

CELTNIECĪBAS KERAMIKA, KERAMZĪTS UN KERAMISKIE SORBENTI

RUTA ŠVINKA^{1*}, VISVALDIS ŠVINKA²

^{1,2} *Silikātu materiālu institūts, Materiālzinātņu un lietišķās ķīmijas fakultāte, Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija*

Kopsavilkums. Vēsturiski viena no silikātu tehnoloģijas katedras pamattēmām vienmēr ir bijusi celtniecības materiālu pētīšana un jaunu materiālu izstrāde. Tie ir gan keramikas materiāli, gan materiāli uz neorganisko javu saistvielu bāzes. Ir analizētas un salīdzinātas šo materiālu īpašības: siltuma vadāmība, līdzsvara mitrums, mehāniskās īpašības. Salīdzinātas rūpnieciskos apstākļos un laboratorijā iegūtu dažādu Latvijas mālu keramikas materiālu īpašības un struktūra. Aprakstīta dažu rūpniecisko atkritumu ietekme uz keramikas materiālu īpašībām. Aprakstīta arī jauna keramikas materiāla keramzīta ražošanas tehnoloģija – vienas stadijas paņēmieni, kas ļauj paplašināt keramzīta ražošanai izmantojamo izejvielu bāzi un variēt keramzīta īpašības atkarībā no paredzamā pielietojuma. Pētīta dažādu Latvijas mālu noderība porainu keramisku sorbentu iegūšanai, par poru veidotājiem izmantojot organiskas dabas ražošanas atkritumus. Analizēta keramikas virsmas apstrāde, piemēram, apstarošana ar paātrinātajiem elektroniem un nanodaļiņu pārklājumi, keramikas granulu sorbcijas spējas palielināšanai un noderība fotokatalītiskai organisku piesārņotāju sadalīšanai.

Atslēgas vārdi – poraina celtniecības keramika, keramzīts, līdzsvara mitrums, siltuma izolācija, keramikas granulas, sorbenti.

I. Celtniecības keramika

Ir salīdzinātas dažu celtniecībā plaši izmantotu būvmateriālu (māla ķieģeļu, *Keraterm* bloku, silikātķieģeļu, gāzbetona, keramzītbetona un betona) ūdens uzsūkšanas kinētika un līdzsvara mitrums ar ūdens tvaikiem piesātinātā atmosfērā. Salīdzināta arī dažu sausu un līdzsvara mitruma stāvoklī esošu rūpniecisko materiālu siltuma vadāmība. Salīdzināšanai ar pussausās presēšanas paņēmieni no dažādiem Latvijas

* Korespondējošais autors.
E-pasts: ruta.svinka@rtu.lv

māliem (devona Liepas gaišie un sarkanie; kvartāra Apriķu, Lielaucē, Usma, Līvānu, Kalnciema, Brocēnu) izgatavoti paraugi, kas apdedzināti 1000 °C temperatūrā, un tiem arī noteiktas minētās īpašības. Rezultātu analīzei izmantota rūpnieciskos un laboratorijas apstākļos iegūto materiālu porainība un poru izmēru sadalījums (noteikšanas metode – dzīvsudraba porozimetrija, porozimetrs *Autopore IV*, Erlangenas-Nirnbērgas universitāte, Vācija), izvērtēta pētīto materiālu izmantošanas lietderība dzīvojamu telpu celtniecībai [1].

Ūdens uzsūkšanas kinētika ir līdzīga visiem laboratorijas apstākļos iegūtiem keramikas paraugiem – intensīva ūdens uzsūkšana notiek pirmajās 15–20 min. Ūdens uzsūkšanas spēja kvartāra māliem ir ievērojami lielāka, tā ir 0,22–0,32 g·cm⁻³, atkarībā no mālu atradnes. Salīdzinoši devona mālu apdedzināto paraugu ūdens uzsūkšanas spēja ir 0,12–0,15 g·cm⁻³. Līdzsvara mitrums piesātināta tvaika atmosfērā ir atkarīgs no vides temperatūras, t. i., paaugstinoties eksperimenta temperatūrai, līdzsvara mitrums palielinās (1. att.). Līdzsvara mitruma vērtība ļauj novērtēt arī nepieciešamo apdedzināšanas temperatūru konkrētās atradnes māliem. No iegūtajiem rezultātiem redzams, ka apdedzināšanas temperatūra 1000 °C ir pietiekoša Lielaucē, Līvānu un Liepas atradnes māliem, bet Apriķu, Usma un Kalnciema mālu keramikai, spriežot pēc līdzsvara mitruma, nepieciešama augstāka apdedzināšanas temperatūra.

Komerčiāliem celtniecības materiāliem noteiktas tās pašas īpašības, kas ļauj salīdzināt šos materiālus no izmantošanas viedokļa. Visus pētītos komerciālos materiālus var iedalīt divās grupās: keramiskie sienu celtniecības materiāli un betona tipa sienu celtniecības materiāli. Šo abu grupu materiālu īpašības attiecībā uz ūdens uzsūkšanu un līdzsvara mitrumu ievērojami atšķiras. No Līvānu māliem ražoto māla ķieģeļu,

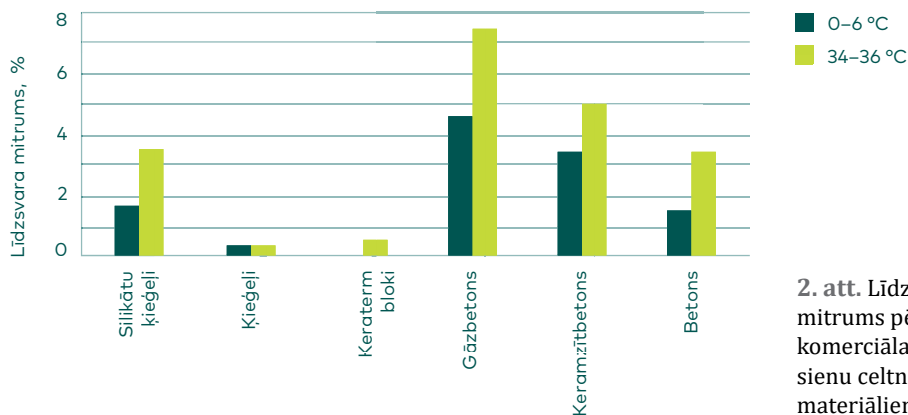


1. att. Līdzsvara mitrums 1000 °C temperatūrā apdedzinātiem dažādu Latvijas mālu keramikas paraugiem.

Keraterm bloku un laboratorijā 1000 °C temperatūrā apdedzināto keramikas paraugu ūdens uzsūkšanas kinētikas rezultāti ir līdzīgi – strauji ūdens uzsūkšana notiek pirmo 15–20 min laikā, un pēc tam lēns process turpinās līdz 1,5 h. Līdzsvara mitrums abiem komerciālajiem keramikas materiāliem, jo sevišķi ķieģeļiem, ir zems (2. att.). Līdzsvara mitrums šajos keramikas materiālos ir atkarīgs arī no poru izmēru sadalījuma tajos – jo mazāks ir poru izmērs, jo mazāks ir līdzsvara mitrums. Dažādiem betona grupas materiāliem ūdens uzsūkšana notiek ļoti strauji pirmo 5 min laikā, bet pēc tam vienmērīgi turpinās nākošās 3 dienas. Vislielākā ūdens uzsūkšanas spēja ir gāzbetonam – 0,28 g·cm⁻³. Līdzsvara mitrums šiem materiāliem ir ievērojami lielāks nekā keramikas materiāliem (2. att.), un tas ir atkarīgs no materiāla tilpuma masas. Gāzbetona tilpuma masa ir 0,86 g·cm⁻³, bet līdzsvara mitrums 34–36 °C temperatūrā sasniedz 7,5 %. Savukārt smagā betona tilpuma masa ir 2,11 g·cm⁻³, bet līdzsvara mitrums šajā temperatūrā ir 3,4 %. Līdzsvara mitrums 0–6 °C temperatūrā ir ievērojami zemāks.

Konstatēts, ka materiālu siltumu izolējošās īpašības un līdzsvara mitrums ir atkarīgi ne vien no materiāla porainības un poru izmēru sadalījuma, bet arī no kristāliskajām fāzēm, kuras veidojas materiāla iegūšanas procesā. Keramikas materiāliem ir priekšrocības dzīvojamo telpu būvē.

Silikātu keramikas materiālos, kas iegūti no māla izejvielām, poras ir raksturīgs, neiztrūkstošs struktūras elements. Poru daudzums, izvietojums, izmēri un forma ietekmē keramikas īpašības un paver iespēju mērķtiecīgi ietekmēt un iegūt silikātu keramikas materiālus ar vēlamām īpašībām un funkcionālu daudzveidību. Iespēja regulēt keramikas materiālu poru struktūru nodrošina labas materiālu siltuma izolācijas īpašības, atmosfēras un sala izturību, vienlaicīgi saglabājot pietiekoši labas mehāniskās īpašības. Jau agrāk konstatēts, ka celtniecības keramikas



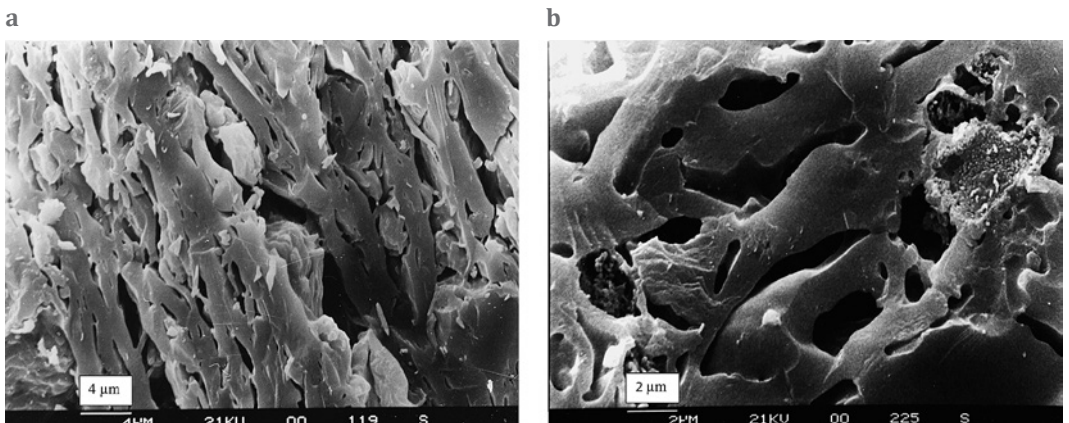
2. att. Līdzsvara mitrums pētītajiem komerciālajiem sienu celtniecības materiāliem.

sala izturība ir tieši saistīta ar kritisko poru izmēru 0,5–1,0 μm diapazonā [2]. Ir pētīta poru struktūra Latvijas devona Liepas un Kupravas atradņu un kvartāra Līvānu atradnes mālu keramikā. Keramikas materiāla porainības palielināšanai izmantotas neorganiskas un organiskas piedevas: dolomīta milti, sijātas zāģu skaidas, kafijas sausna.

Analizēta poru struktūras veidošanās illīta mālu matricā ar un bez dabīga karbonātu piemaisījuma. No plastiskas masas ekstrudētai Liepas mālu keramikai raksturīgas izstieptas formas poras, kas orientētas ekstrūzijas virzienā. Šāda poru orientācija un forma saistīta ar mālu minerālu plākšņveida uzbūvi (3. a att.). Keramikas izstrādājumos, kas veidoti ar pussauso paņēmienu, arī saglabājas šāda devona māliem raksturīga poru forma (3. b att.).

Karbonātu klātbūtne devona perioda Kupravas mālos dod priekšstatu par illīta un kalcīta mijiedarbību apdedzināšanas procesā. Termiskās disociācijas rezultātā 1050 °C temperatūrā kalcīta graudu izmēri samazinās, un kontaktvirsmā starp illītu un kalcītu rodas atstarpe (4. a att.). Sākotnējā kontaktzonā starp illītu un kalcītu (4. b att.) var konstatēt mijiedarbības kristāliskās fāzes – diopsīdu un anortītu. Pēc poru formas un to noapaļojuma redzams, ka matricu veidojošais illītu saturošais materiāls ir ar zemāku saķepšanas temperatūru.

