

Dolomīta-mālu maisījumu izpēte romāncementa izstrādei

Inta Barbane¹, Gaida Sedmale², Liva Dzene³, ¹⁻³ Riga Technical University

Kopsavilkums. Restaurācijas vajadzībām izstrādāta metode, kā no dolomīta un mālu maisījuma iegūt materiālu, kas būtu pielīdzināms no dabīgā merģeļa ražotajam romāncementam, kas plaši lietots 19./20. gs. arhitektūrā. Darbā aplūkoti četri dažādi maisījumi no Spartaka atradnes kvartāra māliem un Kupravas atradnes devona māliem maisījumā ar Kranciema atradnes dolomītu. Izpētei izvēlētas 800°C un 900°C apdedzināšanas temperatūras. Izveidoti sastāvi ar mālu saturu 10, 20 un 30 %, kas ir tuvs dabīgā merģeļa sastāvam.

Rentģena difrakcijas analīžu rezultāti rāda, ka visos maisījumos, neatkarīgi no mālu veida, daudzuma un apdedzināšanas temperatūras, ir veidojušās šādas kristāliskās fāzes - kvarcs (SiO_2), kalcija oksīds (CaO), dikalcija silikāts ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) un magnija oksīds (MgO). Romāncementa cietēšanas procesā īpaša nozīme ir cementa minerālam - dikalcija silikātam, kas hidratējoties veido dikalcija silikāta hidratu un nodrošina saistvielas hidrauliskās īpašības.

Paraģos, kas apdedzināti 900°C temperatūrā, pēc divu nedēļu ilgās hidratācijas ar rentģena difrakcijas metodi konstatētas šādas kristāliskās fāzes - kvarcs (SiO_2), kalcija hidroksīds (Ca(OH)_2), magnija hidroksīds (Mg(OH)_2), kalcīts (CaCO_3), kalcija oksīds (CaO), magnija oksīds (MgO) un dikalcija silikāta hidratu ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$). Šī izvēlēta par perspektīvu apdedzināšanas temperatūru, jo tajā veidojies vairāk $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$.

Atslēgas vārdi: romāncements, dolomīts, māli, kristāliskās fāzes, restaurācija, merģelis, dikalcija silikāts, hidratācija.

I. IEVADS

Eiropā, tajā skaitā arī Latvijā, 19./20. gs. mijā arhitektūrā par javu saistvielu plaši izmantots romāncements. Mūsdienās šis materiāls ticis aizmirsts tirgū ienākušā portlandcimenta popularitātes dēļ. Tomēr ir pienācis laiks pievērst uzmanību gadsimtu seno ēku restaurācijai, līdz ar to jāiepazīst tajās lietotais saistvielas materiāls, kuram jāmeklē alternatīvas, jo romāncementa ražošanu no dabīgā merģeļa ierobežo izejmateriāla apgrūtinātā pieejamība [1].

Pirmo reizi romāncements tika patentēts Anglijā 1796. gadā un kļuva par nozīmīgu celtniecības materiālu visā Eiropā 19. gs. beigās un 20. gs. sākumā. 20. gs., pēc Pirmā pasaules kara, tā izmantošana strauji kritās jau minētās portlandcimenta popularitātes dēļ [2].

Romāncements ir dabīga saistviela, kas ražota, apdedzinot merģeli (minerālu, kas satur 60-75 % kaļķakmeni vai dolomītu un 25-40 % mālu) 750-900°C temperatūrā 8 līdz 20 stundas (ieskaitot uzsildīšanu, apdedzināšanu un atdzesēšanu) [3]. Saistvielu klasifikācijā romāncementu var ierindot starp hidrauliskajiem kaļķiem un portlandcementu. Atšķirībā no hidrauliskajiem kaļķiem, romāncementu nav jāvēldzē, tikai jāsamāļ, jo tas satur maz brīva CaO . Toties no portlandcimenta tas atšķiras ķīmiskā sastāva ziņā, jo tiek apdedzināts ievērojami zemākā temperatūrā [4].

