

Notekūdeņu dūņas saturoši poraini kompozītmateriāli

Ineta Rozenštrauha¹, Linda Krāģe², Askolds Jarutis³, Edmunds Lodiņš⁴, Viktors Filipenkovs⁵, ¹⁻⁵Rīga Technical University, Laila Pētersone, JSC "Valmieras Stikla šķiedra"

Kopsavilkums. Darbā aplūkotas noteiktu rūpniecisko atkritumu – notekūdeņu dūņu reciklēšanas iespējas porainos kompozītmateriālos. No minētajiem atkritumiem – notekūdeņu dūņām, atkritumu stikla un Nīcgales atradnes māliem veidotas vairākas kompozīcijas, no kurām kā perspektīvākās izvēlētas – kompozīcijas ar notekūdeņu dūņu saturu 25 – 35 masas %, atkritumu stiklu 20 masas % un Nīcgales māliem 45 – 55 masas % - matricas materiālu porainu kompozītu ieguvei, apstrādājot kompozīcijas termiski noteiktā temperatūru režīmā.

Iegūtie porainie kompozītmateriāli uzrāda sekojošas fizikālķīmiskās īpašības – porainību 34 – 48%, nelielu termisko sarukumu – 0,5 – 7 % un graujošo spiedes stiprību 51,1±1,1 – 51,5±1,0 MPa. Saskaņā ar uzrādītajām funkcionālajām īpašībām, iegūtos materiālus var izmantot kā speciālo būvkeramiku termoizolācijas mērķiem.

Atslēgas vārdi: porainā būvkeramika, notekūdeņu dūņas, rūpnieciskie atkritumi, reciklēšana.

I. IEVADS

Parasti sastopamie rūpniecisko neorganisko atkritumu veidi ir: metalurģisko un galvanisko procesu atkritumi, dažādi stikla atkritumi, notekūdeņu dūņas, pelni, filtrputekļi, arī celtniecības materiālu atlikumi, kuriem grūti atrast pielietojumu. Notekūdeņu attīrīšanas dūņas veidojas dzeramā ūdens sagatavošanas vai notekūdeņu attīrīšanas tehnoloģijās, kurās izmanto vai nu aktīvās baktērijas (bioloģiskā attīrīšanas metode), vai arī aktīvo baktēriju vietā lieto substrātu, kas var absorbēt kaitīgos ūdenī izšķīdušos savienojumus [1-2]. Notekūdeņu dūņas var saturēt daudz organisko savienojumu - aktīvās baktērijas un absorbētās organiskās vielas, kā arī neorganiskos savienojumus, t.sk. ekoloģiski kaitīgos elementus – smagos metālus, tāpēc lauksaimnieciskās izmantošanas vajadzībām dūņās tiek limitēts kaitīgo savienojumu saturs [3-5]. Izplatītākā dūņu pārstrādes metode ir to kompostēšana [6-7], tomēr literatūrā pieejami dati par citām pārstrādes metodēm: pigmentu ieguve [8], māla ķieģeļu pildviela [9] u.c. Viena no pēdējā laikā populārākajām metodēm ir dūņu kā pildvielas izmantošana porainas keramikas vai porainu kompozītu izveidē [10-11].

Šī darba mērķis ir izpētīt notekūdeņu dūņu piemērotību porainas keramikas ieguvei, atkarībā no sintēzes temperatūras un izejvielu sastāva.

II. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

Porainas keramikas iegūšanai izmantotās izejvielas ir AS „Valmieras stikla šķiedra” rūpnieciskie stikla atkritumi un notekūdeņu dūņas, kā arī Nīcgales māli. Paraugu ņemšana veikta pēc nejaušības principa – atkritumu stikla vidējais paraugs iegūts no rūpnīcas teritorijā esošās kaudzes 3 vietām, savukārt notekūdeņu dūņas ņemtas no rezervuāra 2 dažādās vietās, no kurām izveidots vidējais paraugs. Izejvielu kompozīcijas veidotas ar notekūdeņu dūņu saturu no 25 līdz

55 masas %, Nīcgales mālu saturu – 30 līdz 55 masas %, saglabājot atkritumu stikla saturu 20 masas %. AS „Valmieras stikla šķiedra” notekūdeņu dūņu granulometriskais sastāvs noteikts ar lāzergulometri CILAS 930 Naβ.

