

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE
VIDES ZINĀTNES NODAĻA



Vaira Obuka

**SAPROPELIS BOKOMPOZĪTMATERIĀLU IZSTRĀDEI:
ĪPAŠĪBU IZPĒTE UN PIELIETOŠANAS IESPĒJAS**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Zinātņu doktores grāda iegūšanai zemes zinātnēs, fiziskajā ģeogrāfijā, vides zinātnēs

Rīga, 2021

Promocijas darbs tika izstrādāts no 2015. līdz 2021. gadam Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes nodaļā



NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA
Eiropas Sociālais
fonds

Promocijas darbs tika izstrādāts ar finansiālu atbalstu;

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

ESF projekts Nr.8.2.2.0/18/A/010 "Akadēmiskā personāla atjaunotne un kompetenču pilnveide Latvijas Universitātē"

Latvijas Zinātnes padomes grants "Kūdras humusvielu īpašības, struktūra un to modifikācijas iespēju izpēte"
No. lzp-2018/1-0009

Darba zinātniskais vadītājs:

Prof. *Dr. habil. chem.* **Māris Kļaviņš**

Darba recenzenti:

- 1) Doc. *Dr.* **Vaidotas Valskys** (Viļņas Universitāte, Lietuva)
- 2) Prof. *Dr.sc.ing* **Francesco Romagnoli** (Riga Technical University)
- 3) Asoc. prof. *Dr.geogr.* **Iveta Šteinberga** (Latvijas Universitāte)

Promocijas padome:

- 1) Prof. *Dr.biol.* **Viesturs Melecis**, padomes priekšsēdētājs
- 2) Prof. *Dr. geogr.* **Olģerts Nikodemus**, priekšsēdētāja vietnieks
- 3) Prof. *Dr. habil.chem.* **Māris Kļaviņš**
- 4) Assoc. prof. *Dr. geogr.* **Iveta Šteinberga**
- 5) Assoc. prof. *Dr.biol.* **Gunta Sprīņģe**
- 6) Doc. *Dr.geogr.* **Juris Burlakovs**
- 7) Doc. *Dr.geogr.* **Oskars Purmalis**, promocijas padomes sekretārs

Promocijas darba aizstāvēšana notiks 2021. gada 26. augustā plkst. 10:00 Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātes Vides zinātnes Promocijas padomes sēdē attālināti.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Universitātes Bibliotēkā, Rīgā, Kalpaka bulvāris 4.

Promocijas padomes sekretārs

Dr.geogr. **Oskars Purmalis**

Latvijas Universitāte

Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte

Raiņa bulvāris 19, LV-1586, Rīga

e-pasts: oskars.purmalis@lu.lv

© Latvijas Universitāte, 2021

© Vaira Obuka, 2021

Anotācija

Promocijas darba “SAPROPEĻIS BIOKOMPOZĪTMATERIĀLU IZSTRĀDEI: ĪPAŠĪBU IZPĒTE UN PIELIETOŠANAS IESPĒJAS” mērķis ir izpētīt sapropeļa īpašības un iespējas to izmantot biokompozītmateriālu izstrādei izmantošanai lauksaimniecībā, celtniecības nozarē un citās jomās, kā arī pārbaudīt iegūto materiālu īpašības attiecībā uz to pielietošanas iespējām. Biokompozītmateriālu paraugi tika veidoti, izmantojot dažādu veidu sapropeli kā saistvielu un bērza koksnes slīpputekļus, bērza koksnes šķiedru, kaņepju spaļus un šķiedru, aerosilu, mahagonijas zāģu skaidas kā pildvielas. Sapropeļa kā līmvielas īpašību pārbaudei tika izmantots bērza lobītais finieris, dižskābarža finieris un gabalkūdra. Darba teorētiskā daļā ir veikts pārskats par sapropeļa īpašībām un sastāvu, videi draudzīgu būvmateriālu izmantošanas iespējām. Izveidotie biokompozītmateriāli tika analizēti nosakot to mehānisko izturību, siltumvadītspēju, mikrobioloģisko stabilitāti, biodegradāciju, kompozītmateriālu novecināšanos, kompozītmateriālu spiedes un lieces izturību, skaņas izolācijas īpašības, pašaizdegšanās iespējas. Promocijas darbā pierādīts, ka izmantojot vietējos resursus, piemēram, sapropeli un ražošanas procesa blakusproduktus, piemēram, bērza koksnes slīpputekļus, koksnes šķiedras, kaņepju spaļus un šķiedru, būvniecībā un lauksaimniecībā ir iespējams izstrādāt videi draudzīgus biokompozītmateriālus, tos pielāgojot lietošanas vajadzībām. Dabiskā sapropeļa, kas ietilpst biokompozītmateriālu sastāvā, mikrobioloģiskā stabilitāte ir viens no galvenajiem parametriem to pielietošanas potenciālam, un tajā jāietver detalizēts biokompozītmateriālu novērtējums attiecībā uz galvenajām mikroorganismu grupām, kas ir sastopamas celtniecības materiālos. Sapropeļa biokompozītmateriālu mehāniskās un siltumizolācijas īpašības ir līdzīgas ar komerciāli pieejamiem materiāliem, kas liek secināt, ka sapropeļa biokompozītmateriālus varētu līdzīgi izmantot būvniecības nozarē.

Promocijas darba kopsavilkums sastāv no 28 lapām, un satur 1 attēlu un 4 tabuļas.

Atslēgas vārdi: sapropelis, saistviela, kompozītmateriāls, mikrobioloģiskā stabilitāte, biodegradācija

Saturs

levads	5
1. Literatūras apskats	9
1.1. Sapropelis: veidošanās apstākļi un sastāvs	9
1.2. Sapropeļa izmantošanas iespējas	9
1.3. Sapropeļa izmantošana biokompozītmateriālu veidošanā	11
2. Materiāli un metodes	12
2.1. Pētījumā izmantotie sapropeļa paraugi	12
2.2. Sapropeļa paraugu raksturošanas metodes	12
2.3. Biokompozītmateriālu izstrādei izmantotie materiāli un to raksturojums.....	12
2.4. Kompozītmateriālu sagatavošana	12
2.5. Biokompozītu materiālu testēšanas metodes.....	13
3. Rezultāti un diskusija	15
3.1. Sapropeļa īpašības	15
3.2. Sapropeļa biokompozītmateriālu izstrāde	15
3.3. Kompozītmateriālu siltumvadītspējas pārbaude.....	17
3.3. Kompozītmateriālu spiedes un lieces izturības testi.....	18
3.5. Skaņas izolācijas īpašības	18
3.6. Pašizdegšanās tests	19
3.7. Biodegradācijas testi	19
3.7.1. Mikroorganismu elpošanas intensitāte.....	20
3.7.2. Fluoresceīna diacetāta (FDA) hidrolīzes aktivitātes noteikšana	20
3.8. Sapropelis, kūdra, bioogle: granulu izstrāde izmantošanai lauksaimniecībā.....	20
3.9. Sapropeļa biokompozītmateriālu mikrobioloģiskās stabilitātes pētījums.....	21
Secinājumi	23
Literatūras saraksts	24

Ievads

Mūsdienu ekonomika visā pasaulē lielā mērā ir balstīta uz fosilo materiālu izmantošanu (Ingrao et al., 2018), un šī pieeja ievērojami veicina resursu izsīkšanu, vides problēmas, un, jo īpaši klimata izmaiņas. Bioekonomiku (biotehnonomiku) var uzskatīt par alternatīvu fosilo materiālu balstītai ekonomikai, un tā balstās uz biomasas vai biotehnoloģijas izmantošanu preču, pakalpojumu vai enerģijas ražošanai (Lewandowski, 2018). Ņemot vērā pasaules vides un klimata problēmas, kā arī globālo resursu samazināšanos un noplicināšanos, kas novedīs pie resursu izsīkšanas, ir nepieciešams samazināt sintētisko ķīmisko vielu lietošanu un attīstīt bioekonomiku. Videi draudzīgu materiālu paplašināta izmantošana ir uzskatāma par efektīvu rīcības instrumentu ilgtspējīgas attīstības stratēģiju ietvaros gan Eiropas Savienībā (Altozano, 2012), gan Latvijā (Latvijas Republikas Zemkopības Ministrija, 2017). Tāpēc ir svarīgi atrast un pētīt jaunus dabisko materiālus, kas būtu spējīgi aizstāt sintētiskos materiālus (Fava et al., 2015).

Organiskām vielām bagāti ezeru nogulumu - sapropelis, gitija u.c. - ir perspektīvs materiāls dažādām izmantošanas iespējām (Balčiūnas et al., 2016; Stankeviča, 2020). Sapropelis ir ezeru rekultivācijas blakusprodukts, īpaši attiecībā uz eitrofiem ezeriem, kuriem ir nepieciešama ezeru nogulumu izņemšana, lai saglabātu ezeru ekosistēmu, neļaujot tiem aizaugt. Tādējādi sapropela ieguve un izmantošana ir ilgtspējīga no aprites ekonomikas perspektīvas, it īpaši attīstot jaunus sapropeli saturošus biokompozītmateriālus jeb biokompozītus. Lielākā daļa Latvijas ezeru ir eitrofi ezeri, kurus būtiski ietekmē antropogēnā eitrofikācija. Kopējais pieejamais sapropela resurss Latvijā ir ~2 milj. m³. Sapropela resursa apjoms ezeros sasniedz 700 - 800 milj. m³, kamēr sapropela rezerves purvos ir 1.5 miljrd. m³ (Segliņš, 2014). Sapropeli var uzskatīt par atjaunojamo resursu, jo ezeru eitrofikācija ir dabisks un nepārtraukts process. Tādējādi jaunu iespēju izstrāde, lai veicinātu sapropela pielietošanu, sekmē ezeru rekultivāciju, kā arī var ievērojami veicināt bioekonomikas attīstību.

Sapropela īpašības ir atkarīgas no daudziem apstākļiem, ierobežojot resursa tiešo pielietojumu, kas visbiežāk vērsts uz lauksaimniecības vajadzībām. Līdztekus ierobežotam pētījumu apjomam, kā arī novecojušiem sapropela izmantošanas pētījumiem, sapropelis kā resurss vāji ieinteresē nozares, kas darbojas jaunu produktu izstrādē. Viena no ievērojamākajām sapropela īpašībām, to apstrādājot un izzāvējot, ir spēja darboties kā saistvielai vai līmvielai dažādos materiālos (Balčiūnas et al., 2016; Gružāns, 1958, 1960; Klavins and Obuka, 2018). Tādējādi sapropeli var izmantot kompozītmateriālu izstrādei, pamatojoties uz dažādu materiālu grupu īpašību kombināciju, kā arī jaunu materiālu ar jaunām īpašībām izstrādei. Jaunu kompozītmateriālu izstrāde mūsdienās ir vispārēja materiālu zinātnes attīstības tendence. Parasti kompozītmateriāli ir veidoti uz sintētisku materiālu bāzes, piemēram, minerālvate, akmens vate, stikla vate, savukārt sapropela unikālās īpašības ļauj ieviest jaunu kompozītmateriālu grupu, ko veido matrica un šķiedru pastiprinājums – biokompozītmateriāli (Mohanty et al., 2000). Neskatoties uz to, sapropelis praktiski nav izmantots šādu materiālu ražošanai, tomēr var uzskatīt, ka šis pētījumu virziens ir ļoti perspektīvs, jo uz dabīgo materiālu balstītas saistvielas biokompozītmateriālu izveidei ir aktuālas.

