

## Environmental engineering Aplinkos inžinerija

### NAFTOS PRODUKTŲ GARAVIMO EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Jurgita ALEKNAITĖ, Dainius PALIULIS, Rasa VAIŠKŪNAITĖ\*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2019 m. birželio 28 d.; priimta 2019 m. liepos 4 d.

**Santrauka.** Naftos produktai į aplinką dažniausiai patenka transportuojant naftą, iš saugyklų, naftos bazių arba avarių metu ir tai sudaro apie 60 % visos dirvožemio taršos. Šiais atvejais kartu su nafta ir jos produktais (tepalais, dyzelinu, benzinu, žibalu, mazutu ir kt.) į dirvožemį patenka ir sunkiųjų metalų, fenolių, cianidų, aromatinių angliavandenilių (benzeno, tolueno, etilbenzeno, ksileno). Teršalai, patekę į dirvožemį, paveikia dirvožemio pH, susilpnina biotos veiklą dėl toksiškų elementų, reaguojančių su deguonimi, poveikio, didina dirvožemio degradaciją. Vykstant minėtų teršalų sklaidai, užteršiamas ne tik dirvožemis, bet ir požeminis vanduo. Tarša naftos produktais ir sunkiaisiais metalais sudaro 53 proc. visos požeminio vandens taršos. Tyrimo tikslas – pasirinkus terminio kaitinimo temperatūrų diapazoną (100–300 °C) nustatyti žemiausią galimą optimalią temperatūrą ir iširti naftos produktų garavimo priklausomybę nuo kaitinimo laiko. Minimali temperatūra reikalinga siekiant išsaugoti dirvožemio savybes, sumažinti vartojamos energijos kiekį ir metodo sąnaudas. Pasirinkto naftos produktų (tepalų) terminio kaitinimo metu garai pereina per kondensatorių ir surenkami skysčio pavidalu, išvengiant pratekėjimų. Tai yra saugus būdas, jeigu kaitinimo vietoje galimai yra patekusių toksiškų medžiagų (metodas saugiai šalina teršalų mišinius). Nustatyta, kad 250–300 °C temperatūrų diapazone švarūs tepalai garuoja intensyviai, per 2 val. pasiekiamas 90,1–97,1 % garavimo efektyvumas, garavimo intensyvumas didžiausias pirmąją valandą; garuojant vartotiems tepalams, pasiekiamas 38,6–60,6 % efektyvumas, garavimo intensyvumas yra didžiausias antrąją valandą. Šią kaitinimo technologiją galima pritaikyti sunkios frakcijos naftos produktais užterštam dirvožemiui valyti, o palyginti žema temperatūra (250–300 °C) mažiau pakenks dirvožemio savybėms, nei taikant aukštų temperatūrų metodus (deginimą, stiklinimą, pirolizę).

**Reikšminiai žodžiai:** naftos produktai, terminis kaitinimas, sunkiai laki frakcija, optimali temperatūra, garavimas.

#### Įvadas

Naftos produktai – tai iš naftos pagaminti gaminiai: benzinai, žibalai, dyzelinas, mazutas, tepalai ir kt. Natūraliai gamtoje angliavandeniliai susidaro, tačiau jų koncentracija labai maža, neretai mažesnė nei daugeliu metodų nustatyta riba (Yanxun, Yani, Hui ir Yuan, 2011). Jie apibrėžiami kaip angliavandeniliai, kurių molekulėje yra nuo 4 iki 40 anglies atomų ir pagal chemines bei toksikologines savybes skirstomi į tris frakcijas: F1 – lakūs aromatiniai ir alifatiniai angliavandeniliai (C<sub>6</sub>–C<sub>10</sub>), įeinantys į benzeno sudėtį; F2 – pusiau lakūs angliavandeniliai (C<sub>11</sub>–C<sub>28</sub>), įeinantys į dyzelino sudėtį; F3 – mažai lakūs (C<sub>29</sub>–C<sub>40</sub>) – įeinantys į mazuto, tepalų sudėtį (Viñas, Grifoll, Sabatė ir Solanas, 2002).

