

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas
Technologinių procesų katedra

Raimonda Reikaitė

NAFTOS PRODUKTAIS UŽTERŠTO DIRVOŽEMIO VALYMAS PANAUDOJANT NUOTEKŲ DUMBLĄ

Jūros aplinkos inžinerijos studijų programos
magistro diplominis projektas

Klaipėda, 2013

Turinys

ANOTACIJA	3
ĮVADAS.....	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	6
1.1 DIRVOŽEMIO SUDĖTIS.....	6
1.2 DIRVOŽEMIO TARŠA	8
1.2.1 <i>Dirvožemio tarša naftos produktais.....</i>	<i>9</i>
1.3 NAFTOS PRODUKTAIS UŽTERŠTO DIRVOŽEMIO VALYMO BŪDAI.....	11
1.4 NAFTOS PRODUKTŲ BIODEGRADACIJA	15
1.5 NUOTEKŲ DUMBLO PANAUDOJIMAS	18
2.TYRIMO METODAI	22
2.1. TYRIMO OBJEKTAS.....	22
2.2 EKSPERIMENTO SCHEMA BEI SĄLYGOS	23
2.3 ANGLIES KIEKIO NUSTATYMAS.....	25
2.4 NAFTOS PRODUKTŲ KONCENTRACIJOS NUSTATYMO DIRVOŽEMYJE.....	25
2.5 BŪVIO CIKLO ĮVERTINIMAS	27
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS.....	28
3.1 DYZELINO KONCENTRACIJOS KITIMAS 15 G/KG UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE	28
3.2 DYZELINO KONCENTRACIJOS KITIMAS 30 G/KG UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE	30
3.3 ŽALIOS NAFTOS KONCENTRACIJOS KITIMAS 15 G/KG UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE.....	32
3.4 ŽALIOS NAFTOS KONCENTRACIJOS KITIMAS 30 G/KG UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE.....	34
3.5 DYZELINO SKAIDYMO EFEKTYVUMAS	36
3.6 ŽALIOS NAFTOS SKAIDYMO EFEKTYVUMAS.....	37
3.7 ORGANINĖS ANGLIES KITIMAS 15 G/KG IR 30G/KG DYZELINU UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE.....	39
3.8 ORGANINĖS ANGLIES KITIMAS 15 G/KG IR 30G/KG ŽALIA NAFTA UŽTERŠTAME DIRVOŽEMYJE	41
3.9 UŽTERŠTO GRUNTO VALYMO TECHNOLOGIJŲ POVEIKIO APLINKAI VERTINIMO REZULTATAI	42
IŠVADOS	50
LITERATŪRA.....	51
SAMMARY	60
PRIEDAI.....	61

ANOTACIJA

Šio darbo tikslas buvo įvertinti galimybę panaudoti nuotekų dumblą, valant naftos produktais užterštą dirvožemį.

Eksperimentui atlikti buvo panaudota 40 talpų, kurios užpildytos po 5 kg sauso dirvožemio. 20 talpų dirbtinai užteršta dyzelinu (15g/kg ir 30 g/kg) ir 20 talpų žalia nafta (15g/kg ir 30 g/kg) sausam dirvožemiui. Nuotekų dumblo įtaka valomam dirvožemiui buvo nustatoma į valomą dirvožemį, (išskyrus 4 kontrolinius bandinius, kuriuose įterpti tik naftos produktai), įterpus 5 ir 10 % (sausos svorio) nuotekų dumblo iš skirtingų šaltinių (Palangos miesto nuotekų valymo įrenginių ir popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių).

Viso eksperimento metu stebimos likutinės naftos produktų koncentracijos (dujų chromatografu), matuojamas anglies kiekis bandiniuose (anglies analizatoriumi). „Gabi 5“ programos pagalba atliktas dviejų skirtingų užteršto grunto valymo scenarijų būvio ciklo vertinimas.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: biodegradacija, nuotekų dumblas, dyzelinas, žalia nafta, būvio ciklas.

IVADAS

Didėjant krovai per Klaipėdos uostą, didėja ir avarijų tikimybė. Pajūrio zona yra ypač jautri antropogeniniam poveikiui. Naftos ar jos produktų išsiliejimai yra galimi visose naftos ir jos produktų išgavimo, gamybos, transportavimo stadijose. Ekologinė situacija kelia naujus reikalavimus, kurie remiasi pigesnėmis ir saugesnėmis technologijomis. Mikrobiologinis teršalų skaidymas, kitaip nei cheminė degradacija, vyksta artimomis natūralioms sąlygomis ir nereikalauja didelių investicijų, todėl biotechnologijos yra pakankamai veiksmingos, netaršios ir perspektyvios. Reikia pastebėti tai, kad aplinkos savaiminio apsivalymo galimybės yra labai ribotos ir be žmogaus įsikišimo būtų sunkiai pasiekiami efektyvūs teršalų išvalymo laipsniai (Tahhan and Abu-Ateih, 2009; Martucci and Ruseckaite, 2009).

Valyti nafta bei jos produktais užterštą gruntą – itin svarbi aplinkosaugos užduotis. Žemė turi ypač geras absorbcines savybes, nesugeba užteršto naftos produktais grunto išlaikyti tam tikroje apibrėžtoje vietoje. Grunte esantys teršalai gali skliti į aplinką garuodami, migruodami į gilesnius grunto sluoksnius. Dirvožemyje kaupiasi avarijų produktai, dėl kurių žūsta daugybė organizmų, sutrinka per tūkstančius metų susiklosčiusi medžiagų apykaita, užteršiami gruntiniai bei paviršiniai vandenys. Daugelis šiuolaikinių užteršto naftos produktais dirvožemio valymo technologijų vystosi kurdamos naujus ir efektyvius, skaidančius naftos produktus bioagentus. Biopreparatų gamyba reikalauja tiek medžiaginių, tiek energetinių resursų. Atliekos – nuotekų dumblo panaudojimas biologinėse valymo technologijose yra naujas, kompleksinis problemos sprendimo būdas, kuris išspręstų ne tik nuotekų dumblo utilizavimo problemą, bet ir būtų sutaupomi medžiagų ir energijos resursai, reikalingus biopreparato gamybai (Muthukumar *et al*, 2010; Sanchez et al. 2004).

Darbo tikslas – įvertinti nuotekų dumblo panaudojimo galimybę, valant naftos produktais užterštą dirvožemį.

Darbo uždaviniai :

1. Išnagrinėti literatūroje aprašytus dirvožemio, užteršto naftos produktais, valymo metodus.
2. Įvertinti skirtingų nuotekų dumblo koncentracijų įtaką, naftos produktų liekamosioms koncentracijoms dirvožemyje.
3. Išanalizuoti organinės anglies kitimą, vykstant dyzelino ir žalios naftos biodegradacijai dirvožemyje.

4. Nustatyti Palangos valymo įrenginių ir popieriaus pramonės nuotekų dumblo aktyvumą skaidant žalią naftą ir dyzeliną.
5. „Gabi 5“ programos pagalba sumodeliuoti ir įvertinti du biologinius užteršto grunto valymo scenarijus, nustatyti kuris valymo scenarijus turi mažiausią poveikį aplinkai.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Dirvožemio sudėtis

Dirvožemis – viršutinis fizikinio ir cheminio dūlėjimo labiausiai išpurentas Žemės plutos sluoksnis, per daugelį tūkstančių metų susidaręs iš dirvodarinės uolienos, klimato, augalijos ir gyvūnijos, reljefo ir paties dirvožemio amžiaus sąveikoje. Pasak P. Baltrėno (1996), dirvožemis – svarbiausias gyvybės substratas, gebantis duoti augalų derlių. Dirvožemis yra palyginti plona, labai aktyvi sausumos paviršiaus danga, dažnai vadinama *pedosfera*. Pedosferoje be paliovos akumuliuojasi ir transformuojasi Saulės energija, gaminasi ir vėl mineralizuojasi organinės medžiagos.

Dirvožemio susidarymas yra ilgas ir sudėtingas procesas, kurį sąlygoja visas kompleksas gamtinių ir antropogeninių dirvodaros veiksnių. Gamtiniai dirvodaros veiksniai paprastai yra skirstomi į tris pagrindines veiksnių grupes (Juknys, 2002):

1. fiziniai dirvodaros veiksniai- vėjas krituliai, temperatūros svyravimais;
2. cheminiai dirvodaros veiksniai – tirpinimas, hidrolizė, hidratacija, oksidacija ir kt.;
3. biologiniai veiksniai – mikroorganizmų, augalų, aukštesniųjų gyvūnų veikla.

Realiai gamtoje visi šie veiksniai dažniausiai veikia kartu. Dirvodaros procesas prasideda tada, kai paviršiniame žemės sluoksnyje apsigyvena mikroorganizmai (Januškis, 1990).

Dirvožemį sudaro *kietoji, skystoji, dujinė ir gyvoji dalys – fazės*. Visos šios dalys yra vienodai svarbios potencialiam dirvožemio derlingumui (Baltrėnas ir kt. 1996) .

Kietoji fazė (dirvožemio skeletas). Šioje fazėje vyrauja mineralinės medžiagos. Jų dalelės skirstomos pagal frakcijas. Pirminiai mineralai sudaro stambiausias frakcijas, o antriniai mineralai susidaro iš dūlėjančių pirminių mineralų - smulkiausias. Smulkiosios koloidinės dalelės matuojamos milimetrais, o stambiosios – centimetrais. Daugiausia dirvožemyje <1mm dalelių. Nuo granulometrinės sudėties priklauso beveik visos cheminės ir fizinės savybės (Baltrėnas ir kt.,2008).

Skystoji fazė (dirvožemio vanduo). Šią fazę sudaro vanduo su ištirpusiomis mineralinėmis, organinėmis medžiagomis ir dujiniais junginiais. Dirvožemio tirpalas yra ta terpė, kurioje vyksta cheminių elementų kaita (Juknys, 2002).

Dujinė fazė (dirvožemio oras). Tai laisvose nuo drėgmės dirvožemio porose esantis oras. Optimalus dirvožemio oro kiekis yra 10-20 % dirvožemio tūrio. Dirvožemio oras būna įvairios būklės: adsorbuotas dirvožemio dalelių paviršiuje, ištirpęs dirvožemio tirpale (vandenyje), laisvai pasiskirstęs dirvožemio porose (tuštumose) ir susisiekiantis su atmosferos oru. Kuo dirvožemis poringesnis, tuo daugiau jame yra oro ir drėgmės atsargų. Dirvožemio oras susideda iš azoto,

deguonies, anglies dioksido, vandens garų, lakiųjų organinių junginių ir kitų dujų, kurių atmosferos ore beveik nėra (vandenilio sulfido, metano, metileno). Dirvožemio biologiniai procesai vyksta natūraliai, kai dirvožemio oras nuolat atsinaujina (Brazauskienė 2004).

Gyvoji fazė. Tai dirvožemyje gyvenantys bei dirvodaros procesuose dalyvaujantys mikroorganizmai (grybai, bakterijos ir dumbliai), bestuburiai ir augalų šaknys (Juknys, 2002). Dėl dirvožemio faunos gyvybinės veiklos dirvožemyje spartėja medžiagų apykaita, organizmų likučių mineralizacija, keičiasi druskų režimas, gerėja jo poringumas, struktūra, laidumas orui ir vandeniui (Jankevičius ir Liužinas 2003).

Motuzas ir kt. (1996) teigia, kad dirvožemyje įvairių junginių forma randami visi cheminiai elementai. Jame daugiausia yra deguonies, po jo seka silicis, aliuminis, geležis ir kiti cheminiai elementai.

Dirvožemyje gyvena ir įvairių mikroorganizmų arba mikrobu (mikroorganizmų biomasė įvairuoja nuo 3 iki 7–8 t ha⁻¹ sausosios medžiagos): bakterijos, grybai, aktinomicetai ir dumbliai. Mikroorganizmai sąlygoja derlingumą skaidydami ir mineralizuodami augalines liekanas, sintetindami dirvožemio humusą, sujungdami atmosferos azotą ir dalį įterptų mineralinių trąšų ir kt.

Susiformavę dirvožemiai ir dirvodarinės uolienos sudaryti iš įvairaus dydžio elementariųjų dalelių, kurios susidaro uolienų dūlėjimo metu. Pagal kilmę dirvožemio mechaniniai elementai būna mineraliniai, organiniai ir organiniai-mineraliniai. Santykinis mechaninių elementų kiekis dirvodarinės uolienos arba dirvožemio sausos masės vienetu vadinamas granulimetrine dirvožemio sudėtimi. Dirvožemio granulimetrinė sudėtis lemia jo sorbcines savybes, kurios labai susijusios su dirvožemio derlingumu. Smulkiadispersės dalelės, turinčios didelį absoliutų ir santykinį paviršių, turi didelį sorbcijos imlumą. Mažėjant dalelių dydžiui, didėja jų higroskopiškumas, vandens imlumas, plastiškumas. Dalelės mažesnės, kaip 0,001 mm, turi ryškiai išreikštas koaguliacines savybes. Tai labai svarbu dirvožemio struktūriniam agregatams susiformuoti. Dėl didelio sorbcijos imlumo jos humusingesnės. Dalelės, mažesnės kaip, 0,001 mm – vertingiausia dirvodarinių uolienų dalis, nes jose yra pagrindinės mineralinių maistingųjų elementų atsargos. Didėjant elementariųjų dalelių dydžiui, mažėja dirvožemio tankis, kietumas, vandens imlumas (Brazauskienė 2004).

Dirvožemio organinė medžiaga, pasak autorės Brazauskienės (2004), yra vienas iš svarbiausių elementų, darančių įtaką dirvožemio potencialiam derlingumui. Patekusios į dirvožemio ekosistemą organinės medžiagos gali:

- 1) visiškai mineralizuotis ir tokiu būdu praturtinti anglies dioksido ir mineralinių medžiagų atsargas;
- 2) būti panaudotos mikroorganizmų mitybai ir asimiliuoti mikrobinėje biomasėje;
- 3) būti įjungtos į naujai susidariusias humusines medžiagas, tai yra humifikuotis.

Organinių medžiagų irimas – tai ilgas ir sudėtingas mechaninių, biologinių ir cheminių reiškinių procesas. Bakterijos aktyviai ardo ląstelieną, angliavandenilius, aktinomicetai – pektino medžiagas, celiuliozę, riebiąsias rūgštis, grybai – ligniną ir taninus, dirvožemio gyvūnai smulkina augalų liekanas ir padaro jas tinkamesnes mikroorganizmams ardyti. Bakterijos, aktinomicetai, bestuburiai gyvūnai ir augalai dirvožemyje pagausina fermentų, kurie yra labai svarbūs cheminių reakcijų katalizatoriai, spartinantys organinės medžiagos irimo ir sintezės procesus (Brazauskienė 2004).

Didžiąją dalį dirvožemio organinės medžiagos sudaro humusas, kuris formuojasi iš augalų liekanų, dalyvaujant gyvūnams, mikroorganizmams. Tai sudėtingas biocheminis procesas, kurio metu susidaro specifiniai organiniai junginiai – humuso rūgštys (Brazauskienė 2004).

1.2 Dirvožemio tarša

Vis labiau pasireiškia neigiamas antropogeninis poveikis dirvožemiui. Procesas, kurio metu antropogeninio fizinio bei cheminio poveikio dirvožemis praranda savo, kaip gamtinio kūno savybes, vadinamas dirvožemio degradacija. Fizinę dirvožemio degradaciją sąlygoja mechaninis poveikis, nuo kurio daugiau ar mažiau kenčia antropogeninių vietovių dirvožemis, Cheminė dirvožemio degradaciją dažniausiai sukelia įvairios organinės ir mineralinės atliekos, cheminių atliekų perteklius. Šios medžiagos didina rūgštingumą arba šarmingumą, neretai trikdo jame vykstančių gyvybinius procesus, naikina dirvožemio augaliją ir gyvūniją (Motuzas 1999; Kononova 1999).

Dirvožemio užterštumą apibudina jame susikaupusių medžiagų, kenksmingų gyviesiems organizmams ir trikdančių dirvožemyje vykstančius procesus, koncentracija. Pagal teršalų pasiskirstymo pobūdį skiriama koncentruotoji ir išsklaidytoji dirvožemio tarša. Pirmuoju atveju dirvožemį teršia konkretus lokalinis taršos šaltinis, antruoju atveju tai būtų foninė dirvožemio dangos tarša, kai teršalai patenka iš įvairių vietų arba kai sistemingai naudojamos įvairios cheminės medžiagos (Ernst 2000). Dirvožemio mikroorganizmai sugeba dauguma teršalų suskaidyti iki elementariausių cheminių junginių, tačiau į cheminį užterštumą jautriai reaguoja mikroorganizmai. Teršalai veikia netik dirvožemio biotą, bet ir jos tarpusavio ryšius. Savaiminis dirvožemio apsivalymo laipsnis priklauso ne tik nuo konkretaus tipo, buferinių savybių, biologinio aktyvumo, biotos rūšies, bet ir nuo teršalo judrumo, ilgaamžiškumo, toksiškumo, migracijos ore, vandenyje ir dirvožemyje (Kriščiūnas 2003).

Teršalų judėjimas dirvožemyje priklauso nuo šių veiksnių (Betes *et al.* 1991):

1. Mechaninių: teršalų tankio ir klampos; taršos šaltinių išsidėstymo; teršalų tirpumo; mechaninės filtracijos.
2. Geologinių, struktūrinių ir geofizinių: sluoksnių (klodų) geologijos; susisluoksniavimo pobūdžio; litologijos; klimato ir jo pokyčių bėgant laikui.
3. Fizinių – cheminių, cheminių ir biocheminių: tiriamosios aplinkos ir teršalų fizinių – cheminių, cheminių ypatumų bei apšvalymo procesų.

Galima sakyti, kad teršalų judėjimas ir jų savybių pokytis teršalų prisotintoje aplinkoje priklauso nuo tam tikrų veiksnių, kuriuos apibudina dispersijos dėsnis (Bedient *et al.* 1993).

1.2.1 Dirvožemio tarša naftos produktais

Nafta – tai sudėtingas sočiųjų (alkanų), nesočiųjų (alkenų), aliciklinių (naftenų) ir aromatinių angliavandenilių (70–90%) mišinys. Naftos produktai – viena iš labiausiai paplitusių pavojingų teršiančių medžiagų (Baltrėnas ir kt. 1996).

Daugeliui iš mūsų naftos produktai asocijuojasi su gyvybinius poreikius tenkinančiu šaltiniu. Taip iš tikrųjų yra, kai jie naudojami pagal paskirtį – gaminti šilumą, elektros energiją, sukuti automobilio ratus, padirbti kitus žmogui reikalingus darbus. Tačiau vos tik patekę į aplinką naftos produktai tampa grėsmingu teršalu, naikinančiu visa, kas gyva (Marcinonis 1996).

O. Zdanavičiūtė (1998) teigia, kad nafta, palyginus su kitais gamtoje randamais organiniais junginiais, yra pati sudėtingiausia pagal savo cheminę sudėtį. Nafta yra fiziškai nevienalytė (joje vienu metu yra skystų, kietų ir dujinių komponentų) sistema, sudaryta iš angliavandenilių, dervos ir asfaltenų, azoto ir deguonies junginių, turinčių skirtingą molekulinę masę. Be to, naftos sudėtyje randama mažiausiai 40 rūšių mikroelementų.