Romāncementu raksturo īss saistīšanās laiks (aptuveni 15 minūtes [2]), zemas ražošanas izmaksas (dabīgi izejmateriāli un zemas apdedzināšanas temperatūras), pietiekama stiprība un viegla uzklāšana. Īpaši plašas tā pielietojšanas iespējas ir ēku ārējo apdarē un ornamentu veidošanā [3].

Kā romāncementa plašāka pielietojuma ierobežojošus faktorus min tā ātro cietēšanu (sākas 5-10 min, beidzas 10-25 min) un nevienmērīgu tilpuma maiņu pēc uzklāšanas, kā arī nepietiekamu mehānisko stiprību (1/5 no portlandcimenta mehāniskās stiprības). Šīs nelabvēlīgās īpašības iespējams novērst vai mazināt. Piemēram, 4-8 % ģipšakmens piedeva var paildzināt saistīšanās laiku pat 4,7 reizes [5].

Romāncementu raksturo šādas kristāliskās fāzes: monokalcija silikāts (CS), trikalcijs disilikāts (C_3S_2), dikalcija silikāts (C_2S ; belīts), dikalcija alumosilikāts (C_2AS ; gelenīts), trikalcijs alumināts (C_3A), tetrakalcija alumoferrīts (C_4AF). Trikalcijs silikāts (C_3S) romāncementā neveidojas, jo apdedzināšanas temperatūras ir pārāk zemas. Visas šīs fāzes veidojas cietās fāzes reakcijās starp kvarcu un kalcītu un mālu minerālu sadalīšanās produktiem [2].

Latvijas teritorijā izplatīts dolomītmerģelis, tāpēc šeit pārsvarā izmantots dolomītromāncements. Pirms Pirmā pasaules kara Latvijas teritorijā darbojušās pat četras romāncementa rūpnīcas [6].

Latvijā romāncements lietots īpaši plaši Rīgas jūgendstila apbūvē, kas datējama ar 19./20. gs. miju. Restaurācijas vajadzībām visizdevīgāk būtu izstrādāt romāncementa sastāvu, kas veidots uz dolomītkaļķu bāzes ar mālu piedevu. Tā kā Latvijā merģeļa krājumi ir nelieli un to sastāvs ir mainīgs, romāncementa ražošana no dabīgā merģeļa ir stipri ierobežota. Mākslīgi veidojot dolomītkaļķu un mālu maisījumu, būtu iespējams izveidot optimāli līdzīgu materiālu senajiem romāncementiem [1].

Šajā darbā pētīta mākslīga romāncementam atbilstoša materiāla izstrāde no dolomīta un mālu maisījuma.

II. DARBA METODIKA

Pamatojoties uz literatūras datiem [6], tika pagatavoti četri maisījumi ar dažādu mālu - dolomīta masas attiecību (skat. 1. tabulu).

1. TABULA

MAISĪJUMU SASTĀVS, MASAS %

Izejvielas Sastāva Nr.	Kupravas māli	Spartaka māli	Kranciema dolomīts
1.	-	30 %	70 %
2.	-	20 %	80 %
3.	20 %	-	80 %
4.	10 %	-	90 %

IZEJVIELU ĶĪMISKAIS SASTĀVS, MASAS % (NOTEIKŠANAS KĻŪDA 0,01–0,5 %)

Komponente	Paraugs	Spartaka kvartāra māli	Kupravas devona māli	Kranciema dolomīts	Džūkstes mēģelis
Karsēšanas zudumi 400°C		1,42	-	0,60	0,64
Karsēšanas zudumi 1000°C		10,92	6,87	38,87	37,87
SiO ₂		51,82	53,78	8,47	13,26
Al ₂ O ₃		14,69	18,80	4,92	4,77
CaO		8,27	1,95	27,88	25,87
MgO		2,52	3,44	17,83	16,15
Fe ₂ O ₃		5,47	9,07	0,58	0,85
TiO ₂		0,59	0,65	-	-
Na ₂ O		0,53	-	0,11	0,03
K ₂ O		3,35	5,10	0,21	0,1
SO ₃		-	-	0,24	-

Māli pirms maisījuma sajaukšanas tika smalcināti pietā, bet dolomīts – samalts ložu dzirnavās. Maisījumu homogenizācija tika veikta pietā 500 g lielām porcijām.