Naftos produktai į aplinką dažniausiai patenka transportuojant naftą, iš saugyklų, naftos bazių arba įvykus avarijoms (Juteau et al., 2003). Išskiriami šeši naftos produktų patekimo į dirvožemį šaltiniai:

- pramoninės atliekos (37 %);
- kasyba, naftos gavyba (33 %);
- buvusios karinės zonos (15 %);
- naftos, cheminių medžiagų saugyklos (10,5 %);
- išsipylimai transportuojant (4 %);
- kiti šaltiniai (0,5 %).

Naftos produktų patekimui į dirvožemį (kuris sudaro apie 60 % visos dirvožemio taršos) įtakos turi ne tik tiesioginė naftos pramonė, bet ir tokie pramonės sektoriai, kaip tekstilės, odos, medžio, popieriaus gamyba ir apdirbimas. Jie sudaro iki 5 % dirvožemio užterštumo, palyginimui metalo pramonė – iki 13 %, chemijos pramonė – iki 8 %. Taip pat įtakos turi energijos gamyba (iki 7 %) (Juteau et al., 2003).

Iš šių šaltinių kartu su naftos produktais į dirvožemį patenka ir sunkiųjų metalų, fenolių, cianidų, aromatinių angliavandenilių (benzeno, tolueno, etilbenzeno, ksileno). Teršalai, patekę į dirvožemį, paveikia dirvožemio pH

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [rasa.vaiskunaite@vgtu.lt](mailto:rasa.vaiskunaite@vgtu.lt)

(didina rūgštingumą), susilpnina biotos veiklą dėl toksiškų elementų, reaguojančių su deguonimi, poveikio, didina dirvožemio degradaciją, naikina derlingąjį sluoksnį, skatina dirvožemio eroziją (Shabir, Afzal, Anwar, Tahseen ir Khalid, 2008; Beškoski et al., 2011; Brakorenko ir Korotchenko, 2015).

Vykstant minėtų teršalų sklaidai, užteršiamas ne tik dirvožemis, bet ir požeminis vanduo. Tarša naftos produktais ir sunkiaisiais metalais sudaro 53 % visos požeminio vandens taršos, o su požeminiu vandeniu teršalai patenka ir į žmogaus organizmą (Panagos, Hiederer, Van Liedekerke ir Bampa, 2013).

Teršalų poveikis žmonių sveikatai priklauso nuo teršalų tirpumo vandenyje, biologinio prieinamumo, kancerogeniškumo ir kt. Angliavandeniliai yra tokie teršalai, kurie akumuliuojasi žmogaus audiniuose. Įrodyta, kad tai padidina susirgimų kepenų vėžiu, leukemija skaičių (Badawi, Cavalieri ir Rogan, 2000).

Lengvos frakcijos lakūs angliavandeniliai yra lengvai skaidomi mikroorganizmų, tačiau mažiau lakūs angliavandeniliai sunkiai biodegraduoja ir gali išlikti dirvožemyje ilgą laiką, todėl juos būtina šalinti. Jei dirvožemis molingas, molis gali sugerti kai kuriuos naftos produktų junginius ir tokiu būdu sulėtinti jų biodegradavimą (Prenafeta-Boldú, Ballerstedt, Gerritse ir Grotenhuis, 2004; Si-Zhong et al., 2009; Acosta-González, Martirani-von Abercon, Rosseló-Móra, Wittich ir Marqués, 2015). Todėl teritorijos, užterštos dideliais kiekiais sunkių frakcijų naftos produktais, valomos terminiais metodais (pvz., žemos arba aukštos temperatūros desorbicija, garų įpurškimu, deginimu) (Vidonish, Zygorakis, Masiello, Sabadell ir Alvarez, 2016b).

