



POLIPROPILENO NAFTOS PRODUKTŲ ĮGERTIES TYRIMAS IR VERTINIMAS

Jurgita Aleknaitė¹, Dainius Paliulis²

VGTU AIF Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra
El. paštas: ¹jurgita.aleknaite@vgtu.lt; ²dainius.paliulis@vgtu.lt

Anotacija. Augant industrializacijai ir didėjant energijos poreikiams, vandens ir dirvožemio tarša, atsiradusi dėl atsitiktinio nuotėkio arba lėtinio žalios naftos arba jos produktų išleidimo į aplinką, tampa vis didesnė problema. Plačiai paplitęs naftos produktų išsiliejimas ir nuotėkis iš požeminių talpyklų, naftos gręžinių išmontavimas, apleistos naftos perdėbimo įmonės užteršia dirvožemį, taip pat požeminį ir paviršinį vandenį. Daugelis naftos žaliavos sudedamųjų dalių yra nepalankios ir labai toksiškos dėl toksinių, kancerogeninių ir teratogeninių komponentų, pvz., benzeno, tolueno, etilbenzeno, ksileno ir policiklinių aromatinių angliavandenių buvimo. Naftos produktų šalinimui iš vandens arba dirvožemio taikomi įvairūs biologiniai (bioremediacija, biodegradacija) metodai, tačiau angliavandenių atsparumas mikroorganizmų skilimui, atsižvelgiant į aromatinių žiedų tipą, molekulinę masę ir skaičių, dirvožemyje arba vandenyje linkęs didėti. Šiame straipsnyje siūlomas fizikinis-cheminis naftos produktų, naudojant polimerinį sorbentą – polipropileno, šalinimo iš vandens metodas – sorbcija. Vandens įgerties tyrimo metu gauta, kad polipropileno vandens gali įgerti tik 2/3 savo masės, todėl dėl jo hidrofobiškumo sorbentą galima pritaikyti vandeniui, užterštam naftos produktais, valyti. Naftos produktų įgerties tyrimo metu gauta, kad polipropileno gali įgerti 5 kartus daugiau dyzelino nei jo paties masė, panaudojama labai užterštoms ir didelio debito paviršinėms nuotekoms valyti ar esant staigiam išsiypylimui, kad naftos produktai nepatektų į paviršinius vandens telkinius. Ištyrus šias savybes, atliktas naftos produktų šalinimo iš vandens eksperimentinis tyrimas sorbcinės kolonėlės principu, naudojant dyzelinu („Neste“ *Pro diesel*, $\rho = 0,72 \text{ g/cm}^3$) užterštą vandenį. Nustatytas naftos produktų šalinimo, priklausomai nuo skirtingų pradinių koncentracijų, efektyvumas, kuris yra 60–88 %, taip pat įvertinta polipropileno modifikavimo galimybė, siekiant padidinti jo hidrofobiškumą.

Reikšminiai žodžiai: naftos produktai; polipropileno, sorbcija, paviršinės nuotekos.

Įvadas

Naftos produktai (alyvos, tepalai) yra labai sudėtingi angliavandenių mišiniai, kuriuose komponentų virimo temperatūra gali skirtis nuo kelių iki kelių šimtų laipsnių, todėl daugeliu atvejų, juos išleidus į aplinką, išsilieję naftos produktai garuoja, tirpsta, oksiduojasi, taigi susidaro vandens ir naftos emulsija, kuri adsorbuojasi ant suspenduotų kietųjų dalelių ir taip patenka į aplinką (Costa ir kt., 2012). Natūraliai gamtoje angliavandeniai taip pat gali susidaryti, tačiau tada jų koncentracija būna labai maža, neretai mažesnė nei daugelio metodų nustatymo riba (Yanxun, Yani, Hui ir Yuan, 2011). Jie apibrėžiami kaip angliavandeniai, kurių molekulėje yra nuo 4 iki 40 anglies atomų ir pagal chemines bei toksikologines savybes skirstomi į 3 frakcijas: F1 – lakūs aromatiniai ir alifatiniai angliavandeniai (C_6 – C_{10}), įeinantys į benzino sudėtį; F2 – pusiau lakūs angliavandeniai (C_{11} – C_{28}), įeinantys į dyzelino sudėtį; F3 – mažai lakūs (C_{29} – C_{40}) –

įeinantys į mazuto, tepalų sudėtį (Vinas, Grifoll, Sabate ir Solanas, 2002).

Naftos produktai, patekę į paviršinius vandenius, perneša įvairius patogenus, kurie, maisto grandine patekę į žmogaus organizmą, laikomi pagrindine mirties priežastimi pasaulyje (Pruss, Kay, Fewtrell ir Bartram, 2002). Taip pat šių teršalų kaupimasis upėse skatina mikroorganizmų, dėl kurių atsiranda deguonies trūkumas vandenyje, augimą (Malaj ir kt., 2014; Meybeck, 2003).

