

## LITERATŪRA

1. Bandžiulienė R., Kazlauskas R., Minkevičius V. 1983. Kuršių nerija. Vilnius, 112 p.
2. Gudelis V. 1998. Lietuvos jūris ir pajūris. Vilnius, 442 p.
3. Jankevičius K. (red.). 1959. Kuršių marios. Vilnius, 546 p. [rusų k.].
4. Kazakevičius S. 1989–1990. Kuršių nerijos krantų vystymosi dinamikos kartometrinė analizė // Geografijos metraštis, 25–26 t. Vilnius, p. 46–56.
5. Michaliukaitė E. 1967. Kuršių nerijos krantų ir kopų dinamika per pastaruosius 100 metų. Geografijos metraštis, 8 t. Vilnius, p. 97–115.

## COASTS OF THE CURONIAN LAGOON

*Dr. Juozapas Dubra*

### Summary

Natural and anthropogenic processes are rather obvious in the coasts of the Curonian Lagoon. Approximately 50 years ago the strip of the eastern coast near the Vente village and all the western coast of lagoon within the length of about 60 km were disrupted. Now separate strips of coasts reaching the length of 13 km near the settlements, also the coasts of the strait of Klaipėda are tightened by reinforced concrete quays. Regarding a rather big eutrophication of the waters of the Curonian Lagoon the coasts overgrow with reed that stops the abrasion of coasts. Foresters understand it and plant some coasts with reeds. Only separate strips of total length of 13 km are actively disrupted by the waves. The sand of dunes still spreads to the sea in separate strips of about 5 km near Parnidis and Negyvoji sand-dunes. The tightened lagoon coast near the Vente village stopped being disrupted lately.

Most lagoon coasts (1,6 ha) were disrupted during the “Anatolijus” hurricane in 1999, and in recent years 0,5–0,9 ha were disrupted. In recent 7 years the western coast of lagoon on the average lost 1,1 m of coasts, however, 8–12 meters were lost in separate strips within the same period. Lately the coasts stabilized in the eastern coast except the strip of Nemunas delta where the coast is growing wider due to the silt.

## BIOTECHNOLOGIJOS

### NAFTA IR NAFTOS PRODUKTAIS UŽTERŠTOS GAMTINĖS APLINKOS VALYMO BIOTECHNOLOGIJOS

*Rapolas Liužinas, prof. Karolis Jankevičius  
VšĮ „Grunto valymo technologijos“*

Didelės svarbos aplinkosaugos problema, iškilusi praėjusio amžiaus antroje pusėje – tai vandens ir grunto, užteršto nafta ir jos produktais, valymas. Lietuvai tampant iš tradicinės agrarinės industrine agrarine respublika, tenkinančia metropolijos reikmes, reikėjo vis daugiau energijos, o jos pagrindinis šaltinis buvo naftos produktai. Pastačius Klaipėdos naftos produktų eksporto bazę (1959 m.), o vėliau – Mažeikių naftos perdirbimo gamyklą (1981 m.) ir nutiesus naftotiekį, naftos produktų srautas, cirkuliuojantis šalyje ir per ją, siekė iki 32 mln. tonų per metus. To meto naftos produktų kainos, technikos lygis, direktyvinių organų ekologinis neraštingumas, visuomenei neprieinama informacija apie žalą, kurią sukelia naftinė tarša aplinkai ir žmogui, neskatino jų nei taupyti, nei vykdyti aplinkos teršimo prevencijos. Šiandien aplinkos teršimas nafta ir jos produktais yra žymiai sumažėjęs. Tačiau ir vykstant normaliai ūkinei veiklai, naftos saugyklose, elektrinėse, geležinkelyje, naftos perdirbimo gamykloje, degalinėse randasi atliekų, užterštų naftos angliavandeniliais. Vis dar nelikviduoti „istorinės“ taršos židiniai, neišvengiama avarinio naftos ir jos produktų išsiliejimo. Todėl ir toliau lieka svarbi aplinkosauginė užduotis – valyti aplinką nuo į ją patekusių ir patenkančių naftos angliavandenių bei utilizuoti atliekas, užterštas naftos produktais.

### Naftos produktų poveikis organizmams (biotai)

Nafta yra sudėtingas darinys [5]. Ji sudaryta iš įvairių angliavandenių – alkanų (vandenilio ir kitų elementų neprisijungiantys angliavandeniliai, kurių bendra formulė  $C_n H_{2n+2}$ ), cikloalkanų (angliavandeniliai su uždromis grandinėmis – ciklais), alkenų (angliavandeniliai, kurių bendra formulė  $C_n H_{2n}$ ; jų molekulėse tarp anglies atomų yra dvigubas ryšys), aromatinių angliavandenių (anglies ir vandenilio junginiai, kurių molekulėse yra benzeno žiedas) bei kitų cheminių junginių.

Įvairių angliavandenių santykis naftoje turi didelės reikšmės tiek jos panaudojimo požiūriu (anglies ir vandenilio tarpusavio santykis yra svarbus degimui), tiek ir biologiniu požiūriu. Kai į naftos sudėtį įeina daug aromatinių angliavandenių, ji yra žymiai toksiškesnė.

Naftos ir jos produktų poveikiui yra jautrūs tiek gėlųjų vandens telkinių, tiek jūrų bei sausumos (dirvožemio) organizmai.

Nustatyta [25, 26, 29] bendra naftos produktų poveikio mikrodumbliams ypatybė – staigus rūšių sumažėjimas. Kai vandenyje esti 1–10 ml/l dyzelinio kuro, žūsta visi melsvadumbliai (melsvabakterės), kai kurie titnagdumbliai ir dalis žaliadumblių – atspariausių naftos taršai mikrodumblių.

Zooplanktonas naftos produktų poveikiui yra dar jautresnis nei fitoplanktonas. Jau 0,001 ml/l naftos produktų toksiškai veikia zooplanktoną. Ypač jautrūs į zooplanktono sudėtį įeinantys irklakojai ir šakotaūsiai vėžiagyviai. Tai pagrindinis žuvų jauniklių maistas.

Nuo nafta užteršto vandens kenčia suaugusios žuvys. Naftos emulsija prilimpa prie žuvų žiaunų, ir nepajėgdamos normaliai kvėpuoti, jos tiesiog uždūsta. Ypač jautrūs šiam teršalui žuvų ikrai. Vandens grunto gyventojus – bentosą ypač veikia mazutas. Moliuskai midijos, kurios išplitusios šiaurinėje Kuršių marių dalyje bei Baltijos jūroje, kai mazuto tarša siekia 10 ml/l, jau žūva. Esant aukštesnei temperatūrai, toksiškas mazuto poveikis padidėja.

Išsiliejus naftai ypač nukenčia paukščiai. Baltijos jūros regione dėl šios priežasties kai kuriais metais žūva 10–40 tūkst. sparnuočių.

Naftos gavyba sparčiai auga. Ją išgaunant, transportuojant, naudojant teršiama aplinka, keliamas pavojus ekosistemų gyviesiems komponentams ir žmogaus sveikatai.

Lietuvoje turime daug – per 2000 nafta užterštų vietovių. Tai degalinės, naftos ir jos produktų saugyklos, garažai, geležinkelių depai, krovinių vagonų stotys. Iš viso naftos produktais užteršta maždaug 65 km<sup>2</sup>. Nafta užteršiamas ne tik dirvožemis, gruntas, bet ir paviršinis bei požeminis vanduo.

### Pradiniai naftos biovalymo tyrimai

Lietuvoje neigiamu naftos poveikiu gyvagai gamtai susirūpinta jau prieš kelis dešimtmečius. 1971–1972 m. iš Kuršių marių ir Baltijos jūros vandens buvo išskirtos ir identifiкуotos naftą oksiduojančių mikroorganizmų (NOM) 25 kultūros [32]. Jos priklauso *Pseudomonas desmolyticum*, *P. sinuosa*, *P. minuscula*, *P. ambigua*, *P. dacunhae*, *Bacterium agile*, *B. pestifer*, *B. album*, *Bacillus oligonitrophilus*, *B. terminalis*, *Pseudobacterium latericeum*, *Sarcina alba* rūšims. Iširtos jų fiziologinės-biocheminės savybės – gebėjimas skaidyti dyzelinį kurą, autolą, mazutą ir naftą. Nustatyta, kad naftą oksiduojančių bakterijų mišinys geriau mineralizuoja naftos angliavandenilius nesterilioje terpėje. Įrodyta, kad naftos produktų skaidymo procesuose dalyvauja ne tik naftą oksiduojančios, bet ir kitos mikroorganizmų fiziologinės grupės.