Būtisks virziens darbā ar sapropeli ir tā izmantošana par saistvielu, bet par pildvielu kompozītmateriālos izmantojot papildus vēl dažādus rūpniecības un lauksaimniecības blakusproduktus. Šāda pieeja sniedz iespējas atrast jaunu pielietojumus, piemēram, kaņepju spaļiem un šķiedrai, koksnes slīpputekļiem, skaidām. Nozīmīgs etaps biokompozītmateriālu izstrādē ir pareiza jauno materiālu īpašību noteikšana (Bulota et al., 2011; Jawaid et al., 2019; Mngomezulu et al., 2014). Biokompozītmateriālu testēšana tradicionāli koncentrējās uz funkcionālo īpašību - mehāniskās izturības, lietošanas izturības, u.c. - pārbaudēm, bet bioloģiskās stabilitātes testi bieži tiek atstāti novārtā, jo testēšanas metodoloģijas nav

izstrādātas un aprobētas. Tomēr, tā kā biokompozītmateriāli ir bioloģiski noārdāmi materiāli, to bioloģiskās stabilitātes pētījumiem ir svarīga loma jauno materiālu praktiskās izmantošanas veidu apzināšanā.

Promocijas darba mērķis ir pētīt sapropēja īpašības un iespējas to izmantot biokompozītmateriālu izstrādei izmantošanai lauksaimniecībā, celtniecības nozarē un citās jomās, kā arī pārbaudīt iegūto materiālu īpašības attiecībā uz to pielietošanas iespējām.

Promocijas darba uzdevumi:

1. Sapropeļa īpašību izpēte biokompozītmateriālu izstrādei
2. Izstrādāt principus biokompozītmateriālu ražošanai, izmantojot sapropeli
3. Sagatavot jaunus, uz pielietojumu orientētus, sapropeli saturošus biokompozītmateriālus
4. Izstrādāt biokompozītmateriālu īpašību izpētes metodoloģiju un pētīt sapropēja biokompozītmateriālu pielietošanas iespējas.

Hipotēze

Jaunu testēšanas metodoloģiju izstrāde un aprobācija ir būtiska, lai izstrādātu sapropeli saturošus biokompozītmateriālus, īpašu vērību pievēršot to funkcionalitātei un biostabilitātei.

Zinātniskā novitāte

1. Jaunas pieejas izveide ezeru rekultivācijas atkritumu produkta – sapropēja, īpašību izpētei un tā izmantošanas iespēju attīstīšanai dabīgu materiālu ražošanai, un izmantošanas iespēju demonstrēšanai
2. Izstrādāta dizaina koncepcija sapropēja biokompozītmateriālu izveidei
3. Sapropeļa biokompozītmateriālu sagatavošana jaunām, uz tirgu orientētām izmantošanas iespējām būvmateriālu rūpniecībā un projektēšanā, kā arī citās jomās, tādējādi atbalstot vietēju, dabisku resursu izmantošanu
4. Sapropeļa saturošu biokompozītmateriālu analītiskās raksturošanas un testēšanas metodikas izstrāde, lai pierādītu to biostabilitāti, funkcionālās īpašības un pielietošanas potenciālu

Promocijas darba rezultātu aprobācija

Promocijas pētījuma rezultāti ir aprobēti 9 zinātniskās publikācijās, no kurām 8 ir indeksētas SCOPUS un Web of science zinātniskās literatūras datu bāzēs, apspriesti 5 ziņojumos starptautiskās zinātniskās konferencēs, 6 referātos vietēja mēroga konferencēs Latvijā.

Publikācijas

Obuka, V., Sinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S., Ozola-Davidane, R., and Klavins, M. (2021). Microbiological stability of bio-based building materials. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 296–313. (SCOPUS; Web of Science)

Obuka, V., Muter, O., Sinka, M., and Klavins, M. (2019). Biodegradation studies of sapropel-based composite materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/660/1/012073> (SCOPUS; Web of Science)

- Sinka, M., **Obuka, V.**, Bajare, D., and Jakovics, A. (2019). Durability and hygrothermal performance of bio-based materials in Northern European climate. *Academic Journal of Civil Engineering - Proceedings of the 3rd International Conference on Bio-Based Building Materials 2019*, 37(Special Issue), 371–377.
- Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., Irtiseva, K., Shishkin, A., **Obuka, V.**, Celma, S., Ozolins, J., and Klavins, M. (2019). Granulation of fly ash and biochar with organic lake sediments – A way to sustainable utilization of waste from bioenergy production. *Biomass and Bioenergy*, 125(March), 23–33.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.004> (SCOPUS; Web of Science)
- Obuka, V.**, Boroduskis, M., Ramata-Stunda, A., Klavins, L., and Klavins, M. (2018). Sapropel processing approaches towards high added-value products. *Agronomy Research*, 16(Special Issue 1), 1142–1149. <https://doi.org/10.15159/AR.18.119> (SCOPUS)
- Klavins, M., and **Obuka, V.** (2018). Local knowledge and resources as driving forces of sustainable bioeconomy. *World Sustainability Series*, 173–186.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-73028-8_10 (SCOPUS)
- Obuka, V.**, Sinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S., Lazdina, L., and Klavins, M. (2017). Sapropel and lime as binders for development of composite materials. *25th European Biomass Conference and Exhibition, June*, 1285–1291.
<https://doi.org/10.5071/25thEUBCE2017-3BV.3.35> (SCOPUS; Web of Science)
- Obuka, V.**, Veitmans, K., Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., and Klavins, M. (2016). Sapropel as an adhesive: assessment of essential properties. *Forestry and Wood Processing*, 2, 77–83. (SCOPUS; Web of Science)
- Obuka, V.**, Šinka, M., Kļaviņš, M., Stankeviča, K., and Korjakins, A. (2015). Sapropel as a binder: Properties and application possibilities for composite materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 96(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/96/1/012026> (SCOPUS; Web of Science)
- Obuka, V.**, Korjakins, A., Brencis, R., Preikšs, I., Purmalis, O., Stankeviča, K., and Kļaviņš, M. (2014). Sapropēļa kūdras, sapropēļa kokskaidu siltumizolācijas plāksnes un to īpašības. *Material Science and Applied Chemistry*, 29(29), 127.
<https://doi.org/10.7250/msac.2013.029>

Konferences

- Obuka, V.**, Muter, O., Sinka, M., Klavins, M. (2019). “Biodegradation studies of sapropel-based composite materials,” In: IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng, Riga, Latvia.
- Obuka, V.**, Boroduskis, M., Ramata-Stunda A., Klavins, L. and Klavins, M. (2018) .Sapropel processing approaches towards high added-value products. *Agronomy Research 16(S1)*, 1142 - 1149.
- Obuka, V.**, Šinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S., Lazdiņa, L., Kļaviņš, M. (2017). Sapropel and Lime as a Binder for Development of Composite Materials. In: *The European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, Stockholm, Sweden

- Lazdiņa L., **Obuka V.**, Nikolajeva V. (2017). The antimicrobial effect of modified clay materials. *Abstracts of the 75th scientific conference of the University of Latvia*, 49, DOI: 10.22364/eeb.15.07
- Obuka, V.**, Stankeviča, K., Toropovs, N. (2017). Sapropel - peat granulated soil improver. *75th conference of the University of Latvia "Peat and sapropel - synergy between production, science and environment in the context of resource efficiency"*, proceedings. Riga, Latvia.
- Obuka, V.**, Lazdiņa, L., Šinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S. (2017). Sapropel and Lime as a Binder, hemp shives, wood fiber and dust for Development of Composite Materials, microbiological resistance. *75th conference of the University of Latvia "Peat and sapropel - synergy between production, science and environment in the context of resource efficiency"*, proceedings. Riga, Latvia.
- Obuka, V.**, Šinka, M. (2017). Sapropel and Lime as a Binder for Development of Concrete Composite Materials. *75th conference of the University of Latvia "Peat and sapropel - synergy between production, science and environment in the context of resource efficiency"*, proceedings. Riga, Latvia.
- Obuka, V.**, Stankeviča, K., Celma, S., Bērziņš, E. (2017). Sapropel: from research to application. *75th conference of the University of Latvia "Peat and sapropel - synergy between production, science and environment in the context of resource efficiency"*, proceedings. Riga.
- Celma, S., **Obuka, V.**, Irtiševa., K.(2017). Properties of biochar-sapropel granules. *75th conference of the University of Latvia, Geography. Geology. Environmental science. Thesis. Riga, latvia.*
- Obuka, V.**, Veitmans, K., Vincēviča-Gaile, Z., Stankeviča, K., Kļaviņš, M. (2016). Sapropel as an adhesive: assessment of essential properties. *The Annual 22nd International Scientific Conference "Research for Rural Development 2016"*. Jelgava, Latvia.
- Obuka, V.**, Vincēviča – Gaile, Z., Stankeviča, K. (2016). Sapropelis kā līmviela: būtiskāko īpašību novērtējums. Latvijas Universitātes 74. zinātniskā konference Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne. Referātu tēzes. Rīga, Latvia.
- Obuka, V.**, Šinka, M., Kļaviņš, M., Stankeviča, K., Korjakins, A. (2015). Sapropel as a binder: Properties and application possibilities for composite materials, *2nd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies IOP Publishing*. Riga, Latvia
- Stankeviča, K., Vincēviča-Gaile, Z., **Obuka, V.** (2016). Sapropel: Practical significance and prevalence in Latvia. Latvian natural resources exploration: peat, sapropel and their application possibilities. *Chemistry, biology and medical sciences department meeting*. Riga, Latvia, Latvian Academy of Sciences.
- Stankeviča, K., **Obuka, V.**, Rūtiņa, L. un Kļaviņš, M. (2014). Environmental and economic aspects of small freshwater lake sustainable use: lake pilvelis example. *72th conference of the University of Latvia Geography. Geology. Environmental science. Thesis. Riga, Latvia.*

1. Literatūras apskats

1.1. Sapropelis: veidošanās apstākļi un sastāvs

Sapropelis ir daļēji atjaunojams zemes dziļu resurss (Segliņš and Brangulis, 1996), kas ir veidojies dažādos apstākļos. Sapropelis ir sīkgraudainas un irdenas saldūdens ar organiskajām vielām bagātas nogulsnes (Emeis, 2009). Sapropelī ir zems neorganiskās izcelsmes vielu saturs (Stankeviča and Kļaviņš, 2014). Sapropēļa organiskās vielas galvenokārt veido ūdenstīpē mītošo ūdensaugu (fitoplanktons) un ūdensdzīvnieku (zooplanktons un citi) atliekas (Kurzo et al., 2004), kas lielos daudzumos savairojas stāvošās vai vāji caurtekošās, aizaugošās ūdens tilpēs (Lācis, 2003). Sapropēļa sastāvu bez kramaļģēm, zilaļģēm un zaļaļģēm veido arī radiolārijas, foraminīferas, dinoflagelāti, sūkļi, dažādas vēžveidīgo sugas, kā arī baktērijas.

Ir divi sapropēļa iegulu tipi: ezeros (zem ūdens) un sauszemes, kas atrodas purvos zem kūdras slāņa (Kaķītis, 1999). Pamatojoties uz Latvijas ezeru izpētes rezultātiem, ezeros sapropēļa krājumi ir 700 – 800 milj. m³, bet sapropēļa krājumi purvos sasniedz 1,5 milj m³. Kopējie sapropēļa resursi Latvijā ir 2 milj m³ (Segliņš, 2014), tomēr uzkrāto resursu novērtējums būtu jāpārvērtē, ņemot vērā neseno pētījumu rezultātus (Stankeviča, 2020).

Viena no būtiskākajām valga sapropēļa īpašībām ir tā koloidāla struktūra. Tā nosaka sapropēļa organisko koloīdo daļiņu spēju absorbēt lielu daudzumu ūdens, tamdēļ tam ir augsta mitruma ietilpība, kas ir 70 – 97% (Vimba, 1956) un zema filtrācijas spēja (Liužinas et al., 2005). Sapropēļa relatīvais mitrums ir saistīts ar tā organisko sastāvu - jo lielāks organisko vielu daudzums, jo lielāks mitruma saturs (Stankeviča, 2020).

