

KEEMIA- JA MATERJALITEHNOLOOGIA TEADUSKOND
ANORGAANILISTE MATERJALIDE TEADUSLABORATOORIUM
TEADUS- JA ARENDUSTEGEVUSE AASTAARUANNE 2015

1. Struktuur

Struktuuriüksuse nimetus eesti ja inglise keeles, direktori /juhataja nimi

Anorgaaniliste materjalide teaduslaboratoorium. Juhataja Rein Kuusik; alates 01.09.2015 Andres Trikkel

Laboratory of Inorganic Materials (LIM). Laboratory manager Rein Kuusik; since 01.09.2015 Andres Trikkel

2. Teadus- ja arendustegevuse (edaspidi T&A) iseloomustus

2.1 Struktuuriüksusesse kuuluvad uurimisgrupid (*kõik uurimisgrupid näidatakse aruandes eraldi, järgides alltoodud ülesehitust*).

Uurimisgrupi nimetus (*eesti ja inglise keeles*) **ja juhi nimi**

Labor pole jagatud uurimisgruppidesse

Labori töötajad:

- Tiit Kaljuvee – vanemteadur
- Juha Kallas – vanemteadur
- Rein Kuusik – juhtivteadur, kuni 31.08.2015; alates 01.09.2015 vanemteadur
- Andres Trikkel – vanemteadur
- Kaia Tõnsuaadu – vanemteadur
- Mai Uibu – vanemteadur
- Jekaterina Jefimova – teadur
- Olga Velts-Jänes – teadur
- Marve Einard – keemiainsener
- Merli Keelmann – insener (tööleping peatatud)
- Kadriann Tamm – insener, doktorant
- Helle Ehala – laborant, kuni 31.08.2015
- Regiina Viires – laborant, alates 05.05.2015

Uurimisgrupi teadustöö ülevaade

Lühikirjeldus (*eesti keeles*):

Laboratooriumi teadustöö on käesoleval perioodil suunatud jäätmete käitlusele valdavalt põlevkiviga seotud tööstuses – põlevkivituha kasutamisele ja kasvuhoonegaaside emissiooni piiramisele eesmärgiga selgitada keemilis-tehnoloogilised alusteadmised sellega seotud protsessidest komplekssetes mineraalorgaanilistes lahustepõhistes või gaas - tahke süsteemides. Uurimissuunad on seotud sadestatud kaltsiumkarbonaadi ja tardumaterjalide saamisega, tuha kasutamise fosfori sorbendina ja apatiitide keemiaga, põlevkivi hapnikus-põletamisega jt. termiliste protsessidega, võimaldades jõuda teostatavate, keskkonnasõbralike, optimeeritud rakendusteni nii eksperimentaalsel teel kui matemaatilise modelleerimise abil, üldistades saadud uudsed teadmised.

Lühikirjeldus (inglise keeles):

Research of the laboratory at current period is focused on waste management, mainly, in oil shale industry – to reuse oil shale ash and diminish GHG emissions with the aim to clarify chemical-technological fundamentals of the processes in the complex mineral-organic aqueous or gas – solid systems. Research directions are related to PCC production and curing materials, using ash as phosphorus sorbent together with extended chemistry of apatites, oil shale or semicoke oxy-combustion and other thermal processes, enabling to reach to feasible, environmentally sound, optimized applications using experimental research together with mathematical modelling, and generalize the novel know-how obtained.