Tolesniais tyrimais buvo parodytas naftos produktų poveikis planktoniniams organizmams, išaiškintos labiausiai atsparios naftai rūšys [30, 31], jų fermentinis aktyvumas.

Ryšium su tanklaivio *Globe Asimi* avarija Klaipėdos uoste (1981 22 19) ir jūros akvatorijos bei paplūdimių tarša buvo atlikti tyrimai ir iššaiškintos priemonės mazuto biodegradacijai skatinti [33]. Jos heterotrofų dauginimąsi suaktyvino 8–11, o naftą oksiduojančių bakterijų – 4 kartus. Inventorizavus buvusias Sovietų karinių pajėgų teritorijas [17], paaiškėjo, kad gruntas ir požeminis vanduo jose žymiai užterštas naftos produktais ir kad tuos objektus reikia neatidėliotinai lokalizuoti ir valyti. Siekiant spręsti šias ir kitas problemas, susijusias su aplinkos teršimu nafta ir jos produktais, pajūrio regione (AB *Naftos terminalas*, Pauosčio geležinkelio stotis) netoli Klaipėdos, prieš penkiolika metų M. Gusiatio ir Aplinkos apsaugos ministerijos iniciatyva patatytas pirmasis šalyje šiuolaikinis kompleksas nafta užterštam gruntui ir statybiniam

laužui valyti, priklausantis viešajai įstaigai „*Grunto valymo technologijos*“ (GVT). Per tą laikotarpį sukaupta nemaža teorinė ir praktinė patirtis valant nafta ir jos produktais užterštą vandenį ir gruntą.

### Aplinkos biovalymo strategijos formavimas

Žemei ir vandeniui, užterštiems nafta bei jos produktais, valyti šiuo metu taikoma daug metodų. Juos galima priskirti fizikinių, cheminių ir biologinių valymo metodų grupėms. GVT taiko kelis valymo būdus, tačiau daugiausia dėmesio skiriama biologiniam, kai naftai ir jos produktams ardyti naudojami naftą oksiduojantys mikroorganizmai (NOM).

Siekdami kuo plačiau taikyti biologinio valymo metodus, kuriuos vertiname kaip labai veiksmingus ir pigius, ėmėmės kurti naujas nafta užteršto grunto valymo technologijas, nes pradinės pasirodė esančios mažai efektyvios. Jas kuriant, sudarant mikroorganizmų kompleksus buvo atsižvelgta į tai, kad Lietuvoje aplinka daugiausia teršiama sunkiaisiais angliavandeniliais, kurie biodegraduoja labai sunkiai. Tobulinant ir kuriant valymo technologijas glaudžiai bendradarbiauta ir bendradarbiaujama su mokslo institucijomis ir giminingomis ekologinėmis firmomis. Pagrindiniai bendradarbiavimo partneriai yra Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Augalų fiziologijos ir mikrobiologijos katedra, Botanikos instituto Biodestruktorių tyrimo laboratorija. Buvo užmegzti ryšiai su užsienio šalių firmomis (*Dekonta Kladno* Čekijoje) ir *Poliinform* Sankt Peterburge, Rusijoje). GVT, bendradarbiaudama su mokslinėmis ir gamybinėmis organizacijomis, nuo pat savo gyvavimo pradžios sprendė aktualias šalies aplinkosaugos tiriamojo-gamybinio pobūdžio užduotis:

- iš gamtinių šaltinių išskirti didelio aktyvumo naftą oksiduojančių mikroorganizmų štamus;
- optimizuoti štamų atrankos metodus;
- štamus identifiкуoti;
- rasti būdus, kaip išskirtus štamus išlaikyti ilgą laiką, išsaugant jų specifinį aktyvumą, ir panaudoti praktikos reikalams;
- iširti naftos įvairius angliavandenilius skaidančių štamų sudarytus derinius;
- iširti naftą oksiduojančių mikroorganizmų auginimui optimalias sąlygas (pH, grunto drėgnis, deguonies režimas, mitybiniai biogeniniai elementai) ir parengti mikrobiologinį naftos ir jos produktų biodegradacijos reglamentą;
- iširti ir pasiūlyti aukštesniuosis augalus (fitoremediacija), tinkamus likutiniams naftos produktams (sunkiosioms angliavandenilių frakcijoms) skaidyti;
- parengti, atsižvelgiant į NOM štamų fiziologinius-biocheminius ypatumus, biovalymo *ex-situ* ir *in-situ* sąlygomis techninius reikalavimus.

Galutinis šių darbų tikslas – parengti grunto ir vandens, užteršto nafta bei jos produktais, kompleksinę valymo technologiją (KVT).

## Aktyvių naftą oksiduojančių mikroorganizmų (NOM) štamų paieškos

GVT, bendradarbiaudama su Vilniaus universiteto Gamtos mokslų fakulteto Augalų fiziologijos ir mikrobiologijos katedra (dr. L. Kalėdienė), nustatė kai kuriuos *Penicillium* g. štamus (*P. decumbens* ir *P. frequentans*). Jie buvo užpatentuoti [10].

Iš Vilniaus, Kauno ir Panevėžio naftos bazių grunto buvo išskirtos ir identifikuotos 83 mikromicetų rūšys. Grunto pavyzdžiuose dominavo *Penicillium* g. rūšys (1 lentelė).

1 lentelė. Mikromicetų auginimas agarizuotoje Čapeko terpėje su nafta [11] vietoj sacharozės (įvertinta balais po 14 parų auginimo)

Eil. Nr.	Rūšies pavadinimas	Čapeko terpėje be sacharozės su 0,5 % naftos	Kontrolė: Čapeko terpė be sacharozės
<b>Vilniaus naftos bazė</b>			
1.	<i>Acremonium murorum</i> 3 VNB	+++	++
2.	<i>Acremonium polychromium</i>	-	-
3.	<i>Acremonium roseum</i> 3.2 VNB	+++	+
4.	<i>Fusarium moniliforme</i> 2.1 VNB	-	-
5.	<i>Gliocadium roseum</i> 4.3 VNB	+++	+
6.	<i>Humicola grisea</i> 3.1 VNB	-	-
7.	<i>Mortierella</i> sp. 4.1 VNB	++	++
8.	<i>Penicillium chrysogenum</i> 1 VNB	+++++	-
9.	<i>Penicillium chrysogenum</i> 4.2 VNB	++	+
10.	<i>Penicillium citrinum</i> 4.5 VNB	+++++	-
11.	<i>Penicillium clavigerum</i> 6.4 VNB	+++++	-
12.	<i>Penicillium decumbens</i> 6 <sub>1</sub> VNB	+++++	+
13.	<i>Penicillium janthinellum</i> 3 VNB	+++	+
14.	<i>Penicillium paxilli</i> 5.1 VNB	-	-
15.	<i>Penicillium</i> sp. 6 VNB	+++++	-
16.	<i>Phoma cava</i> 1 VNB	-	-
<b>Kauno naftos bazė</b>			
1.	<i>Acremonium murorum</i> KNB 3	+	-
2.	<i>Aspergillus fumigatus</i> KNB 6.4	+++	++
3.	<i>Chrysosporium merdarium</i> KNB 6.1	+	-
4.	<i>Paecilomyces carneus</i> KNB 3.3	++++	+
5.	<i>Penicillium chrysogenum</i> KNB 4	+++	+
6.	<i>Penicillium variable</i> KNB RM	++++	+
7.	<i>Penicillium verrucosum</i> KNB <sub>4</sub>	++	++

8.	<i>Stachybotrys atra</i> KNB 5	-	-
9.	<i>Trichoderma harzianum</i> KNB 5.2	++	-
<b>Panevėžio naftos bazė</b>			
1.	<i>Chloridium chlamidosporis</i> PNB 6	+++	+
2.	<i>Chrysosporium merdarium</i> PNB 4.1	+++	-
3.	<i>Nigrospora sphaerica</i> PNB 1.3	-	-
4.	<i>Penicillium canescens</i> PNB 5.9	+++++	++
5.	<i>Penicillium chermesinum</i> PNB 6.1	++	++
6.	<i>Penicillium corylophyllum</i> PNB 2.4	+++++	+
7.	<i>Penicillium frequentans</i> PNB 6.4	++++	++
8.	<i>Penicillium oxalicum</i> PNB 4.3	+	+