Nafta susideda iš 83–87% anglies, 11–14% vandenilio, 0,01–7,00% sieros, 0,05–3,60% deguonies, 0,01–1,70% azoto, 0,02–0,03% įvairių metalų. Pagal sieros kiekį nafta skirstoma į 3 grupes: mažai sieringą, kai sieros joje būna iki 0,5%; sieringą, kai sieros esti 0,51–2,00%; labai sieringą, kai sieros naftoje būna daugiau kaip 2%. Naftos bei jos produktų savybes lemia ją sudarantys angliavandeniliai, jų kiekis. Naftos fizinės savybės ir elementinė sudėtis, nepriklausomai nuo kilmės, mažai skiriasi. Spalva priklauso nuo asfaltinių junginių kiekio joje. Nafta esti geltonos, tamsiai rudos, net juodos spalvos. Jos tankis 830–970 kg/m³. Stingimo temperatūra – nuo 30 iki 60 °C. Užsiliepsnojimo temperatūra – nuo 35 iki 120 °C (Jankevičius ir Liužinas 2003).

Dirvožemis gali sorbuoti kenksmingas medžiagas, sulaikydamas jas nuo patekimo į gruntinius vandenius. Tačiau išnaudojus sorbcijos talpą, kenksmingos medžiagos gali staiga patekti į gruntinius vandenius (Marcinonio 1999). Autorė D. Brazauskienė (2004) teigia, kad dirvožemis pasižymi didele regeneracijos geba. Dirvožemio gyvieji organizmai išskiria fermentus, dėl kurių veiklos medžiagos dirvožemyje skaidomos greičiau nei vandenyje ar ore.

Naftos produktų skvarba grunte priklauso nuo grunto geologinių bei hidrogeologinių sąlygų, taip pat nuo teršalo fizinių ir cheminių savybių. Lengvieji angliavandeniliai (benzino, žibalo, dyzelino eilės) yra skvarbesni, palyginti su sunkiaisiais angliavandeniliais, pvz., mazutu. Svarbu, kokia yra teršalo fizinė būklė grunte. Mazutas grunte būna absorbuotas ir sudaro plėvelę.

Grunto užteršimas naftos produktais apibūdinamas pagal akivaizdžius vizualius - juslinius požymius: kvapą, spalvą, blizgesį, riebaluotumą ir įsotinimą laisvais naftos produktais. Galima išskirti į 4 grunto užteršimo lygius: 1) švarus; 2) silpnai užterštas; 3) vidutiniškai užterštas; 4) stipriai užterštas.

Juos išskirti galima pagal tokius požymius (Aplinkos...2007):

Švarus – akivaizdžių užteršimo požymių nėra. Naftos produktų koncentracija neviršija foninio lygio, t.y. mažesnė nei 50 mg/kg.

Silpnai užterštas – naftos produktų kvapas grunte vos užuodžiamas, neryškus, sunkiai nustatomas, grunto grūdėliai neblizga, neriebaluoti, natūrali spalva nepakitusi. Tokį užterštumą suformuoja per gruntą prasisunkęs naftos produktais užterštas vanduo arba difuzijos būdu į uolieną įsigėrę skysti ar dujiniai naftos produktai. Jų koncentracija grunte priklauso nuo grunto mechaninės sudėties ir naftos produktų sudėties. Ji daugiausia gali siekti 1 - 3 g/kg sauso grunto.

Vidutiniškai užterštas – naftos produktų kvapas užuodžiamas pakankamai gerai tik iš arti, gruntas truputį blizga. Jeigu tarša sena, uoliena yra patamsėjusi, truputį riebaluoja rankas, ant drėgno grunto matosi vaivorykštės spalvų plėvelė. Tokį užterštumą suformuoja per uolieną prasisunkę arba joje besikaupiantys skysti naftos produktai. Jų koncentracija grunte paprastai neviršija sorbcinės gebos, kuri priklauso nuo grunto mechaninės sudėties ir naftos produktų sudėties ir svyruoja nuo 3 g/kg iki 16 g/kg sauso grunto;

Stipriai užterštas – naftos produktų kvapas yra stiprus, o esant benzino taršai, labai stiprus, gruntas blizga, riebaluoja. Jeigu tarša sena, gruntas būna patamsėjęs arba visiškai juoda, porose aiškiai matosi skysti naftos produktai. Tokia tarša susidaro tuomet, kai skysti naftos produktai susikaupia ties gruntinio vandens lygiu arba, pavyzdžiui, ant juos sunkiai praleidžiančio paviršiaus (molio ar kito mažai laidaus sluoksnio). Naftos produktai visiškai ar iš dalies užpildo uolienos poras, sudarydami laisvai tekantį sluoksnį arba naftos produktų plėvelę. Naftos produktų koncentracija grunte siekia kelias dešimtis tūkstančių mg/kg.

Vienas m³ sauso smėlio gali adsorbuoti maždaug 50–70 l naftos produktų. Ši grunto geba adsorbuoti naftos teršalus yra be galo svarbi aplinkosauginiu požiūriu, nes tai lemia į žemę susigėrusių teršalų išsisklaidymo galimybes, o drauge ir taršos pavojingumą aplinkai. Greičiausiai ir toliausiai naftos produktai sklinda žvyringame grunte. Prasiskverbę per sausą gruntą, naftos produktai pasiekia gruntinio vandens paviršių, čia kaupiasi ir pradeda plisti horizontalia kryptimi. Plisdami vandens paviršiumi, dalis naftos produktų ištirpsta gruntiniame vandenyje, kita dalis jų migracijos kelyje absorbuojama uolienu. Svyruojant gruntinio vandens lygiui, ant jo susikaupę naftos produktai išstumiami arba nugramzdinami į švarias aeracijos zonos bei vandeningo sluoksnio uolienas, kuriose dalis jų taip pat adsorbuojami. Tokiu būdu iš mažo taršos židinio žemės gelmėse gali susiformuoti kelių kilometrų ilgio ir pločio taršos arealai (Jankevičius ir Liužinas 2003).

1.3 Naftos produktais užteršto dirvožemio valymo būdai

Naftos pramonė sukelia didelį poveikį aplinkai ir kelia pavojų žmonių sveikatai. Todėl šių teršalų emisijos turi būti kontroliuojamos, valomi užteršti plotai taikant efektyviausius, mažiausiai taršius valymo metodus.

Užteršto dirvožemio valymo technologijas galima suskirstyti į dvi dalis: in situ, ex situ valymo technologija.

In-situ valymo technologija vyksta užteršimo vietoje. Ši technologija gali būti naudojama beveik nesukeliant žalos valomai teritorijai. In-situ nereikalauja daug išlaidų valant užterštas teritorijas, kadangi nenaudojamas transportas ir dažniausiai atsisakoma kasinėjimo darbų (Jankevičius ir Liužinas, 2003).

Ex-situ technologijos atveju, gruntas yra iškasamas ir valomas specialiuose pritaikytose aikštelėse. Tačiau kasimas ir transportavimas, kuris yra būtinas šioje technologijoje, didina valymo sąnaudas. Vienas iš pranašumų ex-situ grunto valymo būdo, už in-situ yra tas, kad užterštas gruntas yra greičiau išvalomas, kadangi šiuo atveju gruntą galima vėdinti, homogenizuoti ir užtikrinti jo vientisumą (Kaczorek *et al.*, 2010).

Priklausomai nuo proceso pobūdžio in-situ ir ex-situ gali būti skirstomi į: biologinius, fizinius-cheminius ir terminus. Kiekvienas jų turi daugybę technologinių atmainų (1 lentelė).

1 lentelė. Pagrindiniai angliavandeniliais užteršto grunto valymo būdai (Grigiškis ir kt. 2002)

Pagrindiniai veiksniai	Grunto atkūrimo technologija	Proceso pasirinkimas	Technologija	Pritaikymo tinkamumas
Perkėlimas	Iškasimas	Mechaninis iškasimas	Naudojamas mechaninis iškasimas perkelti užterštą gruntą į apdorojimo vietą.	Tinka užterštam gruntui. Lakūs organiniai junginiai išgaruoja.
		Rankinis iškasimas	Naudojamas rankinis grunto iškasimas riboto prieinamumo vietose.	Tinka
		Apipylimas	Siūloma apipilti užterštą gruntą žemės sluoksniu.	Netinka
Iškasto grunto dispozicija	Gruntas paliekamas vietoje	Landfarmingas	Nuolatinis saugojimas ant molio ir sintetinės membranos sluoksnio su nuotėkų surinkimo sistema.	Netinka
	Gruntas išvežamas	Landfarmingas	Iškasto grunto išvežimas į landfarmingo aikštelę.	Tinka gruntams su mobilizuotais teršalais ar nedidelio užterštumo gruntams.
Iškasto grunto apdorojimas	Terminis apdorojimas	Sudeginimas	Iškasti teršalai yra suardomi termiškai tam tikro deguonies kiekio aplinkoje.	Netinka naftos angliavandeniliais užterštam gruntui valyti dėl didelių sąnaudų.
		Terminė desorbcija žemoje temperatūroje.	Lakūs organiniai junginiai išgaruoja dujų pavidalu. Dujos sudeginamos.	Tinka naftos angliavandeniliais užterštam gruntui.
	Biologinis apdorojimas	Aerobinė biodegradacija	Gruntas apdorojamas maisto medžiagomis, kad suaktyvintų biodegradaciją. Gruntas aprūpinamas deguonimi ir drėgme.	Tinka. Reikalingi tyrimai nustatyti optines sąlygas ir degradacijos greitį.
	Cheminis apdorojimas	Cheminė oksidacija	Angliavandeniliai suardomi cheminių oksidatorių.	Nepritaikoma. Kitos technologijos pigesnės ir geriau pritaikytos.
	Fizikinis apdorojimas	Grunto plovimas	Gruntas maišomas su solventu ar vandeniu, kad ekstrahuotų teršalus.	Nepritaikoma. Kitos technologijos pigesnės ir geriau pritaikytos.
		Sukietinimas/stabilizacija	Gruntas sumaišomas su cementu, kad sukietintų ir imobilizuotų teršalus.	Pritaikoma gruntui užterštam policikliniais angliavandeniliais.
		Įterpimas į asfaltą	Gruntas naudojamas asfalto dangai ir teršalai mobilizuojami.	Tinka.
		Aeracija	Gruntas aeruojamas ir išgaruoja lakūs junginiai.	Nepritaikoma. Kai kurie teršalai yra sunkieji angliavandeniliai, kurie nėra lakūs.

Fiziniai metodai – tai teršiančios medžiagos ištraukimas iš užterštos žemės. Tokie metodai dažniausiai naudojami didelės koncentracijos užterštų teritorijų valymo pradiniam etape skystos naftos produktų fazės ištraukimui. Plačiausiai pasaulyje naudojami:

- hidrodinaminio išsiurbimo metodas;
- vakuuminio išsiurbimo metodas.

Vakuuminis metodas naudojamas mažai laidaus grunto valymui. Valant šiuo metodu į žemės sluoksnius pritraukiamas papildomas kiekis oro, kuris suaktyvina natūralių mikroorganizmų veiklą ir teršalų destrukcijos procesus, todėl šį metodą galima laikyti kompleksiniu. Hidrodinaminis metodas efektyvus kuomet naftos produktais įsotinto grunto filtracijos koeficientas yra ne mažesnis kaip 1-3 m/parą. Fizinių metodų atmaina dar yra terminiai metodai, kurie paremti teršalų sudeginimu arba iškaitinimu (Juodkasis ir Marcinonis, 2008).

Cheminiai metodai – tai teršiančių medžiagų transformavimas į mažiau pavojingus arba visiškai nepavojingus junginius cheminių reakcijų pagalba. Dažniausiai naudojami metodai:

- tirpalų ekstrakcija;
- teršalų konsolidavimas.

Atskira cheminių metodų modifikacija yra tada, kai cheminės medžiagos naudojamos teršalų atskyrimo nuo kietos terpės palengvinimui. Dažniausiai šiam reikalui naudojamos paviršiaus aktyvios medžiagos. Trūkumas - valomas dirvožemis dažnai užteršiamas antriniais junginiais (Jankevičius ir Liužinas 2003).

Biologiniai metodai – tai teršalų destrukcija arba transformacija įvedant naujus arba aktyvinant natūraliai egzistuojančius mikroorganizmus. Reikiamam mikroorganizmų aktyvumui užtikrinti valomoje terpėje būtina palaikyti optimalų deguoninį, temperatūrinį bei mitybinį terpės režimą (Juodkasis ir Marcinonis, 2008).

Terminiai metodai - grindžiami temperatūros pakėlimu tam, kad, pasinaudojus teršalo lakumo savybėmis, atskirtume jį nuo grunto. Toliau keliant temperatūrą, teršalai gali skilti į nepavojingus produktus arba oksiduotis. Tarp terminių metodų daugiausia yra paplitę:

- **Deginimas.** Teršalai deginami aukštoje temperatūroje (870–1200 °C) specialioje krosnyje. Tokioje krosnyse, tinkamai išlaikant deginimo technologiją, galima pasiekti labai aukštą išvalymo laipsnį (iki 99,9%).

- **Pirolizė** labai tinka organinėms medžiagoms, kurios suardomos keliant slėgį ir temperatūrą daugiau kaip 430 °C bedeguonėje terpėje. Vykstant pirolizės procesui, teršalai skaidomi į dujinius komponentus, iš jų į anglies monoksidą, vandenilį, angliavandenilius. Tačiau pirolizės metu suirdavo nedideli kiekiai skysčių ir kokso. Susidariusios dujos arba surenkamos ir kondensuojamos, arba toliau apdorojamos antrinėje deginimo kameroje.

- **Terminės desorbcijos** metu teršalai kaitinami, kol pradeda garuoti vanduo ir organiniai junginiai. Dujos ar vakuuminė sistema išgarintas medžiagas perduoda į dujų apdorojimo sistemą, kur teršalai atskiriami (Grigiškis ir kt. 2002).

Visi biologiniai užteršto grunto valymo metodai yra glaudžiai susiję tarpusavyje, todėl sunku juos suskirstyti. Todėl plačiau panagrinėsime biologinius biodegradacijos metodus tokius kaip: biovėdinimas, kompostavimas, landfarmingas, fitoatstatymas (Chaîneaua *et al*, 1999).

Biovėdinimas – tai biologinio skaidymo procesas, taikomas naftos produktais užteršto grunto valymui in-situ atveju (Greenwood et al 2009). Biovėdinimo technologija - lengvos konstrukcijos procesas. Naudojamas nedidelių koncentracijų (iki 25 g/kg) naftos produktais užterštų teritorijų valymui. Šios technologijos efektyvumas iki 95 %, dažniausiai taikoma legvaisiais naftos produktais užterštų teritorijų valymui (Pavel, 2008). Šio proceso metu vamzdžių pagalba oras yra pučiamas į užterštą gruntą, tokiu būdu skatinamas biologinis aerobinis teršalų skaidymas, stimuliuojant vietinių mikroorganizmų augimą. Taip pat į naftos produktais užterštą gruntą yra pilamos maistinės medžiagos. Užteršto grunto valymas gali trukti nuo 6 iki 24 mėnesių, tai priklauso nuo grunto fizinių bei cheminių savybių, teršalų tipo (Stella *et al*, 2003).

Biokaupai - viena iš bioremediacijos technologijų kuri taikoma ex-situ atveju. Naftos produktais užterštas dirvožemis yra iškasamas ir vežamas į specialią aikštelę, kurioje supilamas į 1,5 – 2 metrų aukščio kaupus. Jei naftos produktų koncentracija grunte yra didesnė nei 50 g/kg, gruntas yra skiedžiamas švairiu gruntu, medžio atliekomis, šiaudais ir k.t. Tokiuose supiltuose kaupuose vietinių mikroorganizmų aktyvumas stimuliuojamas į gruntą įterpiant maistines medžiagas, vandenį, pučiant orą (Goteborg, 2002; Pavel, 2008).

„*Ladfarmingas*” yra viena iš biologinio valymo technologijų taikoma ex-situ atveju. Naftos produktais užterštas dirvožemis yra iškasamas ir išvežamas į specialiai tam skirtą aikštelę. Gruntas paskleidžiamas sluoksniu tarp 45-60 cm. Ši technologija naudojama nedidelių koncentracijų iki 25 g/kg užteršto naftos produktais dirvožemio valymui. Jeigu koncentracijos didesnės tai dirvožemis skiedžiamas smėliu, žvyru arba jau turimu išvalytu gruntu. Toks užterštas gruntas yra aeruojamas ariant ar taikant kitokią techniką, įterpiamos maistinės medžiagos ir palaikoma nuolatinė reikiama grunto drėgmė, kad stimuliuotų mikroorganizmų veiklą (Ojeda *et al*, 2009).

„*Landfarmingo*” aikštelės dugnas izoliuojamas specialiomis medžiagomis, priklausomai nuo vietovės ir teršalų pavojingumo. Taip pat privaloma įrengti filtrato surinkimo sistema, kuri suringtų užterštą skistį iš užteršto dirvožemio (Kalėdienė ir Giedraitytė, 2003).

Kompostavimas – tai kontroliuojamas biologinis procesas, kada biodegraduojamos pavojingos medžiagos yra suardomos iki nepavojingų inertiškų metabolitų. Kompostavimas yra taimomas ex-situ valymo atveju. Užterštas gruntas naftos produktais yra iškasamas ir atvežamas į scialiai tam

pritaikytas vietas. Tokiose kompostavimo aikštelėse užterštas gruntas yra maišomas su kompostu tokiu santykiu, kad valomajame grunte teršalų koncentracija neviršytų 20 g/kg. Kompostavimo medžiaga gali būti medžio pjuvenos, gyvulių mėšlas, augalinės atliekos (Iovino *et al*, 2008; Fukushima *et al*, 2011).

Fitoatstatymas – tai teršalų valymo technologija panaudojant augalus. Šis metodas pagrįstas augalų sugebėjimu kaupti teršalus savo audiniuose arba juos degraduoti fermentinėmis sistemomis. Fitoatstatymas naudojamas teršalams pašalinti iš dirvožemio ar vandens. Šis metodas yra ekologiškas, alternatyviai taikomas šiuolaikiniame gyvenime, vietoj fizinių ar cheminių užteršto dirvožemio apvalymo (Spruogis ir Jaskelevičius, 2000).

Fitoatstatymui naudojamos įvairios augalų rūšys. Tai medžiai, žolės, varpiniai, ankštiniai augalai ir kiti. Dažniausiai naudojamos daugiametės žolės, kurioms būdinga gerai išvystyta šaknų sistema. Išsikerojusios šaknys pagerina užteršto dirvožemio aeracija, taip pat gauna azoto, tokiu būdu suaktyvina mikroorganizmų veiklą (Liu *et al*, 2007; Witters *et al* 2012).

Fitoatstatymas susideda iš kelių procesų: rizodegradacijos, fitostabilizacijos, fitoakumuliacijos, rizofiltracijos, fitodegradacijos ir fitogaravimo (Phytoremediation... 2012). Šie procesai gali būti vykdomi kartu arba individualiai. Tai priklauso nuo valomų teršalų tipo ir nuo aplinkos sąlygų (Lanmeyer, 2001).