Uurimisgrupi aruandeaastal saadud kõige olulisemad teadustulemused (eesti ja inglise keeles)

Anorgaaniliste materjalide teaduslaboratooriumi 2015. aasta teadustöö tulemused on kokku võetavad järgmiselt:

- Määrati põlevkivitööstuses tekkivate uute tuhaliikide keemiline ja faasikoostis, füüsikalised omadused, leostuskarakteristikud ning sideainelised omadused. Näidati, et kaevanduste tagasitäite kontekstis on keskkonna seisukohalt põhiliseks probleemiks tuha baasil saadavate tarduvsegude aluseline reaktsioon ja soolade, eriti sulfaatide ja kloriidide, pikemaajaliselt ka kroomi, molübdeeni ja baariumi leostumine vesikeskkonda. Erineva keerukusastmega mudelsüsteemide baasil selgitati põlevkivituhtades sisalduvate peamiste veeslahustuvate Ca-ühendite (Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ning CaS) leostuskäitumine ning koostati reaktsioonikineetikal ning termodünaamilikal baseeruvad matemaatilised mudelid, mis simuleerivad tuha vesisüsteemides toimuvaid protsesse.
- Selgitati, kuidas mõjutab reovee koostis (P keemiline vorm ja orgaaniliste ühendite sisaldus) munitsipaalreovees sisalduva fosfori sidumisel hüdratiseeritud põlevkivituhtaga tekkivate ühendite koostist ja struktuuri ning nende püsivust. Näidati, millised fosforiühendid sadenevad protsessi erinevate parameetrite (pH, Ca/P suhe) juures, määrati nende lahustuvus ja muutused ajas ning analüüsiti fosfororgaaniliste ühendite jaotust eri faasides.
- Näidati, et hapnikus-põletamine on edukalt rakendatav kõrgema karbonaatide sisaldusega põlevkivide ja suurema orgaanilise aine sisaldusega poolkokside utiliseerimisele ning kirjeldati modelleerimise teel gaasiliste produktide ning tuhtade koostised ning vood eri režiimidel (kuiv ja märg tsirkulatsioon). Uuriti CO_2 sidumist erinevate lubimaterjalidega nn. CO_2 tsükilise sidumise protsessis, määrares protsessi peamised mõjufaktorid ning testiti võimalusi sidumisparameetrite parendamiseks.
- Näidati, et Eesti põlevkivituhtad on granuleeritavad eesmärgiga kasutada neid muldade lupjamiseks. Tehti kindlaks tuha karakteristikud ja protsessi parameetrid, samuti tuha ja graanulite eel- ning järeltötluse viisid, millest sõltub protsessi tulemuslikkus. Loomaks alusteadmisi uute keraamiliste materjalide osas, uuriti TG-DTA-MS ja XRD meetodeid kasutades erinevate savide ja põlevkivituha segude kuumutamisel toimuvate transformatsioonide keerulist iseloomu sõltuvalt nende keemilisest ja mineraloogilisest koostisest ja tõestati, et valitud tuhaliigid on kasutatavad keemiliselt püsivate ehituskeraamiliste toodete saamiseks.

The research in the Laboratory of Inorganic Materials in 2015 can be summarized as follows:

- New types of oil shale ashes (OSA) were characterized for chemical and phase composition, physical properties, leaching characteristics and binder properties in the context of back-filling of mines. It was shown that the main environmental concern is the alkalinity of curing mixtures with OSA and leaching of salts, especially, sulphates and chlorides, but also chromium, molybdenum and barium. Leaching of the key Ca-compounds (Ca(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and CaS) was studied in the model systems of different complexity and mathematical models based on kinetics and thermodynamics that simulate the processes in aqueous ash systems were built.

- It was clarified how the the composition of wastewater (the chemical state of phosphorus and the presence of organic matter) affect composition, structure and stability of the compounds formed in phosphorus removal from municipal wastewater using OSA. Effect of different process parameters (pH, Ca/P ratio) on the phosphorus compounds formed as well as their changes with time was clarified, solubility of the products formed and distribution of phosphorus-organic compounds between different phases was determined.
- It was shown that oxy-combustion can be successively applied to carbonate-rich oil shales and organic-rich semicokes. Modelling approach enabled to describe composition and flows of gaseous and solid products at that under different process regimes (dry and wet circulation). Main impact factors of the process of CO₂ binding in Ca-looping using different lime-containing materials were determined by thermal analysis methods, possibilities for increasing binding parameters were tested.
- It was shown that different kinds of OSA can be granulated for their following use as liming agent of acidic soils. Effect of different ash characteristics and process parameters used at granulation as well as pre- and post-treatment methods of ashes and granulated products was established. To obtain fundamental knowledge for new ceramic materials, the complex character of transformations in different clay samples and their mixtures with OSA, and differences in their thermal behaviour, depending on the chemical and mineralogical composition of initial materials, were studied using TG-DTA-MS and XRD techniques. Possibilities to use selected ashes as main material for producing chemically stable ceramic building materials were proven.

