

Degto kaolininio molio įtaka portlandcemenčio savybėms

R. Kaminskas, K. Trakimavičiūtė, R. Kubiliūtė

Kauno technologijos universitetas,

Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas, Lietuva

El. paštas Rimvydas.Kaminskas@ktu.lt

Gauta 2009 m. spalio 27 d.; priimta spaudai 2009 m. lapkričio 26 d.

Šiame darbe ištirta 600 °C temperatūroje degto kaolininio molio įtaka portlandcemenčio savybėms. Degant kaolininį molį, 470–545 °C temperatūroje molio mineralas – kaolinitas – skyla ir transformuojasi į aktyviąją metakaolinito formą. Nustatyta, kad cemento bandiniuose su degto kaolininio molio priedu vyksta pucolaninė reakcija tarp portlandito ir degimo metu susidarančio metakaolinito. Dėl šios reakcijos susidariusių kalcio hidrosilikatų kiekis didėja, didėjant priedo kiekiui iki 20 % ir ilgėjant hidratacijos trukmei. Degtas kaolininis molis mažina bandinių stiprį po 7 parų hidratacijos. Kuo daugiau pridedama priedo, tuo bandiniai yra silpnesni. Po 28 parų hidratacijos bandinių su 10 % degto molio stipris gniuždant yra toks pat, kaip ir bandinių be priedo, o bandinių su 5 % priedu stipris gniuždant yra tik nežymiai mažesnis. Po 3 mėn. hidratacijos bandinių su 5 ir 10 % degto molio stipris gniuždant yra didesnis nei bandinių be priedų. Bandiniai su 20 % priedo yra silpnesni nei bandiniai iš gryno portlandcemenčio, tačiau priklauso tai pačiai stiprumo klasei (52,5).

Įvadas

Cemento pramonė yra viena labiausiai energijai imlių pramonės šakų. Gaminant cemento klinkerį šlapiuoju būdu, šilumos sąnaudos būna 5000–6700 kJ/kg, o degant sausų miltelių įkrovą – 3100–4400 kJ/kg. Dalinis cemento klinkerio pakeitimas portlandcemenyje kitomis medžiagomis – šlaku, pucolanais, klintimi ir kt. – leidžia ne tik sumažinti portlandcemenčio savikainą, bet ir mažinti aplinkos taršą.

Pucolaninėse rišamosiose medžiagose aktyviaisiais priedais yra naudojamos medžiagos, kurių sudėtyje daug aliuminio ir amorfinio silicio oksido: kaolininis molis, kaolinitas, pelenai, opoka, trepelis, SiO₂ mikrodulkės ir kt.

Aktyvūs mineraliniai priedai (pucolanai) skiriasi savo chemine sudėtimi ir fizikinėmis savybėmis: dalelių dydžiu, jų pasiskirstymu, paviršiaus plotu, kristališkumu, spalva – visa tai lemia skirtingą pucolanų aktyvumą [1, 2].

Viena plačiausiai pastaruoju metu tiriamų pucolaninių medžiagų yra degtas molis. Tai medžiaga, pasižyminti plačia panaudojimo sritimi ir santykinai maža kaina, nes degama vidutinėje temperatūroje. Moliai paprastai sudaro mišinį, kuriame būna daug priemaišų: karbonatų, lauko špatų, žėručių ir kvarco. Molio mineralai yra skirstomi į keturias pagrindines grupes: kaolinitas, montmorilonitas / smetitas, ilitas ir chloritų grupės [1]. Degant molius, kinta jų reakcingumas. Terminis poveikis suardo molio mineralų kristalinę struktūrą, kuri transformuojasi į amorfinę – labai reakcingą struktūrą. Molio degimo temperatūra lemiamai veikia galutinių produktų reaktingumą. Aktyvi būseną paprastai sukurama, kai molio degimo temperatūra yra 600–800 °C. Pagal Shi [3], optimali degimo temperatūra nėra tiesiogiai susijusi su molio mineralų skilimo temperatūra.

Yra žinoma, jog kaolinitas dehidratacijos metu praranda 13,76 % masės, o ši procesą 450–600 °C temperatūroje atitinka Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O virsmas į Al₂O₃·2SiO₂

[4]. Šio virsmo tiksli temperatūra priklauso nuo žaliavos kristališkumo ir kaolinito dalelių dydžio. 700 °C temperatūroje kaolinitas visiškai suskyla, t. y. jis transformuojasi į amorfinę fazę (metakaolinitą) [5]. Degant kaolinitą 200–430 °C temperatūroje, jo dehidratacijos laipsnis mažesnis nei 0,18. 450–570 °C temperatūroje dehidratacija staigiai padidėja iki 0,95 ir galiausiai 570–700 °C temperatūroje kaolinitas visiškai dehidratuojasi – dehidratacijos laipsnis siekia 0,95–1,0 [6]. Metakaolinitas paprastai susideda iš 50–55 % SiO₂ ir 40–45 % Al₂O₃ [7].