Karbonātus saturošos kvartāra mālos poras veidojas gan illīta saķepšanas, gan karbonātu termiskās sadalīšanās rezultātā. Papildus poru veidošanos var panākt, pievienojot dažādas poras veidojošas piedevas. Pievienojot vienlaicīgi atšķirīgas dabas un izmēru poras veidojošas piedevas, apdedzinātā materiālā iegūstamas poras plašā diametru diapazonā. Siltumizolējošas keramikas ražošanai kvartāra mālu vidējā

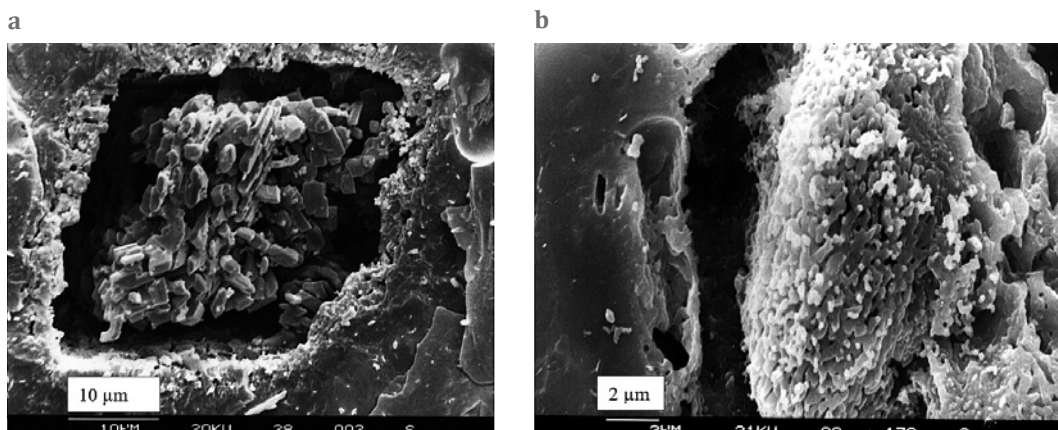


3. att. 1000 °C temperatūrā apdedzinātas Liepas mālu keramikas mikrostruktūra: a – ekstrudēta plastiska masa; b – pussausa presēta masa.

apdedzināšanas temperatūra ir 1000 °C. Iegūstot Līvānu mālu keramiku no māliem bez piedevām, materiāla porainība ir 36,7 % un struktūrā veidojas poras šaurā izmēru diapazonā, vidēji 0,44 μm (5. a att.). Materiāla drumstalas siltuma vadāmība ir 0,404 W·m⁻¹·K⁻¹. Pievienojot māliem dolomīta miltus, zāģu skaidas un kafijas sausnu, iegūst keramikas materiālu ar porainību 57,5 % un struktūrā veidojas poras plašā izmēru diapazonā. Materiāla drumstalas siltuma vadāmība ir 0,187 W·m⁻¹·K⁻¹. Porozimetrijas rezultāti par koksnes skaidu ietekmi uz poru izmēriem liecina par to, ka starp mālvielu un organisko komponenti – koksnes skaidām – pastāv arī fizikāli ķīmiska iedarbība. Šī fizikāli ķīmiskā iedarbība izpaužas kā poru veidošanās nanoizmēru diapazonā 10–100 nm (5. b att.). Maksimālo poras veidojošo piedevu daudzumu ierobežo keramikas izstrādājumu plastiskais veidošanas paņēmiens. Atsevišķo poras veidojošo komponentu salīdzinoša analīze rāda, ka siltuma vadāmības samazināšanai efektīvas ir nanoizmēru poras.

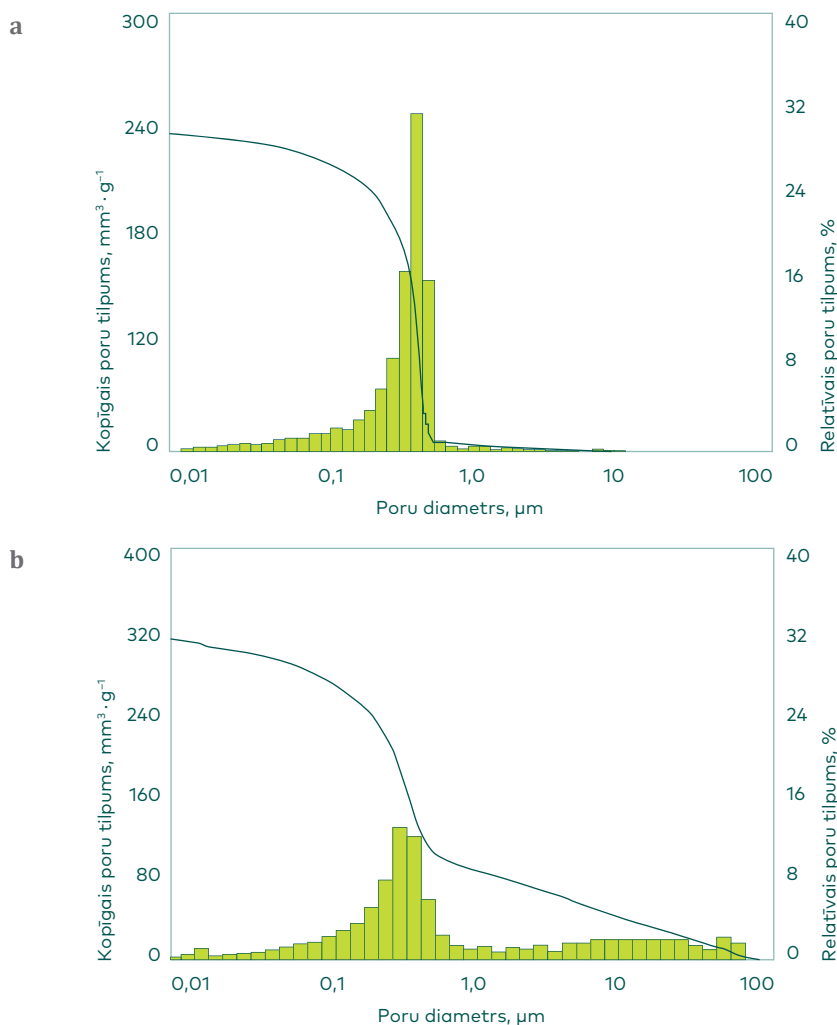
Nemot vērā pasaules vides aizsardzībai svarīgu uzstādījumu – siltuma procesos izdalītā CO₂ daudzuma samazināšanu, veikti pētījumi par citām porainas keramikas iegūšanas iespējām, izslēdzot organiskas izcelsmes piedevu sadedzināšanu keramikas termiskās apstrādes tehnoloģijā.

Porainu siltumu izolējošu keramiku iespējams iegūt arī ar koncentrētas suspensijas liešanas paņēmienu, kur poru veidošanās notiek ūdeņraža izdalīšanās rezultātā, reaģējot pulverveida alumīnijam ar ūdeni bāziskā vidē. Šī tehnoloģija nedaudz atgādina gāzbetona ražošanas tehnoloģiju. Gatavojot izstrādājumus ar suspensijas liešanas paņēmienu, poru veidošanās šajā suspensijā ir atkarīga no reoloģiskajām īpašībām, piemēram, zeta potenciāla, viskozitātes un pH. Gāzes veidošanās



4. att. Illīta un kalcīta augsttemperatūras iedarbība Kupravas mālos:
a – dekarbonizēts kalcīta grauds; b – iedarbības robežslānis.

reakcijas ātrums, alumīnija pulverim reaģējot ar ūdeni, ir atkarīgs no noteiktu minerālu klātbūtnes, piemēram, kaolinīta, ilīta, smektītu un arī alumīnija oksīda. Ūdeņraža izdalīšanās ātrums suspensijā nosaka arī materiāla porainību. Gala produkta poru struktūru ietekmē arī izejvielu graudu izmēri un apdedzināšanas temperatūra. Savukārt suspensijas viskozitāte ir tā, kas nosaka poru veidu – tās ir vai nu apaļas, vai ovālas. Metastabila poru struktūra izveidojas stundas laikā suspensijai

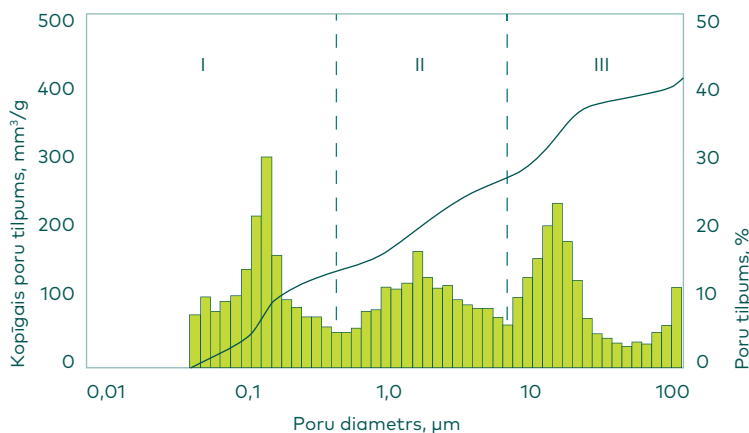


5. att. Poru izmēru un tilpuma sadalījums Līvānu mālu celtniecības keramikā pēc apdedzināšanas 1000 °C:
a – māli bez piedevām; b – māli ar 20 % zāģu skaidu piedevu.

sacietējot [3]. Pievienojot izejvielu maisījumam smalku alumīnija pulveri vai pastu ar vidējo daļiņu izmēru 15 μm, poru izmēru sadalījums apdedzinātos paraugos ir atšķirīgs dažādiem māliem. Bezkarbonātu devona mālu keramikai pēc optiskās mikroskopijas rezultātiem poras ir lielākas un relatīvais poru virsmas laukums 1000 °C temperatūrā apdedzinātiem paraugiem ir 49,5 %, bet kvartāra mālu keramikā, kas arī apdedzināta 1000 °C temperatūrā, poras ir mazākas un relatīvais poru virsmas laukums ir 29,7 %. Arī poru izmēru sadalījums šajos keramikas materiālos ir atšķirīgs. Bezkarbonātu mālu keramikas materiāla poru sadalījuma diagrammā ir divi raksturīgi poru izmēru diapazoni 0,01–1,0 μm un 10–100 μm. Turpretim karbonātu mālu keramikas poru sadalījuma diagramma uzrāda trīs raksturīgus poru izmēru diapazonus: 0,01–0,1 μm (I), ap 1,0 μm (II) un 10–100 μm (III), skat. 6. att.

Lielākā izmēra poru veidošanās saistīta ar ūdeņraža izdalīšanos ķīmiskās reakcijas rezultātā un suspensijas sacietēšanu. Vidējā izmēra poras veidojas mālu minerālu dehidrosilācijas rezultātā, bet mazāko poru veidošanās notiek karbonātu sadalīšanās rezultātā. Smalkākās poras nodrošina siltuma izolāciju un ūdens tvaika adsorbciju, bet lielās rada rezerves tilpumu ūdens sasalšanas gadījumā. Šādu materiālu tilpuma masa ir maza – bezkarbonātu mālu gadījumā 1,0–1,17 g·cm⁻³, bet karbonātus saturošu mālu keramikas gadījumā 0,97–1,0 g·cm⁻³. Pastāv lineāra sakarība starp silikātu keramikas tilpuma masu un siltuma vadāmības koeficientu λ. No šī viedokļa aprēķinātais siltuma vadāmības koeficients bezkarbonātu mālu keramikai ir 0,15 W·m⁻¹·K⁻¹, bet karbonātu mālu keramikai tas ir 0,13 W·m⁻¹·K⁻¹.