**Paaiškinimai:** - neaugo; + augimas išžiūrimas tik pro mikroskopą; ++ silpnas augimas, matyti plika akimi, micelis dengia mažiau kaip 25% terpės paviršiaus; +++ augimas gerai matyti plika akimi, micelis dengia daugiau kaip 25% terpės paviršiaus; ++++ vidutinis augimas, micelis dengia 50% terpės paviršiaus; +++++ intensyvus augimas, micelis dengia 70–100% terpės paviršiaus

Skirtingą angliavandenilių biodegradabilumą lemia tai, kad skaidant naftą įvairūs komponentai mineralizuojami nevienodai intensyviai. Vienu atveju angliavandenilių mišinyje gali būti skaidomi lengviausiai suardomi komponentai, o sunkiau mineralizuojami junginiai neskaidomi. Taigi junginių atsparumą biodegradacijai sunkiau įvertinti esant mišriam substratui. Kitu atveju substratas gali būti skaidomas tik kometabolinės oksidacijos būdu. Substrato transformacija iki tarpinių produktų, katalizuojant nespacificiniams fermentams, apibūdinama kaip kometabolinė oksidacija. Šiame procese netinkamo mikroorganizmų auginimui substrato struktūra oksiduojama iki paprastesnių, lengviau įsisavinamų, panaudojant mikroorganizmui įprastus junginius [21].

Mikroorganizmams, jų tarpe NOM, būdingas labai glaudus ryšys su aplinka, o šios aplinkos mitybos elementų koncentracija, drėgnumo, temperatūros, deguonies režimas nuolat kinta. NOM rūšys prie besikeičiančios aplinkos prisitaiko nevienodai. Vienos esti ekologiškai plastiškos – adaptyvios, o kitos – konservatyvios.

Dera pažymėti, kad NOM euribiontinių aktyvių štamų, kurie pakenčia didesnius aplinkos veiksmų svyravimus, selekcija yra sudėtingas ir imlaus teorinio pasirengimo reikalaujantis darbas. Tokių mikroorganizmų atrankos bei jų aktyvumo įvertinimo procedūra yra ilga.

Su Botanikos instituto Biodestruktorių tyrimo laboratorija (prof. A. Lugauskas ir dr. A. Paškevičius) užpatentuoti įvairias angliavandenilių grupes ardantys *Pseudomonas fluorescens*, *Candida lipolytica*, *Trichoderma lignorum*, ir kiti štamai [14, 16, 18]. Ištirta, kad štamai *Pseudomonas fluorescens* IGN 57 (2 lentelė) per 7 paras suskaido (lyginant su kontrole) 87,9% naftalino, 84,0% naftos ir 60,7% mazuto. 20-ą parą naftalino buvo suskaldyta iki 99,9%, o naftos – 99,8% (2 lentelė). Kultivuojant *Pseudomo-*

*nas fluorescens* IGN 57 štamą kartu su grybo *Trichoderma harzianum* VNB-16 štamu vienoje terpėje po 7 parų buvo suskaidyta 71,6%. Per tą laiką vienas grybas suskaidė tik 15,3% mazuto.

**2 lentelė.** Angliavandenilių substratų skaidymas naudojant štamą *Pseudomonas fluorescens* IGN57 [9]

Substratas	Kontrolė (išmatuotas substrato kiekis, mg)	Substrato likutis po kultivavimo			
		7 parų		20 parų	
		likutis, mg	suskaidyta, %	likutis, mg	suskaidyta, %
Naftalinas	647	78,0	87,9	0,4	99,9
Nafta	825	132,0	84,0	1,8	99,8
Mazutas	715	281	60,7		

Atliekant antagonizmo tyrimus nustatyta, kad *Pseudomonas fluorescens* IGN 57 štamai nėra antagonistiškas itin dirvoje paplitusioms grybų ir mielių rūšims bei gramteigiamoms bakterijoms.

Naftą oksiduojančių mielių atrankos tyrimų rezultatai rodo, kad naftos produktais užterštuose substratuose dažniausiai buvo išskirtos *Candida* Berfhout, *Lipomyces* Lodder et Kreger-van Rij, *Pichia* E. C. Hansen emend. Kutzman, *Rhodospiridium* Banno ir *Rhodotorula* F. C. Harrison genčių mielės. Naftą oksiduojančių savybių mielių buvo ieškota ir Biodestruktorių tyrimo laboratorijos mielių kolekcijoje. Tolesniems tyrimams buvo atrinktos tokių rūšių aktyviai mazutą skaidančios mielės: *Candida lipolytica* (Harrison) Didens et Lodder, *Rhodotorula lactosa* Hasegawa, *R. glutinis* (Fresenius) F. C. Harrison ir *Rhodospiridium diobovatum* Newel et I. L. Hunter.

Naftos, mazuto ir naftalino biodegradavimo tyrimų, naudojant mielių *Candida lipolytica* C. 6.1-5 štamą, rezultatai pateikti 3 lentelėje. Iš jos duomenų matyti, kad mielių *Candida lipolytica* C. 6.1-5 štamai yra stiprus angliavandenilių destruktorius. Nustatyta, kad po 7 parų mielių *Candida lipolytica* C. 6.1-5 štamo kultivavimo naftos kiekis terpėje sumažėjo net 75,8%, o po 20 parų – 90,1%. Analogiškai bandymai su aromatinium angliavandeniliu naftalinu rodo, kad jo kiekis po 7 parų sumažėjo 67,5%, o po 20 parų – 84,8% (3 lentelė).

**3 lentelė.** Naftos ir jos produktų likutis po mielių *Candida lipolytica* C. 6.1-5 štamo kultivavimo

Substratas	Angliavandenilio kiekis, mg/100ml			Destrukcijos efektyvumas, %	
	kontrolė	po 7 parų	po 20 parų	po 7 parų	po 20 parų
Nafta	868,0	210,0	86,0	75,8	90,1
Mazutas	715,0	344,0	138,0	51,9	80,7
Naftalinas	719,0	234,0	109,0	67,5	84,8

**4 lentelė.** Naftą oksiduojantys mikromicetai, išskirti iš užteršto grunto naudojant specialias terpes [9]

Grunto mėginio Nr.	Čapeko terpė su 1 % mazuto	Jamados terpė	Kaupiamoji kultūra
1	<i>Trichoderma</i> sp., <i>Mycelia sterilia</i>	<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Cladosporium</i> sp. <i>Penicillium</i> sp., bakterijos
2	<i>Trichoderma</i> sp., <i>Mycelia sterilia</i>	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Mucor</i> sp., <i>Trichoderma</i> sp.
3	<i>Trichoderma</i> sp., <i>Mycelia sterilia</i>	Neišaugo	<i>Penicillium funiculosum</i> Thom, bakterijos
4	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Aspergillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp., bakterijos
5	<i>Trichoderma</i> sp., <i>Mycelia sterilia</i> , <i>Penicillium</i> sp.	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Aspergillus flavus</i> Link., <i>Aspergillus terreus</i> Thom, bakterijos
6	Neišaugo	Neišaugo	<i>Penicillium funiculosum</i> Thom
7	<i>Mycelia sterilia</i>	Neišaugo	<i>Rhizopus stolonifer</i> (Ehrenb. Ex Fr.) Vuill
8	<i>Mycelia sterilia</i>	Neišaugo	<i>Aspergillus flavus</i> Link., bakterijos
9	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Penicillium</i> sp.
10	<i>Mycelia sterilia</i>	Neišaugo	<i>Penicillium</i> sp., bakterijos
11	Neišaugo	Neišaugo	<i>Aspergillus flavus</i> Link., <i>Fusarium</i> sp.

Mazutą (daugiakomponentinis teršalas) NOM ardo lėtai (3 lentelė). *Candida lipolytica* C. 6.1-5 štamai per 7 paras mazuto suskaidė 51,9%, o per 20 parų – 80,7%.

Naudojant įvairias terpes (Čapeko, Jamados, Kaupiamosios kultūros metodus) su skirtingais maisto komponentais bei augimo sąlygomis išskirta nevienodas NOM rūšių skaičius, skyrėsi ir rūšinė sudėtis (4 lentelė). Bandymai parodė, kad *Trichoderma harzianum* VNB 16 štamai naftaliną skaido sparčiau nei mazutą (tai svarbu praktiniu požiūriu; jis naudotinas aromatinium angliavandenilių skaidymui). Mazutas skaidomas intensyviau, kai naudojamas NO bakterijų ir mikromiceto *Trichoderma harzianum* mišri kultūra (5 lentelė).