Pagrindinė metakaolinito savybė, panaudojant jį cementinėse kompozicijose, yra didelis pucolaninis aktyvumas, t. y. gebėjimas reaguoti su portlanditu, susidarančiu portlandcemenčio hidratacijos metu. Metakaolinitas, reaguodamas su kalcio hidroksidu, sudaro kalcio hidrosilikatus ir kalcio hidroaliumosilikatus [8]. Degto kaolinito įtaka cemento stiprumui labai priklauso nuo amorfinės fazės sudėties ir nuo dehidratacijos laipsnio. Didelio reakcingumo metakaolinito sudėtyje turi būti ne mažiau kaip 90 % silicio ir aliuminio. Didėjant amorfinės fazės kiekiui, cemento bandiniai stiprėja. Bandinių su degtu kaolinitu stipris gniuždant net didesnis negu mišinių su mikrosilika, kurioje yra 90 % amorfinio silicio [5].

L. Courard ir bendraautorai [9] teigia, jog degtas kaolinitas šiek tiek sumažina cemento stiprumą pirmosiomis hidratacijos dienomis, tačiau, po 28 parų hidratacijos, cemento bandinių stiprumas išauga. Geriausi rezultatai buvo gauti, kai bandiniuose degtu kaolinitu buvo pakeista 10–15 % cemento. Pakeitus 20 % cemento metakaolinitu, bandinių stiprumas sumažėjo, bet išliko didesnis nei gryno portlandcemenčio.

Aptariant literatūros duomenis galima matyti, kad visi autoriai pažymi teigiamą degto kaolininio molio ar kaolinito įtaką cemento savybėms. Taip pat pažymima, kad tai priklauso nuo naudojamos medžiagos prigimties, jos kokybės, aktyvios fazės kiekio ir apdirbimo būdo, t. y. kiekviena naudojama medžiaga gali skirtis ir savo įtaka cemento savybėms. Lietuvoje kaolininių moliių išteklių nėra, todėl šiame darbe pasirinktas Ukrainos kaolininis

molis, apie kurio įtaką cemento savybėms literatūroje duomenų neradome, o ši molį galėtų naudoti Lietuvos cemento gamintojai.

Šio darbo tikslas – nustatyti kaolininio molio degimo temperatūrą ir palankiausią šio priedo kiekį portlandcemente bei ištirti portlandcemenčio su degtu kaolininiu moliu hidratacijos ypatumus.

Medžiagos ir tyrimų metodika

Cementas tyrimams buvo ruošiamas laboratoriniame malūne, kartu sumalant 96 % portlandcemenčio klinkerio iš AB „Akmenės cementas“ ir 4 % dvivandenio gipso. Gauto portlandcemenčio CEM I savitasis paviršius – 300 m²/kg, cheminė ir mineraloginė sudėtis, nustatyta AB „Akmenės cementas“, pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. CEM I ir kaolininio molio cheminė ir mineraloginė sudėtis

CEM I		Kaolininis molis	
Nustatytas parametras	Kiekis, %	Nustatytas parametras	Kiekis, %
SiO ₂	19,72	SiO ₂	65,0
Al ₂ O ₃	5,41	TiO ₂	1,5
Fe ₂ O ₃	4,21	Al ₂ O ₃	27,0
CaO	62,76	Fe ₂ O ₃	2,0
MgO	3,41	MgO	0,6
Na ₂ O	0,16	CaO	0,5
K ₂ O	1,08	K ₂ O	2,0
SO ₃ ²⁻	2,08	Na ₂ O	0,4
Kaitmenys	0,93	Kaitmenys	8,3
Netirpios dalelės	0,24	Kaolinito grupės mineralai	40
3CaO·SiO ₂	63,19	Ilito grupės mineralai	28
2CaO·SiO ₂	8,87	Kvarcas	22
3CaO·Al ₂ O ₃	7,21	Kiti	10
4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	12,81		

Kaolininis molis buvo gautas iš įmonės VESKO, Ukraina. Kaolininio molio cheminė ir mineraloginė sudėtis, deklaruota gamintojo, pateikta 1 lentelėje. Kaolininis molis buvo išdžiovintas 100 °C temperatūroje ir degtas 600 °C temperatūroje. Degtas molis sumaltas porcelaniniame malūne iki 420 m²/kg savitojo paviršiaus.

Portlandcemenčio stipris gniuždant nustatytas pagal LST EN 196-1. Ruošiant bandinius su priedais, 5, 10 ir 20 % cemento masės buvo pakeista degtu kaolininiu moliu. Bandinių stipris nustatytas po 7, 28 ir 90 parų hidratacijos, bandinius laikant vandenyje 20 °C temperatūroje. Tyrimams buvo naudojamas standartinis (LST EN 196-1) smėlis. Rišimosi trukmė ir tešlos normalusis tirštumas nustatyti pagal LST EN 196-3. Cemento pucolaniškumas nustatytas pagal LST EN 196-5.

Rentgenodifrakcinė analizė atlikta difraktometru DRON-6. Naudota: CuK_α spinduliuotė, Ni filtras, detektoriaus judėjimo žingsnis – 0,02°, intensyvumo matavimo trukmė žingsnyje – 0,5 s, anodinė įtampa – 30 kV, srovės stipris – 20 mA.

Terminės analizės tyrimai atlikti *Netzsch STA 409 PC Luxx* terminiu analizatoriumi. DSK parametrai: temperatūros didinimo greitis – 15 °C/min, temperatūros intervalas – 30–1000 °C, etalonas – tuščias Pt / Rh tiglis, atmosfera krosnyje – oras.