Izmantojot keramikas izstrādājumu veidošanu ar plastisko paņēmienu, māliem pievienoti 1 masas% vai 5 masas% rupjgraudainu alumīnija pulveru ar vidējo daļiņu izmēru 100 μm vai 630 μm. Apdedzinot



6. att. Poru izmēru sadalījums 1000 °C temperatūrā apdedzinātā kvartāra mālu keramikā.

paraugus klasiskajās Latvijas mālu apdedzināšanas temperatūrās 950 °C, 1000 °C un 1050 °C, iegūti materiāli ar atšķirīgām īpašībām. Īpašības stipri ietekmē gan pievienotā rupjgraudainā alumīnija pulvera daļiņu izmērs, gan daudzums. Apdedzināšanas temperatūras ietekme arī ir atšķirīga. Devona mālu keramikas piedevas dažādi ietekmē ūdens uzsūkšanas spēju, salīdzinot ar dabīgiem māliem. 1 masas% 100 μm alumīnija pulvera piedeva 950 °C un 1000 °C temperatūrā apdedzinātu paraugu ūdens uzsūci samazina salīdzinājumā ar keramiku bez piedevas. Turpretim 1050 °C temperatūrā apdedzinātu paraugu ūdens uzsūce palielinās. 5 masas% 100 μm alumīnija pulvera piedeva veicina keramikas ūdens uzsūces palielināšanos visās izvēlētajās apdedzināšanas temperatūrās. Savukārt rupjākā 630 μm alumīnija pulvera gan 1 masas%, gan 5 masas% piedeva visās temperatūrās apdedzinātu paraugu ūdens uzsūci samazina, salīdzinot ar apdedzinātu mālu paraugu ūdens uzsūci. Tādas pašas piedevas kvartāra māliem ūdens uzsūci ietekmē atšķirīgi. 100 μm alumīnija pulvera piedevas 1 masas% un 5 masas% daudzumā palielina ūdens uzsūci paraugiem, kas apdedzināti visās izvēlētajās temperatūrās. Savukārt 630 μm pulvera piedeva ļoti maz izmaina apdedzināto paraugu ūdens uzsūci, salīdzinot ar atbilstošajās temperatūrās apdedzinātu kvartāra mālu ūdens uzsūci. Tāpēc uzlabotas siltuma vadāmības materiālu iegūšanai, izmantojot rupjgraudainu alumīnija pulveri, noderīgāki ir kvartāra perioda karbonātus saturoši māli ar nelielu (1–5 masas%) alumīnija pulvera piedevu ar graudu vidējo izmēru 100 μm.

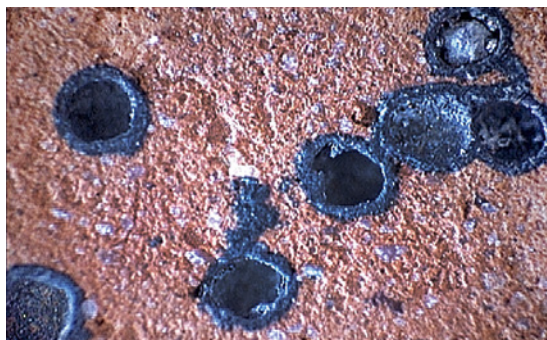
Celtniecības keramikas gadījumā svarīga loma ir materiālu spiedes izturībai. Ūdens uzsūces un atbilstoši porainības palielināšanās gadījumā materiālu mehāniskā izturība samazinās. Saglabājoties vispārīgajai sakarībai starp keramikas ūdens uzsūci (porainību) un mehānisko izturību, ir redzams, ka izmantotās piedevas un to daudzums tomēr neviennozīmīgi ietekmē šo zināmo sakarību. Devona mālu keramikas gadījumā 100 μm alumīnija pulvera piedeva samazina paraugu spiedes izturību visās apdedzināšanas temperatūrās. Turpretim rupjgraudainā 630 μm alumīnija pulvera piedeva ievērojami palielina keramikas paraugu spiedes izturību 1000 °C un 1050 °C temperatūrās apdedzinātiem paraugiem. 1 masas% piedevas gadījumā sevišķi efektīvs spiedes izturības pieaugums ir 1050 °C temperatūrā apdedzinātiem paraugiem. 950 °C temperatūrā apdedzinātu paraugu spiedes izturība samazinās, salīdzinot ar šajā temperatūrā apdedzinātas keramikas bez piedevām spiedes izturību. Rezultāti par devona un kvartāra mālu keramikas ūdens uzsūci un spiedes izturību 1050 °C temperatūrā apdedzinātiem materiāliem apkopoti I. tabulā.

Optiskās mikroskopijas fotoattēlā (7. att.) redzams, ka rupjgraudainā alumīnija pulvera graudi (630 μm) keramikas sastāvā apdedzināšanas rezultātā darbojas kā reducētājs, reducējot mālu sastāvā esošo Fe₂O₃ par FeO un veicinot stiklveida fāzes rašanos zemākā temperatūrā. Veidojas

1050 °C temperatūrā apdedzinātas keramikas
ūdens uzsūce un spiedesizturība

Devona mālu keramika			Kvartāra mālu keramika		
Sastāva apzīmējums	Ūdens uzsūce, %	Spiedes izturība, MPa	Sastāva apzīmējums	Ūdens uzsūce, %	Spiedes izturība, MPa
māli	5,8	56,1	māli	15,1	61,0
D1-1	6,6	47,9	K1-1	18,5	36,3
D1-5	11,0	37,4	K1-5	18,9	35,6
D6-1	4,8	68,2	K6-1	15,1	59,0
D6-5	4,3	68,1	K6-5	14,2	35,8

noslēgtas poras ar tumšām poru sienīņām alumīnija graudu kontakta zonā ar mālu matricu, kas tad arī nosaka materiāla spiedes izturības palielināšanos. Analizējot iegūtos rezultātus, jāsecina, ka materiāla iegūšana ar vēlamajām īpašībām ir atkarīga ne vien no mālu izejvielas rakstura un apdedzināšanas temperatūras, bet arī no pievienojamā alumīnija pulvera graudu izmēra un daudzuma. Izmantojot alumīnija pulveri ar daļiņu izmēru 10–20 μm, keramikas izstrādājumi iegūstami no suspensijas (šlikera) ar mitruma saturu 32 %. No devona māliem ar liešanas paņēmieni iegūtas apdedzinātas keramikas porainība ir ievērojami augstāka un siltuma vadītspēja ir ievērojami zemāka. Izmantojot 1–5 masas % rupjgraudaina alumīnija pulveri, iegūtā materiāla ūdens uzsūce (un arī porainība) mainās nedaudz, tāpēc ievērojama siltuma vadāmības samazināšanās nav sagaidāma. Tieši otrādi, ir novērojama pretēja parādība – 1050 °C temperatūrā apdedzinātu paraugu ūdens uzsūce ir mazāka nekā šajā pašā temperatūrā apdedzinātu mālu keramikai bez piedevām. Tāpēc rupjgraudainā (630 μm) alumīnija pulvera



7. att. Slēgtu poru veidošanās mālu matricā (devona māli ar 5 masas% 630 μm alumīnija pulvera piedevu). Apdedzināšanas temperatūra – 1050 °C.

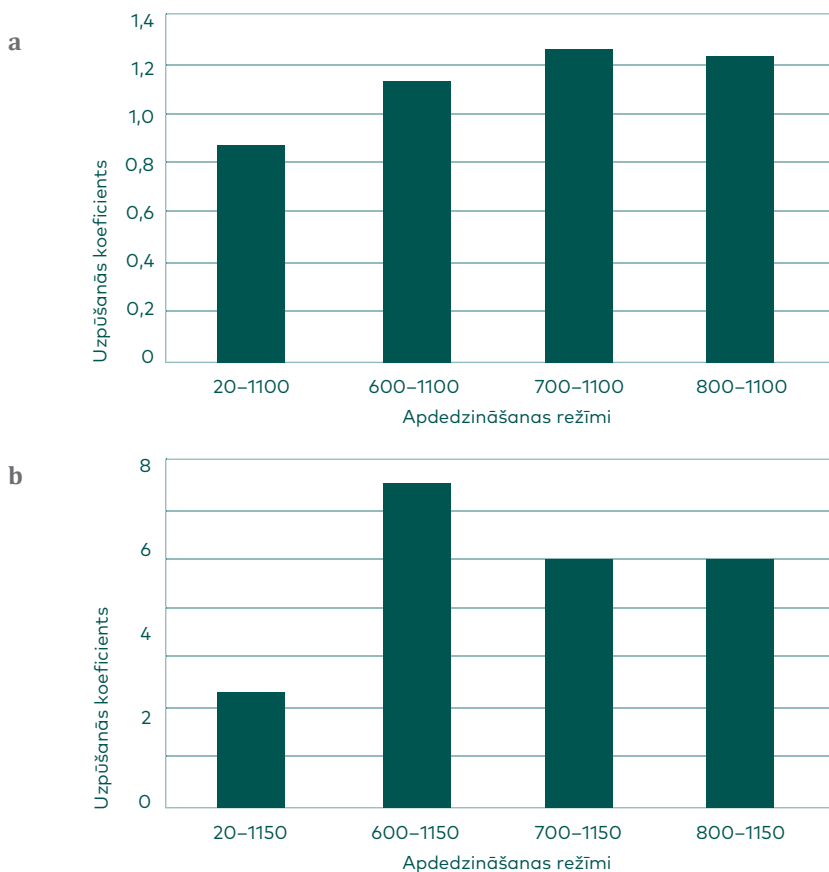
piedeva ir noderīga klinkera tipa keramikas iegūšanai ar ūdens uzsūci $\leq 6\%$ un paaugstinātu mehānisko izturību. Metāliska alumīnija pulveris kā izejviela ar graudu izmēriem plašā diapazonā (no $15\ \mu\text{m}$ suspensijā līdz $100\text{--}630\ \mu\text{m}$ plastiskā mālu masā) ļauj iegūt porainu keramiku ar samazinātu siltuma vadāmību. Ar šo paņēmieni iespējams samazināt oglekļa dioksīda emisiju, kas vienmēr pavada ilgmūžīgas celtniecības keramikas ražošanu. Keramikas materiāli, kas iegūti ar koncentrētas suspensijas liešanas metodi, ir vērtīgs celtniecības materiāls telpām ar augstu mitruma saturu, jo šim materiālam ir zems līdzsvara mitruma saturs ($W \leq 1,4\%$ pēc 1 mēneša izturēšanas telpā ar relatīvo mitrumu līdz 95%).

II. Keramzīts (šūnaina keramika)

Keramzīts ir labi pazīstams, viegls, keramisks granulveida materiāls, kuru mūsdienās izmanto galvenokārt kā rupjo pildvielu vieglu betona izstrādājumu ražošanai. Pārsvārā pastāv viedoklis, ka keramzīta ražošanai noderīgi ir viegli kūstoši hidrovislas saturoši māli, kuros ir pietiekoši augsts dzelzs oksīdu saturs. Strauji ceļot temperatūru $1000\text{--}1150\ \text{°C}$ intervālā, atkarībā no mālu ķīmiskā sastāva, intensīvi izdalās gāzes. Tā kā apdedzināmais materiāls ir piroplastiskā stāvoklī, ko rada augstas viskozitātes šķidrās fāzes klātbūtne, tad gāzes saglabājas materiāla iekšienē un to uzpūš. Gāzes rodas mālu minerālu un to piemaisījumos esošo karbonātu sadalīšanās rezultātā un oglekļa savienojumu klātbūtnē Fe_2O_3 , reducējoties par FeO un izdalot CO un skābekli. Pētīti dažādi Latvijas māli, gan kvartāra ģeoloģiskā perioda (Līvāni, Apriķi, Nīcgale), gan devona perioda Kupravas atradnes māli [4]. Visi izmantotie māli satur karbonātu piemaisījumus dažādos daudzumos. Mālu uzpūšanās uzlabošanai izmantotas dažādas piedevas: zāģu skaidas $3\text{--}5\%$ masas%, eļļa $1\text{--}3\%$ masas%, koksnes pulēšanas putekļi $1\text{--}5\%$ masas%, kafijas sausna 3% masas%. Keramikas masas sagatavotas plastiskā veidā ar mitruma saturu 20% . Paraugi pēc izžāvēšanas apdedzināti klasiskajā divpakāpju režīmā. Klasiskā tehnoloģija (divstadiju process) paredz lēnu pakāpenisku temperatūras celšanu līdz $850\ \text{°C}$. Temperatūras celšanas ātrumu ierobežo adsorbētā un ķīmiski saistītā ūdens izdalīšanās no mālu minerāliem. Tālāk notiek strauja temperatūras celšana līdz $1100\text{--}1200\ \text{°C}$ un izturēšana maksimālajā temperatūrā. Otrās apdedzināšanas stadijas laikā veidojas granulu iekšējā šūnainā struktūra, jo tajā veidojas reducējoša apdedzināšanas vide, un granulas apvalks sablīvējas saķepšanas rezultātā. Svarīgs keramzīta izejvielu raksturojošs lielums ir uzpūšanās-deformācijas temperatūra un atbilstošais temperatūras intervāls. 8. att.

parādīta Apriķu mālu granulu uzpūšanās, tās apdedzinot dažādos divpakāpju termiskās apstrādes režīmos.

