



## SINTETINIO MAJENITO ADSORBCINĖS SAVYBĖS VARIO JONAMS

Kristina Ruginytė<sup>1</sup>, Anatolijus Eisinas<sup>2</sup>

*KTU Silikatų technologijos katedra*

*El. p. <sup>1</sup>kristina.ruginyte@gmail.com; <sup>2</sup>anatolijus.eisinas@ktu.lt*

**Anotacija.** Šio darbo tikslas yra iširti vario jonų koncentracijos įtaką sintetinio majenito adsorbcinei gebai. Nustatyta, kad  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  sistemoje hidroterminės sintezės metu susidaro majenito prekursorius – katoitas bei lieka nedidelis kiekis portlandito. Antrajame sintezės etape katoitas buvo išdegtas 1 h 900 °C temperatūroje, kurioje jis visiškai suskyla ir susidaro majenitas, šio proceso metu identifiukuotas ir portlandito skilimo produktas CaO. Nustatyta, kad 900 °C temperatūroje degto produkto paviršiaus plotas lygus 24,55 m<sup>2</sup>/g. Iširta, kad bandinio porų paviršiuje susidaro stabilus adsorbuto N<sub>2</sub> vienmolekulis sluoksnis, esant santykiniams slėgiams  $0,05 \leq p/p_0 \leq 0,35$  ir apskaičiuota C<sub>BET</sub> konstantos vertė patvirtina, kad S<sub>BET</sub> skaičiavimai yra patikimi. Tyrimo rezultatai parodė, kad bandiniui yra būdingas histerezės reiškinys ir kad bandinyje vyrauja cilindrinės formos poros. Iširta, kad didėjant vario jonų koncentracijai tirpale, maksimalus įsiterpusių vario jonų į sintetinio majenito struktūrą, taip pat didėjo nuo 50,5 mg/g iki 167 mg/g. Šio proceso metu efektyvumas pagal pradinio tirpalo koncentraciją yra toks: 1 g/l – 50 %; 2,5 g/l – 36 %; 5 g/l – 33 %. Nustatyta, kad vario jonai adsorbcijos procesai  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  sistemoje vyksta gerokai efektyviau nei  $\text{CuSO}_4$  sistemoje. Iširta, kad po 1 h proceso, naudojant mažiausios koncentracijos  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  tirpalą, visi skystoje terpėje esantys vario jonai įsiterpę į majenito struktūrą, o  $\text{CuSO}_4$  sistemoje – tik 167 mg/g. Nustatyta, kad į sintetinio majenito struktūrą sorbcijos metu terpiasi ne tik vario jonai bet ir sulfato bei nitrato anijonai, kurie proceso metu visiškai persikristalيزuoja į kitus giminingus junginius.

**Reikšminiai žodžiai:** majenitas, adsorbcija, vario jonai, hidroterminė sintezė.

### Įvadas

Žmogaus veikla dešimtmečius alina dirvožemį. Aplinkos tarša, kurią sukelia cheminiai junginiai, įskaitant ir sunkiuosius metalus, daro neigiamą įtaką ekosistemai (Mahar ir kt., 2016).

Sunkiųjų metalų kiekis nuotekose taip pat yra vienas iš didžiausių rūpesčių pastarąjį dešimtmetį (Dudu ir kt., 2015). Nors kai kurių metalų maži kiekiai gali būti naudingi biologiniams ciklams, tačiau didelės koncentracijos tampa toksiškos gyviems organizmams.