Paraugu izgatavošanai pielietoto izejvielu sastāvs parādīts 2. tabulā.

No iegūtajiem maisījumiem pēc pussausās presēšanas paņēmiena tika izgatavoti plāksņveida paraugi ar izmēriem 56 x 26 x 6 mm. Paraugi tika presēti hidrauliskajā presē, lietojot 15 MPa lielu spiedienu un izturot pie šī spiediena aptuveni 10 sekundes.

Katra maisījuma paraugi tika apdedzināti 800°C un 900°C temperatūrās, temperatūras celšanas ātrums 6°/min. Pie maksimālās temperatūras paraugi tika izturēti 2 stundas un atdzesēti krāsnī 14 stundu laikā.

Pie 900°C apdedzinātajiem paraugiem tika pārbaudīta hidratācijas spēja, ievietojot destilētā ūdenī, istabas temperatūrā 2 nedēļas.

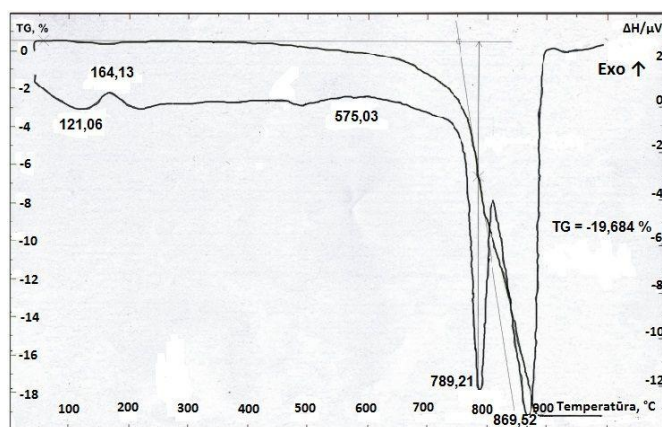
Pagatavotie maisījumi pirms apdedzināšanas tika analizēti, pielietojot diferenciāli termisko analīzi (DTA/TG) iekārtā SETARAM SETSYS Evolution – 1750. Eksperimentā izmantoti korunda tīģeļi un gaisa atmosfēra.

Rentgenstaru difraktometriskā analīze tika pielietota kristālisko fāžu pētījumiem paraugos pēc apdedzināšanas un pēc hidratācijas.

Rentgenstaru difraktometriskā analīze veikta ar Rigaku firmas rentgendifraktometru Rigaku Ultima, izmantojot CuK_α starojumu, anodstrāva 20 mA, spriegums 40 kV, skenēšanas ātrums 2 grādi minūtē. Paraugi pagatavoti, iepildot tos stikla paraugu turētājā. Rentgenogrammu atšifrēšanai – vielu Kristālisko fāžu identificēšanai izmantota PDF-4+ 2009. gada datu bāze.

III. REZULTĀTU IZVĒRTĒJUMS

Lai raksturotu maisījumu sastāvu un karsēšanas laikā notiekošās izmaiņas, 1. un 2. sastāvam tika veikta DTA/TG analīze. Abiem pārējiem sastāviem līkņu raksturs ir identisks. Attiecīgie siltuma efekti galvenokārt ir saistīti ar Kranciema dolomīta izmaiņām temperatūras ietekmē.



1.att. 1. sastāva diferenciāli termiskā un svara zudumu līknes.