Analizējot darba gaitā iegūtos rezultātus, ir redzams, ka keramzīta iegūšana ir atkarīga no daudziem faktoriem. Vispirms jau tas ir mālu ķīmiskais un mineralogiskais sastāvs. Pētītie māli ir hidrovizlu māli, bet dažos rentgena fāžu analīze uzrāda arī nelielu kaolinīta daudzumu. Ķīmiskā analīze uzrāda dažādu Fe_2O_3 saturu. Lielākais Fe_2O_3 saturs ir Prometeja mālos, bet mazākais Nicgales mālos. Ļoti atšķirīgs ir arī CaO saturs – no 11,30 % Apriķu mālos līdz 3,29 % Kupravas mālos. Agrāk literatūrā norādītie Fe_2O_3 un CaO pieļaujamie ($\text{CaO} \leq 5-6\%$) vai nepieciešamie ($\text{Fe}_2\text{O}_3 6-9\%$) daudzumi mūsu iegūto rezultātu izvērtējumā nav noteicošie.



8. att. Apriķu mālu uzpūšanās dažādos apdedzināšanas režīmos ar 2 % eļļas piedevu: a – maksimālā temperatūra 1100 °C; b – maksimālā temperatūra 1150 °C.

Apriķu mālos $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ attiecība ir 1,58, Prometeja mālos šī attiecība ir 0,55, bet abi māli ar vienām un tām pašām piedevām un vienādos tehnoloģiskos apstākļos uzpūšas vislabāk. Svarīga nozīme ir arī piedevām, kas nodrošina nepieciešamo oglekļa daudzumu, kurš veicina Fe_2O_3 reducēšanu par FeO , kā arī oglekli saturošu piedevu daudzumam. Vislabāko rezultātu mūsu gadījumā dod piedevas, kuras strauji sadeg attiecīgajā izvēlētajā beigu temperatūrā. No darbā izmantotajām piedevām tā ir eļļa. Ja mālos Fe_2O_3 nav pietiekošā daudzumā, tad nepieciešams izmantot Fe_2O_3 saturošas piedevas. Tehnoloģiskajā ziņā, kā redzams no pētījumiem, svarīgas ir pirmās stadijas temperatūra un ātrās apdedzināšanas maksimālā temperatūra [5].

Uzpūšanās koeficienta palielināšanai divstadiju paņēmiena gadījumā pirmās pakāpes temperatūra izvēlēta zemāka par dehidroksilācijas temperatūru, kad mālu minerāli jau sāk sadalīties. Dehidroksilācijas process pēc tam varētu beigties otrajā stadijā, un var sagaidīt, ka ūdens tvaika izdalīšanās radīs papildus poras kopā ar tradicionālo šūnu keramikas veidošanās procesu, kad daļēji strauji sadegot organiskajai piedevai, reducējas Fe(III) oksīds un skābeklis kopā ar oglekļa monoksīdu uzpūš drumstalu. Kā rāda iegūtie rezultāti, tad ne vienmēr notiek sagaidāmais process. Devona mālos (Kupravas, Tūjas un Planču atradnes) uzpūšanās šajā apdedzināšanas režīmā vispār nenotiek, jo Fe_2O_3 saturs ir tuvu literatūrā uzrādītajai zemākajai kritiskajai robežai ($\geq 6\%$) un putekļu un smilšu frakciju kopīgais saturs ir lielāks par 20%. Kvartāra māli (Nīcgales, Apriķu un Prometeja atradnes) uzpūšas ļoti labi, bet īsā uzpūšanās–deformācijas intervāla dēļ to praktiska izmantošana ražošanā bez liesinošām piedevām ir stipri apgrūtināta.

Pētītie Latvijas kvartāra un devona ģeoloģisko periodu māli ir noderīgi šūnu keramikas – keramzīta – ražošanai. Atkarībā no pētīto mālu ķīmiskā sastāva, tehnoloģiskās iespējas iegūt keramzītu ir atšķirīgas. Ķīmiskā sastāva ziņā svarīgākais ir dzelzs oksīda un kalcija oksīda saturs. Fe_2O_3 rada iespēju notikt reducēšanās procesam, bet papildus oglekli saturošu savienojumu klātbūtne pastiprina šo procesu. Galvenais faktors, kas nosaka keramzīta iegūšanas tehnoloģiskos parametrus, ir augsttemperatūras fāzes, kuras veidojas mālos ātrās apdedzināšanas rezultātā noteiktā temperatūrā. Savukārt svarīga nozīme ir šo augsttemperatūras fāžu viskozitātei, jo tā nodrošina gan poru veidošanos Fe_2O_3 reducēšanas, O_2 izdalīšanās un CO veidošanās rezultātā, gan granulu apvalka saglabāšanos. Tāpēc noderīgākie keramzīta ražošanai ir māli, kuros augsttemperatūras reakciju rezultātā veidojas anortīts. Veikto pētījumu rezultātā konstatēts, ka no šiem keramzīta ražošanai vispiemērotākie ir kvartāra perioda Apriķu māli ar 2% eļļas piedevu, kas dod vislielāko uzpūšanās koeficientu, ja granulas tiek lēni uzkaršētas līdz 600 °C temperatūrai un pēc tam tiek pārvietotas 1150 °C temperatūrā.

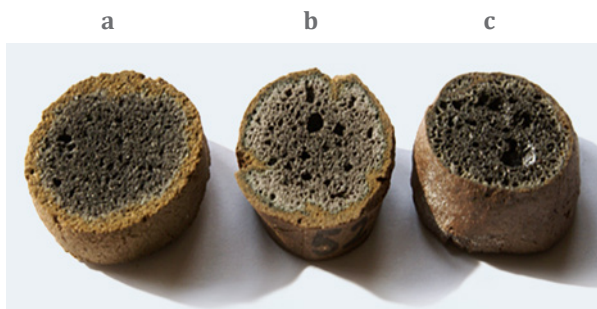
Ātrās apdedzināšanas tehnoloģijas ir viens no keramikas materiālu ražošanas attīstības galvenajiem virzieniem. Noteicošie faktori no māliem ražotas keramikas termiskās apstrādes ātrumam ir apdedzināšanas laikā notiekošie ķīmiskie un fizikālie procesi. Ātrās apdedzināšanas tehnoloģijai līdz šim vismazāk vērības ir veltīts keramzīta (šūnainas keramikas) ražošanā. Šāds modernas tehnoloģijas trūkums ir saistīts ar apdedzināšanas tehnoloģiskajām iekārtām.

No dažādiem (gan pēc ģeoloģiskās izcelsmes, gan pēc mineraloģiskā un ķīmiskā sastāva) Latvijas māliem ar 2 % zāģu skaidu piedevu iegūtas šūnainas keramikas granulas ar atšķirīgu tilpuma masu un tilpuma palielināšanās koeficientu. Pamatprocess šāda keramikas materiāla iegūšanai ir kopējs – ātrā apdedzināšanas procesā noteiktā temperatūrā apdedzināmais materiāls ir piropplastiskā stāvoklī. Granulā pastāv temperatūras gradients, un uz granulas virsmas veidojas relatīvi blīvs, ļoti sikporains apvalks, kas aiztur granulas iekšienē radušās dažādās gāzveida vielas, kuras, pateicoties paaugstinātam spiedienam granulas iekšienē, uzpūš granulu. Viegļu granulu iegūšanai ir trīs priekšnoteikumi: gāzveida vielas izdalīšanās temperatūra, šķidrā fāze ar atbilstoši nelielu viskozitāti un pietiekoši garu piropplastiskā stāvokļa temperatūras intervālu un kristāliskās fāzes, kuras izveidojas keramikas materiālā apdedzināšanas temperatūrā. Liepas mālu granulu apdedzināšanas procesā gāzveida fāze ir ūdens tvaiki, kuri rodas mālu minerālu sadalīšanās rezultātā 500–600 °C temperatūru intervālā. Uzpūšanos nodrošina daļēja izdegošo piedevu sadegšana, un radies CO reducē Fe₂O₃, izdalot skābekli. Liepas mālos Fe₂O₃ saturs ir 7,15 masas%. Savukārt kristāliskās fāzes 1150 °C temperatūrā apdedzinātajā Liepas mālu materiālā ir tikai kvarcs un mullīts, kas abi ir grūti kūstoši savienojumi, un granulu tilpuma palielināšanās koeficients ir neliels. Līdzīgs process notiek arī ar juras perioda Strēļu atradnes mālos, kur apdedzinātais produkts arī satur tikai kvarca un mullīta kristāliskās fāzes. Keramzīta iegūšanai ar vienstadijas paņēmieni tika izmantots devona perioda Tūjas mālu

II. tabula

Devona mālu keramzīta tilpuma masa pēc divu veidu termiskās apstrādes

Sastāvs	Tilpuma masa, g·cm ⁻³	
	Divu stadiju process 20 °C → 500 °C → 1150 °C	Vienas stadijas process 20 °C → 1200 °C
Liepas māli + 25 % smiltis	1,77	1,11
Planču māli + 25 % smiltis	0,95	0,72
Tūjas māli (smilšaini)	1,48	1,03



9. att. Ar vienstadijas paņēmieni iegūto Liepas mālu ar 25 % smilšu piedevu (a), Tūjas smilšaino mālu (b) un Planču mālu ar 25 % smilšu piedevu (c) keramzīta granulas.

smilšains paraugs, bet Liepas un Planču māliem tika palielināts smilšu frakcijas saturs, pievienojot maltas smiltis, attiecīgi 50 % un 25 %. Šo sastāvu granulas apdedzinātas gan pēc divstadiju, gan pēc vienstadijas paņēmiena. Iegūto rezultātu salīdzinājums parādīts II. tabulā. Visos apskatītajos gadījumos vienas stadijas procesā iegūtās granulas ir ar mazāku tilpuma masu [6].

Redzams, ka visos trijos paraugos (9. att.) poru struktūra ir atšķirīga. Liepas mālu ar 25 % smilšu piedevu granulās (a), kam ir vislielākā tilpuma masa no pētītajiem paraugiem, poras ir neliela izmēra, bet granulas virskārta ir visbiezākā. Tūjas smilšaino mālu granulās (b) poras ir ievērojami lielākas, un to krāsa ir gaišāka nekā pārējos paraugos, kas var liecināt par nepietiekošu Fe_2O_3 un/vai organisko piedevu daudzumu mālos. Savukārt Planču mālu ar 25 % smilšu piedevu granulās (c), kam ir vismazākā tilpuma masa ($0,72 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), poras ir ar dažādu diametru. Granulas centrālā, augsti porainā daļa ir tumšā krāsā, un blīvā virskārta ir visplānākā. Fe_2O_3 saturs šajos mālos ir ievērojami lielāks nekā Tūjas mālos. Ar dzīvsudraba porozimetrijas metodi noteiktā porainība un īpatnējās virsma dota III. tabulā.

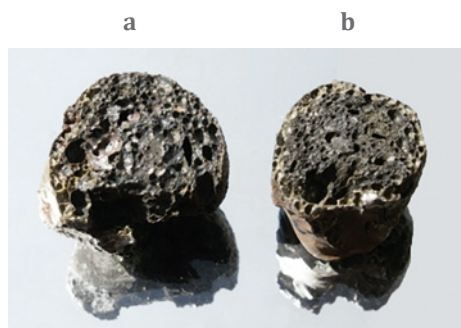
Ķīmiskajam un granulometriskajam sastāvam un temperatūras celšanas ātrumam ir būtiska nozīme poraina keramikas materiāla – keramzīta – apdedzināšanas procesā. Ātrais vienstadijas apdedzināšanas režīms dod iespēju iegūt porainu keramikas struktūru no mālu izejvielām ar ierobežotu mālvielu saturu, tādā veidā paplašinot līdz šim Latvijā zināmo izejvielu bāzi keramzīta ražošanai. Vienstadijas ātrais apdedzināšanas process, pēc tā modelēšanas laboratorijas apstākļos, dod iespēju iegūt keramzīta granulas ar biežāku ārējo apvalku un paaugstinātu mehānisko izturību. Vienstadijas apdedzināšanas procesam nepieciešams paaugstināts Fe_2O_3 saturs izejvielās ($\geq 6 \%$)

Keramzīta raksturojums pēc dzīvsudraba porozimetrijas rezultātiem

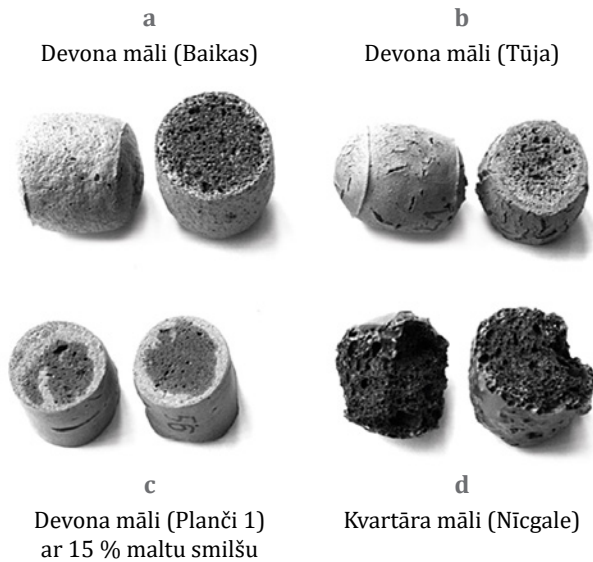
Māli un keramzīta iegūšanas paņēmieni	Porainība, %	Īpatnējā virsma, m ² ·g ⁻¹
Prometejs, divu stadiju	52,73	37,46
Kuprava, divu stadiju	15,12	7,47
Tūja, divu stadiju	17,85	8,62
Planči, divu stadiju	28,44	5,79
Planči, vienas stadijas	29,64	3,26
Tūja, vienas stadijas	35,79	4,85

un sīkdispersa SiO₂ saturs 15–50 %. Pēc porozimetrijas datiem vienas pakāpes apdedzināšanas procesā iegūto granulu ārējais apvalks ar daļēji caurlaidīgu poru struktūru ir piemērots sorbcijas procesiem un mikrobioloģijas tehnoloģijām.