Koostöö teiste TA asutuste ja ettevõtetega (sh välisriikidest)

Põlevkivi ja taastuvkütuste teaduslaboratoorium; Polümeermaterjalide instituut; Materjaliuuringute teaduskeskus; Materjaliteaduse instituut ; Keemiliste kiletehnoloogiate teaduslaboratoorium; Ehitustootluse instituut; Ehitusmaterjalide teadus- ja katselaboratoorium; TTÜ Geoloogia instituut; Soojustehnika instituut; Keemiainstituut;

Eesti Energia AS; Tartu Ülikooli Füüsika Instituut; Tartu Ülikool; Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut; Eesti Maaviljeluse Instituut;

Aalto Ülikool; Pariisi Pierre ja Marie Curie nimeline Ülikool; Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Science; Constantine the Philosopher University in Nitra, Slovakia; Vilniuse Ülikool; Rijnshurer Holding BV; Crystasol OÜ;

Uurimisgrupi kuni 3 olulisemat publikatsiooni aruandeaastal.

1. Uibu, M.; Tamm, K.; Velts-Jänes, O.; Kallaste, P.; Kuusik, R.; Kallas, J. (2015). Utilization of oil shale combustion wastes for PCC production: Quantifying the kinetics of Ca(OH)₂ and CaSO₄·2H₂O dissolution in aqueous systems. *Fuel Processing Technology*, 140, 156–164. 10.1016/j.fuproc.2015.09.010.
2. Yörük, C. R.; Meriste, T.; Trikkel, A.; Kuusik, R. (2015). Thermo-oxidation characteristics of oil shale and oil shale char under oxy-fuel combustion conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 121, No 1. P. 509 – 516.
3. Uibu, Mai; Somelar, Peeter; Raado, Lembi-Merike; Irha, Natalja; Hain, Tiina; Koroljova, Arina; Kuusik, Rein (2016). Oil shale ash based backfilling concrete – Strength development, mineral transformations and leachability. *Construction and Building Materials*, 102 (1), 620–630. 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.197.

2.2 Loetelu struktuuriüksuse töötajate olulisematest siseriiklikest ja välisriiklikest T&A-ga seotud tunnustustest.

- **Rein Kuusik** – Tallinna Tehnikaülikooli teenetemedal „Mente et manu”
- **Rein Kuusik** – Pfeil Award 2015 (The Institute of Materials, Minerals and Mining (IOM3 - <http://www.iom3.org/about-iom3>) is a major UK engineering institution whose activities encompass the whole materials cycle, from exploration and extraction, through characterisation, processing, forming, finishing and application, to product recycling and land reuse.). Sellega tunnustati artiklit ”Marangoni, M.; Ponsot, I.; Kuusik, R.; Bernardo, E. (2014). Strong and chemically inert sinter crystallised glass ceramics based on Estonian oil shale ash. *Advances in Applied Ceramics*, 113(2), 120 - 128.
- International Biographical Centre: ettepanek **Mihkel Veiderma** nimetamisest aasta „100 top-educator” hulka
- Marquis Who’s Who: teade **Mihkel Veiderma** sissekandest 33-sse köitesse (2016).
- **Priit Kallaste** (magistrant, juhendaja K.Tamm) – UUV E KIRSO nimeline stipendium - Sihtasutuse Tallinna Tehnikaülikooli Arengufondi 2014/2015. õppeaasta kevadisel stipendiumikonkursil

2.3 Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on riiklike T&A -ga seotud otsustuskogude liikmed.

