

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības inženierzinātņu fakultāte
Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģiju institūts
Būvzinātņu centrs, Pulveru materiālu zinātniskā laboratorija

Juris TREIJS
Doktora studiju programmas
„Siltuma, gāzes un ūdens tehnoloģija” doktorants

**FEROMAGNĒTISKIE SORBENTI UN TO
IESPĒJAS IZLIETU NAFTAS PRODUKTU
PIESĀRŅOJUMA SAVĀKŠANĀ**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji:
profesors *Dr. habil. sc. ing.*
VIKTORS MIRONOVS
profesors *Dr. sc. ing.*
EDMUNDS TEIRUMNIEKS

Rīga 2018

Treijs Juris. Feromagnētiskie sorbenti un to iespējas izlietu naftas produktu piesārņojuma savākšanā. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2018. 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar Valsts
zinātniskās kvalifikācijas komisijas 2018. gada
12. aprīļa lēmumu Nr. 175.14.

ISBN 978-9934-22-080-7 (print)
ISBN 978-9934-22-081-4 (pdf)



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



EIROPAS SAVIENĪBA

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts Rēzeknes Augstskolas doktora studiju īstenošanai”.

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA
IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES SILTUMA, GĀZES UN
ŪDENS TEHNOLOĢIJU INSTITŪTĀ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts
2018. gada 8. jūnijā plkst. 12 Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības inženierzinātņu
fakultātē, Rīgā, Ķīpsalas ielā 6B, 250. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Anatolijs Borodiņecs,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Asoc. profesors *Ing., Ph. D.* (doctor) Andrei Kasperovich,
Belarusian State Technological University, Baltkrievija

Ph. D. Ina Pundienė,
Vilnius Gediminas Technical University, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka es esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

JurisTreijs

Datums: ____ . ____ 2018.

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu un angļu valodā, tajā ir ievads, 3 nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 70 attēli, 16 tabulas, 1 pielikums, kopā 98 lappuses. Literatūras sarakstā ir 166 nosaukumi un atsauc.

SATURA RĀDĪTĀJS

1. NAFTAS PRODUKTU SAVĀKŠANA (ANALĪTISKĀ DAĻA)	9
1.1. Naftas produktu piesārņojuma problēmas	9
1.2. Naftas produktu savākšanas metodes	10
1.3. Sorbenti.....	12
1.4. Feromagnētisko sorbentu apskats	12
1.5. Iespējamie komponenti kompozītsorbentu izgatavošanai no viegliem materiāliem	13
2. TEORĒTISKĀ DAĻA	14
2.1. Kombinēta feromagnētiskā sorbenta modelis.....	14
2.2. Magnētiskā lauka iedarbība uz sīkdispersajām daļiņām ūdenī.....	16
3. METODISKĀ DAĻA	17
3.1. Eksperimentālā pētījuma metodoloģija, metodes un iekārtas.....	17
3.2. Pētījumiem izmantotie materiāli.....	20
4. KOMPOZĪTU FEROMAGNĒTISKĀ SORBENTA IZVEIDOŠANA (EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA)	20
5. FMS IZVEIDOŠANA UN LIETOŠANA	24
5.1. Emulsiju ar FMS izveidošana un lietošana.....	24
5.2. Duļķu sorbcijas efektivitātes pētījums elektromagnētiskajā stendā	25
5.3. Termogravimetrijas un diferenciālās termiskās analīzes FMS.....	29
6. SAVĀKTO MATERIĀLU IZMANTOŠANAS IESPĒJAS	30
6.1. Feromagnētisko naftas duļķu izmantošana būvmateriālu ražošanā	31
6.2. Metālu ekstrahēšana no šķīduma	32
7. SECINĀJUMI	36
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS	37
DARBĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI	45
PIELIKUMS	46

IEVADS

Mūsdienās arvien aktuālāka kļūst ūdens attīrīšanas problēma no naftas un naftas produktu (NP) piesārņojuma, jo avārijas, kas saistītas ar naftas izplūšanu no lieltonnāžas tankkuģiem un no jūras urbumiem, notiek biežāk. Degvielas un citu NP noplūde naftas bāzēs, naftas ķīmijas ražotnēs, no lielu autotransporta uzņēmumu stacionārajām tilpnēm, garām braucošajiem un piestātnē esošajiem kuģiem kuģojamo upju baseinos un ostu akvatorijās, naftas vadu avārijās neizbēgami rada piesārņojuma nokļūšanu zemē, pazemes ūdeņos, kā arī upju baseinos. Tādējādi problēmai, kas saistīta ar NP piesārņojuma likvidāciju no ūdens virsmas, ir globāls raksturs.

Tēmas aktualitāte

Naftas produktu (NP) izplūde ūdenī ir ļoti nopietna ekoloģiska katastrofa, kuras sekas var būt postošas visam dzīvajam. No NP noplūdes cieš sīkie dzīvie organismi, flora, putni, zivis un daudzi jūras zīdītāji [1].

Nafta ir ilgstoši sabrūkošs produkts un izplūstot ļoti ātri pārklāj ūdens virsmu ar blīvu naftas plēves slāni, kas traucē gaisa un gaismas piekļuvi. Tā apķep ap putnu spalvām, un tā rezultātā putni zaudē spēju saglabāt siltumu, peldēt un lidot. Lai nepieļautu iepriekš minēto, nepieciešams operatīvi likvidēt ūdenī izplūdušos NP [2].

Pastāv dažādas metodes ūdens attīrīšanai no naftas produktu piesārņojuma: mehāniskās, fizikāli ķīmiskās un bioķīmiskās. Katrai grupai ir savas priekšrocības un trūkumi, koncentrācijas un kopējā piesārņojuma daudzuma apgabali, kuros tās ir īpaši efektīvas. Katrā konkrētajā gadījumā nepieciešams izmantot kompleksas un daudzpakāpju attīrīšanas tehnoloģijas, kurās dominē kāda no metodēm [3].

Promocijas darba mērķis – izstrādāt sorbentu ar feromagnētiskajām īpašībām, izpētīt tā īpašības un lietošanas iespējas izlietu naftas produktu piesārņojuma savākšanā, kā arī tā turpmākās izmantošanas un utilizācijas iespējas.

Promocijas darba uzdevumi

- Izanalizēt literatūru par eksistējošajiem sorbentiem, naftas produktu savākšanas paņēmieniem, kā arī savākto naftas produktu tālāko pārstrādi.
- Izstrādāt sorbentu ar feromagnētiskajām īpašībām un izpētīt tā īpašības.
- Izstrādāt metodi ūdens attīrīšanai, izmantojot feromagnētisko sorbentu.
- Izstrādāt jauna sorbenta darbības modeli un veikt tā analīzi.
- Izstrādāt sorbenta reģenerācijas un atkārtotās izmantošanas metodi.
- Izstrādāt eksperimentālo pilotiekārtu, kas nodrošina naftas produktu savākšanu, izmantojot magnētiskos laukus.
- Izstrādāt rekomendācijas sorbentu reģenerācijai un atkārtotai izmantošanai.

Aizstāvēšanai izvirzāmās tēzes

1. Jauni materiāli (feromagnētiskie sorbenti).
2. Kombinētā sorbenta modelis ar feromagnētiskajām īpašībām.
3. Jauni tehnoloģiskie risinājumi (iekārtas un tehnoloģijas sorbenta izsmidzināšanai un savākšanai).
4. Jauni piedāvājumi savākto materiālu izmantošanai (reģenerācija, degviela, antiseptika).
5. Jauni tehnoloģiskie risinājumi (NPD) – duļķu kā degvielas izmantošana termiskajā betona griešanā, sorbenti vara ekstrahēšanai no šķīdumiem.

Darba zinātniskā novitāte

- Izstrādāta jaunu sorbentu veidu ar feromagnētiskām īpašībām izveidošanas metodika naftas produktu sorbcijai.
- Piedāvāts naftas produktu plēvīšu sorbcijas no ūdens virsmas procesa modelis, izmantojot feromagnētiskās daļiņas.
- Dota feromagnētisko sorbentu sastāva un īpašību ietekmes analīze uz sorbcijas procesu.
- Piedāvāti jauni paņēmieni kompozīto sorbentu ar feromagnētiskajām īpašībām izgatavošanai.
- Piedāvāti jauni paņēmieni sorbentu izsmidzināšanai un duļķu izvākšanai no ūdens, izmantojot magnētiskās un elektromagnētiskās ierīces.
- Iegūti dzelzs pulvera bāzes sorbenta un savākto duļķu termogravimetriskās un diferenciāli termiskās analīzes dati temperatūras diapazonā līdz 1000 grādiem.
- Piedāvāta naftas produktu duļķu kā augstas temperatūras degvielas produkta izmantošana.

Pētījuma praktiskā novitāte

- Izstrādāti daži jauni kompozītsorbenti (*Comsor 125*, *Comsor M* u. c.) ar magnētiskajām īpašībām.
- Izstrādāti jauni feromagnētisko sorbentu veidi uz tehnoloģisko atlikumu un dabas izejvielu izmantošanas pamata.
- Izstrādāti, izveidoti un izmēģināti stendi sorbentu izsmidzināšanas procesu pētīšanai, kas izsmidzināti uz naftas produktu piesārņotas ūdens virsmas.
- Izstrādāti, izveidoti un izmēģināti stendi duļķu savākšanai ar magnētisko un elektromagnētisko iekārtu palīdzību.
- Piedāvāta jauna sorbentu reģenerācijas un atkārtotas izmantošanas tehnoloģija.
- Piedāvāti jauni duļķu izmantošanas virzieni, iegūti sorbenti ar naftas produktiem (betona griešanai ar gāzes liesmu, degvielu emulsiju izgatavošanai un vara ekstrahēšanai no šķīdumiem).

Pētījumu novitāte apstiprināta ar diviem Latvijas patentiem (skat. 1. pielikumu).

Darba aprobācija

Pēc promocijas darbā veikto pētījumu rezultātiem publicēti 16 zinātniskie darbi latviešu, angļu un krievu valodā, tajā skaitā seši zinātniskie raksti un astoņas zinātnisko ziņojumu tēzes starptautiskajās konferencēs, ir iegūti divi patenti. Tajos ir izskatīti naftas produktu sorbcijas procesi, pulverveida feromagnētiskā sorbenta izveidošana un tā īpašības.

Starptautiskās publikācijas recenzējamos izdevumos

1. Treijs J., Teirumnieks E., Mironovs V. Environmental pollution with oil products and review of possibilities for collection thereof// Vide. Tehnoloģija. Resursi: VIII starptautiskās zinātniski praktiskās konferences materiāli: Rēzekne, Latvija, 2011, 301.–309. lpp.
2. Lapkovskis V., Mironovs V., Treijs J., Teirumnieks E. Collection of spilled oil products by means of ferromagnetic powder materials// Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni: Digest: Rīga, Latvija, 2012, 391.–391. lpp.
3. Mironov V., Zemchenkov V., Lapkovskiy V., Treis Y., Savich V. Investigation of powder ferromagnetic sorbents properties for petroleum collection from water surface (Исследования свойств порошковых ферромагнитных сорбентов для сбора нефтепродуктов с водной поверхности) *Ekologicheskij vestnik*, 2013, 1 (23), pp. 32–40.

4. Treijs J., Teirumnieks E., Mironovs V., Lapkovskis V., Šiškins A. Investigations of properties of powdered ferromagnetic sorbents// In *Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources"*: Rēzekne, Latvija, 2013, 1, pp. 95–100.
5. Shishkin A., Mironovs V., Lapkovskis V., Treijs J., Teirumnieks E. Ferromagnetic composite for oil spill collection, its properties and morphology// International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies”: Rīga, Latvija, 2013, 46. lpp.
6. Shishkin A., Mironovs V., Lapkovskis V., Treijs J., Korjamins A.. Ferromagnetic sorbents for collection and utilization of oil products// *Key Eng. Mater.*, 2014, 604, pp. 122–125.

Zinātniskās publikācijas (SCOPUS data base)

1. J. Treijs, E. Teirumnieks, V. Mironovs, V. Lapkovskis, and A. Shishkin, “Investigations of properties of powdered ferromagnetic sorbents,” in *Vide. Tehnologija. Resursi - Environment, Technology, Resources*, 2013, vol. 1, pp. 95–102 (**SCOPUS data base**).
2. A. Shishkin, V. Mironovs, V. Lapkovskis, J. Treijs, and A. Korjamins, “Ferromagnetic Sorbents for Collection and Utilization of Oil Products,” *Key Eng. Mater.*, vol. 604, pp. 122–125, 2014. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.604.122), (**SCOPUS Data base**).

Žurnālos

1. Mironov V., Zemchenkov V., Lapkovskiy V., Treis Y., Savich V. Investigation of powder ferromagnetic sorbents properties for petroleum collection from water surface (Исследования свойств порошковых ферромагнитных сорбентов для сбора нефтепродуктов с водной поверхности). *Экологический вестник*. Nr. 1 (23). Minska, Baltkrievija. 2013, 32.–40.lpp.

Dalība konferencēs un kongresos

1. Mironovs V., Lapkovskis V., Treijs J. **Ferromagnetic sorbents for collection and utilization of oil products.** // International Scientific Conference „Materials Engineering”, Kaunas, Lithuania, 2011. gada 8. oktobrisS.
2. A. Šiškins, J. Treijs, V. Mironovs, V. Lapkovskis. **Investigation of Ferromagnetic Metal – Ceramic Adsorbent Materials.** // 8th International Conference „MET - 2013”. Rīga, Latvija. 2013. gada 19. jūnijā.
3. **Lapkovskis V., Mironovs V., Treijs J. Criteria methods in evaluation of peat materials properties.** // 8th International Conference „MET - 2013”: Rīga, Latvija, 2013. gada 19. jūnijā.
4. J. Treijs, V. Mironovs. **Investigations of Properties of Powdered Ferromagnetic Sorbents.** // 9th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources", Rēzekne, Latvija. 2013. gada 22. jūnijā.
5. A. Shishkin, V. Mironovs, V. Lapkovskis, J. Treijs, and A. Korjamins. **Ferromagnetic Sorbents for Collection and Utilization of Spilled Oil Products.** // International Scientific Conference „Baltmattrib 2013”. Rīga, Latvija. 2013. gada 14. novembrī.
6. J. Treijs, E. Teirumnieks, V. Lapkovskis. V. Mironovs. **Sorbents for Collection of Oil Products.** // 4th Symposium „Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde”. Drēzdene, Vācija. 2013. gada 18. novembrī.
7. A. Shishkin, V. Mironovs, V. Lapkovskis, J. Treijs, and E. Teirumnieks, “**Ferromagnetic composite sorbents for oil spill collection, its properties and morphology.** // International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies”. Rīga, Latvia, 2013.

8. *Treijs J., Mironovs V., Teirumnieks E. Investigations of properties of powdered ferromagnetic Sorbents// 9th International Scientific and Practical Conference "Environment. Technology. Resources", Rēzekne, Latvija, 2013.*
9. *Shishkin A., Mironovs V., Lapkovskis V., Treijs J., E. Teirumnieks. Ferromagnetic composite sorbents for oil spill collection, its properties and morphology// International Conference „Innovative Materials, Structures and Technologies”, Riga, Latvia, 2013.*
10. *J. Treijs, V. Mironovs . Increase of efficiency of application of ferromagnetic sorbents at collection of oil products spilled in water. // 6th International Symposium: Porous permeable materials: technologies and products .Minsk, Rakov, Belorissia. 2017. gada 19. oktobrī.*

Nacionālie patenti:

1. *Šiškins A., Mironovs V., Treijs J., Baroniņš J. Sorbents ar feromagnētiskām īpašībām // Pat. LV 14822 B (20.06.2014.).*
2. *Šiškins A., Mironovs V., Treijs J., Feromagnētiskais sorbents // Pat. LV 14820 B (20.06.2014.).*

1. NAFTAS PRODUKTU SAVĀKŠANA (ANALĪTISKĀ DAĻA)

1.1. Naftas produktu piesārņojuma problēmas

Nafta ir dažādu molekulārā svara ogļūdeņražu maisījums ar atšķirīgu vārīšanās temperatūru un blīvumu $0,82\text{--}0,92\text{ g/cm}^3$ [21]. Ar destilācijas metodi to sadala atsevišķos naftas produktos (NP): benzīnā, kas satur vieglākos ogļūdeņražus, ligroīnā, kas satur ogļūdeņražus ar lielu oglekļa atomu skaitu, petrolejā un solāreļļā.

Pēc šo produktu atdestilēšanas no naftas paliek melns, viskozs šķidrums – mazuts. No mazuta ar papildu destilēšanu iegūst smēreļļas dažādu mehānismu eļļošanai. Destilāciju veic pazemināta spiedienā, lai pazeminātu ogļūdeņražu vārīšanās temperatūru un izvairītos no to sadalīšanās sakarstot. Pēc mazuta destilācijas paliek negaistoša tumša masa – gudrons, kas izmantojams ielu asfaltēšanā. Svarīgākie produkti, kas iegūstami no naftas, parādīti 1.1. tabulā [22].

No dažām naftas šķirnēm izdala cietos ogļūdeņražus – tā saukto parafīnu (izmantojamu, piemēram, sveču liešanā) un šķidro ogļūdeņražu maisījumu ar cietajiem – vazelīnu [23]. Bez pārstrādes smēreļļās mazutu izmanto kā kurināmo rūpnīcu katlu telpās, kurās to ievada ar sprauslu palīdzību.

1.1. tabula

Galvenie naftas produktu veidi

Naftas produktu veidi			Vārīšanās temperatūra, °C
Benzīns			40–200
Ligroīns			25–50
Petroleja			120–240
Dīzeļdegviela			150–310
Mazuts	Smēreļļas	Spolīšeļļa, mašīneļļa, cilindru u. c. eļļas	300–350 350–400
		Vazelīns	230–255
		Parafīns	250–270
		Gudrons	380–420

Mazuts ir ogļūdeņražu (ar molekulāro masu no 400 līdz 1000), naftas sveķu (ar molekulāro masu no 500 līdz 3000 un vairāk), asfaltēnu, karbenu un metālus (V, Ni, Fe, Mg, Na, Ca) saturošu organisko savienojumu maisījums. Mazuta fizikāli ķīmiskās īpašības ir atkarīgas no sākotnējā naftas sastāva un destilāta frakciju destilēšanas, un tām ir raksturīgi šādi dati: viskozitāte $8\text{--}80\text{ mm}^2/\text{cSt}$ (pie 100 °C), blīvums $0,89\text{--}1\text{ g/cm}^3$ (pie 20 °C), sacietēšanas temperatūra $10\text{--}40\text{ °C}$, sēra saturs $0,5\text{--}3,5\%$, pelni līdz $0,3\%$, zems sadegšanas siltums $39,4\text{--}40,7\text{ MJ/mols}$.

Rūpniecības uzņēmumu, naftas bāzu, dzelzceļa un autotransporta, kā arī jūras, upju kuģu ekspluatācijas rezultātā veidojas ievērojams daudzums NP atkritumu degvielas atkritumu veidā, dibena nogulas, atstrādātās eļļas. Šie produkti rada lielu bīstamību apkārtējai videi [25], īpaši tajā gadījumā, ja šie produkti ir lielā apjomā.