Notekūdeņu dūņas žāvētas 120 °C temperatūrā 24 stundas līdz gaissausam stāvoklim. Pēc tam atkritumi atsevišķi sasmalcināti mehāniskajās dzirnavās (RETSCH RM100), attiecīgi stikls un māli malti 5 min, bet rūpnieciskās notekūdeņu dūņas - 2 min. Paraugi presēti pēc pussausās metodes 8 kN spiedienā, izejvielu prespulveriem esot gaissausā stāvoklī, ar firmas WEBER PW-10 hidraulisko presi. Izmantota cilindriska nerūsējošā tērauda presforma, kuras iekšējais diametrs ir 20 mm un kurā prespulveris vienmērīgi sablīvējas no augšas un apakšas. Spiedienu pakāpeniski paaugstina līdz maksimālajam un iztur 60 sekundes. Tad spiedienu pakāpeniski samazina un izņem sapresēto jēlmateriāla paraugu. Saķepšanas intervāla noteikšanai atkritumu kompozīcijas termiski apstrādātas firmas NABERTHERM elektriskajā mufelkrāsnī ($t_{max} = 1300$ °C). Sapresētie paraugi termiski apstrādāti temperatūru intervālā no 1110 līdz 1130 °C, temperatūras paaugstināšanas ātrums – 3 °C/min līdz 700 °C temperatūrai, tad seko atkārtota temperatūras paaugstināšana ar ātrumu 12 °C/min līdz maksimālajai temperatūrai un atdzesēšana nereglamentētā režīmā. Cilindriskas formas paraugi ar augstums:diametrs attiecību, aptuveni, 0,3:1 izmantoti fizikālķīmisko īpašību pētījumos. Ūdens uzsūce, šķietamais blīvums un šķietamā porainība noteikta saskaņā ar standartmetodi LVS EN ISO 10545-3:2002 [12]. Fizikālķīmisko īpašību pētījumiem izmantoti vismaz 5 paralēlie paraugi. Kristāliskais sastāvs noteikts, izmantojot Rigaku Ultima+ rentgen difraktometru (CuKα starojums; atstarošanas leņķa 2θ diapazons – 5 līdz 60 grādi). Apdedzinātas keramikas materiālu mikrostruktūra pētīta ar kombinēto optisko mikroskopu JEOL 6380LV, stiklkeramikas paraugu šķērsriezuma virsma pārklāta ar porainu Au vai C pārklājumu, vizuāli analizēts poru un fāžu sadalījums. Kompozītmateriālu mehāniskā izturība noteikta pēc izturības uz spiedi. Testi veikti ar iekārtu Instron-4301 (Great Britain). Traversa kustības ātrums materiāla deformācijas spiediena nodrošināšanai – 0,5 mm/min, tests turpināts līdz materiāla sagraušanai. Testiem izmantoti vismaz 8 paralēli paraugi.

III. REZULTĀTI UN TO NOVĒRTĒJUMS

A. Izejvielu izpēte un raksturojums

Par izejvielu porainas stiklkeramikas iegūšanai izvēlētas AS „Valmieras Stikla šķiedra” notekūdeņu dūņas un atkritumu stikls un Nīcgales atradnes karbonātu savienojumus saturoši kvartāra māli. Pirmās divas izejvielas rodas kā blakusprodukti stikla ražošanas procesā. Notekūdeņu dūņas sastāv no sorbenta „Organosorb”, ražota Vācijā AS „Applied Chemical

Anwendungs Technik”, un adsorbēto organisko savienojumu masas ($\approx 50\%$) organisko vielu veidā. Sorbenta sastāvā ir Mg un Ca jonus saturošs montmorilonīts – dabiski hidratēts alumīnija silikāts, ko plaši lieto kā augsti molekulāro flokulantu notekūdeņu apstrādei (ražotāja dati). Atkritumu stikls AS „Valmieras Stikla šķiedra” arī veidojas kā blakusprodukts stikla kausēšanas procesā, sapinoties un salīpot tikko izvilktajām plānajām stikla šķiedrām pēc kausēšanas procesa. Stiklam, līdzīgi kā notekūdeņu dūņām, pašlaik nav atrasts izmantošanas vai pārkausēšanas veids, kā rezultātā uzņēmums ir spiests abus atkritumu veidus apglabāt atkritumu poligonā un maksāt dabas resursu nodokli. Abi rūpniecisko atkritumu veidi pētīti iepriekš – noteikts to granulometriskais sastāvs un DTA [13, 14], kā arī noskaidrots ķīmiskais sastāvs (skat. 1. tabulu). Dominējošie daļiņu izmēri notekūdeņu dūņām ir robežās no 20 – 50 μm (46,4 %) un 50 – 100 μm ($\approx 53\%$). Kā trešā izejviela izvēlēti Nīcgales atradnes māli, ko raksturo paaugstināts karbonātu daudzums. Nīcgales mālu un stikla ķīmiskais sastāvs dots 1. tabulā. Nīcgales māliem dominējošais daļiņu izmērs ir < 5 μm (73,3 %), bet daļiņas ar diametru 5 - 50 μm ir 22,2 % un > 50 μm ir 4,5 % [16]. Porainu materiālu ieguvei labāki ir treknākie māli, t.i. - māli ar augstāku tipisko mālvielu saturu, jeb, no granulometriskā sastāva viedokļa, kuros ir lielāka frakcija ar daļiņu izmēriem < 5 μm , kā arī zemāku smilšainās frakcijas un karbonātu savienojumu saturu [15,16].