Kuusik Rein, juhtivteadur/vanemteadur – EV Riikliku Üliõpilastööde konkursitööde hindaja;

2.4 Loetelu struktuuriüksuse töötajatest, kes on välisriikide akadeemiate või muude oluliste T&A -ga seotud välisorganisatsioonide liikmed.

Kallas Juha, v.teadur – International Ozone Assosiation, programmkomitee liige
– European-African-Australian Group, programmkomitee liige

Kuusik Rein, j.teadur/v.teadur – rahvusvahelise võrgustiku GlobalTraPs (Global Transdisciplinary Process For Sustainable Phosphorus Management), 2010-2015 rahvuslik ja TTÜ koordinaator;
– Ajakirjade Applied Geochemistry, Chemosphere, Fuel, Fuel Processing Technology, Oil Shale, Environmental Science and Technology, Journal of Environmental Chemical Engineering, Journal of Environmental Management, Net Journal of Agricultural Science, International Journal of Mineral Processing retsent

Kaia Tõnsuaadu, v.teadur – Läti teadusnõukogu projekti hindamiseksperit
– Ajakirjade J. of Thermal Analysis and Calorimetry, J. of Colloids and Surfaces, J. of Minerals Processing, J. of Hazardous Materials retsent

Tiit Kaljuvee, v.teadur – Ajakirja JTAC piirkondlik toimetaja,
– Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry organiseerimiskomitee liige
– Shota Rustaveli (Georgia) Rahvusliku Teadusfondi grandiprojektide hindamiseksperit;
– ICTAC (International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry) liige;

– Ajakirjade *J. of Thermal Analysis and Calorimetry*, *Thermochimica Acta*,
Fuel retsensent.

Andres Trikkel, v.teadur – IGIP (International Society for Engineering Education and Modern Engineering Pedagogy) liige;
– Ajakirjade *J. of Thermal Analysis and Calorimetry* ja *Fuel* retsensent

Mai Uibu, v.teadur – Rumeenia Rahvusliku Teadusfondi (UEFISCDI - The Executive Agency for Higher Education, Research, Development and Innovation Funding) grandiprojekti hindamiseksperit
– Ajakirjade *Waste Management and Research*, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, *Environmental Science & Technology*, *Chemical Engineering Journal*, *J. of Hazardous Materials*, *Frontiers in Energy Research*, *International J. of Greenhouse Gas Control*, *J. of CO₂ Utilization*, *ChemBioEng Reviews*, ja *Construction & Building Materials* retsensent

Mihkel Veiderma, emeriitprofessor – Eesti Teaduste Akadeemia energeetikanõukogu liige;
– Soome Tehnicateaduste Akadeemia välisliige;
– Soome Keemikute Seltsi kirjavahetajaliige;
– projekti GlobalTraPs juhtasutuse (Zürich) kirjavahetajaliige;
– Current Inorganic Chemistry külalistoimetaja

2.5 Struktuuriüksuses järel doktorina T&A-s osalenud isikute loetelu (nii ETIS-e kaudu esitatud taotluste alusel kui muude meetmete alusel)

- **Merit Kindsigo**, vanemteadur; 01.03.2012 – 31.10.2015; Soome, Lappeenranta Tehnikaülikool; Mobilitas;
- **Irma Bogdanoviciene**, vanemteadur; 15.10.2012-14.10.2015; Leedu, Vilniuse Ülikool; Ermos;

Soovi korral esitatakse aruandeaastal saadud **T&A-ga seotud tunnustused** (va punktis 2.2 toodud tunnustused), ülevaade teaduskorralduslikust tegevusest, **teadlasmobiilsusest ning hinnang oma teadustulemustele**.

Tunnustused

Helle Ehala, Marve Einard, Tiit Kaljuvee, Kaia Tõnsuaadu – TTÜ rektori tänukiri

Teaduskorralduslik tegevus

Mihkel Veiderma bibliogaafia ja publikatsioonide näitus - esitlus TTÜ-s, jaanuar 2015.a.