Viena no galvenajām piesārņojuma problēmām ir plānās naftas plēvītes esamība ar tai piemītošo īpašību ātrā laikā izplatīties lielos attālumos, traucējot skābekļa apmaiņu. Perspektīvākā un ekoloģiski mērķtiecīgākā tiek uzskatīta naftas produktu plēvītes novākšana ar

naftas sorbentu palīdzību. Atkarībā no naftas plēvītes vecuma iegūto sorbentu sorbcijas spēju pētījumi ļauj izdarīt secinājumu – jo naftas plēvīte „vecāka” laika ziņā, jo grūtāk tā novācama no ūdens virsmas. No drošības viedokļa pastāv apkārtējās vides piesārņojuma indikatoru sistēma.

Profesors Gotfrīds Noviks savā grāmatā „Ekotehnoloģijas pamati” [32] apskata vairākas piesārņojuma indikatoru grupas. Pirmā no tām – vispārējā grupa, kas ietver piesārņojošā produkta materiālietilpību M , piesārņojuma koeficientu P_m , kas ietver papildu piesārņojumu no tehnoloģiskā procesa, un koeficientu R_m , kas ietver vides piesārņojumu no turpmākās utilizācijas. Otrā grupa skar enerģētiskos aspektus, kas saistīti ar piesārņojošā produkta aizvākšanu, bet trešā grupa novērtē piesārņojuma aizvākšanas procesa ekonomisko pusi.

1.2. Naftas produktu savākšanas metodes

Dabas attīrīšanu no naftas var iedalīt trijos veidos [32, 33]:

- 1) ūdens attīrīšana no NP;
- 2) krasta joslas attīrīšana;
- 3) piesārņotās grunts attīrīšana.

Savukārt pēc naftas produktu noplūdes likvidācijas metodēm tās var iedalīt pēc savākšanas/likvidācijas principa:

- 1) mehāniskā veida;
- 2) ķīmiskā veida.

Naftas produktu noplūdes seku likvidācija mehāniskā veidā – bonas

Naftas noplūdes seku likvidācijā prioritāte tiek piešķirta naftas produktu mehāniskai savākšanai, vispirms to lokalizējot. Visizplatītākais veids izlijušas naftas lokalizēšanai ir norobežot piesārņojuma tālāko izplatīšanos ar bonām un pēc tam to savākt ar mehāniskām ierīcēm.

Ierobežojumi ar bonām (bonas) veido peldošus šķēršļus, kas paredzēti ūdenī izplūdušo NP izplatīšanās lokalizācijai un to transportēšanai nelielā attālumā [34].

Vispārējā bonu konstrukcija parādīta shēmā (1.1., 1.2. att.).

Mehāniskā NP novākšana no ūdens virsmas

Pēc naftas produktu lokalizēšanas var sākt to savākšanu. Visbiežāk to veic, izmantojot mehāniskas ierīces – uztvērējus (ang. *skimmer*). Izšķir vairākus uztvērēju veidus: peldošos, skrūvju, virvju, lenšu utt. [33, 38].

Visi peldošie uztvērēji būtībā ir sūkņi, kuru ieplūdes atvere atrodas zem ūdens līmeņa un, sākot darbību, tie sāk iesūkt uz ūdens virsmas izveidojušos naftas produktu plēvi.

Skrūvju uztvērēji darbojas tāpat kā visi tālāk minētie uztvērēji, īpatnība ir tā, ka nosaukumā ir atspoguļota tā uztvērēja detaļa, kas uztver naftas produktu un nogādā to savācējbunkurā.

NP savākšana no ūdens virsmas ar ķīmisko vielu palīdzību

Izņēmuma gadījumos, lai nepieļautu īpaši jutīgu jūras piekrastes rajonu piesārņošanu ar NP, noplūdušo naftu var apstrādāt ar disperģentiem, ja vien ir dota atļauja lietot disperģentus un noplūdusī nafta vēl nav emulgējusi [39]. Disperģenti ir ķīmisku deterģentu paveids, ko izsmidzina virs naftas plankumiem no lidmašīnām vai laivām. Ķīmikālijas sašķel naftu ļoti sīkās lāsītēs, kas vertikāli izkliedējas ūdenī. Disperģentu lietošana paātrina tās pašas fizikālās un ķīmiskās sabrukšanas norises, kuras būtu notikušas dabiskā ceļā. Disperģentus var izsmidzināt tieši virs naftas plankumiem ar speciālu peldošo staciju vai lidmašīnu palīdzību.

Piesārņotas krasta joslas attīrīšana

Piesārņotas krasta joslas atjaunošanai vai aizsargāšanai praktiski tiek lietotas trīs pamatmetodes [40]:

- 1) ja apstākļi atļauj, starp naftas plakumu un krasta līniju var tikt uzstādīta aizsargbarjera, tādējādi nemaz neļaujot naftas piesārņojumam sasniegt krastu;
- 2) ja aizsargbarjeru nav iespējams uzstādīt, naftas plankumu apsmidzina ar ķīmikālijām, lai ogļūdeņraži netiktu šķēlti pludmalē. Šāda apstrāde neļauj izšķīdušajai naftai pielipt pie krastā esošajām smiltīm un akmeņiem, atvieglo tās savākšanas procesu vai arī veicina dabisko noārdīšanos;
- 3) ja pludmale ir piesārņota, ir divas iespējas – apstrādāt krasta līniju ar jau pieminētajām ķīmikālijām vai arī naftu savākt mehāniski.

Viena no savākšanas iekārtām ir piekabes tipa, ko velk kāda no būvmašīnām, piemēram, traktors. Šī iekārta attīra smiltis vai zāli ar atsperēm caurvītiem žuburiem, kas ieurbjas smiltīs un iesviež vērstuvē naftas pikučus, kas tālāk tiek novirzīti uz hidraulisko tvertni iekārtas aizmugurē.

Piesārņotas grunts attīrīšana

Piesārņotās grunts piesārņojuma atdalīšana notiek ar fizisku un ķīmisku līdzekļu palīdzību. Šajos procesos cenšas atdalīt kaitīgās vielas no grunts, smiltīm vai abrazīvā materiāla. Atdalīšanu var veikt ar dažādām metodēm [42].

Atdalīšana ar gravitācijas spēka palīdzību. Šeit procesu var pamatot ar dažādu blīvumu dažādās šķīduma stadijās. Iekārtas izmērs un attīrīšanas efektivitāte, izmantojot gravitāciju, ir atkarīga no naftas vai tās produktu izplatīšanās ātruma noregulēšanas, vielas daļiņu izmēra, blīvuma starpības, viskozitātes un daļiņu koncentrācijas. Atdalīšanu ar gravitāciju lieto arī, lai likvidētu nesajaucēšos naftas slāņus un klasificētu daļiņas ar dažādiem izmēriem. Parasti pirms tam lieto koagulāciju un flotāciju, lai palielinātu daļiņu izmēru, kas atvieglo atdalīšanas procesu.

Fiziskā atdalīšana ar sietu. Atdalīšanas procesā izmanto dažāda izmēra sietus un ekrānus, lai efektīvi koncentrētu naftu un tās produktus mazākos apjomos. Fiziskās atdalīšanas pamatā ir fakts, ka organiskās un neorganiskās vielas savienojas savā starpā gan ķīmiski, gan fiziski, it īpaši tas izpaužas mālā un dūņās. Māla un dūņu daļiņas fiziski ir piesaistītas pie rupjās smiltis vai grunts, kas lieliski koncentrē NP mazā tilpuma vienībā, līdz ar to ir vieglāk apstrādāt. Fiziskās atdalīšanas lielākā priekšrocība ir tā, ka augstu attīrīšanas līmeni var panākt ar salīdzinoši mazu iekārtu daudzumu. Taču pastāv virkne faktoru, kas var ierobežot abu šo procesu efektivitāti un lietojamību. Viens no tādiem ir augsts māla un mitruma saturs augsnē, kas palielinās attīrīšanas izdevumus. Atdalīšanā ar gravitācijas spēka palīdzību procesi ir balstīti uz cietvielu un šķīduma dažādajiem īpatsvariem.

Augsnes skalošana. Augsnes skalošanas procesā ūdens tiek piesātināts ar izskalošanas aģentu, virsmas aktīvajām vielām, pH regulējošām vielām vai koloīdiem aģentiem, kas palīdz atdalīt organiskās vielas. Augsnes skalošanas procesā indes tiek atdalītas divos veidos – atbrīvojot vai radot citas vielas, kā arī sakopojot tās mazos daudzumos lielās koncentrācijās [43].

Piesārņotās augsnes attīrīšanas ar daļiņu samazināšanu koncepcijas pamatā ir fakts, ka NP ir tendence saistīties fiziski vai ķīmiski ar mālu, dūņām vai organiskajām augsnes daļiņām. Savukārt māli un dūņas pie smiltīm ir piesaistīti ar fiziskām metodēm, tādām kā sablīvēšana un pielipšana. Mazgāšanas procesā no augsnes tiek atdalīti ne vien māli un smiltis, bet tiek samazinātas arī naftas produktu daļiņas augsnē, lai pēc tam ar tām varētu vieglāk strādāt. Arī šai metodei pastāv virkne faktoru, kas var ierobežot procesa efektivitāti un lietojamību. Mazgājot augsni, kas piesārņota ar NP, var rasties daudz un dažādi nevēlamie šķīdumi (piemēram, organiskās vielas un metāli), kam nepieciešama papildu apstrāde, līdz ar to

palielinās izmaksas un tiek sarežģīts attīrīšanas process. Augsts humusa saturs augsnē var radīt lielas izmaksas, jo mālainās augsnēs ir problemātiski atdalīt humusvielas. Piesātinātajam ūdenim ir nepieciešama arī papildu apstrāde un demobilizācija.

1.3. Sorbenti

Ūdenī izplūdušu NP savākšanai plaši izmanto dažādus sorbentus, kā materiālus ar attīstītu virsmu lieto dabīgus un mākslīgus [51, 52]. Tiem tiek izvirzīta virkne prasību: maksimāli pieejamais sorbcijas tilpums, birstamība, peldspēja, maza sagulstamība, neitrāla iedarbība uz apkārtējo vidi, izturība pret dilšanu (gadījumā, ja izmanto ieberamajos filtros), reģenerācijas iespēja u. c. (1.2. tabula).

Ūdens attīrīšanai no NP izmanto azbesta papīru un kartonu [53]. Šajā gadījumā sorbenta reģenerāciju veic izkarsējot. Ir izplatīti polimēru sorbenti, ko var reģenerēt ar šķīdinātājiem [54] vai izspiežot [55].

1.2. tabula

Birstošo sorbentu galvenās īpašības

<i>Īpašības</i>	<i>Mērvienības</i>	<i>Diapazons</i>
Sorbcijas tilpums	g/g	1,5–50
Uzbēruma blīvums	g/cm ³	2,00–3,80
Plūstamība	s	10–20
Mitrums	%	līdz 10
Peldspēja	Diennakts	no 2 līdz 10

Hidrofobizēto bazalta šķiedru bāzes sorbentus arī reģenerē izspiežot vai sadedzinot NP atlikumu [56]. Kā sorbentu izmantojamās ēveļskaidas un zāģskaidas, kas ievietotas caurlaidīgā auduma apvalkā [57], var utilizēt sadedzinot, vienlaikus izstrādājot enerģiju.

Visiem iepriekš minētajiem sorbentiem ir vēl viens kopējs trūkums: apgrūtināta duļķu novākšana no ūdens virsmas pēc sorbcijas procesa realizācijas. Galvenokārt to veic mehāniskā ceļā – ar grebļiem, veltņiem. Dažkārt tiek izmantoti duļķu sūkņi [60], kas darbojas ar bonu iežogojumu ierobežotā paaugstinātas NP koncentrācijas zonā.

Daudzas eksistējošās metodes izplūdušo NP atlikumu savākšanā veicina dažādu emulgatoru izmantošanu, tajā skaitā uz virsmas aktīvo vielu bāzes. Šīs metodes ir saistītas ar vides ķīmisko piesārņošanu, tām ir raksturīgas grūtības pilnīgi utilizēt materiālus un palielināti izdevumi.

1.4. Feromagnētisko sorbentu apskats

Magnētisko īpašības piešķiršana sorbentiem var nodrošināt ievērojamu to izmantošanas efektivitātes paaugstināšanu, jo paveras iespēja attīrāmajā vidē ievadīt sorbentus dispersitātes fāzes veidā pie kontrolējamās virsmas un izvilkt no vides ar magnētu un elektromagnētu palīdzību [69–70]. Iespēja izmantot dispersos feromagnētiskos sorbentus (FMS) eļļu un citu naftas produktu savākšanai ūdenstilpņu dibenā apskatīta darbos [71–72]. Vairākās publikācijās doti jauni priekšlikumi par sorbentiem ar magnētiskām īpašībām un aprakstītas iespējas to izmantošanai ūdenī izplūdušo NP produktu vieglo frakciju savākšanā. Tādus darbus veic virkne valstu. Piemēram, viena no metodēm piedāvāta Odesā (Ukrainā) [73].

Rīgas Tehniskajā universitātē darbi sorbentu ar feromagnētiskām īpašībām radīšanā un to izmantošanas tehnoloģijas izstrādē tika sākti pagājušā gadsimta 90. gadu beigās. Pamatā tika izmantoti vienkārši sorbenti no dažāda veida dzelzs pulveriem, kā arī sasmalcinātas velmēšanas plāvas [74,75]. Šiem sorbentiem piemīt virkne būtisku trūkumu. Vispirms tiem ir zema peldspēja un maza sorbcijas spēja. Šajos pētījumos galvenokārt tika izmantoti dzelzs bāzes pulvera materiāli: dzelzs pulveris ASC 100.29 (saputekļots, izmantojams konstruktīvo detaļu ražošanā ar pulvermetallurģijas metodi), pulveris MH 80.23 (atjaunotais porainais, izmantojams automātiski eļļojošo slīdes gultņu ražošanā) un pulveris M20/80-19 (ar pazeminātu oglekļa saturu) [79]. Pulvera rupjumu nosaka tā uzdevums. Pulvera izstrādājumu ražošanas mērķim galvenokārt izmanto pulverus 40–100, bet feromagnētisko suspensiju izgatavošanai izmanto mikronu un submikronu diapazona pulverus [80]. Tādus pulverus parasti izmanto nesagraujošai mašīnbūves un citu nozaru izstrādājumu kontrolei.

Materiālu magnētiskās īpašības lielā mērā nosaka vielas ķīmiskais sastāvs un blīvums. No tām daudzkārt ir atkarīga ar magnētisko vai elektromagnētisko lauku vadāmo tehnoloģisko procesu efektivitāte.

Pētījumi atklāja principiālu dzelzs pulveru lietošanas iespēju dažādu vielu sorbcijai. Turklāt tika noskaidrots, ka efektīvai metodes izmantošanai nepieciešams atrisināt ļoti daudz uzdevumu: novērtēt sorbcijas efektivitāti un samazināt sorbentu izmaksas, palielināt to peldspēju, izmantojot ātrdarbības magnētiskās ierīces, izstrādāt iekārtas sorbentu izsmidzināšanai un duļķu savākšanai.

1.5. Iespējamie komponenti kompozītsorbentu izgatavošanai no viegliem materiāliem

Dzelzi saturošu materiālu feromagnētisko sorbentu galvenais trūkums ir to augstais īpatsvars, paaugstināta oksidējamība un zema peldspēja. Šajā saistībā kompozītsorbentu izgatavošanai jāapskata komponenti no viegliem materiāliem. Pirmkārt, jāpievērš uzmanība dabiskiem viegliem materiāliem, piemēram, sasmalcinātai kūdrai, sapropelīm, zāģskaidām. Tajā pašā laikā pēdējos gados ražošanā parādījušies tādi produkti, kas radīti no tehnoloģiskajiem atlikumiem, kā cenošferas un citi keramikas materiāli.

Keramikas industrijas atkritumi

Keramikas rūpniecībā, izgatavojot apdares flīzes, ķieģeļus u. c., veidojas daudz vieglu sīkdispersu tehnoloģisko atkritumu [91]. To beramblīvums ir 0,45–1,5 g/cm³. Tie galvenokārt satur silīcija dioksīdus un alumīnija oksīdus. Atlikumi tiek atkārtoti izmantoti dažādiem mērķiem. Piemēram, zināms šīhtas materiāls stikla keramikas izstrādājumu izgatavošanai. Tas satur 30–60 % atlikumu no alunda abrazīvo apļu apstrādes keramikas saitē (korunds) un 40–70 % stikla, kas iegūts, sasmalcinot stikla atlikumus.

Tomēr vajadzētu ievērot, ka šādu atlikumu izmantošana sorbentu un to sastāvdaļu statusā var radīt zināmas grūtības sakarā ar nepieciešamību rūpīgi noteikt to ķīmisko sastāvu, šķīrošanu un granulēšanu. Šie materiāli var papildus piesārņot apkārtējo vidi.

Alumosilikātu mikrosfēras

Visvieglākais komponents, kas veidojas vienlaikus ar pelniem, ir alumosilikātu mikrosfēras MSF, kurām mēdz būt ārkārtīgi zems bēruma blīvums (0,3–0,5 g/cm³) un kas tiek aizrautas dūmgāzēs kopā ar ļoti smalkajiem vieglajiem pelniem [93]. Šīs MSF kopā ar pelniem iekļūst pelnu nostādināšanas rezervuāros, kur, pateicoties to zemajam blīvumam, tās uzkrājas galvenokārt uz nogulšņu slāņa virsmas, un tās viegli var aiznest projām lietūs un vējš. Visbīstamākā iespēja ir izplatīšanās apkārtējā vidē ar vēju, jo tādējādi tās var pārvietoties lielos attālumos un iekļūt cilvēku un dzīvnieku elpošanas traktos, veicinot sirds un asinsvadu

sistēmas, kā arī elpošanas ceļu slimības [94]. Tomēr vienlaikus MSF piemīt vairākas unikālas īpašības, kas perspektīvā dod iespējas to efektīvai izmantošanai daudzās mūsdienīgās tehnoloģijās. Tas veicina nepieciešamību uzlabot to savākšanas metodes, padziļināti izpētīt to īpašības un veidošanās mehānismus, kā arī izstrādāt optimālas izmantošanas metodes [95]. Ir divas galvenās MSF kategorijas: „tukšas sfēras”, kurās dobumus piepilda tikai gāze, tā sauktās cenosfēras (CS) un plerosfēras (PS), kurās dobumi ir piepildīti ar mazām minerālvielu daļiņām, putām, sūkļveida vai cita veida porainu struktūru. MSF veidojas no amorfa, stiklam līdzīga materiāla, kas satur amorfu SiO_2 (50–65 svara %), Al_2O_3 (20–30 svara %), Fe_2O_3 (1–8 svara %), kā arī Ca, Mg u. c. fosfātiem, sulfātiem, hlorīdiem, kā arī kvarca, mullīta u. c.

