađa uzorak 3.

3.2. Diskusija

U radu su ispitivane tri vrste cementa sa različitim sadržajem pepela. Prema dobijenim rezultatima najveću toplotu hidratacije pokazuje uzorak 1 (310,10 J/g), a najmanju vrijednost pokazuje uzorak 3 (230,81 J/g) koji u svom sastavu ima najviše letećeg pepela od svih ispitivanih uzoraka. Razlog za najmanju vrijednost toplote hidratacije u uzorku 3 leži u činjenici da ovaj uzorak u svom sastavu ima najmanju količinu C_3S i C_3A , zato što je dodatkom letećeg pepela u ovaj uzorak ta količina se značajno smanjila pa je samim tim došlo do smanjenja toplote hidratacije. Razlog zbog najveće vrijednosti toplote hidratacije kod uzorka 1 se može zahvaliti velikoj količini C_3A u tom uzorku, jer je to čisti Portland-cement. Poznato je da najveću toplotu hidratacije oslobađa mineral C_3A , a dodatkom letećeg pepela u cement u različitim omjerima, sadržaj C_3A se smanjuje, jer leteći pepeo u svom sastavu ima neznatne količine C_3A , a to znači ako u uzorku cementa ima više letećeg pepela bit će i manji sadržaj C_3A .

Prema EN 197-1 da bi cement imao oznaku za nisku toplotu hidratacije njegova vrijednost ne smije biti veća od 270 J/g, a prema našim rezultatima samo jedan cement bi mogao zadovoljiti taj standard, a to je uzorak 3 čija je vrijednost toplote hidratacije 230,81 J/g.

Što se tiče uzorka 2 njegova toplota hidratacije iznosi 287,37 J/g, što je za 17 J/g veća vrijednost od standardne propisane vrijednosti. Pošto ta razlika od 17 J/g nije velika mogla bi se uraditi dodatna ispitivanja za ovu vrstu cementa, tako da se postojećoj recepturi za proizvodnju ove vrste cementa poveća sadržaj letećeg pepela do 35%, jer prema standardu

sadržaj letećeg pepela kod ove vrste cementa se kreće od 21 do 35%. Povećanjem sadržaja letećeg pepela do 35% dobili bi vjerovatno manje vrijednosti toplote hidratacije, ali bi u tom slučaju dobili i manje vrijednosti pritiskne čvrstoće pa bi na to trebalo obratiti naročitu pažnju.

4. ZAKLJUČAK

Toplota hidratacije je veoma bitan parametar pri ocjeni kvaliteta cementa. Na osnovu provedenih ispitivanja se može zaključiti da pucolanske komponente, u ovom slučaju leteći pepeo, ima veliki uticaj na dobivene vrijednosti toplote hidratacije. Pregledom eksperimentalnog dijela se može ustanoviti da što je veći sadržaj letećeg pepela u cementu, to je toplota koja se oslobađa za vrijeme procesa hidratacije manja. U principu produkti hidratacije pucolanskih reakcija su slični produktima kod Portland-cementa, ali su malo drugačijeg stehiometrijskog sastava. Dakle samo uzorak 3 zadovoljava zahtjeve standarda EN 197-1 po pitanju toplote hidratacije, te jedino ovaj cement u svom nazivu može imati oznaku LH (low heat) što je oznaka za cement niske toplote hidratacije. U slučaju daljeg povećanja sadržaja letećeg pepela, tj. u slučaju smanjenja učešća cementnog klinkera u sastavu cementa došlo bi do daljeg smanjenja vrijednosti toplote hidratacije. Pored oznake cementa LH (low heat), u slučaju da izmjerena vrijednost toplote hidratacije cementa iznosi manje od 220 J/g onda bi taj cement mogao u svom nazivu imati oznaku VLH (very low heat) što označava cimente sa veoma niskom toplotom hidratacije.

5. LITERATURA

- [1] Brzaković, P.: Priručnik za proizvodnju i primjenu građevinskih materijala nemetalnog porijekla, Knjiga 1, Orion Art, Beograd, 2000.,
- [2] Pertovski P., Bušatlić I.: Cementi i druga neorganska mineralna veziva, Hijatus, Zenica, 2006.,
- [3] Bušatlić, I.: Dodaci cementu, Hijatus, Zenica, 2013.,
- [4] Krolo, P.: Tehnologija veziva i kompozitnih materijala, Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Sveučilišta u Splitu, Split, 1999.,
- [5] Đureković, A.: Cement, cementni kompozit i dodaci za beton, Institut građevinarstva Hrvatske i Školska knjiga, Zagreb, 1996.,
- [6] Bušatlić, I.: Prilog proučavanju promjena reaktivnosti i osobina cementa sa dodatkom elektrofilterskog pepela Termoelektrane Kakanj, Doktorska disertacija, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2008.,
- [7] Europski standard za određivanje toplote hidratacije cementa, EN 196-8, 2010.,
- [8] Terzić, N.: Usporedna hemijska analiza cementa klasičnom metodom (EN 196-2) i XRF spektrometrijom, Diplomski rad, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2011.,
- [9] Bikić, F.: Praktikum iz opšte i neorganske hemije, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2010.