Näitus: „**Anorgaaniliste materjalide teaduslaboratoorium - 50**“ – 26.05.– 12.06.2015

Teadlasmobiilsus

Rein Kuusik – juhtivteadur/vanemteadur

- konverentsil osalemine – Berliin, Saksamaa; 04.03.–06.03.2015; European Sustainable Phosphorus Conference 2015;
- teaduslik lähetus – Kohtla-Nõmme, Eesti; 10.04.2015; XIV Põlevkivipäev “Põlevkivitööstus js selle pärand: Ida-Virumaa võimalused”;
- konverentsil osalemine – Leuven, Belgia; 15.04.–18.04.2015; Slag Valorisation Symposium, SVS2015;
- konverentsil osalemine – Rakvere, Eesti; 15.10.–16.10.2015; Eesti strateegilised maavarad;

- teaduslik lähetus – Kohtla-Järve, Eesti; 19.11.2015; VII põlevkivikonverents ”Põlevkivi ja ettevõtlus – väljakutsed ning võimalused”;

Kaia Tõnsuaadu – vanemteadur

- teaduslik lähetus – Kohtla-Järve, Eesti; 29.06.2015; TTÜ Kohtla-Järve Kolledž;

Tiit Kaljuvee – vanemteadur

- konverentsil osalemine – Ljubljana, Sloveenia; 24.08.–29.08.2015; 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and calorimetry, CEEC-TAC3;
- konverentsil osalemine – Nitra, Terchova, Slovakkia; 12.10.–18.10.2015; Thermophysics2015;

Andres Triikkel – vanemteadur

- teaduslik lähetus – Kohtla-Nõmme, Eesti; 10.04.2015; XIV Põlevkivipäev “Põlevkivitööstus js selle pärand: Ida-Virumaa võimalused”;
- konverentsil osalemine – Trondheim, Norra; 16.06.–19.06.2015; The 8th Trondheim CCS Conference, TCCS-8;
- konverentsil osalemine – Ljubljana, Sloveenia; 24.08.–29.08.2015; 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and calorimetry, CEEC-TAC3;
- teaduslik lähetus – Kohtla-Järve ja Jõhvi; 11.09.2015; Virumaa Kolledži aastapäev;

Mai Uibu – vanemteadur

- teaduslik lähetus - Luleå, Rootsi; 29-31.01.2015; Luleå Tehnikaülikool;
- teaduslik lähetus – Kohtla-Nõmme, Eesti; 10.04.2015; XIV Põlevkivipäev “Põlevkivitööstus js selle pärand: Ida-Virumaa võimalused”;
- teaduslik lähetus – 5.05.2015, Eesti elektriijaama ja Estonia kaevanduse külastamine;
- konverentsil osalemine – New York, USA; 20.06.–26.06.2015; ACEME15;
- konverentsil osalemine – Kohtla-Järve, Eesti; 19.11.2015; VII põlevkivikonverents ”Põlevkivi ja ettevõtlus – väljakutsed ning võimalused“;

Irma Bogdanoviciene – vanemteadur

- konverentsil osalemine – Ljubljana, Sloveenia; 24.08.–29.08.2015; 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and calorimetry, CEEC-TAC3;

Olga Velts – teadur

- konverentsil osalemine – New York, USA; 20.06.–26.06.2015; ACEME15;

Can Rüstü Yörük – doktorant

- konverentsil osalemine – Turku, Soome; 14.06.–17.06.2015: CFB22;

Kadriann Tamm - doktorant

- teaduslik lähetus – Kohtla-Järve, Eesti; 19.11.2015; VII põlevkivikonverents ”Põlevkivi ja ettevõtlus – väljakutsed ning võimalused”;

Regina Viires – laborant

- teaduslik lähetus – Kohtla-Järve, Eesti; 19.11.2015; VII põlevkivikonverents ”Põlevkivi ja ettevõtlus – väljakutsed ning võimalused”;