Kūdra

Kūdra ir viena no Latvijas ievērojamākajām dabas bagātībām. Purvu kopplatība Latvijā sasniedz 6401 km² jeb 9,9 % no valsts teritorijas.

Kūdra kā dabisks sorbents pazīstama jau diezgan sen, tā tiek izmantota dažādos filtros, lai attīrītu no ūdenī izšķīdušiem organiskiem un naftu saturošiem produktiem. Kūdras morfoloģiskais un ķīmiskais sastāvs ļauj tai veikt mehānisko attīrīšanu uz šķiedrainās struktūras rēķina, kā arī bioloģisko un ķīmisko attīrīšanu. Tas padara kūdru par vienu no optimālākajiem un budžeta variantiem, lai izmantotu to kā filtrējošu materiālu notekūdeņu attīrīšanas sistēmās [98].

Sapropelis

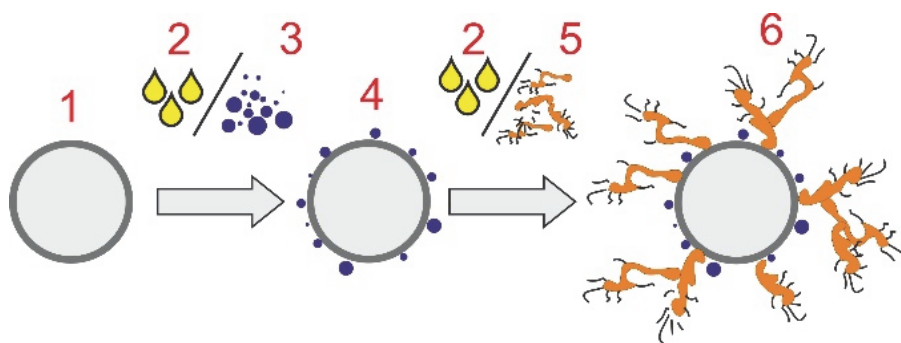
Sapropelis veidojas saldūdens ūdenskrātuvju dibenā, lielākoties tādos ezeros, kuriem nav caurteces [101]. Pēc iegūšanas tas tiek izžāvēts un kļūst par pulveri, ko pēc tam presē granulās vai atstāj beramā veidā. Ir jāatzīmē, ka sapropelim sākotnējā stāvoklī mitrums ir līdz 97 %. Tas ātri žūst līdz 55 % mitruma, pēc tam ļoti lēni izžūst. Īpatsvars izžāvētā veidā sasniedz 1,4–1,7 g/cm³. Kā sorbentus vislietderīgāk ir izmantot granulas.

2. TEORĒTISKĀ DAĻA

Iepriekšējie pētījumi sorbentu ar feromagnētiskajām īpašībām jomā norāda, ka nepieciešams tālāk pilnveidot efektīva sorbenta ar paaugstinātu sorbciju un peldspēju radīšanas metodiku, kā arī analizēt tā mijiedarbību ar elektromagnētiskajām un magnētiskajām sistēmām. Turklāt ir skaidrs, ka efektīvam sorbentam ir jābūt kombinētam produktam, kas sastāv no vairākiem komponentiem.

2.1. Kombinēta feromagnētiskā sorbenta modelis

Autoru [102] piedāvātā jaunā kombinētā sorbenta (*Comsor*) pamatā ir dobja plānsienu mikrosfēra **1** no keramikas materiāla (2.1. att.). Tai ir mazs īpatsvars un laba peldspēja. Tās virsmai sākotnējā veidā ir maza īpatnējā virsma. Turklāt pašai mikrosfērai parasti nepiemīt magnētiskās īpašības. Tāpēc, izmantojot saistvielu **2**, uz mikrosfēras **1** virsmas tiek uzklāta feromagnētisko daļiņu **3** kārtā pulvera veidā. Šāda sorbenta efektivitāte kopumā ir atkarīga no šo daļiņu un konglomerāta magnētiskajām īpašībām. Uz mikrosfēras virsmas var uzklāt citu materiālu **5** pārsļveida daļiņas, kuru uzdevums ir uzlabot saķeri ar NP.

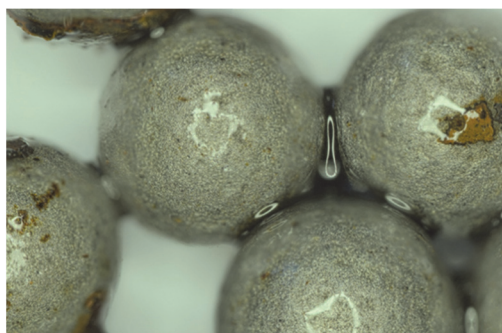


2.1. attēls. Sorbenta veidošanas stadijas.

1 – cenosfēra, 2 – saistviela, 3 – dzelzi saturošs pulveris, 4 – CS Comsor, 5 – kūdras daļiņas, 6 – CS Comsor-125.

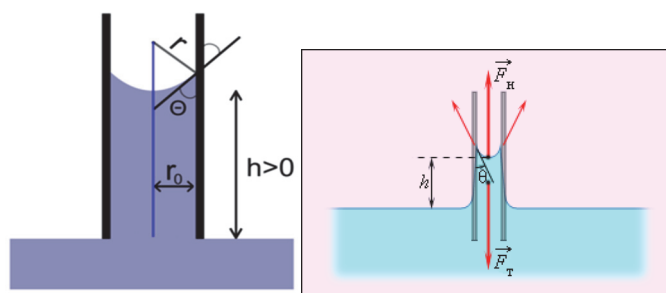
NP sorbcija, izmantojot mikrosfēras, notiek ar daudziem procesiem [103]:

- NP saķere ar feromagnētiskajām daļiņām ar adhēziju;
- NP mehāniskā saķere ar pārsļveida elementiem;
- NP aizturēšana starp daļiņām ar kapilāro efektu (2.2. att.).



2.2. attēls. NP aizturēšana mikrosfēru izveidotajos dobumos.

Šajā gadījumā kapilārajiem efektiem ir svarīga loma (2.3. att.).



2.3. attēls. Kapilāru parādību shēma (a) un spēku darbība kapilārā (b).

Formula, kas nosaka šķidruma pacelšanas augstumu kapilārā (Borelli-Žirēna formula), attēlota kā:

$$h = 2\sigma \cos\theta / r_0(p - p_0)g, \quad (2.1.)$$

kur

- σ – šķidruma virsmas spraiguma koeficients;
- h – šķidruma staba pacelšanās augstums;
- θ – leņķis starp kapilāra sienu un slapinošā šķidruma virsmu;
- g – brīvās krišanas paātrinājums;

p – šķidruma blīvums;
 p_0 – gāzveida fāzes blīvums;
 r_0 – kapilāra rādiuss.

Jo mazāks kapilāra rādiuss r_0 , jo augstāk tajā paceļas šķidrums. Šķidruma staba paceļšanās augstums pieaug arī līdz ar šķidruma virsmas sprieguma koeficienta palielināšanos. Šķidruma paceļšanās kapilārā turpinās līdz brīdim, kamēr smaguma spēka F_T , kas iedarbojas uz šķidruma stabu kapilārā, modulis nebūs vienāds ar rezultātā iegūto virsmas sprieguma F_H spēku moduli, kas darbojas gar šķidruma saskarsmes robežu ar kapilāra virsmu.

Aprēķini tika veikti šādiem materiāliem:

- keramikas mikrosfērai, kuras diametrs ir 100 μm , blīvums 0,4 g/cm³;
- dzelzs pulvera monoslānim ar daļiņu izmēru 30 μm .

F_T – duļķu smaguma spēks (2.3. b att.) ir atkarīgs no sorbenta, NP, ūdens masas un īpatnsvara. Aprēķinos var pieņemt ūdens daudzumu, kas tiek noturēts mikrosfēras porās līdz 5–8 %, bet eļļas uzsūkšanas spēju – līdz 30 % no sorbenta masas.

2.2. Magnētiskā lauka iedarbība uz sīkdispersajām daļiņām ūdenī

NP attīrīšanas no ūdens, izmantojot feromagnētiskos sorbentus, metodes pamatā ir magnētiskā lauka mijiedarbība ar sīkdispersām daļiņām, kam piemīt magnētiskas īpašības [106]. Lielākoties interesanti ir dzelzs un dzelzi saturošie materiāli, kuros ir niķelis un kobalts. Magnētiskā lauka iedarbībā magnētiskajā materiālā notiek magnetizācija J , kam raksturīgs materiāla apjoma magnētiskais moments M/V . Magnētiskā materiāla magnetizācija pie zināmas magnētiskā lauka intensitātes sprieguma H_E sasniedz vislielāko vērtību J_E , kas pie turpmākas lauka sprieguma palielināšanās nemainās. Šo vērtību sauc par piesātinājuma magnetizāciju. Dzelzij tā ir $1,27 \cdot 10^6$ A/m [107]. To var sasniegt ar lielām magnētiskā lauka indukcijas vērtībām. Dzelzij tā ir apmēram 2,15 T_L, bet niķelim – tikai 0,61 T_L [108].

Ir jānosver, ka magnētisko materiālu īpašības, piemēram, piesātinājuma magnetizācija, magnētiskā caurlaidība, magnētiskā enerģija u. c. ir atkarīga galvenokārt no materiāla kristāliskās struktūras. Tāpēc niķeli saturošo tērauda atkritumu izmantošana par pamatu sorbentam būs atzīstama par labāku, bet varam vai fosforam sorbenta sastāvā nebūs nekādas ietekmes uz sorbcijas procesu.

Ja elektromagnētiskais lauks iedarbojas ar spriegumu H_1 , materiāla magnetizācija sasniedz lielumu J_n , bet tad mainās atkarībā no relaksācijas laika k .

$$J_n = J_\infty (1 - e^{-t/k}), \quad (2.2.)$$

kur

J_∞ – materiāla magnetizācija pie $t = \infty$;

k – relaksācijas laiks.

Tehniski tīra dzelzs ir magnētisks materiāls ar vislielāko piesātinājuma magnetizāciju, tāpēc to ir vislietderīgāk izmantot sorbenta izgatavošanai.

Cits svarīgs parametrs, kas ietekmē feromagnētiskā sorbenta sorbcijas procesu, ir tā magnētiskā caurlaidība μ . Tā norāda, cik reižu magnētiskā lauka indukcija vidē B (tas ir, sorbenta uz NP virsmas) atšķiras no ārējā magnetizētā lauka B_0 .

Paaugstināts oglekļa, skābekļa un sēra saturs visvairāk samazina μ , tāpēc sorbenta ilgstoša glabāšana izraisīs tā kvalitātes pasliktināšanos un sorbcijas efektivitātes samazināšanos. Nav lietderīga arī augsta oglekļa satura tērauda kā feromagnētiskā sorbenta elementu izmantošana.

Duļķu noturēšana uz ūdens-eļļas virsmas notiek uz vides virsmas nostiepšanas spēku rēķina (šajā gadījumā tā ir ūdens-eļļas plēvīte), kā arī pateicoties gaisa spilvenam, kas atrodas sorbenta daļiņu porās. Duļķēm paceļoties plēvītes virsmas izliekšanās rezultātā, F_a vērtība samazināsies. F_a vērtību, aprēķinot magnēta spēka vajadzīgo jaudu, var ņemt vērā koeficienta 1,1–1,2 veidā.

Elektromagnēta F_m cēlējspēka vērtību nosaka pēc formulas:

$$F_m = 4\pi \left(\frac{nI\mu\alpha}{cL} \right)^2, \quad (2.3.)$$

kur

n – elektromagnēta vijumu skaits;

I – strāvas stiprums tinumā;

μ – vides magnētiskā caurlaidība;

α – magnēta biezums;

L – kontūra perimetrs;

c – gaismas ātrums.

3. METODISKĀ DAĻA

3.1. Eksperimentālā pētījuma metodoloģija, metodes un iekārtas

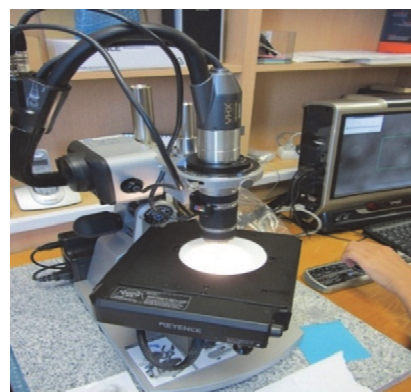
Daļiņu izmērs tika noteikts, izmantojot gaismas mikroskopijas metodi ar mikroskopu *Biolam 70-R*. Pulvera frakciju sastāva izpēte tika veikta, izmantojot ierīci saskaņā ar metodiku [109]. Sauso pulveru un maisījumu plūstamības tika novērtēta pēc metodikas ierīcē, kas parādīta 3.1. attēlā.

Daļiņu virsmas morfoloģijas pētīšanai izmantots skenējošs elektronu mikroskops (SEM) *Zeiss EVO MA-15* ar augstu izšķirtspēju, atstaroto elektronu detektoru.

Tika veikts eksperimentālais darbs ar pulverveida materiāliem, kuru daļiņu izmērs ir no 10 μm līdz 200 μm . Tāpēc pašu pulveru, izgatavoto maisījumu, kā arī duļķu, kuru sastāvā ir feromagnētiskais pulveris, ūdens un naftas produkti, īpašību izpētei izmantotas daudzveidīgas iekārtas. Vispirms tika noteiktas tādas īpašības kā daļiņu beramsvars, izmērs un forma, pulverveida materiālu plūstamība, saistītspēja attiecībā uz naftas produktiem, ūdensuzsūce, peldspēja u. c.



3.1. attēls. Pulvera plūstamības novērtēšanas ierīce.



3.2. attēls. Mikroskops VHX-2000: Keyence REMAX.

Lai novērtētu beramsvaru, tika izmantots tilpuma skaitītājs [110]. Tika nosvērta koniska graduēta plastmasas mēģene, kuras tilpums ir $1,5 \text{ cm}^3$, tajā tika ievietotas pētāmās vielas 1 cm^3 , un tika noteikts mēģenes svārs ar vielu. Vielas beramsvaru aprēķināja kā mēģenes ar vielu un pašas mēģenes svāra starpību. Svēršana notika ar *Ohaus* firmas analītiskajiem svariem ar mērījumu precizitāti $0,1 \text{ mg}$ un sekundāro elektronu detektoru (SE) [111]. Melnbaltie attēli iegūti ar datora palīdzību un analizēti *Image Pro 7* attēlu analīzes sistēmā (*Media Cybernetics*) [112]. EDS, aprīkots ar *INCA Energy 350*, tika izmantots, lai novērtētu CS morfoloģiju un struktūru.

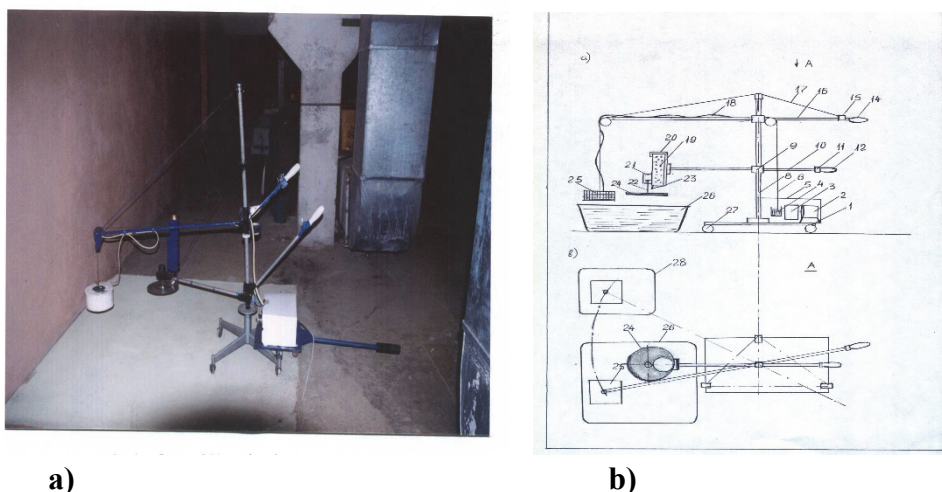
Kriogēnā lūzuma virsma tika izmantota, lai uzņemtu skenējošo elektronu mikrogrāfiju. Korporācijas *Keyence* optiskais mikroskops VHX-2000 ar VH-Z20R/W un VH-Z500R/W objektīviem tika izmantots optiskajai attēlu veidošanai (3.2. att.) [113].

Termogravimetriskajiem pētījumiem izmantota *Jupiter* firmas „*NETZSCH-Gerätebau GmbH*” (Vācija) termiskās analīzes iekārta STA 449F1 [114].

XRD mērījumi tika veikti, izmantojot *Rigaku Ultima+* difraktometru ar Cu Ka apstarošanu. Kristāliskās fāzes identifikācija tika realizēta ar *International Centre for Diffraction Data (ICDD)* datubāzes un *Slewe+2008* programmatūras palīdzību [115].

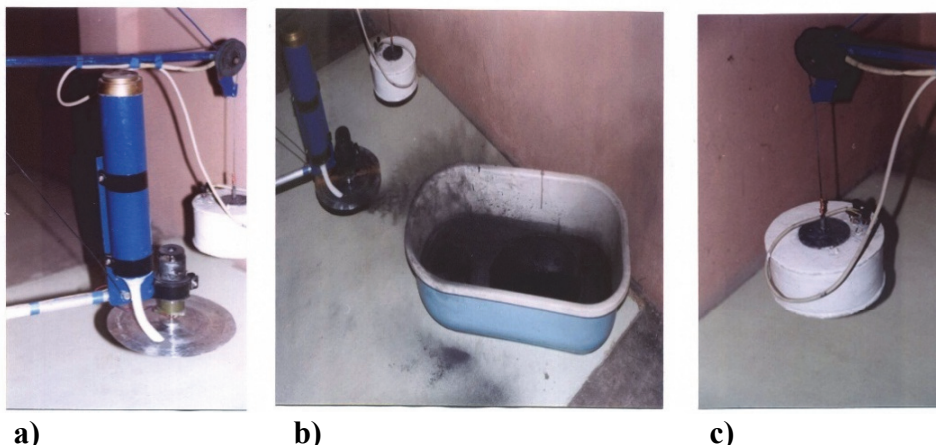
Pulveru īpatnējā virsma noteikta ar firmas „*Beckman Coulter, Inc.*” (ASV) analizatoru SA 3100 [125].

Pulveru izsmidzināšana tika veikta ar jaunizstrādātās iekārtas palīdzību [117] (3.3. attēls).



3.3. attēls. Eksperimentālā ierīce pulverveida sorbenta izsmidzināšanai un duļķu savākšanai, izmantojot elektromagnētu: (a) kopskats un (b) shēma.