1.4 Naftos produktų biodegradacija

Biodegradacija - tai procesas kurio metu mikroorganizmai skaido organinius junginius metaboliniu keliu į medžiagas, kurias gali panaudoti ir kiti organizmai. Galutinis tokio skilimo produktas yra anglies dioksidas ir vanduo (Kaczorek, 2010). Biologinis dirvožemio valymo metodas šiuo metu yra plačiausiai naudojamas pasaulyje. Tačiau šis natūralus apsivalymo procesas reikalauja papildomos priežiūros, tokios kaip, dirvožemio drėkinimo, aeravimo ir reikalingų maistinių medžiagų palaikymo (Farinazleen *et al*, 2004).

Biologinis skaidymas, naftos produktais užterštame dirvožemyje priklauso nuo daugelio veiksnių tokiu kaip, fiziniu-cheminių ir biologinių. Biodegradacijos procesui darantys įtaką veiksniai yra tokie kaip: deguonies kiekis; maistinės medžiagos; temperatūra; drėgmė; pH; teršalo rūšis ir koncentracija; mikroorganizmų rūšis ir kiekis (Li *et al*. 2009).

Aeracija. Norint padidinti biodegradacijos procese deguonies kiekį, dirvožemis turi būti pastoviai aeruojamas. Aeracija gali būti vykdoma keliais būdais: kultivuojant dirvožemį specialia technika arba įterpiant medžiagas, kurias pagerintų dirvožemio aeracines savybes. Įterpiant

medžiagas, kurios pagerintų valomo dirvožemio aeracinės savybes, galima panaudoti įvairias statybines, buitines atliekas, kurios būtų pritaikomos antriniam panaudojimui. Tokiam naudojimui galima pritaikyti kietas statybines atliekas, kurios sumažintų dirvožemio tankį ir padidintų vandens talpą. (Adi and Noor, 2009; Godoy-Faúndez *et al.*, 2008).

Maistinės medžiagos. Biodegradacijos procese valomas dirvožemis, turi būti papildomas maistinės medžiagomis mikroorganizmams, kadangi efektyviai jų veiklai reikia maistinių medžiagų (Roldan–Carrillo *et al.* 2012). Dirvožemis gali būti tręšiamas azoto, fosforo, kalio trąšomis arba įterpiant natūralias maistines, medžiagas tokias kaip buitinės atliekos, kiaulių mėšlas arba dumblas. Be paminėtų makroelementų, taip pat mikroorganizmams reikalingi ir kiti elementai tokie kaip: Mg, Ca, Na, S. Mikroorganizmams reikalingi ir mikroelementai: Mn, Fe, Cu, Zn ir kt (Zhang and He, 2006).

Siekiant išvalyti dirvožemį užterštą dyzelinu atliko tyrimus, kurių metu kaip papildomos maistmedžiagės mikroorganizmams buvo naudojami javų šiaudai arba cukranendrių liekanos (Barahona *et al.* 2004). Tyrimo metu buvo stebimi bandiniai su C:N santykiu (100:10 ir 100:30), drėgme (20% ir 30%), javų šiaudų kiekiu (2% ir 3%). Bandiniai su C:N santykiu 100:10, drėgme 30% ir javų ar cukranendrių 3% kiekiu, parodė aukštesnį medžiagų apykaitos aktyvumą. Aktyvumas nustatomas pagal išsiskiriančio CO₂ kiekį. Papildomų maistmedžiagų pridėjimas į dyzelinu užterštą dirvožemį, angliavandenių biodegradaciją padidino 67%.

Taip pat labai svarbu organinio junginio prieinamumas. Netirpus organinis junginys yra sunkiai prieinamas, kadangi stipriai absorbavęsis ant įvairių paviršių ir neprieinamas mikroorganizmams (Chen *et al.* 2008).

Drėgmė. Kitas labai svarbus veiksnys, tai vandens pakankamumas, kadangi dauguma fermentinių reakcijų vyksta vandenyje (Beran, 2008).

Autoriai L. Giedraitytė ir kt. (2001) rašo, kad viena pagrindinių priežasčių, kodėl naftos produktai ilgai išlieka gamtoje, yra jų mažas tirpumas vandenyje. Mikroorganizmų gebėjimas išskirti emulguojančias medžiagas yra vienas iš požymių, rodantis, kad organizmas asimiliuoja angliavandenilius. Angliavandenilių buvimas terpėje paprastai gali padidinti išskiriamų emulsijų kiekį, dėl kurių padidėja ir pačių angliavandenilių tirpumas terpėje. Darbe tirti penki bakterijų izolatai, išskirti iš nafta užteršto grunto. Jie buvo auginti terpėje su tetradekanu, heksadekanu ir dokošanu, kaip vieninteliais anglies šaltiniais, lygiagrečiai įvertinant į terpę išskiriamų paviršiaus aktyvių medžiagų kiekius bei jų sudaromų dispersinių sistemų stabilumą.

Temperatūra. Angliavandenilių biodegradacijos greitį riboja žemesnė temperatūra. Vidutinio klimato sąlygomis natūrali naftos produktų degradacija vyksta lėtai. Biodegradacija gali vykti 0–70°C temperatūrose (Rahman *et al.* 2002). Valant dirvožemį biologiniu būdu ne visada pasiekama

norimų rezultatų, nes efektyviai naftos teršalus oksiduojančių mikroorganizmų veiklai įtakos turi sezoniniai temperatūros pokyčiai. Šaltuoju metų periodu (žiema) mikroorganizmai, oksiduojantys naftą ir jos produktus, apmiršta ir teršalų biodegradacija suaktyvėja tik atšilus orams (Semple *et al*, 2007).

Nustatyta, kad *Pseudomonas* sp.MD4 ir *Arthrobacter* sp. ASF6 pasižymėjo didžiausiu aktyvumu, suskaidydamos mazutą iki 16,4–16,9% jo likučio. Šios kultūros geriausiai skaido mazutą esant 30 °C (Repečkienė ir kt. 1999).

Optimalūs naftos biodegradacijos greičiai veikiant aerobinėms bakterijoms yra gaunami esant +27°C temperatūrai (Chong *et al*.1997).

pH - svarbus mikroorganizmus veikiantis faktorius. Mikroorganizmai yra aktyvūs gana plačioje *pH* skalėje. Rūgštingumo intervalas, kurio ribose valymas yra laikomas aktyviu, yra labiausiai efektyvus kai *pH* 6–8 (Jankevičius 1995).

Mikroorganizmų rūšis ir kiekis. Anot L. Kalėdienės (1999) sugebėjimas naudoti naftos komponentus kaip energijos ir anglies šaltinius būdingas ne kokioms siaurai specializuotoms formoms, o daugelio mikroorganizmų grupių atstovams.

Valant naftos produktais užterštą dirvožemį *in-situ* ar *ex-situ* būdu, biodegradacijos procese galima papildomai įvesti mikroorganizmų, kurie skaidytų naftos produktus, arba papildyti mikroorganizmų štamais (Maila *et al*, 2005).

Sugebėjimas naudoti naftos angliavandenilius kaip energijos ir anglies šaltinius būdingas ne siaurai specializuotoms, o daugelio mikroorganizmų grupių atstovams (Korda *et al*, 1997). Yra žinoma virš 70 mikroorganizmų genčių, kurie skaldo angliavandenilius. Joks angliavandenilius skaldančių mikroorganizmų rūšių sąrašas negali būti pilnas ir galutinis, kadangi dėl naujų metabolizmo reakcijų formavimosi ir fermentinio specifiškumo pokyčių išsivysto nauji biodegradacijos požiūriu vertingi mikroorganizmų kamieniai (Riaz *et al*, 2011).

Naftos angliavandenilius oksiduojantys mikroorganizmai (NOM) gamtoje aptinkami dirvožemyje, vandenyje, ore ir kitur, kur yra angliavandenilių tarša (Maila *et al*, 2006). Be to, angliavandeniliai įeina į gyvųjų organizmų sudėtį, juos augalai ir mikroorganizmai nuolat sintetina kaip antrinius metabolitus (Bordoloi and Konwar, 2008).

Naftos produktai yra specifinė niša mikroorganizmams vystytis. Naftos produktai pasidaro mikroorganizmų mitybine terpe. Dirvožemyje naftos produktai pablogina mikroorganizmų funkcionavimą, lėtina dirvožemio biologinį aktyvumą, deguonies ir CO₂ apykaitą, oksidacinius-redukcinis procesus, stabdo augalų liekanų skaldymą, humuso susidarymą bei daugelį kitų nuolat vykstančių medžiagos apykaitos procesų. Kai kurie autoriai teigia, kad degradacinės

mikroorganizmų savybės suaktyvėja, kai į terpę pridama atitinkamas kiekis azoto ir fosforo trąšų (Bridžiuvienė ir kt. 1997).

Šaltinyje (Bundy et al. 2002) rašoma, kad angliavandenilių pašalinimas naudojant mikrobinę degradaciją yra dažniausiai naudojamas būdas siekiant išvalyti naftos produktais užterštus dirvožemius. Nustatyta, kad pridėjimas angliavandenilius skaidančių mikroorganizmų nėra toks efektyvus būdas angliavandenilių pašalinimui iš užteršto dirvožemio, kaip skatinimas vietinės mikrobiotos augimo.

Apie gyvojo pasaulio sugebėjimus panaudoti naftos produktus, kaip maisto ar energijos šaltinį rašo autoriai šaltinyje (Peressutti et al. 2003). Eksperimento metu bakterijų pagalba 45,48% naftos degradavo. Per penkis eksperimento mėnesius bandiniuose vyravo gram-neigiamos bakterijos, vėliau padaugėjo gram-teigiamų bakterijų. Eksperimento metu išsiaiškinta, kad bakterijos gali asimiliuoti platų angliavandenilių spektrą.

Teršalo rūšis ir koncentracija. Labai didelę įtaką dirvožemio išvalymui turi teršalų tipas ir jų savybės bei koncentracija. Ypač didelės naftos teršalų koncentracijos (daugiau kaip 10%) gali žymiai apsunkinti dirvožemio valymą, mat toks dirvožemis negali būti valomas biologiniu būdu, nes tokios koncentracijos yra kenksmingos naftą degraduojantiems mikroorganizmams. Nemažą įtaką išvalymui turi ir teršalų tipas. Vieni teršalai iš dirvožemio pašalinami greitai, per kelias dienas ar savaites, kiti reikalauja daug ilgesnių ir didesnių laiko bei valymo kaštų. Lakūs angliavandeniliai išgaruoja, o stambiamolekuliniai junginiai ilgam išlieka dirvožemyje (Šablinskas ir kt. 1997).

1.5 Nuotekų dumblo panaudojimas

Literatūros šaltinyje (LAND 20-2005) pateiktas toks nuotekų dumblo apibrėžimas: **nuotekų dumblas** – buitinių ir komunalinių nuotekų bei panašios sudėties nuotekų valymo metu susidarantis dumblas. Dumbalui nepriskiriamos medžiagos ir elementai, sulaikomi grotose, sietuose, riebalų gaudyklėse, smėliagaudėse, flotatoriuose ir pan. (šiukšlės, smėlis, riebalai, naftos produktai).

Dumblo naudojimas – dumblo paskleidimas dirvos paviršiuje ar įterpimas į dirvožemį, ar kitoks naudojimas ant dirvožemio ar dirvožemyje (LAND 20-2005).

Visose nuotekų valymo procesuose susidaro dumblas. Dumblo charakteristikos bei dumblo kiekis priklauso nuo į nuotekų valyklą atitekančių nuotekų sudėties, nuotekų valyklų technologinės schemos bei naudojamų valymo metodų (Barnabe et al. 2009).

Aeruojuotoms nuotekoms, susidaro palankios sąlygos augti įvairioms mikroorganizmų kultūroms, esančioms nuotekose ir patenkančioms į jas iš aplinkos. Mikroorganizmų kultūrų rūšių augimas

priklauso nuo nuotekose esančių organinių medžiagų cheminės sudėties bei koncentracijos, vandens temperatūros bei pH, maišymo intensyvumo ir kitų veiksnių (Matuzevičius, 1998).

Nustatyta, kad aktyviojo dumblo cheminė sudėtis kinta nuo C_4H_9ON iki $C_8H_{15}O_5N$, atsižvelgiant į mikroorganizmų augimo fazę ir substratą, kuriame atliekami sudėties tyrimai. Valant buitines ir daugelio pramonės įmonių nuotekas, kai palaikoma vidutinė aktyviojo dumblo apkrova (iki 40), aktyviojo dumblo formulė - $C_5H_7O_2N$ (Namkoong et al. 2002).

Mikroorganizmų kultūros - bakterijos, aktinomicetai, pirmuonys, grybai, dumbliai ir kt. – sudaro nuotekų dumblą. Nuotekų dumblas, dalyvaujant fermentams, nuotekų teršalus naudoja maistui ir juos oksiduoja iki anglies dvideginio, vandens, nitritų, nitratų, fosfatų ir kt. (Jakštaitė ir kt., 1999; Wang *et al* 2005).

Didžiausi kiekiai nuotekų dumblo susidaro vandenvalos įmonėse. Kaupiantis valymo įrenginiuose nuotekų dumblui, kyla problema kaip jį panaudoti (Nicholas *at al.* 2002). Pagrindiniai nuotekų dumblo tvarkymo būdai: šalinimas į sąvartynus, deginimas ir panaudojimas žemės tręšimui. Trečiasis šalinimo būdas vienas geriausių, nuotekų dumblo panaudojimo būdų, tačiau gali būti žalingas (Barnabe et al 2009).

Dumblo panaudojimas tręšimui išsprendžia dvi svarbias problemas: grąžina į dirvožemį iš jo su derliumi paimamą organiką ir sunaudoja besikaupiančias miestuose atliekas. Besąlyginį nuotekų dumblo naudojimą tręšimui riboja du veiksniai: užterštumas patogeniniais mikroorganizmais ir dideli sunkiųjų metalų kiekiai. Dumblo nusausinimo ir kitos technologijos beveik išsprendė jo kenksmingumo pašalinimo problemą, tačiau sunkieji metalai, vystantis pramonei ne mažėja, o atvirkščiai – didėja. Yra žinoma, kad sunkieji metalai lėtina organinės medžiagos irimo greitį, mažina mikroorganizmų aktyvumą, toksiškai veikia bestuburius gyvūnus (Spruogis ir Jaskelevičius 2000).

Galimas ir kitas nuotekų dumblo panaudojimas, valant naftos produktais užterštą dirvožemį, tai būtų išspręstu dumblo kaupimosi problema, nes dauguma mikroorganizmų yra pajėgūs gaminti emulsiklius, leidžiančius naftos angliavandenilius panaudoti kaip anglies šaltinį (Ulozas ir kt. 2010).

Pagal sunkiųjų metalų koncentraciją dumblas skirstomas į tris kategorijas (1 lentelė). Taip pat klasifikuojamas pagal mikrobiologinius ir parazitologinius rodiklius. Dirvoms tręšti, karjerams rekultivuoti, sąvartynams uždengti, gali būti naudojamas A ir B klasių bei I – II kategorijų dumblas (Land 20-2005).

Nuotekų dumble labai gausu lengvai irstančių organinių medžiagų, jame daug mineralinių medžiagų ir mikroelementų. Todėl rekultivuojamame dirvožemyje dumblas labai suaktyvina biologinius procesus, tad biologinė nuotekų dumblo utilizacija, anot autorių (Spruogis ir

Jaskelevičius 2000), rekultivuojant sunaikintas žemes, būtų natūraliausias ir ekonomiškiausias organikos grąžinimo į dirvožemį kelias.

2 lentelė. Dumblo skirstymas į kategorijas pagal sunkiųjų metalų koncentraciją
(Lietuvos Respublikos... 2005)

Dumblo kategorija	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
I	<140	<1,5	<140	<75	<50	<300	<1,0
II	140-750	1,5-20	140-400	75-1000	50-300	300-2500	1,0-8,0
III	>750	>20	>400	>1000	>300	>2500	>8,0

Apie dumblo panaudojimą, valyti dirvožemį užterštą dyzelinu, rašo autoriai šaltinyje (Namkoong et al. 2002). Santykiai užteršto dirvožemio su pridedama organine dalimi bandiniuose buvo 1:0,1, 1:0,3, 1:0,5, ir 1:1. Dyzelino koncentracija dirvožemyje – 10 mg/kg. Pridėjus papildomų organinių medžiagų dyzelino degradacija žymiai pasikeitė. Angliavandenilių geriausias degradacijos greitis nustatytas bandinyje su dirvožemio ir organinės dalies santykiu 1:0,5. Į bandinius pridėjus nuotekų dumblo alkanai gerai degradavo visuose bandiniuose.

Autoriai (Namkoong et al. 2002) teigia, kad užteršto dirvožemio kompostavimas su dumblu ar subrandintu kompostu turi privalumų lyginant su kitomis technologijomis, tai žema išvalymo kaina, operacijų ir konstrukcijų paprastumas ir santykinai aukštas išvalymo efektas. Taip pat autoriai (Namkoong et al. 2002) pabrėžia, kad nuotekų dumblas ar subrandintas kompostas pasižymi didele mikrobine įvairove. Pridėjus nuotekų dumblo ar komposto padidėja mikroorganizmų tankumas, o tai pagreitina naftos produktų degradaciją užterštame dirvožemyje. Nuotekų dumblas ir kompostas turi didelį kiekį organinių medžiagų (45,2% ir 43,0% atitinkamai).

Apie tai, kad dirvožemio užteršto dyzelinu kompostavimas su organinėmis medžiagomis yra geras būdas siekiant pašalinti dyzeliną iš dirvožemio, rodo ir autorių (Van Gestel et al. 2003) atliktas tyrimas.

Užterštas gruntas buvo kompostuojamas su bioatliekomis (daržovėmis, vaisiais) santykiu 1:10. Tyrimai vyko 12 savaičių. Siekiant išsiaiškinti kokią įtaką dyzelino degradacijai turi temperatūra vieni bandiniai buvo laikomi kambario temperatūroje, o kiti aukštesnėje. Rezultatai parodė, kad dyzelino degradacijos greitis bioatliekų komposte buvo 4 kartus didesnis nei dirvožemyje (kontrolė) esant kambario temperatūrai ir 1,2 kartus didesnis nei aukštesnėje temperatūroje.

Tyrimo metu nuotekų dumblas kaip biopreparatas buvo pasirinktas dėl 3 priežasčių:

1. Neabejota, kad jame yra pakankamas mikroorganizmų kiekis, galintis kaip maistinę medžiagą naudoti anglį.
2. Dėl mikroelementų kiekio jame.
3. Dėl nuotekų dumblo, kaip atliekos, utilizavimo.

2.TYRIMO METODAI

2.1. Tyrimo objektas

Laboratorijos sąlygomis buvo dirbtinai imituotas dyzelino ir žaliavinės naftos išsiliejimas dirvožemyje. Šiam tyrimui buvo naudojamas dirvožemis, kuris atvežtas iš Palangos miesto savivaldybės, Būtingės gyvenvietės, ir išdžiovintas.

Tyrimui panaudotas dirvožemis pagal granulimetrinę sudėtį – lengvas priemelis. Siekiant pagerinti naftos produktų skaidymo efektyvumą dirvožemyje, kaip bioagentas panaudotas nuotekų dumblas iš Palangos miesto bei popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių.