Paprastai naudojami tokie naftos produktų šalinimo iš vandens arba dirvožemio metodai: biologiniai (bioremediacija, biodegradacija), fizikiniai-cheminiai (sorbcija).

Bioremediacija plačiai naudojama naftos angliavandenių šalinimui sausumos ir vandens ekosistemose. Mikroorganizmai, plačiai paplitę vandenyje ir dirvožemyje, gali vartoti angliavandenių, nes tai yra natūrali medžiaga (Varjani, Rana, Jain, Bateja ir Upasani, 2015). Biologinio

skilimo metu mikroorganizmai gauna energijos iš medžiagų, o metabolizmo metu taip pat gauna anglį – esminę visų ląstelių sudedamųjų dalių dalį, todėl galima teigti, kad naftos angliavandenilių biologinis skaidymas yra energiška palankus (Varjani ir kt., 2015). Tačiau, kai aplinkoje yra paplitę nelakios frakcijos naftos produktai, mikroorganizmai, bandydami prisitaikyti ir juos naudoti, genetiškai mutuoja ir užterštoje teritorijoje bendra mikroorganizmų įvairovė mažėja (Okoh, 2006).

Biodegradacija – teršalo biologinis skaidymas. Biodegradacijos pradžia paprastai pasiekama mikroorganizmus įterpus į naftos produktą (Okoh, 2006; Varjani ir kt., 2015). Skaidymas vyksta tokiu principu – skirtingos mikroorganizmų grupės gali suskaidyti tam tikrą molekulių grupę, kad gautų energiją pasisavintų į ląstelių biomasę. Kadangi pradinis angliavandenilių skaidymo procesas yra oksidacija, tai, priklausomai nuo naftos angliavandenilių grandinės ilgio ir tipo, reikalingi įvairūs fermentai, kad būtų galima deguonį įterpti į substratą ir būtų pradėtas biologinis skaidymas.

Vienas iš galimų vandens apdorojimo būdų yra sorbcijos, naudojant kieto pavidalo sorbentus, procesas. Šis metodas laikomas vienu pigiausių, tačiau pasižymintiu dideliu naftos angliavandenilių šalinimo iš vandens efektyvumu (Crini, 2005). Sorbentai skirstomi į natūralius ir sintetinius sorbentus. Natūralūs sorbentai yra medžio anglis, molis ir molio mineralai, ceolitai. Šie gamtiniai sorbentai daugeliu atveju yra pigūs, juos galima modifikuoti ir padidinti sorbcinę gebą.

Sintetiniai sorbentai yra pagaminti iš žemės ūkio produktų ir atliekų, pramoninių atliekų, nuotekų dumblo ar polimerų. Kiekvienas sorbentas pasižymi tokiomis savybėmis, kaip poringumas, porų dydis ir forma, sorbuojančio paviršiaus savitasis plotas.

Yra žinomi kitų mokslininkų (Djebbar, F. Djafri, Bouchekara ir A. Djafri, 2012; Bhatnagar, 2007; Gil, Assis, Albeniz ir Korili, 2011; Srinivasan ir Fogler, 1990; Michot ir Pinnavaia, 1991; Bouras, Bollinger, Baudu ir Khalaf, 2007) atlikti fenoliams šalinti iš paviršinių, buitinių ir gamybinių nuotekų, panaudojant molį, smėlį, smulkintus medžių lapus, granuliuotą anglį, tyrimai, tačiau pagrindine problema išlieka naftos produktai (angliavandeniliai), kurie dažnai padengia sorbento paviršius ir sustabdo kitų organinių medžiagų šalinimo procesą.

Atliktuose panašiuose tyrimuose (Wei, Mather, Futheringham ir Yang, 2003), naudojant polipropilena, nustatyta, kad yra trys adsorbcijos fazės: pirmoji – pradinė, kurioje adsorbcija intensyviausiai vyksta pirmąją minutę ir tai yra intensyviausias naftos produktų šalini-

mas visame adsorbcijos procese. Antroji – pereinamoji fazė, kurioje adsorbcija sulėtėja ir trečioji – pastovioji fazė, kurioje adsorbcija nebevyksta net ir didinant kontakto laiką.

Darbo tikslas – ištirti **polipropileno** pritaikymo galimybes naftos produktams šalinti iš paviršinių nuotekų.

Metodika

Eksperimentiniame tyrime naudotas sintetinis sorbentas – polipropilenas dėl jo gebos šalinti su vandeniu nesimaišančias organines medžiagas (Harrad, 2001) ir dėl jo sorbcinių savybių efektyviai šalinti didelės koncentracijos organines medžiagas (naftos produktus, tirpiklius) (Ceylan ir kt., 2009).