1.2. Sapropēļa izmantošanas iespējas

Sapropelis ir pieejams ievērojamā daudzumā, tāpēc ir svarīgi izpētīt tā pielietošanas iespējas. Sapropeli var uzskatīt par atjaunojamu dabīgas izcelsmes vērtīgu resursu, un, piemēram, ezera rekultivācijas gadījumā, kas ietver nogulumu izņemšanu no ezeriem, to var uzskatīt par blakusproduktu un tādējādi to var tālāk izmantot, kā izejvielu jaunu produktu radīšanai. Sapropelīm tāpat kā kūdrai ir plašas izmantošanas iespējas, kas ir atkarīgas no sapropēļa sastāva, īpašībām un resursa pieejamības. To var izmantot dažādās tautsaimniecības nozarēs, piemēram, lauksaimniecībā, medicīnā, veterinārijā, celtniecības nozarē utt.

No izmantošanas viedokļa par vērtīgāko sapropēļa tipu uzskata organisko sapropeli, tomēr tas nenozīmē, ka šis tips ir universāls un sniedz tikpat labus rezultātus visās sapropēļa izmantošanas jomās (Brakšs et al., 1960; Gružāns, 1960; ШТИН, 2005).

Visplašāk ir pētīta sapropēļa izmantošana lauksaimniecībā. Sapropēļa īpašības ietekmē tā pielietošanas potenciālu lauksaimniecībā: 1) sapropelis sekmē augsnes struktūras uzlabošanu, 2) sapropelis var bagātināt augsni ar organiskām vielām, īpaši ar humusvielām, 3) sapropelis ir barības vielu avots un var nodrošināt lēnu barības vielu izdalīšanos 4) bioloģiski aktīvās vielas sapropelī var veicināt augu augšanu (sapropelis var darboties kā biostimulants). Latvijā sapropēļa izmantošana lauka mēslošanā Latvijas Lauksaimniecības Universitātē tiek pētīta kopš 1954. gada. Kā organisko mēslojumu sapropeli var izmantot gan svaigā veidā, gan kā kompostu vai substrātu. Svarīgi ir uzsvērt, ka svaigi iegūts, neizvēdināts sapropelis satur, alumīnija, cinka, bitumvielas un neoksidētus dzelzs savienojumus, kas pirmajā izmantošanas gadā var kavēt tā pārveidošanos augiem pieejamās barības vielās, kā arī samazināt augsnes mikroorganismu aktivitāti (Kaķītis, 1999). Lai sapropelis būtu ļoti efektīvs pirmajā lietošanas gadā, to jā sajauc ar kūtsmēsliem vai vircu.

Nemot vērā sapropeļa īpašības, ir lielas iespējas attīstīt sapropeļa izmantošanu lopkopībā, lai veicinātu lopkopības efektivitāti, putnu un dzīvnieku barības efektīvu izmantošanu. Arguments attiecībā uz sapropela izmantošanu ir saistīts ar tā biogēno raksturu un acīmredzamo nepieciešamību samazināt sintētisko produktu daudzumu.

Viens no potenciālajiem sapropeļa pielietojuma veidiem lopkopībā, ir tā izmantošana par uztura bagātinātāju, kas paaugstina dzīvnieku svaru, neizmantojot ķīmiskus preparātus. Šim mērķim ir piemērots organiskais sapropelis, kas ir dabisks un drošs mājputniem. Sapropeļi bagātinot ar dabīgiem mikroelementiem un vitamīniem, to var izmantot lopkopībā kā mikroelementu un vitamīnu piedevu.

Bioloģiski aktīvas vielas – enzīmi, vitamīni, antibiotikas, aminoskābes, lipīdi, estrogēni, ogļhidrāti, kā arī humusvielas veicina sapropeļa fizioloģisko nozīmi mājputnu barības piedevās. Humusvielas, kas ir sastopamas sapropelī veicina dzīvnieku zarnu trakta mikrobioloģisko līdzsvaru un funkcionalitāti. Toties sapropelī esošais cinks un varš uzlabo dzīvnieku augšanu, imūnsistēmas funkciju (Mikulionienē and Balezentienē, 2012).

Sapropeļa pielietojuma potenciāls veselības aprūpē ir balstīts uz ilgu balneoloģijas vēsturi, kuras pamatā ir peloīdu vai medicīnisko dūņu izmantošana ārējai lietošanai un vannām, kā arī citi preparāti un materiāli. Peloīdi tiek aprakstīti, kā organisko minerālu kompleksi ar augstu organisko vielu koncentrāciju, ko var izmantot terapeitiskajās procedūrās (Badalov and Krikorova, 2012). Galvenie faktori, kas ietekmē sapropeļa lietošanas efektivitāti balneoloģijā, ir bioloģiski aktīvu vielu, piemēram, hormonu, sterīnu, aminoskābju un vitamīnu klātbūtne (Szajdak and Maryganova, 2007). Sapropeļi ir izmantojami balneoterapijā un kosmetoloģijā (Badalov and Krikorova, 2012), kad iegūts no ezera vai purva un kombinācijā ar fizikāliem faktoriem (sapropeļa mitrums, siltuma noturēšanas spēja), psiholoģiskajiem aspektiem (relaksējoša atmosfēra), tā pielietojšana pārliecinoši parāda biostimulējošu iedarbību, aktivizē vielmaiņu un imūnsistēmu (Anderson, 1996). Sapropeļa pielietojums vairākos pētījumos ir parādījis augstu efektivitāti kaulu un muskuļu slimību, locītavu un mugurkaula slimību, miozīta, čūlu ārstēšanā, kā arī pozitīvu ietekmi uz nervu sistēmas traucējumiem. (Bellometti et al., 1996, 2000). Svarīga ir sapropeļa spēja mazināt iekaisuma procesus, kā arī ādas slimības, īpaši hronisku ekzēmu un vairākas dermatīta formas (Carabelli et al., 1998).

Minerālvielas un organiskie savienojumi sapropeļa sastāvā nosaka tā efektivitāti dažādu slimību ārstēšanā, piemēram, perifērās un nervu sistēmas, balsta un kustību sistēmas slimības, kuņģa un zarnu trakta slimības. Metaboliskās aktivitātes pētījumos sapropelī tika noskaidrots, ka sapropeļa ārstnieciskās īpašības nosaka tā organiskās vielas, tai skaitā arī humusvielas (Курзо, 2005). Sapropeļi var tikt pielietoti mastīta, hroniska gastrīta, čūlu, divpadsmit pirkstu zarnas, furunkulu, ādas (apdegumus, dermatītu, ekzēmas) slimībām, kā arī hepatobiliāro sistēmu slimību ārstēšanā (Штин, 2005).

Viens no sapropeļa pielietojuma veidiem ir tā izmantošana briķešu un granulu ražošanā dzīvojamu un mājāsaimniecības ēku apsildīšanai (Kozlovska-Kędziora and Petraitis, 2011; J Kozlovska and Petraitis, 2012; Курзо, 2005; Штин, 2005). Sapropeļa briķešu izmantošana ietaupa citus enerģijas resursus, jo sapropela briķešu dedzināšanas process ir ilgāks nekā parastajām briķetēm (Kozlovska-Kędziora and Petraitis, 2011; Justyna Kozlovska, 2012). Šo briķešu ražošanā sapropeli var sajaukt ar salmiem, zāģu skaidām vai kūdru (Штин, 2005). Pētījumi parādīja, ka piesārņojuma koncentrācija sapropeļa briķešu dedzināšanas procesā nepārsniedz normatīvās robežas. Šāda veida briķetes var samazināt piesārņojumu un nodrošināt vienmērīgu enerģijas avota izmantošanu (Justyna Kozlovska, 2012). Izmantojot zāģu skaidu-sapropeļa briķetes, tiek samazināta CO₂ emisija un uzlabota sadegšana (Штин, 2005).

Ir veikti daudzi pētījumi par sapropeļa izmantošanu ķīmiskajā rūpniecībā. Resursa pieejamības, salīdzinoši zemās pašizmaksas, ķīmiskā sastāva, ekoloģiskā drošuma dēļ sapropelis ir piemērojama izejviela urbšanas šķīdumu veidošanai, kas samazina berzi un ir vajadzīgi ģeoloģiskās izpētes dziļurbumu darbiem (Штин, 2005). Sapropeļi satur

augstmolekulārās vielas: dabiskus biopolimērus, celulozi, humusvielas, ogļhidrātus, lignīnu, bitumus un hemicelulozi, tā šķīduma inhibitora aktivitātes īpašības uz metāliskas virsmas koroziju un reoloģiskās īpašības, nosaka sapropeļa šķīdumu izmantošanu urbšanas iekārtu sistēmās, papildus tās ir labākas par SiO₂, aerosolu un diatomītu dispersijām (Курзо, 2005; Штин, 2005).

1.3. Sapropeļa izmantošana biokompozītmateriālu veidošanā

Šobrīd ir pieaugoša uzmanība kompozītmateriālu, īpaši biokompozītmateriālu izstrādei. Biokompozītmateriāli ir kompozītmateriāli, ko veido bioloģiskas izcelsmes matrica (sveķi, līme utt.) un šķiedru materiāla armatūra. Rūpes par vidi un sintētisko šķiedru izmaksas ir radījušas pamatu dabisko šķiedru izmantošanai kompozītos, kur matricas fāzi veido atjaunojamie vai neatjaunojamie resursi. Kompozītmateriāliem atrod jaunus un aizraujošus pielietojumus dažādās jomās, bet dominējošā ir būvniecība un celtniecības materiālu rūpniecība.

Ir pētīta sapropeļa izmantošana būvniecības nozarē būvmateriālu ražošanai. Ir pētījumi par sapropela betona tehniskajiem testiem (Brakšs et al., 1960; Gružāns, 1960), sapropeļa – kaņepju šķiedru un spaļu (Pleikšnis et al., 2016; Pleikšnis and Dovgiallo, 2015) and sapropeļa - kokskaidu (Obuka et al., 2014) kompozītmateriāliem. Vienu no jaunākajiem pētījumiem veica G. Balčiūnas, kurš pētīja sapropeļa-kaņepju-papīra ražošanas atkritumu kompozītmateriālu īpašības (Balčiūnas et al., 2016). Šajos pētījumos secināja, ka sapropeļa izmantošana par saistvielu ar dažādiem pildmateriāliem, nodrošina izveidotajiem kompozītmateriāliem augstu tehnisko kvalitāti, un tos var iekļaut gatavo produktu siltumizolācijas materiālu kategorijā. No literatūras datiem izriet, ka sapropeli var izmantot kā saistvielas piedevu dažādiem koksnis pārstrādes blakusproduktiem, papīra un kartona rūpniecības ražošanas neizmantotajiem atkritumiem, linu pārstrādes blakusproduktiem (Курзо, 2005), mazaizsūtītās kūdras un līdzīgām izejvielām (Gružāns, 1958, 1960). Sapropeļi ir labs aizstājējs uz olbaltumvielām bāzētām līmēm, piemēram, albumīnam, un olbaltumvielu aizstāšanas iespējas būtu ievērojams sapropeļa izmantošanas pielietojums.

Saistvielas ražošanai no sapropeļa var tikt izmantots sapropelis ar organisko vielu saturu vairāk par 85% un slāpekli vairāk par 3,3% (Курзо, 2005). Sapropeļa saistvielaslīmējošās īpašības izmantojamas, ražojot būvniecības materiālus, ar aukstiem paņēmienu – bļietēšanu, ar karstiem paņēmienu – līmspiedē paaugstinātā spiedienā un temperatūrā (Brakšs and Miļins, 1960).

Viena no sapropeļa īpašībām ir tā spēja saistīt lielu daudzumu ūdens. Ražojot celtniecības materiālus, ir svarīgi panākt, lai kompozītmateriālam ir pēc iespējas mazāks rukums. Lai samazinātu materiāla rukumu, sapropeļbetona izgudrotāji un pētnieki iesaka izmantot sapropeli ar mitrumu līdz 60% un pildvielas ar mitrumu zem 20%. Viens no svarīgākajiem uzdevumiem būvmateriālu ražošanā nākotnē ir samazināt enerģijas patēriņu visos to dzīves ciklos, sākot no būvniecības līdz dzīves cikla beigām (Asdrubali et al., 2015).