1. TABULA

Nīcgales mālu un stikla vidējais ķīmiskais sastāvs, masas %

Oksīdi, raksturlielumi	Stikls	Nīcgales māli
B ₂ O ₃	7,98	--
Al ₂ O ₃	14,56	16,6
SiO ₂	52,29	53,8
MnO	--	--
CaO	22,56	6,6
TiO ₂	0,36	0,56
MgO	1,20	3,2
Fe ₂ O ₃	0,32	6,6
K ₂ O	0,14	0,43
Na ₂ O	0,43	3,09
SO ₃	-	0,07
Karsēšanas zudumi, %	-	11,1

No 1. tabulas datiem var redzēt, ka e-stikls sastāv galvenokārt no SiO₂, Al₂O₃, CaO, B₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃, savukārt Nīcgales māli - no SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, TiO₂, Na₂O un SO₃. Rūpnieciskās notekūdeņu dūņas rodas 40 tonnas nedēļā un to sastāvā esošais sorbenta materiāls "Organosorb" uz virsmas vai masā - mālu starpplākšņu telpās no rūpnieciskajiem notekūdeņiem var adsorbēt arī smagos metālus (Zn, Cr, Cd, Ni, Pb un Cu - pēc materiāla ekstraktu ķīmiskās analīzes datiem, ražotāja dati). Savukārt bentonīts ir dabiskie māli ar lielu montmorilonīta saturu (ne mazāks par 80 %), kas ir hidratēts alumīnija silikāts, kura molekulā daži alumīnija un silīcija atomi ir aizvietoti ar citiem atomiem – Mg vai Fe, un kura vispārīgā formula – (Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)₂(Si₄O₁₀(OH)₂ x H₂O.

B. Fizikāli ķīmiskās īpašības

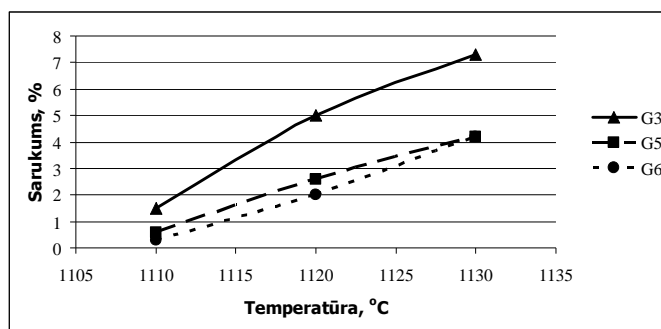
Izvērtējot visu izejvielu ķīmisko, granulometrisku sastāvu un termisko pārvērtību pētījumus, tika izveidotas vairākas izejvielu kompozīcijas, no kurām kā optimālākās turpmākiem pētījumiem izvēlētas G3, G5 un G6, kurām bija laba formas noturība un salīdzinoši neliels termiskais sarukums. Kompozīciju izejvielu sastāvā variēts gan mālu saturs – G3, tas ir 50 masas %, bet G5 un G6 – attiecīgi, 45 un 55 masas %, gan notekūdeņu dūņu saturs – G3, tas ir 30 masas %, bet G5 un G6 – attiecīgi, 35 un 25 masas %, saglabājot stikla saturu nemainīgu – 20 masas %.



1.att. Termiski apstrādāti kompozītmateriāli G5 (kreisā pusē), G6 (vidū) un G3 (labajā pusē).

1. attēlā redzami paraugi ir kompozīciju G3, G5 un G6 kompozītmateriāli, termiski apstrādāti attiecīgi 1120, 1125 un 1130 °C temperatūrās. Redzams, ka materiālos ir daudz atvērto poru un tie nav zaudējuši formu.

Kompozīciju G3, G5 un G6 materiāliem noteikts termiskais sarukums, šķietamais blīvums un šķietamā porainība.