Svarbus sorbentą apibūdinantis rodiklis, kai jį siekiama panaudoti naftos produktams šalinti iš vandens ar nuotekų, yra vandens įgertis – vandenį sugėrusio sorbento masės santykis su sauso sorbento mase (g/g). Eksperimento metu siekta patikrinti **polipropileno hidrofobines charakteristikas**. Kuo sorbentas mažiau įgeria vandens, tuo geresnės jo panaudojimo, surenkant naftos produktus iš vandens, galimybės.

Į eksperimentinį indą (cheminę stiklinę) įdėtas žinomas kiekis sorbento (10 g). Kadangi analizuojamieji sorbentai yra lengvesni už vandenį, uždedamas tinkelis, kuris turi neleisti jiems keisti užimamo tūrio (1 paveikslas). Ant sorbento pilamas vanduo taip, kad jį padengtų. Analogiškai tyrimas atliekamas, naudojant dyzeliną.

Praėjus tam tikram laikui tarpui (atitinkamai 0 h; 0,5 h; 1,0 h; 2,0 h; 2,5 h; 3,0 h; 4,0 h; 5,0 h; 8,0 h; 20 h; 24 h), sorbentas išimamas ir, leidus 30 s nuvarvėti skysčiui, pasveriamas. Nustačius vandens įgėrusio sorbento masę, apskaičiuojamas sorbento vandens įgerties dydis S_v (g/g) (1.1):

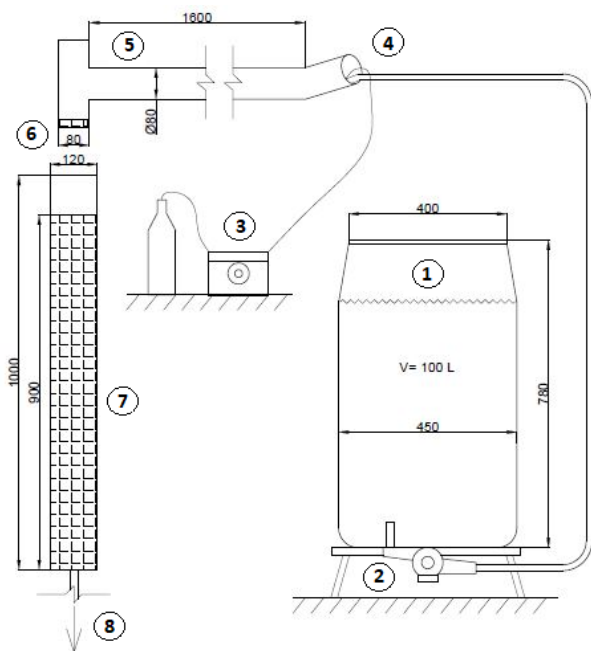
$$S_v = \frac{m_2 - m_1}{m_1}, \quad (1.1)$$

čia: m_1 – sauso sorbento masė, g; m_2 – vandens (dyzelino) įgėrusio sorbento masė.

Eksperimentiniai duomenys pateikiami grafikais, atspindinčiais vandens įgerties priklausomybę nuo laiko ir naftos produktų įgerties priklausomybę nuo laiko.

Norint patikrinti polipropileno panaudojimą praktiškai, pagamintas laboratorinis tyrimų stendas, kuriame imituojamas paviršinių nuotekų išleistuvai, pripildytas polipropileno (1 paveikslas).

Iš talpos (1) vanduo siurbliu (2) tiekiamas į vamzdį, kuriame įmaišomi naftos produktai (dyzelinas). Dyzelinas įmaišomas rotaciniu siurbliuku (3) pakeliant iš mažesnės



1 paveikslas. Laboratorinis tyrimų stendo schema: 1 – talpa su vandeniu, imituojančiu paviršines nuotekas; 2 – vandens siurblys; 3 – rotacinis siurblys naftos produktams; 4 – vandens ir naftos produktų tiekimo vieta; 5 – naftos produktų ir vandens maišymosi vamzdis; 6 – vandens ištekėjimo vieta; 7 – kolonėlė su sorbentu; 8 – išvalyto vandens ištekėjimo vieta

dyzelino talpos ir lašinant kartu su tiekiamo vandens srove (4). Mišinys teka vamzdžiu (5), kuriame 15 cm nutolę vienas nuo kito yra laipteliai, sukliantys srovės turbulenciją ir sudarantys geresnes vandens ir dyzelino maišymosi sąlygas.