2. Materiāli un metodes

2.1. Pētījumā izmantotie sapropeļa paraugi

Promocijas darbā tika izmantots ar organiskajām vielām bagāts sapropelis. Sapropeļa nogulumu tika ņemti no četriem Latvijas ezeriem – Padēlis, Pilvelis, Vēveru - Rēzeknes novadā, Latgalē. Piksteres ezers - Jēkabpils, Sēlijā.

2.2. Sapropeļa paraugu raksturošanas metodes

Karsēšanas zudumu noteikšana. Lai noteiktu mitrumu, karbonātu un organisko vielu saturu sapropelī, tika izmantota karsēšanas zudumu noteikšanas metode (LOI) (Heiri et al., 1993).

Bioloģiskais sastāvs. Sapropeļa paraugu bioloģisko sastāvu noteica ar gaismas mikroskopu, saskaitot un izsakot organisko vielu saturu procentos visās identificētajās organisko atlieku grupās. Izmantojot sapropeļa tipa klasifikāciju, tika identificēts sapropeļa tips, klase un izvērtētas izmantošanas iespējas (Stankeviča and Kļaviņš, 2014).

2.3. Biokompozītmateriālu izstrādei izmantotie materiāli un to raksturojums

Kaņepju šķiedras un spaļi, bērza koksnes slīpputekļi and koksnes šķiedra tika izmantota, kā pildvielas biokompozītmateriālu sagatavošanā. Biokompozītmateriālu izstrādē, kā pildviela – sabiezēšanas piedeva, tika izmantots koloidāls silīcija dioksīda produkts “Aerosil”. Plašāks izmantoto materiālu apraksts atrodams rakstos (Obuka et al., 2015; Obuka et al., 2017, 2021).

Gabalkūdra (SIA "Laflora") tika izmantota biokompozītmateriālu biodegradācijas testiem, kā kontroles materiāls. Plašāks izmantoto materiālu apraksts atrodams (Obuka et al., 2019).

Bērza lobītais finieris tika izmantots, lai izveidotu saplāksni. Lai noteiktu pielietojamības grupu sapropelī kā līmei, tika izmantots dižskābarža finieris. Gabalkūdras paraugi arī tika izmantoti testiem. Plašāks izmantoto materiālu apraksts atrodams rakstā - (Obuka et al., 2016)

Lai izveidotu sapropeļa – kūdras kokskaidu siltumizolācijas plāksnes tika izmantota – Baložu kūdras ieguves kūdra, kā arī Pilveļu ezera sapropelis. Plašāks izmantoto materiālu apraksts atrodams (Obuka et al., 2014)

Papildus sapropelī tika izmantotas arī komerciāli pieejamas saistvielas: magnija oksihlorīda cements (MOC), hidrauliskais kaļķis (HL), formulētais hidrauliskais kaļķis (FHL), magnija fosfāta cements (MPC). Plašāks izmantoto materiālu apraksts atrodams (Obuka et al., 2017, 2021)

2.4. Kompozītmateriālu sagatavošana

Kompozītmateriālu izstrādei mikrobioloģiskās stabilitātes testiem, kā saistvielu izmantoja neapstrādātu sapropeli. Biokompozītmateriāli tika izgatavoti arī izmantojot neorganiskas saistvielas, piemēram, kaļķi. Papildus informāciju par kompozītmateriālu sagatavošanu pieejama (Obuka et al., 2017).

Kompozītmateriāla sagatavošanai, kur sapropeli testēja kā līmi, sapropeļa paraugi tika pilnībā sajaukti tieši pirms trīs slāņu saplākšņa sagatavošanas ar izmēriem 4×250×250 mm.

Papildus informāciju par kompozītmateriālu sagatavošanu var atrast rakstā (Obuka et al., 2016).

Lai izveidotu sapropeļa – kūdras kokskaidu siltumizolācijas plāksnes, aktivētās kūdras masa ar saistvielas īpašībām tika iegūta kūdras apstrādājot mehāniski – termisko ložu planetārajās dzirnavās RETSCH PM 400. Papildus informāciju par kompozītmateriālu sagatavošanu var atrast rakstā (Obuka et al., 2014)

2.5. Biokompozītu materiālu testēšanas metodes

Biokompozītmateriāliem (bērza koksnes – sapropeļa (SWD), koksnes šķiedras – sapropeļa (SWF)) 4% sausnas masas koncentrācijā tika pievienots SIA ALINA produkts ALINA LIFE™ organomāli. Iegūto biokompozītmateriālu novecināšana klimata kamerā tika veikta, pakļaujot paraugus 30 sasalšanas un atkausēšanas cikliem. Papildus informācija par mikrobioloģiskās stabilitātes testiem var atrast rakstā (Obuka et al., 2017).

Siltumvadītspēja tika mērīta, izmantojot LaserComp FOX 600 siltuma plūsmas mērītāju (Obuka et al., 2015). Spiedes un lieces izturības pārbaudei paraugi tika īpaši sagatavoti (zāģēti nepieciešamajos izmēros). Papildus informācija par šo metodi ir atrodama rakstā (Obuka et al., 2015).

Kompozītmateriālu mehāniskās izturības testi (stiprības noteikšana statiskā liecē un līmējuma stiprības pārbaude, pielietojamības grupas noteikšana, stiprības noteikšana stiepē), kur sapropelis tika pārbaudīts kā līmviela, papildus informācija par metodi ir atrodama rakstā (Obuka et al., 2016).

Materiāliem tika veikta arī skaņas izolācijas pārbaude. Papildus informācija par šo metodi ir atrodama rakstā (Obuka et al., 2014).

Lai raksturotu kompozītmateriālu degšanas raksturlielumus, tika veiktas degšanas testi (Obuka et al., 2014).

Lai salīdzinātu izveidoto biokompozītmateriālu biodegradāciju, tika izstrādāta eksperimenta shēma (Obuka et al., 2019). Mikroorganismu ar substrātu inducētās elpošanas intensitāte tika pārbaudīta izmantojot zināmas metodes (Rowell, 2014; Zibilske, 1994; Гавиленко et al., 1975) un tās pielāgojot (Obuka et al., 2019).

Šajā pētījumā izmantotais elpošanas tests tika attiecināts uz substrāta izraisītu elpošanu (SIR), jo kopā ar paraugu augsnei tika pievienoti oglekļa avoti. Tomēr SIR mērīšanas standarta principi (piemēram, inkubācija 4 stundas) netika ņemti vērā šī pētījuma īpašo uzdevumu dēļ. Bioloģiskās noārdīšanās procesa stimulēšanai tika veikta bioaugmentācija un 7 dienu inkubācija.

Pēc 7 dienu inkubācijas perioda tika veikta fluoresceīna diacetāta (FDA) hidrolīzes aktivitātes noteikšana (Obuka et al., 2019).

Kopā, lai pārbaudītu mikrobioloģisko stabilitāti tika veikti 3 eksperimenti. Tika veikts sapropela biokompozītmateriālu, LHC un MHC kompozītmateriālu mikrobioloģiskās stabilitātes salīdzinājums, mākslīgi inokulējot sēņu suspensijas *Alternaria alternata* un *Cladosporium herbarum* uz materiāliem. Papildus informācija par metodi ir rakstā - (Obuka et al., 2017).

Tika veikti divi eksperimenti, lai noteiktu mikrobioloģisko stabilitāti otrajā testa daļā. Abos eksperimenta posmos materiāla paraugi tika mākslīgi inokulēti ar sešu sēņu suspensiju:

1. *Aspergillus versicolor* MSCL 1346;
2. *Penicillium chrysogenum* MSCL 281;
3. *Alternaria alternata* MSCL 280;
4. *Cladosporium herbarum* MSCL 258;
5. *Chaetomium* sp. MSCL 851;

6. *Trichoderma asperellum* MSCL 309.

Papildu informācija par metodi ir rakstā (Obuka et al., 2021).

Eksperimenta pirmajā posmā analizētos materiāla paraugus inkubēja divos mitruma režimos - RH 75% un 99% , 20 °C (Obuka et al., 2021). Eksperimenta otrajā posmā paraugi tika turēti tikai pie relatīvā mitruma 99% un temperatūras 20±2 °C (Obuka et al., 2021).

Pirmajā eksperimenta posmā otrajā mikrobioloģiskās stabilitātes testā tika izmantota ACTICIDE FD biocīds. Eksperimenta otrajā posmā biocīds BACTERICIDE. Abos eksperimentos mikrobioloģiskās aizsardzības nolūkiem tika izmantots SIA ALINA produkts ALINA LIFE™ organomālu pārklājums (Obuka et al., 2021).

Sapropēja, sapropēja - kūdras granulas izmantošanai lauksaimniecībā tika testētas. Pētījumā tika veiktas testēšanas granulu fizikālo-mehānisko īpašību noteikšanai 3 veidu granulām (sapropelis, kūdrains sapropelis, sapropēja-kūdras granulas). Tika noteikts bēruma blīvums, izmantojot standartu LVS EN 1097-3 (Anonymous, 1999), ūdensuzsūce izmantojot standartu LVS EN 1097-6 (Anonymous, 2013), mehāniskā izturība, izmantojot standartu EN 1606 (Anonymous, 2007), vides skābuma reakcija un elektrovadītspēja.

Lai sagatavotu bioogles-sapropēja granulas lauksaimniecības vajadzībām, kā pildviela tika izmantota bioogle. Tika izmantotas divu veidu bioogles: bioogle (B), lapkoku bioogle (LB.). Granulu kompozītmateriāli tika izveidoti, manuāli sajaucot mitru sapropeli un bioogli, līdz tika sasniegta viendabīga konsistence. Lai noteiktu labāko variantu, tika izmantotas dažādas bioogļu un sapropēja proporcijas (1:3, 1:4, 1:6, 1:8 un 1:10). Masu tālāk sadalīja divos paraugos, un katra daļa tika ievietota sagatavotās metāla formās. Vienu paraugu žāvēja gaissausā vidē (relatīvais gaisa mitrums 14-20%), bet otru žāvēja krāsni 80 ° C temperatūrā. Gaissausā vidē žāvēts paraugs tika svērts katru stundu pirmās 3 stundas un vēlreiz pēc 24 stundu izveides brīža. Krāsni žāvētu paraugu svēra ik pēc 15 minūtēm. Bioogles- sapropēja granulu granulēšana, īpatnējās virsmas laukums, ūdensuzsūce un mehāniskās izturības testi ir aprakstīti rakstā (Vincevica-Gaile et al., 2019).

3. Rezultāti un diskusija

3.1. Sapropēja īpašības

Sapropēja nogulumi tika ņemti no četriem Latvijas ezeriem – Padēlis, Pilveļu, Vēveru - Rēzeknes novadā, Latgalē. Piksteres ezers - Jēkabpils, Sēlijā.

Šo ezeru sapropelis ir pētīts iepriekš, un to var uzskatīt par biokompozītmateriālu izstrādāšanā perspektīvu. Sapropēja paraugu raksturojums ir uzskaitīts 3.1. tabulā.

3.1. tabula Sapropēja paraugu raksturojums

Ezers	Mitrums, %	Organiskās vielas, %	Karbonāti, %	Blīvums, g/cm ³
Padēlis	85,97	15,27	35,57	1,24
Pilveļu	94,99	84,51	1,26	1,10
Vēveru	97,66	86,25	1,18	1,08
Piksteres	96,45	82,67	17,33	1,028

Izmantotie sapropēja paraugi atspoguļo sapropēja tipus, kurus var izmantot kā saistvielu materiālos.

3.2. Sapropēja biokompozītmateriālu izstrāde

Kā potenciālu pildvielu sapropēja bāzes biokompozītmateriālu veidošanā var uzskatīt dabiskas šķiedas un vispirms - kaņepi. Lai izpētītu iespējas kaņepju šķiedru un spaļu izmantošanai kompozītmateriālu iegūšanai, tika izmantotas arī komerciāli pieejamu saistvielu piedevas: magnija oksihlorīda cements, hidrauliskais kaļķis, formulētais hidrauliskais kaļķis. Iegūtās kompozīcijas salīdzināja savā starpā un ar literatūrā pieejamajiem datiem. Kaņepju šķiedras un spaļi, koksnes šķiedra un bērza koksnes slīpputekļi ir izmantoti, kā pildvielas biokompozītmateriālu izstrādē. Šie pildvielas ir lauksaimniecības un kokapstrādes rūpniecības blakusprodukti, kuriem jārod atkārtota izmantošana.