Cinkas, nikelis, varis, švinas ir kadmis plačiai naudojami įvairiose pramonės šakose, pvz., metalurgija, galvanizavimas, cheminių junginių gamyba ir kt. (Remon ir kt., 2005; Xue ir kt., 2007). Šie metalai gali sukelti įvairių sveikatos sutrikimų (pvz., hipertenzija, gali būti sužaloti organų audiniai ir atsirasti ląstelių degeneracija ir kt.). Vienas iš plačiausiai naudojamų sunkiųjų metalų daugelyje pramonės šakų yra varis. Todėl Cu (II) jonai yra pripažįstami kaip vieni iš kenksmingiausių aplinkos teršalų, atsizvelgiant į jų kiekį, koncentraciją, biologinį kau-

pimąsi, biologinį neskaidomumą ir toksiškumą (Xiong ir kt., 2012). Dauguma metodų (cheminis nusodinimas, nanofiltracija ir kt.), kurie taikomi jonams šalinti, turi nemažai trūkumų, tarp kurių – didelė pradinė kaina, mažas selektyvumas bei produktyvumas, sunkumai valymo proceso metu, regeneruojant ir kt. (Ncube ir kt., 2018).

Vienas iš ekonomiškų ir ekologiškų būdų sunkiesiems metalams šalinti yra organiniai ir neorganiniai sorbentai. Didelė grupė neorganinių medžiagų: cirkonio fosfatai, kalcio aluminatai, aliumosilikatai, molio mineralai, hidroksiapatitai bei kitos yra naudojamos kaip adsorbentai valant sunkiaisiais ar radioaktyviaisiais metalais užterštus vandens telkinius, nutekamuosius vandenius bei radioaktyviausias atliekas (Kitikova ir kt., 2017; Refaey ir kt., 2017).

Gamtinės kilmės medžiagų (ceolitai, kalcio aluminatai ir kt.) panaudojimą sorbcijos procesuose riboja šių junginių savybių nevienodumas. Visuotinai pripažįstama, kad specialiai pagaminti adsorbentai yra kur kas efekty-

vesni, nes keičiant sintezės sąlygas galima valdyti šių medžiagų tekstūrą, paviršiaus struktūrą ir savybes. Tai sudaro prielaidas specialios paskirties adsorbentų sintezei. Vieni iš tokių yra kalcio aluminatas – majenitas, kuris yra naudojamas kaip sunkiųjų metalų ir organinių teršalų stabilizatorius (Pimraksa ir kt., 2009, pp. 2415–2425; Zhen ir kt., 2012, pp. 675–681; Segui ir kt., 2012, pp. 79–85). Vis dėlto įvairių autorių paskelbti rezultatai neleidžia tiksliai nusakyti skirtingos koncentracijos sunkiųjų metalų įtakos majenito adsorbcinei gebai.

Šio darbo tikslas yra iširti vario jonų koncentracijos įtaką sintetinio majenito adsorbcinei gebai.

### Metodika

Naudotos šios medžiagos:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  („Sigma – Aldrich“ Vokietija, grynumas 96 %),  $S_{\text{pav.}} = 1341 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ , papildomai išdegtas 1,5 h  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje;  $\text{Al}(\text{OH})_3$  („Sigma – Aldrich“, Vokietija, grynumas 99 %)  $S_{\text{pav.}} = 1129 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ , papildomai išdegtas 4 h  $475 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje;  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  tirpalas, pagamintas ištirpinus distiliuotame vandenyje  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  granules;  $\text{CuSO}_4$  tirpalas, pagamintas ištirpinus distiliuotame vandenyje  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  granules.

Katoitas sintetintas hidroterminės sintezės metodu iš kalcio oksido ir aliuminio oksido, kai molinis santykis  $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  lygus 2,8. Sintezė vykdyta nemašant suspensijos 25 ml talpos PTFE induose, sudėtuose į autoklavą „Parr instruments“ (Vokietija), kai sočiųjų vandens garų temperatūra  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ , o izoterminio išlaikymo trukmė – 4 h. Sočiųjų vandens garų temperatūra buvo pasiekta per 2 h. Sintezės produktas išlautas acetonu, kad mažiau karbonizuotųsi, džiovintas  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje 24 h.