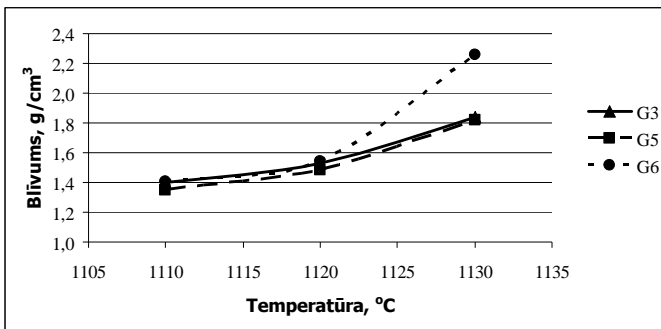


2.att. Kompozītmateriālu G3, G5 un G6 termiskais sarukums atkarībā no temperatūras.

2. attēlā redzams, ka visiem pētīto kompozīciju materiāliem sarukums procentuāli palielinās līdz ar temperatūras paaugstināšanu. Vislielākais sarukums ir kompozīcijas G3 materiālam, kura sastāvā ir 30 masas % notekūdeņu dūņu un 50 masas % mālu. Tas varētu būt saistāms ar notekūdeņu dūņu sastāvā esošo organisko vielu izdegšanu termiskās apstrādes procesā. Materiāla termiskais sarukums var būt atkarīgs arī no jēlmateriālu presēšanas spiediena, materiāla ķīmiskā sastāva un termiskajām īpašībām. Tā kā liels materiāla termiskais sarukums var negatīvi ietekmēt izstrādājuma formas noturību,

taid, lai samazinātu sarukumu un veicinātu formas noturību, kompozīcijai var pievienot stabilizējošās/armējošās piedevas [17]. Pētīto kompozīciju materiāliem termiskais sarukums ir salīdzinoši zems – attiecīgi 0 – 7 %. Sarukumu varētu saistīt ar mālu daļiņu ar diametru < 5 μm klātbūtni sistēmā. Tā kā doto kompozīciju sastāvā 20 – 55 % ir Nīcgales māli, tad tas varētu būt galvenais iemesls materiāla ievērojamajam termiskajam sarukumam. Sistēmas saķepšanas procesa laikā pretējs process termiskajam sarukumam ir organisko savienojumu izdegšanas laikā (temperatūru intervālā 300 – 600°C) veidojušās slēgtās poras, kuras kopā ar mālu sastāvā esošo karbonātu savienojumu sadalīšanos nodrošina nepieciešamo materiāla porainību.

3. attēlā redzams, ka visiem trim kompozītmateriāliem līdz ar temperatūras paaugstināšanu proporcionāli palielinās arī šķietamais blīvums. Varētu secināt, ka temperatūru intervālā 1115 – 1130 °C visiem materiāliem sākas saķepšanas process ar tajā laikā notiekošajām cietfāžu un šķidrās fāzes veidošanās reakcijām [19].

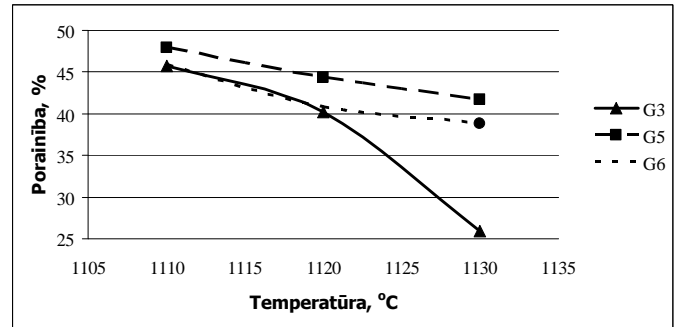


3.att. Kompozītmateriālu G3, G5 un G6 šķietamais blīvums atkarībā no temperatūras.

3. attēlā redzams arī, ka vismazākais šķietamais blīvums ir kompozīcijas G5 paraugam, bet G6 materiālam blīvums palielinās pakāpeniski no 1,5 g/cm³ 1120 °C temperatūrā un maksimumu ~ 2,1 g/cm³ sasniedz 1130 °C temperatūrā. Tā kā paraugam G3 vērojams visaugstākais termiskais sarukums (skatīt 2. att.), tad piemērotākais paraugs porainas keramikas iegūšanai ir G5.

Porainība ir viena no svarīgākajām īpašībām iegūtajam materiālam, jo tā nosaka materiāla spiedes un berzes pretestību, kā arī ietekmē korozijas noturību un salturību. Tā kā porās esošajam gaisam ir neliela siltumvadītspēja, tad poru izmēri un sadalījums ir noteicošais raksturlielums termoizolācijas mērķiem izmantojamajiem kompozītiem. Kā redzams 4. attēlā, porainība visiem 3 kompozīcijas materiāliem samazinās līdz ar temperatūras paaugstināšanos.