Pētījuma mērķis bija noskaidrot biokompozītmateriālu izveides un izmantošanas potenciālu, izmantojot sapropeli un kaļķi kā saistvielu un kaņepju spaļus un šķiedru, koksnes šķiedru un bērza koksnes slīpputekļus kā pildvielu, un noteikt to optimālās īpašības. Blīvums, siltumvadītspēja, un mehāniskā izturība tika noteikta izveidotajiem paraugiem. Iegūto kompozītmateriālu spiedes stiprība testos ir parādīta 3.2. tabulā un tā parāda, ka iegūtos materiālus var izmantot kā siltumizolācijas materiālus, jo to stiprība atbilst normatīvajā regulējumā pastāvošām prasībām.

3.2. tabula. Kompozītmateriālu raksturojums

Apzīmējums	Sastāvs	Īpašības	
Sapropēja-kaļķa-kaņepju kompozīts SLHC 1-2	Sapropelis Kaļķis Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela)	1:2.5:2.5
		Blīvums kg/m ³	306,88;296,31
		Siltumvadītspēja, W/m·K	-
		Mehāniskā izturība, MPa	0,25
Sapropēja-kaļķa-kaņepju kompozīts SLHC 3-4	Sapropelis Kaļķis Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela)	1:5:5
		Blīvums kg/m ³	533,58;540,59
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,089
		Mehāniskā izturība, MPa	0,77

Kaļķa-kaņepju kompozīts LHC 1-2	Kaļķis Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela)	1:2.5:2.5
		Blīvums kg/m ³	294,09;302,40
		Siltumvadītspēja, W/m·K	-
		Mehāniskā izturība, MPa	0,29
Kaļķa-kaņepju kompozīts LHC 3-4	Kaļķis Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela)	1:5:5
		Blīvums kg/m ³	498,32;562,93
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,099
		Mehāniskā izturība, MPa	0,90
Kaļķa-kaņepju kompozīts LHC	Kaļķis Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela)	1:5:5
		Blīvums kg/m ³	408,10
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,086
		Mehāniskā izturība, MPa	0,61
Sapropeļa-koksnes šķiedras kompozīts SWF	Sapropeļis Koksnes šķiedra	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela)	1:6
		Blīvums kg/m ³	319
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,19
		Mehāniskā izturība, MPa	0,060
Sapropeļa-bērza koksnes slīputekļu kompozīts SWD	Sapropeļis Koksnes bērza slīpputekļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela)	1:6
		Blīvums kg/m ³	470
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,061
		Mehāniskā izturība, MPa	0,67
Magnija-kaņepju kompozīts MHC 1	Magnija oksīds Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela:saistviela)	1:1.25:0.9:1.33
		Blīvums kg/m ³	302,3
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,076
		Mehāniskā izturība, MPa	0,25
Magnija-kaņepju kompozīts MHC 2	Magnija oksīds Kaņepju šķiedra un spaļi	Izejvielu attiecība (pildviela:saistviela:saistviela:saistviela)	1:1.25:2:0.6
		Blīvums kg/m ³	504,4
		Siltumvadītspēja, W/m·K	0,111
		Mehāniskā izturība, MPa	1,12

Iegūtie rezultāti rāda, ka kaļķu un kaņepju kompozītmateriāla (blīvums 408,10 kg / m³) siltumvadītspēja ir vidēji zema - 0,086 W/m·K. Līdzīgas vērtības tika iegūtas sapropeļa-kaļķa-kaņepju biokompozītmateriālam - 0,089 W/m·K. Iegūtie rezultāti ir apmierinoši, līdzīgi tiem materiāliem, kuros pasaulē praktiski izmanto kaņepju šķiedras un spaļus, un ar pašreizējo regulējumu sienai, kas izolēta ar šādiem materiāliem, jābūt aptuveni 400 mm biezai, lai sasniegtu normatīvās vērtības (Sinka et al., 2014).

Pētījumā par sapropeļa – kūdras kokskaidu siltumizolācijas plāksnēm (Obuka et al., 2013), tika noteikta materiālu mehāniskā izturība. Atkarībā no mitruma daudzuma mainās plātnes spiedes pretestība. Sapropeļa-kokskaidu plātnes izturība ir 0,06 MPa, bet kūdras - kokskaidu - 0.13 MPa. Turpretī lieces pretestība parāda, ka sapropeļa – kokskaidu plātnei izturība ir 0,02 MPa, bet kūdras-kokskaidu plātnei – 0,3 MPa. Šie spiedes pretestības rezultāti norāda uz to, ka kompozītmateriālu stiprība ir pietiekama, lai ar tiem veiktu montāžas darbus, kā arī līmējošus savienojumus. Papildus informācija par iegūtajiem rezultātiem ir atrodamā publikācijā (Obuka et al., 2014).

Iegūtie rezultāti rāda, ka kompozītmateriāliem ar bērza koksnes slīpputekļiem, kā pildvielu un zaļāļģu sapropeli, kā saistvielu ir augstākas kompresijas deformācijas vērtības

perpendikulāri un paralēli parauga veidošanās virzienam. Perpendikulāro deformāciju spiedes rezultāti ir diapazonā no 0,67 līdz 0,76 MPa. Lineāro deformāciju rezultāts ir attiecīgi 0,72 un 0,67 MPa. Rezultāti, kas iegūti no mehāniskās izturības testiem, parāda, ka materiāli ir pietiekami izturīgi, lai tos varētu izmantot montāžas darbos un veidotu līmējošos savienojumus. Papildu informācija par testa rezultātiem ir atrodama rakstā (Obuka et al., 2015).

3.3. Kompozītmateriālu siltumvadītspējas pārbaude

Pētījumā par sapropeli kā saistvielu biokompozītmateriāliem tika veikts siltumvadītspējas tests, izmantojot dažādus sapropeļus un pildvielas (Obuka et al., 2015). Trīs sapropeļa veidi tika izmantoti: Vēveru ezera (zaļāļģu) un Pilveļu ezera (zilaļģu) un sapropelis no Padēja ezera (karbonātiskais). Kaņepju spaļi un šķiedra, koksnes šķiedra, bērza koksnes slīpputekļi tika izmantoti kā pildvielas. Izstrādātajiem kompozītmateriāliem kā saistvielu izmantoja neapstrādātu sapropeli. Iegūtie rezultāti ir apskatāmi 3.3. tabulā.

Attiecīgi siltumvadītspējas labākie rādītāji ir biokompozītmateriālam, kas ir iegūts izmantojot koksnes šķiedras un Vēveru ezera zaļāļģu sapropeli kā saistvielu. Rezultāti norāda ka šie biokompozītmateriāli ir ar līdzīgiem rādītājiem un ar līdzīgām izmantošanas iespējām un potenciālu. Izveidotajiem biokompozītmateriāliem ir zema siltumvadītspēja to jauktās, porainās struktūras dēļ, un tiem ir viendabīga šķiedru struktūra ar savstarpēji savienotām un atvērtām porām. Izejvielu organiskās izcelsmes dēļ sapropeļa saistvielas un kaņepju spaļu un šķiedru biokompozītmateriālam ir neviendabīga struktūra. Granulometriski atšķirīgām daļiņām sakārtojoties, rodas tukšumi un nevienmērīga struktūra, ar ieslēgumiem, paraugam ātrāk deformējoties. Papildus informācija par testa rezultātiem ir atrodama rakstā (Obuka et al., 2015).

3.3. tabula. Kompozītmateriālu siltumvadītspējas rezultāti

Materiāls: saistviela-pildviela	Blīvums, kg/m ³	Siltumvadītspēja, W/m·K
Karbonātiskais uz zaļāļģu sapropelis – kaņepju spaļi un šķiedras	191	0,063
Karbonātiskais uz zilaļģu sapropelis – kaņepju spaļi un šķiedras	200	0,059
Koksnes šķiedra – zaļāļģu sapropelis	153	0,055
Koksnes šķiedra – zaļāļģu sapropelis	202	0,060
Zilaļģu sapropelis – koksnes bērza slīpputekļi	214	0,061
Zilaļģu sapropelis – koksnes bērza slīpputekļi – Aerosils	376	0,080

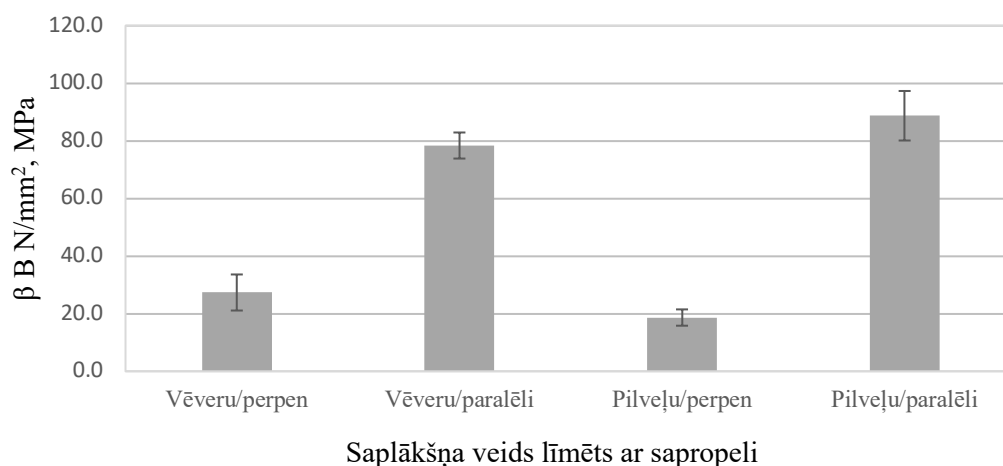
Pētījumā par sapropeļa – kūdras kokskaidu siltumizolācijas plāksnēm (Obuka et al., 2014) siltumvadītspējas rezultāti sasniedza 0,067 un 0,060 W/m·K. Pētījumā tika ņemts vērā sasaldēšanas ciklu skaits un testēto materiālu mitrums. Kūdras– kokskaidu plātnei veicot saldēšanas ciklu ietekmes izpēti, tās siltumvadītspēja nedaudz palielinās, taču sapropeļa–kokskaidu plātnes siltumvadītspējas koeficients samazinās, kas ir labāk. Salīdzinot iegūtos rezultātus, kur biokompozītmateriāla mitruma saturs ir no sausgaisa līdz mitrumam piesātinātam materiālam (12%), siltumvadītspējas koeficients sapropeļa-kokskaidu plātnei ir 0,050-0,060 W/m·K un kūdras - kokskaidu plātnei attiecīgi 0,055-0,064 W/m·K.

3.3. Kompozītmateriālu spiedes un lieces izturības testi

Šajā pētījumā tika izstrādāti kompozītmateriāli, sapropeli izmantojot kā līmvielu. Tika izmantoti divu veidu sapropēja paraugi – zaļāļģu sapropelis, kas iegūts Vēveru ezerā un zilaļģu sapropelis, kas iegūts Pilveļu ezerā. Sapropelim tika noteikti tādi raksturlielumi kā sausas saturs, mitruma saturs un blīvums. Līmes tika pārbaudītas, līmējot saplāksni un pārbaudot kompozītmateriālus mehāniski: stiprības noteikšana statiskā liecē un līmējuma stiprības pārbaude izmantojot (Anonymous, 2000b) un (Anonymous, 2005) standartu, pielietojamības grupas (D1 – D4) noteikšana sapropelim kā līmvielai izmantojot standartu (Anonymous, 2001a) un izmantojot (Anonymous, 2002) standartu, gabalkūdras salīmēšana ar sapropeli un stiprības noteikšana stiepē perpendikulāri plātnes plaknei noteikšana izmantojot (Anonymous, 2000a) standartmetodi.