Ierīce (3.3. att.) sastāv no pārvietojamās platformas **1**, kurā ir uzstādīts elektromotors **2** ar reduktoru **3** un vinča **4**. Elektromagnēta pacelšanas pievads **25** nosegts ar apvalku **5**, elektromagnēts pakārts tērauda trosē **6**. Uz platformas **1** uzstādīts arī vertikāls statnis **8**, uz kura, izmantojot uznavu **9**, nostiprināts horizontāls stienis **10** ar pulvera izsmidzināšanas mezglu. Pulveris atrodas tvertnē **19** ar **23** un vāciņu **20**, uz tvertnes **19** sienas nostiprināts elektromotors **21** ar vārpstu **22** un disku **24**. Elektromagnēta **25** pagriešanas vadība tiek īstenota ar rokturi **14**, kas atrodas uz horizontālā stieņa **16**. Tvertnes (3.4.a att.) ietilpība ir 2 litri. Ar piedziņas palīdzību disks **24** griežas ar ātrumu 2000 apgr./min., kas ļauj veikt pulvera izsmidzināšanu ar ātrumu 2–2,5 m/min.



3.4. attēls. Eksperimentālās iekārtas mezgli: izsmidzināšanas mehānisms (a), vanna (b) un elektromagnētiskā spole duļķu pacelšanai ar elastīgu trosi (c).

Elektromagnēta nolaišana līdz ūdens virsmai notiek, izmantojot pievadu ar elektrodzinēju. Elektromagnēta pārvietošana darba zonas horizontālajā plaknē notiek ar sviras **16** un roktura **15** palīdzību. Plakanā tipa elektromagnēts sver 4 kg. Tas ir novīts no vara vada, kura diametrs ir 1,2 mm. Padodot 4 A strāvu uz tinumu, tā celtpēja sasniedz 0,3 kg, bet pie 6 A strāvas – 7,5 kg.

Sorbentu izgatavošanai izmantota materiālu sasmalcināšana ar liela ātruma dezintegratora palīdzību (12000 apgr.⁻¹) [128], pulveru sajaukšana un emulsijas sagatavošana, izmantojot dispergatoru [116]. *Sorbenta ar uzņemtajiem NP savākšana* realizēta ar magnētiskās [118] un elektromagnētiskās iekārtas [120] palīdzību, kas tika izstrādāta no jauna.

Sorbentu un izejvielu ūdensuzsūces noteikšana tika veikta saskaņā ar metodiku. Plastmasas mēģenē, kuras tilpums ir 5 cm³, tika ievietoti pa 500 mg sākotnējās vielas un sorbenta, nosvērtas mēģenes un pievienoti 4 ml ūdens. Mēģenes ar vielu vai sorbentu un ūdeni tika ievietotas mehāniskajā kratītājā vai inkubētas 30 minūšu laikā. No mēģenēm tika noliets ūdens caur biezu papīra filtru, un tika noteikts mēģenes svars kopā ar sorbentu pēc kontakta ar ūdeni. Tika veikti aprēķini par sākotnējā materiāla un uz tā pamata iegūtā sorbenta ūdensuzsūces attiecību.

Sorbentu saistīšanas spēja attiecībā pret naftas produktiem tika noteikta saskaņā ar metodiku [16]. Iepriekš nosvērtā Petri plastmasas traukā ar tilpumu 50 cm³ tika ielieti 30 cm³ ūdens un 1 cm³ naftas. Tika paņemts sorbenta iesvars 50 mg vai 100 mg, un no augšas tika uzlikts sorbents uz naftas produktu plankuma, samaisīts, viegli šūpojot 5 minūtes, un savāktais maisījums tika noņemts no virsmas. Noņemšanas pilnīgums tika vērtēts vai nu vizuāli, vai ar svēršanu.

Kinētisko noturību dispersajās sistēmās (dispersās sistēmas spēja saglabāt vienmērīgu daļiņu izkārtojumu pa visu dispersijas vides tilpumu) apraksta ar Stoksa likumu [129]:

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\mu}, \quad (3.1.)$$

kur

V_s – nostabilizējies daļiņas ātrums (m/s) (daļiņa kustas virzienā uz leju, ja $\rho_p > \rho_f$,

un uz augšu gadījumā, ja $\rho_p < \rho_f$);

r – daļiņas Stoksa rādiuss, m;

g – brīvās krišanas paātrinājums, m/s²;

ρ_p – daļiņu blīvums, kg/m³;

ρ_f – šķidrums blīvums, kg/m³;

μ – šķidrums dinamiskā viskozitāte, Pa·s.

Pamatojoties uz Stoksa formulu (3.2.), sedimentācijas (noslāņošanās) ātrums ir tieši proporcionāls daļiņu rādiusa, fāzes un vides blīvumu starpības kvadrātam, kā arī apgriezti proporcionāls vides viskozitātei.

Starpdaļiņu tukšumu aizņemto tilpumu aprēķina pēc formulas (3.2):

$$P = \frac{V_{\text{par}} - (V_{\text{kop}} - V_{\text{šķid}})}{V_{\text{par}}} 100\%, \quad (3.2.)$$

kur

V_{par} – brīvi bērtā parauga tilpums, ml;

V_{kop} – maisījuma (paraugs + šķidrums) tilpums, ml;

$V_{\text{šķid}}$ – cietes šķīduma tilpums, ml.

Materiālu magnetizēšana notika ar magnetizēšanas ierīces palīdzību (3.5. att.). Materiāla magnetizēšana tika vērtēta, izmantojot gaussmetru (3.6. att.).



3.5. attēls. Magnetizēšanas ierīce.



3.6. attēls. Gauss- / Teslametrs FH-55, MAGNET-PHYSIK Dr. Steingroever GmbH.

3.2. Pētījumiem izmantotie materiāli

Kā sākotnējie pulverveida materiāli sorbentu ar feromagnētiskajām īpašībām izgatavošanai tika izmantoti dzelzs pulveri, velmēšanas plāvas un dažu citu metalurģijas rūpniecības metāla atkritumu sasmalcinātās daļiņas. Piemēram, autors izvēlējās šādu marku metāla pulveri: ASC 100.29 – izsmidzināts, izmantots konstrukcijas detaļu ražošanā ar pulvermetalurģijas metodēm; MH 80.23 – atjaunots porains, izmantots pašēļļošanas slīdgultņu ražošanā; M20/80-19 ar pazeminātu oglekļa saturu un R-12 ar pazeminātu ūdeņraža saturu, ko izmanto berzes izstrādājumu ražošanā. Visi pulveri ir firmas *Höganäs AB* (Zviedrija) [79] ražojums. Vēl tika izmantoti pulveri *ПЖРВ* [PŽRV], kas izsmidzināti ar gaisu un ražoti *ООО „СМ-Тяжмаш”* (SIA *SSM-Tyazmash*, Krievija) [126], *ПЖР* [PŽR] 3.315.26-30, kas izsmidzināti ar ūdeni un ražoti *КЗПМ* [KZPM] (Ukraina) [127]. Tika pētīta arī iespēja kā sorbentu izmantot Liepājas metalurģijas kombināta markas RTUS-1 velmēšanas plāvu.

4. KOMPOZĪTU FEROMAGNĒTISKĀ SORBENTA IZVEIDOŠANA (EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA)

Strādājot pie tēmas „Feromagnētiskie sorbenti un to iespējas izlietu naftas produktu piesārņojuma savākšanā”, liela uzmanība tika pievērsta eksperimentālajam darbam, kas aptvēra feromagnētisko sorbentu izgatavošanas un to darbības posmus, kā arī to atkārtotas izmantošanas un utilizācijas iespējas.

Kompozītu pulverveida feromagnētiskā sorbenta ar izteiktām (KFS)magnētiskajām īpašībām izveidošanas aktualitāte tiek uzsvēta daudzos patentu pētījumos, it īpaši darbos [131–133]. Autori izmanto dažādas bāzes, kas tiek piesātinātas ar sīkdispersajām (feromagnētiskajām) daļiņām. Rīgas Tehniskajā universitātē šajā virzienā sākti pētījumi arī ar *sīki izsmidzinātiem* dzelzs pulveriem [17]. Iepriekšējo pētījumu kopējais trūkums ir sorbenta daļiņu lielaiss īpatsvars un no tā izrietošā sliktā peldspēja.

Šajā darbā ir piedāvāta jauna tehnoloģija kompozītu feromagnētiskā sorbenta (KFS) [134] izgatavošanai, kas ietver keramikas materiāla dobu cenosfēru (CSF) bāzes sagatavošanu, tad to modificēšanu, uzklājot feromagnētisko pulveri un pievienojot vieglos produktus, kas palielina peldspēju un sorbcijas spēju.

Šajā darbā izpētīti četri cenosfēru komerciāli pieejamie veidi, to izcelsme (atradne un TEC) parādīti 4.1. tabulā.

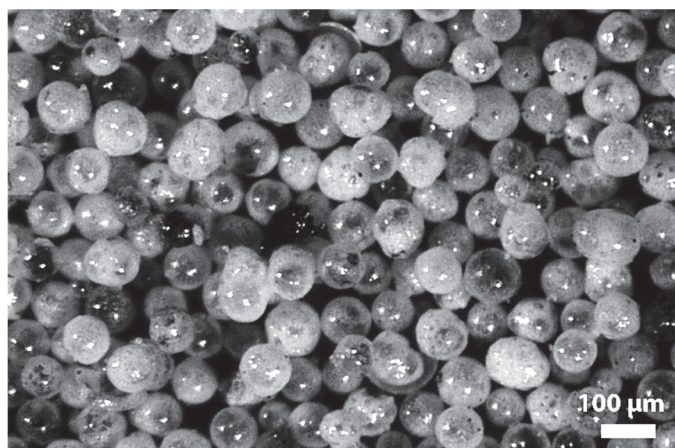
4.1. tabula

Izmantoto CSF apzīmējums, izcelsmes avots un granulometrija

<i>Parauga apzīmējums</i>	<i>Ogļu atradne</i>	<i>TEC</i>	<i>Granulometriskais sastāvs, μm</i>
CSF1	Kuznetckoe	Troickaja	250–500
CSF2	Kuznetckoe	Troickaja	56–100
CSF3	Kuznetckoe	Troickaja	150–250
CSF4	Ekibastuz	Tom-Usinskaja	0–500

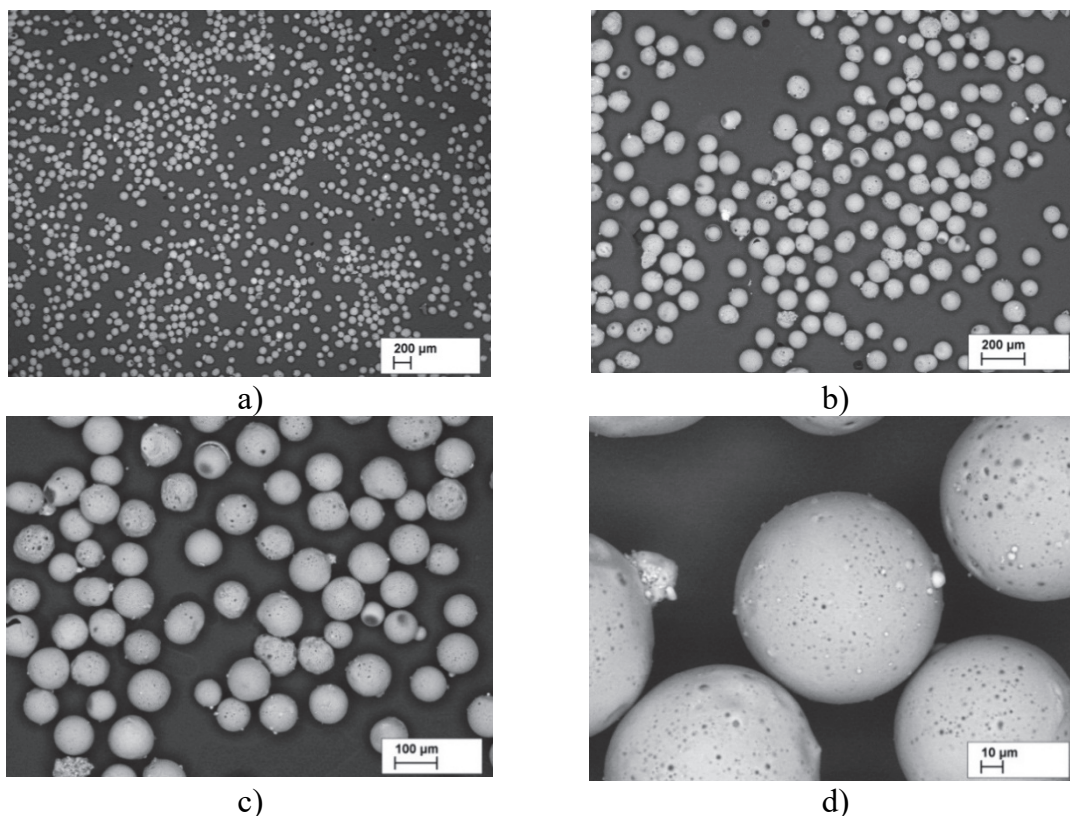
Kā redzams, paraugi CSF1-CSF3 ir nākuši no vienas un tās pašas ogļu atradnes un TEC, kurā veidojas CSF oglekļa dedzināšanas procesā, atšķiras tikai granulometriskais sastāvs un piegādes cena. Tomēr ir nepieciešams noteikt vairākus raksturlielumus, jo var atšķirties gan dedzināšanas režīmi, gan var būt neprecizitātes piegādātāja sniegtajos izejvielu datos.

Kā jau tika norādīts darba teorētiskajā daļā – cenosfēras ir dobi, sfēriski objekti ar gludu virsmu. Cenosfērām, kas tika izmantotas šajā darbā, arī piemīt iepriekš minēto īpašību kopums, kas labi redzams ar optisko (4.1. att.) un SEM mikroskopu iegūtajos attēlos (4.2. att.).



4.1. attēls. Ar optisko mikroskopu CSF2 iegūtā parauga mikrofotogrāfija.

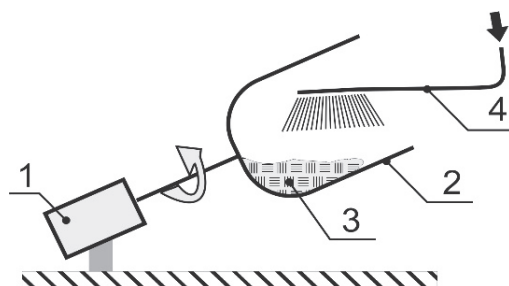
Katram paraugam tika uzņemti vairāk nekā 15 optiskās mikroskopijas attēli. Raksturīgākie no tiem parādīti 4.2. attēlā. To analizējot, var secināt, ka parauga CSF2 gandrīz visām daļiņām piemīt pareiza sfēriska forma praktiski bez ieslēgumiem, tās ir viendabīgas pēc izskata atšķirībā no paraugiem CSF1, CSF3 un CSF4.



4.2. attēls. CSF2 mikrosfēru SEM attēli ar palielinājumu 20x (a), 50x (b), 100x (c), 500x (d).

Paraugā CS1 redzami objekti, kas ļoti atšķiras pēc caurspīdīguma un krāsas – cenošfēras tajā ir caurspīdīgas, puscaurspīdīgas, un necaurspīdīgas (baltas). Iespējams, ka caurspīdīguma pakāpe ir atkarīga no cenošfēru sienas biezuma un tās uzbūves. Paraugam CSF3 ir raksturīgi melni ieslēgumi (iespējams, ka līdz galam nesadegusi ogle). Paraugā CSF4 tika konstatētas lodītes ar izmēru, krietni lielāku par 500 μm, kas vēlāk apstiprinājās arī granulometriskajā analīzē.

Kompozītsorbents (KS) tika izgatavots īpašā sajaucējā – reakcijas kamerā (4.3. att.). Slīpi uzstādīta cilindra nepārtraukta rotācija notika ar ātrumu 300–500 apgr. minūtē.



4.3. attēls. KS ražošanas iekārtas shēma.

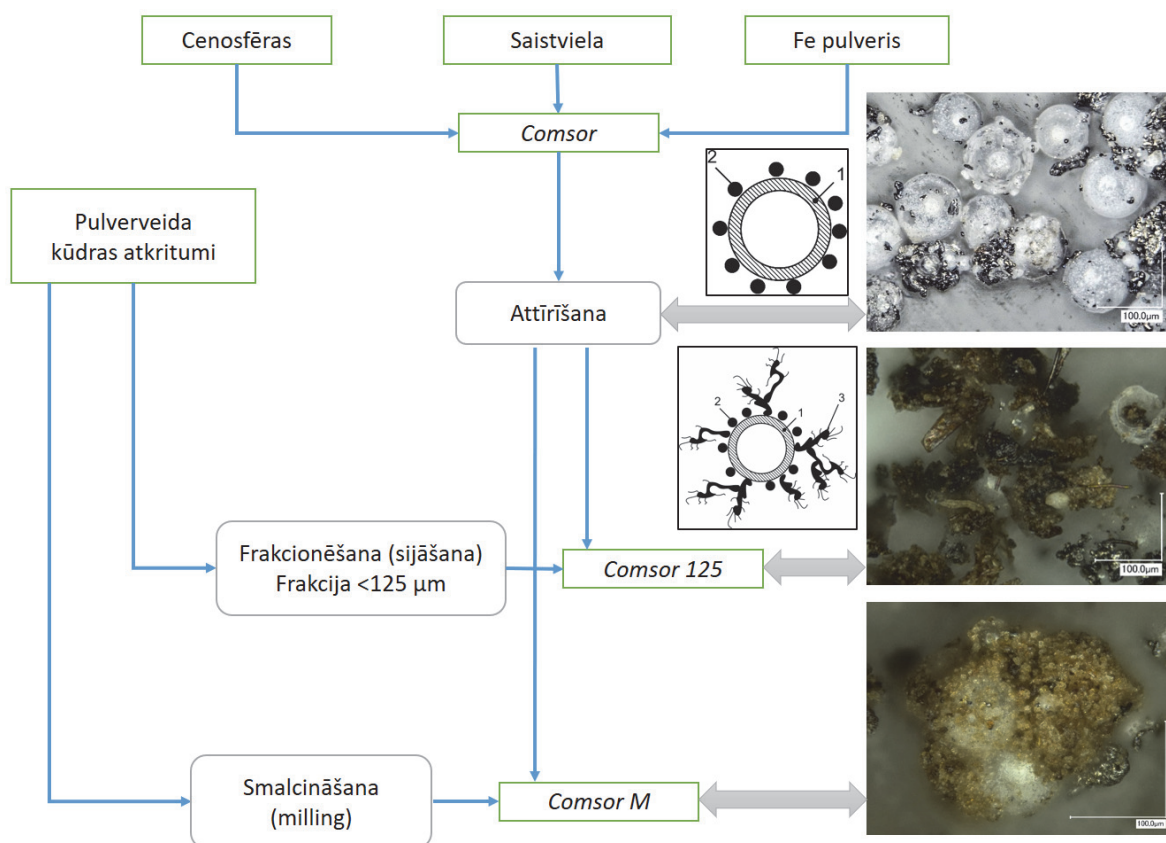
1 – motors, 2 – cilindrs, 3 – apstrādājamais materiāls, 4 – saistvielas piegāde.