Rentgeno spinduliuotės difrakcinė analizė (RSDA) atlikta difraktometru D8 Advance (Bruker AXS, Vokietija). Naudota  $\text{CuK}\alpha$  spinduliuotė ir grafito monochromatorius, detektoriaus judėjimo žingsnis –  $0,02^\circ$ , intensyvumo matavimo trukmė žingsnyje –  $0,5 \text{ s}$ , anodinė įtampa  $U_a = 40 \text{ kV}$ , srovės stiprumas  $I = 40 \text{ mA}$  ir matuojant intensyvumą žingsnyje =  $1 \text{ s}$ . VTA atlikta LINSEIS STA PT1000 (Vokietija) terminiu analizatoriumi. Naudota S tipo termopora, temperatūros kėlimo greitis –  $15 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min.}$ , temperatūros intervalas –  $30\text{--}950 \text{ }^\circ\text{C}$ , etalonas tuščias Pt tiglis, atmosfera krosnyje – oras. Bandinių paviršiaus plotas buvo nustatytas Brunauerio, Emmeto ir Tellerio (BET) metodu. Matavimai atlikti prietaisu Kelvin 1042 Sorptometer (Costech Instruments) naudojant azoto adsorbcijos izotermę  $77 \text{ K}$  temperatūros aplinkoje.

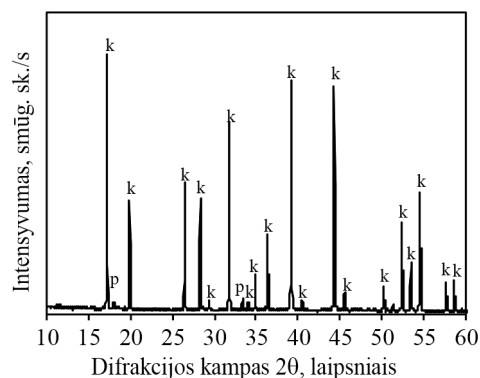
Adsorbcijos eksperimentai buvo atlikti  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  skirtingais laikotarpiais. Į  $100 \text{ ml}$   $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  ir  $\text{CuSO}_4$  vande-

ninius tirpalus, kuriuose atitinkamai yra  $1 \text{ g/l}$ ,  $2,5 \text{ g/l}$  ir  $5 \text{ g/l}$  įdėta po  $1 \text{ g}$  sintetinio majenito. Sorbcija vykdyta intervale nuo  $1 \text{ min}$  iki  $1 \text{ h}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  jonų koncentracijos buvo nustatytos kolorimetriniu metodu (kolorimetras DR890, Hach Lange, Vokietija). Tirpalų pH vertės buvo išmatuotos Mettler toledo Benchtop pH – metru, matavimo ribos:  $0,00$  iki  $14,00$ , tikslumas  $\pm 0,01 \text{ pH}$ .

### Rezultatai ir jų analizė

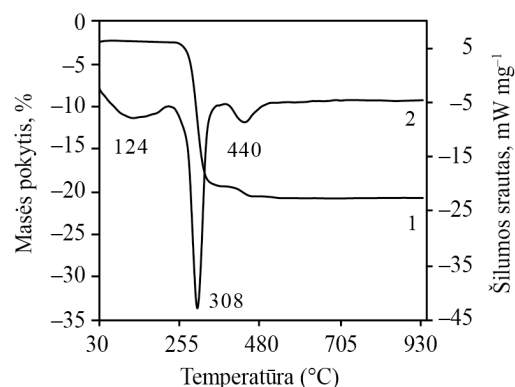
#### Sintetinio majenito gavimas dvistadijiniu būdu

Pirmajame majenito gavimo etape buvo vykdoma hidroterminė sintezė, kurios metu gautas majenito prekursorius – katoitas. Rentgeno spindulių difrakcijos analizė parodė, kad sintezės produkte vyraujantis junginys yra katoitas (1 paveikslas). Taip pat stebimi nesuragavusio portlandito pėdsakai.