Väliskülalised

SA Archimedes, DoRa Programmi raames:

Thomáš Hulan – Slovakkia; 01.03.–31.05.2015;

Koostöölepingu raames:

Dr Keesjan Rinjsberger – Innovation Concepts Inc., 20.–25. aprill 2015;

Dr. Michel Gruselle – Pariisi PM Curie nim. Ülikool; 09.–19. november 2015;

Juhendatavad doktoritööd

Can Rüstü Yörük – Mass and heat transfer phenomena in CFBC boiler under oxy-fuel conditions for Estonian oil shale (Massi- ja soojusülekanedenähtused Eesti põlevkivi hapnikus-põletamisel tsirkuleerivas keevkihis). Juhendajad Andres Triikkel, Andres Siirde, Rein Kuusik

Kadriann Tamm –Leaching of the Water-Soluble Calcium Components of Oil Shale Wastes (Veeslahustuvate kaltsiumiühendite leostumine põlevkivijäätmetest). Juhendajad Rein Kuusik, Mai Uibu, Juha Kallas.

Tõnis Meriste – Eesti põlevkivi hapnikuspõletamise alused, Juhendajad Andres Triikkel, Rein Kuusik

Kärt Kärner – Smart aerogels based on the wood nanostructured cellulose (Tselluloosi funktsionaalsed aerogeelid). Juhendajad Urve Kallavus, Kaia Tõnsuaadu, Matti Elomaa

Ana Jurkevicate – Synthesis of modified resin resorcinol and oil alkylresocinols basis. (Modifitseeritud vaigu süntees resortsinoolide ja põlevkivi alküülresortsinoolide alusel. Nende struktuuri ja omaduste uurimine). Juhendajad Larisa Grigorieva, Kaia Tõnsuaadu

Juhendatavad magistritööd

Mart Kivistik – Pindaktiivsete ainete mõju apatiidi sadenemisele. Juhendaja Kaia Tõnsuaadu

Frieda Kriisa – Fosfororgaaniliste ühendite sidumine apatiidi pinnaga. Juhendaja Kaia Tõnsuaadu

Katrel Virkus – Mõningaid võimalusi põlevkivituhkade granuleerimiseks ning granulaadi kasutamiseks happeliste muldade neutraliseerijana. Juhendaja Tiit Kaljuvee

Serkan Sener – Juhendaja Can Rüstü Yörük

Juhendatud ja kaitstud magistritööd

Priit Kallaste – Tasakaalud süsteemis põlevkivituhk – vesi. Juhendajad Mai Uibu ja Kadriann Tamm

Märten Lukk – Põlevkivi hapnikus-põletamise alused, Juhendaja Andres Triikkel ja Tõnis Meriste

Ragnar Übner – Lubjakivid ja dolomiit kaltsinaator-karbonaator tsükliks. Juhendaja Andres Triikkel

Juhendatavad bakalaureusetööd

Regiina Viires – Põlevkivi mineraalsete jäätmete leostudünaamika mudeldamine programmis Modest. Juhendajad: Kadriann Tamm ja Olga Velts

2.7 Struktuuriüksuse töötajate poolt avaldatud teaduspublikatsioonid (ETIS klassifikaatori alusel).

1.1. Teadusartiklid, mis on kajastatud Thomson Reuters Web of Science andmebaasis (v.a. Thomson Reuters Conference Proceedings Citation Index poolt refereeritud kogumikud) ja/või Euroopa Teadusfondi humanitaarteaduste loendi ERIH (European Reference Index of the Humanities) kategooriates INT1 ja INT2 ja/või andmebaasis Scopus (v.a. kogumikud);