Reakcijas kamerā (rotējošs cilindrs) noteiktās proporcijās piegādā mikrosfēras, feromagnētiska materiāla daļiņas, īpatnējo virsmu palielinošo komponentu (piemēram, alumīnija pārslas un/vai kūdras daļiņas). Saistvielu sadursmes laikā, kā arī turpmākās lodīšu izgatavošanas procesā daļiņas savstarpēji salīp, izveidojot KS. Karsējot panāk saistvielas

sacietēšanu. Pēc tam tiek veikta gatavās produkcijas atdalīšana no izejvielu komponentiem ar magnētu un gravitācijas separatoriem. Papildus tam sorbentu var apstrādāt ar hidrofofizējošu sastāvu.

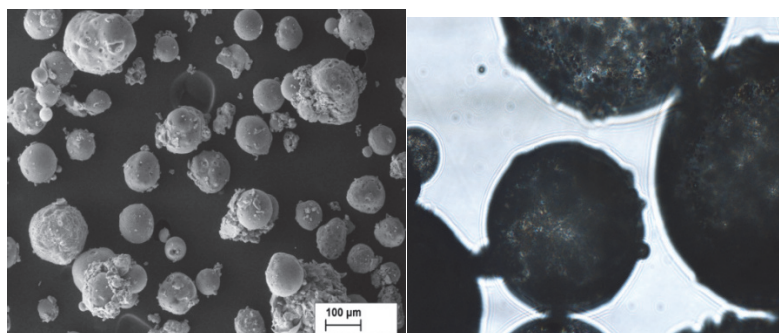
Kompozītsorbenti *Comsor*, *Comsor-125*, *Comsor-M* izstrādāti, Rīgas Tehniskajai universitātei sadarbojoties ar Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmiju. Iegūšanas tehnoloģija ir aprakstīta patentā [2] P-12-205 2012. gada 28. decembrī.

KFS izgatavošanas tehnoloģiskā procesa shēma parādīta 4.4. attēlā.



4.4. attēls. Kompozīta sorbenta *Comsor*, *Comsor-125*, *Comsor-M* iegūšanas shēma un KFS *Comsor* morfoloģija ar dažādu palielinājumu.

KFS mikrostruktūra parādīta 4.5. attēlā.



4.5. attēls. KFS *Comsor* ar dažādu palielinājumu.

Saistvielu sacietēšanu sekmē karsēšana. Gatavā produkta atdalīšanu no izejvielu komponentiem veic ar magnētu un gravitācijas separatoriem.

KFS *Comsor-125* ir izgatavots no KFS *Comsor*, komponenta īpatnējās virsmas maksimizēšanai tiek izmantotas kūdras daļiņas, kas izsijātas caur 125 μ lieliem caurumiem.

KFS *Comsor-M* tiek izgatavots līdzīgā veidā. Tā īpatnējās virsmas maksimizējošo komponentu – kūdras daļiņas, samaltas bumbu dzirnavās, pievada reaktora kamerā noteiktās proporcijās.

Eļļas sorbcijas testu rezultāti iegūtajiem KFS ir šādi: *Comsor* – $1,32 \pm 0,12$; *Comsor-125* – $1,87 \pm 0,18$; *Comsor-M* – $1,53 \pm 0,11$ (g/g). Šie dati labi korelē ar daļiņu morfoloģiju saskaņā ar eksperimentālajiem datiem, pēc kuriem tas ir noteikts.

Comsor-125 var uztvert par 42 svara % un *Comsor-M* – par 16 svara % vairāk eļļas nekā *Comsor*. Analizējot sorbentu aktivitāti, ir iespējams apgalvot, ka eļļa/nafta uzturas uzlabotās/pilnveidotās/attīstītās CFS divu iemeslu dēļ:

- 1) pateicoties kūdras daļiņām ar palielinātu sorbentu īpatnējo virsmu;
- 2) pateicoties tukšumu aizpildīšanai starp sorbenta daļiņām.

Lielu naftas absorbcijas pieaugumu *Comsor-125* absorbentam var izskaidrot ar hipotēzi. Sfēriski objekti ideālos apstākļos var sakārtoties četros struktūras veidos. Šādiem veidojumiem var būt dažādi kanāli starp daļiņām, ko var aizpildīt ar šķidrumiem labu mitrināšanas spēju gadījumā.

5. FMS IZVEIDOŠANA UN LIETOŠANA

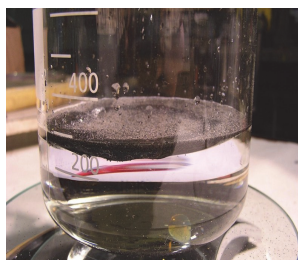
5.1. Emulsiju ar FMS izveidošana un lietošana

Pētījumi ir parādījuši, ka FMS izsmidzināšanas metodi var izmantot magnētiski reoloģiskas emulsijas veidā. Literatūrā zināmas ūdens attīrīšanas no organiskajiem piemaisījumiem metodes, ievadot feromagnētisko materiālu ar vēlāko apstrādi magnētiskajā laukā [138, 139]. Piemēram, kā feromagnētisko materiālu izmanto bagātināšanas rūpnīcu magnetīta sauso koncentrātu ar daļiņu izmēru 50–70 μ m 65–70 masas % apmērā. Trūkums ir tāds, ka magnetīta koncentrātam nav hidroforas īpašības un tas slikti tiek saslapināts ar naftas produktiem.

Lai izveidotu emulsijas ar FMS, darbā tika izmantota 2. nodaļā aprakstītā disperģētājviela.



A



B



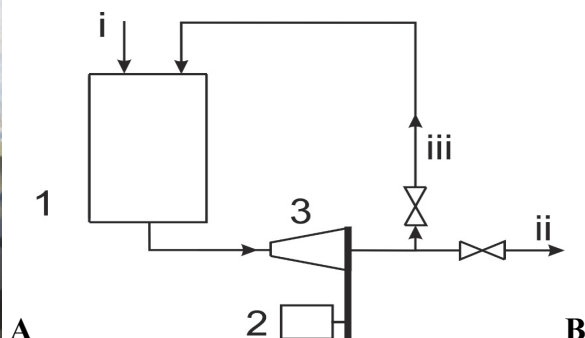
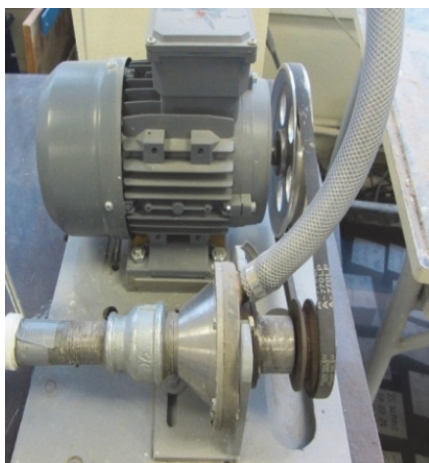
C



D

8.11. attēls. Emulsijas sagatavošana (A, B, C) un izmantošana (D).

Emulsijas sagatavošanai tika lietots ātrgaitas disperģators (8.12. att).



8.12. attēls. Kopskats (A) un principiālā ātrgaitas dispergatora shēma (B).
 $N = 1$ kW; $n = 6000$ apg/min. 1 – tvertne; 2 – dispergators; 3 – dzinējs; i – komponentu ievade; ii – darbs slēgtā ciklā; iii – gatavā materiāla saņemšana.

Attīrīšanas efektivitāte tika noteikta pēc ievadītā un savāktā piesārņojuma masas starpības. Autora pētījumu rezultāti parādīti 8.6. tabulā.

8.6. tabula

Ūdens virsmas attīrīšanas no eļļas plēves ar feromagnētisko emulsiju rezultāti

<i>NP veids</i>	<i>NP saistīšanas spēja, g/g</i>	<i>NP ievadīšanas veids</i>	<i>Attīrīšanas efektivitāte, %</i>
Dīzeļdegviela	1/20	Suspensijas izsmidzināšana ūdens vidē	80
Petroleja	1/50		95
Motoreļļa TAD 17	1/70		98

Sorbenta izmantošana emulsijas veidā ļāva palielināt duļķu savākšanas produktivitāti un kvalitāti, īpaši aizvācot piesārņojuma plānās plēves no ūdens virsmas.

Iegūto sorbentu galvenās īpašības ir šādas:

- naftas ietilpība – 1,3–1,5 g/g;
- beramblīvums – 0,30–0,35 g/cm³;
- peldspēja – no 2 līdz 3 diennaktīm;
- mitrums, % – ne vairāk kā 10.

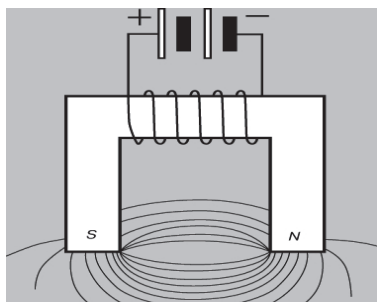
Disperģētājs ļāva palielināt glabāšanas termiņu FMS, ko sagatavoja sorbcijai. PAV papildu lietošana ļaus palielināt stabilitāti līdz vairākiem mēnešiem.

Automatizētā stenda darba efektivitāte tika noteikta, izmantojot šādus kritērijus: ražīgums, attīrīšanas, izsmidzināšanas materiālu izlietošanas pakāpe uz 1 litru savāktu naftas produktu.

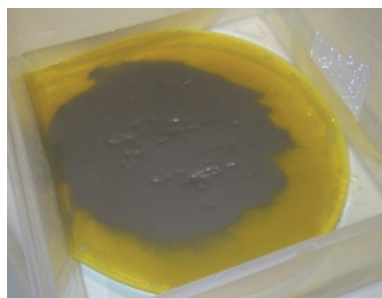
Automātikas elementu izmantošana piedāvātajā stendā ļāva operatīvi padot magnētu naftas produktu zonā, nodrošināt magnētu optimālu atrašanās augstumu virs piesārņotās virsmas un izkraut duļķes.

5.2. Duļķu sorbcijas efektivitātes pētījums elektromagnētiskajā stendā

Pētījumi veikti eksperimentālajā stendā. Lai īstenotu duļķu (feromagnētiskā sorbenta un naftas produktu) savākšanu, tika izmantots elektromagnēts, kas darbojas no maiņstrāvas tīkla ar spriegumu 220 V (8.18. att.).



A



B



C



D

8.18. attēls. NP sorbcija, izmantojot elektromagnētu: shēma (A), sorbenta slāņa uzklāšana (B), duļķu savākšana (C) un to pacelšana (D).

Celbspējas regulēšana tika realizēta ar elektriskā sprieguma lieluma maiņu, kas tiek padots elektromagnēta tinumā. Jauda – 400 W.

Tinuma aprēķināšana pie ierobežota sprieguma U un nepieciešamā celšanas jauda F tiek noteikta atbilstoši nosacījumam:

$$F = U \cdot n / R, \quad (8.1.)$$

kur:

n – vijumu skaits;

R – tinuma aktīvā pretestība.

Tomēr jāņem vērā tas, ka elektromagnēta faktiskā celbspēja nepārsniedza 10 % no aprēķinātās – paceļot dzelzs pulveri.

Vada šķērsgriezums tika izvēlēts, vadoties pēc ieteicamā strāvas blīvuma, kas vienāds ar 5–12 A/mm² atkārtoti īslaicīgam darba režīmam. Maksimālā celbspēja tika sasniegta, izmantojot elektromagnētu PM – 25 kg līdz 50 kg duļķu (8.19. att.).



A



B

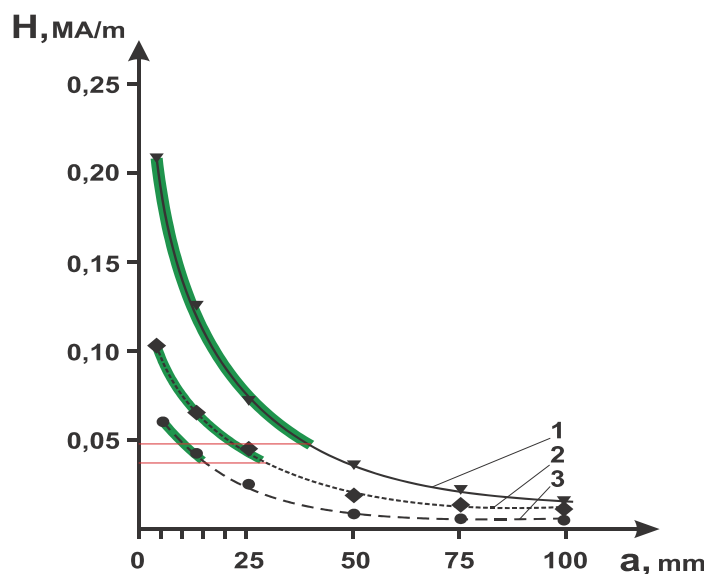
8.19. attēls. Elektromagnēta PM-25 ārējais izskats (A) un darbība (B).

Eksperimentāls pētījums par feromagnētisko sorbentu veidu ietekmi uz to sorbciju rūpnieciskajā eļļā. Tika izmantota plakanā spole, kuras vijumu skaits $n = 200$, rādiuss $r = 80$ mm un garums – 40 mm. Tika mērīta strāvas amplitūda robežās no 2 A līdz 20 A ar spriegumu 220 V. Tika aprēķināta magnētiskā indukcija B un elektromagnētiskā lauka intensitāte H :

$$B = \mu_0 n I / 2\pi r \quad (8.2.)$$

$$H = B / \mu_0, \quad (8.3.)$$

Induktors (spole) tika uzstādīta augstumā no 10 mm līdz 100 mm no ūdens virsmas un uz tās sadalītā sorbenta un eļļas slāņa līmeņa. Tika noteikts, ka līdz ar strāvas amplitūdas palielināšanos spoles tinumā pieaug lauka intensitāte (8.20. att.). Tajā pašā laikā indukcija (attiecīgi intensitāte) krītas līdz ar attāluma palielināšanos līdz sorbenta virsmai.



8.20. attēls. Elektromagnētiskā lauka sprieguma maiņa atkarībā no ierīces uz strāvas stipruma spoles tinumā un attāluma a līdz objekta virsmai ($i = 20$ (1); $i = 10$ (2); $i = 5$ A (3)).

Sorbcijas lielums ΦV % tika aprēķināts pēc eļļas slāņa sākotnējā un beigu biezuma. Vislabākie rezultāti tika iegūti ar plāvu, izmantojot kompozītsorbentu comsor (8.7. tab.).

8.7. tabula

Pētījumos izmantotie pulverveida sorbenti

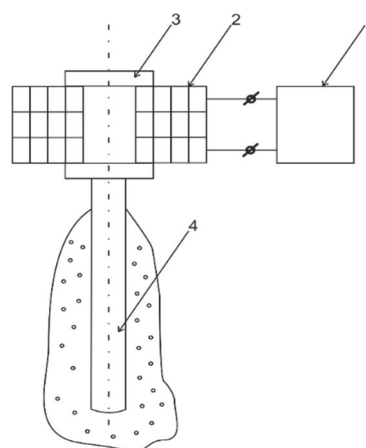
<i>Sorbents</i>	<i>Pulvera veids</i>	<i>Sorbcija ΦV, %</i>
M20/80-19	Fe pulveris	2
CMS	Fe pulveris	3,5
PASC 60	Fe pulveris	3,0
RTUS1	Plāva	5,0
RTUS 2	Plāva	5,5
Comsor M	Kombinēts FMS	15,0

Eksperimenti tika veikti arī zem ūdens, dziļumā līdz 1 m. Tāpēc tika izgatavota elektromagnētiskā ierīce ar pagarinātu serdeni (8.21. att.).

8.22. att. parādītas dažādas eksperimenta stadijas naftas produkta pacelšanai, izmantojot elektromagnētisko ierīci ar pagarinātu serdeni.

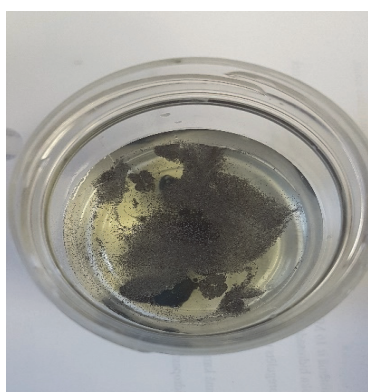


A



B

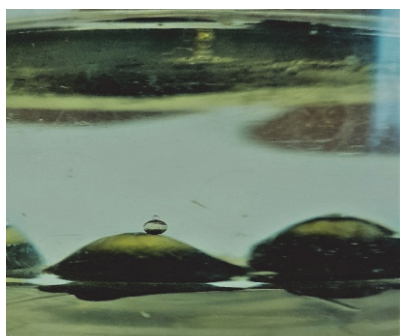
8.21. attēls. Elektromagnētiskās ierīces ar pagarinātu serdeni shēma (A) un darbība (B) dulķu savākšanai dziļumā līdz 1 m.
1 – transformators; 2 – elektromagnētiskā spole; 3 – serde; 4 – pagarinātājs.



A



B



C



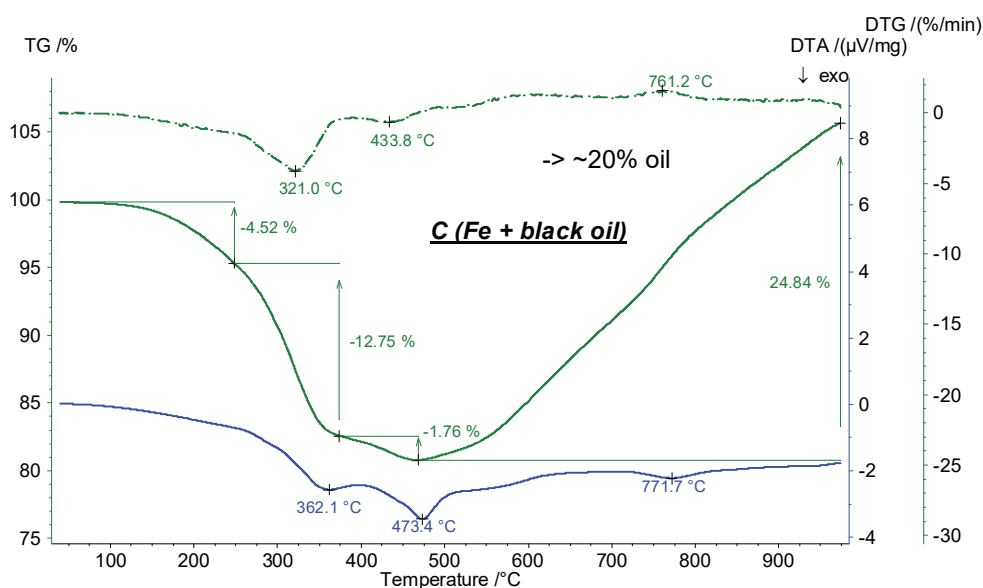
D

8.22. attēls. Darba ar feromagnētisko sorbentu stadijas, to iegremdējot ūdenī: sorbenta sadalījums uz NP virsmas (A); NP sorbenta satveršana un tā grimšanas sākums (B); sorbents ar NP trauka dibenā (C); sorbenta pacelšana ar elektromagnētisku tvērienu (D).