Palangos miesto bei popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblas, pagal dumblo užterštumo kategoriją – II klasės. Nustatyta metalų ir biogeninių medžiagų sudėtis (lentelė 3)

3 lentelė. Nuotekų dumblų cheminė sudėtis

Tyrimų parametrai	Dumblo sudėtinės medžiagos		Tyrimo metodai
	Palangos miesto valymo įrenginių dumblas	Popieriaus gamybos įmonės įrenginių nuotekų dumblas	
Fosforas (P ₂ O ₂), mg/kg	2700,00	1480,00	LVP D -07:2012, 4 leidimas.
Kalis (K ₂ O) mg/kg	1280,00	670,00	Laboratorijos parengtas Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodas
Azotas (N) %	43,00	40,00	ISO 11261:1995 Kjeldalio metodas
Kadmis (Cd) mg/kg	1,44	1,36	ISO 11466:1995, ISO 11047:98, B metodas
Švinas (Pb) mg/kg	28,00	21,00	ISO 22036-2008
Chromas (Cr) mg/kg	38,70	56,70	
Nikelis (Ni) mg/kg	43,30	45,30	
Varis (Cu) mg/kg	65,00	53,00	
Cinkas (Zn) mg/kg	184,00	125,00	

Palangos miesto ir popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių dumblo sudėtis buvo iširta Agrocheminių tyrimų laboratorijoje (Priedas Nr.3).

2.2 Eksperimento schema bei sąlygos

Eksperimentui atlikti į dirvožemį buvo įterptas dyzelinas ir žalia nafta. Biodegradacijai paspartinti buvo panaudotas nuotekų dumblas iš Palangos miesto ir popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių.

Eksperimentui atlikti buvo panaudota 40 talpų, kurios užpildytos po 5 kg sauso dirvožemio. 20 talpų dirbtinai užteršta dyzelinu (15g/kg ir 30 g/kg) ir 20 talpų žalia nafta (15g/kg ir 30 g/kg) sausam dirvožemiui.

Nuotekų dumblo įtaka valomam dirvožemiui buvo nustatoma į valomą dirvožemį, (išskyrus 4 kontrolinius bandinius, kuriuose įterpti tik naftos produktai), įterpus 5 ir 10 % (sausos svorio) nuotekų dumblo iš skirtingų šaltinių. Kiekvienam bandyminiam variantui buvo paruošta po 2 pakartojimus.

4 lentelė. Eksperimento schema kai dirvožemis užterštas dyzelinu

1-2 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg panaudojant 5% Pal. ND	3-4 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg panaudojant 5% Pop. ND	5-6 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg panaudojant 10% Pal. ND	7-8 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg panaudojant 10% Pop. ND	9-10 mėg. Kontrolė dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg
11-12 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 30 g/kg panaudojant 5% Pal. ND	13-14 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 30 g/kg panaudojant 5% Pop. ND	15-16 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 30 g/kg panaudojant 10% Pal. ND	17-18 mėg. Dirvožemis užterštas dyzelinu 30 g/kg panaudojant 10% Pop. ND	19-20 mėg. Kontrolė dirvožemis užterštas dyzelinu 30 g/kg

Pal. VD – Palangos miesto nuotekų valymo įrenginių nuotekų dumblas;

Pram. VD – pramonės įmonės nuotekų valymo įrenginių nuotekų dumblas.

5 lentelė. Eksperimento schema kai dirvožemis užterštas žalia nafta

21-22 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 15 g/kg panaudojant 5% Pal. ND	23-24 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 15 g/kg panaudojant 5% Pop. ND	25-26 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 15 g/kg panaudojant 10% Pal. ND	27-28 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 15 g/kg panaudojant 10% Pop. ND	29-30 mėg. Kontrolė dirvožemis užterštas žalia nafta 15 g/kg
31-32 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 30 g/kg panaudojant 5% Pal. ND	33-34 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 30 g/kg panaudojant 5% Pop. ND	35-36 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 30 g/kg panaudojant 10% Pal. ND	37-38 mėg. Dirvožemis užterštas žalia nafta 30 g/kg panaudojant 10% Pop. VD	39-40 mėg. Kontrolė dirvožemis užterštas žalia nafta 30 g/kg

Pal. VD – Palangos miesto nuotekų valymo įrenginių nuotekų dumblas;

Pram. VD – pramonės įmonės nuotekų valymo įrenginių nuotekų dumblas.

Prieš dirvožemio, nuotekų dumblo ir natos produktų supylimą į indus buvo matuojama dirvožemio ir dumblo drėgmė, visi rodikliai perskaičiuoti kilogramui sauso dirvožemio.

Naftos produktų koncentracija nustatoma chromatografiniu metodu. Dizelino ir žaliavinės naftos liekamoji koncentracija nustatoma – vieną kartą per mėnesį.

Valomo dirvožemio aeravimas ir drėkinimas

Norint užtikrinti gerą mikroorganizmų aktyvumą, valomajame dirvožemyje būtina palaikyti optimalų deguonies ir drėgmės kiekį. Eksperimento metu vieną kartą savaitėje bandiniai aeruojami, matuojama drėgmė (optimali drėgmė turi būti ne mažiau 10 %, todėl esant mažesnei drėgmei bandiniai drėkinami vandeniu). Drėgmė nustatoma drėgnomačiu KERN MRS 120 – 3.

Valomo dirvožemio tręšimas

Kad maistinių medžiagų (N, K, P) kiekis valomajame dirvožemyje būtų pakankamas, ir biologinis valymas vyktų efektyviai eksperimento metu buvo papildomai terpiamos trąšos.

Viso eksperimento metu, bandiniai vieną kartą per mėnesį buvo papildomi mitybinėmis medžiagomis: amonio nitratu (NH_4NO_3) – 0,6 g/kg dirvožemio, ir kalio chloridu (KCl) – 0,06g/kg. Į visas talpas buvo dedama tas pats trąšų kiekis. Trąšų su fosforu į talpas nebuvo įterpta, nes nuotekų dumble pakankamas bendrojo fosforo kiekis.

Nuotekų dumblo įterpimas

Eksperimento metu, kaip biopreparatas, valant dyzelinu ir žaliaja nafta užterštą dirvožemį, panaudotas nuotekų dumblas iš buitinių nuotekų valymo įrenginių. Nuotekų dumblas iš valymo įrenginių buvo paimtas po aerotankų ir nusaustas iki 21% drėgmės. Į kontrolinius bandinius nuotekų dumblas nededamas.

Norint užtikrinti tolygų mikroorganizmų paisikirstymą, bandinys, įterpus nuotekų dumblą, gerai išmaišomas.

2.3 Anglies kiekio nustatymas

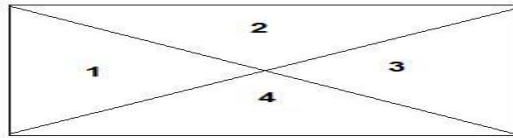
Metodo esmė – degimo reakcijos metu mėginyje nustatomas bendrosios anglies kiekis, o anglies rūgštinimo metu mėginyje nustatomas neorganinės anglies kiekis. Organinės anglies kiekis nustatomas iš bendrojo anglies kiekio atėmus neorganinės anglies kiekį.

Organinės anglies kiekio nustatymas atliekamas pagal EN 13137:2001 standartą.

Analizė atliekama su TOC – V Total Organic Carbon (7 pav.) ir SSM – 5000A prietaisais. SSM – 5000A yra priedas, kuris jungiamas prie TOC – V, kad būtų gaunama bendrosios organinės anglies (TOC) kietų mėginių analizės sistema, skirtą analizuoti kietus mėginius, pvz., dirvožemį.

2.4 Naftos produktų koncentracijos nustatymo dirvožemyje metodika

Mėginių ėmimas: pagal ISO 10381-1,2 kai žemė užteršta nelakiais naftos produktais: mėginys paskleidžiamas plačiame inde ir džiovinamas kambario temperatūroje iki orausio. Iš orausio mėginio išrenkami akmenukai, šaknys ir jis sutrinamas grūstuvėlyje. Susmulkinta žemė paskleidžiama ant švaraus popieriaus lapo ir “voko” būdu sudaromas vidutinis mėginys, t.y. paskleista žemė dalinama į 4 dalis, kaip parodyta 1 piešinyje.



1 pav. Mėginio paėmimas „voko“ principu

1 ir 3 dalys atmetamos, o antroje ir ketvirtoje dalyje esanti žemė sumaišoma, paskleidžiama ir vėl dalinama į 4 dalis. Taip kartojama iki tol, kol žemės lieka 5 – 20 g. Tolesnis paruošimo etapas – naftos produktų ekstrakcija iš mėginio.

Angliavandenilių C10 – C40 nustatymas dirvožemyje su dujų chromatografija

Metodo esmė - naftos angliavandeniliai iš žinomo homogenizuoto dirvožemio kiekio ekstrahuojami acetonu/n-heptanu (2:1). Organinis sluoksnis yra atskiriamas ir dukart nuplaunamas vandeniu. Florizilu užpildytoje chromatografinėje kolonėlėje naftos angliavandeniliai atskiriami nuo polinių junginių. Alikvotinė dalis analizuojama kapiliarine dujų chromatografija su nepolinė kolonėle ir liepsnos jonizacijos detektoriumi (LJD). Matuojamas suminis pikų plotas tarp n-dekano ir n-tetrakontano. Pagal kalibracinę kreivę, sudarytą iš dyzelino koncentracijų bei jų chromatogramų pikų plotų, apskaičiuojamas naftos angliavandenilių kiekis.

Naudojamas dujų chromatografas „Šimadzu GC-2010“ su liepsnos jonizacijos detektoriumi, su kompiuterine programa, kuri leidžia sudaryti chromatografinį metodą, rinkti duomenis, spausdinti chromatogramas.

Tyrimo rezultatų apskaičiavimas

Naftos angliavandenilių indeksą paskaičiavau pagal šią formulę:

$$\rho = \frac{(A_m - b) \times f \times V}{P}, \quad (1)$$

čia :

ρ – naftos angliavandenilių indeksas, gramai kilogramui;

A_m – mėginio ekstrakto integruotas pikų plotas, vienetai, priklausantys nuo prietaiso, mg/ml;

f – mėginio ekstrakto praskiedimo koeficientas;

P_l – dirvožemio svoris, paimtas analizei, gramais;

V – heksano (heptano) tūris, mililitrais;

b – y ašies atkirtimo plotas, vienetai, priklausantys nuo prietaiso.

1 pastaba: (A_m-b) skaičiuoja chromarografo programa.

2 pataba: pripilat 30 ml ekstrakcijos tirpiklio pagrindinio tirpalo, $V = 10.0$ ml

Naftos produktų skaidymo efektyvumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\frac{(C - C_{pr.})}{C_{pr.}} \cdot 100\%, _ \% \quad (2)$$

C - naftos produktų koncentracija 1 kg grunto (eksperimento pabaigoje), g/kg;

$C_{pr.}$ - pradinė naftos produktų koncentracija 1 kg grunto, g/kg.

2.5 Būvio ciklo įvertinimas

Būvio ciklas vertinamas naujos kartos „GaBi 5“ programa. Ji leidžia išsamiai apskaičiuoti ir įvertinti produkto gyvavimo laikotarpio sąnaudas ir daromą įtaką aplinkai.

„GaBi 5“ programos pagalba įvertinamas būvio ciklas, taikant skirtingus valymo scenarijus grunto valymo aikštelėje. Antrinis poveikis aplinkai kyla dėl medžiagų ir energijos naudojimo taikant skirtingus valymo scenarijus.

Būvio ciklo vertinimas atliekamas pagal ISO 14044 standartą.

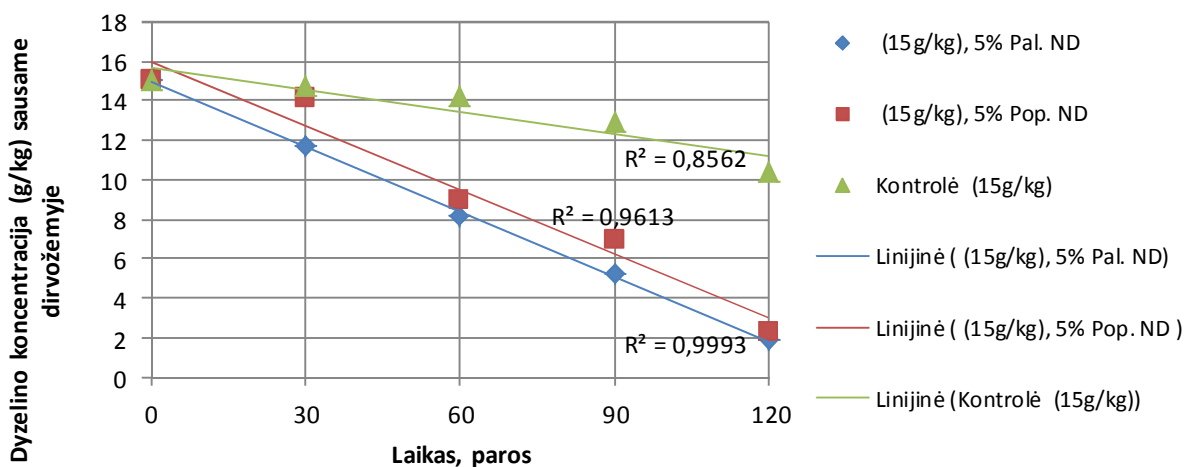
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Ekspimento metu buvo nustatoma nuotekų dumblo įtaka dyzelino ir žalios naftos biodegradacijai dirvožemyje. Dumblas – tai viena iš nepageidaujamų atliekų valyklose. Šiuo tyrimu buvo siekiama nustatyti nuotekų dumblo panaudojimo galimybę, valant naftos produktais užterštą dirvožemį. Įvertinant nuotekų dumblo įtaką naftos produktų skaidymo efektyvumui, buvo stebimi dyzelino ir žalios naftos koncentracijų kitimai dirvožemyje.

3.1 Dyzelino koncentracijos kitimas 15 g/kg užterštame dirvožemyje

Dyzelinu ir nuotekų dumblo užteršto dirvožemio tyrimas truko 120 parų. Siekiant įvertinti biodegradacijos procesą dyzelinu užterštame dirvožemyje, buvo sekamas dyzelino koncentracijos kitimas, kai dirvožemis užterštas dyzelinu 15 g/kg ir 30 g/kg.

2 paveikslėlyje pateiktas dyzelino koncentracijos kitimas 15 g/kg užterštame dirvožemyje, kai biodegradacija pagreitinti įterpta 5 % nuotekų dumblo.

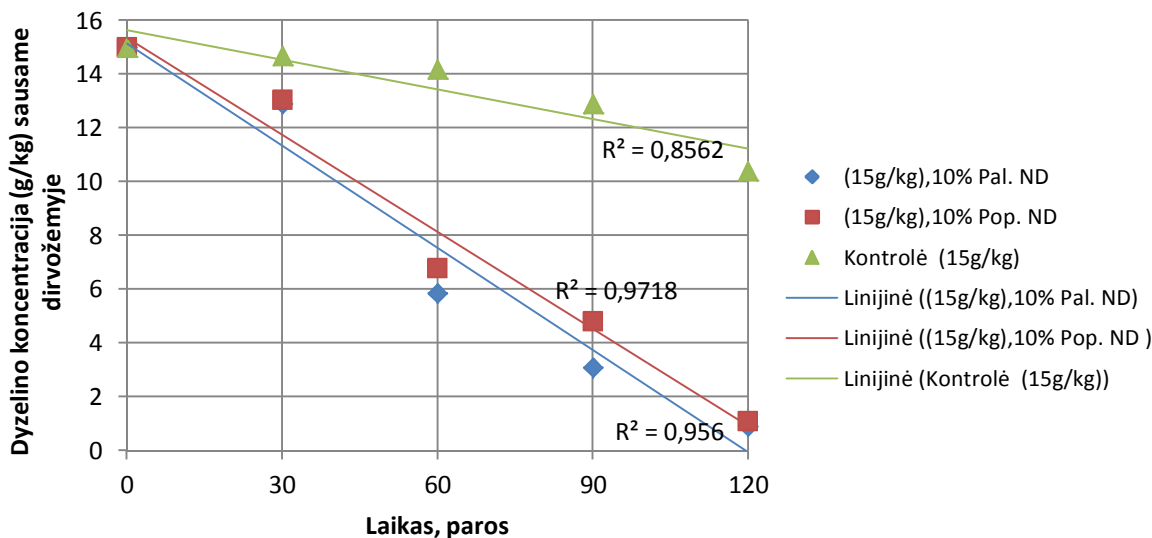


2 pav. Dyzelino koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 15g/kg ir įterpta 5 % nuotekų dumblo

2 paveikslo matyti, kad po 120 parų nuo pradinės 15 g/kg koncentracijos dyzelino kiekis, bandiniuose kuriuose įterpta 5 % popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblo sumažėjo iki 2,3 g/kg, kai tuo tarpu tarpus Palangos miesto nuotekų valymo įrenginių

dumblo koncentracija sumažėja iki 1,9 g/kg. Palyginimui, kontroliniame bandinyje, po keturių tyrimo mėnesių, nustatyta didžiausia likutinės dyzelino koncentracija 10,4 g/kg.

Panašūs tyrimo duomenys gauti, autorių Namkoong et al. (2002), kurių pagrindinis eksperimento tikslas buvo rasti santykių derinį tarp dyzelinu užteršto dirvožemio (10 g/kg) ir įterpiamo nuotekų dumblo ar komposto. Nuotekų dumblas ar kompostas naudotas kaip organinis biopreparatas skatinantis biodegradaciją.



3 pav. Dyzelino koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 15g/kg ir įterpta 10 % nuotekų dumblo

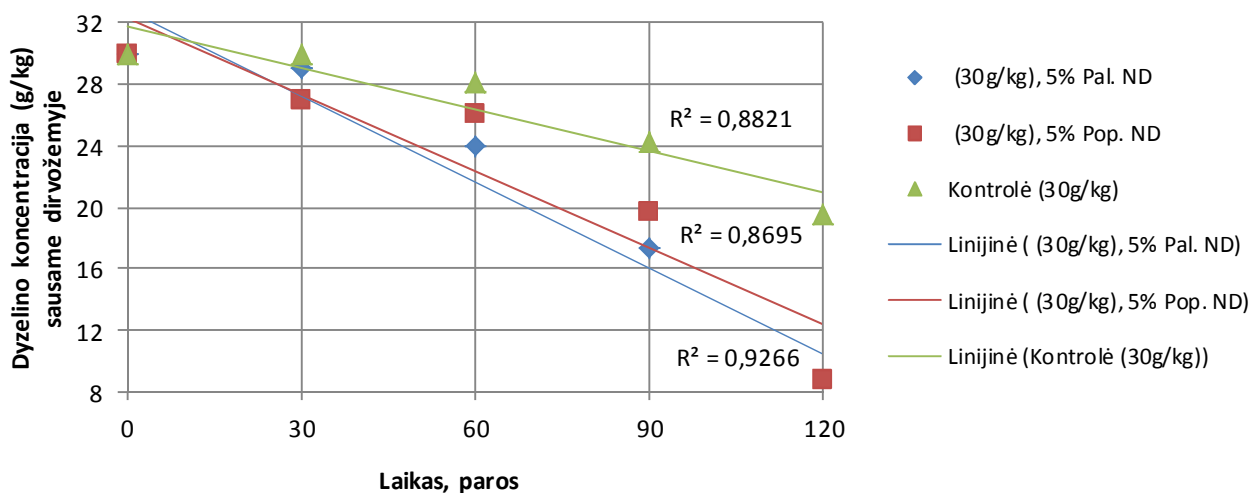
Bandiniuose (3 pav.) kuriuose įterpta 10 % nuotekų dumblo biodegradacija vyksta intensyviau negu įterpus 5 % nuotekų dumblo (2 pav.). Geresni rezultatai gauti įterpus Palangos miesto nuotekų dumblo, dyzelino koncentracija sumažėjo iki 0,9 g/kg, o bandiniuose, kuriuose įterpta popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblo sumažėjo iki 1,1 g/kg. Kontroliniuose bandiniuose, papildomai nuotekų dumblo nebuvo įterpta, todėl didelio koncentracijos kitimo nepastebima, kito iki 10,4 g/kg.