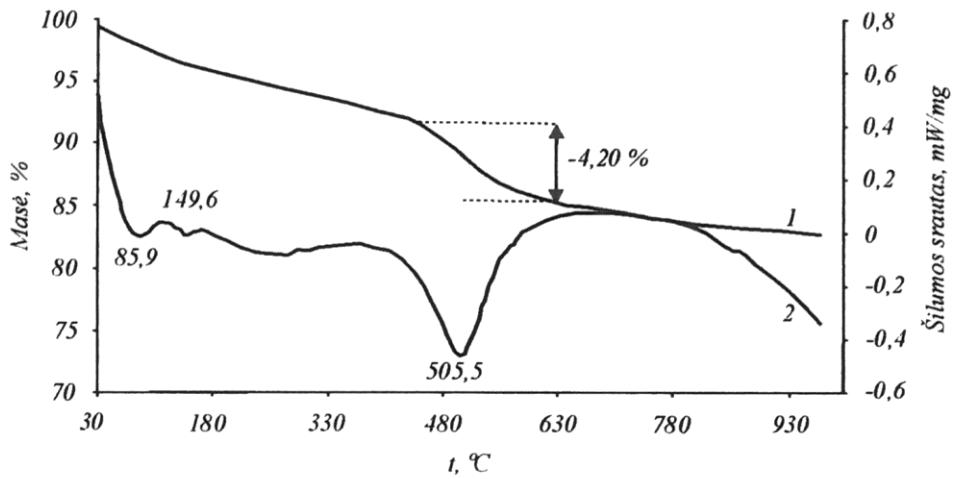
Rezultatai ir jų aptarimas

Išdžiovinto ir 600 °C temperatūroje degto kaolininio molio viena laikės terminės ir rentgenodifrakcinės analizės kreivės parodytos 1–3 paveiksluose.

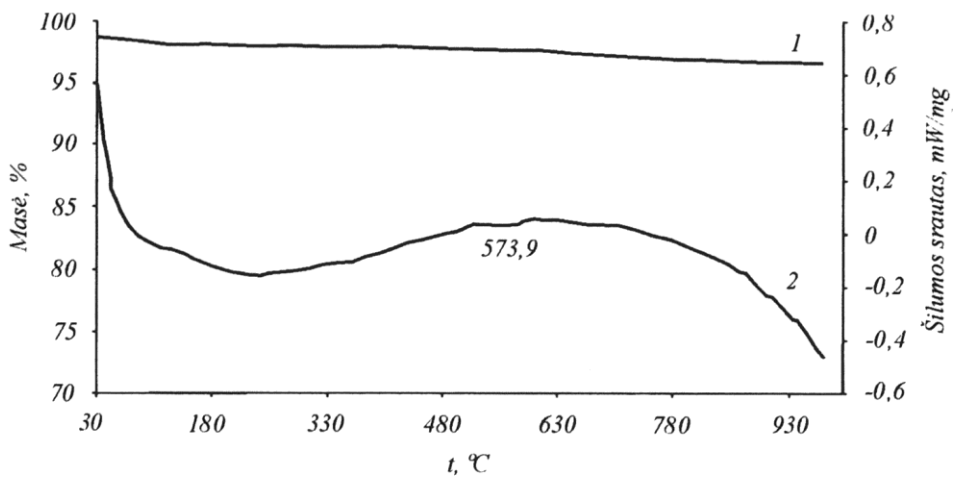
Išdžiovinto molio DSK kreivėje (1 pav., 2 kr.) matomi nedideli endoterminiai efektai 85,9 ir 149,6 °C temperatūroje, kurie susiję su sorbcinio ir struktūrinio vandens pasišalinimu. Ryški endoterminė smailė 505,5 °C temperatūroje žymi kaolinito skilimą ir transformaciją į aktyviają metakaolinito formą. Skilimas prasideda 470, baigiasi 545 °C temperatūroje. Šio proceso metu medžiaga netenka 4,2 % masės (1 pav., 1 kr.).

Džiovinimo kaolininio molio rentgenogramoje (3 pav., 1 kr.) matomos smailės būdingos kaolinitui ($d = 0,7221, 0,3587, 0,2342$ nm), muskovitui ($d = 1,0069, 0,4498, 0,3520$ nm) ir kvarcui ($d = 0,4269, 0,3349, 0,2458$ nm).