Kā redzams no 1. attēla, 1. sastāvu var raksturot ar šādām raksturīgām pārvērtību temperatūrām, to karsējot:

121°C: endotermisks efekts – palikušā mehāniski saistītā ūdens izdalīšanās;

164°C: eksotermisks efekts – organisko savienojumu izdegšana;

575°C: endotermisks efekts – kvarca polimorfās pārvērtības α-kvarcs → β-kvarcs;

789°C: endotermisks efekts – $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3$;

869°C: endotermisks efekts – $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

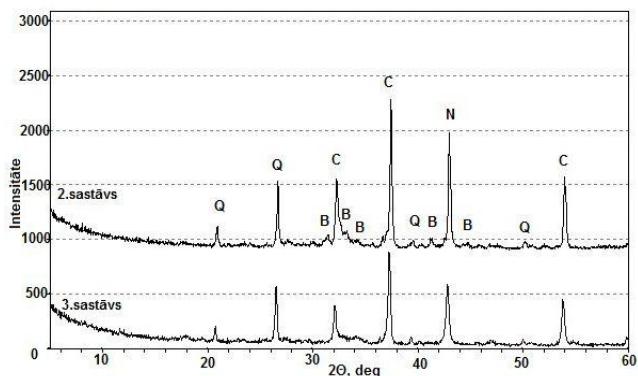
Masas zudumi novērojami dolomīta sadalīšanās laikā CO_2 izdalīšanās dēļ, un tie sasniedz 20 %.

2.sastāva DTA/TG līkņu raksturs ir līdzīgs, un to raksturo trīs endotermiski efekti: 478°C, 790°C un 873°C. Pirmais (pie 478°C) ir ar mazu entalpijas izmaiņu un attiecināms uz mālu minerālu sadalīšanās reakcijām. Divi pārējie endoeфекti (790°C un 873°C) ir ļoti izteikti un līdzīgi kā 1. sastāvā atbilst dolomīta sadalīšanās reakcijām un, salīdzinot ar 1. sastāvu, ir nedaudz nobīdīti uz augstākām temperatūrām. Šīs nobīdes iemesls varētu būt mazāks māla saturs, maisījumā, kas veicina dolomīta sadalīšanos pie zemākām temperatūrām.

Masas zudumi šajā gadījumā ir ievērojami lielāki un sasniedz 33 %. To nosaka palielinātais dolomīta daudzums maisījumā, kas sadaloties veido galvenos masas zudumus.

Jāatzīmē, ka 1. sastāvam ar mālu minerālu pārejām saistītas temperatūru (entalpijas) izmaiņas ir vairāk izteiktas, nekā 2. sastāvam, jo tajā mālu saturs ir lielāks. Tomēr abos attiecīgajos paraugos šie efekti ir ļoti vāji.

Kristāliskās fāzes, kas ir izveidojušās pēc 2. un 3. maisījumu sastāvu apdedzināšanas, parādītas 2. attēla rentgenogrammās. Arī pārējos sastāvos veidojušās tādas pašas kristāliskās fāzes, tikai nedaudz mainījies to daudzums atkarībā no mālu daudzuma maisījumā. 2. un 3. sastāvs izvēlēti salīdzināšanai, lai uzskatāmi parādītu atšķirību starp kvartāra un devona mālu sastāviem pie vienāda mālu daudzuma maisījumā.



2.att. 2. un 3. sastāva rentgenogrammas pēc apdedzināšanas 900°C temperatūrā: Q - kvarcs (SiO_2); C - kalcija oksīds (CaO); B - dikalcija silikāts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$); N - magnija oksīds (MgO).

Abos sastāvos neatkarīgi no apdedzināšanas temperatūras un pielietotajiem māliem pēc apdedzināšanas atrastas šādas kristāliskās fāzes - kvarcs (SiO_2); kalcija oksīds (CaO); dikalcija silikāts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$); magnija oksīds (MgO).

Kvarca galvenais avots ir māli, bet CaO un MgO radušies dolomīta sadalīšanās rezultātā.

Vairāk kalcija oksīda (CaO) pie vienāda mālu daudzuma 900°C temperatūrā veidojies sastāvā no Spartaka atradnes kvartāra māliem. Tas likumsakarīgi izriet no mālu ķīmiskā sastāva. 2. tabulā redzams, ka Spartaka māli, kā tipiski kvartāra māli, satur salīdzinoši daudz CaO (8,27 %), turpretī Kupravas devona māli – tikai 1,95 % CaO .