Mokslininkai (Bucalá, Saito, Howard ir Peters, 1996; Merino, Piña, Errazu ir Bucalá, 2003) siūlo naudoti mažiausią įmanomą temperatūrą, kuria galima priversti garuoti naftos produktus – tai mažiausiai paveiktų dirvožemio savybes (humuso, drėgmės kiekį ir kt.) ir būtų lengvesnis būdas esant būtinybei regeneruoti dirvožemio derlingumą.

Taip pat minimali kaitinimo temperatūra reikalinga siekiant išsaugoti dirvožemio savybes, sumažinti vartojamos energijos kiekį ir metodo sąnaudas (Vidonish et al., 2016a). Kadangi naftos produktų terminio kaitinimo metu garai pereina per kondensatorių ir yra surenkami skysčio pavidalu, išvengiant pratekėjimų, tai yra saugus būdas, jeigu kaitinimo vietoje galimai yra patekusių toksiškų medžiagų (šiuo metodu saugiai šalinami teršalų mišiniai) (Vidonish et al., 2016a).

Mokslinių tyrimų metu (Scullion, 2006; Gestel, Mergaert, Swings, Coosemans ir Ryckeboer, 2003; O'Brien, DeSutter, Casey, Derby ir Wick, 2015) nustatyta, kad dirvožemis, iškaitintas terminiu metodu, tinka ir toliau naudoti augalams auginti, bet dažniausiai rekomenduojama jį taikyti tik teritorijoms rekultivuoti ar statyboje.

Eksperimentiniais tyrimais siekiama nustatyti minimalią galimą temperatūrą, kuri leistų išgarinti F3 frakcijos naftos produktus idealiomis sąlygomis.

Tyrimo tikslas – pasirinkus terminio kaitinimo temperatūrų diapazoną (100–300 °C) nustatyti žemiausią galimą optimalią temperatūrą ir ištirti sunkiai lakios frakcijos naftos produktų garavimo priklausomybę nuo kaitinimo laiko.

## 1. Metodika

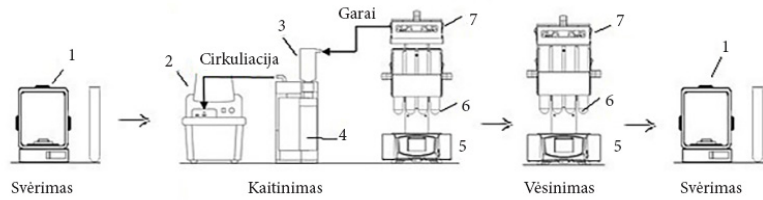
Mokslininkų (Khan, Husain ir Hejazi, 2004; Riser-Roberts, 1998; Baker ir Kuhlman, 2002) nustatyta, kad žemos temperatūros terminis kaitinimas atliekamas 100–300 °C temperatūroje (aukštos temperatūros terminis kaitinimas atliekamas 300–550 °C temperatūroje).

Tyrimai atliekami 100–300 °C temperatūrų intervale, keliant temperatūrą nuo mažiausios (100 °C) kas 50 °C ir įvertinant išgaravusių naftos produktų kiekį. Tyrimas atliktas laboratorinėmis sąlygomis, naudojant kaitinti ir garų kenksmingumui šalinti reikalingą įrangą (1 pav.).