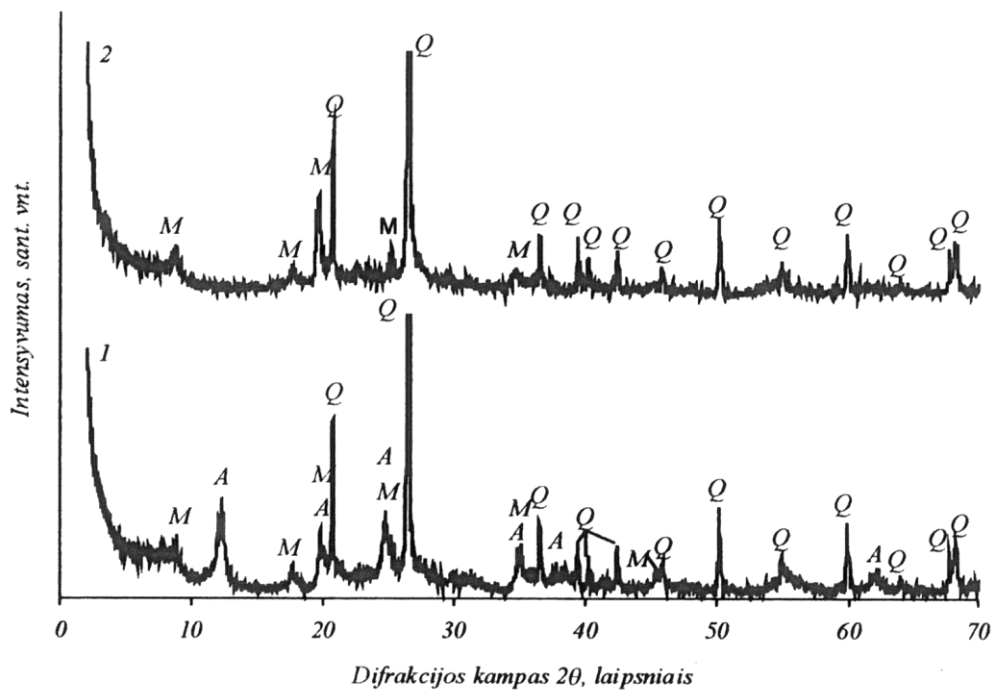
Tuo tarpu 600 °C temperatūroje degto molio DSK kreivėje (2 pav., 2 kr.) matoma tik nedidelė endoterminė smailė 574 °C temperatūroje, susijusi su kvarco β-modifikacijos perėjimu į α-modifikaciją, bet visiškai išnyksta endoterminė smailė 505,5 °C temperatūroje. 600 °C temperatūroje degto molio bandinių rentgenogramoje taip pat neidentifikuotos smailės, būdingos kaolinitui, bet išlieka smailės, būdingos muskovitui bei kvarcui. Taigi terminės



1 pav. Išdžiovinto kaolininio molio termogramas: 1 – TG, 2 – DSK



2 pav. 600 °C temperatūroje degto kaolininio molio termogramas: 1 – TG, 2 – DSK



3 pav. Išdžiovinto ir 600 °C temperatūroje degto kaolininio molio rentgenogramos: 1 – išdžiovinto, 2 – degto 600 °C temperatūroje. Žymenys: M – muskovitas, A – kaolinitas, Q – kvarcas

ir rentgenodifrakcinės analizės duomenys parodė, kad jau 600 °C temperatūroje išdegus tiriamąjį kaolininį molį, kaolinitas yra visiškai suskilęs. Kaolinito skilimo temperatūra priklauso nuo jo kristališkumo ir dalelių dydžio [6]. Gauti rezultatai leidžia teigti, kad Ukrainos tiekėjo VESKO kaolininį molį galima degti palyginti žemoje temperatūroje, o tai, be abejo, turėtų įtakos produkto savikainai.

Toliau buvo nustatyta 600 °C temperatūroje degto kaolininio molio įtaka portlandcemenčio savybėms. Tirti bandiniai be priedų bei 5, 10, 20 % cemento masės pakeičiant 600 °C temperatūroje degtu moliu.

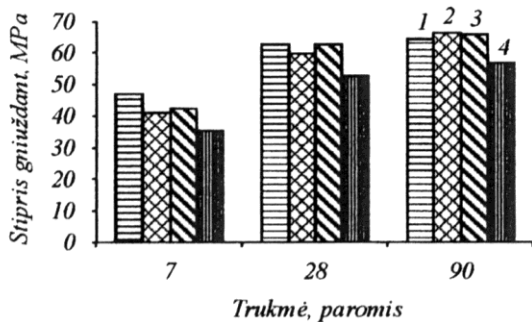
Degto kaolininio molio įtaka portlandcemenčio tešlos normaliajam tirštumui ir rišimosi trukmei pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė. Degto kaolininio molio įtaka portlandcemenčio tešlos normaliajam tirštumui ir rišimosi trukmei

Degto kaolininio molio kiekis portlandcemyje, %	V / C	Rišimosi pradžia, h : min	Rišimosi pabaiga, h : min
0	0,250	4 : 08	5 : 16
5	0,275	4 : 12	5 : 04
10	0,288	4 : 05	5 : 00
20	0,335	3 : 53	4 : 58

Kaip matyti iš 2 lentelės duomenų, degtas kaolininis molis didina vandens sąnaudas tešlos normaliajam tirštumui ir šiek tiek trumpina rišimosi pradžią ir pabaigą. Degto kaolininio molio sudėtyje yra aktyvių silicio ir aliuminio oksidų, kurie gali reaguoti su cemento hidratais, sudarydami C–S–H gelį ir kalcio sulfoaluminatus. Šie naujadarai formuoja cemento tešlos karkasą ankstyvuoją hidratacijos periodu. Matyt, būtent šie procesai lemia rišimosi trukmės sutrumpėjimą ir vandens sąnaudų padidėjimą, be to, didesnis vandens poreikis tešlos normaliajam tirštumui gali būti susijęs ir su degto kaolininio molio dalelių drėkimu.

Skirtingą trukmę kietėjusių bandinių stipris gniuždant parodytas 4 paveiksle.