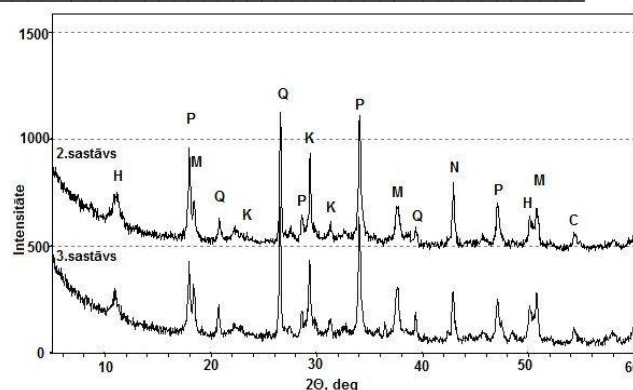
2. un 3. sastāvā pēc apdedzināšanas 900°C temperatūrā veidojies arī raksturīgais cementa minerāls - dikalcija silikāts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Spriežot pēc salīdzināmām difrakcijas intensitātēm, vairāk šī minerāla ir kvartāra mālu paraugos.

Arī 800°C temperatūrā veidojušās tās pašas fāzes, bet belīts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) veidojies relatīvi mazāk. Līdz ar to par perspektīvāku hidratācijas pārbaudei izraudzīti 900°C apdedzināti paraugi.

3. attēlā ir parādītas 2. un 3. sastāva rentgenogrammas pēc hidratācijas.

Visos 900°C apdedzinātajos paraugos pēc divu nedēļu hidratācijas konstatēta dikalcija silikāta hidrāta ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) klātbūtne. Tas ir hidratēts cementa minerāls, kas veidojas, hidratējoties dikalcija silikātam ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Kristālhidrāta veidošanās ir cementa cietēšanas procesa pamatā.

Pārējās kristāliskās fāzes ir kvarcs (SiO_2), kalcija hidroksīds (Ca(OH)_2), magnija hidroksīds (Mg(OH)_2), kalcīts (CaCO_3), kalcija oksīds (CaO), magnija oksīds (MgO).



3.att. 2. un 3. sastāva rentgenogrammas pēc hidratācijas: H – dikalcija silikāta hidrāts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$); P – kalcija hidroksīds (Ca(OH)_2); M – magnija hidroksīds (Mg(OH)_2); Q – kvarcs (SiO_2); K – kalcīts (CaCO_3); N – magnija oksīds (MgO); C – kalcija oksīds (CaO).

Ir redzams, ka, pieaugot sastāvā mālu daudzumam, kvarca kristalizācijas intensitāte pieaug. Salīdzinot 2. un 3. sastāvu, var secināt, ka maisījumā ar Kupravas māliem kvarca kristalizācija ir intensīvāka.

Pieaugot sastāvā dolomīta daudzumam, attiecīgi pieaug arī Ca(OH)_2 saturs hidratētajos paraugos. Tas skaidrojams ar dolomīta sadalīšanās procesa veidojošos CaO hidratāciju.

Spriežot pēc rentgenogrammu difrakciju intensitātēm (3. att., 3. sastāvs) vairāk Mg(OH)_2 veidojies sastāvos no devona māliem. Ir jāatzīmē, ka MgO , kas izveidojies, dolomītam sadaloties temperatūrās līdz 900–950°C, ir hidratēties spējīgs, kas nav novērojams, ja ir pielietota temperatūra, kas augstāka par 950°C [7]. Tāpēc dolomītromāncementa ieguves temperatūra nedrīkstētu pārsniegt 950°C, lai neveidotos nekaitīvs MgO – periklāzs, kas pasliktina saistīšanās īpašības.

IV. SECINĀJUMI

Lai izveidotu maisījumu no māliem un dolomīta, kas fizikālo īpašību un sastāva ziņā pēc apdedzināšanas būtu pielīdzināms dabīgajam, vēsturiski lietotajam romāncementam, kas lietojams restaurācijā, tika pagatavoti četri dažādi maisījumu sastāvi ar mālu saturu 10, 20 un 30 %. Izstrādē izmantoti divu veidu māli – Kupravas atradnes devona un Spartaka atradnes kvartāra māli. Pētīta fāžu veidošanās pēc maisījumu paraugu apdedzināšanas 800°C un 900°C, kas pēc literatūras datiem ir optimālā romāncementa izstrādes temperatūra, ja to iegūst no dabīga merģeļa. Cietēšanas procesa izpētei noteiktas kristāliskās fāzes pēc hidratācijas.