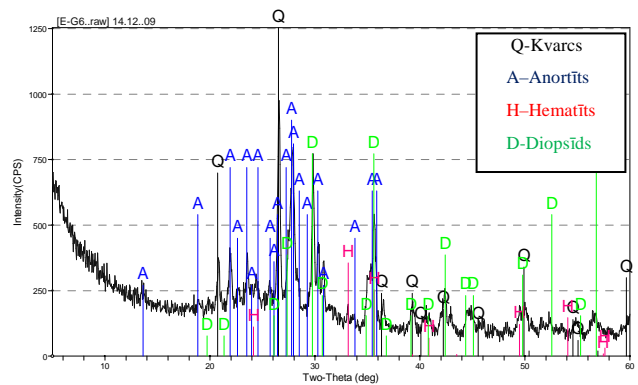
To varētu saistīt ar atvērto poru noslēgšanos saķepšanas procesa laikā šķidrās fāzes klātbūtnē un/vai to aizpildīšanos ar šķidrās fāzi, tā rezultātā palielinās materiāla stiprība, bet šo reakciju laikā izveidojas lielāks daudzums slēgto poru, kas varētu uzlabot materiāla mehānisko izturību [18].



4.att. Kompozītmateriālu G3, G5 un G6 porainība atkarībā no temperatūras.

C. Mineralogiskais sastāvs un mikrostruktūra

Rentgenfāžu analīze kompozīcijas G6 materiālam, iegūtam termiskās apstrādes temperatūrā 1120 °C, uzrāda termiskās apstrādes laikā veidojušās kristāliskās fāzes - kvarcu (SiO₂), anortītu (CaAl₂Si₂O₈), hematītu (Fe₂O₃) un diopsīdu CaMg(SiO₃) (skatīt 5. attēlu).



5. att. Kristālisko fāžu sastāvs kompozītmateriālam G6.

Veiksmīga kompozīcijas sastāva izveide nodrošinājusi anortīta un diopsīda kristālisko fāžu izveidi, jo tās uzlabo iegūto materiālu mehānisko izturību un stabilitāti. Diopsīda kristalizācijas temperatūra ir 1050 °C, savukārt, anortīta kristalizācijas temperatūra pēc literatūras datiem ir, sākot no 1100 °C [20]. Hematīts (Fe₂O₃) parasti sāk veidoties temperatūru intervālā no 900 līdz 1000 °C. Materiālos, kuros izveidojas hematīts, parasti ir neliels poru un ir vairāk kompleksas kristāliskās fāzes, kā arī paaugstinās materiālu mehāniskā izturība [21].

6. attēlā materiāla mikrostruktūrā redzamas liela izmēra poras, turklāt lielākā daļa no porām ir makroporas, kas varētu samazināt mehānisko izturību.



6.att. 1120 °C temperatūrā iegūta G6 kompozītmateriāla mikrostrukturā.

Pēc mikrostrukturā pētījumiem var secināt arī, ka materiālā pārsvarā ir stiklveida fāze un poras, bet mazāko materiāla daļu veido nelieli regulāri izvietoti kristāli.

D. Spiedes stiprība

Spiedes stiprības mērījumi tika izdarīti paraugiem G3 un G6, kuri apdedzināti 1120 °C temperatūrā. Iegūtie rezultāti parāda abu paraugu notekūdeņu dūņu satūra ietekmi uz paraugu mehānisko izturību pret spiedi. Kompozītmateriāla G3 ar dūņu saturu 30 masas % noteiktā spiedes izturība ir $51,1 \pm 1,1$ MPa, savukārt materiālam G6 ar notekūdeņu dūņu saturu 25 masas % tā ir $51,5 \pm 1,0$ MPa. G6 kompozītam materiālu graujošā spiedes stiprība nedaudz augstāka par materiālu G3, ko varētu izskaidrot ar augstāku mālu saturu, kas varētu nodrošināt kristāliskās fāzes veidošanos, kas savukārt uzlabo mehāniskās īpašības.

Salīdzinot iegūtos rezultātus ar standarta EN 14411:2006 prasībām keramikai, iegūtai ar pussausās presēšanas paņēmieni un ar ūdens uzsūci > 10%, var secināt, ka doto keramiku var ierindot standartā dotajā klasē BIII [22].