1 paveikslas. Sintezės prokto RSDA kreivė, čia k – katoitas, p – portlanditas

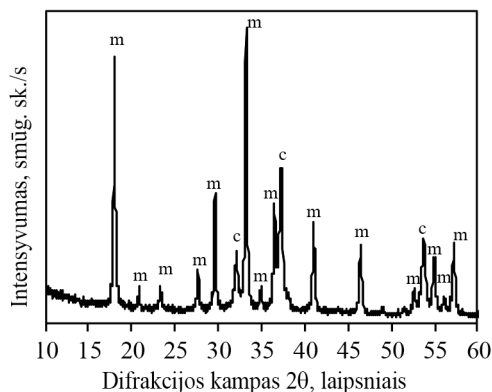
Šiuos rezultatus patvirtino vienalaikės terminės analizės (VTA) duomenys. DSK kreivėje stebimi trys endoterminiai virsmai:  $124 \text{ }^\circ\text{C}$  esantis bukis rodo vandens pasišalinimą. Intensyvus endoterminis efektas, esantis  $308 \text{ }^\circ\text{C}$ , būdingas katoito skilimui, o portlandito dehidracija priskirtinas trečias endoterminis efektas, kuris stebimas  $440 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje (2 paveikslas, 2 kr.).



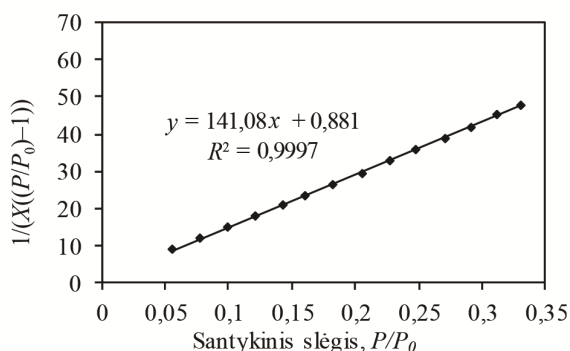
2 paveikslas. Sintezės produkto VTA kreivė: 1 – DSK, 2 – TGA

Iš TGA duomenų apskaičiuota, kad nesureagavusio Ca(OH) kiekis yra tik 5 % (2 paveikslas, 1 kr.).

Antrajame sintezės etape katoitas buvo išdegtas 1 h 900 °C temperatūroje. Nustatyta, kad po degimo katoitas visiškai suskyla ir susidaro majenitas, šio proceso metu identifikuotas ir portlandito skilimo produktas CaO (3 paveikslas).



3 paveikslas. Degto katoito RSDA kreivė, čia m – majenitas, c – kalcio oksidas

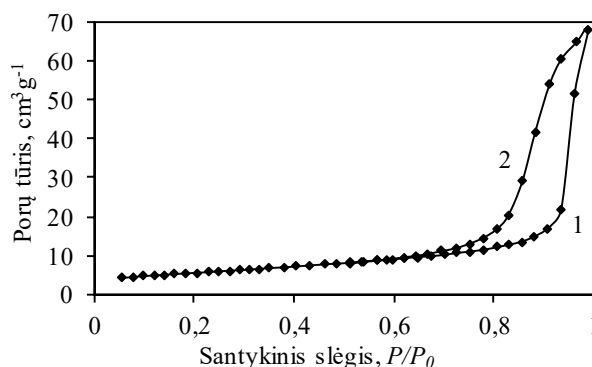


4 paveikslas. Majenito N<sub>2</sub> adsorbcijos izotermė

Norint įvertinti gauto sintetinio adsorbento panaudojimo galimybes pirmiausia buvo nustatytas jo paviršiaus plotas, naudojant N<sub>2</sub> adsorbcijos izotermės duomenis. Atlikus savitojo paviršiaus ploto ( $S_{BET}$ ) matavimą nustatyta, kad bandinio porų paviršiuje susidaro stabilus adsorbuoto N<sub>2</sub> vienmolekulis sluoksnis ir  $S_{BET}$  skaičiavimai yra patikimi, nes esant santykiniam slėgiams  $0,05 \leq p/p_0 \leq 0,35$ , BET koordinatėse  $1/(X((p_0/p)-1))$  gaunama tiesė, kurios koreliacijos koeficientas  $R^2$  artimas vienetui (0,999) (4 paveikslas) ir apskaičiuotas paviršiaus plotas ( $S_{BET}$ ) yra lygus 24,55 m<sup>2</sup>/g.  $S_{BET}$  absoliutinės vertės patikimumą patvirtina  $C_{BET}$  konstantos vertė, kuri yra lygi 161. Patikimiausi  $S_{BET}$  matavimų duomenys gaunami, kai  $C_{BET}$  vertė yra tarp 50 ir 250. Mažesnė konstantos vertė reikštų, jog adsorbentas kondensuojasi porose ir apskai-