No rezultātiem izriet, ka robežstiprības liecē mehāniskajām pārbaudēm sapropēja līmvielai (Anonymous, 2001b), augstāko rezultātu uzrāda Pilveļu ezera sapropelis paralēli liecē - 88,7 MPa. Zemāko rezultātu rāda tāda paša veida sapropelis, kas ir testēts tikai perpendikulāri liecei (3.2. attēls). Papildus nosakot pielietojamības grupas (D1 – D4) noteikšana sapropelim kā līmei, rezultāti rāda, ka Pilveļu sapropelis – dižskābardis paraugi sasniedz 3,67 MPa. Papildus tests saskaņā ar standartu (Anonymous, 2000a) tika taisīts gabalkūdrai un sapropelim kā līmvielai, lai noteiktu stiprības noteikšanu stiepē perpendikulāri plātnes plaknei, rezultāti rāda, ka līmēto paraugu gabalkūdra– Pilveļu sapropelis, lieces mehāniskā izturība sasniedz – 0,077 MPa, gabalkūdra – Vēveru sapropelis sasniedz 0,067 MPa.

Pētījuma rezultāti norāda uz to, ka videi draudzīga līmviela, iegūta no sapropēja, kompozītmateriālu izstrādē ir izmantojama kā dabiska saistviela, kurai piemīt augsta spēja salīmēt un noturēt veidojuma formu.



3.2. attēls. Lieces mehāniskā izturība paralēli un perpendikulāri šķiedru virzienam

Pētījuma virziens ir perspektīvs un tas ir jāturpina, radot jaunus risinājumus sapropēja līmvielas īpašību uzlabošanai, tās efektivitātes celšanai.

3.5. Skaņas izolācijas īpašības

Pētījumā par sapropeli un kūdru, kā saistvielu un kokskaidām kā pildvielu (Obuka et al., 2014), ir noteikts, ka viena no nozīmīgām jebkura būvmateriāla īpašībām ir to spēja izolēt skaņu Tādējādi promocijas darba ietvaros tika veikts izstrādāto materiālu skaņas izolācijas īpašību pētījums (3.4. tabula).

3.4. tabula. Skaņas izolācijas testu rezultāti, izmantojot 4 mikrofonu metodi

Testētā plātne	Skaņas izolācijas, dB
Kūdra - kokskaidas	30
Kūdra - kokskaidas	32
Sapropelis - kokskaidas	32
Sapropelis - kokskaidas	31

Iegūtajiem biokompozītmateriāliem ir smalki poraina struktūra ar viendabīgu šķiedru struktūru ar atvērtām un savstarpēji savienotām porām. Iegūtie skaņas izolācijas rezultāti liecina par to, ka biokompozītmateriāli ir ar ļoti labām izolācijas īpašībām. Salīdzinot ar citiem ekoloģiskajiem siltumizolācijas materiāliem, piemēram, linu šķiedru siltumizolācijas materiālu, rezultāti ir sliktāki, un tie atšķiras par 14 dB. Linu šķiedru materiālam skaņas absorbcijas rezultāts pēc literatūras datiem ir 45 dB, bet linu – vilnas siltumizolācijas materiāls nodrošina 40 dB skaņas absorbciju (Kozłowski et al., 2008). Ņemot vērā skaņas izolācijas īpašības, var secināt, ka labāku skaņas izolācijas līmeni var sasniegt, izmantojot smagākus materiālus.

3.6. Pašaiždegšanās tests

Pētījumā par sapropeli un kūdru, kā saistvielu un kokskaidām kā pildvielu (Obuka et al., 2014) tika veikts izstrādāto materiālu pašaiždegšanas riska novērtējums. Uz degšanas pārbaudes iegūto datu pamata ir iespējams secināt to, ka kūdras kokskaidu plātnes pašaiždegšanās temperatūra ir augstāka, nekā sapropeļu–kokskaidu plātnes pašaiždegšanās temperatūra. Lai uzlabotu materiālu lietojamību, tie jāapstrādā ar dažādiem līdzekļiem, kas uzlabo ugunsdrošību un bioloģisko izturību, jo tas uzlabo kompozītmateriālu izturību, izmantošanas iespējas, dzīves ciklu.

3.7. Biodegradācijas testi

Biodegradācijas eksperimentus veica, testējamajiem biokompozītmateriāliem pievienojot augsni, barības vielas un mikroorganismu konsorciju ar celulolītisko aktivitāti, (Muter, 2015) lai nodrošinātu labvēlīgus apstākļus noārdīšanās procesiem.

Trīs sapropeļa veidi tika izmantoti: Vēveru ezera (zaļāļģu-GAS) un Pilveļu ezera (zilaļģu-CBS) un sapropelis no Padēļa ezera (karbonātiskais-CS).

Biodegradācijas testā tika izmantoti biokompozītmateriālu pildvielas – koksnes šķiedra, bērza koksnes slīpputekļi, kaņepju šķiedras un spaļi. Šiem materiāliem tika izmantotas minerālās saistvielas, kas izstrādātas iepriekšējos pētījumos - dolomītmilti kas sastāv no 100% DL60 kaļķa (Dolomīts) un hidrauliskais kaļķis, kas sastāv no 60% DL60 kaļķa un 40% kalcinēta kaolīna māla (Māls) (Sinka and Sahmenko, 2015). Saistvielas un pildvielas masas attiecība bija 2:1. Gabalkūdra ("Laflora") tika izmantota arī kompozītmateriālu biodegradācijas pētījumos kā kontroles materiāls (Obuka et al., 2019).

3.7.1. Mikroorganismu elpošanas intensitāte

Biodegradācijas procesu vēroja sākumā un pēc 7 dienām pie 37°C. Tika novērots elpošanas intensitātes pieaugums kompozītmateriālos. Paraugi inkubācijas sākumā uzrādīja statistiski nozīmīgu atšķirību ($p < 0,05$) un elpošanas intensitāte svārstījās diapazonā no 31% līdz 70%, salīdzinot ar kontroli (augšni un kūdru). Papildinformāciju par šī pētījuma rezultātiem var atrast (Obuka et al., 2019).

Rezultāti rāda, ka dažādos apjomos visi pētītie biokompozītmateriāli ir bioloģiski noārdāmi, nodrošinot degradācijas procesam piemērotus apstākļus. Tas parāda, ka izmantotie materiāli ir bioloģiski noārdāmi dažādā laika posmā. Ir secināms, ka tas galvenokārt ir atkarīgs no izmantotās pildvielas. Koksnes bērza slīpputekļiem ir viszemākā bioloģiskā noārdīšanās spēja, jo tiem uzrādās vismazākā elpošanas intensitāte pēc 7 dienām, savukārt koksnes šķiedrām un kaņepju spaļiem un šķiedrām ir augstāka bioloģiskā noārdīšanās spēja pēc 7 dienu inkubācijas. Rezultāti rāda, ka dažādos apjomos visi pētītie biokompozītmateriāli ir bioloģiski noārdāmi un tos var izmantot, lai samazinātu būvmateriālu kopējo ietekmi uz vidi pēc to dzīves cikla beigām.

3.7.2. Fluoresceīna diacetāta (FDA) hidrolīzes aktivitātes noteikšana

Viens no pārbaudīto materiālu bioloģiskās noārdīšanās novērtēšanas kritērijiem ir mikroorganismu enzīmu aktivitātes palielināšanās, kas reaģē uz biopieejamo barības vielu klātbūtni. Kā zināms, mikroorganismu dažādas enzīmu grupas, t.i., hidrolāzes, proteāzes, esterāzes lipāzes u.c., piedalās FDA hidrolīzē. (Green et al., 2006). Papildinformāciju par šī pētījuma rezultātiem var atrast (Obuka et al., 2019).

FDA hidrolīzes aktivitātes salīdzinājums parādīja statistiski nozīmīgu ($p < 0,05$) atšķirību starp kontroli un kompozītmateriāliem, izņemot CS/koksnes šķiedras materiālu. Lielāka FDA hidrolīzes aktivitāte var netieši norādīt uz intensīvākiem bionoārdīšanās procesiem, jo tā ir atkarīga no barības vielu pieejamības, mikroorganismu koncentrācijas, kā arī no to fizioloģiskā stāvokļa, ķīmiskā sastāva un vides fizikālajām īpašībām (Green et al., 2006; Mupambwa and Mkeni, 2016).

3.8. Sapropelis, kūdra, bioogle: granulu izstrāde izmantošanai lauksaimniecībā

Šajā promocijas darba daļā sapropelis un kūdra tika pētīti, kā potenciālie augsnes ielabotāji granulu veidā. Līdz šim sapropelis Latvijā galvenokārt tika izmantots lauku mēslošanai, kā papildmēslojums. Turklāt sapropeli var izmantot kā saistvielu, piemēram, granulu izstrādē stiprības uzlabošanai (Balčiūnas et al., 2016; Obuka et al., 2015; Vincevica-Gaile et al., 2019).

Mērķis bija noskaidrot kūdras-sapropeļa un sapropeļa granulu veidošanas iespējas un novērtēt to īpašības. Sapropeļa-kūdras un sapropeļa granulu izstrādes laikā saistviela pirms iestrādāšanas tika apstrādāta līdz viendabīgai masai. Pētījumā tika veiktas testēšanas granulu fizikāli-mehānisko īpašību noteikšana 3 veidu granulām. Tika noteikts bēruma blīvums (Anonymous, 1999), ūdensuzsūce (Anonymous, 2013), granulu spiedes stiprība (Anonymous, 2007), vides skābuma reakcija un elektrovadītspēja.

Iegūto granulu no tīra sapropeļa un ūdens pH ir 7,35, bet granulām no kūdrainā sapropeļa pH ir 7,36, no sapropeļa-kūdras granulām pH ir 4,52. Izveidotās granulas ūdens vidē sadalās lēni. Augsnes vidē granulu sadalīšanās notiek fiziskas iedarbības rezultātā.

Bēruma blīvums granulām no tīra sapropeļa un ūdens ir 639,6 kg/m³, bet granulām no kūdrainā sapropeļa ir 246,1 kg/m³, sapropeļa-kūdras 248,3 kg/m³. Ūdensuzsūce granulām no tīra sapropeļa un ūdens ir ≤78,9%, bet granulām no kūdrainā sapropeļa ir 167,8%, bet

sapropēja-kūdras 163,9%. Granulu mehāniskā izturība no tīra sapropēja un ūdens ir 1,06 MPa, bet granulām no kūdrainā sapropēja ir 0,46 MPa, bet sapropēja-kūdras ir 0,44 MPa. Rezultātā tika iegūtas granulas, kuru mehāniskā izturība ir pietiekama, lai tās varētu ilglaicīgi uzglabāt, pārvadāt un iestrādāt augsnē.

Promocijas darbā tika pētītas arī bioogles-sapropēja granulas. Mērķis bija noskaidrot bioogļu-sapropēja granulu izveidošanas iespējas un izvērtēt to īpašības, par izejmateriālu izmantojot bioogli, kas rodas kā blakusprodukts koģenerācijas stacijās. Ūdens vidē granulas sadalās lēni, jo abas sastāvdaļas ir ūdenī nešķīstošas vielas. Tādēļ augsnes vidē to sadalīšanās notiek fiziskas iedarbības rezultātā, bet gan bioogles, gan sapropēja noārdīšanās noris lēni (De Gisi et al., 2014).

Piksteres ezera sapropēja un bioogles granulu bēruma blīvums: pēc granulu veida – cilindriska (iegūtas pēc ekstrūzijas metodes) - $0,31 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$, apaļas (iegūtas ar noapaļošanas – aglomerācijas metodi) – $0,47 \pm 0,18 \text{ g/cm}^3$, apaļas (iegūtas pēc ekstrūzijas metodes) - $1,00 \pm 0,43 \text{ g/cm}^3$. Granulu tilpummasa ir zema salīdzinājumā ar presētajām bioogļu granulām, kas šobrīd galvenokārt pieejamas tirgū. Izmantotajos materiālos nav konstatēts smago metālu piesārņojums, un no šī aspekta tie uzskatāmi par droši lietojamiem lauksaimniecībā.