SECINĀJUMI

AS „Valmieras Stikla šķiedra” notekūdeņu dūņas un atkritumu e-stiklu pēc veiktās ķīmiskā, granulometriskā sastāva analīzes un termiskajām īpašībām var reciklēt porainas keramikas produktā, izmantojot pulvertehnoloģijas metodi un izvēloties atbilstošu termiskās apstrādes režīmu, kā matricas materiālu izmantojot karbonātu savienojumus saturošus Nīcgales atradnes mālus.

No izveidotajām atkritumus saturošu izejvielu kompozīcijām izvēlētas 3 perspektīvākās, kuru sastāvā ir 25 – 30 masas % notekūdeņu dūņu, 20 masas % atkritumu stikla un 50 – 55 masas % Nīcgales atradnes mālu.

Atbilstošākais termiskās apstrādes režīms - ar lēnu temperatūras paaugstināšanu (2 °C/min) līdz 700 °C temperatūrai, strauju temperatūras paaugstināšanu (12 °C/min) temperatūras intervālā no 700 °C līdz maksimālajai temperatūrai un nereglamentētu atdzesēšanas procesu.

Iegūtie porainie materiāli uzrāda labas fizikāli ķīmiskās īpašības (34 – 48%, porainību, nelielu termisko sarukumu – 0,5 – 7%), kā arī tiem ir salīdzinoši augsta graujošā spiedes stiprība: materiālam G3 tā ir $51,1 \pm 1,1$ MPa, savukārt,

materiālam G6 – $51,5 \pm 1,0$ MPa). Salīdzinot iegūtos rezultātus ar standarta EN 14411:2006 prasībām keramikai, iegūtai ar pussausās presēšanas paņēmieni un ar ūdens uzsūci > 10 %, var secināt, ka doto keramiku var ierindot standartā dotajā BIII klasē.

Materiālu sastāvā konstatētas sekojošas fāzes: kvarcs (SiO_2), anortīts ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), hematīts (Fe_2O_3) un diopsīds $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)$, un to mikrostrukturā dominē makroporas un nelielā daudzumā stiklveida fāze.

Saskaņā ar noteiktajām fizikāli ķīmiskajām īpašībām jauniegūtos materiālus var izmantot kā porainas būvkeramikas materiālus vai pildvielu, t. sk. izolācijas vajadzībām.

PATEICĪBA

Darbs veikts ar projekta VPP “Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas, projekts Nr. 1 Jaunu tehnoloģiju izstrādāšanai inovatīvu produktu radīšanai no zemes dziļu resursiem, apakšprojekta 1.3.V7793 “Jauni keramikas produkti un tehnoloģijas” finansiālu atbalstu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] **A.Blumberga, D. Blumberga, M.Kļaviņš, M.Rošā, S.Valtere.** *Vides tehnoloģija*; Latvijas Universitāte: Rīga, 2010, 132.-153. lpp.
- [2] **Ē.Tilgalis.** *Notekūdeņu savākšana un attīrīšana*; Latvijas Lauksaimniecības universitāte: Jelgava, 2004, 86.-135. lpp.
- [3] **I.Gemste, A.Vucāns.** *Notekūdeņu dūņas*; Latvijas Lauksaimniecības universitāte: Jelgava, 2006, 278 lpp.
- [4] Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture.
- [5] Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli (2006). LR MK 2006. gada 2. maija noteikumi Nr. 362. Latvijas Vēstnesis, Nr. 73 11.05.2006.
- [6] **Y.Lu, X.Wu, J.Guo.** Biological activity during co-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manure. Physico-chemical characterization of the processed organic matter. *Waste Manage.*, 2008, 28(8), 1375-1385.
- [7] J.E.Schmidt, N.Christensin, D.J.Batstone, E.Trably, G.Lyberatos, K.Stamatelatos, M.Kornaros, L.Metzger, N.Amellal, J.Watson, K.Garcia, S.Ayuso, D.Patureau. *Safe recycling of sewage sludge on agricultural land – biowaste*; *Process Saf. Environ. Prot.*, 2006, 84(B4), 253-257
- [8] **G.Costa, M.J.Ribeiro, J.A.Labrincha, M.Dondi, F.Matteuci, G.Cruciani.** *Malayaite ceramic pigments prepared with galvanic sludge*; *Dyes Pigm.*, 2008, 78, 157-164
- [9] **C.H.Weng, D.F.Lin, P.C.Chiang.** *Utilization of sludge as brick materials*; *Adv. Environ. Res.*, 2003, 7, 679-685.
- [10] **Y.Jin, X.Wang, Y.Nie, X.Du.** Method for producing porcelain granule light weight aggregate with sewage sludge; *Pat. CN 5763341* (11.06.2008)
- [11] **I.M.Anagnostopoulos, V.E.Stivankis.** Utilization of lignite power generation residues for the production of lightweight aggregates; *J. Hazard. Mater.*, 2009, 163, 329-336.
- [12] LVS EN 10545-3:2002 „Keramikas flīzes - 3. daļa. Ūdens absorbcijas, šķietamās porainības, šķietamā un patiesā blīvuma noteikšana”
- [13] **I.Rozenštrauha, G.Sosins, L.Petersone, L.Krage, M.Drille, V.Filipenkov.** *Production of glass-ceramics from sewage sludge and waste glass*; IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 25 (2011) 012016doi:10.1088/1757-899X/25/1/012016
- [14] **G.Sosins, I.Rozenštrauha, L.Krāģe, G.Sedmale.** *Latvijas mālu izpēte un izmantošana notekūdeņu dūņu reciklēšanai*; RTU zinātniskie raksti, Materiālzinātne un lietišķā ķīmija, 2011., 46. – 49. lpp.
- [15] **Ū.Sedmalis, I.Šperberga, G.Sedmale.** *Latvijas Minerālās izejvielas un to izmantošana*; RTU izdevniecība: Rīga, 2002, 196 lpp.