Mišinys išteka iš vamzdžio pro tinklėlį (6), kuris norint tiksliau įvertinti sorbento sorbcinę gebą paskirsto vandens srovę po visą kolonėlės diametrą. Tiriamasis vanduo, perfiltruotas pro kolonėlėje esantį sorbento (7) sluoksnį, išteka pro sklendę (8), esančią kolonėlės apačioje.

Į vandenį įmaišytas dyzelinas taip, kad naftos produktų koncentracija atitiktų 10 mg/l (būtų du kartus didesnė nei paviršinių nuotekų leistina vidutinė metinė koncentracija pagal paviršinių nuotekų tvarkymo reglamentą D1-193); 20 mg/l; 30 mg/l; 40 mg/l; 50 mg/l; 60 mg/l; 70 mg/l; 80 mg/l; 90 mg/l; 100 mg/l.

Naftos produktų koncentracija vandenyje nustatyta dujų chromatografijos metodu. Į paimtą 100 ml naftos produktais užteršto vandens mėginį įpilta 10 ml n-heksano (C_6H_{14}) ir gerai sumaišyta, kad naftos produktai ištirptų tirpiklyje. Tirpiklis dalijamuoju piltuvu atskirtas nuo vandens. Mikrošvirkštu paimta 25 μ l atskirto heksano su ištirpusiu dyzelinu, įleista į dujų chromatografo išgarintuvą ir užfiksuotas dyzelino smailės plotas.

Paimta po du naftos produktais užteršto vandens mėginius ties mišinio ištekėjimo dalimi su įsimašiusiais

naftos produktais (6) ir kolonėlės apačioje (8). Norint užtikrinti metodo kokybę, naftos produktų koncentracijos tyrimai kiekviename mėginyje atlikti po 3 kartus.

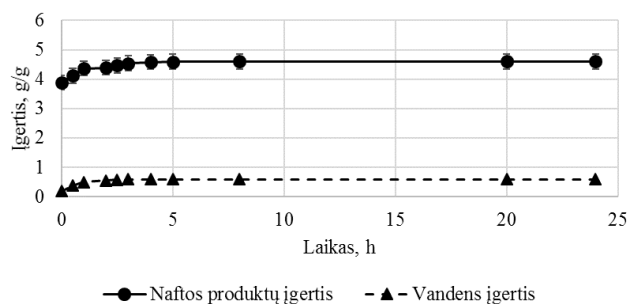
Remiantis mokslininkų (Zuo, Liu, ir Chen, 2016; Jinyou ir kt., 2011) atliktais tyrimais, yra galimybė polimerines medžiagas, skirtas organiniams teršalams sorbuoti, modifikuoti vandenilio peroksido (H_2O_2) tirpalu. Sorbento modifikavimui naudojamo tirpalo santykis 1:5 – pasveriami 10 g polipropileno, užpilama 50 ml H_2O_2 tirpalo ir maišoma besisukančio būgno kratytuve 1 val.

Rezultatai ir jų analizė

Eksperimentiniuose tyrimuose naudotas dyzelinas „Nes-te“ *Pro diesel* (tankis $0,72 \text{ g/cm}^3$), kuris atitinka dažniausiai į aplinką patenkančią naftos produktą (benzinas naudojamas nebuvo dėl žemos garavimo temperatūros, kuri trukdytų tiksliai koncentracijos nustatymui).

Svarbus sorbentą apibūdinantis rodiklis, kai jį siekiama panaudoti naftos produktams iš vandens ar nuotekų šalinti, yra vandens įgertis – vandenį sugėrusio sorbento masės santykis su sauso sorbento mase (g/g) – kuo didnis hidrofobiškumas, tuo sorbentas tinkamesnis naftos produktams šalinti.

Polipropileno vandens įgerties priklausomybė nuo laiko pateikta 2 paveiksle, kuriame matyti, kad propilenas iš karto įgeria $\approx 30\%$ ($0,18 \text{ g/g}$) viso įgeriamo vandens kiekio iš karto, o maksimali vandens įgerties reikšmė ($0,6 \text{ g/g}$) pasiekama po 3 valandų ir toliau nesikeičia.



2 paveikslas. Polipropileno naftos produktų ir vandens įgerties priklausomybė nuo laiko

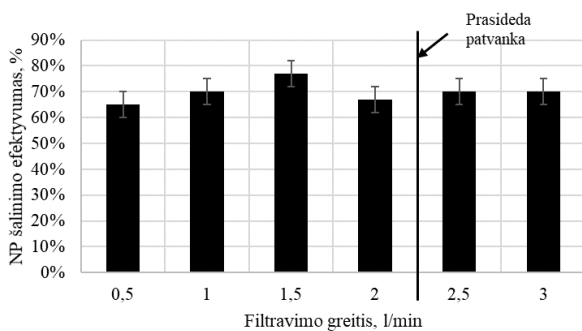
Mokslininkų atliktuose tyrimuose, naudojant polipropileną maksimali įgertis siekia nuo 2 g/g iki 8 g/g (Lim ir Huang, 2006), tai yra nuo 3 iki 13 kartų didesnė įgertis, nei gauta eksperimentiniame tyrime. Pagrindinis skirtumas tas, kad šiame tyrime naudotos stambios frakcijos ($0,5\text{--}1,0 \text{ cm}$) polipropileno granulės, o palyginamajame tyrime – smulkintas polipropileno pluoštas, todėl galima daryti prielaidą, kad smulkesnės hidrofobiško sorbento dalelės gali įgerti daugiau vandens.