1. Marangoni, M.; Ponsot, I.; Kuusik, R.; Bernardo, E. (2014). Strong and chemically inert sinter crystallised glass ceramics based on Estonian oil shale ash. *Advances in Applied Ceramics*, 113(2), 120 - 128.
2. Irha, N.; Reinik, J.; Jefimova, J.; Koroljova, A.; Raado, L-M.; Hain, T.; Uibu, M.; Kuusik, R. (2015) PAHs in leachates from thermal power plant wastes and ash-based construction materials. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 22, No 15. P. 11877 – 11889.
3. Kaljuvee, T.; Trass, O.; Pihu, T.; Konist, A.; Kuusik, R. (2015). Activation and reactivity of Estonian oil shale cyclone ash towards SO₂ binding. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 121, No 1. P. 19 – 28.
4. Velts, O.; Kindsigo, M.; Uibu, M.; Kallas, J.; Kuusik, R. (2015). CO₂ mineralisation: Production of CaCO₃-type material in a continuous flow disintegrator-reactor. *Energy Procedia*. Vol. 63. P. 5904 – 5911.

5. Pilvet, M.; Kauk-Kuusik, M.; Altosaar, M.; Grossberg, M.; Danilson, M.; Timmo, K.; Mere, A.; Mikli, V. (2015). Compositionally tunable structure and optical properties of $\text{Cu}_{1.85}(\text{CdxZn}_{1-x})_{1.1}\text{SnS}_{4.1}$ ($0 \leq x \leq 1$) monograin powders. *Thin Solid Films*. Vol. 582. P. 180 – 183.
6. Bogdanoviciene, I.; Cepenka, M.; Traksmaa, R.; Kareiva, A.; Tõnsuaadu, K. (2015). Formation of Ca-Zn-Na phosphate bioceramic material in thermal processing of EDTA sol-gel precursor. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 121, No 1. P. 107 – 114.
7. Kuosa, M.; Kallas, J.; Häkkinen, A. (2015). Ozonation of p-nitrophenol at different pH values of water and the influence of radicals at acidic conditions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 3, No 1. P. 325 – 332.
8. Ondruška, J.; Štubňa, I.; Trnovcová, V.; Medved, I.; Kaljuvee, T. (2015). Polarization and depolarization currents in kaolin. *Applied Clay Science*. Vol. 114. P. 157 – 160.
9. Leinemann, I.; Timmo, K.; Grossberg, M.; Kaljuvee, T.; Tõnsuaadu, K.; Traksmaa, R.; Altosaar, M.; Meissner, D. (2015). Reaction enthalpies of $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_4$ synthesis in KI. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 119, No 3. P. 1555 – 1564.
10. Grossberg, M.; Timmo, K.; Raadik, T.; Kärber, E.; Mikli, V.; Krustok, J. (2015). Study of structural and optoelectronic properties of $\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{Sn}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{Se}_4$ ($x = 0$ to 1) alloy compounds. *Thin Solid Films*. Vol. 582. P. 176 – 179.
11. Yörüük, C. R.; Meriste, T.; Trikkel, A.; Kuusik, R. (2015). Thermo-oxidation characteristics of oil shale and oil shale char under oxy-fuel combustion conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 121, No 1. P. 509 – 516.
12. Polivtseva, S.; Oja Acik, I.; Krunks, M.; Tõnsuaadu, K.; Mere, A. (2015). Thermoanalytical study of precursors for tin sulfide thin films deposited by chemical spray pyrolysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 121, No 1. P. 177 – 185.
13. Uibu, M.; Tamm, K.; Velts-Jänes, O.; Kallaste, P.; Kuusik, R.; Kallas, J. (2015). Utilization of oil shale combustion wastes for PCC production: Quantifying the kinetics of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dissolution in aqueous systems. *Fuel Processing Technology*. Vol. 140. P. 156 – 164.

1.2. Teadusartiklid teistes rahvusvahelistes teadusajakirjades, millel on registreeritud kood, rahvusvaheline toimetuse, rahvusvahelise kolleegiumiga eelretsenseerimine, rahvusvaheline levik ning kättesaadavus ja avatus kaastöödele; artiklid humanitaarteaduste loendi ERIH kategoorias NAT kajastatud ajakirjades;

14. Húlan, T.; Trník, A.; Štubňa, I.; Bačík, P.; Kaljuvee, T.; Vozár, L. (2015). Development of Young's modulus of illitic clay during heating up to 1100°C. *Materials Science*. Vol. 21, No 3. P. 429 – 434.