3.9. Sapropēja biokompozītmateriālu mikrobioloģiskās stabilitātes pētījums

Sapropēja-kaļķa, magnija oksihlorīda kā saistvielas un kaņepju spaļu un šķiedras kā pildvielas, sapropēja kā saistvielas un bērza koksnes slīpputekļu, koksnes šķiedras kā pildvielas mikrobioloģiskā stabilitāte tika pētīta. Izmantotās pildvielas ir rūpniecības un lauksaimniecības blakusprodukti, kas jāpārstrādā vai jāizmanto atkārtoti. Antimikrobiāla piedeva biokompozītmateriāliem - SIA ALINA produkts ALINA LIFE™ organomāli. Paraugi tika testēti, izmantojot sēnes *Alternaria alternata* un *Cladosporium herbarum*, tās mākslīgi inokulējot uz paraugu virsmas.

Darba gaitā tika noskaidrots, ka uz izmantotajiem materiāliem visbiežāk ir sastopamas *Sordaria*, *Alternaria* un *Fusarium* ģints sēnes. Atsevišķos gadījumos tika konstatētas arī *Penicillium*, *Acremonium*, *Paecilomyces*, *Trichoderma*, *Mucor* un *Stachybotrys* spp., kas liecina par to, ka substrāti satur pietiekamu mitrumu un barības vielu daudzumu sēņu attīstībai. Labi izteikta sēņu attīstība tika novērota uz sapropēja-koksnes šķiedras un bērza koksnes slīpputekļu materiāliem, kas ir skaidrojams ar to neitrālo pH 6 – 7, vai pat nedaudz skābo pH 5, kā arī to, ka koksne dabiski ir piemērots substrāts daudzām sēnēm.

Sēņu attīstība praktiski netika novērota uz kaņepju-kaļķa materiāliem un kaņepju – magnija hlorīda saistvielas, kā arī kaņepju–sapropēja–kaļķa saistvielas materiāliem. Tas skaidrojams ar kaņepju antimikrobiālo iedarbību (Ali et al., 2012), kā arī kaļķa dabiski augsto pH 9 – 12, kas negatīvi ietekmē sēņu attīstību.

Pētījums pierādīja, ka paaugstināta sēņu augšanas intensitāte notiek materiālos, kas izgatavoti no koksnes šķiedras, bērza koksnes slīpputekļiem un sapropēja kā saistvielas. Sēņu sugas, kas aug uz biokompozītmateriāla, ir atkarīgas no materiāla veida, pildvielas, materiāla virsmas un saistvielas.

Sēņu augšana praktiski netika novērota kaņepju-kaļķa un kaņepju-magnija oksihlorīda, kā arī kaņepju-kaļķa-sapropēja biokompozītmateriāliem. Papildinformāciju par šī pētījuma rezultātiem var atrast (Obuka et al., 2017).

Tika veikti divi eksperimenti, lai noteiktu mikrobioloģisko stabilitāti otrajā testa daļā. Testā 2.1. paraugi tika sagatavoti 70×70×70 mm kubu veidnēs, koksnes vate tika sagriezta ar līdzīgu virsmas laukumu. Testā 2.2. paraugi tika sagatavoti 40 mm diametrā un 10 mm augstās cilindriskās formās, arī fibrolīts un koksnes vate tika sagatavoti tāpat. Testā 2.2. tika izgatavoti arī papildus paraugi ar pazeminātu saistvielas daudzumu, izmantojot 50% un 20% no pirmajā

eksperimentā izmantotās saistvielas daudzuma ar tādu pašu daudzumu kaņepju šķiedru un spaļu, iegūstot paraugus ar mazāku saistvielas daudzumu un mikrobioloģisko aizsardzību.

Analizējot kompozītmateriālu mikrobioloģiskās stabilitātes izmaiņas atkarībā no saistvielas koncentrācijas, var secināt, ka minerālo saistvielu daudzuma samazināšanās samazināja mikrobioloģisko stabilitāti. MOC (magnija oksihlorīda cements-kaņepju), FHL (formulēts hidrauliskais kaļķis-kaņepju) un HL (hidrauliskais kaļķis-kaņepju) biokompozītmateriāliem ar 100% saistvielas koncentrāciju augšanas intensitātes novērtējums ir 0–1,5, ar 50% saistvielas koncentrāciju augšanas intensitātes novērtējums ir 1–3, bet ar 20% tas ir 2,5–4.

Mikrobioloģiskās stabilitātes samazināšanās korelēja ar pH pazemināšanos paraugos. Uz kaļķu bāzes saistvielu kompozītmateriāli (FHL un HL) uzrādīja augstāku mikrobioloģisko stabilitāti nekā MOC kompozītmateriāli, jo 100% saistvielu paraugos netika novērota sēņu augšana, savukārt MOC sēņu augšanas intensitāte atbilda 1.–2. novērtējumam. Ar 50% un 20% saistvielas daudzumu paraugos šī atšķirība pazuda. To var attiecināt uz pH līmeni paraugos, kas uz kaļķu bāzes paraugiem bija aptuveni 12 pie 100%, bet MOC - 9,76, savukārt saistvielas samazināšanās 50% un 20% paraugos uzrādīja līdzīgu pH un mikrobioloģisko stabilitāti. Mikrobioloģiskās stabilitātes samazināšanās MPC kompozītmateriālos nebija tik izteikta, jo augšanas intensitāte 100% koncentrācijā bija 2–4, bet pie 20% - 3–4. Šāda paaugstināta MPC augšanas intensitāte bija līdzīga eksperimenta pirmā posma rezultātiem un izskaidrojama ar cietinātāja, kālija fosfāta, ietekmi.

Testā 2.1., tika atklāts, ka sēnes pieder pie *Paecilomyces* and *Stachybotrys* pētījumā iekļautajos kompozītmateriālos bija visizplatītākās. Dažos gadījumos, *Penicillium*, *Acremonium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Trichoderma* and *Mucor* tika novēroti arī, parādot, ka substrāti satur pietiekamu mitrumu un barības vielu daudzumu sēņu attīstībai. Lielākā daļa šo sēņu barojas ar celulozi; tāpēc tās var atrast uz celulozes bagātiem materiāliem (Bech-Andersen, 2004; Klamer et al., 2004). *Stachybotrys* barojas arī ar lignīnu, un šī iemesla dēļ tas bieži sastopams uz koksnes un tās izstrādājumiem (Vance et al., 2016), un to sauc arī par melno pelējumu (Ding et al., 2018).

Biokompozītmateriālu, kuru pamatā ir sapropelis, funkcionālo īpašību pielietošanai tika izstrādāti un pielāgoti mikrobioloģiskās stabilitātes testi. Biokompozītmateriāli, ar sapropeli kā saistvielu, uzrāda vienu no augstākajiem mikrobioloģiskās stabilitātes rezultātiem, tas ir, sēnes un citi organismi paraugos netika konstatēti

Sapropeļa, kaļķa un magnija oksihlorīda cementa kompozītmateriālam ir lielāka mikrobioloģiskā pretestība nekā komerciāli pieejamiem materiāliem, kā, piemēram, koksnes vatei; tāpēc tos ir iespējams izmantot būvniecībā līdzīgos apstākļos, t.i., konstrukcijās, kas aizsargātas no ārēja mitruma. Izmantojot vizuālo novērtējuma metodi šajā pētījumā, var iegūt ieskatu pētīto biokompozītmateriālu mikrobioloģiskajā rezistencē un stabilitātē. Paraugiem, kuriem tika pievienoti organomāli, to apaugums bija par 13,8% mazāks, bet tiem, kuriem bija biocīds pievienots, - par 9,1% mazāks, tomēr tika novērota nesaderība ar formulētu hidraulisko kaļķi (20%), magnija oksihlorīda cementu (20%), hidraulisko kaļķi (20%) un magnija fosfātu cementa (100%) saistvielām. Papildinformāciju par šī pētījuma rezultātiem var atrast (Obuka et al., 2021).

Secinājumi

1. Ar organiskām vielām bagāts sapropelis ir perspektīvs dabas resurss, lai tam rastu dažādas pielietošanas iespējas celtniecībā un lauksaimniecībā, izmantojot to, kā saistvielu, kombinējot ar dažādiem ražošanas blakusproduktiem.
2. Izmantojot vietējos resursus, piemēram, sapropeli un ražošanas procesa blakusproduktus, piemēram, bērza koksnes slīpputekļus, koksnes šķiedras, kaņepju spaļus un šķiedru, būvniecībā un lauksaimniecībā ir iespējams izstrādāt videi draudzīgus kompozītmateriālus, tos pielāgojot lietošanas vajadzībām.
3. Dabiskā sapropeļa, kas ir biokompozītmateriālu sastāvā, mikrobioloģiskā stabilitāte ir viens no galvenajiem parametriem to pielietošanas nodrošināšanai, un testu skaitā jāietver detalizēts biokompozītmateriālu novērtējums attiecībā uz galvenajām mikroorganismu grupām, kas ir sastopamas celtniecības materiālos.
4. Sapropeļa biokompozītmateriālu mehāniskās un siltumvadītspējas īpašības ir līdzīgas ar komerciāliem produktiem, tāpēc biokompozītmateriālus varētu izmantot līdzīgi tiem būvniecības nozarē.
5. Izveidotajiem būvniecības biokompozītmateriāliem ir augsts organisko vielu saturs, tie ir neaizsargāti pret bioloģisko noārdīšanos, tāpēc ir svarīgi pievienot antimikrobiālas piedevas.
6. Mikrobioloģiskās stabilitātes un biodegradācijas testi ir izstrādāti un pielāgoti, lai tos varētu izmantot uz sapropeli balstītu biokompozītmateriālu funkcionālo īpašību testēšanai.

Literatūras saraksts

- Ali, E. M. M., Almagboul, A. Z. I., Khogali, S. M. E., and Gergeir, U. M. A. (2012). Antimicrobial Activity of Cannabis L. *Chinese Medicine*, 03(01), 61–64. <https://doi.org/10.4236/cm.2012.31010>
- Altozano, P. B. (2012). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. 7, 1–2.
- Anderson, R. Y. (1996). Seasonal sedimentation: A framework for reconstructing climatic and environmental change. *Geological Society Special Publication*, 116(116), 1–15. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1996.116.01.02>
- Anonymous. (1999). *Latvijas standarts: Minerālo materiālu mehānisko un fizikālo īpašību testēšana – 3. daļa: Irdena bēruma blīvuma un porainības noteikšana. LVS EN 1097-3.*
- Anonymous. (2000a). *Latvijas valsts standarts: Koka skaidu plāksnes un kokšķiedru plāksnes - Stiepes stiprības noteikšana perpendikulāri pret plāksnes plakni. EN 319.*
- Anonymous. (2000b). *Latvijas valsts standarts: Saplāksnis - Līmēšanas kvalitāte - 2.daļa: Prasības. EN 314-2.*
- Anonymous. (2001a). Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. EN 204. In *European Committee for Standardization*.
- Anonymous. (2001b). *Latvian Standard: EN 310:1993 Wood-based panels; determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength.*
- Anonymous. (2002). *Latvijas valsts standarts: Līme kokam, izņemot būvniecību - Testa metodes - Pārkares savienojumu stiepes noturības noteikšana. EN 205.*
- Anonymous. (2005). *Latvijas valsts standarts: Saplāksnis - Līmējuma kvalitāte - 1.daļa: Testa metodes. EN 314-1.*
- Anonymous. (2007). *Latvijas standarts: Siltumizolācijas materiālu lietošana būvniecībā – spiedes stiprības noteikšana. EN 1606.*
- Anonymous. (2013). *Latvijas standarts: Minerālmateriālu mehānisko un fizikālo īpašību testēšana. 6. daļa: Daļiņu blīvuma un ūdens absorbcijas noteikšana. LVS EN 1097-6.*
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., and Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4(2015), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Badalov, N. G., and Krikorova, S. A. (2012). Peloidoterapiya: teoreticheskiye i prakticheskiye aspekty, problemy i perspektivy razvitiya [Peloid therapy: The theoretical and practical aspects, problems and prospects of its development]. *Voprosy Kurortologii, Fizioterapii, i Lechebnoy Fizicheskoy Kultury [Questions on Balneology, Physiotherapy, and Physiotherapy]*, 3, 50–54.
- Balčiūnas, G., Žvironaitė, J., Vėjelis, S., Jagniatinskis, A., and Gaidučis, S. (2016). Ecological, thermal and acoustical insulating composite from hemp shives and sapropel binder. *Industrial Crops*

and Products, 91, 286–294. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.034>