Ištyrus vandens įgertį (2 paveikslas), nustatyta, kad polipropilenas tyrimo pradžioje įgeria $\approx 84\%$ (3,88 g/g) viso įgeriamo dyzelino kiekio, o maksimali naftos produktų įgerties reikšmė (4,60 g/g) pasiekta per pirmąsias 5 valandas, likusį laiką sorbento įgertis nesikeičia arba keičiasi nežymiai.

Atliktuose panašiuose tyrimuose naudojant polipropilena, maksimali naftos produktų įgertis siekia nuo 6 g/g iki 10 g/g (Wu ir kt., 2014), tačiau naudotas kito tipo dyzelinas – pirmuoju atveju dyzelino tankis yra $0,83 \text{ g/cm}^3$, antruoju – $0,82 \text{ g/cm}^3$. Tai yra daugiau nei 10 % didesnio tankio dyzelinas, nei naudotas šiame tyrime „Pro diesel“, kurio tankis mažesnis – $0,72 \text{ g/cm}^3$ (Neste corporation, 2016).

Eksperimentinio tyrimo metu nustatytas optimalus filtravimo greitis, naftos produktų koncentraciją (50 mg/l) laikant pastovia. Išbandyti filtravimo greičiai: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 l/min. Galutinė reikšmė (3 l/min) parinkta, nes tai yra maksimalus įmanomas nustatyti vandens tekėjimo greitis laboratoriniame stende.

3 paveiksle matyti, kad naftos produktų šalinimo efektyvumas kintant filtravimo greičiui (0,5–3,0 l/min), kinta nežymiai (65–70 %). Galima daryti prielaidą, kad filtravimo greitis naftos produktų šalinimo efektyvumui įtakos neturi. Tolesniame tyrime naudotas ne didesnis nei 2,0 l/min filtravimo greitis, kad kolonėlėje nesusidarytų patvanka, kuriai esant naftos produktai kaupęsi vandens paviršiuje ir nebūtų galima įvertinti polipropileno sorbcinės gebos.



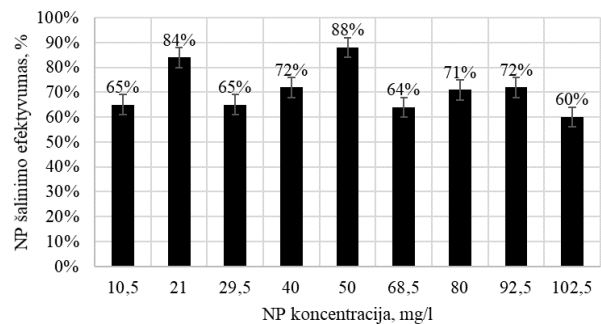
3 paveikslas. Optimalaus filtravimo greičio nustatymas, naftos produktų koncentracija – pastovi (50 mg/l)

Kitų mokslininkų atliktuose panašiuose tyrimuose naudotas filtravimo greitis siekė 1,3 l/min (Mažeikienė ir Švedienė, 2015), tačiau toks sorbcijos būdas – naudojant kolonėlę – mažai nagrinėjamas, daugiausia eksperimentiniuose tyrimuose nagrinėjamas išsipylusių naftos produktų surinkimas sorbentais nuo vandens arba dirvožemio paviršiaus (Man-Man, Hong-Chuan, Sui-Liang ir Scholz,

2013; Wahi, Chuah, Choong, Ngaini ir Nourouzi, 2013; Ali, Asim ir Khan, 2012; Wei ir kt., 2003).

Eksperimentinio tyrimo metu patikrinta, kokią įtaką naftos produktų šalinimo efektyvumui, naudojant polipropilena, turi naftos produktų koncentracija. Ištirtos koncentracijos: 10 (du kartus didesnė nei leistina riba 5 mg/l); 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100 mg/l. Skirtingų koncentracijų naftos produktų šalinimo efektyvumo rezultatai pateikti 5 paveiksle.