3.1. Artiklid/peatükid lisas loetletud kirjastuste välja antud kogumikes (kaasa arvatud Thomson Reuters Book Citation Index, Thomson Reuters Conference Proceedings Citation Index, Scopus refereeritud kogumikud);

15. Yörüük, C.R.; Normann, F.; Filip, J.; Trikkel, A.; Kuusik, R. (2015). Applicability of the FB reactor of Aspen Plus for CFB Oxy-fuel Combustion of Estonian Oil Shale: Gas and Solid Hydrodynamics. Vol. 1. P. 150 – 159.
16. Kaljuvee, T.; Kuusik, R.; Petkova, V. (2015). Thermal and kinetic characteristics of some oil shale samples. *Thermophysics and Mass Transfer in Materials Science and Construction*. Vol. 1126. P. 67 – 74.

3.4. Artiklid/ettekanded, mis on avaldatud valdkonda 3.1. mittekuuluvates konverentsikogumikes

17. Velts, O.; Uibu, M.; Rijnsburger, K.; Knops, P.; Kuusik, R. (2015). Feasibility of carbonation of alkaline waste oil shale ash in the rocking-type autoclave reactor. 5th International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, New York City, USA, June 21-24, 2015.
18. Tamm, K.; Kallaste, P.; Uibu, M.; Kallas, J.; Kuusik, R. (2015). Leaching thermodynamics of oil shale waste key components. 5th International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, New York City, USA, June 21-24, 2015.
19. Uibu, Mai; Somelar, Peeter; Raado, Lembi-Merike; Irha, Natalja; Koroljova, Arina; Kuusik, Rein. (2015). Utilization of oil shale ash as a concrete constituent and carbon sink. 5th International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering, New York City, USA, June 21-24, 2015.

5.2. Konverentsiteesid, mis ei kuulu valdkonda 5.1.

20. Bogdanoviciene, I.; Ezerskyte-Miseviciene, A.; Traksmas, R.; Tõnsuaadu, K.; Kareiva, A. (2015). Cationic substitution effects in sol-gel derived Ca-phosphate bioceramic materials. International Conference of Lithuanian Chemical Society " Chemistry and Chemical Technology 2015. Programme and Proceedings of the International Conference: Chemistry and Chemical Technology 2015, Vilnius, Lithuania, January 23, 2015. Vilnius, Lithuania: Vilnius University, 66–69.
21. Kaljuvee, T.; Štubna, I.; Hulan, T.; Kuusik, R. (2015). Heating rate effect on the thermal behaviour of some clays and their mixtures with oil shale ash additives. Book of abstracts of the 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry, 25-28 August 2015, Ljubljana, Slovenia.
22. Bogdanoviciene, I.; Tonsuaadu, K.; Kaljuvee, T.; Traksmas, R.; Kareiva, A. (2015). TA-MS and FTIR study of Mg²⁺ and glycine modified Ca-hydroxyapatite. 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC3) 25-28 August 2015 Ljubljana, Slovenia . 371.
23. Hulan, T.; Trník, A.; Kaljuvee, T.; Štubna, I.; Kallavus, U., Traksmas, R. (2015). The study of firing the ceramic body made from illite and fluidized combustion fly ash. Book of Abstracts of the 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC3) 25-28 August 2015 Ljubljana, Slovenia. 89.
24. Trikkel, A.; Meriste, T.; Yörük, C. R.; Kuusik, R. (2015). Thermal analysis of oxy-combustion of Estonian oil shale: Kinetics of process stages. Book of Abstracts: 3rd Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry, Ljubljana, Slovenia, 25-28 August 2015. Ed. Rotaru, A.; Korošec, R. C. 59.