- [16] **U.Sedmalis.** Latvijas zemes bagātību apzināšanas, izpētes un izmantošanas stāvoklis pašlaik un nākotnes uzdevumi; Zinātnes Vēstnesis: 2006, Nr.3.
- [17] **I.Rozenstrauha, D.Bajare, R.Cimdins, J.Bossert, L.Berzina, A.R.Boccaccini.** *The influence of various additions on a glass-ceramic matrix composition based on industrial waste*; Ceram. Int., 2006, 32, 115 – 119.
- [18] **S.Čertoks.** Fizikālie un ķīmiskie procesi un to vadīšanas iespējas kvalitatīvas būvkeramikas iegūšanai; Promocijas darba kopsavilkums. 2008
- [19] **I.Kourti, C.R.Cheesman.** Properties of lightweight aggregate produced from lignite coal fly ash and recycled glass; Res. Conserv. and Rec., 2009, vol. 230, 623-629.
- [20] **Y.J.Park, S.O.Moon, J.Heo.** Crystalline phase control of glass ceramics obtained from sewage sludge fly ash; Ceram. Int., 2003, 29, 223-227.
- [21] **J.L. Zou, G.R.Xu, G.B.Li.** Ceramsite obtained from water and wastewater sludge and its characteristics affected by Fe₂O₃, CaO, and MgO; J. Hazard. Mater., 2009, 165, 995-1001.
- [22] CSN EN 14411:2006 – “Ceramic tiles - Definitions, classification, characteristics and marking”

Ineta Rozenstrauha - Dr.sc.ing. (1999), asoc.prof. in Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Applied Chemistry. Author of more than 70 publications in the field of glass-ceramics production from various type of industrial waste. Main outputs of glass-ceramic materials are protected in 3 patents of Latvia
Address: Azenes Str. 14/24, LV- 1048, Riga, Latvia, Phone: + 371 67089277, Fax: + 371 67615765; E-mail: ineta@ktf.rtu.lv

Linda Krage – Dr. sc. ing. (1999), asoc. prof. in Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute Silicate Materials. Author of more than 75 publications in the field of glass-ceramics,

concrete and restoration. Main outputs of glass-ceramic materials are protected in 2 patents of Latvia
Address: Azenes str. 14/24, Riga, LV-1048, LATVIA,
Phone: + 371 67089277, Fax: + 371 67615765
E-mail: Linda@ktf.rtu.lv

Askolds Jarutis has earned Bachelor's degree of Chemistry (2010) at Riga Technical university, Faculty of Material Science and Applied Chemistry in 2010. Currently he is undertaking Master's level studies at Riga Technical university, Faculty of Power and Electrical Engineering. His current field of professional interests includes recycling of industrial waste – sewage sludge and environmental engineering.
Address: Kronvalda bulv. 1, Rīga, LV-1010, LATVIA,
E-mail: Askolds.Jarutis@rtu.lv

Edmunds Lodins – M.sc. degree (2010), Doctoral programme student of Chemical Engineering in Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Applied Chemistry. His scientific interest is connected with the recycling of various type of industrial waste.
Address: Azenes Str. 14/24, LV- 1048, Riga, Latvia
E-mail: edmundslodins@inbox.lv