čiuotas  $S_{BET}$  būtų didesnis už realų. Priešingai, kai  $C_{BET} > 250$  reiškia, kad tarp adsorbento paviršiaus ir adsorbato vyksta cheminė reakcija, nesudarant pastarojo vienmolekuliam sluoksniui.

Tyrimo rezultatai parodė, kad bandiniui yra būdingas histerezės reiškinys: adsorbcijos ir desorbcijos izotermės nesutampa, desorbcijos izotermė yra kairiau nei adsorbcijos izotermė (5 paveikslas). Tai būdinga mezoporiams kietiesiems kūnams, kai porų skersmenys kinta nuo 1 iki 50 nm. Pagal histerezės kilpos formą nustatyta, kad bandinyje vyrauja cilindrinės formos poros (5 paveikslas).



5 paveikslas. Majenito N<sub>2</sub> adsorbcijos izotermės: 1 – adsorbcija, 2 – desorbcija

Apibendrinus gautus duomenis, galima teigti, kad šis pasirinktas majenito sintezės metodas yra tinkamas nes gautas produktas gali būti naudojamas kaip sintetinis adsorbentas.

### Sintetinio majenito sorbcinė geba vario jonams

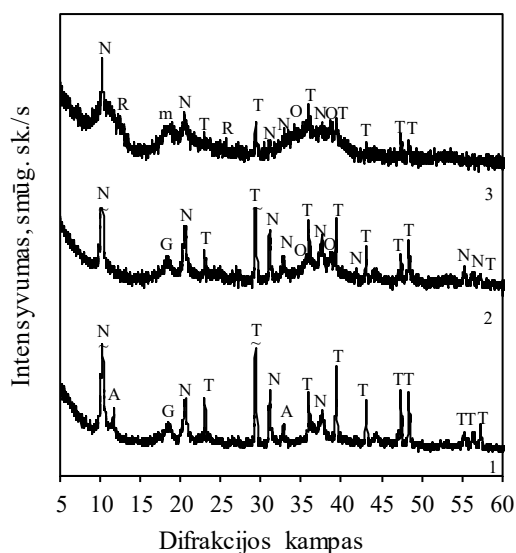
Todėl šiame tyrimų etape buvo ištirta sintetinio majenito sorbcinė geba vario jonams. Norint įvertinti ne tik vario jonų koncentracijos įtaką, bet ir anijono (pH) įtaką, adsorbcijos eksperimentai buvo atliekami lygiagrečiai dviejuose sistemose: CuSO<sub>4</sub> ir Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> tirpaluose, kurių koncentracija kito nuo 1 g/l iki 5 g/l (1 lentelė). Pirmojoje buvo tiriama vario adsorbcija iš CuSO<sub>4</sub> tirpalo. Nustatyta, kad nepriklausomai nuo pradinio tirpalo koncentracijos (1; 2,5; 5) proceso pusiausvyra pasiekama per 1–3 minutes, nes išmatuotos vertės po 1 min. yra labai artimos vertėms, kurios nustatytos po 1 h. Majenito adsorbcijos geba tiesiogiai priklauso nuo vario jonų koncentracijos tirpale. Pažymėtina, kad didėjant vario jonų koncentracijai tirpale, maksimalus įsiterpusių vario jonų į sintetinio majenito struktūrą skaičius, taip pat didėjo nuo 50,5 mg/g iki 167 mg/g. Šio proceso metu efektyvumas pagal pradinio tirpalo koncentraciją yra toks: 1 g/l – 50 %; 2,5 g/l – 36 %; 5 g/l – 33 %.