4 pav. Sukietėjusių portlandcemenčio bandinių stipris gniuždant. Bandinys: 1 – be priedo; 2 – su 5 % degto kaolininio molio; 3 – su 10 % degto kaolininio molio; 4 – su 20 % degto kaolininio molio

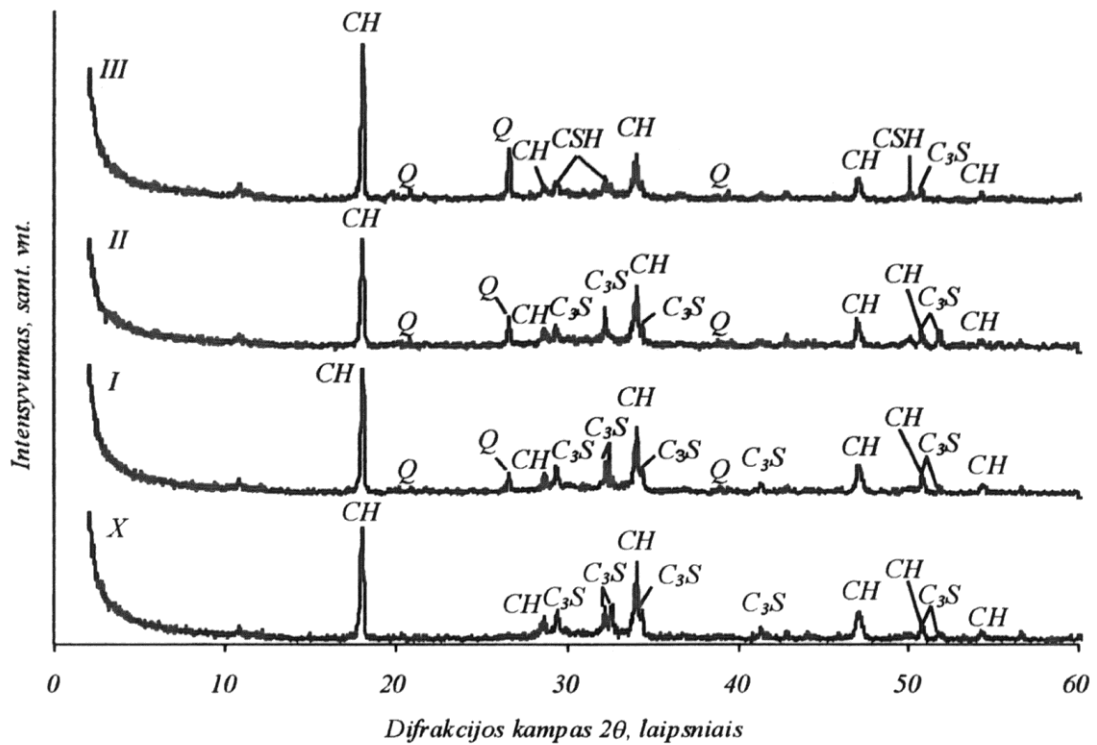
Kaip matyti iš 4 paveikslo duomenų, po 7 parų hidratacijos didžiausią stiprį gniuždant turi bandinys be priedų. Degtas molis mažina ankstyvąjį bandinių stiprumą. Iš bandinių su priedu didžiausiu stipriu gniuždant pasižymi bandinys su 10 % degto molio. Po 28 parų hidratacijos bandinio su 10 % degto molio stipris gniuždant yra toks pat, kaip ir bandinio be priedo, o bandinio su 5 % priedu stipris gniuždant yra tik nežymiai mažesnis. Silpniausias yra bandinys su 20 % priedo. Po 3 mėn. hidratacijos stipriausi jau yra bandiniai su 5 ir 10 % degto molio. Silpniausias išlieka bandinys su 20 % priedo, tačiau priklauso tai pačiai stiprumo klasei (52,5), kaip ir bandiniai su grynu portlandcemenčiu.

Aptariant bandinių stiprumines savybes reikėtų atkreipti dėmesį į kaolininio molio mineraloginę sudėtį (1 lent.). Tiriamajame molyje yra tik 40 % kaolinito grupės mineralų (kaolinito), todėl termiškai apdorojus šį molį susidarė santykinai mažas aktyvios amorfinės fazės kiekis, o didžiąją dalį sudaro inertinės medžiagos – kvarcas ir muskovitas. Bandiniai su 5 % degto molio yra silpnesni nei su 10 % priedo todėl, kad bandiniuose su 5 % priedo, matyt, susidaro mažiau antrinių kalcio hidrosilikatų. Tuo tarpu pridėjus 20 % degto molio, dėl pucolaninės reakcijos galbūt susidarantys nauji hidratai jau nekompensuoja stiprumo sumažėjimo, kuris atsiranda dėl žybaus portlandcemenčio kiekio sumažėjimo šiame bandinyje.