5.3. Termogravimetrijas un diferenciālās termiskās analīzes FMS

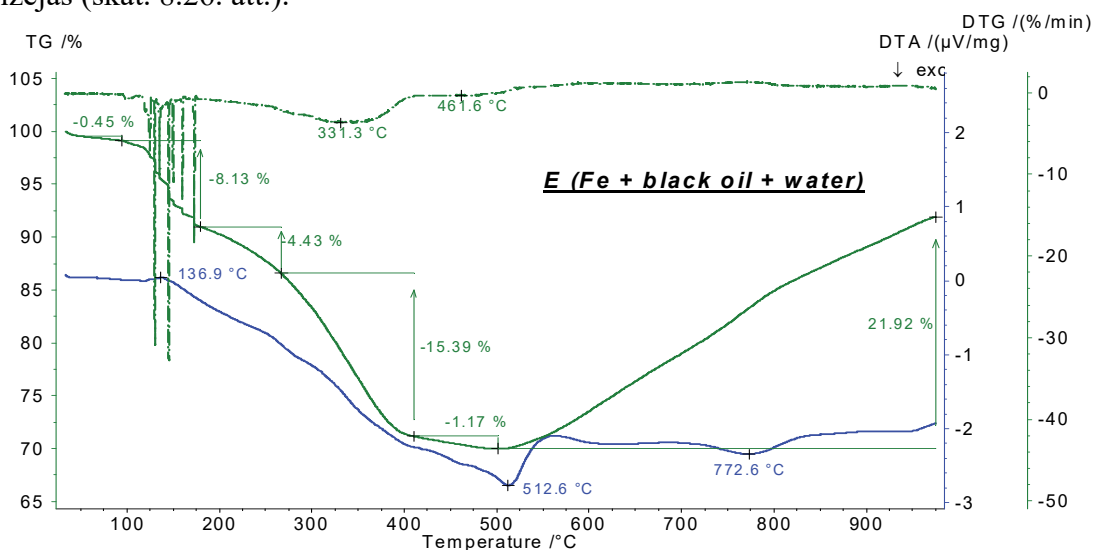
Pētījumam tika izmantots *NETZSCH* firmas termiskās analīzes aparāts STA 449F1 *Jupiter* [8]. Tika noteikti termogravimetrijas (TG) un diferenciālās termiskās analīzes (DTA) parametri. Tīram dzelzs pulverim sasilstot gaisā, novērojams dzelzs oksidēšanās process. Temperatūrai paaugstinoties līdz 250 °C, pulveris neoksidējas. Temperatūrai paaugstinoties virs 320 °C, sākas oksīda plēvju papildu pieaugums. Kopsummā pulvera masas palielinājums uz oksidēšanas rēķina sasniedz gandrīz 40 % pie T=1000°C.

Sasilstot sausajām dulķēm, kas iegūtas no motoreļļas virsmas un izlietas uz cietas virsmas (stikla tekstolīts), konstatēts, ka pulveris uzņem sevī nozīmīgu daļu no eļļas (skat. 8.25. att.). Jāatzīmē, ka maksimālā vielas sadalīšanās notiek tikai pie temperatūras 500 °C. Tas izskaidrojams ar to, ka eļļa ir saistīta ar dzelzs pulvera daļiņu attīstīto virsmu.



8.25. attēls. Ar motoreļļu saslapināta sorbenta termogravimetrijas (TG) un diferenciālās termiskās analīzes (DTA) parametri.

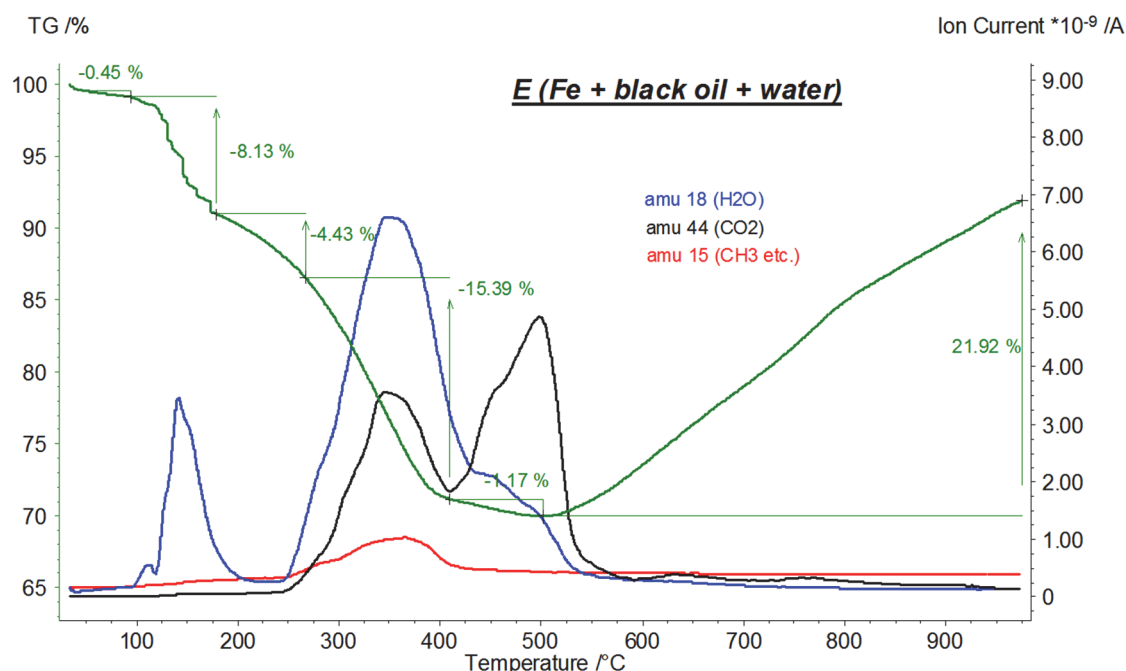
Pie dulķu sasilšanas (sorbents ar uzņemtajiem naftas produktiem un ūdeni) procesi aktivizējas (skat. 8.26. att.).



8.26. attēls. Termogravimetrijas (TG) un diferenciālās termiskās analīzes (DTA) parametri, sasilstot dulķēm (dzelzs pulverim MH 80.23, eļļai un ūdenim).

Ap temperatūru līdz 150 °C notiek intensīva ūdens iztvaikošana no pulvera daļiņu virsmas, ko norāda pārrāvumi uz DTG līknes.

Turpmākā svara samazināšanās notiek ūdens izvadīšanas rezultātā no pulvera daļiņu kapilārās struktūras.



8.27. attēls. Termogravimetrijas (TG) un masas spektrometrijas parametri, sasilstot dulķēm (dzelzs pulverim MH 80.23, eļļai un ūdenim).

Masas spektrogrammu (skat. 8.27. att.) analīze parāda, ka sākumā (pēc 100 °C) tiek izvadīts ūdens, kas ir uzņemts pie dulķu savākšanas. Otrais maksimums uz H₂O līknes atbilst saistītā ūdens (pēc 300 °C) iztvaikošanai. Ogļskābā gāze tiek izvadīta temperatūras diapazonā 250–550 °C. Ogļūdeņražu grupas CH₃ degšanas un citi procesi notiek šaurākā diapazonā – no 300–400 °C.

6. SAVĀKTO MATERIĀLU IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

Šajā sadaļā apskatītas dažas dulķu, kas sastāv no feromagnētiskā sorbenta, savāktajiem naftas produktiem (NP) un ūdens, utilizācijas un tālākas izmantošanas perspektīvas. Pie tām var iedalīt šādus virzienus:

- atkārtota izmantošana sorbenta veidā;
- kā piedevas izmantošana degvielai;
- izmantošana karstas piedevas veidā, termiski griežot materiālu;
- izmantošana būvmateriālu ražošanā.

Lai izvēlētos kādu no virzieniem, vispirms jānosaka naftas dulķu ķīmiskais sastāvs un ūdens saturs. Kopumā tie ir diezgan sarežģīti fizikāli ķīmiskie maisījumi, kas sastāv no naftas produktiem, mehāniskajiem piemaisījumiem, piemēram, māla, metālu oksīdiem, kā arī smiltīm un ūdens [1]. Ļoti svarīgi arī definēt dulķu rN_d vērtību. Parasti sākotnējā stāvoklī tā ir $7 < rN_d < 10$.

Lai novērtētu iegūtās dulķes, tika izmantota metode, kas aprakstīta darbā [2]. Patents RU 2148035. Tika veikta cietās un šķidrās fāzes sadalīšana. NS pēc izgūšanas tvaicēja un vairākas

dienas atstāja nostādināšanai. Rūpnieciskajā metodē varēs izmantot sarežģītāku NS sadalīšanas shēmu, izmantojot centrifugēšanu un īpašas ķīmikālijas [3].

Lietojot dzelzs pulverus, kuru lielums ir līdz 20 μm , FNd pēc izņemšanas no ūdens atbilstoši masai saturēja (9.1. att.): 10–56 % naftas produktu, 30–40 % ūdens un 20–46 cietās fāzes (dzelzs un oksīdi).



NAFTA

ŪDENS

CIETĀS ATLIEKAS

9.1. attēls. Pēc FNd sadalīšanas iegūtie produkti.

6.1. Feromagnētisko naftas duļķu izmantošana būvmateriālu ražošanā

Viens no vispieņemamākajiem feromagnētisko naftas duļķu (FNd) izmantošanas variantiem varētu būt tāds, ka FNd izmanto kā piedevas pie saistvielām ar mērķi utilizēt un vienlaikus paaugstināt asfaltbetona maisījuma kvalitāti.

Otra iespējamā FNS izmantošanas joma varētu būt to izmantošana izejvielas veidā, lai izgatavotu celtniecības un siltumizolācijas materiālus, tostarp augstas temperatūras šķiedras, ugunsizturīgus mālus un poliakrilamīdu.

Pēc autora domām, FNS var veiksmīgi izmantot keramzīta iegūšanai, jo šodien tā ražošanā izmanto dažādas organiskās piedevas, tajā skaitā dīzeļdegvielu, mazutu un petroleju, lai samazinātu mālu tilpuma blīvumu.

Īpaši efektīvi tā tiek izmantota autoceļu būvniecībā. Salīdzinot ar citiem veidiem, griešana ar šķēpu ir visuniversālākā. Tā ļauj griezt betonu un dzelzsbetonu biezumā līdz 4 m dažādos telpas novietojumos gan remontdarbos, gan arī jaunajā būvniecībā (*Кислородно-флюсовая резка - Svarkainfo.ru svarkainfo.ru/rus/technology/rezka/kisrez*).

Skābekļa šķēps (9.2. att.) ir tērauda caurule, kuras ārējais diametrs ir 25–40 mm un garums 1,5–2,0 m. Caurules dobumu piepilda ar dzelzs pulveri. Šķēpa aizdedzināšanai caurulē padod skābekli zem spiediena apmēram 0,5 kgf/cm². Pats šķēps kopā ar pulverveida pildījumu sadeg, izveidojot caurumu.



9.2. attēls. Atveres griešana betona masīvā, izmantojot skābekļa-pulvera šķēpu.

Sadegot 1 kg šķēpa, kas izveidots zema oglekļa satura tērauda caurules veidā, nepieciešams līdz 300 dm³ skābekļa. Pulvera šķēps atšķiras no stieņu šķēpa ar to, ka griezuma zonā padod dzelzs pulveri vai tā maisījumu ar alumīnija pulveri. Sadegot šādam materiālam, izdalās papildu siltums.

Pulverveida pildmateriāla padevi var veikt arī ar speciālu ierīci, līdzīgi tai, ko izmanto skābekļa-kušņu griešanas iekārtās [158]. Turklāt var izmantot arī griežamos, ko izmanto tērauda skābekļa-kušņu griešanai [158].

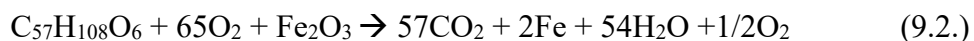
Interesanti ir materiāli, piemēram, sasmalcinātas velmēšanas plāvas [5], pēc naftas produktu piesārņojuma attīrīšanas iegūto duļķu [6] atlikumi u. c.

Šī iemesla dēļ tos nepieciešams kārtīgi izžāvēt. Lietderīgi lietot arī maisījumus ar pievienotu alumīnija pulveri. Degšanas procesā tas rada dzelzs oksīdu atjaunošanos:



Dzelzs oksīdu pulveru un alumīnija pulvera maisījuma uzliesmošanas temperatūra ir apmēram 1300 °C. Izveidojusies dzelzs un duļķes uzkarst līdz temperatūrai 2400–3000 °C. Tālāk maisījums var degt jau bez skābekļa lietošanas. Skābekļa izmantošana palielina reakcijas produktu temperatūru. Tāpēc šo procesu varēs izmantot ne tikai betona, bet arī dzelzsbetona un tērauda griešanai.

Lietojot FNd, kas satur eļļu, velmēšanas plāvu vai dzelzs pulveri, skābekļa klātbūtnē procesa reakcija var būt šāda:



Degšanas un atjaunošanas procesā notiek starpreakcijas, izveidojoties starpproduktiem CO; H₂; Fe₃O₄; FeO, līdz izveidojas CO₂; H₂O un Fe, izdalot lielu enerģijas daudzumu un augstu izplūstošo gāzu un reakcijas produktu temperatūru.

Augu vai izstrādātās mašīnēļļas atkritumu, kā arī metalurģiskās ražošanas atkritumu izmantošana strauji samazina griešanas pašizmaksas, kā arī ļauj tos efektīvi izmantot.

Skābekļa šķēpa, kas piepildīts ar izžāvētu FNd, izmantošanas pieredze ļāva veikt metāla detaļu sagriešanu.

6.2. Metālu ekstrahēšana no šķīduma

Jauns dzelzi saturošu duļķu lietojums pēc naftas produktu izgūšanas no ūdens (FNd) ir iespēja tās izmantot vara izgūšanai no šķīdumiem. Vara izgūšanas no ūdens šķīdumiem problēma ir ļoti aktuāla. Vara un tā izstrādājumu cenas ir diezgan augstas – līdz 5000 dolāriem par tonnu [140]. Tāpēc aktuāls uzdevums ir maksimāli ekonomiski izmantot ne tikai tīru varu, bet arī vara atlikumus.

Zināmi daudzi tehnoloģiskie procesi, kas saistīti ar apvarošanu. Viens no tiem ir drukāto shēmu plašu izgatavošana [141]. Turklāt vara amonija kodināšanas šķīdumu pagatavošanas un lietošanas laikā vara atlikumu īpatsvars var sasniegt 10–30 %. Cits koncentrēts – varu saturošs atlikums – ir lauksaimniecības indīgā ķīmikālija (kuprozāns), kam beidzies glabāšanas termiņš [142]. Kuprozāna pamatu veido vara hidrokslohlorīds (65 %). Kuprozānu savāc un pakļauj destrūkcijai augstā temperatūrā poligonos. Turklāt varš tiek neatgriezeniski zaudēts.

Vara izgūšanai no šķīdumiem visbiežāk izmanto cementēšanas metodi [143, 144]. Metodes lietošanas iespēju, kā arī izmantotā cementējošā materiāla veida vērtēšanai lieto elektrodu potenciālu atbilstību (9.1. tabula). Dzelzs un dzelzi saturošie produkti tiek efektīvi lietoti, lai iegūtu zeltu, sudrabu un varu no šķīdumiem, jo šo metālu elektrodu potenciāls ir augstāks nekā dzelzij.

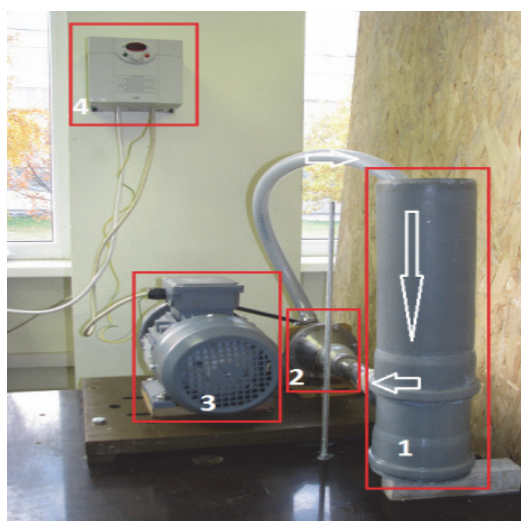
Dažu metālu elektrodu potenciāls

<i>Metāls</i>	<i>Reakcija</i>	<i>Elektrodu potenciāls</i>
Au	$\text{Au} = \text{Au}^3 + 3\text{e}^-$	+1,42
Ag	$\text{Ag} = \text{Ag}^+ + \text{e}^-$	+0,80
Cu	$\text{Cu} = \text{Cu}^2 + 2\text{e}^-$	+0,34
Fe	$\text{Fe} = \text{Fe}^2 + 2\text{e}^-$	-0,44
Ni	$\text{Ni} = \text{Ni}^2 + 2\text{e}^-$	-0,29
Co	$\text{Co} = \text{Co}^2 + 2\text{e}^-$	-0,28

Autora pieredze ir apliecinājusi, ka var izmantot izžāvētas, dzelzi saturošas duļķes, lai veiktu cementēšanas metodi vara iegūšanā.

Šo procesu vislabāk veikt temperatūras 50–100 °C temperatūrā. Eksperimenti apliecināja, ka var iegūt nogulsnes ar vara saturu līdz 90 %.

Pulverveida dzelzi saturošajām duļķēm (FNd) ir lielāks potenciāls nekā iegūstamajam varam. Turklāt tās viegli tiek sadalītas pa visu šķīduma tilpumu, tās samaisot. Cementēšanas procesa veikšanai RTU laboratorijā A. Poļakovs pirmo reizi piedāvāja liela ātruma dispergatora-kavitatora izmantošanu [145] (9.4. att.). Papildus bija nepieciešams veikt arī tā darba salīdzināšanu ar propellera veida standarta laboratorijas maisīšanas iekārtu (9.5. att.).



9.4. attēls. Iekārta ar dispergatoru.

- 1 – konteiners;
- 2 – dispergators ar sūkni;
- 3 – elektrodzinējs.



9.5. attēls. Propellera veida maisītājs.

Vara ekstrakcijai tika izmantotas duļķes uz dzelzs pulveru pamata CMS (X), AHC 100.29 (Y) (9.2. tab.) [146].

9.2. tabula

Vara cementēšanai izmantojamo pulveru dažas fizikālās īpašības

<i>Pulvera marka</i>	<i>CMS (x)</i>	<i>AHC 100.29 (Y)</i>	<i>NC 100.24</i>	<i>SC 200.26</i>
Daļiņu vidējais izmērs, μm	40–50	80–100	70–100	50–80
Beramblīvums, g/cm^3	2,83	2,98	2,45	2,65
Cietība, HV_{10}	50–52	55–65	50–60	50–55

Katram testam ar laika intervālu no 1 līdz 10 minūtes tika izmantoti 1500 ml notekūdeņu ($M_{\text{Cu}} = 63,55 \text{ g/mol}$; $\text{Cu}^{2+} = 0,5 \text{ g/L}$ ($0,007 \text{ mol/L}$)).

Sākotnējā varu saturošā šķīduma parametri norādīti 9.3. tabulā.