Tyrimui pasirinkti sunkiai lakios frakcijos naftos produktai – tepalai. Pirmiausia terminiai tyrimai atliekami idealiomis sąlygomis – tiriama nevirta automobilio variklio alyva („Castrol Edge FST L“, 5W-30), vėliau tiriami

1 lentelė. Terminių metodų apžvalga (Vidonish et al., 2016b)  
Table 1. Review of thermal treatment methods (Vidonish et al., 2016b)

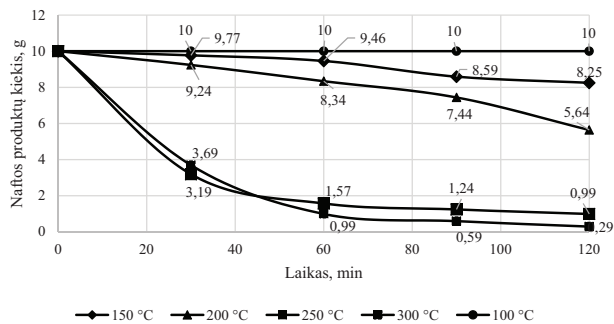
| Metodas                   | Mechanizmas                     | Metodo temperatūra, °C | Šalinami teršalai  |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------|--|
| Deginimas                 | Oksidacija                      | 600–1600               | Visi angliavandeniliai   |
| <i>Ex-situ</i> kaitinimas | Desorbicija                     | 100–300<br>300–550     | Lakieji ir pusiau lakūs angliavandeniliai  |
| <i>In-situ</i> kaitinimas | Desorbicija                     | 100–300<br>300–550     | Lakieji ir pusiau lakūs angliavandeniliai  |
| Stiklinimas               | Sorbavimas į išlydytą stiklą    | 1600–2000              | Visi angliavandeniliai su radioaktyviomis priemaišomis                               |
| Pirolizė                  | Pirolizės procesai              | <550                   | Visi angliavandeniliai   |
| Garų įpurškimas           | Intensyvesnis teršalų judėjimas | 250                    | Angliavandeniliai, kurių virimo temperatūra <250 °C                                  |
| Karšto oro įpūtimas       | Intensyvesnis teršalų judėjimas | 100                    | Lakieji angliavandeniliai, žalia nafta (paprastai taikomas kartu su kitais metodais) |



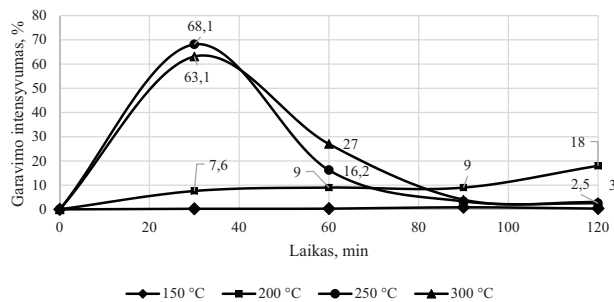
1 paveikslas. Tyrimo schema: 1 – svarstyklės; 2 – vandens siurblys; 3 – kondensatorius; 4 – kondensato indas; 5 – kaitinimo įrenginys; 6 – mėginiai; 7 – garų surinkimo sistema  
Figure 1. Research scheme: 1 – scales; 2 – water pump; 3 – condenser; 4 – condensation vessel; 5 – heater; 6 – samples; 7 – vapor collection system

vartoti tepalai, norint įvertinti galimai pakitusios tepalų sudėties įtaką garavimui.

Kaitintuvus kaitina naftos produktų mėginius termiš-kai atspariuose stikliniuose induose. Skruberis su kondensatoriumi neutralizuoja galimai toksiškus garus (15 % koncentracijos kalio hidroksido tirpalas) kondensuojant ir skysčio pavidalu surenkant į specialią talpyklą. Recirkuliuojantis vandens siurblys vėsina kondensatorių. Naftos produktų mėginys įdedamas į kaitintuvą, pasiekus tyrimui reikalingą temperatūrą užfiksuojamas pradinis laiko momentas. Naftos produktų garai surinkimo sistema nukreipiami į skruberį, kuriame nukenksminti pasiekia kondensatorių, atvėsta ir surenkami į specialią talpyklą. Kaitinimas stabdomas kas 30 min., mėginys atvėsinaamas ir išmatuojamas išgaravusių naftos produktų kiekis.