Šūnu keramikas veidošanās process Latvijas devona, juras un kvartāra mālos notiek atšķirīgi [7]. Atkarībā no mālu ķīmiskā un minerālīgiskā sastāva un nepieciešamajām iegūstamā materiāla īpašībām, jāizvēlas noteikts termiskās apstrādes režīms, piedevu daudzums un veids. No devona māliem, no kuriem šajā darbā izmantoti tikai Liepas atradnes māli, ar nelielu izdegošo piedevu daudzumu vienas pakāpes režīmā iespējams iegūt vieglas porainas granulas. Kā rāda termiskās analīzes līkņu izmaiņas, devona mālos kausējuma veidošanās process sākas virs 900 °C un norit divos posmos, starp kuriem notiek jaunu kristālisko fāžu veidošanās. No Latvijas karbonātus saturošiem kvartāra māliem, ja tajos dzelzs(III) oksīda saturs ir 6–7 masas%, iespējams iegūt vieglas šūnainas struktūras granulas arī bez izdegošām piedevām vai arī tad, ja izdegošo piedevu daudzums ir neliels. Termiskās apstrādes laikā



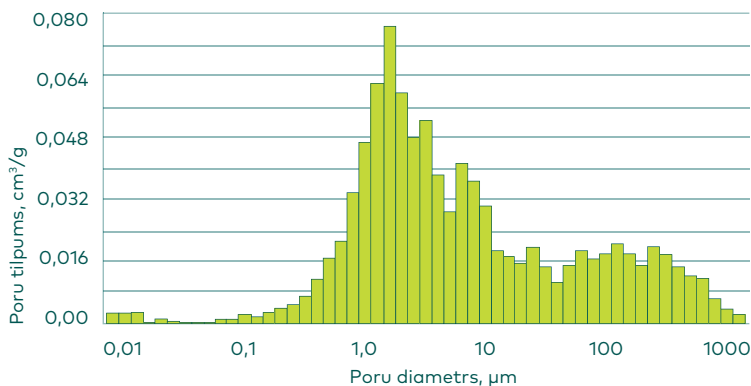
10. att. Ar divstadiju paņēmieni iegūtas Apriķu (a) un Nīcgales (b) keramzīta granulas.



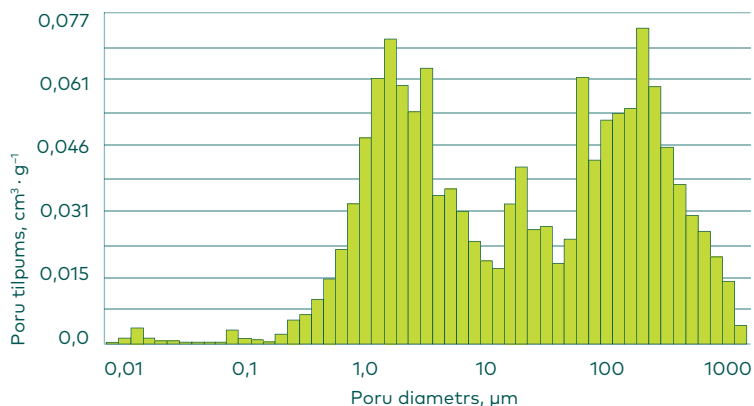
11. att. Keramzīta granulas, kas iegūtas ar vienas stadijas paņēmieni (a, b, c) un divu stadiju paņēmieni (d).

granulu piroplastisko stāvokli nodrošina neliela šķidrās fāzes daudzuma klātbūtne, ar ko saistīta dzelzs oksīda klātbūtne mālos, vai arī kālija laukšpata, vai kalcija laukšpata (anortīta) klātbūtne, kuru kušanas temperatūra ir attiecīgi 1160 °C un 1500 °C (10. att.). Materiālu atdzesējot pēc termiskās apstrādes, kālija un kalcija laukšpati kristalizējas, veidojot mikroklīna un anortīta kristāliskās fāzes.

Salīdzinot ar keramzīta granulām, kas iegūtas divu stadiju apdedzināšanas procesā, vienas stadijas procesā iegūtajām granulām veidojas samērā blīvs 2–3 mm biezs apvalks (11. a, b, c att.), kas aptver izteikti porainu iekšējo daļu. Šādā veidā iegūtu keramzīta granulu tilpuma masa



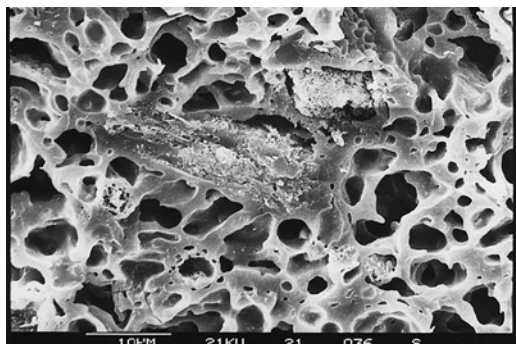
12. att. Poru izmēru sadalījuma histogramma keramzīta granulu virskārtā.



13. att. Poru izmēru sadalījuma histogramma keramzīta granulu vidusdaļā.

ir $0,52\text{--}0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Iegūstot keramzītu no kvartāra māliem ar divu stadiju paņēmieni, keramzīta tilpuma masa ir ievērojami mazāka, bet granulām ir ļoti plāna, stiklaina virskārta (11. *d* att.), un tā mehāniskā izturība ir neliela.








Granulas virskārtā (12. att.) pārsvarā ir poras $0,1\text{--}50 \mu\text{m}$ diapazonā, bet lielāko poru ($100\text{--}1000 \mu\text{m}$) tilpums ir neliels un nepārsniedz $0,016 \text{ cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$. Šo poru kopīgais virsmas laukums ir $6,44 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, un no porozimetrijas rezultātiem aprēķinātā tilpuma masa ir $0,37 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Savukārt granulas vidusdaļā (13. att.) poru izmēru diapazons ir līdzīgs kā virskārtā, bet ievērojami palielinās lielo poru ($80\text{--}1000 \mu\text{m}$) tilpums. Keramzīta vidusdaļas poru kopīgais virsmas laukums ir $4,34 \text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$, un no porozimetrijas rezultātiem aprēķinātā tilpuma masa ir $0,23 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Ātrai termiskai apstrādei izejvielu sastāvā ir jābūt samazinātam mālvielu saturam ($15\text{--}30 \%$), paaugstinātam putekļu un sīkdispersu smilšu saturam ($\geq 60\text{--}80 \%$), tajā skaitā laukšpatu grupas minerāliem, kuru saturs $\geq 5 \%$ [8]. Ja devona māli ir mazkarbonātu ar nelielu kalcīta















14. att. Kupravas mālu keramzīta vidus daļas poras ar kalcīta sadalīšanās produktu ieslēgumiem.

vai dolomīta saturu, piemēram, Tūjas un Kupravas māli, tad ātras termiskās apstrādes (10 min) rezultātā CaO nepaspēj pilnībā piedalīties anortīta vai kausējuma veidošanā un var saglabāties porās nesaistītā veidā (14. att.).

Tika pārbaudīti māli no vairākām Latvijas mālu atradnēm ar mērķi noteikt to noderīgumu keramzīta ražošanai gan ar vienas stadijas, gan

	20–1150 °C 6 h klasiskā tehnoloģija	20–1100 °C 10 min "termiskais trieciens"	
Tūja	 2,10 g·cm ⁻³	 0,77 g·cm ⁻³	Augstas stiprības vieglās būvkonstrukcijās
Skaņkalne	 2,12 g·cm ⁻³	 0,84 g·cm ⁻³	Augstas stiprības vieglās būvkonstrukcijās
Planči	 2,16 g·cm ⁻³	 0,81 g·cm ⁻³	Mikrobioloģijas tehnoloģijām
Baikas	 2,15 g·cm ⁻³	 0,52 g·cm ⁻³	Siltumizolācijai

15. att. Jauna termiskās apstrādes tehnoloģija šūnu keramikas (keramzīta) ražošanai.

	20–700 °C 30 min	20–550 °C 30 min	20–550 °C 30 min		
	20–1100 °C 90 min	700–1100 °C 15 min	550–1100 °C 15 min	550–1150 °C 15 min	
Kuprava	 2,10	 0,84	 0,60	 0,46	Tilpuma masa, g·cm ⁻³
Laža	 2,35	 0,91	 0,30	 0,23	Tilpuma masa, g·cm ⁻³
Ceplīši	 2,38	 0,89	 0,35	 0,32	Tilpuma masa, g·cm ⁻³

16. att. Divstadiju termiskās apstrādes process, koksnes skaidu piedeva – 2 masas%.

ar divu stadiju paņēmieniem. Daļa iegūto rezultātu apkopota 15. att. un 16. att., kur blakus granulām parādīta arī šo granulu tilpuma masa.

III. Keramiskie sorbenti

Pieaugot apkārtējās vides piesārņojumam ar dažādām vielām – smago metālu savienojumiem, šķīdinātājiem, u. c., arvien pieaug pieprasījums pēc sorbentiem, filtriem, sorbējošām un filtrējošām membrānām u. tml. Ļoti piemērots materiāls vides attīrīšanas tehnoloģijām ir māls un keramikas materiāli uz māla bāzes. Keramisko adsorbentu efektivitāti un adsorbcijas kapacitāti lielā mērā nosaka izejvielu kompozīcija, modificējošo (poras veidojošo) piedevu klātbūtne, termiskās apstrādes apstākļi, tai skaitā arī atmosfēras vides raksturs krāsnī, porainība, poru izmēri un forma, adsorbenta dzeta potenciāls un sorbcijas vides pH. Visi šie faktori ietekmē iegūtā adsorbenta īpatnējās virsmas lielumu, virsmas lādiņa veidošanos, kā arī tā mehāniskās īpašības. Poru diametri nosaka to jonu uz molekulu izmērus, kuri spēs difundēt porās. Īpatnējās virsmas lielums nosaka jonu vai molekulu daudzumu, kas var tikt adsorbēts uz adsorbenta virsmas. Virsmas lādiņš, kas tiek raksturots ar dzeta potenciāla palīdzību, savukārt nosaka, kādus savienojumus no elektroķīmiskā viedokļa – katjonus, anjonus, nelādētas molekulas – adsorbentam ir lielāka tieksme adsorbēt. Šo īpašību kopums padara keramiskos adsorbentus par selektīviem materiāliem ar potenciāli augstu adsorbcijas kapacitāti, kas varētu tikt pielāgoti konkrētu savienojumu grupu adsorbēšanai. Klasiskajā keramikas tehnoloģijā ir labi zināms, ka, paaugstinot keramikas materiālu apdedzināšanas temperatūru, to porainība un materiāla īpatnējā virsma samazinās, un tātad samazinās arī keramikas materiāla iespējamā sorbcijas spēja. Mūsdienās ir zināmi daudzi paņēmieni kā palielināt apdedzināmā materiāla porainību. Visbiežāk tiek izmantotas organiskas izcelsmes materiālu piedevas, kas bieži ir dažādu ražošanas nozaru blakus produkti vai atkritumi, piemēram, koksnes skaidas, kafijas biežumi, salmi, graudu sēnālas, papīrs, u. c. Ņemot vērā konkrēto izmantojamo mālu sastāvu un īpašības, iespējams izvēlēties konkrētu izejvielu maisījuma sastāvu, keramikas apdedzināšanas temperatūru, temperatūras celšanas ātrumu, lai iegūtu materiālu ar iespējami lielāko porainību un īpatnējo virsmu, kas ir svarīgs faktors sorbcijas procesos. Poraina mālu keramika var tikt iegūta gan granulā, gan membrānu veidā.