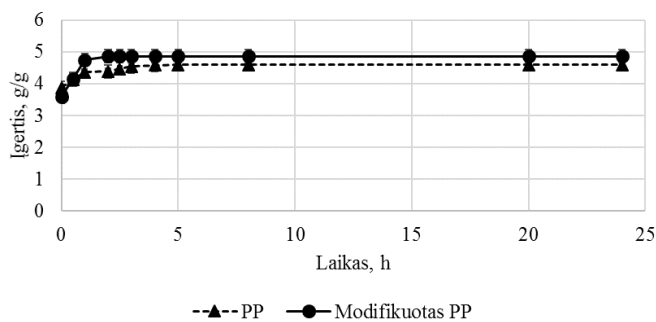
Nustatyta, kad naftos produktų šalinimo efektyvumas siekia nuo 65 iki 88 % (4 paveikslas). Efektyvumas kinta nepriklausomai nuo koncentracijos, todėl galima daryti prielaidą, kad šalinimo efektyvumas nuo naftos produktų koncentracijos nepriklauso tol, kol sorbentas (šiuo atveju polipropilenas) gali galutinai įgerti teršalą.



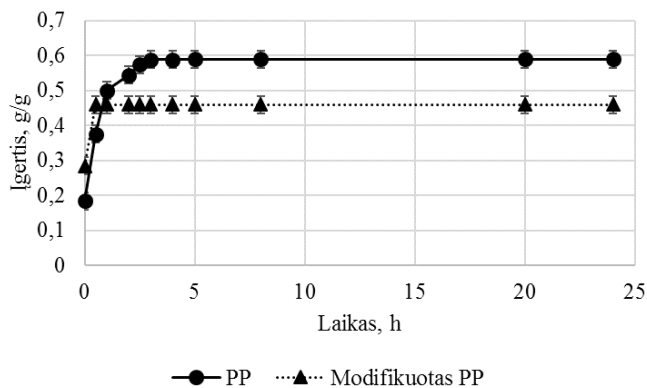
4 paveikslas. Skirtingų koncentracijų naftos produktų šalinimo efektyvumas, naudojant polipropileno sorbentą, filtravimo greitis – pastovus (2 l/min)

Kitų mokslininkų atliktuose tyrimuose, naudojant polipropilena ir kolonėlę (Bayat, Aghamiri, Moheb ir Vakili-Nezhaad, 2005), tačiau netikrinant naftos produktų koncentracijos kitimo, gautas šalinimo efektyvumas yra 85–87 %, naudojant lengvos frakcijos naftos produktą (dyzeliną). Tyrime šis efektyvumas palygintas su lengvos frakcijos naftos produktų šalinimu – benzinu (94,27 %) ir sunkios frakcijos – tepalais (95,67 %). Kitų mokslininkų (Jinyou ir kt., 2011) ištirtas panašių charakteristikų sorbentas – poliesteris, galintis sorbuoti dyzelino frakcijos naftos produktus iki 70–80 % efektyvumu.

Eksperimentinio tyrimo metu patikrintas polipropileno modifikuoto 30 % vandenilio peroksido (H_2O_2) tirpalu vandens ir naftos produktų įgerties pokytis. H_2O_2 tirpalas pasirinktas, remiantis anksčiau atliktais eksperimentiniais tyrimais su bioanglies modifikavimu oksidatoriais (Zuo, Liu, ir Chen, 2016), siekiant padidinti sorbento hidrofobiškumą. Modifikuoto polipropileno vandens ir dyzelino įgerties rezultatai ir jų palyginimas su nmodifikuoto polipropileno vandens ir dyzelino įgerties reikšmėmis pateikti 5–6 paveiksluose.



5 paveikslas. Įprasto ir modifikuoto polipropileno vandens įgerties palyginimas



6 paveikslas. Įprasto ir modifikuoto polipropileno dyzelino įgerties palyginimas

Ekspirimentinio tyrimo metu gauta, kad maksimalus polipropileno vandens įgerties dydis (0,60 g/g), sumažėjęs 1,3 karto (iki 0,46 g/g), yra pasiekiamas po pusės valandos ir toliau nebekinta. Dyzelino įgerties pokytis nėra žymus (6 paveikslas), todėl galima daryti prielaidą, kad kadangi modifikavimas nepadidina polipropileno masės (prieš ir po modifikavimo masė išliko tokia pati) ir savitasis paviršiaus plotas nepakinta, todėl nėra galimybės įgerti daugiau naftos produktų.

Išvados

1. Vandens įgerties tyrimo metu gauta, kad polipropilenas vandens gali įgerti tik 2/3 savo masės, todėl jo hidrofobinės charakteristikos yra tinkamos naftos produktų sorbcijai, taigi daroma prielaida, kad, vykstant užterštų paviršinių nuotekų filtravimui, sorbento naftos produktų įgertis bus efektyvesnė nei vandens įgertis.
2. Naftos produktų įgerties tyrimo metu gauta, kad polipropilenas gali įgerti 5 kartus daugiau dyzelino nei jo paties masė. Sorbentas pasižymi greita įgerti, o tai gali būti panaudojama labai užterštoms ir didelio debito paviršinėms nuotekoms valyti ar esant staigiam išsipylimui, kad naftos produktai nepatektų į paviršinius vandens telkinius.