1 lentelė. Majenito adsorbuoti vario jonų kiekiai, skirtingose terpėse

Pradinių tirpalų koncentracija		pH vertės prieš adsorbciją	Adsorbuotų vario jonų kiekis, mg Cu <sup>2+</sup> /g			pH vertės po 60 min adsorbcijos
			1 min	5 min	60 min	
1 g/l	CuSO <sub>4</sub>	4,32	43,5	46,75	50,5	5,64
	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,29	50	60	100	6,58
2,5 g/l	CuSO <sub>4</sub>	4,11	25	87,5	90	5,39
	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,59	164	220	220	7,94
5 g/l	CuSO <sub>4</sub>	3,88	25	27,5	167	5,28
	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,79	271	295	469	6,99

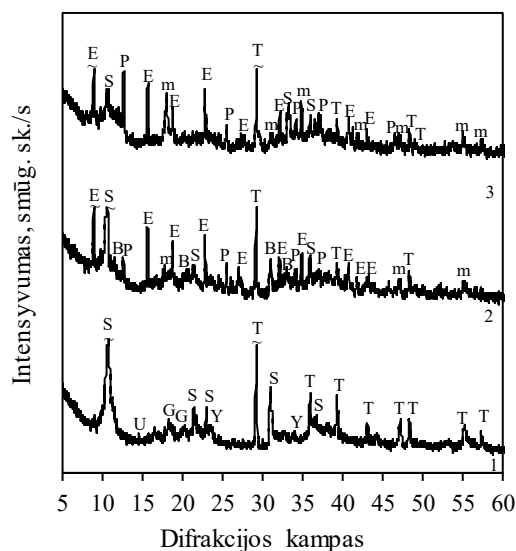
Nustatyta, kad vario jonų adsorbcijos procesai Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> sistemoje vyksta gerokai efektyviau.

Iširta, kad po 1 h proceso, naudojant mažiausios koncentracijos Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> tirpalą, visi skystoje terpėje esantys vario jonai yra išterpę į majenito struktūrą. Didėjant pradinei vario tirpalo koncentracijai, adsorbuotų vario jonų kiekis taip pat didėja ir po 1 valandos skystoje terpėje lieka tik apie 10 % vario jonų, o pradinių minėtų jonų koncentracija kinta nuo 2,5 g/l iki 5 g/l (1 lentelė). Reikia paminėti, kad proceso greitis šioje sistemoje yra gerokai mažesnis, nes adsorbuotų vario jonų kiekis tolygiai didėja viso tirtos proceso metu. Nustatyta, kad visomis tirtomis sąlygomis po adsorbcijos proceso pH vertė yra didesnė nei pradinių tirpalų. Tikėtina, kad tai lemia iš dalies ai į skystąją terpę atpalaiduotų kalcio jonų kiekiai bei adsorbcijos metu iš dalies i adsorbuoti skirtingi anijonai.



6 paveikslas. Majenito RSDA kreivės po adsorbcijos 25 °C temperatūroje, skirtinguose Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> koncentracijos tirpaluose: 1 – 1 g/l; 2 – 2,5 g/l; 3 – 5 g/l. Čia: N – kalcio aliuminio nitrato hidroksido hidratas, A – kalcio aliuminio karbonato hidroksido hidratas, G – gibsitai, T – kalcitas, O – tenoritas (CuO), R – rouatitas (Cu<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)(OH)<sub>3</sub>)

Norint nustatyti Cu<sup>2+</sup> jonų įtaką majenito struktūrai buvo atlikta rentgeno difrakcinė analizė. Iširta, kad proceso metu majenito struktūra visiškai persikristalizuoja į kitus junginius. Po sorbcijos proceso Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> tirpale RSDA kreivėse identifikuoti naujadarai, pvz.: tenoritas (CuO) ir Rouatitas (Cu<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)(OH)<sub>3</sub>). Nustatyta, kad Rouatito difrakcinių maksimumų intensyvumas didėja, tiesiogiai didėjant pradinei vario jonų koncentracijai tirpale, o po adsorbcijos proceso, kai pradinė vario jonų koncentracija yra 1 g/l, pagrindiniai susidarantys produktai yra kalcio aliuminio nitrato hidroksido hidratas bei kalcitas (6 paveikslas).