Lyginant su autorių Pent et al. (2003) atliktu tyrimu, valant dyzelinu užterštą dirvožemį, įterpus nuotekų dumblą, mūsų eksperimento gauti duomenys sutampa su autorių gautais rezultatais, kurie įrodo, kad įterptas nuotekų dumblas aktyvina dyzelino biodegradaciją. Šį faktą taip pat įrodo ir autoriai Espinoza ir Dendooven (2003). Kai dirvožemis užterštas dyzelinu ir įterpiama papildomai organinės medžiagos, pvz. nuotekų dumblo, tada dyzelinas intensyviau skaidomas. Organinė medžiaga aktyvina mikrobiotą, kuri yra užterštame grunte.

Remiantis gautais rezultatais galime teigti, kad biodegradacijos intensyvumui turi įtakos nuotekų dumbulo koncentracija, kuomet didesnė tuo geresni biologinio skaidymo rezultatai. Po keturių tyrimo mėnesių pasiektos koncentracijos atitinka leidžiamą ribinę koncentraciją (5 g/kg), užterštiems dirvožemiams, tinkamiems panaudoti ne ūkinei paskirčiai (LAND 20-2005).

3.2 Dyzelino koncentracijos kitimas 30 g/kg užterštame dirvožemyje

Esant pradiniam užterštumui dyzelinu 30 g/kg, stebima panaši situacija, kaip su 15 g/kg užterštumu. Biodegradacijos procesas vyksta intensyviau bandiniuose, kuriuose įterptas nuotekų dumblo.

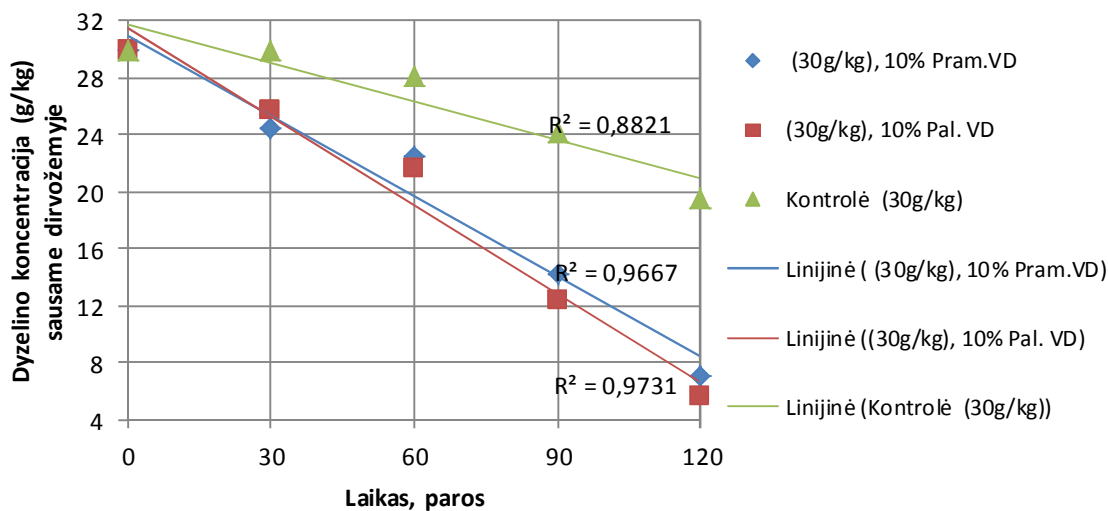


4 pav. Dyzelino koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 30 g/kg ir įterpta 5 % nuotekų dumblo

Analizuojant naftos produktais (30 g/kg) ir nuotekų dumblu 5 % užterštame dirvožemyje nustatyta linijinė, naftos produktų koncentracijos mažėjimo tendencija laike: ($R=0,9266$, $R=0,8695$, kontrolinio bandinio $R=0,8821$) (4 pav.).

Bandiniuose, kuriuose įterpta 5 % popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblo po 120 tyrimo parų dyzelino koncentracija buvo 8,8 g/kg, o bandiniuose kuriuose įterpta dumblo iš Palangos miesto valymo įrenginių koncentracija sumažėjo iki 7,9 g/kg. Kontroliniuose bandiniuose, kuriuose nebuvo įterptas nuotekų dumblas stebimas lėtas biodegradacijos

procesas, kadangi dyzelino koncentracija nuo 30 g/kg tyrimo pradžioje sumažėjo tik iki 19,5 g/kg tyrimo pabaigoje, po 120 parų.



5 pav. Dyzelino koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 30 g/kg ir įterpta 10 % nuotekų dumblo

5 paveiksle stebime dyzelino koncentracijos kitimą laike, po keturių mėnesių tyrimo kai pradinė dyzelino koncentracija buvo 30 g/kg ir papildomai įterpta 10 % nuotekų dumblo.

Rezultatai rodo, kad esant pradiniam grunto užterštumui dyzelinu 30 g/kg ir 10 % nuotekų dumblo, pastebėta mažiausia dyzelino likutinė koncentracija 5,6 g/kg bandinyje, kuriame biodegradacija aktyvinta Palangos miesto nuotekų dumblo. Per tą patį tyrimo laikotarpį bandinyje kuriame buvo įterptas popierius gamybos įmonės dumblas likutinė dyzelino koncentracija buvo 7,1 g/kg.

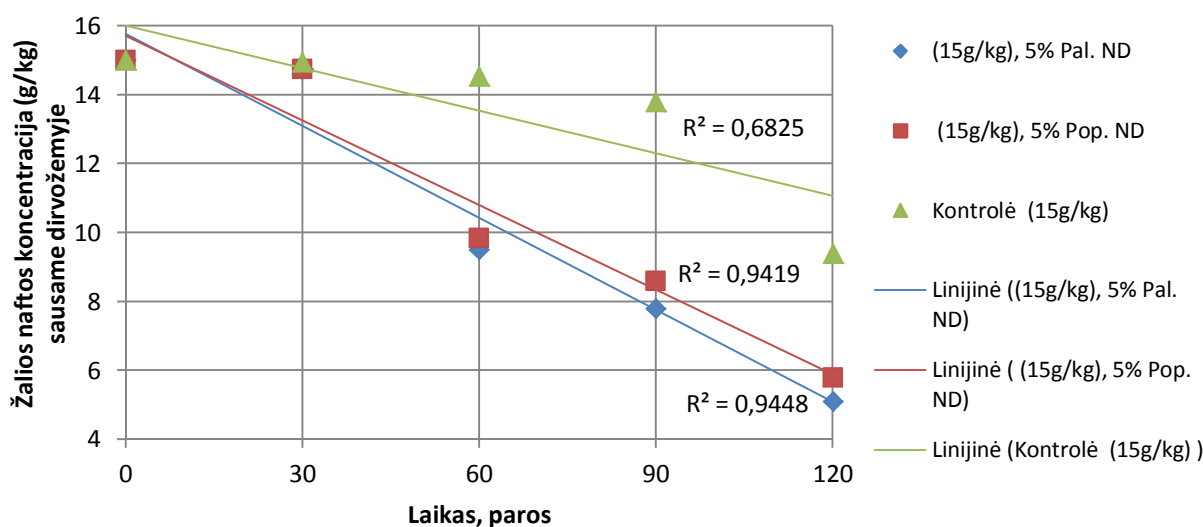
Kontroliniuose bandiniuose biologinis skaidymas vyko daug lėčiau, nes dirvožemyje natūraliai esantys mikroorganizmai, nebuvo pajėgūs neutralizuoti didesnius angliavandenilių kiekius. Įterptas nuotekų dumblas pratutino dirvožemį organinėmis medžiagomis, kuris lengvai ardomas bakterijoms. Ši teiginį patvirtina literatūros šaltinyje Dai et al. (2004) autorių atliktas tyrimas.

Analizuojant gautus duomenis, pastebima panaši tendencija kaip ir bandiniuose, užterštuose dyzelinu 15 g/kg, tačiau geresni biodegradacijos rezultatai pasiekiami esant didesnei nuotekų dumblo koncentracijai ir mažesniau užterštumui dyzelinu. Šį faktą taip pat patvirtina ir autorių Žukauskaitė ir kiti (2003) atlikto eksperimento duomenys, kurie parodė, kad kai dirvožemis užterštas dyzelinu, visos bandiniuose naudotos nuotekų dumblo

koncentracijos buvo efektyvios. Tačiau skaidymo efektyvumas skyrėsi, priklausomai nuo įterptos nuotekų dumblo koncentracijos, ką taip pat patvirtina mūsų gauti rezultatai.

3.3 Žalios naftos koncentracijos kitimas 15 g/kg užterštame dirvožemyje

Nagrinėjant žalios naftos likutinės koncentracijos dirvožemyje, taip pat pastebima teigiama nuotekų dumblo įtaka biodegradacijos procesui (6 pav. ir 7 pav.).



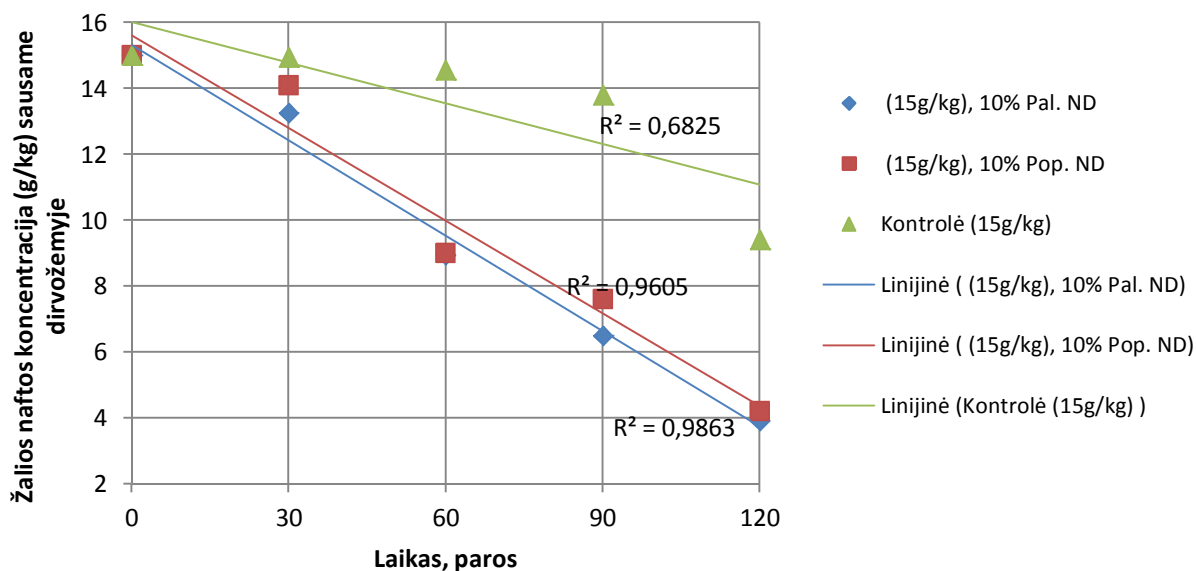
6 pav. Žalios naftos koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 15 g/kg ir įterpta 5 % nuotekų dumblo

Duomenys pateikti 6 paveiksle iliustruoja, kad viso tyrimo metu žalioa naftos koncentracija mažėjo tolygiai, be jokių išskirtinių biodegradacijos pokyčių.

Kai pradinė žalioa naftos koncentracija 15 g/kg nustatyta, kad naudojant 5 % nuotekų dumblą iš popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių ir Palangos miesto valymo įrenginių išvalymo laipsniai yra panašūs.

Po 120 tyrimo dienų nuo pradinės žalios naftos koncentracijos 15 g/kg, didžiausias išvalymo laipsnis pasiektas bandiniuose kuriuose įterptas 5 % Palangos miesto valymo įrenginių nuotekų dumblas. Likutinis žalioa naftos kiekis bandinyje buvo 5,1 g/kg. O bandinyje, kuriame buvo panaudotas popieriaus gamybos įmonės dumblas tyrimo pabaigoje žalioa naftos koncentracija buvo 5,8 g/kg. Kontroliniuose bandiniuose, kuriuose buvo užteršta tik žalioa nafta, koncentracija kito iki 9,4 g/kg.

Literatūros šaltinyje Cameotra and Singh (2008) aprašomas autorių atliktas tyrimas, kuriuo remiantis nustatyta, kad vienas žalingiausių produktų yra žalia nafta. Žalia nafta yra sunkiai ardomas produktas, todėl dirvožemyje išlieka ilgiau, tačiau mūsų tyrimo metu gauti duomenys rodo, kad įterpiant atitinkamas nuotekų dumblo koncentracijas, galime pasiekti gerus išvalymo laipsnius.



7 pav. Žalios naftos koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 15 g/kg ir įterpta 10 % nuotekų dumblo

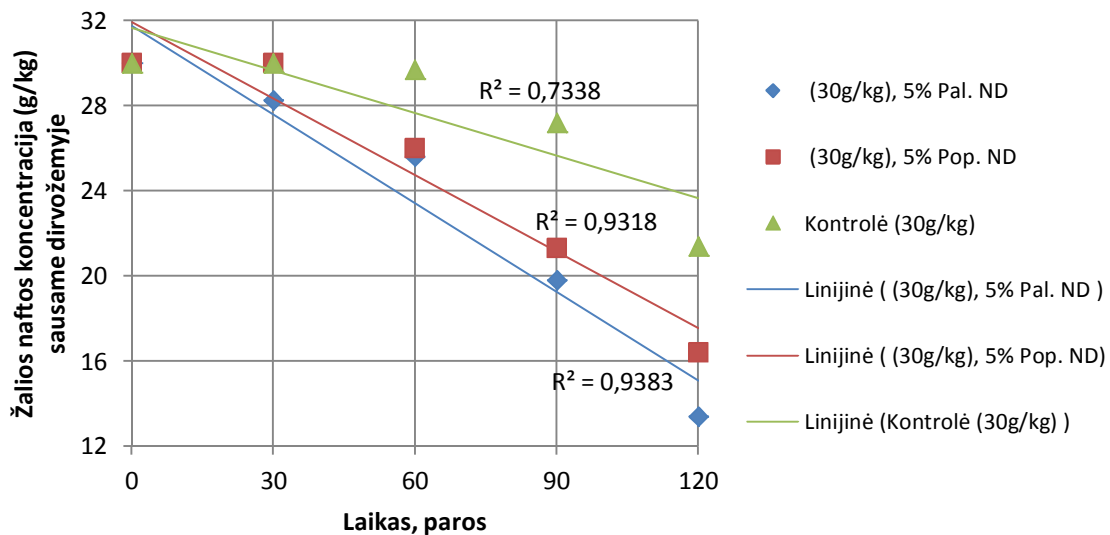
Baigiant eksperimentą, po 120 parų (7 pav), bandiniuose kuriuose buvo įterpta 10 % nuotekų dumblo iš popieriaus gamybos įmonės valymo įrenginių žalios naftos koncentracijos likutinė vertė buvo 4,2 g/kg, o su Palangos miesto valymo įrenginių dumbliu koncentracija sumažėjo iki 3,9 g/kg.

Choroma et al. (2010) autorių duomenys parodė, kad veikliojo dumblo įterpimas į dirvožemį kai, dirvožemis buvo dirbtinai užterštas žalia nafta, biodegradaciją padidino 45% - 60%

Pastebima, kad žalia nafta užterštuose bandiniuose biologinio skaidymo intensyvumui įtakos turi įterpiama nuotekų dumblo koncentracija. Tai įrodo Kuyukina et al (2012) autorių atliktas tyrimas, kad žalia nafta skaidoma sunkiau, nes žalią naftą sudaro sudėtingesni cheminiai elementai, negu pvz.: dyzeliną. Todėl mikroorganizmams sudėtingiau panaudoti reikiamus egzistavimui elementus.

3.4 Žalios naftos koncentracijos kitimas 30 g/kg užterštame dirvožemyje

Kad būtų tinkamai įvertinti tyrimo rezultatai su žalia nafta, taip pat buvo stebimas žalios naftos koncentracijos kitimas esant 30 g/kg pradiniam užterštumui. 8 paveiksle pateiktas žalios naftos koncentracijos kitimas dirvožemyje kai pradinė koncentracija 30 g/kg ir įterpta 5 % nuotekų dumblo.

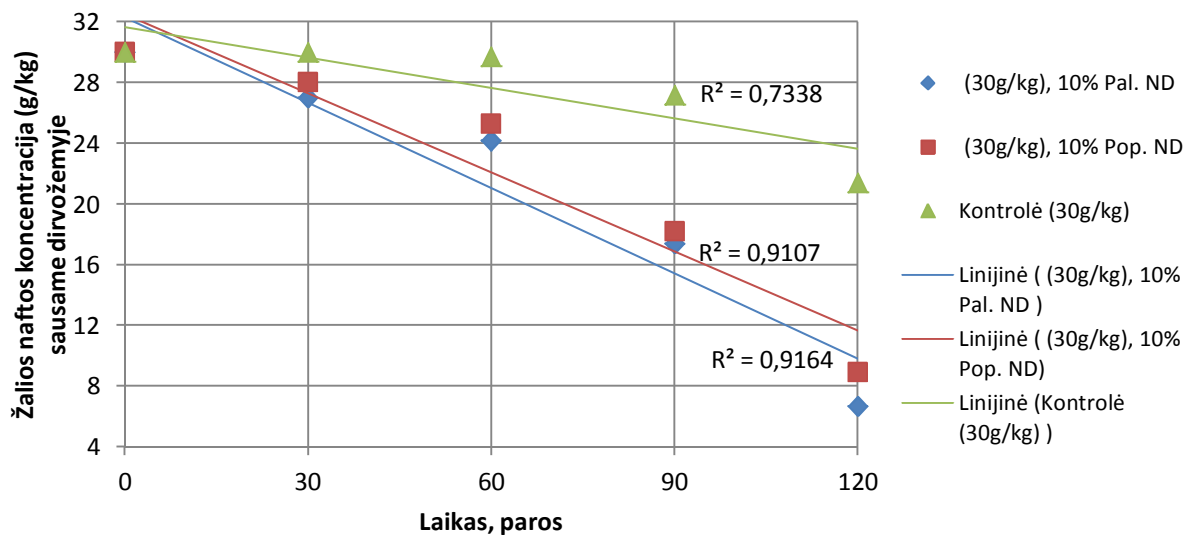


8 pav. Žalios naftos koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 30 g/kg ir įterpta 5 % nuotekų dumblo

8 paveiksle matome, kad intensyviausiai naftos produktų skaidymas vyko bandiniuose kuriuose pradinė koncentracija 30 g/kg ir nuotekų dumblas įterptas iš Palangos miesto valymo įrenginių. Likutinė žalios naftos koncentracija siekė 13,4 g/kg, po 120 eksperimento parų. Naudojant popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblą, žalios naftos koncentracija bandiniuose, kuriuose buvo įterpta 5% dumblo, siekė 16,4 g/kg.