9.3. tabula

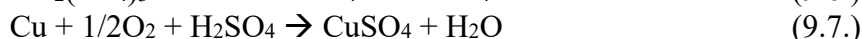
Varu saturošā šķīduma fizikāli ķīmiskie parametri

<i>Parametrs</i>	<i>Lielums</i>	<i>Mērvienība</i>
pH	2,95	pH
Cu^{2+}	750 ± 10	mg/L
Pb^+	0,250	mg/L
SO_4^{2-}	20,000	mg/L
CN^-	$< 0,050$	mg/L
Cr^{6+}	$\geq 0,005$	mg/L
Ni^{2+}	$\geq 4,000$	mg/L
$\text{Hg}^+ + \text{Hg}^{2+}$	$\geq 0,005$	mg/L
NO_3^-	$< 0,010$	mg/L
$\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$	6600 ± 100	mg/L
Citi katjoni: $\text{Al}^{3+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Zn}^{2+}$	$<< 300$	mg/L

Cementēšanas process $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^0 \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{Fe}^{2+}$ skābā vidē var tikt aprakstīts, izmantojot vienādojumus:



Vienlaikus notiek reakcijas:



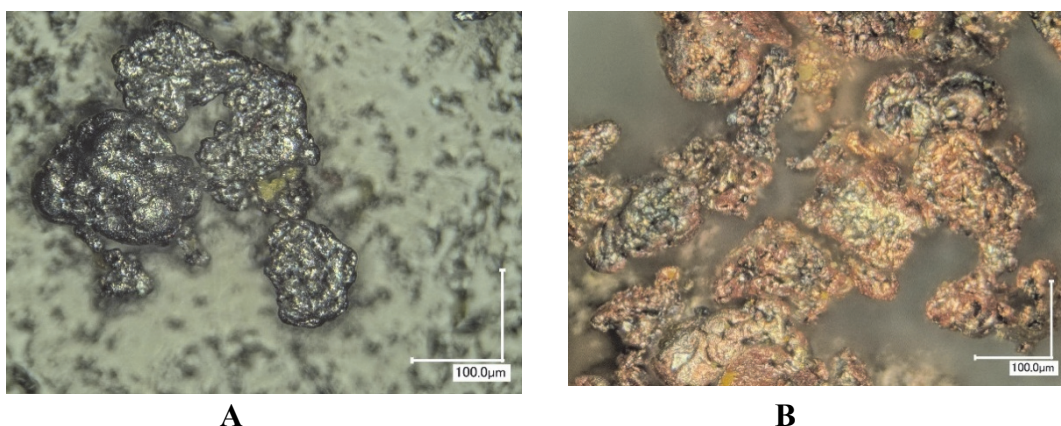
Vara jonu koncentrāciju šķīdumā līdzsvarā var aprēķināt atbilstoši Nernsta [147] vienādojumam. Tā ir apmēram $C_{\text{Cu}^{2+}} = 1,3 \cdot 10^{-27}$. Šajā gadījumā var uzskatīt, ka cementēšanas reakcija notiek pilnībā.

Dzelzs pulveriem un feromagnētiskajām žāvētajām dulķēm ir skaidri izteiktas feromagnētiskās īpašības, tāpēc to aizvadīšanai no šķīduma kopā ar adsorbēto varu efektīvi izmantots pastāvīgais magnēts no sakausējuma Fe-Nd-B. Nepieciešamais minimālais aprēķinātais dzelzs pulvera dzelzs daudzums NC100.24 saskaņā ar reakciju (9.3.) un sākuma koncentrāciju Cu^{2+} bija 0,441 g/l. Eksperimentos izmantoja 3–4 reizes vairāk par aprēķināto, jo

pulveri, kas nepiedalījās reakcijā, varēja viegli atdalīt no šķīduma ar magnētu. Dzelzs koncentrācija šajā reakcijā sasniedza – 1764 g/l [148].

Efektīvai vara izdalīšanai no šķīduma lietderīgi periodiski noņemt no dzelzs daļiņu virsmas jaunizveidojušās vara daļiņas, kā arī intensificēt šķīduma mikrocirkulāciju dzelzs pulvera porainajā struktūrā. Zināms, ka to var veicināt kavitācijas parādība. Pazīstama ir ultraskaņas kavitācijas metode 30–50 kHz frekvencē. Tomēr šī metode ir diezgan sarežģīta, un tai vajadzīgs liels laika patēriņš. Negatīvs faktors ir arī risks veselībai no ultraskaņas starojuma. Cementēšanas procesa intensifikācijai autors piedāvā izmantot liela ātruma kavitatoru ar rotējošās darbības apgriezienu skaitu – līdz 6000 minūtē [148]. Tas sastāv no statora ar konisku vāciņu, disku komplekta ar zobiem, kas ieiet taisnstūra padziļinājumos, un starp tiem uzstādītiem starpdiskiem un sūkņa spārnu rata.

Iespējams, ka metodes īstenošanai komercdarbībā (plūsmai vairāk nekā 100 m³/h) process būs jāatkarā vairākas reizes. Procesā nobeiguma posmā suspensija, kas satur Fe⁰ un Cu⁰, tiek novadīta caur magnētisko filtru, lai atdalītu atlikušos dzelzs jonus Fe⁰, bet pēc tam iziet caur mehānisko filtru, lai iegūtu smalkdisperso vara Cu⁰ pulveri. Pulverveida sorbenta uz dzelzs pulvera bāzes mikrostruktūra pirms un pēc vara cementēšanas procesa parādīta 9.6. attēlā.



9.6. attēls. Pulvera daļiņas NC 100.24 pirms (A) un pēc (B) cementēšanas, izmantojot dispergatoru-kavitatoru.

Tādējādi, apstrādājot šķīdumu, izmantojot pulverveida sorbentu uz dzelzs pulvera NC 100.24 bāzes un dispergatora radītās kavitācijas pamata, vara ekstrahēšanas process kļūst efektīvāks, salīdzinot ar standarta eksperimentu ar propellera maisītāju.

7. SECINĀJUMI

1. Izskatot ūdenī izlieto naftas produktu attīrīšanas dažādas metodes un tehnoloģijas, izmantojot dažādus sorbentus, tika secināts, ka pulverveida feromagnētiskie sorbenti (PFS) ir perspektīvi izmantojami, kas izskaidrojams ar to netoksiskumu, iespēju lietot jaunas, ātri attīstošās attīrīšanas metodes, izmantojot magnētiskos laukus, reģenerācijas iespējas, kā arī efektīvus utilizācijas paņēmienus. Turklāt līdz šim laikam PFS bija maz izpētīti.
2. Izstrādāti jauna veida kompozītu feromagnētiskie sorbenti (*Comsor*), kuru pamatā tiek lietotas dobjas mikrosfēras (cenosfēras), uz kuru virsmas piestiprinātas feromagnētiskās daļiņas un pagarinātās šķiedras. KFS *Comsor* salīdzinājums ar citiem FMS uz dzelzs pulveru bāzes pierādīja to sorbcijas palielinājumu par 5–7%, bet peldspējas – ilgāk nekā 10 reizes.
3. KFS sīku feromagnētisku daļiņu izgatavošanai tika lietota dzelzs pulveru sasmalcināšanas tehnoloģija, izmantojot liela ātruma triecieniedarbības dezintegratoru. Visefektīvākā izrādījās selektīvās sasmalcināšanas metode.
4. Tika izstrādāta metode NP attīrīšanai no ūdens, izmantojot elektromagnētisko ierīci. Noskaidrota nepieciešamā lauka sprieguma atkarība no ierīces atrašanās augstuma virs piesārņotās virsmas. Pierādīta elektromagnētiskās ierīces izmantošana duļķu pacelšanai no nulles līdz 1 m dziļuma.
5. Pierādīta FMS uzlabošanas iespēja, sorbentu iepriekš apstrādājot un pēc tam izžāvējot. Tas arī ir pamats uzskatīt, ka sorbentu iespējams izmantot atkārtoti. Turklāt feromagnētisko emulsiju izgatavošanai pirmo reizi tika izmantots liela ātruma triecieniedarbības dezintegrators.
6. Analizēti sorbcijas procesi, izmantojot FMS. Tiek norādīts uz daļiņu formas un lieluma ietekmi. Noteikts, ka visefektīvāk izmantot pulverus ar daļiņu izmēru 20–40 μm ar palielinātu īpatnējo virsmu.
7. Duļķu termogravimetriskie pētījumi temperatūras diapazonā 20–1000 °C ļāvuši noskaidrot dažas nozīmīgākās stadijas – līdz 150 °C notiek intensīva ūdens iztvaikošana no dzelzs daļiņu virsmas, pēc 300 °C – ūdens iztvaikošana no daļiņu kapilāriem. Pulvera masa sākumā krītas, taču oksidācijas procesa iedarbībā pieaug gandrīz par 40 %. Sorbents kopā ar eļļu sorbē līdz 8 % ūdens. Metāla pulvera sorbcijas spēja ir vidēji 20–22 %. Izmantoto sorbentu pārstrādei ir nepieciešama temperatūra, kas nav mazāka par 600 °C. Pārstrādes laikā izdalās nekaitīgi produkti H₂O, CO₂.
8. Izstrādāta un pārbaudīta tehnoloģija, izmantojot plāvu un savāktu FMS betona griešanai.
9. Izstrādāta tehnoloģija un iekārtas, izmantojot plāvu ar FMS, vara ekstrakcijai no šķīduma.
10. Pētījumu novitāte apstiprināta ar diviem Latvijas patentiem (1. pielikums).

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

1. *Oil-in-Water Content Monitor Development Program Summary*. US Coast Guard, Dec. 1975.
2. Гольдберг В. М., Зверев В. П., Арбузов А. И., Казеннов С. М. и др. *Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия*. М.: Недра, 2001., 150 с.
3. Нунупаров С. М. *Предотвращение загрязнений моря судами*. М.: Транспорт, 1979.
4. Демина Л. А. О ликвидации нефтяных загрязнений // *Энергия*. 2000. N. 10. С. 51–54.
5. Красавин А. П., Весни Н. М. Проблемы борьбы с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов. *Топливо-энергетический комплекс*. N. 3, 2000, с. 102–103.
6. Fontanals N Marcé., R. Maria, Borrull F. *Overview of the novel sorbents available in solid-phase extraction to improve the capacity and selectivity of analytical determinations*. Contributions to science, 6 (2): 199–213 (2010), Barcelona. Spain. DOI: 10.2436/20.7010.01.97 ISSN: 1575-6343.
7. Mahmoud M. E., Abdel-Fattah T. M., Osman M. M., Ahmed S. B. Chemically and biologically modified activated carbon sorbents for the removal of lead ions from aqueous media. J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2012;47(1):130-41. doi: 10.1080/10934529.2012.630292.
8. *Sorbents and biological products*. Iegūts no: <http://www.econad.com.ua>.
9. *Porous magnetic sorbent*. Patent RU Nr. 2241537. iegūts no: <https://patents.google.com/patent/WO2012174616A1/en>
10. Gleich B., Weizenecker J. *Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles*. Nature, 435 (2005), pp. 1214–1217.
11. Marine environment. Iegūts no: <http://www.amsa.gov.au/environment/index.asp>.
12. *Spill Response & Absorbents*. Iegūts no: <http://www.oiltechnics.com/products/industrial-cleaning/oil-decontamination/oil-spill-clean-up/spill-magnet>
13. Laurent S., Forge D., Port M., Roch A., Robic C., Vander Elst L., Muller. N. R. *Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations and biological applications*. Chem. Rev., 108 (2008), pp. 2064–2110/.
14. Caine M., Dyer G., Holder J. V. *The Use of Clays as Sorbents and Catalysts*. Natural Microporous Materials in Environmental Technology. Pp. 49–69.
15. *Jauna veida metālpulveru izstrādāšana un to efektīva izmantošana būvniecībā un vides aizsardzībā*. RTU, IZM TOP projekts 6371/99 (vad. prof. V.Mironovs).
16. Поляков А. А. *Утилизация отходов нефтепродуктов CORVUS Company*. Iegūts no: http://www.corvus.lv/files/pdf/2_Recycling_of_waste_oil.pdf.
17. Миронов В. А. *Новые области применения железных порошков*. 3 межд. конф. Материалы и покрытия в экстремальных условиях. Крым, Украина, 2004, с. 530–531.
18. *Способ очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты*. Patents RU Nr. 2156225. Iegūts no: <http://bd.patent.su/2156000-2156999/pat/servlet/servletbbde.html>
19. *Сорбент для очистки воды от углеводородов, способ его получения и способ очистки воды*. Patents RU Nr. 2088534. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2232633>
20. *Порошкообразный магнитный сорбент для сбора нефти, масел и других углеводородов*. Patents RU Nr. 2462303. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2462303>

21. Matar S., Hatch L. F. (2001). *Chemistry of Petrochemical Processes*. Gulf Professional Publishing. ISBN 0-88415-315-0.
22. Инчукалнс – город на гудроне. Iegūts no: www.d-pils.lv/news/2/281593
23. Товарные нефтепродукты, их свойства и применение. Справочник под ред. Н. Г. Пучкова, М., 1971.
24. Нефтепродукты. Справочник под ред. Б. В. Лосикова, М., 1966.
25. ISO 3448-75. Смазочные материалы промышленные. Классификация вязкости. Iegūts no: <http://www.newchemistry.ru/masla.php?ID=25>
26. Юрченко А.А., Поляков А.А. Сернокислые гудроновые озера и методы их утилизации. Iegūts no: [www.corvus.lv/files/pdf/3 Sulfuric tar lakes.pdf](http://www.corvus.lv/files/pdf/3_Sulfuric_tar_lakes.pdf)
27. Prasad M. S., Kumari K. (1987). *Toxicity of Crude Oil to the Survival of the Fresh Water Fish Puntius sophore (HAM.)*. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica. 15: 29. doi:10.1002/ahch.19870150106
28. Влияние нефти и нефтепродуктов на окружающую среду. Iegūts no: <http://www.activestudy.info/vliyanie-nefti-i-nefteproduktov-na-okruzhayushhuyu-sredu>
29. Магеррамов А. М. и др. Удаление тонких нефтяных пленок с водной поверхности. Молодой ученый. № 7. Т.1. 2011. с. 65–68.
30. Набаткин А. Н., Хлебников В. Н. Применение сорбентов для ликвидации нефтяных разливов. Нефтяное хозяйство. 2000. № 11. с. 61.
31. Самойлов Н. А., Хлесткин Р. Н., Шеметов А. В., Шаммазов А. А. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. М.: Химия, 2001. 189 с.
32. Noviks G. *Ekotehnoloģijas pamati*. RA: Rāzekne, 2002, 243 lpp.
33. Гвоздилов В. К., Захаров В. М. Технические средства ликвидации разливов нефтепродуктов на морях, реках и водоемах. Ростов-на-Дону, 1996, 256 с.
34. Bonovie Zagragdeniya. Iegūts no: <http://www.tzik.ru/articles/bonoviezagragdeniya.html>
35. Amin J. S., Abkenar M. V., Zendejboudi S. Natural sorbent for oil spill cleanup from water surface: environmental implication. Ind. Eng. Chem. Res., 2015, 54 (43), pp 10615–10621. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b01715.
36. Avārijas seku likvidācijas resursi. Iegūts no: www.mrcc.lv.
37. Oil skimmers. Iegūts no: https://www.vikoma.com/Oil_spill_solutions.html.
38. Sulphonated and Oxidised Indene Polymers and Their Use as Dispersants. Patent No WO /1995/004088. Iegūts no: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO1995004088>
39. Применение диспергентов для обработки нефтяных разливов. Iegūts no: http://www.itopf.com/uploads/translated/TIP_4_2011_RU_Use_of_dispersants_to_treat_oil_spills.pdf
40. Jūras un upju krasta erozijas monitorings. Iegūts no: <http://www.metrum.lv/lv/kur-stradajam/vide/udens/juras-un-upju-krasta-erozijas-monitorings/>
41. Ar naftas produktiem piesārņotas grunts attīrīšanā izmanto inovatīvu. Iegūts no: www.lnk.lv/lv_LV/posts/26, 2013.
42. Hawrot M., Nowak A.. Effects of Different Soil Treatments on Diesel Fuel Biodegradation Polish J. of Environ. Stud. Vol. 15, No. 4 (2006), 643–646.
43. Утилизация нефти и мусора. Iegūts no: www.itopf.com/.../TIP_9_2011_RU_Disposal_of_oil_and_debris.pdf
44. Vane, C. H. et al. Biodegradation of Oak (Quercus alba): A Molecular Approach. Journal of Agricultural and Food Chemistry. (2003). 51 (4): 947–956. PMID 12568554. doi:10.1021/jf020932h.

45. Ancheyta J. Deactivation of Heavy Oil Hydroprocessing Catalysts: Fundamentals and Modeling. 2016. 336 p. ISBN: 978-1-118-76984-3
46. Li D., Berruti F., Briens C. *Autothermal fast pyrolysis of birch bark with partial oxidation in a fluidized bed reactor.* Fuel, Volume 121, 1. 2014, P. 27–38.
47. Putsche M., Scahill V. Large-Scale Pyrolysis Oil Production: A Technology Assessment and Economic Analysis. NREL/TP-510-37779; National Renewable Energy Laboratory (NREL), (2006) Golden, CO.
48. Факел-1М установка для сжигания нефтешлама и нефтепродуктов.
Iegūts no: <http://eko-log.ru/node/313>
49. A/s “B.L.B. Baltijas Termināls” naftas ķīmijas rajona grunts un gruntsūdeņu piesārņojums. *Ekoloģiskās izpētes darbu atskaite.* R.: SIA “ATW”, 1995.
50. Пономарев В. Г., Иоакимис Э. Г., Монгайт И. Л. *Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов.* М.: Химия, 1985. 256 с.
51. Кулубова Л. И., Морозов С. В. *Очистка нефтесодержащих сточных вод:* Аналит. обзор. СО РАН. ГПНТБ, НИОХ. Новосибирск, 1992. 72 с.
52. Мочаров В. М., Савицкая П. В., Егорова О. А.др. *Способ очистки вод от нефтепродуктов и масел.* А.с. 1451099 СССР, МКИ С 02 F 1/28.
53. Сенин А. Н., Горчаков В. Д., Денисова М. В. и др. *Способ концентрирования нефтепродуктов из водных сред.* А. с. 1444307 СССР, МКИ С 02 F 1/28, G 01 N30/08.
54. Беличенко Ю. П., Береза А. П., Рудин Т. Р. и др. *Способ очистки сточных вод.* А.с. 1452550 СССР, В 01 D 35/06; В 03 С 1/00.
55. Павлик П. Е., Бочманов А. Д. *Сорбент для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды.* 14-й Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Т. 2. М., 1989. С. 444.
56. Sandberg Fr.H. *Petroleum product absorption method and apparatus.* Пат. 4784773 США, МКИ С 02 F 1/40.
57. Тимошенко М. Н., Клеменко Н. А. *Применение активных углей в технологии очистки воды и сточных вод.* Химия и технология воды. 1990. т. 12., № 8. с. 727–738.
58. *Adsorption system.* Water Eng. and Manag. 1989. Vol. 136. N9. P. 61.
59. Румянцев В. А., Левченко А. Б. *Нефтяные разливы в Балтийском море.* Iegūts no: <http://www.limno.org.ru/win/eco.htm>
60. *Sludge Pumps Sulzer.* Iegūts no: <https://www.sulzer.com/bg/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Dewatering-Pumps/Sludge-Pumps>.
61. *Сорбент для очистки нефтесодержащих промышленных стоков и способ его получения.* Patent RU. 971129/25. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/971129/25>
62. *Способ получения сорбента для очистки от нефти твердых и водных поверхностей.* Patent RU 2116128. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2116128>
63. *Сорбционно-активный материал для очистки воды от нефтепродуктов.* Patent RU 2158177. Iegūts no: <http://bd.patent.su/2158000-2158999/pat/servlet/servletce10.html>
64. *Дсорбент для очистки от нефтепродуктов.* Patent RU 2124397. Iegūts no: <http://ru-patent.info/21/20-24/2124397.html>
65. *Способ комплексной переработки техногенных осадков.* Patent RU 2057725. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2057725>
66. *Valorisation of by-products of wastewater, sewage or sludge processing.* Patent Y02W10/40.