**5 lentelė.** Naftalino ir mazuto skaidymas naudojant grybo *Trichoderma harzianum* VNB-16 štamą

Naftos produktas	Pradinis angliavandenilių kiekis, mg/100 ml	Po 7 parų		Po 20 parų	
		likutis	suskaidyta	Likutis	suskaidyta
Naftalinas	719	406,4	43,5%	60,5	91,5%
Mazutas	715	644,2	10%	-	-
Mazutas*	715	-		238,8	66,6%

\* - bakterijos ir grybų štamai auginti kartu

GVT specialistai, bendradarbiaudami su AB *Poliinform* (Sankt Peterburgas), savo Klaipėdos grunto valymo aikštelėje (Kiškėnų k.) iš valomo grunto išskyrė aktyvius naftą ir jos produktus oksiduojančius štamus: *Serratia odorifera* A 3n GKM VIZR Nr. 99 (RU patentas 2157838, 2000); *Serratia odorifera* A 3b GKM VIZR Nr. 100 (RU patentas 2157839, 2000); *Serratia ficaria* B 3n GKM VIZR Nr. 101 (RU patentas 2157840, 2000); *Acetobacter pasterianus* ABZ-2 GKM VIZR Nr. 102 (RU patentas 2157841, 2000) *Trichoderma lignorum* L-1 GKM VIZR Nr. 103 (RU patentas 2157842, 2000) ir *Bacillus cereus* B 3b GKM VIZR Nr. 98 (RU patentas 2157843, 2000).

Tyrimais nustatėme, kad valant užterštą gruntą ar vandenį dera naudoti ne vieną, o kelis štamus, jų veikliąją asociaciją. Jų biomasė pagausinama specialiuose reaktoriuose ir panaudojama koncentruotos suspensijos pavidalu. Tyrimais nustatėme tinkamiausią jų kultivavimui terpės sudėtį.

Geras valymo efektas gaunamas naudojant mikroorganizmų asociaciją, sudarytą iš hidrofiliųjų bakterijų *Pseudomonas* sp., lipofilinių – *Rhodococcus* sp., *Bacillus cereus* ir mikromicetų – *Candida* sp., *Trichoderma lignorum*. Asociacija yra stabili, nes ją sudaro kultūros, išskirtos iš naftos produktais užteršto substrato [15].

Veikliuoju komponentu, kaip matome, naudojamos ne tik bakterijos, bet ir mikromicetai. Taip NOM preparatai praturtinami plačiu fermentų producentų – gamintojų rinkiniu, gebančiu skaidyti įvairius naftos produktų angliavandenilius. Tokie mikroorganizmų konsorciumai pasižymi dideliu naftos biodegradavimo efektyvumu.

NOM štamai nėra universalūs. Vieni jų aktyviau ardo naftos skystus sočiuosius angliavandenilius – parafinus, kiti ardo nesočiuosius angliavandenilius – olefinus arba alkenus. Treti, o jų mažiausiai, ardo, nors ir sunkiai, naftos aromatinius angliavandenilius. Kuo daugiau šių angliavandenilių sudėtyje yra benzeno žiedų, tuo sunkiau jie ardomi. Sunkiausiai ardomi policikliniai angliavandeniliai.

### Aplinkos biovalymo pagrindai

Remiantis tiriamojo darbo rezultatais, nafta ir jos produktais (mazutu) užterštas gruntas valomas *ex-situ* sąlygomis.

Kai užterštas gruntas atvežamas į specialią degradavimo aikštelę (tokia yra GVT Klaipėdos filiale, plotas – 2 ha) ir čia valomas – tai toks valymas vadinamas *ex-situ*. Kai gruntas valomas vietoje, jo neiškasant ir naudojant naftą oksiduojančius mikroorganizmus, sakome, kad tai valymas *in-situ*.

Gruntas *ex-situ* valomas paskleidus jį ant specialiai įrengtos aikštelės. Aikštelės danga įrengiama taip, kad grunto teršalai nepakliūtų į gruntinius vandenis. Nuo aikštelės nutėkėjęs vanduo surenkamas specialiame tvenkinyje. Čia jis apvalomas ir panaudojamas valomo grunto drėkinimui.

Biovalymo technikos pagrindinis reikalavimas, pagrįstas mūsų atliktais tiriamaisiais darbais, – sudaryti palankias sąlygas mikrobiologinei biodegradacijai. Kaip šios sąlygos sudaromos? Reguluojama grunto vandenilio jonų koncentracija (pH). Palankomas reikiamas drėgmės kiekis grunte – jo turi būti 65% grunto vandentalpos. Siekiama palankaus deguonies režimo grunte. Pradinėje valymo stadijoje gruntas nėra pakankamai poringas, o makro- ir mikroporos reikalingos, kad oras ir vanduo spar-

čiau judėtų grunte. Gruntas purenamas įvairaus tipo spyruokliniais kultivatoriais. Jais gruntas išmaišomas – homogenizuojamas. Į jį įterpiami mikroorganizmams reikalingi elementai – N, P, K, S, Ca bei mikroelementai – Mo, Co, Li, Br, J. Trašų koncentracija – 0,5–3,0%. Didesnė koncentracija gali sukelti ląstelių plazmolizę ir sutrikdyti valymą. Reguliariai stebimi valomo grunto mikrobiologinis aktyvumas, teršalo ardymo eiga, pagrindiniai grunto rodikliai – drėgnumas, aeravimas, mitybinių elementų kiekio kaita. Prireikus šie rodikliai koreguojami.

Kaip gruntas valomas kaupuose? Darbas atliekamas betonuotoje aikštelėje. Kaupai kraunami ant laidaus drenuojamo pagrindo. Šiam reikalui naudojami specialios formos betono blokeliai. Juose esantys kanalai užtikrina greitą nuvandeninimą. Vietoj blokelių drenažui taip pat naudojamas 10 cm žvyro sluoksnis. Į jį sudedami perforuoti 63 mm skersmens polietileno vamzdžiai. Ant drenažinio sluoksnio pilamas valymui paruoštas gruntas. Grunto sluoksnio storis – 0,5 metro. Ant jo klojamas 0,1 m storio šiaudų sluoksnis. Į juos kas 0,5 m sudedami perforuoti vamzdžiai. Šitai supilami keturi sluoksniai su trim tarp sluoksniais. Tarp sluoksnių paskirtis – grunto aeravimas pasyvios ventiliacijos būdu. Juose esantys perforuoti vamzdžiai ne tik aeruoja, bet atlieka ir kitą funkciją – jais į gruntą įterpiamas maisto medžiagų tirpalas mikroorganizmams. Kaupo plotis – 4–5 m, aukštis – 2 m, ilgis – nuo kelių iki keliasdešimt metrų.

Naftą oksiduojančių mikroorganizmų suspensija naudojama kaupo paviršiui drėkinti. Valomo grunto struktūra kaupe suformuojama taip, kad būtų normalus jos vertikalus laidumas vandeniui, t.y. būtų normalios grunto filtracinės savybės. Tam gruntas lengvai sudrėkinamas iki pamato.

Gruntui valyti, ar jis būtų išpilamas plonu sluoksniu, ar valomas kaupuose, naudojami naftą oksiduojantys mikroorganizmai [1, 4, 6–8, 12, 13, 19, 23].

### Naftą oksiduojančių mikroorganizmų (NOM) pagrindinės reikmės

NOM normaliai gali augti ir daugintis, kai patenkinamos jų elementarios reikmės (6 lentelė).

6 lentelė. Naftą oksiduojančių mikroorganizmų reikmės

Reikmių rodikliai	Minimumas	Maksimumas	Optimumas
Vandenilio jonų koncentracija (pH)	5,0	9,0	7,0
Santykis C:N:P:K	100:5:1:1	100:10:1:1	100:7:1:1
Ištirpęs deguonis (O <sub>2</sub> ) mg l	5,0	11,0	9,0
Temperatūra °C	8	40	27

Ypač svarbus rodiklis – deguonies kiekis. Angliavandenilių etano, heksano, benzeno, tolueno, ksileno, naftalino, oktano 1 mg suoksidinti panaudojama atitinkamai 3,73; 3,58; 3,08; 3,15; 3,17; 3,00; 3,51; 3,51 mg O<sub>2</sub>.