Kontroliniuose bandiniuose biodegradacija vyksta itin lėtai. Tyrimo eigoje žalios naftos koncentracija sumažėjo nežymiai nuo 30 g/kg pradinio užterštumo iki 21,4 g/kg eksperimento paibaigoje.

9 paveiksle stebimas skaidymo procesas įterpus 10 % nuotekų dumblo.



9 pav. Žalios naftos koncentracijos kitimas: pradinė koncentracija 30 g/kg ir įterpta 10 % nuotekų dumblo

Bandiniuose kuriuose buvo įterpta popieriaus gamybos įmonės veikliojo dumblo žalios naftos koncentracija kito iki 8,9 g/kg. Į bandinius įterpus Palangos miesto nuotekų dumblo žalios naftos koncentracija ryškiai sumažėja eksperimento pabaigoje 6,7 g/kg, lyginant su pradiniu 30 g/kg užterštumu. Didžiausia likutinė žalios naftos koncentracija stebima kontroliniuose bandiniuose 21,4 g/kg.

Lyginant naftos produktų kiekius skirtinguose mėginiuose, iš 2-5 pav. duomenų matome, kad dyzelino skaidymo procesas vyksta greičiau nei žalios naftos. Kadangi dyzelinas sudarytas iš paprastesnės frakcijos nei žalia nafta. Dyzelinas yra lakus junginys ir didelė dalis jo išgaruoja, todėl dyzelino biodegradacija vyksta greičiau.

Apibendrinant rezultatus galima teigti, kad nuotekų dumblas gali būti naudojamas kaip biopreparatas, nes jame esantys mikro- bei makroelementai, suaktyvina mikroorganizmų augimą ir taip intensyvina teršalų skaidymą. Ši teiginį patvirtina Maila et al. (2005) atliktas tyrimas, kuriame dirvožemis buvo užterštas dyzelinu.

Geresni rezultatai gauto naudojant Palangos miesto nuotekų dumblą. Jį panaudojus gautos likutinės koncentracijos buvo ~ 1,5 karto mažesnės.

3.5 Dyzelino skaidymo efektyvumas

Eksperimento metu, po 120 parų, įvertinant veikliojo dumblo įtaką dyzelino biodegradacijai dirvožemyje, buvo apskaičiuotas skaidymo efektyvumas bandiniuose, kuriuose dirvožemis buvo dirbtinai užterštas dyzelinu 15 g/kg ir 30 g/kg. Rezultatai pateikiami 4-5 lentelėse.

4 lentelė. Dyzelino skaidymo efektyvumas procentais, kai užterštumas dyzelinu 15 g/kg

Bandinio tipas	Pradinė dyzelino koncentracija, g/kg	Dyzelino koncentracija po 120 tyrimo parų, g/kg	Dyzelino skaidymo efektyvumas po 120 parų, %
Dirvožemis, su 5 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	15,00	1,9	87,3
Dirvožemis, su 5 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbliu	15,00	2,3	84,6
Dirvožemis, su 10 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	15,00	0,9	94,0
Dirvožemis, su 10 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbliu	15,00	1,1	92,7
Kontrolinis bandinys	15,00	10,4	30,7

5 lentelė. Dyzelino skaidymo efektyvumas procentais, kai užterštumas dyzelinu 30 g/kg

Bandinio tipas	Pradinė dyzelino koncentracija, g/kg	Dyzelino koncentracija po 120 tyrimo parų, g/kg	Dyzelino skaidymo efektyvumas po 120 parų, %
Dirvožemis, su 5 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	30,0	7,9	73,7
Dirvožemis, su 5 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbliu	30,0	8,8	70,7
Dirvožemis, su 10 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	30,0	5,6	81,3
Dirvožemis, su 10 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbliu	30,0	7,1	76,3
Kontrolinis bandinys	30,0	19,5	35,0

Iš 4-5 lentelėse pateiktų duomenų matome, kad 120 eksperimento parą, dirvožemyje užterštame dyzelinu, skaidymo efektyvumas didžiausias tuose bandiniuose, kur įterpto nuotekų dumblo koncentracija 10 %, nepriklausomai nuo užteršimo koncentracijos. Mažiausi skaidymo efektyvumai pastebimi kontroliniuose bandiniuose, kuriuose nuotekų dumblas nebuvo įterptas.

Matome, kad mėginiuose su Palangos miesto nuotekų dumbliu, kuriame jo buvo 5 % ir 10 % (esant 15 g/kg pradiniam užterštumui), dyzelino skaidymo efektyvumas buvo didžiausias ~ 94 %, o mėginiuose su popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumbliu (esant tai pačiai veikliojo dumblo ir dyzelino koncentracijai) skaidymo efektyvumas siekė ~90%. Esant 30 g/kg pradiniam grunto užterštumui dyzelinu, visą eksperimento laikotarpį, geriausias skaidymo efektyvumas pastebėtas mėginiuose, kuriuose buvo įterpus Palangos miesto valymo įrenginių dumblas. Priklausomai nuo dumblo kiekio mėginiuose, skaidymo efektyvumas svyravo nuo 73,7 % iki 81,3 %.

Galima daryti išvadą, kad naudojant nuotekų dumblą iš skirtingų valymo įrenginių ir esant skirtingai jo koncentracijai, didžiausias skaidymo efektyvumas pasiektas naudojant dumblą iš Palangos miesto valymo įrenginių.

3.6 Žalios naftos skaidymo efektyvumas

Skaidymo efektyvumo rezultatai, kai dirvožemis dirbtinai užterštas žalia nafta, pateikti 6 ir 7 lentelėse.

6 lentelė. Žalios naftos skaidymo efektyvumas procentais, kai užterštumas žalia nafta 15 g/kg

Bandinio tipas	Pradinė žalios naftos koncentracija, g/kg	Žalios naftos koncentracija po 120 tyrimo parų, g/kg	Žalios naftos skaidymo efektyvumas po 120 tyrimo parų, %
1	2	3	4
Dirvožemis, su 5 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	15,00	5,1	66,0
Dirvožemis, su 5 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbliu	15,00	5,8	61,3
Dirvožemis, su 10 % Palangos miesto nuotekų dumbliu	15,00	3,9	74,0

6 lentelės tęsinys

1	2	3	4
Dirvožemis, su 10 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbly	15,00	4,2	72,0
Kontrolinis bandinys	15,00	9,4	37,3

7 lentelė. Žalios naftos skaidymo efektyvumas procentais, kai užterštumas žalia nafta 30 g/kg

Bandinio tipas	Pradinė žalios naftos koncentracija, g/kg	Žalios naftos koncentracija po 120 tyrimo parų, g/kg	Žalios naftos skaidymo efektyvumas po 120 tyrimo parų, %
Dirvožemis, su 5 % Palangos miesto nuotekų dumbly	30,0	13,4	55,3
Dirvožemis, su 5 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbly	30,0	16,4	45,3
Dirvožemis, su 10 % Palangos miesto nuotekų dumbly	30,0	6,7	77,7
Dirvožemis, su 10 % popieriaus gamybos įm. nuotekų dumbly	30,0	8,9	70,3
Kontrolinis bandinys	30,0	21,4	28,7

Lyginant žalios naftos koncentracijos kitimo efektyvumus, išreikštus procentais (6 ir 7 lentelės), kaip ir bandiniuose užterštuose dyzelinu pastebima, kad nenaudojant nuotekų dumblo biologinis žalios naftos skaidymas vyksta lėtai. Skaidymo efektyvumas nėra didelis ~37 %, priklausomai nuo užterštumo lygio (15 g/kg ar 30 g/kg).

Eksperimento pabaigoje mėginiuose su žalia nafta, kaip ir su dyzelinu, didžiausias skaidymo efektyvumas stebimas mėginiuose su Palangos miesto valymo įrenginių dumbly, čia skaidymo efektyvumas siekia 74 - 77%, (mėginiuose esant 15 g/kg, 30 g/kg pradiniam užterštumui, ir 10% nuotekų dumblo). Tuo tarpu mėginiuose, kuriuose buvo įterptas popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumbly skaidymo efektyvumas mažesnis. Mėginiuose, kuriame jo buvo 5 % ir 10 % (esant 30 g/kg pradiniam užterštumui, 120 parų), žalios naftos skaidymo efektyvumas buvo ne didesnis kaip 70 %. Rezultatai parodė, kad naudojant nuotekų dumbly kaip biopriparatą, pasiektas didesnis išvalymo laipsnis, nei jo nenaudojant.

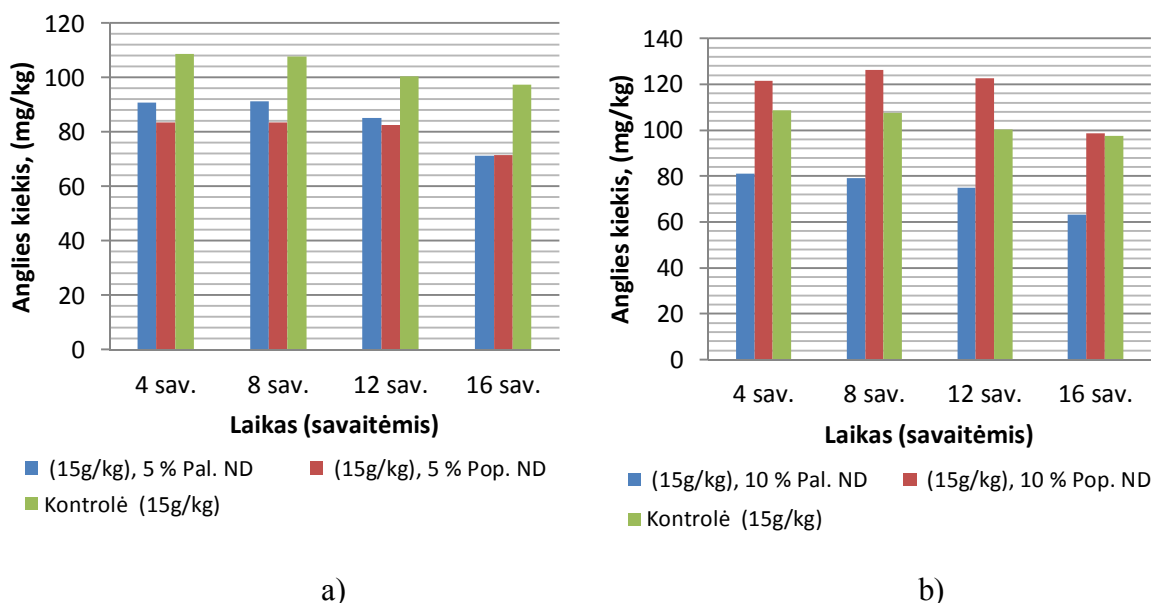
Pastebėta, kad naudojant nuotekų dumblą iš skirtingų valymo įrenginių, esant skirtingai žalios naftos ir dyzelino koncentracijai (15 g/kg ir 30 g/kg) visada mažiausia likutinė koncentracija ir didžiausias išvalymo efektyvumas, pasiektas naudojant dumblą iš Palangos miesto valymo įrenginių.

Biodegradaciją taip pat galėjo įtakoti nuotekų dumble esantys sunkieji metalai. Palyginus eksperimento metu naudotą nuotekų dumblą, iš Palangos miesto valymo įrenginių ir dumblą iš popieriaus gamybos įmonės. Gauname, kad kadmio (Cd) ir nikelio (Ni) yra ~1,5 kartus daugiau dumble iš popieriaus gamybos įmonės nuotekų valyklos, kurie sunkina biodegradacijos procesus.

3.7 Organinės anglies kitimas 15 g/kg ir 30g/kg dyzelinu užterštame dirvožemyje

Organinės anglies kitimas yra proporcingas dyzelino koncentracijos mažėjimui. Esant biodegradacijos procesui, kai mikroorganizmai skaido dyzeliną, jo liekamoji koncentracija mažėja, todėl mažėja ir anglies koncentracija.

10 paveiksle pateikta 15 g/kg dyzelinu užterštų bandinių organinės anglies kitimas laike. Bandiniuose, kuriuose įterpta 5 % nuotekų dumбло (10 pav. a) iš Palangos miesto nuotekų valymo įrenginių anglies koncentracija eksperimento pabaigoje buvo 71,35 mg/kg. Naudojant dumblą iš popieriaus gamybos įmonės nuotekų valymo įrenginių anglies koncentracija po 120 eksperimento parų buvo 71,67 mg/kg.



10 pav. Organinės anglies kitimas 15 g/kg dyzelinu užterštame dirvožemyje kai dumбло įterpta : a) 5 %; b) 10 %

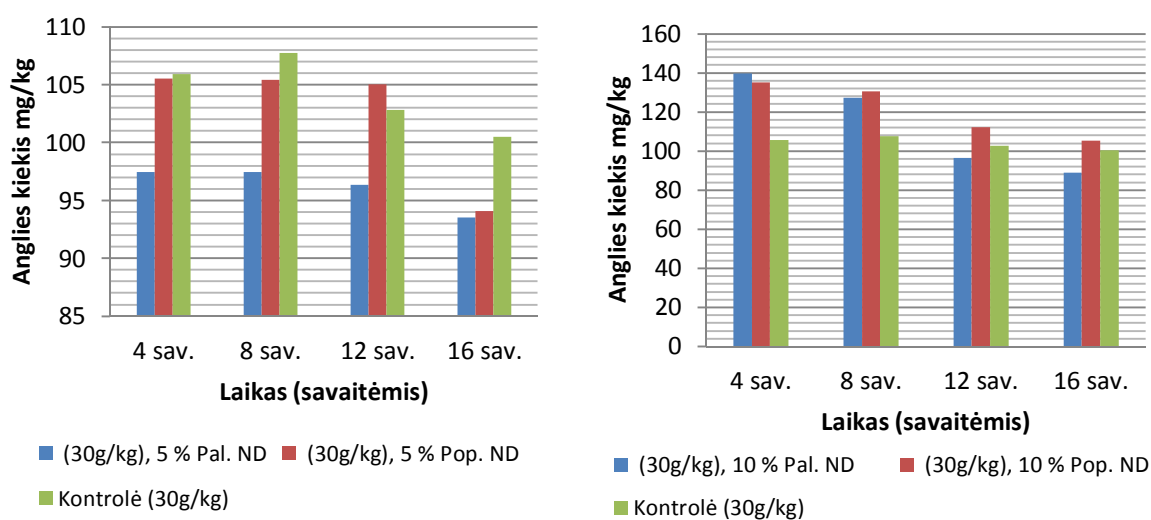
Bandiniuose, kuriuose įterpta 10 % nuotekų dumblo (10 pav. b) anglies koncentracija bandiniuose su popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumbliu buvo 98,67 mg/kg eksperimento pabaigoje. O bandiniuose su Palangos miesto nuotekų dumbliu, po 120 eksperimento parų anglies koncentracija buvo 63,21 mg/kg. Kontroliniuose bandiniuose anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje kito nežymiai nuo 108,9 mg/kg iki 97,6 mg/kg.

Galima pastebėti, kad po keturių tyrimo mėnesių biodegradacija intensyviau vyko bandiniuose, kuriuose buvo įterpta nuotekų dumblo, negu kontroliniuose bandiniuose.

11 paveiksle stebime organinės anglies koncentracijos kitimą, esant 30 g/kg dyzelinu užterštame dirvožemyje. Bandiniuose, kuriuose įterpta 5 % (11 pav. a) nuotekų dumblo iš Palangos miesto valymo įrenginių anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje svyravo nuo 97,46 mg/kg iki 93,53 mg/kg, o bandiniuose, kuriuose įterpta 10 % dumblo – nuo 140,0 mg/kg iki 89,02 mg/kg.

Bandiniuose, kuriuose buvo įterpta 10 % (11 pav. b) nuotekų dumblo iš popieriaus gamybos įmonės anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje svyravo nuo 105,58 mg/kg iki 94,12 mg/kg, o bandiniuose su 10 % - nuo 135,15 mg/kg iki 105,64 mg/kg. Kontroliniuose bandiniuose anglies kiekis kito nežymiai.

Stebima tendencija, kad anglies koncentracija priklauso nuo dumblo rūšies. Naudojant Palangos miesto nuotekų dumblą biodegradacija vyksta intensyviau nei naudojant popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblą. Tai galima paaiškinti tuo, kad popieriaus įmonės nuotekų dumblas turi daugiau kenksmingų priemaišų, todėl sumažėja biologinio proceso aktyvumas.



a)

b)

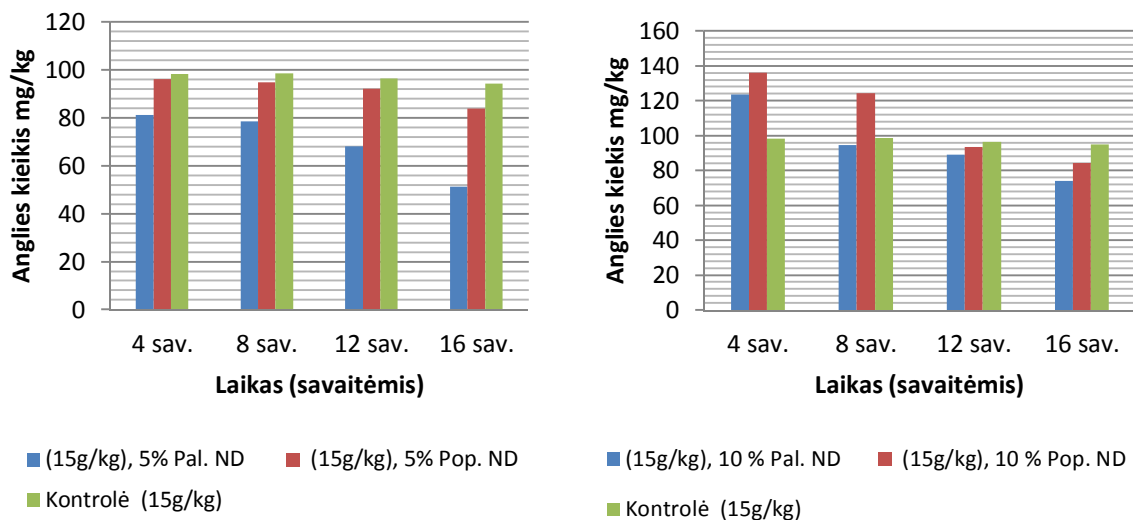
11 pav. Organinės anglies kitimas 30 g/kg dyzelinu užterštame dirvožemyje kai dumblo įterpta : a) 5 %; b) 10 %

3.8 Organinės anglies kitimas 15 g/kg ir 30g/kg žalia nafta užterštame dirvožemyje

12 paveiksle pateiktas 15 g/kg žalia nafta užterštų bandinių organinės anglies kitimas.