2 paveikslas. Švarios automobilio variklio alyvos garavimo priklausomybė nuo laiko skirtingose temperatūrose  
Figure 2. Evaporation dependence on time of clean car engine oil at different temperatures



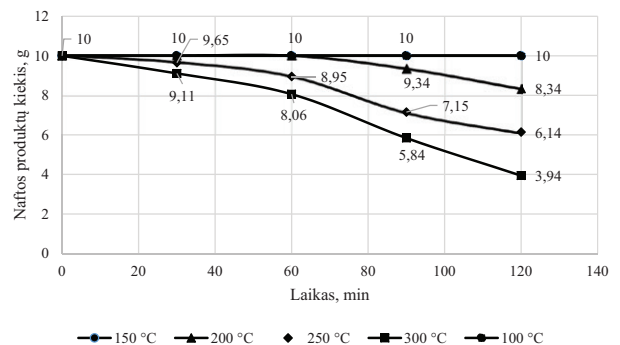
3 paveikslas. Švarios automobilio variklio alyvos garavimo intensyvumo priklausomybė nuo laiko skirtingose temperatūrose  
Figure 3. Evaporation efficiency dependence on time of clean car engine oil at different temperatures

## 2. Rezultatai ir jų analizė

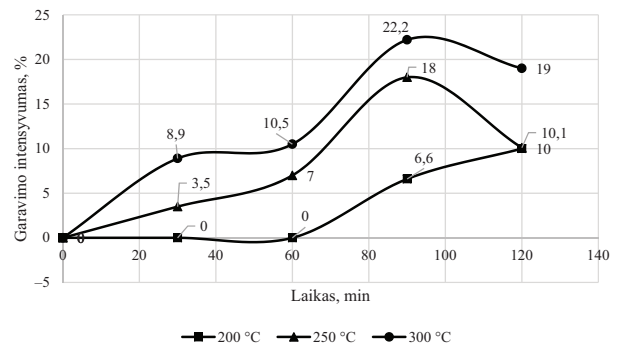
Pasirinktų temperatūrų diapazone (100–300 °C) buvo atlikti garavimo tyrimai (Falciglia, Giustra ir Vagliasindi, 2011) su pusiau lakia naftos produktų frakcija – dyzeli- nu. Gautas 76 % efektyvumas 100 °C temperatūroje; 95 % efektyvumas pasiektas 150 °C temperatūroje per trumpą laiką (iki 30 min.).

Atlikus sunkios frakcijos naftos produktų (tepalų) kaitinimą 100 °C ir 150 °C temperatūrose nė vienos pasirinktos rūšies tepalai nepradeda garuoti (2–5 pav.).

200 °C temperatūroje garuoja abiejų rūšių tepalai: švarūs tepalai (2–3 pav.), tačiau jų garavimo procesas ilgai trunka ir yra neintensyvus (iki 18 % pradinės masės per 2 valandas), todėl tokia temperatūra netinka sunkiai lakios



4 paveikslas. Vartotų tepalų garavimo priklausomybė nuo laiko skirtingose temperatūrose  
Figure 4. Evaporation dependence on time of used car engine oil at different temperatures



5 paveikslas. Vartotų tepalų garavimo intensyvumo priklausomybė nuo laiko skirtingose temperatūrose  
Figure 5. Evaporation efficiency dependence on time of used car engine oil at different temperatures

frakcijos naftos produktais užterštam dirvožemiui valyti, nes valymas būtų per ilgą laiką atžvilgiu.

250 °C temperatūroje pasiektas 90,1 % efektyvumas garuojant švarems tepalams. Nustatyta, kad didžioji dalis jų išgaruoja pirmąsias 30 min. (68,1 %). Vartotiems tepalams garuoti reikia daugiau laiko (4–5 pav.), intensyvumas yra didžiausias antrąją valandą, bendras išgaravimo efektyvumas pasiekia 38,6 %, intensyviausias garavimas (iki 18 %) vyksta praėjus 1 val. 30 min.