7 paveikslas. Majenito RSDA kreivės po adsorbcijos 25 °C temperatūroje, skirtinguose CuSO<sub>4</sub> koncentracijos tirpaluose: 1 – 1 g/l; 2 – 2,5 g/l; 3 – 5 g/l. Čia: S – kalcio aliuminio oksido karbonato sulfato hidroksido hidratas; G – gibsitai, m – kalcio aliuminatas, T – kalcitas; E – etringitas, B – gipsas, P – vario sulfato hidroksido hidratas, U – vario hidroksidas, Y – jelemitas

RSDA analizės rezultatai parodė, kad bandiniuose po sorbcijos proceso CuSO<sub>4</sub> tirpale identifikuoti nauji junginiai: vario sulfato hidroksido hidratas, vario hidrok-

sidas, etringitas ir gipsas (7 paveikslas). Tendencingas etringito pagrindinės smailės didėjimas patvirtina, kad sorbcijos metu terpiasi ne tik vario tačiau ir sulfato anijonai. Produktuose taip pat identifikuojamos kalcitui bei kalcio aluminatui būdingos smailės.

Apibendrinus gautus rezultatus galima teigti, kad į sintetinio majenito struktūrą sorbcijos metu terpiasi ne tik vario jonai bet ir sulfato bei nitrato anijonai, kuri proceso metu visiškai persikristalizuoja į kitus giminingus junginius.

## Išvados

1. Nustatyta, kad  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$  sistemoje hidroterminės sintezės metu susidaro majenito prekursorius – katoitas bei lieka neženklūs kiekis portlandito, kuris po degimo 1 h 900 °C temperatūroje, visiškai suskyla ir susidaro majenitas.
2. Ištirta, kad didėjant vario jonų koncentracijai tirpale, maksimalus įsiterpusių vario jonų į sintetinio majenito struktūrą, taip pat didėjo nuo 50,5 mg/g iki 167 mg/g. Šio proceso metu efektyvumas pagal pradinio tirpalo koncentraciją yra toks: 1 g/l – 50 %; 2,5 g/l – 36 %; 5 g/l – 33 %.
3. Nustatyta, kad vario jonai adsorbcijos procesai  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  sistemoje vyksta gerokai efektyviau. Ištirta, kad po 1 h proceso, naudojant mažiausios koncentracijos  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  tirpalą, visi skystoje terpėje esantys vario jonai yra įsiterpę į majenito struktūrą. Didėjant pradinei vario tirpalo koncentracijai, adsorbuotų vario jonų kiekis taip pat didėja ir po 1 valandos skystoje terpėje lieka tik apie 10 % vario jonų kiekis.
4. Nustatyta, kad į sintetinio majenito struktūrą sorbcijos metu terpiasi ne tik vario jonai, bet ir sulfato bei nitrato anijonai, kurie proceso metu visiškai persikristalizuoja į kitus giminingus junginius.

## Literatūra

- Dudu, T. E., Sahiner, M., Alpaslan, D., Demirci, S., & Aktas, N. (2015). Removal of As(V), Cr(III) and Cr(VI) from aqueous environments by poly (acrylonitril-co-acrylamidopropyl-trimethyl ammonium chloride)-based hydrogels. *Journal of Environmental Management*, 161, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.015>
- Kitikova, N. V., Ivanets, A. I., Shashkova, I. L., Radkevich, A. V., Shemet, L. V., Kul'bitskaya, L. V., & Sillanpää, M. (2017). Batch study of  $^{85}\text{Sr}$  adsorption from synthetic seawater solutions using phosphate sorbents. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 314(3), 2437–2447. <https://doi.org/10.1007/s10967-017-5592-4>

- Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awasthi, M. K., Lahori, A. H., Wang, Q., Li, R., & Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>
- Ncube, P., Pidou, M., Stephenson, T., Jefferson, B., & Jarvis, P. (2018). Consequences of pH change on wastewater depth filtration using a multimedia filter. *Water Research*, 128, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.040>
- Pimraksa, K., Hanjitsuwan, S., & Chindaprasirt, P. (2009). Synthesis of belite cement from lignite fly ash. *Ceramics International*, 35(6), 2415–2425. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.02.006>
- Refaey, Y., Jansen, B., De Voogt, P., Parsons, J. R., El-Shater, A.-H., El-Haddad, A.-A., & Kalbitz, K. (2017). Influence of organo-metal interactions on regeneration of exhausted clay mineral sorbents in soil columns loaded with heavy metals. *Pedosphere*, 27(3), 579–587. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60353-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60353-9)
- Remon, E., Bouchardon, J.-L., Cornier, B., Guy, B., Leclerc, J.-C., & Faure, O. (2005). Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. *Environmental Pollution*, 137(2), 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.012>
- Segui, P., Aubert, J.-E., Husson, B., & Measson, M. (2012). Characterization of wastepaper sludge ash for its valorization as a component of hydraulic binders. *Applied Clay Science*, 57, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2012.01.007>
- Xiong, Ch., Chen, X., & Liu, X. (2012). Synthesis, characterization and application of ethylenediamine functionalized chelating resin for copper preconcentration in tea samples. *Chemical Engineering Journal*, 203, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.131>
- Xue, W., Wang, Ch., Tian, H., & Lai, Y. (2007). Corrosion behaviors and galvanic studies of microarc oxidation films on Al–Zn–Mg–Cu alloy. *Surface and Coatings Technology*, 201(21), 8695–8701. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.10.029>
- Zhen, G., Lu, X., Cheng, X., Chen, H., Yan, X., & Zhao, Y. (2012). Hydration process of the aluminate  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ -assisted Portland cement-based solidification/stabilization of sewage sludge. *Construction and Building Materials*, 30, 675–681. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.049>

## ADSORPTION PROPERTIES OF COPPER IONS BY SYNTHETIC MAJENITE

K. Ruginytė, A. Eisinas

### Summary

In this work, the effect of  $\text{Cu}^{2+}$  ions concentration on the adsorption capacity of synthetic mayenite was examined. Katoite was synthesized under hydrothermal conditions in the primary mixture, which consisted of aluminum and calcium oxides. It was determined that synthetic katoite at 900 °C temperature fully recrystallized to mayenite in this process also identified the portlandite decomposition product CaO. It was found that the specific surface area of calcination product at 900 °C temperature is equal 24.55 m<sup>2</sup>/g. In addition, the calculated C<sub>BET</sub>

constant values confirmed that the calculated  $S_{\text{BET}}$  value is correct because only one adsorption layer of nitrogen in 0.05-0.35  $p/p_0$  range were formed. The calculation revealed that the hysteresis loops of mayenite, which was prepared at 900 °C temperature, is typical which characteristic for materials with well-defined cylindrical-like pore agglomerates.

It was found that with increasing initial concentration of copper ions in the primary solution, the maximum amount of adsorbed  $\text{Cu}^{2+}$  ions by the synthetic mayenite also increased from 50.5 mg/g till 167 mg/g. Effective of this process according to the initial concentration of the solution is as follows: 1 g/l–50 %; 2,5 g/l–36 %; 5 g/l–33 %. The results demonstrated that, the largest amount of  $\text{Cu}^{2+}$  ions were adsorbed from  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  solution, meanwhile in  $\text{CuSO}_4$  solution, during the same period of time, only 167 mg  $\text{Cu}^{2+}$ /g. It should be mentioned that mayenite also adsorbed  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  anions and new compounds were formed.

**Keywords:** mayenite, adsorption, copper ions, hydrothermal synthesis.