Diferenciāli termiskā analīze (DTA) uzrāda dolomītam raksturīgos endotermiskos efektus 790°C un 870°C temperatūrās, kas atbilst dolomīta sadalīšanās reakcijām. To rezultātā rodas CaO , kas tālākās reakcijās ar SiO_2 veido cementa minerālus. No DTA analīžu rezultātiem var spriest, ka apdedzināšanai nepieciešama temperatūra virs 800°C, lai pietiekami sadalītos dolomīts un būtu izveidojies pietiekams daudzums CaO .

Visos sastāvos, neatkarīgi no apdedzināšanas temperatūras un pielietotajiem māliem, pēc apdedzināšanas identificētas šādas kristāliskās fāzes - kvarcs (SiO_2), kalcija oksīds (CaO), dikalcija silikāts ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) un magnija oksīds (MgO). Pie vienāda mālu satura vairāk dikalcija silikāta veidojies

paraugos no kvartāra māliem. Tā kā 900°C temperatūrā radies vairāk dikalcija silikāta, kas ir noteicošais cementa minerāls romāncementā, tā tika pieņemta par perspektīvāko apdedzināšanas temperatūru.

900°C temperatūrā apdedzinātajos paraugos pēc divu nedēļu hidratācijas konstatēta dikalcija silikāta hidrāta klātbūtne. Tas ir hidratēts cementa minerāls un norāda uz iegūtā materiāla hidraulisku cietēšanu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. **Barbane, I., Vītiņa, I.** Romāncements vēsturisko ēku celtniecībā un restaurācijā. *51. RTU Studentu Zinātniskā un Tehniskā konference*, Rīga, RTU izdevniecība, 2010, 163. lpp.
2. **Weber, J., Gadermayr, N., Kozłowski, et.al.** Microstructure and mineral composition of Roman cements produced at defined calcination conditions. *Mater. Char.*, 2007, Nr. 58, p.1217-1228.
3. **Varas, M. J., Alvarez de Buergo, M., Fort, R.** Natural cement as the precursor of Portland cement: methodology for its identification. *Cement. Concr. Compos.*, 2005, Nr. 35, p. 2055–2065.
4. **Kozłowski, R., Adamski, G., Mucha, D.** Roman cements - key materials in effectively restoring the built heritage of the 19th century/early 20th century. *Rīga, RTU izdevniecība, Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti*, 1.sērija, 8.sējums, 2004, 102-109. lpp.
5. **Grosvalds, I., Lagzdina, S., Sedmalis, U.** Dolomitic romancement with improved properties. *In: 4th Internat. Conf. Modern Building Materials, Structures and Techniques*, Vilnius, 1995, p. 13.-17.
6. **Эйдук, Ю., Гросвалд, И.** Развитие производства доломитового романцемента в России и на территории Латвийской ССР. *Latvijas valsts P.Stučkas universitātes zinātniskie raksti*, 1958, 22.sēj., 283.-289. lpp.

7. **Švinka, R., Švinka, V.** *Silikātu materiālu ķīmija un tehnoloģija*; SIA Saknes: Rīga, 1997
8. **Sedmalis, U., Lagzdina, S., Bidermanis, L., Liepiņš, J.** Building Ceramics with Hydraulic Activity. *Tile & Brick Int.*, 2001, Nr. 2, Vol. 17, p. 108-113

Inta Barbane is the 4th year bachelor's student in Riga Technical University (RTU), Faculty of Material Science and Applied Chemistry, studying at chemical technology program.

For four years she has been working in the Laboratory of Chemical Analyses of Silicates in the Institute of Silicate materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry of RTU, Riga, Latvia. The main direction of the work is dedicated to restoration of the stone materials.