300 °C temperatūroje pasiektas 97,1 % švirių tepalų garavimo efektyvumas (2–3 pav.), intensyvumas (63,1 % pradinės masės) panašus kaip ir 250 °C temperatūroje (68,1 %). Galima teigti, kad idealiomis sąlygomis švirių tepalų garavimo intensyvumui temperatūros kėlimas nuo 250 °C iki 300 °C įtakos neturi.

300 °C temperatūroje pasiektas 60,6 % vartotų tepalų garavimo efektyvumas (4–5 pav.), intensyviausias garavimas (iki 22,2 % pradinės masės) vyksta praėjus 1 val. 30 min.

Nustatyta, kad 250–300 °C temperatūrų diapazone švarūs tepalai garuoja intensyviai ir per 2 val. pasiekiamas atitinkamai 90,1–97,1 % efektyvumas, o garavimo intensyvumas yra didžiausias pirmąją valandą, vartotų tepalų atveju pasiekiamas 38,6–60,6 % efektyvumas, o garavimo intensyvumas didžiausias antrąją valandą.

Siekiant pritaikyti žemos temperatūros terminį kaitinimo metodą sunkiai lakiems naftos produktams valyti iš dirvožemio realiomis sąlygomis, reikalingas 250–300 °C temperatūrų diapazonas, tačiau būtini papildomi tyrimai dėl dirvožemio parametrų (dirvožemio tipo, granulometriškos sudėties, drėgmės kiekio ir kt.) įtakos naftos produktų garavimo intensyvumui.

Remiantis mokslininkų (Falciglia et al., 2011) atliktais eksperimentiniais tyrimais, žemos temperatūros desorbicija yra geresnis pasirinkimas išvalyti pusiau lakios frakcijos naftos produktais (dyzelinu) užterštus smėlingus ir pusiau smėlingus dirvožemius ir pasiekti puikų šalinimo efektyvumą.

## Išvados

1. Atlikti eksperimentiniai tyrimai naudojant nedidelį kiekį mažai lakios naftos produktų frakcijos (tepalų). Pasirinkti švarūs ir vartoti tepalai, siekiant nustatyti galimą skirtingą garavimo intensyvumą dėl pakitusių tepalų savybių (klampumo, priemaišų kiekio ir kt.).
2. Tyrimo metu nustatyta, kad 100 °C temperatūroje tepalai negaravo, 150 °C temperatūroje nežymiai pradėjo garuoti švarūs tepalai, 200 °C temperatūroje garavo abiejų rūšių tepalai, tačiau garavimas buvo neintensyvus.
3. Nustatyta, kad 250–300 °C temperatūrų diapazone švarūs tepalai garavimo intensyviai ir per 2 val. buvo pasiektas 90,1–97,1 % efektyvumas, garavimo intensyvumas buvo didžiausias pirmąją valandą. Garuojant vartotiems tepalams pasiektas 38,6–60,6 % efektyvumas, garavimo intensyvumas didžiausias buvo antrąją valandą.

4. Šis metodas gali būti pritaikytas mažai lakios frakcijos (F3) naftos produktais užterštam dirvožemiui valyti *ex-situ* būdu, nes naftos produktų terminio kaitinimo metu garai yra surenkami skysčio pavidalu, taip pat palyginti žema kaitinimo temperatūra (250–300 °C) mažiau pakenks dirvožemio humuso sluoksniui nei aukštų temperatūrų metodai (deginimas, stiklinimas, pirolizė) ir išvalytą dirvožemį bus galima panaudoti augalams auginti (jį regeneravus), bet dažniausiai rekomenduojama jį naudoti tik teritorijoms rekultivuoti ar statyboje.