## Vandenilio jonų koncentracija (pH)

Lietuvoje yra daugiau kaip 1 mln. ha didesnio rūgštingumo dirvožemių. Daugiausia jų vakarinėje šalies dalyje. Mat čia iškrinta gausiau kritulių (apie 650 mm). Krituliai kasmet išplauna iš grunto (dirvožemio) apie 500–600 kg/ha kalkių ir iki 100 kg/ha magnio [24]. Jeigu grunte, jo absorbuojančiame komplekse, yra daugiau kalcio ir magnio jonų, dirvožemis yra šarminės reakcijos. Jei be jų yra ir vandenilio jonų, dirvožemio reakcija bus neutrali, o jei grunte vyrauja vandenilio jonai – reakcija rūgšti.

Skiriamos dvi grunto rūgštumo formos: 1) aktualusis, arba aktyvusis, grunto tirpalo, grunto suspensijos arba grunto vandens ekstrakto rūgštumas ir 2) potencialusis grunto (kietosios fazės) rūgštumas.

Gruntai pagal rūgštingumą skirstomi taip: labai rūgštus – pH < 4,5; vidutinio rūgštingumo – 4,6–5,0; silpnai rūgštus – 5,1–5,5; labai silpnai rūgštus – 5,0–6,0; artimi neutraliems – 6,1–6,5; neutralūs – daugiau kaip 6,6.

Grunte (dirvožemyje), kurio rūgštingumas padidėjęs, daugelio fiziologinių grupių mikroorganizmų kiekis smarkiai sumažėja. Bet ne visų. Mikromicetai gerai vystosi rūgščioje terpėje. Naftos produktų destrukciją skatinantys *Candida* genties mikromicetai, pvz., *C. lipolytica*, *C. utilis*, auga prisitaikę prie plataus diapazono pH – nuo 2 iki 9, tačiau bakterijoms reikia neutralios arba šarminės terpės.

*GVT* daugiausia valo naftos produktais užterštus velėninius jaurinius, vidutiniškai nujaurėjusius priesmėlius ar lengvo priemolio gruntus. Šie gruntai yra rūgštūs. Juos reikia kalkinti. Kalkinimas sumažina judriojo aliuminio kiekį grunte (aliuminis trukdo fosforui ir kitiems elementams patekti į mikroorganizmus), pagerina jo agrofizines savybes, suaktyvina mikrofloros biocheminę veiklą [20].

Gruntams kalkinti naudojamos kalkinės medžiagos: susmulkintas kalkakmenis, kalkinis tufas, mergelis, kalkių purvas. *GVT* kalkinimui naudoja dolomitmilčius. Jie gaunami iš nuosėdinės uolienos dolomito. Dolomitas – karbonatų klasės mineralas  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Jame  $\text{CaCO}_3$  yra 54,6%,  $\text{MgCO}_3$  – 42,5%. Dolomite yra nedaug K, Na, Si, Al, Fe, P, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn.

**7 lentelė.** Įvairiems gruntams, priklausomai nuo rūgštingumo, naudojamos kalkių normos (tonomis) [24]

Gruntas	pH				
	≤ 4,2	4,3–4,5	4,6–4,8	4,9–5,0	5,1–5,5
Smėlio	4	3	2	1,5	1,0
Priesmėlio	6	4	3	2,5	1,0
Priemolio	8	6	4	3,0	2,0

Gruntui valyti *GVT* taiko palaikomąjį kalkinimą. Naudojama ne mažiau kaip 1 t dolomitmilčių į 1 ha 35–45 cm sluoksniu paskleisto valomojo grunto. Taip padidina grunto mikroorganizmų gyvybingumą, pagerinamos valomojo grunto fizinės sa-

vybės, sudaromos palankios sąlygos grunto organizmams geriau įsisavinti mineralines bei organines trąšas.

## Valomo grunto tręšimas

Priimant grunto tręšimo techninius sprendinius reikia atsižvelgti į:

- NOM mitybines reikmes;
- Valomo grunto fizines ir chemines savybes;
- Grunto mikroelementų foninę būklę;
- Grunto drėkinimui naudojamo vandens cheminę sudėtį.

Mikroorganizmų ląstelės cheminė sudėtis:

- vanduo – 90%;
  - sausoji medžiaga – 10%.
- Didžiausią sausosios medžiagos dalį (97%) sudaro:
- baltymai – 52%;
  - polisacharidai – 17%;
  - lipidai – 9%;
  - ribonukleino rūgštys – 16%;
  - deoksiribonukleino rūgštys – 3%.

Likusią mikroorganizmų ląstelių sausosios medžiagos dalį (3%) sudaro mažos molekulinės masės organinės medžiagos ir druskos.

Pagrindinė mikroorganizmo ląstelės sudėtinė dalis yra baltymai (52%). Ląstelėje jų yra didelė įvairovė. Funkciniu atžvilgiu jie yra specifiniai, tačiau visi – 20-ies amino rūgščių kombinacijos.

Tokia ląstelės cheminė sudėtis yra būdinga visiems mikroorganizmams, tarp jų ir NOM, kurių pagrindinės formos mūsų ir kitų autorių tyrimais būtų tokios [2, 11, 27, 28, 32]:

- ✓ *Achromobacter ambiquum*, *A. desmolyticum*, *A. ubiquitum*;
- ✓ *Acinetobacter calcoaceticus*;
- ✓ *Arthobacter* spp.;
- ✓ *Bacillus circulans*, *B. brevis*, *B. fastidiosus*, *B. filaris*, *B. idosus*, *B. mycoides*, *B. palustris*, *B. sphaericus*, *B. subtilis*;
- ✓ *Bacterium aliphaticum*, *B. album*, *B. agile*, *B. candicans*, *B. delicatolum*, *B. galophilum*, *B. litorale*, *B. liquefaciens*, *B. nitrificans*, *B. parvulum*, *B. surfuricum*;
- ✓ *Brevibacterium lipolyticum*;
- ✓ *Chromobacterium citrinum*, *Ch. naphthalani*, *Ch. flavus*;
- ✓ *Corynebacterium* spp.;
- ✓ *Flavobacterium* spp.;
- ✓ *Micrococcus albicus*, *M. candidus*, *M. luteus*, *M. tetragenus*;
- ✓ *Micromonospora* spp.;
- ✓ *Mycobacterium convolutum*, *M. mucosum*, *M. xyalinum*;
- ✓ *Nocardia corrallina*, *N. paraffinae*, *N. rubra*;

- ✓ *Pseudomonas ambigua*, *P. aeruginosa*, *P. biforme*, *P. brevis*, *P. caudatus*, *P. coc-cuformis*, *P. desmolyticum*, *P. fluorescens*, *P. funduliformis*, *P. furcosum*, *P. lique-faciens*, *P. maidis*, *P. methylicum*, *P. oogenes*, *P. ovatum*, *P. pictorum*, *P. putida*, *P. radiobacter*, *P. vulgatum*;
- ✓ *Pseudobacterium* spp.;
- ✓ *Rhodococcus equae*, *R. erythropolis*, *R. lutens*, *R. maris*, *R. opacus*, *R. ruber*, *R. rubropertinctus*, *R. terrae*;
- ✓ *Streptomyces* spp.;
- ✓ *Candida quillermondii*, *C. lipolytica*, *C. parapsilosis*, *C. pseudotropicalis*, *C. tro-picalis*, *C. utilis*;
- ✓ *Debaromyces* spp.;
- ✓ *Endomycopsis* spp.;
- ✓ *Pichia* spp.;
- ✓ *Rhodotorula rubra*;
- ✓ *Saccharomyces cerevisiae*;
- ✓ *Trichosporum* spp.;
- ✓ *Aspergillus* spp.;
- ✓ *Cladosporium resinae*;
- ✓ *Fusarium* spp.;
- ✓ *Mucor* spp.;
- ✓ *Penicillium* spp.;
- ✓ *Trichoderma* spp.

**Anglies (C) šaltinis.** Naftą oksiduojančių mikroorganizmų, kaip ir kitų mikroor-ganizmų, medžiagų apykaitoje (metabolizme) pagrindinis vaidmuo tenka angliai (C). Mat visi junginiai, iš kurių sudaryti gyvi organizmai – tai anglies junginiai.