- Bech-Andersen, J. (2004). *Indoor Climate and Moulds*. Hussvamp Laboratoriet Publishers.
- Bellometti, S., Cecchetti, M., Lalli, A., and Galzigna, L. (1996). *Mud pack treatment increases serum antioxidant defences in osteoarthrosic patients*. 1(50), 37.
- Bellometti, S., Poletto, M., Gregotti, C., Richelmi, P., and Bertè, F. (2000). Mud bath therapy influences nitric oxide, myeloperoxidase and glutathione peroxidase serum levels in arthritic patients. *International Journal of Clinical Pharmacology Research*, 20(3–4), 69–80.
- Brakšs, N., Alksne, A., Āboliņš, J., and Kalniņš, A. (1960). Sapropeļa un kūdras humīnskābes kā saistviela koksnes atlikumu izmantošanā. *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, 10(159), 101–108.
- Brakšs, N., and Miļins, N. (1960). Pētījumi par sapropeļa kompleksas izmantošanas iespējām ar hidrolīzes un saustvaices metodi. *LLA Raksti*, IX, 471. – 479.
- Bulota, M., Jääskeläinen, A. S., Paltakari, J., and Hughes, M. (2011). Properties of biocomposites: Influence of preparation method, testing environment and a comparison with theoretical models. *Journal of Materials Science*, 46(10), 3387–3398. <https://doi.org/10.1007/s10853-010-5227-4>
- Carabelli, A., de Bernardi di Valserra, G., de Bernardi di Valserra, M., Tripodi, S., Bellotti, E., Pozzi, R., Campiglia, C., and Arcangeli, P. (1998). Effetti dell'uso di un fango termale su cute normale, secca e seborroica [Effect of thermal mud baths on normal, dry and seborrheic skin]. *La Clinica Terapeutica*, 4(149), 271–275.
- De Gisi, S., Petta, L., and Wendland, C. (2014). History and technology of Terra Preta sanitation. *Sustainability (Switzerland)*, 6(3), 1328–1345. <https://doi.org/10.3390/su6031328>
- Ding, Z. G., Ding, J. H., Zhao, J. Y., Chunyu, W. X., Li, M. G., Gu, S. J., Wang, F., and Wen, M. L. (2018). A new phenylspirodrimane dimer from the fungus *Stachybotrys chartarum*. *Fitoterapia*, 125(October 2017), 94–97. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2017.12.022>
- Emeis, K. C. (2009). Spropels. In *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments* (pp. 875–877). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_204
- Fava, F., Totaro, G., Diels, L., Reis, M., Duarte, J., Carioca, O. B., Poggi-Varaldo, H. M., and Ferreira, B. S. (2015). Biowaste biorefinery in Europe: Opportunities and research & development needs. *New Biotechnology*, 32(1), 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2013.11.003>
- Green, V. S., Stott, D. E., and Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: Optimization for soil samples. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(4), 693–701. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.06.020>
- Gružāns, A. (1958). Sapropeļbetons. *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas Vēstis*, 12(137), 163–170.
- Gružāns, A. (1960). Sapropeļbetons. *LLA Raksti*, IX, 547– 561.
- Heiri, O., Lotter, A. F., and Lemcke, G. (1993). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25(1–4), 101–110. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)

- Ingrao, C., Bacenetti, J., Bezama, A., Blok, V., Goglio, P., Koukios, E. G., Lindner, M., Nemecek, T., Siracusa, V., Zabaniotou, A., and Huisingh, D. (2018). The potential roles of bio-economy in the transition to equitable, sustainable, post fossil-carbon societies: Findings from this virtual special issue. *Journal of Cleaner Production*, 204, 471–488. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.068>
- Jawaid, M., Thariq, M., and Saba, N. (2019). *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-04437-6>
- Kaķītis, A. (1999). *Energoekonomiskās sapropeļa ieguves tehnoloģijas*. Latvijas Lauksaimniecības Universitāte.
- Klamer, M., Morsing, E., and Husemoen, T. (2004). Fungal growth on different insulation materials exposed to different moisture regimes. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 54(4), 277–282. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2004.03.016>
- Klavins, M., and Obuka, V. (2018). Local knowledge and resources as driving forces of sustainable bioeconomy. *World Sustainability Series*, 173–186. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73028-8_10
- Kozlovska-Kędziora, J., and Petraitis, E. (2011). the Possibilities of Using Sapropel for Briquette Production / Sapropelio Panaudojimo Galimybės Briketams Gaminti. *Mokslas - Lietuvos Ateitis*, 3(5), 24–30. <https://doi.org/10.3846/mla.2011.082>
- Kozlovska, J., and Petraitis, E. (2012). *Sapropel use as a Biofuel Feasibility Studies*. 2(5), 29–34.
- Kozlovska, Justyna. (2012). *RESEARCH OF SAPROPEL USE FOR HEAT PRODUCTION AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT*. VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY Justyna.
- Kozłowski, R., Mieleniak, B., Muzyczek, M., and Mańkowski, J. (2008). Development of Insulation Composite Based on FR Bast Fibers and Wool. *2008 International Conference on Flax and Other Bast Plants*, 353–363.
- Kurzo, B., Hajdukiewicz, O., and Krasnoborskaya, O. (2004). Relationships of sapropel formation in lake-mire complexes of Belarus. *Limnological Review*, 4, 125–132.
- Lācis, A. (2003). *Sapropelis Latvijā*. 1, 1–2. <http://www.ezeri.lv/blog/DownloadAttachment?id=666>
- Latvijas Republikas Zemkopības Ministrija. (2017). *Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030*. 30.
- Lewandowski, I. (2018). *Bioeconomy* (I. Lewandowski (ed.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68152-8>
- Liužinas, R., Jankevičius, K., and Šalkauskas, M. (2005). *Improvement of Lake Sapropel Quality : a New Method*. 38(2), 44–51.
- Mikulionienė, S., and Balezentienė, L. (2012). *Effectiveness and Potential Usefulness of Dietary Supplementation With Sapropel on Ducklings and Goslings Growth and Quality Indices Sapropelio Priedo Racione Efektyvumas , Potencialinauda*. 60(82).
- Mngomezulu, M. E., John, M. J., Jacobs, V., and Luyt, A. S. (2014). Review on flammability of biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 111, 149–182.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.071>

- Mohanty, A. K., Misra, M., and Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276–277, 1–24. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1439-2054\(20000301\)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W](https://doi.org/10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W)
- Mupambwa, H. A., and Mnkeni, P. N. S. (2016). Eisenia fetida Stocking Density Optimization for Enhanced Bioconversion of Fly Ash Enriched Vermicompost. *Journal of Environmental Quality*, 45(3), 1087–1095. <https://doi.org/10.2134/jeq2015.07.0357>
- Muter, O. (2015). Complex natural amendments enhance cellulolytic activity of bacterial consortium. *VI Int. Conf. Industrial and Applied Microbiology – BioMicroWorld*, 493.
- Obuka, V., Šinka, M., Kļaviņš, M., Stankeviča, K., and Korjamins, A. (2015). Sapropeļ as a binder: Properties and application possibilities for composite materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 96(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/96/1/012026>
- Obuka, V., Muter, O., Sinka, M., and Klavins, M. (2019). Biodegradation studies of sapropeļ-based composite materials. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/660/1/012073>
- Obuka, V., Korjamins, A., Brencis, R., Preikšs, I., Purmalis, O., Stankeviča, K., and Kļaviņš, M. (2014). Sapropeļas kūdras, sapropeļas kokskaidu siltumizolācijas plāksnes un to īpašības. *Material Science and Applied Chemistry*, 29(29), 127. <https://doi.org/10.7250/msac.2013.029>
- Obuka, V., Sinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S., Lazdina, L., and Klavins, M. (2017). Sapropeļ and lime as binders for development of composite materials. *25th European Biomass Conference and Exhibition, June*, 1285–1291. <https://doi.org/10.5071/25thEUBCE2017-3BV.3.35>
- Obuka, V., Sinka, M., Nikolajeva, V., Kostjukova, S., Ozola-davidane, R., and Klavins, M. (2021). Microbiological Stability of Bio-Based Building Materials. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 296–313.
- Obuka, V., Veitmans, K., Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., and Klavins, M. (2016). Sapropeļ as an adhesive: assessment of essential properties. *Forestry and Wood Processing*, 2, 77–83.
- Pleikšnis, S., and Dovgiallo, I. (2015). Thermal Insulation Materials From Sapropeļ And Hemp Shives (Cannabis Sativa L.). *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 3, 57. <https://doi.org/10.17770/etr2013vol3.881>
- Pleikšnis, S., Skujans, J., Visockis, E., and Pulkis, K. (2016). Increasing fire proofness of sapropeļ and hemp shive insulation material. *Engineering for Rural Development, 2016-Janua*, 403–408.
- Rowell, D. L. (2014). *Soil Science Methods & Applications* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.2307/1791191>
- Segliņš, V. (2014). Valsts pētījumu programmas projekta “Zemes dzīles” svarīgākie rezultāti un perspektīvas. *Material Science and Applied Chemistry*, 29(29), 7. <https://doi.org/10.7250/msac.2013.013>
- Segliņš, V., and Brangulis, A. (1996). *Latvijas zemes dzīļu resursi*.
- Sinka, M., and Sahmenko, G. (2015). Sustainable Thermal Insulation Biocomposites from Locally

Available Hemp and Lime. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 1, 73.
<https://doi.org/10.17770/etr2013vol1.828>

Sinka, M., Sahmenko, G., and Korjamins, A. (2014). Mechanical Properties of Pre-Compressed Hemp-Lime Concrete. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 8(3), 92–99.
<https://doi.org/10.5755/j01.sace.8.3.7451>

Stankevica, K. (2020). *Character of sapropel properties based on its formation conditions and possibilities of its use*. University of Latvia.

Stankeviča, K., and Kļaviņš, M. (2014). Sapropelis un tā izmantošanas iespējas. *Material Science and Applied Chemistry*, 29(29), 109. <https://doi.org/10.7250/msac.2013.028>

Szajdak, L., and Maryganova, V. (2007). Occurrence of IAA auxin in some organic soils : Restoration of peatland soils for agricultural use. *Agronomy Research (Tartu)*, 5(2), 175–187.

Vance, P. H., Schaeffer, F., Terry, P., Trevino, E., and Weissfeld, A. S. (2016). Mold Causes and Effects “in a Material World.” *Clinical Microbiology Newsletter*, 38(14), 111–116.
<https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2016.06.004>

Vimba, B. (1956). *Sapropēja termiskā šķīdināšana un iegūto produktu ķīmiskais raksturojums*. Latvijas PSR lauksaimniecības akadēmija.

Vincevica-Gaile, Z., Stankevica, K., Irtiseva, K., Shishkin, A., Obuka, V., Celma, S., Ozolins, J., and Klavins, M. (2019). Granulation of fly ash and biochar with organic lake sediments – A way to sustainable utilization of waste from bioenergy production. *Biomass and Bioenergy*, 125(March), 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.004>

Zibilske, L. M. (1994). Carbon mineralization. In *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties-SSSA* (Vol. 30, Issue 5, pp. 835–863). Soil Science Society of America.
<https://doi.org/10.1201/9781420005271.ch45>

Гавиленко, В. Ф., Ладыгина, М. Е., and Хандобина, А. М. (1975). *Большой практикум по физиологии растений*. 392.

Курзо, Б. В. (2005). *Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля*. Бел. наука.

Штин, С. (2005). *Озерные сапропели и их комплексное освоение*. Издательство Московского Государственного горного университета.