## Literatūra

- Acosta-González, A., Martirani-von Abercon, S., Rosseló-Móra, R., Wittich, R., & Marqués, S. (2015). The effect of oil spills on the bacterial diversity and catabolic function in coastal sediments: a case study on the *Prestige* oil spill. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 15200–15214. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4458-y>
- Badawi, A. F., Cavalieri, E. L., & Rogan, E. G. (2000). Effect of chlorinated hydrocarbons on expression of cytochrome P450 1A1, 1A2 and B1 and 2- and 4-hydroxylation of 17 $\beta$ -estradiol in female Sprague-Dawley rats. *Carcinogenesis*, 21(8), 1593–1599. <https://doi.org/10.1093/carcin/21.5.593>
- Baker, R. S., & Kuhlman, M. (2002). A description of the mechanisms of in-situ thermal destruction (ISTD) reactions. In Al-Ekabi, H. (Ed.), *Current practices in oxidation and reduction technologies for soil and groundwater: proceedings of the 2nd international conference on oxidation and reduction technologies for soil and groundwater* (pp. 17–21), Toronto, Ontario, Canada.
- Beškoski, V. P., Gojgić-Cvijović, G., Milić, J., Ilić, M., Miletić, S., Šolević, T., & Vrvic, M. M. (2011). *Ex situ* bioremediation of a soil contaminated by mazut (heavy residual fuel oil) – a field experiment. *Chemosphere*, 83(1), 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.020>
- Brakorenko, N. N., & Korotchenko, T. V. (2015). Impact of petroleum products on soil composition and physical-chemical properties. *Journal of Earth and Environmental Science*, 33, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012028>
- Bucalá, V., Saito, H., Howard, J. B., & Peters, W. A. (1996). Products compositions and release rates from intense thermal treatment of soil. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35(8), 2725–2734. <https://doi.org/10.1021/ie9505726>
- Falciglia, P. P., Giustra, M. G., & Vagliasindi, F. G. A. (2011). Low-temperature thermal desorption of diesel polluted soil: influence of temperature and soil texture on contaminant removal kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 185(1), 392–400. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.046>
- Gestel, K. V., Mergaert, J., Swings, J., Coosemans, J., & Ryckeboer, J. (2003). Bioremediation of diesel-contaminated soil by composting with biowaste. *Environmental Pollution*, 125(3), 361–368. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00109-X)
- Yanxun, S., Yani, W., Hui, Q., & Yuan, F. (2011). Analysis of the groundwater and soil pollution by oil leakage. *Procedia Environmental Sciences*, 11(Part B), 939–944. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.144>
- Juteau, P., Bisailon, J., Lépine, F., Ratheau, V., Beaudet, R., & Villémer, R. (2003). Improving the biotreatment of hydrocarbons-contaminated soils addition of activated sludge taken from the wastewater treatment facilities of an oil refinery. *Biodegradation*, 14(1), 31–40. <https://doi.org/10.1023/A:1023555616462>