Potenciālo keramikas sorbentu iegūšanai izmanto gan dažādu atradņu devona, gan dažādu atradņu kvartāra māli ar atšķirīgu ķīmisko un granulometrisko sastāvu [9], [10]. No devona māliem izmanto Liepas, Tūjas, Kupravas un Planču atradņu mālus, bet no kvartāra māliem

Progresā, Lažas, Prometeja un Šļūcenieku atradņu mālus. Visu izmantoto mālu kopīgā īpašība ir tā, ka tie pēc sava mineralogiskā satura ir illīta tipa hidrovislu māli, kuros ir arī neliels daudzums kaolinīta. Abu grupu mālu galvenā atšķirība ir sārmezņu metālu oksīdu saturs tajos. Sārmezņu oksīdi mālos galvenokārt ir saistīti karbonātu veidā kā kalcīts (CaCO_3) vai dolomīts ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), tāpēc kvartāra mālus arī sauc par karbonātus saturošiem māliem.

Keramikas paraugi gatavoti no plastiskām mālu masām, un apdedzinātu materiālu porainības palielināšanai tiek izmantotas dažādas organiskas dabas izdegošas piedevas: zāģu skaidas ($\varnothing \leq 2$ mm), sasmalcināti salmi, biodīzeļdegvielas ražošanas atkritums – glicerīns. Porainas mālu keramikas filtrēšanas iespēju pētīšanai izgatavoti paraugi ar koncentrētas suspensijas liešanas paņēmieni, kur poras veidojas ķīmiskas reakcijas ceļā, ūdens klātbūtnē izdaloties gāzveida ūdeņradim.

A. Devona mālu keramikas granulas

Keramikas granulu iegūšanai izmantoti galvenokārt devona Liepas un Kupravas atradņu māli, bet atsevišķi pētījumi veikti arī ar Tūjas un Planču atradņu devona māliem. Gan Liepas, gan Kupravas māli ir ar diezgan nevienmērīgu ķīmisko un mineralogisko sastāvu. Tāpēc konkrētajā pētījumā izmantoto mālu ķīmiskie sastāvi doti IV. tabulā.

Pētījumos izmantoto devona mālu ķīmiskie sastāvi ir visai atšķirīgi [4], un tāpat atšķirīgi ir arī to granulometriskie sastāvi, t. i., smilšu, putekļu

IV. tabula

Pētījumos izmantoto devona mālu ķīmiskie sastāvi

Mālu sastāvs	Pētījumos izmantoto mālu sastāvs, masas%			
	Liepa	Kuprava	Tūja	Planči
SiO_2	62,19	53,78	66,25	76,31
Al_2O_3	15,45	18,80	12,60	11,63
Fe_2O_3	7,15	9,07	5,40	2,93
CaO	0,83	1,95	2,56	1,12
MgO	1,32	3,44	2,61	1,03
TiO_2	1,92	0,65	0,65	0,24
Na_2O	0,09	0,00	0,25	0,00
K_2O	4,12	5,10	3,18	2,61
Karsēšanas zudumi 400 °C	2,04	2,14	2,08	0,95
Karsēšanas zudumi 1000 °C	4,12	4,54	3,80	2,13
Kopā	99,23	99,47	99,38	98,95

(aleirītu) un mālu frakciju daudzums konkrētajos dabīgajos mālos. Paliecināts smilšu frakcijas saturs ir Liepas, Tūjas un Planču mālos. Ņemot vērā šo mālu līdzīgo mineralogisko sastāvu, abi pēdējie mālus raksturojošie parametri – ķīmiskais sastāvs un granulometriskais sastāvs – arī stipri ietekmē no māliem iegūstamo keramikas materiālu īpašības.

Mālu keramikas sorbcijas īpašību pētīšanai konkrētajiem izžvētajiem māliem pievienoja 3 masas% sausu zāģu skaidu ar diametru ≤ 2 mm. No plastiskas masas izgatavotas granulas, kuras pēc izžvēšanas apdedzinātas dažādās temperatūrās 700–1100 °C intervālā, atkarībā no pašu mālu rakstura. Iegūtajām keramikas granulām noteica kristālisko fāžu sastāvu (rentgena staru difraktometrija – difraktometrs *Rigaku Ultima +*, Japāna), poru struktūra (dzīvsudraba porozimetrija – *PoreMaster Quantachrome Instrument*, ASV) un slāpekļa absorbcija – (BET *Nova 1200e*, *Quantachrome Instrument*, ASV), materiāla daļiņu virsmas lādiņš jeb dzeta potenciāls (*Nano Zetasizer*, *Malvern Instrument*, Lielbritānija), granulu-ūdens immersijas pH (*METTLER TOLEDO Seven Multi*, Šveice). Iegūtajām granulām noteica sorbcijas spēju no piesārņota šķīduma attiecībā uz trīs veidu piesārņojošām neorganiskām vielām: molekulāram savienojumam jodam, jonam ar pozitīvu lādiņu (amonija jons) un jonam ar negatīvu lādiņu (dihromāta jons).

Visiem 800–1050 °C temperatūrā apdedzinātiem devona māliem rentgena staru fāžu analīze uzrāda vienādas kristāliskās fāzes. Vienīgā atšķirība ir hematīts, kas parādās tikai to mālu keramikas paraugos, kuru dzelzs oksīda saturs ir lielāks par 5 % un kas apdedzināti temperatūrās virs 1000 °C, t. i., Liepas un Kupravas mālu keramikas paraugos.

No sorbcijas viedokļa svarīga ir vides pH vērtība pēc apdedzināto granulu iemērkšanas ūdenī. Noteiktās pH vērtības dažādās temperatūrās apdedzinātām devona mālu granulām apkopotas V. tabulā. Kā liecina tabulā apkopotie rezultāti, iemērcot pētīto devona mālu granulas ūdenī, pH samazinās, paaugstinot to apdedzināšanas temperatūru. Kupravas

V. tabula

Dažādās temperatūrās apdedzinātu devona mālu granulu pH ūdens vidē

Izejvielas	Apdedzināšanas temperatūras, °C			
	800°C	900°C	1000°C	1050°C
Liepas māls + 3 % zāģu skaidas	7,2	7,5	7,2	6,6
Kupravas māls + 3 % zāģu skaidas	10,2	9,9	7,5	6,3
Kupravas māls + 2 % glicerīns	11,3	10,8	7,5	6,5
Planču māls + 3 % zāģu skaidas	6,2	6,2	5,8	5,7
Tūjas māls*	–	7,6	7,2	6,3

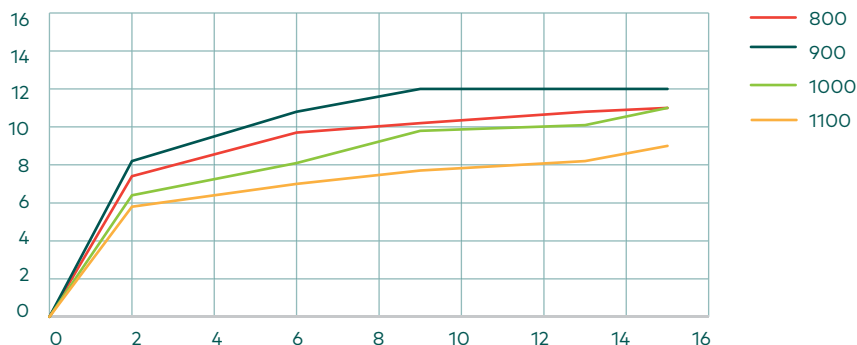
* – poras veidojas ķīmiskā reakcijā starp ūdeni un alumīnija pulveri.

māli ir mazkarbonātu māli, jo tajos, atšķirībā no Liepas, Planču un Tūjas māliem, rentgena fāžu analīze uzrāda dolomīta vai kalcīta klātbūtni. Tāpēc šo mālu granulas, kas apdedzinātas 800 °C un 900 °C temperatūrās, ūdenī dod bāzisku vidi. Tas saistīts ar karbonātu sadalīšanos šajās temperatūrās un CaO vai MgO saglabāšanos nesaistītā veidā.

Joda adsorbcija uz dažādās temperatūrās apdedzinātu devona mālu granulām notiek līdzīgi – visstraujāk tā notiek pirmajās divās dienās, bet pēc tam adsorbcijas ātrums mainās maz. 17. att. parādīta joda adsorbcija uz dažādās temperatūrās apdedzinātām Kupravas mālu granulām [11].

Vislielākā joda daudzuma adsorbcija ir uz granulām, kas apdedzinātas līdz 900 °C temperatūrai. Augstākās temperatūrās apdedzinātu granulu joda adsorbcijas spēja samazinās, tas ir saistīts ar adsorbenta porainības samazināšanos keramikas saķepšanas rezultātā. Joda adsorbcijas izmaiņu vislabāk raksturo materiāla poru īpatnējais virsmas laukums, kas noteikts gan ar dzīvsudraba porozimetrijas, gan slāpekļa adsorbcijas metodēm un apkopots VI. tabulā. Lielākais īpatnējās virsmas laukums ir zemākajās, t. i., 700 °C un 800 °C, temperatūrās apdedzinātām granulām. 700 °C temperatūrā apdedzinātas granulas sorbcijai parasti netika izmantotas, jo tās ūdenī viegli sadalās nepietiekošas saķepšanas dēļ.

Amonija katjonu adsorbcija ir lielā mērā jutīga pret vides pH [12]. Bāziskā vidē ap amonija joniem veidojas hidroksīda anjonu apvalks, kas apgrūtina to kustīgumu šķīdumā un difūziju granulu porās. Labākie katjonu adsorbcijas rezultāti iegūti ar bezkarbonātu Liepas mālu granulām, kur vides pH ir vāji skābs. Lielākā amonija katjona adsorbcijas spēja ir 800 °C temperatūrā apdedzinātām granulām, un tā ir 0,35 mg amonija jona uz 1 g keramikas granulu. Amonija jonu sorbcija notiek ļoti lēni un maksimumu sasniedz pēc divām nedēļām. Dihromāta sorbcija uz devona mālu keramikas granulām ir neliela. Slāpekļa adsorbcijas (BET) metodes rezultāti (poru īpatnējās virsmas laukums, poru tilpums, poru



17. att. Joda adsorbcija uz dažādās temperatūrās apdedzinātām Kupravas mālu granulām.

rādiuss) raksturo ne vien keramikas materiālu sorbcijas īpašības, bet arī ļauj analizēt keramikas materiālu saķepšanas procesus, optimizēt keramikas apdedzināšanu un iegūt materiālus ar nepieciešamajām īpašībām. Granulu īpatnējās virsmas laukuma atkarību no apdedzināšanas temperatūras ietekmē arī izejvielu (mālu) sākotnējais granulometriskais sastāvs – jo lielāks smilšu frakcijas saturs, jo mazāks poru īpatnējās virsmas laukums. Keramikas granulu porainības palielināšanai kopā ar koksnes skaidām Kupravas māliem pievienoja 5 % dīzeļdegvielas ražošanas atkritumu – glicerīnu, un sorbcijas spējas palielināšanai 700 °C un 800 °C temperatūrās apdedzinātās granulas apstarotas ar elektroniem. Elektronu enerģija bija 5 MeV, un absorbētais daudzums bija 10 MGy [13], [14]. Dzīvsudraba porozimetrijas mērījumu rezultāti liecina, ka glicerīna pievienošana māliem kopā ar koksnes skaidām izmaina keramikas poru struktūru atkarībā no apdedzināšanas temperatūras, t. i., palielina keramikas porainību, bet jo sevišķi īpatnējās virsmas laukumu (VII. tabula). Ievērojamais virsmas laukuma palielinājums liecina par mazākā izmēra poru daudzuma palielināšanos, kas ir svarīgs faktors sorbcijas spējas palielināšanai. Paraugu sorbcijas spēja palielinās apmēram 7 reizes gadījumā, kad mālam kopā ar zāģu skaidām pievienots arī 5 % glicerīna. Apstarošana ar paātrinātajiem elektroniem neizmaina materiālu sorbcijas spēju attiecībā uz organiskiem savienojumiem.