3. Nustatyta, kad filtravimo greitis naftos produktų šalinimo efektyvumui tirtų filtravimo greičių intervale nuo 0,5 iki 3 l/min. įtakos neturi. Eksperimentiniuose tyrimuose naudotas filtravimo greitis siekė 2,0 l/min, kuris laboratoriniame stende yra maksimalus greitis ir kuriam esant kolonėlėje nesusidaro patvanka.
4. Nustatyta, kad šalinimo efektyvumas (60–88 %) kinta nepriklausomai nuo naftos produktų, esančių filtruojamos koncentracijos tirpale, todėl galima daryti prielaidą, kad šalinimo efektyvumas nuo naftos produktų koncentracijos nepriklauso tol, kol sorbentas gali visiškai įgerti teršalą.
5. Atlikus polipropileno modifikaciją 30 % vandenilio peroksido tirpalu, nustatyta, kad maksimalus polipropileno vandens įgerties dydis (0,60 g/g) sumažėjo 1,3 karto (iki 0,46 g/g). Vandenilio peroksido oksidacinės savybės sustiprina polipropileno hidrofobines savybes, bet nesustiprina organinių medžiagų įgerties savybių.

Literatūra

- Ali, I., Asim, M., & Khan, T. A. (2012). Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 113, 170-183. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.028>
- Bayat, A., Aghamiri, S. F., Moheb, A., & Vakili-Nezhaad, G. (2005). Oil spill cleanup from sea water by sorbent materials. *Journal of Chemical Engineering Technology*, 28(12): 1525-1528. <https://doi.org/10.1002/ceat.200407083>
- Bhatnagar, A. (2007). Removal of bromophenols from water using industrial wastes as low cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials*, 139(1), 93-102. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.139>
- Bouras, O., Bollinger, J.-C., Baudu, M., & Khalaf, H. (2007). Adsorption of diuron and its degradation products from aqueous solution by surfactant-modified pillared clays. *Applied Clay Science*, 37(3-4), 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.01.009>
- Ceylan, D., Dogu, S., Karacik, B., Yakan, S. D., Okay, O. S., & Okay, O. (2009). Evaluation of butyl rubber as sorbent material for the removal of oil and polycyclic aromatic hydrocarbons from seawater. *Environmental Science Technology*, 43(10), 3846-3952. <https://doi.org/10.1021/es900166v>
- Costa, A. S., Romão, L. P., Araújo, B. R., Lucas, S. C., Maciel, S. T., Wisniewski, A., & Alexandre, M. R. (2012). Environmental strategies to remove volatile aromatic fractions (BTEX) from petroleum industry wastewater using biomass *Bioresource Technology*, 105, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.096>
- Crini, G. (2005). Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *Progress in Polymer Science*, 30(1), 38-70. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2004.11.002>
- Djebbar, M., Djafri, F., Bouchekara, M., & Djafri, A. (2012). Adsorption of phenol on natural clay. *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(2), 15-25. <https://doi.org/10.5897/AJPAC11.019>