Įterpus 5 % nuotekų dumblo (12 pav. a) iš popieriaus gamybos įmonės viso tyrimo laikotarpyje anglies koncentracija svyravo nuo 96,33 mg/kg iki 83,87 mg/kg, naudojant Palangos miesto nuotekų dumblą svyravo nuo 81,20 mg/kg iki 51,39 mg/kg.

Bandiniuose, kuriuose įterpta 10 % (12 pav. b) nuotekų dumblo iš Palangos miesto valymo įrenginių anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje svyravo nuo 123,85 mg/kg iki 74,21 mg/kg, o naudojant popieriaus gamybos įmonės 10 % nuotekų dumblo anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje kito nuo 136,25 mg/kg iki 84,51 mg/kg. Kontroliniuose bandiniuose organinės anglies kiekis kito nežymiai nuo 98,35 mg/kg tyrimo pradžioje iki 94,35 mg/kg tyrimo pabaigoje.



a)

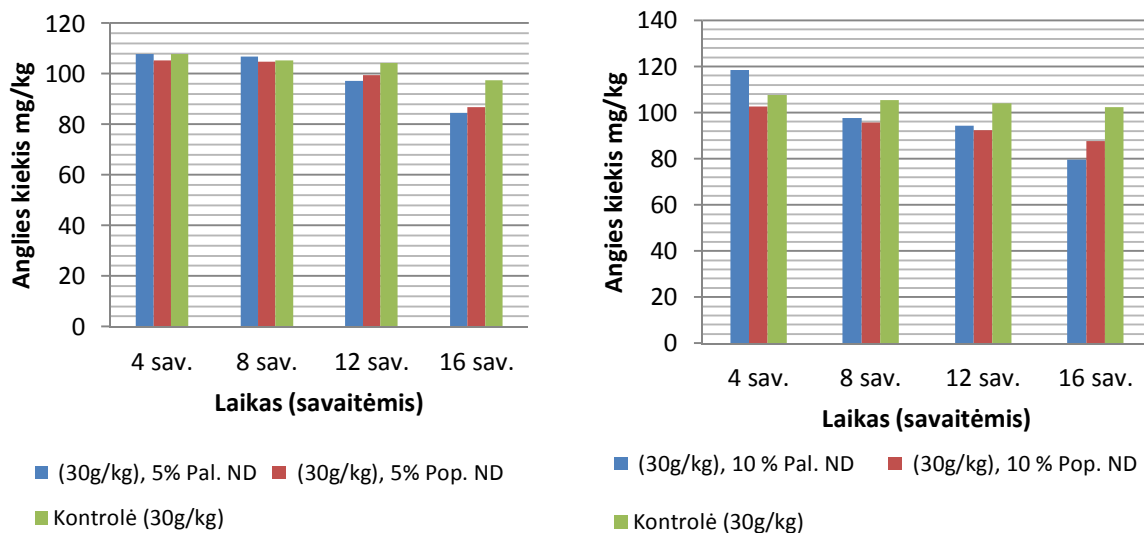
b)

12 pav. Organinės anglies kitimas 15 g/kg žalia nafta užterštame dirvožemyje kai dumblo įterpta : a) 5 %; b) 10 %

13 paveiksle stebime organinės anglies koncentracijos kitimą 30 g/kg žalia nafta užterštame dirvožemyje.

Bandiniuose, kuriuose įterpta 5 % nuotekų dumblo (13 pav. a) iš popieriaus gamybos įmonės anglies koncentracija kito nuo 105,30 mg/kg iki 86,97 mg/kg, o naudojant Palangos miesto nuotekų dumblą anglies koncentracija svyravo nuo 107,95 mg/kg iki 84,68 mg/kg.

Bandiniuose, kuriuose buvo įterpta 10 % dumblo (13 pav. b) iš popieriaus gamybos įmonės anglies koncentracija viso tyrimo laikotarpyje kito nuo 102,90 mg/kg iki 87,93 mg/kg. Bandiniuose su 10 % Palangos miesto nuotekų dumbliu anglies koncentracija svyravo nuo 118,75 mg/kg iki 79,88 mg/kg. Kontroliniuose bandiniuose anglies kiekis kito nežymiai.



a)

b)

13 pav. Organinės anglies kitimas 30 g/kg žalia nafta užterštame dirvožemyje kai dumblo įterpta : a) 5 %; b) 10 %

Galima pastebėti, kad po keturių tyrimo mėnesių biodegradacijos procesas intensyviau vyko bandiniuose, kuriuose buvo naudojamas nuotekų dumblas.

3. 9 Užteršto grunto valymo technologijų poveikio aplinkai vertinimo rezultatai

Visos užteršto grunto valymo technologijos buvo atliktos eksperimentiškai. Tai padėjo nustatyti valymo trukmę, reikalingą įrangą, medžiagas, sunaudojamą energiją bei valymo technologijos efektyvumą. Kiekvienai technologijai buvo atlikta inventorizacija.

Pateikiama kiekvienos technologijos naudojama įranga ir medžiagos. Palyginti dirvožemio valymo technologijas galima remiantis išvalymo laiku.

Nagrinėjami du valymo metodai:

8 lentelė. Technologijų aprašymas

Technologija	Apibūdinimas
<p>Bazinė VŠĮ "GVT" grunto valymo technologija</p> <p>Bazinis scenarijus</p>	<ul style="list-style-type: none"> • naftos produktais užterštas gruntas paskleidžiamas 40 - 45 cm storio sluoksniu; • valomas gruntas aeruojamas 2 kartus per savaitę; • biopreparatas įterpiamas 4 kartus per metus; • N, P, K trąšos įterpiamos 2 kartus per metus; • Gruntas drėkinamas priklausomai nuo kritulių kiekio. • Pasirinktas valymo laikas: 4-6 mėn.
<p>Bazinė grunto valymo technologija + nuotekų dumblas.</p> <p>Scenarijus su dumbliu</p>	<ul style="list-style-type: none"> • naftos produktais užterštas gruntas paskleidžiamas 40 - 45 cm storio sluoksniu; • nuotekų dumblo įterpimas 1 kartą per visą valymo laiką; • valomas gruntas aeruojamas 1 kartus per savaitę; • biopreparatas neterpiamas; • N, K trąšos įterpiamos 1 kartus per metus; • Gruntas drėkinamas priklausomai nuo kritulių kiekio. • Pasirinktas valymo laikas: 4-6 mėn.

Kiekvienam valymo scenarijui buvo apskaičiuojamas funkcinis vienetas – 1 t. Reikalinga įranga, kuras, elektros energija bei vandens kiekiai valymo metu, buvo nustatyti kiekvienai technologijai.

Pagrindinės prielaidos, naudojamos rengiant šį būvio ciklą buvo:

- elektros duomenys buvo gauti iš įmonės ataskaitų;
- nebuvo įtrauktas transportavimas į ir iš vietos (įranga, mėginių analizė ir švaraus dirvožemio). Atstumai skyrėsi priklausomai nuo užteršimo vietos bei kur išvežamas dirvožemis. Sunkvežimių emisijos nebuvo apskaičiuotos.
- visas vanduo (tiek lietaus, tiek valymo vanduo nuo aikštelės) išvalomas valymo įrenginiuose, esančiuose įmonės teritorijoje (uždaras ciklas).
- dėl didelio poveikio aplinkai, asfaltbetonio gamyba, asfalto dangos naudojimas nebuvo įtrauktas.

Remiantis įmonės pateiktais duomenimis buvo atlikta medžiagų ir energijos inventorizacija funkciniam vienetai.

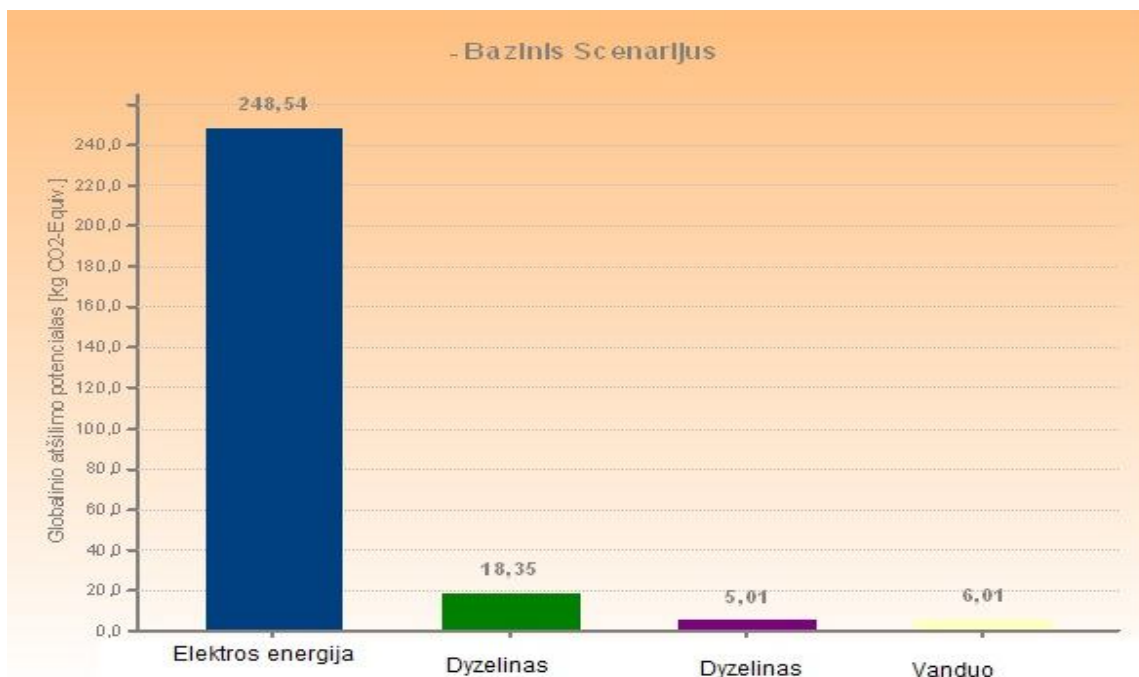
9 lentelėje pateiktas dirvožemio valymo technologijų palyginimas, pagal medžiagų ir energijos kiekius per metus, pasirinktuose grunto valymo scenarijuose (funkcinis vienetas – 1 tona).

9 lentelė. Medžiagų ir energijos sąnaudos valymo technologijose

Technologijų aprašymas	Bazinis scenarijus	Scenarijus su dumblu
1	2	3
Sunaudojamas kuras grunto paskleidimui	0,022 t	0,022 t
Sunaudojamas kuras aeravimui	0,033 t	0,033 t
Sunaudojamas kuras biopreparato išlaistymui	0,011 t	-
Sunaudojamas kuras trąšų išbarstymui	0,0056 t	0,0056 t
Sunaudojamas kuras drėkinimui	0,0056 t	0,0056 t
Sunaudojama elektros biopreparato gamybai	222,22 kW	-
Nuotekų dumblo kiekis	-	11,11 kg (sausos medžiagos)
Nuotekų dumblo įterpimui sunaudojamas kuras	-	0,0056 t
KCl trąšos	0,0056 t	0,0056 t
Amonio salietra	0,033 t	0,033 t
Superfosfatas	0,017 t	-
Vandens kiekis biopreparato gamybai	1,01 t	-
Vandens kiekis drėkinimui	0,05 t	0,05 t

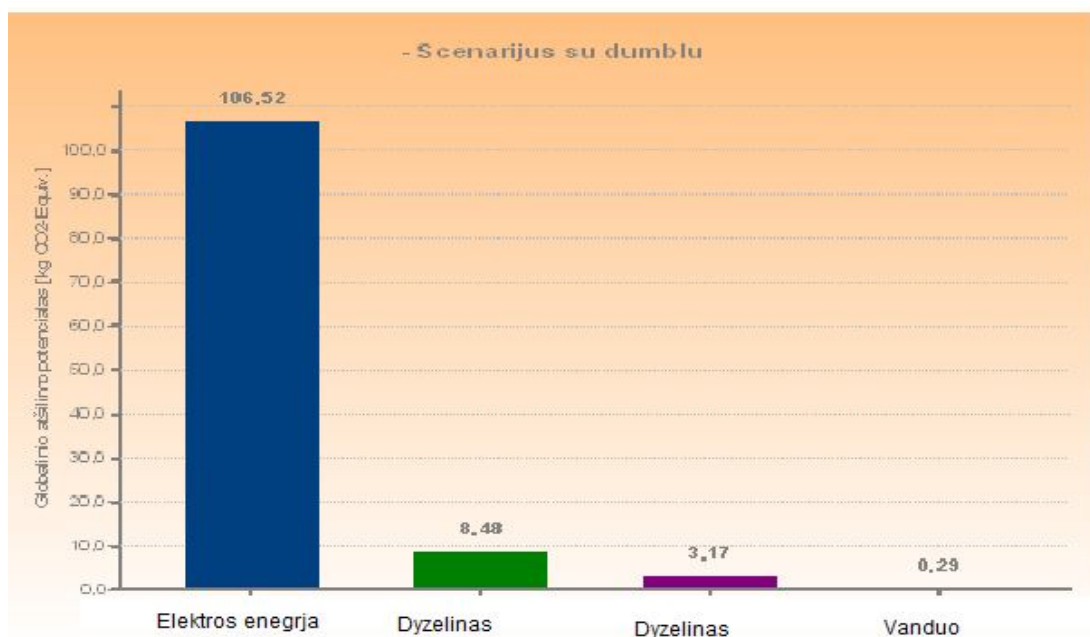
Visos šiltnamio efektą sukeliančios dujos yra išreiškiamos CO₂ ekvivalentu. Ekvivalentas – tai tolygumo matas, vienodos vertės, kuris sukurtas praktiškiam poveikio aplinkai vertinimui. 1 kg - CO₂ poveikis klimato atšilimui priimamas kaip 1 klimato atšilimo ekvivalentas.

14 paveiksle matome medžiagų ir energijos poveikius, kurie daro didžiausią įtaką globaliam atšilimui. Užterštą dirvožemį valant baziniu scenarijumi, didžiausia įtaką turi elektros energija 249,0 kg CO₂-Ekv., kuri sunaudojama biopreparato gamybai.



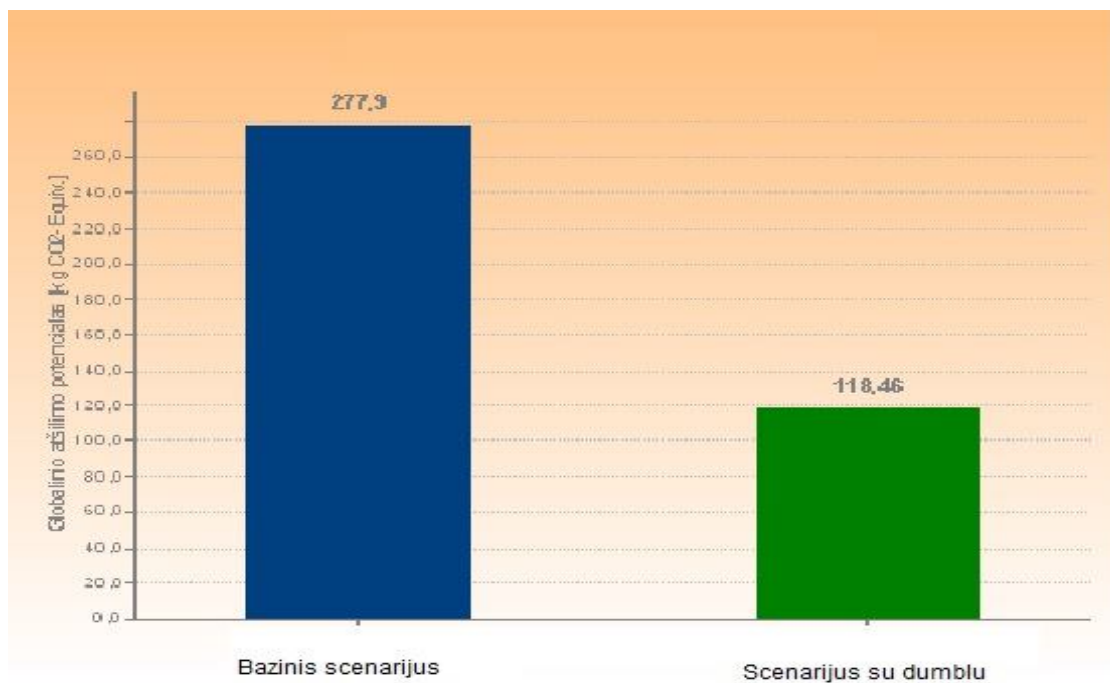
14 pav. Bazinio scenarijau medžiagų ir energijos poveikiai globalinam atšilimui

Geriausias grunto išvalymo efektyvumas, tiesiogiai priklauso nuo grunto drėgmės. Todėl esant santykinei drėgmei mažesnei nei 10-12 %, gruntas yra drėkinamas t.y. grunto drėgmė priklauso nuo kritulių kiekio. Drėkinimui panaudojamas vanduo iš nuotekų valymo įrenginių. Taip pat dalis suvartojamo vandens reikalingas biopreparato gamybai. Todėl globaliniam atšilimui turi mažiausią įtaką 6,01 kg CO₂- Ekv.



15 pav. Scenarijaus su dumbliu medžiagų ir energijos poveikiai globalinam atšilimui

Lyginant 14 ir 15 paveiksluose pateiktus duomenis matome, kad scenarijuje su dumbliu elektros energijos įtaka globaliniam atšilimui yra 2 kartus mažesnė, negu bazinio scenarijaus. Taip pat pastebimas mažas vandens globalinio atšilimo potencialas, kurio vertė 0,29 kg CO₂ – Ekv.

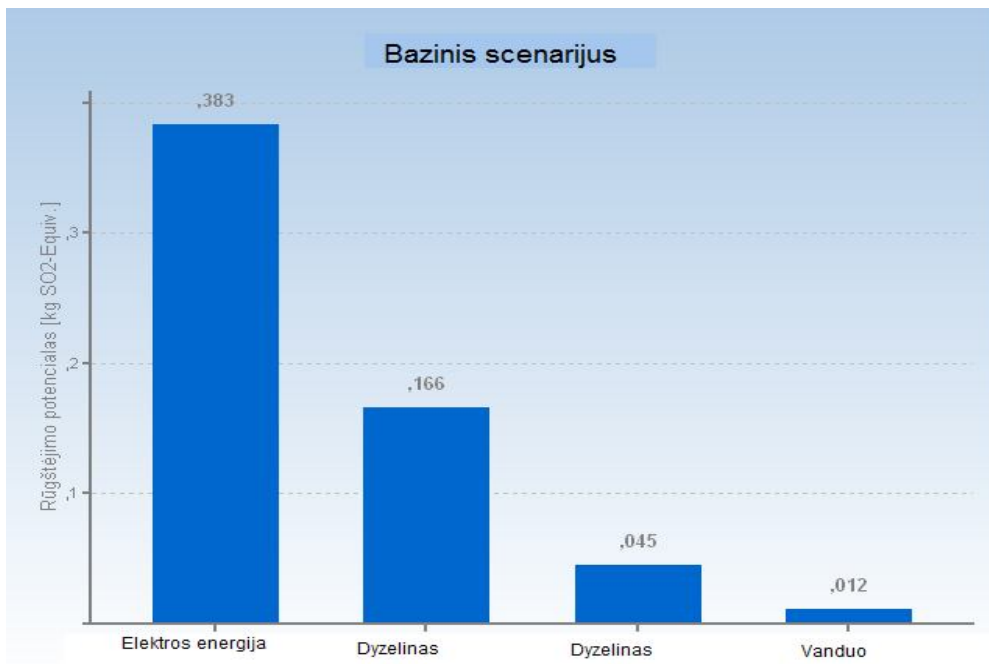


16 pav. Dviejų skirtingų valymo scenarijų rezultatai

16 paveiksle pateiktas antrinis poveikis aplinkai valant naftos produktais užterštą gruntą pagal skirtingas valymo technologijas. Vertinimo rezultatai parodė, kad didžiausias poveikis aplinkai globalinio atšilimo potencialo kategorijoje nustatytas baziniame scenarijuje, kurio potencialo vertė 277,9 kg CO₂ - Ekv. Bazinės grunto valymo technologijos taikymas yra reikšmingai susietas su šiltnamio dujų kiekio išmetimu. Tyrimui atlikti buvo nustatyta laiko riba vieneri metai. Jeigu pasirinktume ilgesnį laikotarpį, bazinė grunto valymo technologija rodytų dar didesnius neigiamą poveikį aplinkai darančius rezultatus.