Ievērojamais virsmas laukuma palielinājums liecina par mazākā izmēra poru daudzuma palielināšanos, kas ir svarīgs faktors sorbcijas

VI. tabula

Devona mālu granulu īpatnējās virsmas laukums

Devona māli	Granulu apdedzināšanas temperatūra, °C	Īpatnējās virsmas laukums ar dzīvsudraba porozimetriju, m ² ·g ⁻¹	Īpatnējās virsmas laukums ar slāpekļa adsorbciju, m ² ·g ⁻¹
Liepa	700	17,80	26,94
	800	20,21	20,69
	900	14,18	2,09
	1050	3,01	0,35
Planči	700	9,61	15,80
	800	9,20	13,94
	900	2,49	1,73
	1050	0,22	0,06
Kuprava	800	13,94	14,98
	900	6,20	8,39

VII. tabula
Kupravas mālu keramikas porainība un īpatnējās virsmas laukums

Apdedzināšanas temperatūra, °C	Porainība, %		Īpatnējais virsmas laukums, cm ² ·g ⁻¹	
	Bez glicerīna	Ar glicerīnu	Bez glicerīna	Ar glicerīnu
800	23,47	26,01	11,36	24,12
900	17,57	31,73	6,91	16,27

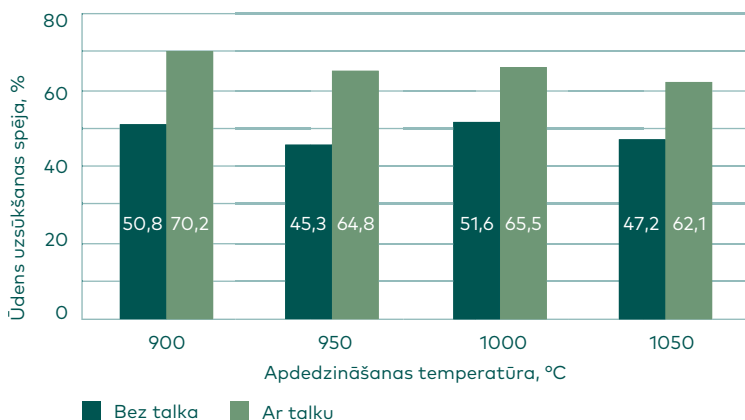
spējas palielināšanai. Paraugu sorbcijas spēja palielinās apmēram 7 reizes gadījumā, kad mālam kopā ar zāģu skaidām pievienots arī 5 % glicerīna.

Apdedzinātu Kupravas mālu granulu virsmas aktivēšanai izmantots ZnO nanoizmēru daļiņu pārklājums. ZnO nanodaļiņas iegūst no cinka acetāta šķīduma. Materiālu fotokatalītiskā aktivitāte analizēta attiecībā uz etiķskābes sadalīšanu, apstarojot to ar redzamo gaismu ar viļņa garumu 460 nm. Paraugu fotokatalītiskā aktivitāte palielinās, paaugstinot mālu granulu apdedzināšanas temperatūru, t. i., samazinoties paraugu porainībai (VIII. tabula).

Devona Tūjas māls izmantots keramisku filtru izgatavošanai (Arnīs Zembaks, Augsti poraina Tūjas mālu keramika filtrēšanas vajadzībām, maģistra darbs, 2015. g.). Poras veidojas ķīmiskas reakcijas rezultātā starp metāliska alumīnija pulveri un ūdeni bāziskā vidē koncentrētā mālu suspensijā. Poru struktūra materiālā izveidojas suspensijas sacietēšanas un žūšanas rezultātā. Izveidotas 2 paraugu sērijas: viena no Tūjas atradnes māliem, otra – no šiem māliem ar 15 % talka piedevu. Sastāvu izvēles mērķis bija palielināt to porainību un ūdens caurlaidību. Abu sēriju paraugu ūdens uzsūkšanas spēja atkarībā no apdedzināšanas temperatūras apkopota 18. att. Paraugiem bez talka piedevas tilpuma masa ir 0,81–0,91 g·cm⁻³, bet paraugiem ar talka piedevu tas samazinās līdz 0,72–0,77 g·cm⁻³, atkarībā no apdedzināšanas temperatūras. Ūdens caurtece mainās robežās no 600 L·m⁻²·h⁻¹ līdz 1000 L·m⁻²·h⁻¹. Filtriem vienlaicīgi piemīt arī sorbcijas spēja. Filtrējot jūras ūdeni, kas satur izšķīdušus sāļus, ūdens elektrovadītspēja (konduktometrs *METTLER TOLEDO SevenCompact*) pēc filtrēšanas samazinās par 10 %.

VIII. tabula
Fotokatalītiski sadalītas etiķskābes daudzums

Apdedzināšanas temperatūra, °C	Sadalītais etiķskābes daudzums, mg·g ⁻¹	
	Bez glicerīna	Ar glicerīnu
800	105,69	90,04
900	128,93	121,42



18. att. Keramisko filtru ūdens uzsūkšanas spēja.

B. Kvartāra mālu keramikas granulas

Keramikas granulu iegūšanai izmantoti 4 atšķirīga granulometriskā sastāva māli. Progresā (Ānes) un Šļūcenieku māli ir liesi ar lielu smilšu frakcijas saturu, savukārt Prometeja un Lažas māli ir vieni no treknākajiem Latvijas māliem ar ļoti lielu mālu frakcijas saturu, kas pārsniedz 82 %. Progresā un Šļūcenieku māliem ir raksturīgs arī liels putekļu frakcijas saturs 45–47 %.

IX. tabula

Izmantoto kvartāra mālu ķīmiskais sastāvs

Mālu sastāvs	Mālu ķīmiskais sastāvs, masas%			
	Progress (Āne)	Šļūcenieki	Prometejs	Laža
SiO ₂	51,82	49,16	45,95	46,48
Al ₂ O ₃	14,69	13,72	17,07	18,74
Fe ₂ O ₃	5,47	3,15	6,78	7,06
CaO	8,27	11,18	5,95	6,62
MgO	2,52	3,35	3,86	3,25
TiO ₂	0,59	0,55	0,58	0,59
Na ₂ O	0,53	0,80	0,17	0,41
K ₂ O	3,35	2,65	3,93	3,62
Masas zudumi 400 °C	1,42	1,05	4,52	3,20
Masas zudumi 1000 °C	10,92	13,82	9,96	9,64
Kopā	99,58	99,43	98,77	99,61

X. tabula

Izmantoto kvartāra mālu granulometriskais sastāvs

Mālu frakcijas	Frakcijas daudzums, masas%			
	Progress (Āne)	Šļūcenieki	Prometejs	Laža
Smiltis $\varnothing > 0,05$ mm	8,45	8,5	1,8	3,39
Putekļi $\varnothing 0,05-0,005$ mm	46,88	45,5	13,3	14,31
Mālu frakcija $\varnothing < 0,005$ mm	44,67	46,0	84,9	82,30

Atšķirīgais izmantoto kvartāra mālu ķīmiskais (IX. tabula) un granulometriskais (X. tabula) sastāvs ļauj jau iepriekš paredzēt atšķirīgu porainību iegūstamajām keramikas granulām, kas ir ļoti svarīga īpašība dažāda pielietojuma sorbentiem. Visos gadījumos iegūstamo materiālu porainības palielināšanai māliem pievienots 3 masas% koksnes skaidu.

Kvartāra mālu mineralogiskais sastāvs mālu minerālu ziņā līdzīgs devona māliem – illīts un kaolinīts, bet kā norāda ķīmiskais sastāvs kvartāra mālos ir sārmezmu metālu karbonātu – kalcīta un dolomīta piemaisījumi. Vislielākais karbonātu saturs ir Šļūcenieku un Progresā (Ānes) mālos. Karbonātu klātbūtne mālos ietekmē arī iegūstamās keramikas porainību. XI. tabulā parādīts ar dzīvsudraba porozimetrijas metodi (*PoreMaster*, *Quantachrome Instrument*) noteiktās porainības un īpatnējās virsmas laukuma salīdzinājums 800–1100 °C temperatūrās apdedzinātām kvartāra mālu keramikas granulām [15], [16]. Prometeja māliem bez koksnes skaidām pievienots arī 2 % glicerīna.

Ar dzīvsudraba porozimetrijas metodi noteiktā porainība atkarībā no apdedzināšanas temperatūras mainās ļoti maz, samazināšanās ir tikai temperatūrās virs 1000 °C atkarībā no mālu granulometriskā sastāva.

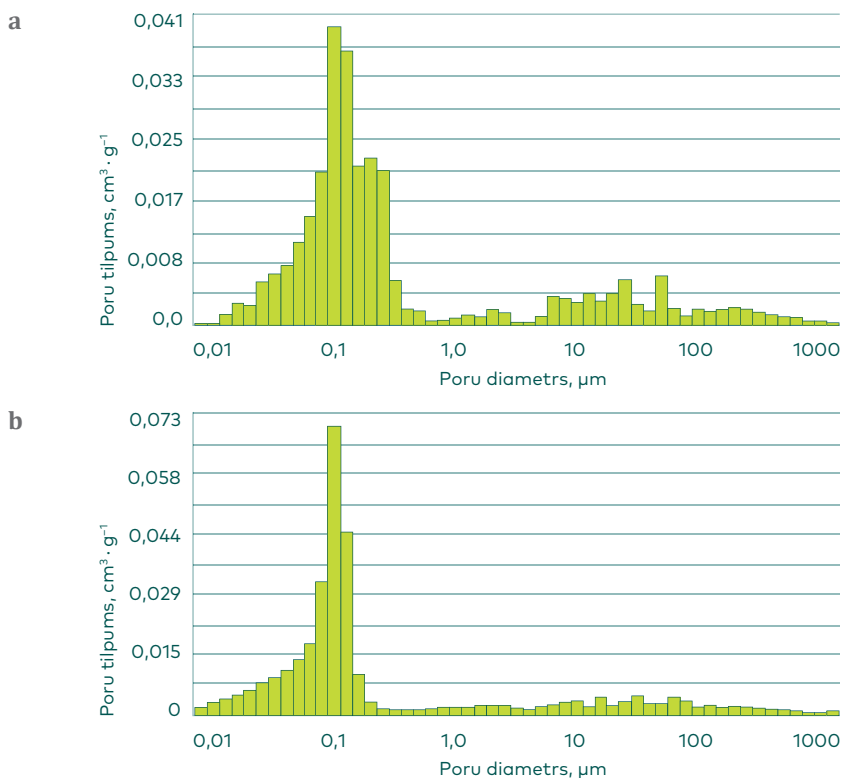
XI. tabula

Kvartāra mālu keramikas granulu dzīvsudraba porozimetrijas rezultāti

Mālu atradne	Porainība, %				Īpatnējais virsmas laukums, m ² ·g ⁻¹			
	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C	800 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
Progress (Āne)	21,81	20,50	20,06 (1050 °C)	–	9,32	3,63	1,56 (1050 °C)	–
Šļūcenieki	22,27	22,53	23,00	22,15	3,29	2,84	1,68	1,75
Prometejs	26,69	22,64	22,07	11,19	12,35	4,88	3,81	3,79
Prometejs + 2 % glicerīns	26,70	22,70	19,10	6,80	18,90	3,90	3,80	1,50
Laža	14,15	12,04	4,79 (1050 °C)	–	16,21	6,07	2,67 (1050 °C)	–

Faktiski porainības vērtības, kas iegūtas ar šo metodi, ir ievērojami samazinātas, jo raksturo diametru kanāliem, kas savieno poras savā starpā. Daudz noderīgāks poru struktūras raksturojums ir poru īpatnējās virsmas laukums. Šis lielums raksturo virsmu, kas ir izmantojama sorbcijas procesos. Vēl noderīgāka ir poru izmēru histogramma, kas uzrāda katra izmēra poru tilpumu. 19. att. parādītas poru tilpumu histogrammas 800 °C temperatūrās apdedzinātām Šļūceniņu un Prometeja mālu granulām.

Histogrammas uzskatāmi parāda poru struktūru atšķirību abu veidu granulām un izskaidro īpatnējās virsmas laukuma atšķirības. Lielāku virsmas laukumu nodrošina mazāka izmēra poras 0,01–0,1 μm, kuru tilpums Prometeja mālu granulās ir ievērojami lielāks nekā Šļūceniņu mālu granulās. Poru struktūras analīze pēc dzīvsudraba porozimetrijas rezultātiem uzrāda būtiskas lieso un trekno mālu granulatu atšķirības. Treknajos mālos (Lažas un Prometeja atradnes) granulās ir viens



19. att. Poru tilpuma histogrammas 800 °C temperatūrā apdedzinātām granulām: a – Šļūceniņu māli; b – Prometeja māli.

dominējošais poru izmērs, kurš, paaugstinot apdedzināšanas temperatūru līdz 900 °C, pārvietojas lielākā izmēra poru virzienā. Savukārt granulās, kuras apdedzinātas 1050–1100 °C temperatūrā, izzūd šis dominējošais poru izmērs un parādās poras nanometru diapazonā. Visā apdedzināšanas temperatūru diapazonā ievērojami samazinās poru tilpums. Salīdzinot ar Lažas un Prometeja mālu granulām, Progresā un Šļūcenieku mālu granulās poru tilpums ir neliels ap 0,90 cm³·g⁻¹, un tas samazinās, paaugstinot apdedzināšanas temperatūru līdz apmēram 0,35 cm³·g⁻¹.