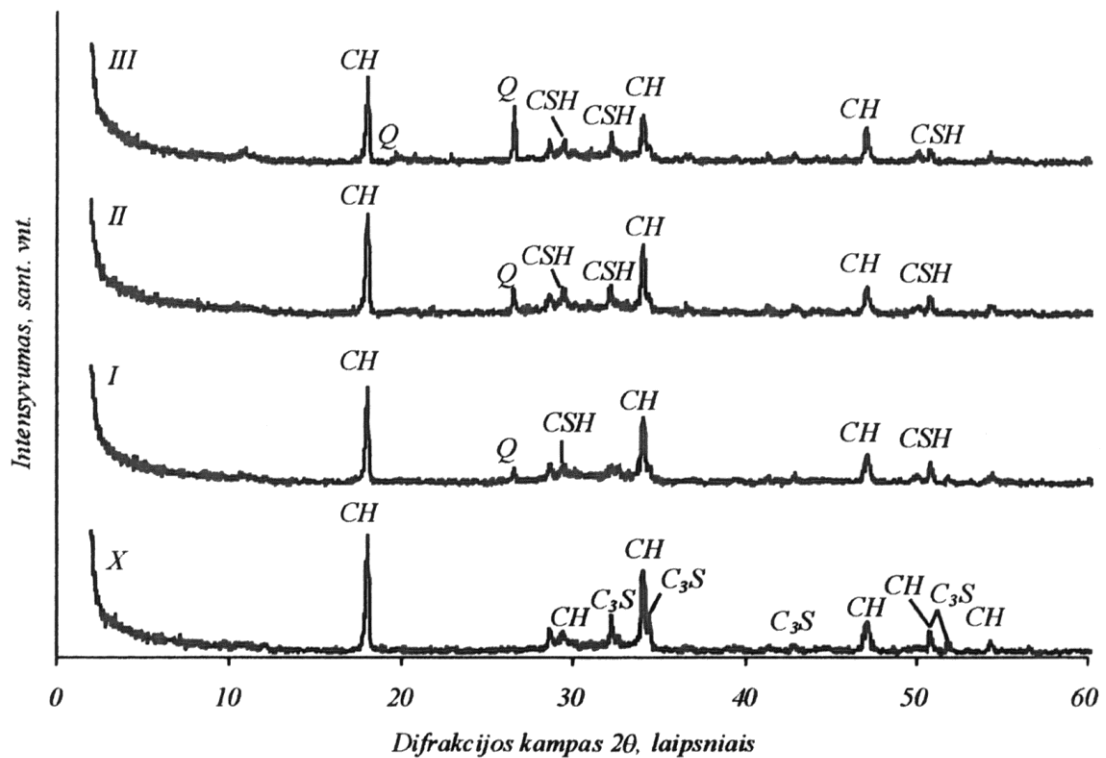
Taip pat buvo atlikta rentgenodifrakcinė bandinių analizė. 7 ir 28 paras kietėjusių bandinių rentgenogramos parodytos 5 ir 6 paveiksluose.

Po 7 parų hidratacijos (5 pav.) visose rentgenogramose matomos portlandito smailės ($d = 0,4921, 0,3110, 0,2628$ nm), kurių intensyvumas yra panašus, tačiau po 28 parų hidratacijos (6 pav.), didėjant priedo kiekiui cemente, portlandito smailių intensyvumas mažėja. Tai gali būti susiję tiek su mažesniu cemento kiekiu mišinyje, tiek su galbūt vykstančia pucolanine reakcija. Tai, kad dėl degto kaolininio molio sparčiau susidaro kalcio hidrosilikatai, matyti iš bandinių su degtu moliu rentgenogramų (5, 6 pav., I–III kr.). Bandinių su 20 % degto molio rentgenodifrakcinės analizės kreivėje jau po 7 parų hidratacijos (5 pav., III kr.) stebimos susidariusių kalcio hidrosilikatų smailės ($d = 0,3033, 0,2771, 0,1817$ nm), o po 28 parų hidratacijos šios smailės jau pastebimos visuose bandiniuose su priedu (6 pav., I–III kr.). Šalia to, didėjant priedo kiekiui cemente, didėja ir kvarco ($d = 0,4251, 0,3345, 0,2280$ nm) smailių intensyvumas, nes didėja jo kiekis mišiniuose. Pažymėtina, kad nehidratuoto C_3S smailių ($d = 0,3032, 0,2774, 0,2180$ nm) intensyvumas po 7 parų hidratacijos mažėja, didėjant degto kaolininio molio kiekiui mišinyje. Po 28 parų hidratacijos nehidratuoto C_3S smailės stebimos tik bandinyje be priedo. Taip pat pažymėtina, kad nei viename bandinyje su degtu moliu neidentifikuotas hidrogelenito susidarymas.

Literatūros šaltiniuose [7, 8], kuriuose nurodoma apie hidrogelenito susidarymą, tyrimams buvo naudoti kaolininiai moliai, kuriuose buvo 40–45 % Al_2O_3 , tuo tarpu mūsų tiriamajame molyje šio oksido yra tik 27 %. Matyt, išdegus kaolininį molį, susidariusio aktyvaus aliuminio oksido kiekis yra nepakankamas (be to, dalis Al_2O_3



5 pav. Bandinių po 7 parų hidratacijos rentgenogramos: X – cementas be priedo, I – su 5 % degto molio, II – su 10 % degto molio, III – su 20 % degto molio. Žymenys: CH – portlanditas $\text{Ca}(\text{OH})_2$; CSH – kalcio hidrosilikatas; Q – kvarcas; C_3S – trikalcio silikatas

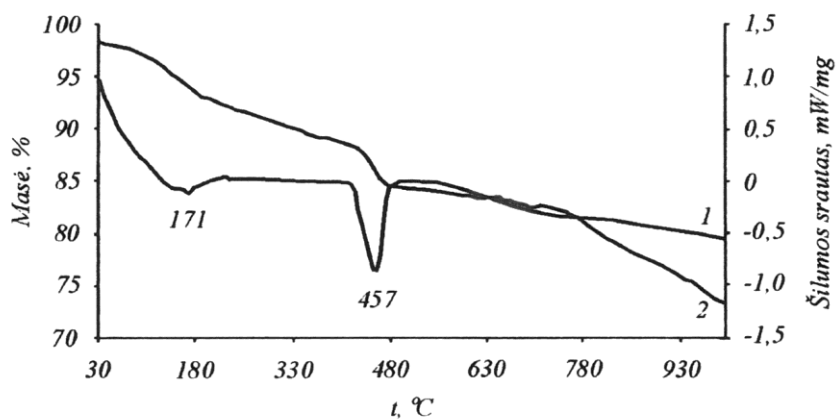


6 pav. Bandinių rentgenogramos po 28 parų hidratacijos: X – cementas be degto molio, I – su 5 % degto molio, II – su 10 % degto molio, III – su 20 % degto molio. Žymenys: CH – portlanditas $\text{Ca}(\text{OH})_2$; CSH – kalcio hidrosilikatas; Q – kvarcas; C_3S – trikalcio silikatas