- Khan, F. I., Husain, T., & Hejazi, R. (2004). An overview and analysis of site remediation technologies. *Journal of Environmental Management*, 71(2), 95-122.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.02.003>
- Merino, J., Piña, J., Errazu, A. F., & Bucalá, V. (2003). Fundamental study of thermal treatment of soil. *Soil and Sediment Contamination*, 12(3), 14-41. <https://doi.org/10.1080/713610981>
- O'Brien, P. L., DeSutter, T. M., Casey, F. X. M., Derby, N. E., & Wick, A. F. (2015). Implications of using thermal desorption to remediate contaminated agricultural soil: physical characteristics and hydraulic processes. *Journal of Environmental Quality*, 45(4), 1430-1436.  
<https://doi.org/10.2134/jeq2015.12.0607>
- Panagos, P., Hiederer, R., Van Liedekerke, M., & Bampa, F. (2013). Estimating soil organic carbon in Europe based on data collected through and European network. *Ecological Indicators*, 24, 439-450. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.07.020>
- Prenafeta-Boldú, F. X., Ballerstedt, H., Gerritse, J., & Grotenhuis, J. T. C. (2004). Bioremediation of BTEX hydrocarbons: effect of soil inoculation with the toluene-growing fungus *Cladophialophora* sp. strain T1. *Biodegradation*, 15(1), 59-65.  
<https://doi.org/10.1023/B:BIOD.0000009973.53531.96>
- Riser-Roberts, E. (1998). *Remediation of petroleum contaminated soils: biological, physical and chemical processes*. Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420050578>
- Scullion, J. (2006). Remediating polluted soils. *Naturwissenschaften*, 93(2), 51-65. <https://doi.org/10.1007/s00114-005-0079-5>
- Shabir, G., Afzal, M., Anwar, F., Tahseen, R., & Khalid, M. Z. (2008). Biodegradation of kerosene in soil by mixed bacterial culture under different nutrient conditions. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 52(2), 161-166.  
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.06.003>
- Si-Zhong, Y., Hui-Jun, J., Zhi, W., Rui-Xia, H., Yan-Jun, J., Xiu-Mei, L., & Shao-Peng, Y. (2009). Bioremediation of oil spills in cold environments: a review. *Pedosphere*, 19(3), 371-381.  
[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(09\)60128-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60128-4)
- Vidonish, J. E., Zygourakis, K., Masiello, C. A., Gao, X., Mathieu, J., & Alvarez, P. J. (2016a). Pyrolytic treatment and fertility enhancement of soils contaminated with heavy hydrocarbons. *Environmental Science & Technology*, 50(5), 498-506.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02620>
- Vidonish, J. E., Zygourakis, K., Masiello, C. A., Sabadell, G., & Alvarez, J. J. P. (2016b). Thermal treatment of hydrocarbon-impacted soils: a review of technology Innovation for sustainable remediation. *Engineering*, 2(4), 426-437.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.005>
- Viñas, M., Grifoll, M., Sabaté, J., & Solanas, A. M. (2002). Biodegradation of a crude oil by three microbial consortia of different origins and metabolic capabilities. *Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28, 252-260.  
<https://doi.org/10.1038/sj.jim.7000236>

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF PETROLEUM PRODUCTS EVAPORATION

J. Aleknaitė, D. Paliulis, R. Vaiškūnaitė

### Abstract

Oil products are usually released into the environment during transportation of oil, from storage, oil bases or accidents, accounting for about 60% of total soil pollution. Heavy metals, phenols, cyanides, aromatic hydrocarbons (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene) also enter the soil together with oil products. After the contamination enters the soil, it affects the pH of the soil, the activity of the biota weakens due to the toxic elements that react with oxygen, the soil degradation increases. In the course of the dissemination of these pollutants, not only the soil, but also groundwater is contaminated – pollution by oil products and heavy metals creates 53% of all groundwater pollution.

The aim of the research is to determine the lowest possible optimal temperature by choosing the temperature range of the heating temperature (100–300 °C) and to investigate the dependence of evaporation of oil products on the heating time. The minimum temperature is required to preserve the soil's properties, reduce the amount of energy used and the cost of the method. During the heat treatment of the selected oil products, the vapor passes through the condenser and is collected in the form of a liquid, avoiding leaks, which is a safe way if toxic substances are potentially exposed at the site of heating (the method safely removes pollutants from mixtures).

It has been established that in the temperature range 250–300 °C, clean oil evaporates intensively and achieve 90.1–97.1% efficiency over 2 hours and the maximum evaporation rate is at the first hour, in the case of used oil, an efficiency of 38.6–60.6% is achieved and vapor intensity at maximum after 2 hours of evaporation. This heating technology can be used to clean heavy soil fractions from contaminated oil products, and comparatively low temperatures (250–300 °C) will have less harm to soil properties than high-temperature methods (burning, glazing, pyrolysis).

**Keywords:** petroleum products, thermal desorption, heavy particle fraction, optimal temperature, evaporation.