Viktors Filipenkovs - Dr.sc.ing. (2001), senior researcher in Riga Technical University, Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Biomaterials and Biomechanics. Author of more than 45 publications. Scientific interest – biomaterials, mechanics of composites, mechanics of deformable solids, biomechanics, mechanics of biological tissue.
Address: 14/24. Azenes St., LV- 1048, Riga, Latvia
Phone: +371 67089202, E-mail: v_filipenkov@hotmail.com

Laila Petersone – dipl. ing. (1989), JSC Valmieras Stikla Šķiedra – technical director (2004).
Address: Cempu str. 13, Valmiera, LV-4201, LATVIA
E-mail: Laila.Petersone@vss.lv

Ineta Rozenstrauha, Linda Krage, Askolds Jarutis, Edmunds Lodins, Viktor Filipenkov, Laila Petersone. Porous building ceramic materials containing industrial sewage sludge

Porous and ceramic materials were produced from industrial waste – glass as by-products from glass fibre production and sewage sludge, and mineral raw material – clay from the deposit Nicgale. The chemical and mineralogical analysis of sewage sludge was performed. Sewage sludge contains material “Organosorb” (bentonite), 50% of organic matter, phosphorous, nitrogen and some trace elements: Cr, Zn, Cd, Ni, Pb, Cu. The waste glass contains mainly SiO₂, Al₂O₃, CaO, B₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂ and Fe₂O₃. The mineral raw material - Latvian clay from deposit Nicgale contains mainly SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, TiO₂, Na₂O and SO₃ and particularly high content of carbonate compounds - 21,66 wt% CaCO₃+MgCO₃. The mentioned clay could be used as a raw material for porous ceramic composite due to the high content (73.3%) of particles having size < 5 μm. The raw materials were investigated by differential-thermal analysis (DTA) as well as thermal treatment. According to the studies of the composition of raw materials several mixtures were produced from the clay (45 – 55 wt%) as a matrix material and sewage sludge (25 – 35 wt%) as well as waste glass (20 wt%) in order to manufacture a lightweight aggregate during the thermal treatment. The conditions of sintering of porous ceramic were established after various experiments: heating rate until 700°C – 3°/min and subsequent heating until maximum temperature with heating rate 12°/min. Three compositions showing optimal Functional properties: thermal shrinkage – 0.5 - 7%, bulk density 1.5 – 2,1 g/cm³ at the temperature interval 1120 – 1130°C, porosity - 34 – 48%, and relatively high breaking stress in compression – 51.1±1.1 – 51.5±1.0 MPa. According to the functional properties detected, the obtained materials could be used as fillers for building materials and porous building ceramic materials for specific purposes (e.g. thermoinsulation).

Инета Розенштрауха, Линда Краге, Асколдс Ярутис, Едмундс Лодиньш, Виктор Филипенков, Лайла Петерсоне. Пористые строительные материалы, содержащие ил сточных вод

Пористые керамические материалы получены из отходов стекловолоконного производства, ила сточных вод и глины, добытой из месторождения «Ницгале» (Латвия). Проведен химический и минералогический анализ ила сточных вод. В состав ила сточных вод входит материал “Organosorb” (бентонит), 50% органических соединений, фосфор, азот и незначительное количество металлов: Cr, Zn, Cd, Ni, Pb, Cu. Стекло содержит SiO₂, Al₂O₃, CaO, B₂O₃, MgO, K₂O, TiO₂ и Fe₂O₃. Глина из месторождения «Ницгале» содержит SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, TiO₂, Na₂O, SO₃ и значительное количество карбонатных соединений – 21,66 % CaCO₃+MgCO₃ по массе. Подбор глины для получения пористых керамических композитов основан на большом количестве (73,3%) частиц, имеющих размер < 5 μm. Термические свойства исходных материалов исследованы, используя дифференциальный термографический анализ и термическую обработку. Для получения пористых керамических композитов использовали различные комбинации смесей из глины (45-55% по массе), ила сточных вод (25-35% по массе) и отходов стекла (20% по массе). Композиционные материалы получены при термической обработке данных смесей. Температурный режим для изготовления пористой керамики получен экспериментально. Температура повышалась от комнатной до 700 °C со скоростью 3 °C/мин., и далее до максимальной со скоростью 12 °C/мин. Получены три композита, имеющие оптимальные функциональные свойства: термическую усадку – 0.5 - 7%, плотность - 1,5 – 2,1 g/cm³ (в температурном интервале 1120 – 1130 °C), пористость - 34 – 48% и относительно высокое разрушающее напряжение при сжатии – 51,1±1,1 МПа – 51,5±1,0 МПа. Полученные материалы можно рекомендовать для использования в качестве заполнителя строительных и термоизоляционных материалов.