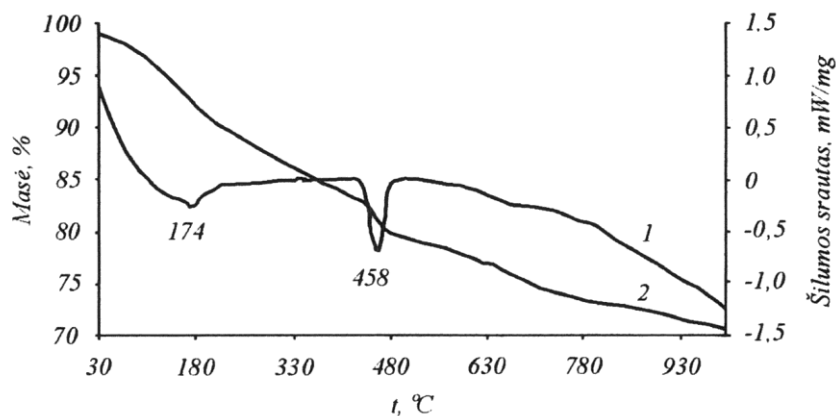
yra ir muskovito sudėtyje), kad hidratacijos metu susiformuotų hidrogelenitas.

Po 7 ir 28 parų bandinių hidratacijos buvo atlikta ir hidratacijos produktų terminė analizė. Kadangi visų tirtų

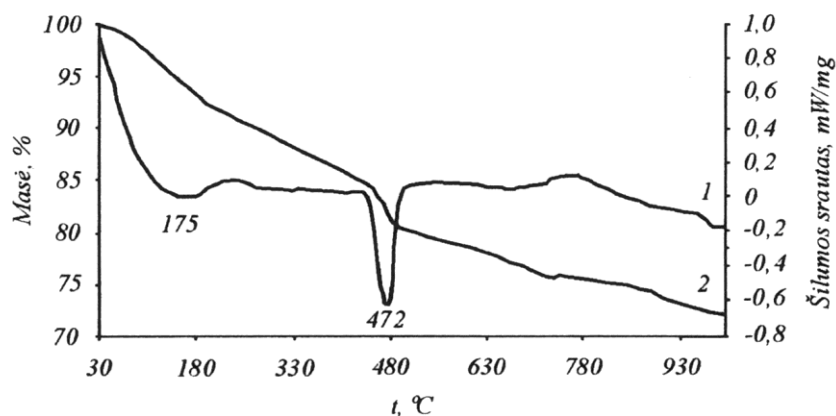
bandinių terminės analizės kreivės yra labai panašios, tai pateikiamos tik bandinio be priedų ir bandinių su 20 % degto molio, kietėjusių 7 ir 28 paras, termogramos (7–10 pav.).



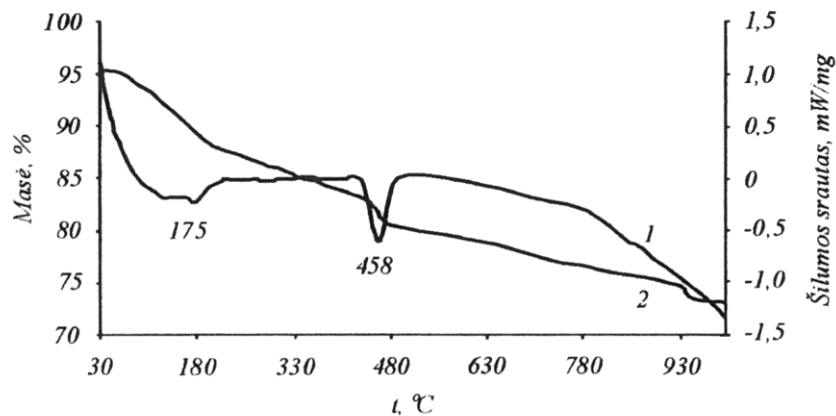
7 pav. Bandinio be priedo termogramos po 7 parų hidratacijos: 1 – TG, 2 – DSK



8 pav. Bandinio su 20 % molio, degto 600 °C temperatūroje, termogramos po 7 parų hidratacijos: 1 – TG, 2 – DSK



9 pav. Bandinio be priedo termogramos po 28 parų hidratacijos: 1 – TG, 2 – DSK



10 pav. Bandinio su 20 % molio, degto 600 °C temperatūroje, termogramos po 28 parų hidratacijos: 1 – TG, 2 – DSK

Visose termogramose matyti ryškūs endoterminiai efektai 453–461 °C temperatūroje, susiję su portlandito skilimu, bei endoterminiai efektai 170–175 °C temperatūroje, būdingi vandens pasiūšinimui iš pusiau kristalinės kalcio hidrosilikatų struktūros. Visų tirtų bandinių masės nuostoliai kalcio hidrosilikatų dehidratacijos ir portlandito skilimo metu pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Skirtingą trukmę kietėjusių bandinių masės nuostoliai kalcio hidrosilikatų dehidratacijos ir portlandito skilimo metu