67. Colin T., Bories A., Sire Y., Perrin R. *Treatment and valorisation of winery wastewater by a new biophysical process*. *Water Sci Technol*. 2005. 51 (1). P. 99–106.
68. Мечковский С. А., Лесникович А. И., Воробьева С. А., Заневская Ю. В., Козыревская А. Л., Молоток Е. В. Высокодисперсные магнитоизвлекаемые сорбенты // *Вестн. Белорус. Гос. Ун-та*. Сер. 2, 1998 № 3. с. 13–16,
69. *Ферромагнитный сорбент и устройство для сбора нефтепродуктов с водной поверхности*. Ершов О. Л., Жигалин Г. Я., Блохин Д. Ю., Иванов П. К., Филиппов В. И., Махлин Р. С., Мошечков Н. Г. Iegūts no: <http://magneticliquid.narod.ru/authority/011.htm>
70. *Исследование получения железорудного концентрата для очистки воды от нефти*. Хотынюк С. С. Iegūts no: <http://kulibin.org/projects/show/3112/>
71. Миронов В. *Новые области применения железных порошков*. Труды 3-ей межд. конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях». Крым, Украина, сент. 2004, с. 530–531.
72. Sorbent dlja nefteprodukta. *Украинский химический журнал*, 47. sējums, 1–6. izdevums, 1981.
73. Mironovs V., Lapkovskis V., Zemčenkova V. *Sorbents naftas produktu savākšanai*. LVR patents LV 13927 B. 20.08.2009, Int. Cl. B01J20/02.
74. Shishkin A., Mironovs, V., Lapkovskis V. *Ferromagnetic Sorbents For Collection and Utilization of Oil Products*. 22nd Int. Baltic Conf. on Engineering Materials & Tribology (BALTMATRIB). Book Series: Key Engineering Materials. Volume: 604, 2014. pp. 122–125.
75. *Способ очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты*. Patents RU 2156225. Iegūts no: <http://bd.patent.su/2156000-2156999/pat/servlet/servletbbde.html>
76. Dao HV, Ngeh LN, Bigger. *The use of magnetic particle technology in the cleansing of oiled birds*. Abstract, Proceedings (on a CD Rom) of the workshop on Improving Oiled Wildlife Preparedness and Response in Australia, Australian Maritime Safety Authority (AMSA), Australia. Brisbane, Australia, 18 February 2004.
77. *Железные порошки*. Iegūts no: <https://www.hoganas.com/ru-RU/products>.
78. Hibst H., Magn J. *Materials*. 74, 1988. pp. 193–202.
79. Khan M. K. (1980). *The Importance of Powder Particle Size and Flow Behavior in the Production of P/M Parts for Soft Magnetic Applications*. Intern. J. Powder Metallurgy and Powder Tech. 16 (2). P. 123–130.
80. Боброва З. М. и др. *Применение отходов горно-металлургических и металлургических производств в целях рационального природопользования*. Известия Уральского государственного горного университета, 2015, с.16-25.
81. Dimitrova S. V. (1996). *Metal sorption on blast-furnace slag*. *Water Research*. 30 (1): 228–232. doi:10.1016/0043-1354(95)00104-S.
82. *KVV Liepājas metalurģas mēnesī saražo jau 26 tūkstošus tonnu*. Iegūts no: www.metalurģs.lv/?a=2&b=0&e=525
83. *Промывочный шлам*. Iegūts no: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2403294.html>
84. Qazi S. A., Qazi N. Sh. *Natural Resource Conservation and Environment Management*. APH Publishing. Retrieved, 12, 2016.
85. Летимин В.Н. и др. *Пыль и шлам газоочисток металлургических заводов и анализ путей их утилизации*. *Теория и технология металлургического производства*, 2015. с. 82–88.

86. SchÈele J. *Oxyfinestm technology for the re-melting of fines, dust and sludge*. Proceedings: Tenth Intern. Ferroalloys Congress; 2004, pp. 678–686.
87. Mironovs V. Betona un dzelzsbetona griešanas metodes. *Būvēt.* Nr. 23, 2002, 44–45. lpp.
88. СВЧ ферриты и диэлектрики. Iegūts no: <http://www.magneton.ru/cat.php?id=154>.
89. Шихтовой материал для изготовления стеклокерамики. Iegūts no: <http://www.findpatent.ru/patent/214/2142437.html>
90. Peng H. X., Fan Z., Evans J. R. G. *Factors affecting the microstructure of a new ceramic foam*. Vol. 26, 2000, pp. 887–895.
91. Colombo P., Scheffler M., Eds., *Cellular Ceramics: Structure, Manufacturing, Properties and Applications*// Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2005.
92. Montanaro L., Jorand O. Y., Fantozzib G., Negroa A. *Ceramic Foams by Powder Processing*// vol. 18, 1998. pp. 1339–1350.
93. Muhamad Nor M. A. A., Hong L. C., Arifin Ahmad Z., Md Akil H. *Preparation and characterization of ceramic foam produced via polymeric foam replication method*// J. Mater. Process. Technol., vol. 207, no. 1–3, 2008. pp. 235–239.
94. Gianella S., Gaia D., Ortona A. *High temperature applications of Si-SiC cellular ceramics*// Adv. Eng. Mater., vol. 14, No. 12, 2012, pp. 1074–1081.
95. Brakšs N. *Purvi un kūdra*. Rīga: Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas ķīmijas institūts. 1961. 92 lpp.
96. rus.db.lv/ekonomika/.../latvijskij-torf-eksport-v-34-strany-62991
97. *Kūdras produkti*. Iegūts no: www.laflora.lv/lv/kudras_produkti/
98. Физико-химические свойства сапропелей. Iegūts no: <http://www.activestudy.info/fiziko-ximicheskie-svojstva-sapropelej/>
99. Šiškins A., Mironovs V., Treijs J. *Feromagnētiskais sorbents*. Latvijas Republikas patents Nr. LV 14820 B 20.06.2014.
100. Грег С., Синг К. *Адсорбция, удельная поверхность, пористость*. М.: Мир, 1984. 310 с.
101. Фролов Ю. Г. *Курс коллоидной химии*. М.: Химия, 1988, 464 с. ISBN 5-7245-0244-5.
102. Veprikova E. V., Tereshchenko E. A., Chesnokov N. V., Shchipko M. L., Kuznetsov B. N. *Peculiarity of Water Purifying from Oil Products with Make Use of Oil Sorbents, Filtering Materials and Active Coals*. SFU: Krasnojarsk. ISSN: 1998-2836, T.3, N.3, 2010. с. 285–304.
103. Квашева Е. А., Ушаков А. Г., Ушакова Е. С., Козлова И. В. Магнитоуправляемый сорбент «Магнесорб» на основе вторичного сырья // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2016. Т. 26. С. 996–1000. Iegūts no: <http://e-koncept.ru/2016/76302.htm>
104. Мишин Д. Д. *Магнитные материалы*. М.: Высш. школа, 1981. 335 с.
105. Хек К. *Магнитные материалы и их техническое применение*. М., 1973.
106. Bruce B. W. *What Is Particle Size Distribution Weighting*. Brookhaven Instruments Corporation, 2011, pp.1–4.
107. *Metallic powders. Determination of apparent density ISO 3923-1-79. Part 2. Scott volumeter method*.
108. *Keyence Microscopes*. Iegūts no: www.keyence.com/products/microscope/index.jsp.
109. *Dilatometry (DIL)*. Iegūts no: <https://www.netzsch-thermal-analysis.com/en/products.../dilatometer>
110. *Multipurpose X-ray diffraction system*. Iegūts: <https://www.rigaku.com/en/products/xrd/ultima>

111. *Mixer-Disperser*. Patent DE202007014913U1. Iegūts no: <https://patents.google.com/patent/DE202007014913U1/de>
112. Mironov V., Kolosov V. *Lifting of powder materials*. Patent of Latvia – LV 12785 B, Int. cl. 7 B65G54/02, H02K44/02, 20.03.2002.
113. Пилиневич Л. П. и др. *Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой для фильтрации жидкостей и газов*. Минск, 2005. 252 с., ISBN985-6760-59-3/
114. Durkee J. *Cleaning with Solvents: Methods and Machinery*, 2014. 370 p.
115. *Микроскопы биологические "БИОЛАМ 70"*. Iegūts no: <http://www.laboratorium.dp.ua/item/20/manual>
116. Дружинин П. В., Новиков Л. Ф., Лысиков Ю. А. *Связывающая способность сорбентов*. Iegūts no: http://on-line-wellness.com/view_post.php?id=124
117. Beckman C., Inc. (USA). *Analizatore SA 3100*.
118. Capus J.M. *Metal Powders: A Global Survey of Production, Applications and Markets*. 2011.
119. Danninger H. *Powder manufacturing and processing miniaturisation and nanotechnology in PM powder pressing*. Euro PM 2004 Conference Proceedings, 2004.
120. Shishkin A., Mironov V., Goljandin D., Lapkovsky V. *Recycling of Al-W-B Composite Material*. In: Hussainova, I. (Ed.). *Engineering Materials and Tribology*. 2013. pp. 143–147. Trans Tech Publications Ltd. (Key Engineering Materials; 527).10.4028. Iegūts no: www.scientific.net/KEM.527.143
121. Teibe U. *Fizikas medicīniskie aspekti 2. temats. Bioreoloģijas pamati*. Rīga, 2006.
122. Mironov V., Prosvirjakov R. *Use of iron powder for thermal cutting of concentrate and other materials*. Joint nordic conference in Powder Technology, Helsinki, 1997. P. 17–20.
123. *Порошкообразный сорбент для сбора нефти, масел и других углеводородов*. Patent RU. № 2088534. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2232633>
124. *Магнитоактивные сорбенты на основе природных и синтетических цеолитов*. Patent RU No. 2061540. Iegūts no: <http://www.freepatent.ru/patents/2061540>
125. Рубанов Ю. К., Токач Ю. Е., Иванов А. С., Аркатова И.И. *Композиционные сорбенты на основе оксидов железа для извлечения углеводородов из водных сред*. Фундаментальные исследования. 2014. № 11–8. С. 1692–1697.
126. *Sorbent for collecting oil products*. Patent of the Republic of Latvia LV 13927 B 20.08.2009, Int. Cl. B01J20/02. Treijs J., Teirumnieks E. Mironovs V., Lapkovskis V., Shishkin A.
127. Немченко А.Г. *Обезвреживание и переработка нефтяных шламов*. 1974.
128. *Сжигание нефтяных шламов в печах с кипящим слоем*. Iegūts no: www.ru-ecology.info/post/101067000380004
129. Мукасян А., Рогачев А. *Горение для синтеза материалов*. Введение в структурную макрокинетику. 2011.
130. *Ферромагнитный сорбент из рудного концентрата*. Патент SU 1792919. Iegūts no: <http://patents.su/3-1792919-sposob-ochistki-vody-ot-organicheskikh-primesejj.html>
131. Емельянов С. Г. и др. Патент RU 2462303. *Порошкообразный магнитный сорбент для сбора нефти, масел и других углеводородов*.
132. Мировой рынок меди. Iegūts no: www.cmmarket.ru/markets/cuworld.htm
133. Брусницына Л. А., Степановских Е. И. *Технология изготовления печатных плат*. Екатеринбург, 2015, 200 с.

134. *Большая энциклопедия нефти и газа*. Iegūts no:
<http://www.ngpedia.ru/id123268p2.html>
135. Annamalai V., Murr L. E. *Influence of deposit morphology on the kinetics of copper cementation on pure iron*. Hydrometallurgy. 4, 1997, pp. 57–82.
136. Stefanowicz T., Osinska M., Napieralska-Zagozda, S. *Copper recovery by the cementation method*. Hydrometallurgy, 47, 1997, pp. 69–90.
137. Polyakov A., Polyakova E. *Hydrodynamic cavitation homogenizer*. LV 15143, 20.07.2016.
138. Hõganās AB, *Cementation processes*. 4.4.2.4.2002.
139. *Способ извлечения меди из растворов*. Патент РФ 2144962. Iegūts no:
<http://brevets-patents.ic.gc.ca/opic-cipo/cpd/eng/patent/2144962/summary.html>
140. Миронов В., Земченков В., Лапковский А., Трейс Ю., Савич В.. Исследования свойств порошковых ферромагнитных сорбентов для сбора нефтепродуктов с водной поверхности// *Экологический вестник*. Nr. 1 (23). Минск, Белоруссия. 2013, с. 32–40.
141. Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В. и др. *Горение порошкообразных металлов в активных средах*. М.: Наука, 1972.
142. *Upju bonu, naftas produktu noplūdes ierobežojošās barjeras*. Iegūts no:
<http://deltars.lv/absorbenti/lokalizācijas-bonas>
143. *Gudrona dīķu sekas būs jūtamas pat pēc 70 gadiem*. Iegūts no:
<http://www.lsm.lv/raksts/dzive--stils/veselibā/gudrona-dīķu-sekas-būs-jūtamas-pat-pēc-70-gadiem.a104309>
144. *Nafta un tās īpašības*. Iegūts no: <https://teletrade-dj.lv/node/113566>
145. Niftaliyev S. I., Podrezova J. G. *Ferromagnetic Sorbent*. Voronezh State University of Engineering Technology Voronezh, Russia. Iegūts no:
<https://www.rae.ru/forum2012/pdf/0594.pdf>
146. Mironov V., Zemchenkov V., Lapkovskiy V., Treis J., Savich V. Investigation of powder ferromagnetic sorbents properties for petroleum collection from water surface (Исследования свойств порошковых ферромагнитных сорбентов для сбора нефтепродуктов с водной поверхности). *Ekologicheskij vestnik* (Экологический вестник). Baltkrievija, Minsk. 2013, 1(23), pp. 32–40.
147. *Kūdra*. Iegūts no: <http://mapx.map.vgd.gov.lv/g3inflv/noveroumi/nv08.htm>
148. Tümanok A., Kulu P. *Treatment of different materials by disintegrator systems*. In Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 5, 3 (1999), 222–242.
149. Белов В.В. *Капиллярное структурообразование сырьевых композиций на основе минеральных вяжущих веществ*. ALIIFORM, № 6, 2010, С. 63–75.
150. *Prasības tērauda velmēšanas iekārtām un iekārtu tehniskās uzraudzības kārtība*. Iegūts no: <https://likumi.lv/ta/id/53425-prasibas-terauda-velmesanas-iekartam-un-iekartu-tehniskas-uzraudzibas-kartiba>
151. *Plazmas loka un citi termiskās griešanas veidi*. Iegūts no:
<http://svarka.n-stars.org/t40-plazmas-loka-un-citi-termiskas-griesanas-veidi>.
152. Каблов В. Ф и др. Экономическая эффективность применения в опытном производстве целлюлозосодержащих материалов в качестве сорбентов для поглощения нефтеразливов // *Научно-методический электронный НаВННО методический журнал «Концепт»*. 2017. № 5 (май). 0,3 п. л.
Iegūts no: <http://e-кон-электронный журнал sertru/2017/170100.htm>
153. *Обзор избранных предприятий по переработке и утилизации*. Iegūts no:
https://www.barentsinfo.fi/.../Report_May_2013_Selection_of_facilities_for_treatmen

154. Būvējam labāku nākotni Iegūts no: www.cemex.lv/corvus.lv/2013-07-25-13-51-45.
155. Измельчение торфа и торфо-сапропеля. Iegūts no: www.saprex.agroserver.ru/articles/1724
156. Сила притяжения постоянного магнита. Супермагниты. Iegūts no: www.supermagnit.od.ua/magnetizm.php.
157. Регенерация сорбентов. Iegūts no: engineeringssystems.ru/r/regeneracia-sorbentov.php
158. Способ очистки воды от органических примесей. Patent SU 1792919. Iegūts no: <http://patents.su/3-1792919-sposob-ochistki-vody-ot-organicheskikh-primesejj.html>
159. Plazmas loka un citi termiskās griešanas veidi. <http://svarka.n-stars.org/t40-plazmas-loka-un-citi-termiskas-griesanas-veidi>.
160. Каблов В. Ф и др. Экономическая эффективность применения в опытном производстве целлюлозосодержащих материалов в качестве сорбентов для поглощения нефтеразливов // Научно-методический электронный НаВННО методический журнал «Концепт». - 2017. - № 5 (май).- 0,3 п. л. - URL: <http://e-kon-elektronnyy-jurnal-septru/2017/170100.htm>.
161. Обзор избранных предприятий по переработке и утилизации https://www.barentsinfo.fi/.../Report_May_2013_Selection_of_facilities_for_treatment...
162. Būvējam labāku nākotni | CEMEX www.cemex.lv/corvus.lv/2013-07-25-13-51-45.
163. Измельчение торфа и торфо-сапропеля. saprex.agroserver.ru/articles/1724/
164. Сила притяжения постоянного магнита - Супермагниты. www.supermagnit.od.ua/magnetizm.php.
165. engineeringssystems.ru/r/regeneracia-sorbentov.php
166. patent SU 1792919

DARBĀ LIETOTIE SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI

NP – naftas produkts
INP – izliets naftas produkts
MAM – metalurģiskie atlikuma materiāli
NASL – naftas avāriju seku likvidācija
NPG – naftas piesārņojuma gadījums
DUS – degvielas uzpildes stacija
FS – feromagnētiskais sorbents
CS – kompozītsorbents
DS – dobja sfēra
MSf – minisfēra
MkSf – mikrosfēra
PU – poliuretāns
PS – polistirols
PVH – polivinilhlorīds
Bb – bēruma blīvums
SEM – skenējošs elektronu mikroskops
OM – optiskais mikroskops
LAD – liela ātruma dezintegrators
PIE – pulveru izsmidzināšanas iekārta
XPS – rentgenstaru fotoelektronu spektroskopija
AM – atomspēka mikroskopija
TGP – termogravimetriskie pētījumi
DTA – diferenciālā termiskā analīze
Ab – absorbcija
Ad – adsorbcija
 γ – virsmas enerģija