NOM yra vadinamieji saprofitai – heterotrofai. Jie savo ląstelių statybai anglį ima iš ardomų negyvų organinių junginių. NOM, kurių sąrašas pateiktas, kaip anglies šalti-nį naudoja įvairius organinius junginius. Nuo kitų mikroorganizmų jie skiriasi tuo, kad geba anglies gauti iš angliavandenilių (naftos produktų, mazuto). Angliavandeniliai sudaro 98% naftos. Taigi dėl šios savo savybės NOM gali būti naudojami grunto ar vandens, užteršto naftos produktais, apvalymui.

**Azoto (N) šaltinis.** Azotas (be anglies, vandenilio ir deguonies) yra vienas iš svar-biausių 4 elementų, būtinų NOM ląstelės statybai. NOM ląstelės sausoje medžiagoje azoto randama apie 10%. Azotas gamtoje aptinkamas oksiduotas (NO<sub>3</sub>), redukuotas (NH<sub>4</sub>) ir molekulinio azoto pavidalu. NOM azotą įsisavina tiek oksiduotą, tiek ir re-dukuotą. Oksiduotos azoto formos – tai nitratinės mineralinės trąšos (amonio nitratas, natrio nitratas, kalcio nitratas, kalio nitratas). Taip pat naudojamas amonio chloridas, amonio sulfatas, amonio sulfatas-nitratas, karbamidas.

**Fosforo ir sieros šaltiniai.** Fosforo šaltinis – fosforinės trąšos (paprastasis miltinis superfosfatas, fosforizuotas miltinis superfosfatas, precipitatas, tomamilčiai, fosfatšla-kis, fosforitmilčiai).

Siera tręšimui naudojama sulfatų pavidalu. Ji įeina į amino rūgščių cisteino, me-tionino, taip pat naftos (mazuto) sudėtį. NOM siera gerai įsisavina iš sulfatų, juos redukuoja iki sulfidų.

**Kalio šaltinis** – tai kalio trąšos (kalio chloridas, kalio ir magnio sulfatas arba kali-magnezija, potašas).

NOM mitybai būtini kai kurie metalai. Jie panaudojami neorganinių druskų katijo-nų pavidalu. Kai kurių elementų (Mg, Ca, K, Fe) reikalingi didesni kiekiai. Nedideliais kiekiais naudojami Zn, Mn, Na, Mo, Cu, V, Ni, Co elementai.

Kai kurių NOM normaliam augimui ir dauginimuisi būtinos fiziologiškai aktyvios medžiagos (vitaminai, aminorūgštys). Tokie NOM vadinami auksotrofais. Kiti NOM, kurie geba patys sintetinti aktyvius junginius, vadinami prototrofais.

Remiantis NOM mitybinėmis reikmėmis sudaromos grunto, užteršto naftos pro-duktais, tręšimo schemas. Valomo grunto tręšimo mineralinėmis trąšomis schema, ku-rią parengė GVT, pateikta 8 lentelėje.

**8 lentelė.** Naftos produktais užterštų gruntų tręšimo NPK trąšomis schema

Cheminis junginys (trąša)	Veiklioji medžiaga	Veikliosios medžiagos kiekis, g/kg	Naudojamos trąšos kiekis, g/t	Naudojimo terminas ir kiekis, g/t		
				05 10-20	06 10-20	07 10-20
Amonio nitratas NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	340	360	120	120	120
Fosforizuotas miltinis superfosfatas CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ×H <sub>2</sub> O×2CaSO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	230	210	70	70	70
Kalio chloridas KCl	K <sub>2</sub> O	600	81	27	27	27
Bendras kiekis			651	217	217	217

Tarkime, kad paskleistas 40 cm storio sluoksniu valomasis gruntas sudaro 4000 m<sup>3</sup>/ha arba 6400 t/ha. Tuomet per valymo sezoną 1 ha bus panaudota: amonio nitrato – 2304 kg, superfosfato – 1344 kg ir kalio chlorido – 518 kg. Priklausomai nuo valomo grunto pH ir kitų sąlygų, trąšų kombinacijos gali būti įvairios, tik reikia atsi-žvelgti į tai, kad trąšos derėtų tarpusavyje ir kad būtų kuo mažesni jų nuostoliai.

Valant mazutu užterštą gruntą išbandytos kompleksinės mineralinės trąšos. Bio-valymui tinka daug azoto turinčios mineralinės trąšos, pvz., Kemira agrotrąšos, %: N – 26,0; NO<sub>3</sub>-N – 12,0; P – 3,0; tirpus P -2,1; K – 3,0; Ca – 2,0; S – 1,5; Mg – 0,5; Cl – 3,7; B – 0,03; šių trąšų koeficientas: P × 2,029 = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K × 1,20 = K<sub>2</sub>O.

### Grunto biologinis valymas naudojant induočius augalus (fitoremediacija)

Teršalų valymo metodų arsenalą papildome fitoremediacija. Tai būdas panaudoti aukštesniuosisius augalus, jų šaknų sistemą gruntui, taip pat ir vandeniui, užterštam sun-kaisiais metalais, pesticidais, nafta ir jos produktais, apvalyti. Bendradarbiaujant su

geobotanikais [22] nustatyta, kad nuolat naftos produktais teršiamuose gruntuose gali augti tik kai kurios augalų rūšys.

Mazutu nuolat teršiamame plote užregistruotos tik 38 tokios laukinių augalų rūšys. Jos priklauso įvairioms sistematinėms grupėms. Greta esančiame kontroliniame – švaramame plote augo keli šimtai augalų rūšių.

Taršai atsparūs augalai turi gerai išvystytą šaknų bei šakniastiebių sistemą. Ant šių augalų šaknų ir šakniaplaukių – augalų rizosferoje kaupiasi 50–100 kartų daugiau mikroorganizmų, palyginti su toliau nuo šaknų esančiu gruntu.

Mikroorganizmų, ir ne tik naftą oksiduojančių, kiekis yra svarbus veiksnys skaidant teršalus. Mikroorganizmų gaminami fermentai skaido teršalus, kitas (grunto ar vandens) organines medžiagas. Taip į biologinę apykaitą grįžta anglies, azoto, fosforo, sieros ir kiti junginiai.

Mikroorganizmai sudaro palankias sąlygas aukštesniesiems augalams augti, o pastarieji, išskirdami į aplinką biologiškai aktyvias medžiagas (vitaminus, aminorūgštis), skatina mikroorganizmų dauginimąsi. Tokia augalo ir mikroorganizmų fiziologinė simbiozė, kaip parodė mūsų bandymai, spartina teršalo destrukcijos procesus.

Siekiant plačiau naudoti laukinius augalus grunto užterštumui mažinti parengti užterštumo (mazutu) vertinimo kriterijai (9 lentelė).

Augalinės dangos nykimas (arba fitotoksinis poveikis) prasideda esant mazuto koncentracijai daugiau kaip 1 kg/m<sup>2</sup>, arba 5000 mg/kg, sauso grunto. Tokia naftos produktų koncentracija nustatyta pramoninių rajonų gruntui (pagal tarptautinį C lygį: gruntui – 5000 mg/kg sauso grunto, vandeniui – 0,6 mg/l).

9 lentelė. Grunto užterštumo mazutu įvertinimo kriterijai

Laipsnis	Grunto užterštumo įvertinimas	Rodiklis, rodantis augalijos būklės suprastėjimą, lyginant su kontrole (%)	Biologinės degradacijos laipsnis
0	Neužteršta	Mažiau kaip 5	0
1	Silpnai užteršta	6–10	I
2	Vidutiniškai užteršta (1)	11–25	II
3	Vidutiniškai užteršta (2)	26–50	III
4	Labai užteršta	51–75	IV
5	Ypač užteršta	Daugiau kaip 75	V

**Pastaba:** vidutiniškai užteršta (2) rodo ribinę užteršto mazutu koncentraciją – 5000 mg/kg sauso grunto.

Grunto užterštumą atitinkantys biodegradavimo laipsniai:

0 – bendrijos, sudarytos iš normaliai išsivysčiusių, jai būdingų rūšių augalų. Rūšių skaičius, įvairovė ir projekcija atitinka bendrijos standartą.

I – bendrijų rūšių sudėtis ir struktūra panaši į natūralių, bet antropogeninį poveikį patiriančių bendrijų. Augalai gali būti kiek mažesni, o rūšių įvairovė netgi didesnė dėl įsikuriančių ruderalinių rūšių.

II – rūšių skaičius ir projekcija maždaug 1/3 mažesni, augalai žemesni.