Gaida Sedmale

Dr.habil.chem (1992, Riga Technical University), assoc.prof./leadig researcher, Institute of Silicate Materials, Riga Technical University, is the author of more than 200 scientific publications in the field of glass and ceramic chemistry and technology. The main outputs of glassy and ceramic materials are protected by 50 Latvian and Russian patents. In the last 20 years her scientific interests are connected with the new and traditional ceramics. Member of the American Ceramic Society and Material Society of Latvia. E-mail: gsedmale@ktf.rtu.lv

Līva Dzene is the 4th year student of Chemical Engineering at Riga Technical University.

She works in laboratory of Stone Materials Conservation in the Institute of Silicate Materials, Faculty of Material Science and Applied Chemistry of RTU as senior laboratory assistant. Her main duty is to carry out chemical analysis of historic mortars.

Inta Barbane, Gaida Sedmale, Līva Dzene. Research of Dolomite – Clay Mixtures for Development of Roman Cement

A method how to obtain a material from dolomite and clay mixture has been developed for restoration needs. The material would be similar to Roman cement, produced from natural marls, it was widely used in 19/20th century's architecture. In this work four different mixtures made from Quaternary period clay from deposit Spartaks and Devonian period clay from deposit Kuprava mixed with dolomite from deposit Kranciems are discussed.

For research purposes two temperatures were chosen – 800 and 900°C. Compositions with clay content 10, 20, and 30 %, were made, which are close to natural marls composition.

The results of XRD diffraction analysis show that in all mixtures, independent of the type, amount of clay, and the firing temperature, the crystalline phase is formed from quartz (SiO₂), calcium oxide (CaO), dicalcium silicate (2CaO·SiO₂) and magnesium oxide (MgO). Cement mineral – dicalcium silicate – is important in Roman cement setting process. After hydration dicalcium silicate hydrate is developed providing hydraulic properties of the binder.

In the specimens fired at temperature of 900°C, after two weeks hydration XRD diffraction analysis shows crystalline phases such as quartz (SiO₂), calcium hydroxide (Ca(OH)₂), magnesium hydroxide (Mg(OH)₂), calcite (CaCO₃), calcium oxide (CaO), magnesium oxide (MgO) and dicalcium silicate hydrate (2CaO·SiO₂·H₂O). This is chosen to be a perspective firing temperature, because at this temperature sufficient amount of dicalcium silicate is formed.

Инта Барбане, Гайда Седмале, Лива Дзене. Исследование смеси доломита и глины для развития романского цемента

Для нужд реставрации разработана смесь и технология для получения материала, который по своим свойствам соответствовал романскому цементу, разработанному из натурального мергеля, который получил широкое использование в архитектуре 19-20 веков. В работе исследованы четыре разных смеси из четвертичной глины (месторождение Спартакс) и девонской глины (месторождение Куправа) вместе со Кранциемским доломитом. Состав глины в смеси 10, 20 и 30%, который по своим качествам близок составу натурального мергеля. Температура обжига смеси - 800°C и 900°C.

Рентгеновский фазовый анализ показывают, что все смеси независимо от вида, количества и температуры обжига, образуют следующие кристаллические фазы- кварц (SiO₂), окись кальция (CaO), силикат двукальция (2CaO·SiO₂) и окись магния (MgO). В процессе твердения романцемента особое значение имеет минерал цемента- силикат двукальция, который при гидратизации образует гидрат двукальциевого силиката, и обеспечивает гидравлические качества вяжущих веществ.

В образцах, которые обжигались при температуре 900°C, после двух недель гидратации с помощью метода дифракции рентгеновских лучей, констатированы следующие кристаллические фазы: кварц (SiO₂), гидроксид кальция (Ca(OH)₂), гидроксид магния (Mg(OH)₂), кальцит (CaCO₃), окись кальция (CaO), окись магния (MgO) и гидрат двукальциевого силиката (2CaO·SiO₂·H₂O). Имея ввиду содержание образовавшегося двукальциевого силиката в обожженной смеси, температура обжого 900°C выбрана оптимальной для получения разработанной смеси заменителя романского цемента из природного минерального сырья.