- Gil, A., Assis, F. C. C., Albeniz, S., & Korili, S. A. (2011). Removal of dyes from wastewaters by adsorption on pillared clays. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1032-1040. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.01.078>
- Harrad, S. (2001). *Persistent organic pollutants environmental behaviour and pathways for human exposure*. Kluwer Academic Publishers, Norwell. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1571-5>
- Yanxun, S., Yani, W., Hui, Q., & Yuan, F. (2011). Analysis of the groundwater and soil pollution by oil leakage. *Journal of Procedia Environmental Sciences*, 11(Part B), 939-944. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.144>
- Jinyou, L., Shang, Y., Ding, B., Yang, J., Yu, J., & Al-Deyab, S. S. (2011). Nanoporous polystyrene fibers for oil and spill cleanup. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 64(2), 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.11.002>
- Lim, T. T., & Huang, X. (2006). In situ oil/water separation using hydrophobic-oleophilic fibrous wall: a lab-scale feasibility study for groundwater cleanup. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 820-826. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.008>
- Malaj, E., von der Ohe, P. C., Grote, M., Kuhne, R., Mondy, C. P., Usseglio-Polatera, O., Btack, W., & Schafer, R. B. (2014). Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(26), 9549-9554. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321082111>
- Man-Man, L., Hong-Chuan, P., Sui-Liang, H., & Scholz, M. (2013). Controlled experimental study on removing diesel oil spillages using agricultural waste products. *Journal of Chemical Engineering Technology*, 36(4), 673-680. <https://doi.org/10.1002/ceat.201200658>
- Mažeikienė, A., & Švedienė, S. (2015). The suitability of natural and synthetic filter material for the removal of petroleum products from the aqueous media. *Desalination and Water Treatment*, 57(27), 12487-12495. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1053993>
- Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions B*, 358(1440), 1935-1955. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1379>
- Michot, L. J., & Pinnavaia, T. J. (1991). Adsorption of chlorinated phenols from aqueous solution by surfactant-modified pillared clays. *Clays and Clay Minerals*, 39(6), 634-641. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1991.0390609>
- Neste Corporation. (2016). *Neste renewable diesel handbook*. 57 p.
- Okoh, A. (2006). Biodegradation alternative in the cleanup of petroleum hydrocarbon pollutants. *Journal of Biotechnology and Molecular Biology*, 1(2), 38-50.
- Pruss, A., Kay, D., Fewtrell, L., & Bartram, J. (2002). Estimating the burden of disease from water, sanitation, hygiene at a global level. *Environmental Health Perspectives*, 110(5), 537-542. <https://doi.org/10.1289/ehp.110-1240845>
- Srinivasan, K. R., & Fogler, H. S. (1990). Use of inorgano-organo-clays in the removal of priority pollutants from industrial wastewaters: adsorption of benzo(a)pyrene and chlorophenols from aqueous solutions. *Clays and Clay Minerals*, 38(3), 287-293. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1990.0380307>
- Varjani, S. J., Rana, D. P., Jain, A. K., Bateja, S., & Upasani, V. N. (2015). Synergistic *ex-situ* biodegradation of crude oil by halotolerant bacterial consortium of indigenous strains isolated from on shore sites of Gujarat, India. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 103, 116-124. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.030>
- Vinas, M., Grifoll, M., Sabate, J., & Solanas, A. M. (2002). Biodegradation of a crude oil by three microbial consortia of different origins and metabolic capabilities. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28, 252-260.
- Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S. Y., Ngaini, Z., & Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: an overview. *Journal of Separation and Purification Technology*, 113(1), 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.04.015>
- Wei, Q. F., Mather, R. R., Futheringham, A. F., & Yang, R. D. (2003). Evaluation of nonwoven polypropylene oil sorbents in marine oil-spill recovery. *Marine Pollution Bulletin*, 46(6), 780-783. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(03\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(03)00042-0)
- Wu, D., Fang, L., Qin, Y., Wu, W., Mao, C., & Zhu, H. (2014). Oil sorbent with high sorption capacity, oil/water selectivity and reusability for oil spill cleanup. *Marine Pollution Bulletin*, 84(1-2), 263-267. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.05.005>
- Zuo, X., Liu, Z., & Chen, M. (2016). Effect of H₂O₂ concentrations on copper removal using the modified hydrothermal biochar. *Journal of Bioresource Technology*, 207(1), 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.032>

INVESTIGATION OF PETROLEUM PRODUCTS SORPTION USING POLYPROPYLENE SORBENT

J. Aleknaitė, D. Paliulis

Summary

Water and soil pollution caused by accidental runoff or the release of chronic crude oil or its products is becoming a growing problem for industrialization and energy needs. Widespread oil spill and leakage from underground tanks, dismantling of oil wells and abandoned refineries pollute the soil, groundwater and surface water. Many petroleum materials are unfavorable and highly toxic due to the presence of toxic, carcinogenic and teratogenic components such as benzene, toluene, ethylbenzene, xylene and polycyclic aromatic hydrocarbons. Various biological (bioremediation, biodegradation) methods are used to remove petroleum products from water or soil, however, the resistance of hydrocarbons to the degradation of microorganisms in soil or water tends to increase, depending on the type, molecular weight and number of aromatic rings. This article suggests a physico-chemical method for removing oil from water – sorption, using polymeric sorbent – polypropylene. The water intake experiment showed that polypropylene can only absorb water 2/3 of its own mass, which makes it suitable for the purification of water-contaminated oil products. The oil product intake experiment showed that polypropylene can absorb 5 times more diesel than its own mass and can be used for highly polluted and high-flow surface wastewater or in a sudden spill to prevent oil products from entering surface water bodies. Investigations of these properties have resulted in an experimental study of the removal of oil products from the water using a sorbent column and water contaminated with diesel (Neste Pro diesel, $\rho = 0.72 \text{ g/cm}^3$). The estimated oil removal efficiency is 60–88%, depending on the different initial concentrations, the article also evaluates the possibility of polypropylene modification to increase its hydrophobicity.

Keywords: petroleum products, polypropylene, sorption, surface wastewater.