Poru izmēri un poru īpatnējās virsmas laukums ir noteicošie faktori fizikālās adsorbcijas gadījumā, kad adsorbāts saistās uz virsmas parasti monomolekulāra slāņa veidā. Savukārt ķīmiskās sorbcijas gadījumā bez minētiem lielumiem procesu raksturo arī sorbenta virsmas lādiņš un vides pH. Šie lielumi pētītajiem māliem apkopoti XII. tabulā. Rezultāti liecina, ka lieso mālu ar lielāku karbonātu saturu granulas, neatkarīgi no to apdedzināšanas temperatūras ūdenī veido bāzisku vidi. Bāziskums samazinās, paaugstinot granulu apdedzināšanas temperatūru. Savukārt trekno Prometeja mālu ar mazāko karbonātu saturu granulas jau pēc apdedzināšanas 900 °C temperatūrā ūdenī veido neitrālu vai vāji skābu vidi. Treknajiem Lažas māliem ar nedaudz lielāku karbonātu saturu tikai 1100 °C temperatūrā apdedzinātas granulas ūdenī veido vāji skābu vidi.

Molekulārā savienojuma joda sorbcijas rezultāti rāda, ka sorbcijas ātrums un adsorbētā joda daudzums uz kvartāra mālu keramikas granulām ir līdzīgi abos liesajos un abos treknajos mālos. Salīdzinot ar devona Liepas, Planču un Kupravas mālu granulām, sorbcijas ātrums ir ievērojami mazāks. Ja devona mālu granulas adsorbēja visu šķīdumā esošo jodu dažās stundās, tad kvartāra mālu granulu gadījumā šis process turpinājās vairākas dienas. 800 °C un 900 °C temperatūrās apdedzinātās trekno mālu granulas adsorbēja visu šķīdumā esošo jodu 3 dienās, bet

XII. tabula

Kvartāra mālu keramikas granulu vides pH un virsmas lādiņš

Mālu atradne	Vides pH				Virsmas lādiņš (dzeta potenciāls)			
	800°C	900°C	1000°C	1100°C	800°C	900°C	1000°C	1100°C
Progress (Āne)	10,6	10,7	9,8 (1050 °C)	–	–20,9	–23,2	–30,8 (1050 °C)	–
Šļūcenieki	11,2	11,5	10,7	9,7	–11,5	–15,4	–18,9	–20,4
Prometejs	9,8	7,0	6,7	6,4	–22,5	–25,3	–30,6	–22,0
Prometejs + glicerīns	10,3	7,1	7,1	6,8	–23,0	–27,5	–33,7	–24,7
Laža	9,8	10,5	8,6	5,8	–21,8	–23,2	–28,4	–20,1

lieso mālu granulas tikai 6 dienās. 1000–1100 °C temperatūrās apdezinātas granulas 2 nedēļu laikā bija adsorbējušas tikai ap 80 % no šķīdumā esošā joda. Izvērtējot šos rezultātus saistībā ar poru īpatnējo virsmas laukumu (XI. tabula), ir redzams, ka šīm granulām ir arī ievērojami mazāks īpatnējās virsmas laukums. Amonija un dihromāta jonu sorbcijas kapacitāte ir niecīga un sasniedz tikai attiecīgi 0,35 mg·g⁻¹ un 3,2–4,3 mg·g⁻¹ vairāku dienu laikā.

Sadarbībā ar LU Bioloģijas fakultātes Mikrobioloģijas katedras un Mikrobioloģijas institūta zinātniekiem pētīta gan devona, gan kvartāra mālu granulu, gan dažādas porainības un tilpuma masas (ūdenī peldošs vai grimstošs) keramzīta noderība mikroorganismu imobilizācijai ar tai sekojošu šo komplekso materiālu izmantošanu dažādu objektu (ūdens, augsne) attīrīšanai no piesārņojuma [17], [18]. Mikroorganismu imobilizācijai noderīgas tikai tādas granulas, kuras ūdens vidē uzrāda vāji skābu vai neitrālu reakciju.

Pateicības

Pētījumi par Latvijas māliem un to izmantošanu veikti ar Latvijas Izglītības Ministrijas finansēto Valsts pētījumu programmas Nr. Nr.2014. 10-4/VPP-5 Nr. **V7883**. 1.4. **apakšprojekts** "Energotaupīgas augsti poraina keramzīta iegūšanas tehnoloģijas no Latvijas māliem" un Nr.2014.10-4/VPP-6/4 "Meža un zemes dziļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas (ResProd)", 6. apakšprojekts "Zemes dziļu resursu izpēte dabisko izejvielu dažādošanai un jaunu tehnoloģiju izstrādei (GEO)" finansiālu atbalstu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] R. Švinka, L. Bīdermanis, A. Cimmers, V. Švinka, and S. Čertoks, "Comparable properties of some building materials," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 17, pp. 45–51, 2008.
- [2] V. Švinka, A. Cimmers, S. Čertoks, R. Švinka, and L. Bīdermanis, "Poru struktūras veidošanās silikātu keramikas materiālos," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 19, pp. 100–108, 2009.
- [3] V. Švinka, R. Švinka, L. Bīdermanis, A. Butlers, and S. Krebs, "Poraina celtniecības keramika bez izdegošām piedevām," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 19, pp. 114–121, 2009.
- [4] V. Švinka, L. Bīdermanis, R. Švinka, L. Lindiņa, A. Cimmers, and I. Timma, "Termoķīmiskas reakcijas mālu minerālos šūnu keramikas iegūšanai," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 24, pp. 56–60, 2011.

- [5] L. Bīdermanis, V. Švinka, R. Švinka, I. Timma, L. Lindiņa, and A. Cimmers, "Mālu izejvielu novērtējums šūnainās keramikas iegūšanai," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 19, pp. 93–99, 2009.
- [6] V. Švinka, R. Švinka, L. Bīdermanis, I. Timma, and A. Cimmers, "Mālu izejvielas keramzīta ātrās apdedzināšanas tehnoloģijai," *RTU zinātniskie raksti. Materiālzinātne un lietišķā ķīmija*, vol. 26, pp. 49–54, 2012.
- [7] V. Švinka, R. Švinka, L. Dabare, A. Cimmers, L. Lindiņa, and I. Timma, "Poraina silikātu keramika no Latvijas māliem un tās iespējamais pielietojums," *Latvijas derīgie izrakteņi, jaunas tehnoloģijas, materiāli un produkti*, pp. 88–98, 2014.
- [8] V. Švinka, L. Bīdermanis, A. Cimmers, and R. Švinka, "Keramzīta iegūšanas paņēmieni," LV Patent LV14291 B, 20 May, 2011.
- [9] R. Svinka, V. Svinka, and L. Dabare, "Porainu kvartāra mālu keramikas granulu sorbcijas īpašības," *Materials Science and Applied Chemistry*, vol. 29, pp. 63–68, Feb. 2014. <https://doi.org/10.7250/msac.2013.022>
- [10] L. Dabare, R. Svinka, and V. Svinka, "Sorption of Inorganic Substances on the Porous Latvian Clay Ceramic," *Latvian Journal of Chemistry*, vol. 51, no. 4, Jan. 2012. <https://doi.org/10.2478/v10161-012-0020-0>
- [11] R. Svinka, V. Svinka, L. Dabare, and O. Lescinskis, "Porous Clay Ceramic for Environmental Technologies," *Advances in Science and Technology*, vol. 91, pp. 88–93, Oct. 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ast.91.88>
- [12] L. Dabare and R. Svinka, "Influence of thermal treatment and combustible additives on properties of Latvian clay ceramics pellets," *Processing and Application of Ceramics*, vol. 7, no. 4, pp. 175–180, 2013. <https://doi.org/10.2298/pac1304175d>
- [13] R. Svinka, V. Svinka, and O. Lescinskis, "Possible modification of porous clay ceramic for environmental technologies," In Proc. of International Scientific Conference "Material Science and Applied Chemistry", 2016, pp.186–190.
- [14] R. Švinka, V. Švinka, O. Leščinskis, and L. Dabare, "Keramiskā sorbenta iegūšanas paņēmieni," LV Patent LV14870 B, 20 Aug., 2014.
- [15] R. Svinka, V. Svinka, I. Pudze, and M. Damberga, "Clay Ceramic Pellets for Water Treatment / Mālu keramikas granulas ūdens apstrādei," *Materials Science and Applied Chemistry*, vol. 32, no. 1, pp. 39–44, Jan. 2015. <https://doi.org/10.1515/msac-2015-0007>
- [16] L. Dabare and R. Svinka, "Characterization of porous ceramic pellets from Latvian clays," *Chemija*, vol. 25, no. 2, pp. 82–88, 2014.
- [17] O. Muter, K. Potapova, V. Nikolajeva, Z. Petrīna, T. Griba, A. Patmalnieks, R. Svinka, and V. Svinka, "Comparative study on Bacteria Colonization onto ceramic beads originated from two Devonian clay deposits in Latvia," *Materials Science and Applied Chemistry*, vol. 26, pp. 134–140, 2012.

- [18] A. Berzins, Z. Petrina, V. Nikolajeva, R. Svinka, V. Svinka, S. Strikauska, and O. Muter, "Characteristics of a Ceramic Carrier after Wastewater Treatment Process in the Model Column Cascade with Ethanol Addition," *The Open Biotechnology Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 76–84, Jun. 2015. <https://doi.org/10.2174/1874070701509010076>

Ruta Švinka, *Dr. sc. ing.*, asociētā profesore un Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Silikātu materiālu institūta vadošā pētniece. R. Švinka ir vairāk kā 100 publikāciju un 6 Latvijas patentu autore ķīmijas inženierzinātnes silikātu materiālu un tehniskās keramikas nozarēs. R. Švinka ir Amerikas keramikas biedrības biedre, Latvijas Materiālu pētīšanas biedrības biedre un valdes locekle, LZP eksperte.

Telefons +371 67615560

E-pasts: ruta.svinka@rtu.lv

ORCID: 0000-0002-9926-3956

Visvaldis Švinka, *Dr. habil. sc. ing.*, asociētais profesors un Rīgas Tehniskās universitātes Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultātes Silikātu materiālu institūta vadošais pētnieks. V. Švinka ir vairāk kā 100 publikāciju un 17 patentu autors ķīmijas inženierzinātnes silikātu materiālu un tehniskās keramikas nozarēs. V. Švinka ir Vācijas keramikas biedrības un Latvijas Materiālu pētīšanas biedrību biedrs, promocijas padomes P-02 loceklis un LZP eksperts.

Telefons +371 67615560

E-pasts: visvaldis.svinka@rtu.lv

Ruta Švinka, Visvaldis Švinka.

Building Ceramics, Expanded Clay, and Ceramic Sorbents.

Keywords – ceramics, expanded clay, equilibrium moisture, thermal insulation, ceramic granules, sorbents.

Investigation and development of new building materials historically was one of base research fields in the Institute of Silicate Materials. These are ceramic materials and materials based on inorganic binders. These materials have both advantages and disadvantages. Properties of these materials, such as thermal conductivity, equilibrium humidity and mechanical properties, are analysed and compared. Properties and structure of ceramic materials produced from Latvian clays in the laboratory and industrially were compared. Influence of addition of some industrial waste on the properties of ceramic materials was described. A new technology for obtaining expanded clay pellets was developed. It is a one-step technology that makes it possible to extend the basis of raw materials for production of expanded clay pellets and to produce pellets with different properties depending on the possible practical use. Usefulness

of different Latvian clay for the production of porous ceramic sorbents was investigated. Organic industrial waste was added to function as pore former. A treatment of ceramic surface by irradiation with accelerated electrons or coating with nanoparticles was analysed. An increase of sorption activity of ceramic pellets or usefulness for the photocatalytic decomposition of organic pollution was the goal of the aforementioned treatment.

Celtniecības
keramika,
keramzīts un
keramiskie
sorbenti