Priedo kiekis, %	Masės nuostoliai kalcio hidrosilikatų dehidratacijos metu, %, po		Masės nuostoliai portlandito skilimo metu, %, po	
	7 parų	28 parų	7 parų	28 parų
0	1,72	1,98	3,55	3,72
5	2,25	2,49	3,52	3,58
10	2,26	2,51	2,95	2,99
20	2,49	2,74	2,68	2,66

Kaip matyti iš 3 lentelės duomenų, nepaisant nuo hidratacijos trukmės, didžiausiais masės nuostoliais portlandito skilimo metu pasižymi bandinys be priedų, o mažiausiai portlandito susidarė bandiniuose su 20 % degto kaolininio molio. Ilgėjant hidratacijos trukmei nuo 7 iki 28 parų, bandiniuose su 5 ir 10 % degto kaolininio molio portlandito kiekis padidėjo labai nedaug, o bandinyje su 20 % priedo portlandito kiekis netgi sumažėjo. Kita vertus, būtent bandiniai su degtu kaolininiu moliu pasižymi didesniais masės nuostoliais kalcio hidrosilikatų dehidratacijos metu. Susidariusių kalcio hidrosilikatų kiekis didėja, didėjant priedo kiekiui ir ilgėjant hidratacijos trukmei. Tai patvirtina, kad bandiniuose su degtu moliu vyksta pucolaninė reakcija tarp portlandito ir degimo metu susidariusio metakaolinito.

Apibendrinant tyrimų rezultatus galima teigti, kad Ukrainos tiekėjo VESKO kaolininis molis yra tinkamas priedas portlandcemenčiui, pasižymintis geromis pucolaninėmis savybėmis ir žema degimo temperatūra.

Išvados

1. Degant kaolininį molį, 470–545 °C temperatūroje molio mineralas – kaolinitas – skyla ir transformuojasi į aktyviąją metakaolinito formą.
2. Bandiniuose su degtu moliu vyksta pucolaninė reakcija tarp portlandito ir degimo metu susidarančio metakaolinito. Dėl šios reakcijos susidariusių kalcio hidrosilikatų kiekis didėja, didėjant priedo kiekiui ir ilgėjant hidratacijos trukmei.
3. Degtas kaolininis molis mažina bandinių stiprumą po 7 parų hidratacijos. Kuo daugiau pridedama priedo, tuo bandiniai yra silpnesni.

4. Po 28 parų hidratacijos bandinių su 10 % degto molio stipris gniuždant yra toks pat, kaip ir bandinių be priedo, o bandinių su 5 % priedu stipris gniuždant yra tik nežymiai mažesnis. Silpniausi yra bandiniai su 20 % priedo.
5. Po 3 mėn. hidratacijos bandinių su 5 ir 10 % degto molio stipris gniuždant yra didesnis nei bandinio be priedų. Bandiniai su 20 % priedo yra silpnesni nei bandiniai su grynu portlandcemenčiu, tačiau priklauso tai pačiai stiprumo klasei (52,5).

Literatūra

1. Østnor T. “Alternative pozzolans” as supplementary cementitious materials in concrete, Sintef Report. 2007. P. 1–20.
2. Mathur S. http://www2.basf.us/functional_polymers/kaolin/pdfs/Sharad.pdf
3. Shi C. // Can. Journ. Civ. Eng. 2001. Vol. 28, N 5. P. 778–786.
4. Morsy M. S., Shebl S. S. // Ceramics – Silicaty. 2007. Vol. 51, N 1. P. 40–44.
5. Shvarzman A., Kovler K., Schamban I., Grader G. S., Shter G. E. // Adv. Cem. Res. 2002. Vol. 14, N 1. P. 35–41.
6. Shvarzman A., Kovler K., Grader G. S., Shter G. E. // Cem. Concr. Res. 2003. Vol. 33, N 3. P. 405–416.
7. Poon C. S., Kou S. C., Lam L. // Cem. Concr. Res. 2001. Vol. 31. P. 1301–1306.
8. Kjellsen K. O., Lagerblad B. // CBI Report 3:95. 1995. P. 41.
9. Courard L., Darimont A., Schouterden M., Ferauche F., Willem X., Degeimbre R. // Cem. Concr. Res. 2003. Vol. 33, N 9. P. 1473–1479.

R. Kaminskas, K. Trakimavičiūtė, R. Kubiliūtė

THE INFLUENCE OF CALCINED KAOLIN CLAY ON THE PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT

Summary

The influence of kaolin clay additives calcined at 600 °C on the properties of Portland cement was investigated. At 505 °C, the mineral of kaolin clay – kaolinite – breaks down and transforms into an active form – metakaolinite. In samples of calcined kaolin clay, the pozzolanic reaction was found to take place between portlandite and the amorphous SiO₂. The amount of forming calcium silicate hydrates increases with increasing amount of calcined kaolin clay additive (from 5 to 20%) and the duration of hydration.

The calcined clay additive reduces the compressive strength of the cement samples after 7 days of hydration. After 28 days of hydration, the compressive strength of samples with 10% of calcined clay additive was the same as that of samples without additives, meanwhile the compressive strength of samples with 5% of additive was slightly lower. After 3 months of hydration, the compressive strength of samples with 5 and 10% of calcined clay additive was higher than that of pure Portland cement samples.