III – rūšių skaičius, projekcija, būdingų augalų aukštis ir gyvybingumas perpus mažesni negu natūralių augimviečių bendrijose.

IV – mažarūšės augalų grupuotės, sudarytos daugiausia iš vegetuojančių individų.

V – augalų danga sunaikinta, gali būti pavienių (atsitiktinių) augalų.

Biologinis indikacinis grunto užterštumo naftos produktais metodas ypatingas tuo, kad jis parodo paviršinį grunto užterštumą mazutu. Taikant šį metodą įvertintas Klai-pėdos valstybinės naftos įmonės (KVNĮ) ir Pauostės geležinkelio stoties (PGS) teritorijos užterštumas naftos produktais (mazutu).

Buvo nustatyta, kad KVNĮ teritorijoje auga 271 rūšies aukštesnieji augalai. Augalų sudėtis būdinga technogeniniams ekotopams. Didžiausia floros dalį (71%) sudarė antropogeniniam poveikiui atsparūs Pajūrio regiono smėlynų ir ruderalinių augimviečių augalai.

PGS teritorijoje, kur visas plotas buvo nuolat smarkiai teršiamas, užregistruoti tik 38 rūšių augalai. Nustatyta, kad naftos taršai atspariausi ilgas šakniastiebius ir ilgas liemenines šaknis turintys augalai: *Calamagrostis epigejos*, *Carex arenaria*, *C. hirta*, *Elytrigia repens*, *Leymus arenarius*, *Poa compressa*, *Artemisia campestris*, *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Equisetum arvensis*, *Tanacetum vulgare*, *Tussilago farfara*.

Svarbu pažymėti, kad biologinės indikacijos metodu nustatyti mazutu užteršti KVNĮ ir PGS teritorijų plotai sutapo su tais plotais, kurie buvo įvertinti ekogeocheminiais tyrimais. Buvo pasiūlyta KVNĮ ir PGS teritorijoje išvalyti 20 965 m<sup>3</sup> grunto, kas ir buvo padaryta.

Neapsiribota vien tik laukiniais augalais, nes juos dirbtinėmis sąlygomis sudėtinga įveisti ir auginti. Bandymai atlikti su kai kuriais laukiniais augalais ir žemės ūkio kultūromis, siekiant rasti tam tikrai mazuto koncentracijai atsparius augalus: su paprastuoju varpučiu, paprastąja nendre, geltonžiedžiu lubinu, tikruoju eraičiniu, nendrinu dryžučiu, linu, pašariniu motiejuku, mėlynžiede liucerna, pievine migle, baltuoju dobilu, avižomis, vikiais, žieminiiais rugiais.

Žieminiai rugiai, avižos, avižų ir vikių mišinys geriausiai vystosi, kai grunto tarša ne didesnė kaip 6000 mg mazuto/kg grunto, dar geriau kai valomas gruntas mulčiuojamas (5 cm storio švaraus dirvožemio sluoksniu). Kiti bandyme naudoti augalai pasirodė esą mažiau atsparūs mazuto poveikiui. Ši fitoremediacijos priemonė užpatentuota [3].

## Grunto kompleksinis valymas

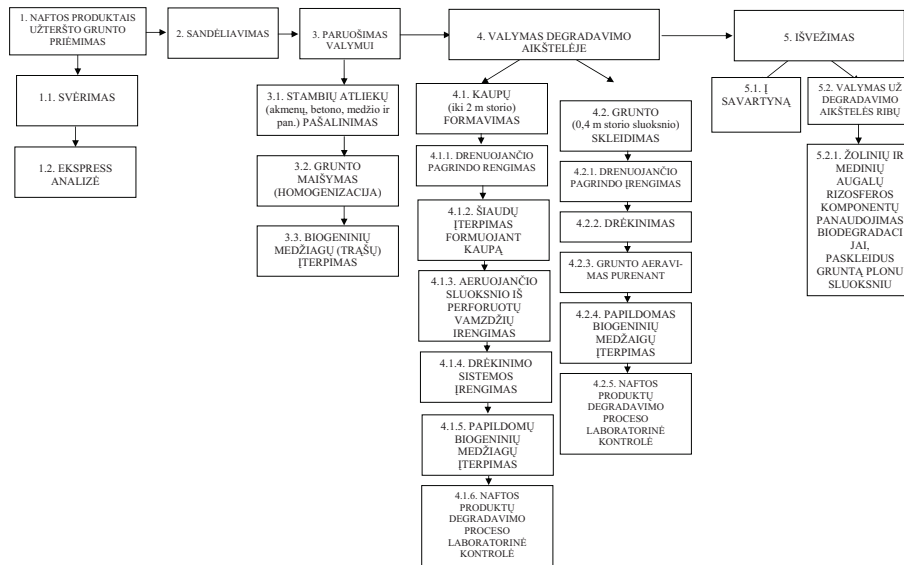
Vandens ir grunto valymas – sudėtingas ir daug žinių reikalaujantis darbas. Jis kompleksinis, sudarytas iš technologinių etapų. Ekologinis monitoringas (pradinis etapas) – tai užterštos teritorijos topografinės nuotraukos rengimas. Tolesnis darbas – imami mėginiai, jie analizuojami. Atliekamas cheminis ir mikrobiologinis teritorijos vertinimas. Tuo remiantis parengiama technologinė valymo schema. Jei būtina riboti naftos teršalų sklaidą gruntuose, naudojami sorbentai, o vandens telkiniuose – plūdū-



riuojančios užtvartos, naftos gaudyklės, filtrai su sorbento įkrova. Naftos teršalų mechaninio šalinimo etapui būdingas laisvų naftos produktų siurbimas bei užteršto grunto iškasimas ir jo perkėlimas į biodegradavimo aikšteles. Valymo darbas baigiamas chemine-mikrobiologine operacijų kontrole bei viso atlikto darbo įvertinimu.

Patiektoje kompleksinės valymo technologijos (KVT) pagrindinių etapų schemoje (1 pav.) pažymima, kad valant nafta bei jos produktais užterštą teritoriją atsižvelgiama į šios taršos pavojų žmogui, vandens šaltiniams, žemėnaudai (gyvenamųjų namų statybos teritorijos, komercinės veiklos plotai, vaikų darželiai, mokyklos ir kt.), pirmiausia planuojant valyti prioritетines pagal nurodytus požymius teritorijas. Atskiriems etapams yra sudaromi konkretūs valymo darbų reglamentai, panaudojant teorines žinias ir praktinį įdirbį.

VšĮ GVT, remdamasi pasiektais mokslinio tiriamojo darbo rezultatais, geba sėkmingai valyti įvairiais naftos produktais užterštą gruntą, vandenį bei skystus naftingus mišinius. Per metus išvaloma 6000–8000 m<sup>3</sup> naftos produktais užteršto grunto ir apie 2000 m<sup>3</sup> skystų naftingų mišinių. GVT paslaugomis naudojasi daugiau kaip 200 transporto, energetikos, kitų ūkio šakų organizacijų. Mokslo ir gamybos kooperacijos pagrindu sukurtos inovacinės priemonės įgalino GVT likviduoti didelius taršos židinius Baltijos jūros krante (Klaipėda, Pauosčio geležinkelio stotis, AB *Klaipėdos nafta*), naftos taršos židinius Vidurio ir Pietryčių Lietuvoje.



1 pav. Grunto kompleksinio valymo technologinė seka

## Apibendrinimas

Didelės svarbos aplinkosaugos klausimas – tai vandens ir grunto, užteršto nafta ir jos produktais, valymas. Aptariami, remiantis konkrečiais tyrimais, aplinkos biovalymo metodai ir jų praktinis panaudojimas.

Iš beveik 100 naftą ir jos produktus oksiduojančių bakterijų kultūrų ir daugiau kaip 300 išskirtų mikromicetų parinkti aktyviausi štamai, skaidantys naftos produktus. Jie priklauso *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Penicillium*, *Trichoderma* gentims.

Štamai panaudojami mikroorganizmų veiklioms asociacijoms sudaryti, preparatų gamybai, kurie naudojami biovalymo reikalams.

Remiantis tiriamojo darbo rezultatais, valant gruntą naftą oksiduojantiems mikroorganizmams (NOM) sudaromos palankios sąlygos jų biodegradacinei veiklai: reguliuojama grunto vandenilio jonų koncentracija (pH), optimizuojamas drėgmės ir deugonies režimas grunte, jį purenant ir homogenizuojant. Į gruntą įterpiami trūkstami mitybiniai biogeniniai elementai (N, P, K, S, Ca) ir mikroelementai (Mo, Co, Li, Br, J). Reguliariai stebimas valomo grunto mikrobiologinis (fermentinis) aktyvumas ir teršalo kiekio kaita.

Gruntui valyti (kai mazuto kiekis grunte neviršija 6000 mg/kg) panaudojamos atrinktos kelios kultūrinių augalų rūšys (fitoremediacija). Nustatyta, kad geriausiai šiam reikalui tinka ilgus šakniastiebius bei ilgus liemenines šaknis turintys augalai.

Nafta ir jos produktais užteršto grunto ir vandens valymas ir toliau lieka prioritетinė aplinkos apsaugos sritis Lietuvoje.

## LITERATŪRA

1. Aplinkos biologinis valymas (red. ir sudarytojai Jankevičius K. ir Liužinas R.). 2003. VšĮ „Grunto valymo technologijos“. Vilnius, 344 p.
2. Atlas R. M. 1984. Petroleum Microbiology. New York.
3. Didžiapetris A., Jankevičius K., Sabaliauskas J. Patentas LT-4593 B „Grunto, užteršto nafta ar naftos produktais, biologinio valymo būdas“, išd. 1999 12 27.
4. Important Aspects of Environmental Bioremediation (compiled and edited by Jankevičius K. and Liužinas R.). 2005. PA „Soil Remediation Technologies“. Vilnius, 136 p.
5. Jankevičius K. 1982. Nafta ir aplinkos apsauga. Vilnius, 20 p.
6. Jankevičius K., Liužinas R. 2002. Apsaugokime žemę ir vandenį nuo naftinės taršos // Mokslas ir gyvenimas, Nr. 9.
7. Jankevičius K., Liužinas R. 2004. Likviduokime taršos židinius // Mokslas ir gyvenimas, Nr. 2.
8. Jankevičius K., Didžiapetris A., Eitmanavičiūtė I., Sabaliauskas J., Šalkauskas M. 1996. Mazutu užteršto grunto valymo technologijų tobulinimas // Geologijos akiračiai, Nr. 1–2 (21–22), p. 70–90.
9. Januška V., Lugauskas A., Paškevičius A., Repečkienė J. 2003. Mikroorganizmų atranka ir panaudojimas. Kn.: Aplinkos biologinis valymas. Vilnius, p. 109–116.
10. Kalėdienė L., Liužinas R. ir kt. Patentas LT-4791 B „Štamai *Penicillium decumbens* Thom 4,5 VNB-AMFK ir *Penicillium frequentans* Westling 6,4 PNP-AMFK, oksiduojantys naftos angliavandenilius“.

11. Kalėdienė L. 2003. Mikroorganizmų aktyvumas. Kn.: Aplinkos biologinis valymas. Vilnius, p. 99–108.
12. Liužinas R., Jankevičius K. 2006. Baltijos jūros savivalos galios // Mokslas ir gyvenimas, Nr. 6.
13. Liužinas R. 2000. Avarija, užterštas gruntas! Mokslas ir gyvenimas, Nr. 8.
14. Liužinas R., Jankevičius K., Lugauskas A. ir kt. Patentas LT–4792 B „Štamas *Pseudomonas fluorescens* IGN 57, skaidantis naftą ir naftos produktus“, išd. 2001 05 25.
15. Liužinas R., Jankevičius K., Kmita M. ir kt. Patentas LT–5057 B „Biopreparatas nafta ir jos produktais užterštam gruntui ir vandeniui valyti, jo gavimo būdas ir panaudojimas“, išd. 2003 09 25.
16. Liužinas R., Jankevičius K., Lugauskas A., Paškevičius A. ir kt. Patentas LT–4794 B „Štamas *Trichoderma harzianum* VNB-16, skaidantis mazutą, jo gavimo būdas ir panaudojimas“, išd. 2001 05 25.
17. Liužinas R. (red. kom. pirm.). 1998. Sovietų karinių pajėgų padaryta žala Lietuvos aplinkai. Vilnius, 135 p.
18. Lugauskas A., Liužinas R., Jankevičius K., Paškevičius A. ir kt. Patentas LT–4793 B „Štamas *Candida lipolytica* C 6,1-5, oksiduojantis naftą ir jos produktus“, išd. 2001 05 25.
19. Naftos ir kitų aplinką teršiančių medžiagų biodegradacija. 2007. Teorija ir praktika, VŠĮ „Grunto valymo technologijos“. Vilnius, 104 p.
20. Pleševičius A. 1995. Agrotechnika rūgščiose ir pakalkintose dirvose. Žemdirbystė, 48, p. 6–21.
21. Principles of Microbiology: 2nd ed. Atlas R. M. (ed.). 1996. Lonsville, Kentucky.
22. Rašomavičius V., Liužinas R., Jankevičius K., Gudžinskas Z., Sinkevičienė Z. 2003. Augalų panaudojimas grunto užterštumui vertinti. Kn.: Aplinkos biologinis valymas. Vilnius.
23. Saxon V., Sabaliauskas J., Jankevičius K., Didžiapetris A. ir kt. 1999. Experience with Oil Contaminated Soil Bioremediation. Seminar on Analysis Methodology of Treatment and Remediation of Contamination Soils, Paris.
24. Vasinauskas P. 1966. Agrotechnika. Vilnius, 440 p.
25. Биогеохимия Курского залива. 1983. Вильнюс, 160 с.
26. Влияние разлива мазута на экосистему Балтиского моря. 1984. Вильнюс, 160 с.
27. Миронов О. Г. 1972. Биологические ресурсы моря и нефтяное загрязнение. Москва.
28. Новожилова М. И. 1979. Микроорганизмы деструкторы нефти при нефтяном загрязнении водных бассейнов. Разложение углеводородов микроорганизмами. Труды ин-та микроб и вирусологии АН Каз. ССР, 26, с. 53–64.
29. Физиолого–биохимические основы развития планктонных организмов в северной части залива Куршю Марёс. 1978. Вильнюс, 324 с.
30. Юкнявичюс Л., Янкявичюс К. 1976. Об интенсивности биодegradации дизельного топлива в воде. Индикация природных процессов и среды. Вильнюс, с. 125–127.
31. Юкнявичюс Л. 1977. Изменение компонентов водной экосистемы в условиях загрязнения продуктами нефти. Автореферат докторской диссертации.
32. Янкявичюс К., Маламене Б. 1973. Активность нефтеокисляющих бактерий, выделенных из воды Курского залива и побережья Балтийского моря. Труды АН Лит. ССР, серия биол., 4 (64), с. 21–27.
33. Янкявичюс К., Баранаускаене А., Мажейкайте С., Рачюнас Ю., Янкавичюте Г. 1988. Мероприятия, способствующие биодegradации продукта нефти – мазута. Труды АН Лит. ССР, серия биол., 1 (101), с. 14–18.

## CLEANING BIOTECHNOLOGIES OF SOIL CONTAMINATED WITH OIL AND OIL PRODUCTS

*Rapolas Liužinas, prof. Karolis Jankevičius  
(Public Agency “Soil Remediation Technologies”)*

### **Summary**

Cleaning of soil contaminated with oil and oil products is a very important environmental issue. Based on individual investigations, bioremediation technologies and their practical use are discussed.

The most active oil–decomposing strains of 100 cultures of bacteria oxidizing oil and its products and over 300 micromycetes belonging to genera: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Penicillium*, *Trichoderma* were selected.

The strains are used for development of active associations of microorganisms and production of preparations designed for bioremediation.

Using oil-oxidizing microorganisms (OOM) for soil cleaning, favourable conditions for their biodegradation activity should be created: regulated concentration of soil hydrogen ions (pH) and optimal moisture and oxygen regime in the soil achieved by mellowing and homogenization. The lacking nutrients (N, P, K, S, and Ca) and trace elements (Mo, Co, Li, Br, and J) are inserted into the soil. The microbiological (ferment) activity and dynamics of the content of contaminants are observed on a regular basis.

A few selected species of cultural plants (phytoremediation) are used for soil remediation when the content of fuel oil in the soil does not exceed 6000 mg/kg. It was determined that plants with long rhizomes and long taproots are best for this purpose.

Remediation of soil and water contaminated with oil and/or its products is a priority issue of environment protection in Lithuania.