Labiausiai teigiamas rezultatas pastebimas scenarijuje su dumbliu (118,46 kg CO₂ – Ekv.).

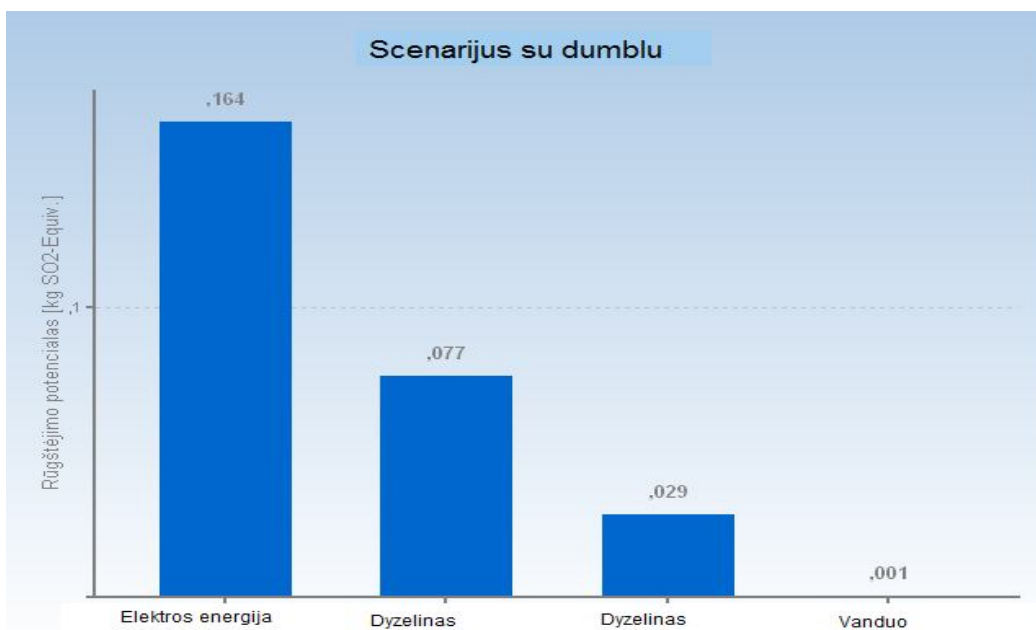
Įrodyta, kad rūgščių dujų rūgštinančių medžiagų kaupimasis ore turi pačių įvairiausių poveikių. Yra daroma žala miškams, ežerams ir ekosistemoms, mažėja žuvų ištekliai ir prasidera pastatų bei istorinių paminklų erozija. Nors kai kurios rūgšties dujos išsiskiria iš natūralių šaltinių, daugelis jų atsiranda dėl žmogaus veiklos – transporto, pramoninių procesų ir žemės ūkio veiklos. „Gabi 5“ programos pagalba buvo apskaičiuoti ir gauti bazinio scenarijaus rūgštėjimo potencialai.



17 pav. Bazinio scenarijau medžiagų ir energijos poveikiai rūgštėjimui

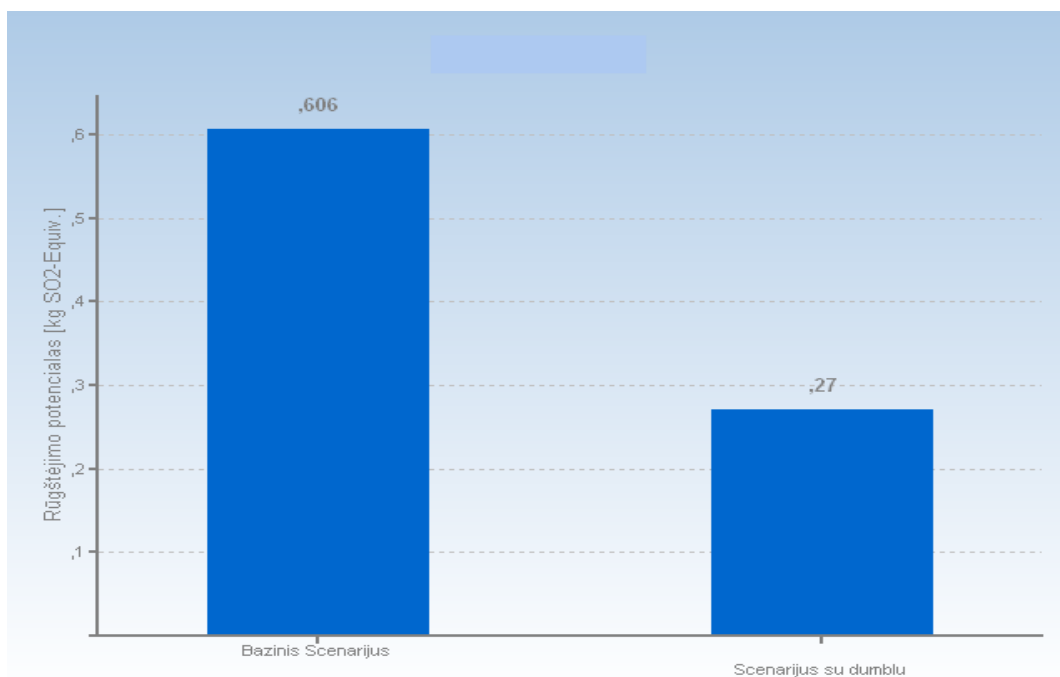
17 ir 18 paveiksluose matome medžiagų ir energijos poveikius, kurie daro didžiausią įtaką rūgštėjimui, skirtinguose užteršto grunto valymo scenarijuose.

Užterštą dirvožemį valant baziniu scenarijumi, rūgštėjimo potencialui įtaką daro elektros energija 0,383 kg SO₂-Ekv., kuri sunaudojama biopreparato gamybai. Palyginus scenarijus su dumbliu (18 pav.) ir bazinio scenarijaus elektros energijos įtaką rūgštėjimui, pastebime kad scenarijus su dumbliu įtaka rūgštėjimui yra daug mažesnė (0,164 kg SO₂-Ekv.), skiriasi net 2 kartus.



18 pav. Scenarijaus su dumbliu medžiagų ir energijos poveikiai rūgštėjimui

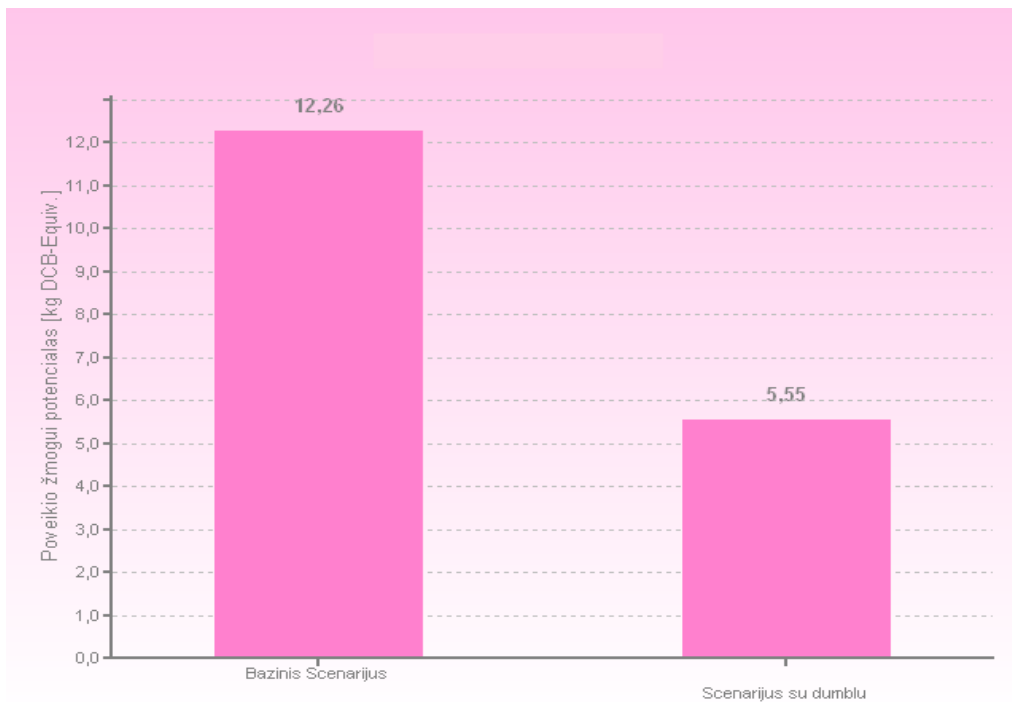
19 paveiksle pateikti medžiagų ir energijos poveikiai rūgštėjimui valant naftos produktais užterštą gruntą pagal skirtingas valymo technologijas. Suminiai vertinimo rezultatai parodė, kad didžiausias poveikis rūgštėjimui nustatytas baziniame scenarijuje, kurio potencialo vertė 0,606 kg SO₂ - Ekv. Scenarijuje su dumbliu rūgštėjimo potencialas ženkliai mažesnis 0,270 kg SO₂ - Ekv., kadangi šio valymo scenarijaus metu yra mažesnės vandens ir elektros energijos sąnaudos.



19 pav. Dviejų skirtingų valymo scenarijų poveikiai rūgštėjimui

Labai svarbu pašalinti arba sumažinti kiekvieno siūlomo proceso galimą toksiškumą žmogui. Vykstant pramoniniam procesui, jo galimas toksinis poveikis priklauso nuo išmetamų cheminių medžiagų, išleidžiamų cheminių medžiagų masės ir jų toksiškumo žmogui.

Išnagrinėjus du skirtingus dirvožemio užteršto naftos produktais valymo metodus, didžiausias toksiškumo potencialas gautas baziniame scenarijuje 12,26 kg DCB – Ekv. (DCB – dichlorbenzenas). Lyginant dviejų scenarijų pateiktus (20 pav.) rezultatus galime teigti, kad scenarijuje su dumbliu toksiškumas žmogaus sveikatai yra 2 kartus mažesnis.



20 pav. Dviejų valymo scenarijų toksiškumo žmogui rezultatai

Akivaizdu, kad nuotekų dumblo naudojimas, valant nafta užterštą gruntą, yra palankiausias aplinkai. Daugiau sutaupoma elektros energijos, o tuo pačiu išsaugoma aplinka nuo teršimo. Tokiu būdu būtų galima išspręsti dumblo kaupimosi problemą. Taigi, antrasis scenarijus yra geras pasirinkimas, kalbant apie valymo laiką ir efektyvumą.

IŠVADOS

1. Atlikus eksperimentą nustatyta, kad naudojant 10 % Palangos miesto nuotekų dumblo, 15 g/kg dyzelinu užterštame dirvožemyje dyzelino koncentracija per keturis tyrimo mėnesius sumažėjo iki 0,9 g/kg, o žalia nafta užterštame dirvožemyje iki 3,9 g/kg. Kontroliniuose bandiniuose užterštumas svyravo nuo 10,4 g/kg iki 9,4 g/kg. Naudojant 10 % popieriaus gamybos įmonės nuotekų dumblą, dyzelino koncentracija sumažėjo iki 1,1 g/kg, o bandiniuose užterštuose žalia nafta – iki 4,2 g/kg. Esant taršai 30 g/kg nustatytos didesnės likutinės koncentracijos. Kai pradinė dyzelino ir žalios naftos koncentracija dirvožemyje 30 g/kg, bandiniuose, kuriuose įterptas nuotekų dumblas, biodegradacijos procesas vyksta intensyviau lyginant su kontroliniais bandiniais.

2. Eksperimento rezultatai parodė, kad nuotekų dumblas, naudojamas kaip biopreparatas skatina biodegradaciją. Pats didžiausias skaidymo efektyvumas – 94 % - nustatytas tuose bandiniuose, kuriuose pradinis užterštumas dyzelinu 15 g/kg ir įterpta 10 % Palangos miesto valymo įtarninių nuotekų dumblo. Mėginiuose su žalia nafta efektyvumas - 77 %, kai pradinis užterštumas 30 g/kg, 10 % Palangos miesto valymo įrenginių nuotekų dumblo, kontroliniuose mėginiuose, be nuotekų dumblo skaidymo efektyvumas 35 % (30 g/kg užteršta dyzelinu) ir 28 % (esant užterštumui žaliavine nafta 30 g/kg).

3. Remiantis gautais rezultatais galime teigti, kad nuotekų dumblas gali būti naudojamas kaip biopreparatas. Jį panaudojus sprendžiama ne tik jo utilizavimo problema, bet ir sumažinamas valymo technologijos poveikis aplinkai.

4. Poveikio aplinkai vertinimo rezultatai parodė, kad taikant bazinę grunto valymo technologiją, didžiausias poveikis aplinkai yra globalinio klimato atšilimo kategorijoje (277,9 kg CO₂ - Ekv). Bazinio scenarijaus rūgštėjimo potencialas (0,606 kg SO₂ - Ekv.) ir toksiškumas žmogui (12,26 kg DCB – Ekv.) yra du kartus didesni lyginant su scenarijaus su dumbliu rezultatais.

LITERATŪRA

Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškiniš, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. Aplinkos apsauga. Vadovėlis. Vilnius: Technika. 217-247 p.

Baltrėnas, P., Vaišis, V. 2007. Naftos produktų sorbentai aplinkosaugoje: monografija. Vilnius, Technika. 163 p.

Barnabe, S.; Brar, S. K.; Tyagi, R. D.; Beauchesne, I.; Surampalli, R. Y. 2009. Pre – treatment and bioconversion of wastewater sludge to valueadded products – Fate of endocrine disrupting compounds. Science of The Total Environment 407: 1471 – 1488.

Bates, B. A.; Brenniman, G. R.; Alien, R. J. and Anderson, R. J. 1991. Elution profiles of three chlorinated hydrocarbons leaching through sandy soil. Journal of environmental engineering 3: 279-291.

Bedient, P. B. and others. Ground water contamination, transport and remediation. 1993. New Jersey: PTR prentice Hall, Englewood Cliffs, 354 p.

Brazauskienė, D. M.; Rutkauskienė, G. P. 2006. Žemės ūkio chemija. Kaunas: LŽŪU Leidybos centras. 27-48 p.

Brazauskienė D. M. 2004. Agroekologija ir chemija. Kaunas. 138 p.

Bridžiuvienė D.; Levinskaitė L.; Lugauskas A. 1997. Mikrobiologiniai medžiagų pažeidimai. Vilnius. 139 -140 p.

Bundy J. G.; Paton G. I.; Campbell C. D. 2002. Microbial communities in different soil types do not converge after diesel contamination. Journal of Applied Microbiology . 92:276-288.

Cameotra, S. S.; Singh, P. 2008. Bioremediation of soil sludge using crude biosurfactant. International biodeterioration & biodegradation. 62(2008): 274-280.

Chaîneau, C. H.; Morel, J.; Dupont, J.; Burya, E.; Oudota, J. 1999. Comparison of the fuel oil biodegradation potential of hydrocarbon-assimilating microorganisms isolated from a temperate agricultural soil. *The Science of The Total Environment* 227: 237-247.

Chen, J., Wong, M. H., Wong, Y. S., Tam, N. F. Y. 2008. Multi – factors on biodegradation kinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by *Sphingomonas* sp. A bacterial strain isolated from mangrove sediment. *Marine Pollution Bulletin* 57: 695 – 702.

Choroma, M.; Hosseini, S.S.; Motamedi, H. 2010. Bioremediation of crude oil polluted soil as affected by sewage-sludge. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World .

Dai, J.; Becquer, T.; Rouiller, H. J.; Reversat, G.; Bernhard-Reversat, F.; Lavelle P. 2004. Influence of heavy metals on C and N mineralisation and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*. 25:99-109.

Dirvožemio fizikinės-mechaninės savybės [interaktyvus]. Žiūrėta 2012 m. gruodžio 13 d. Prieiga per internetą < <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/augalu-mityba/27.htm>>.

Ernst, W. G. 2000. Earth systems processes and issues. Cambridge University : Press, 566 p.

Espinoza, Y.R.; Dendooven, L. 2003. Dynamics of carbon, nitrogen and hydrocarbons in diesel-contaminated soil amended with biosolids and maize. *Journal of Chemosphere* 54, 379-386.

Facundo J.; Rocha M.; Hernandez V.; Lamela M. T. 2001. Biodegradation of diesel oil in soil by a microbial consortium. *Water, Air and Soil Pollution* 128:313 – 320.

Fukushima, K.; Tabuani, D.; Abbate, C.; Arena, M.; Rizzarelli, P. 2011. Preparation, characterization and biodegradation of biopolymer nanocomposites based on fumed silica. *European Polymer Journal* 47: 139-142.

Galvydytė, D.; Lukauskas, E.; Volungevičius, J. 2007. Fliuvioglacialinių darinių dirvožemių dangos ypatumai. *Pedologija. GEOGRAFIJA* 1: 1–7.

Giedraitytė G.; Kalėdienė L.; Bubinas A. 2001. Correlation between biosurfactant synthesis and microbial degradation of crude oil hydrocarbons. *Ekologija*. 3: 38-41.

Goteborg Energi, 2002. Soil Bioremediation: In – Situ vs. Ex – situ (costs, Benefits and Effects). Report prepared by WSP.

Grigiškis S.; Žunda G.; Čipinytė V. 2002. Užteršto grunto valymo būdai. Žiūrėta 2012 gruodžio 15 dieną. Prieiga per internetą: <www.asa.lt>.

Greenwood, P. F., Wibrow, S., George, S. J., Tibbett, M. 2009. Hydrocarbon biodegradation and soil microbial community response to repeated oil exposure. *Organic Geochemistry* 40: 293 – 300.

Iovino, R.; Zullo, R.; Rao, M.A.; Cassar, L.; Gianfreda, L. 2008. Biodegradation of poly(lactic acid)/starch/coir biocomposites under controlled composting conditions. *Polymer Degradation and Stability* 93: 147-157.

Jankevičius K. 1995. Klaipėdos valstybinės naftos įmonės (KVNĮ) grunto valymo cecho Kiškėnuose technologijų tobulinimas. Vilnius.

Jankevičius, K.; Liužinas, R. 2003. Aplinkos biologinis valymas. Vilnius: Apyaušris, 17-20 p.

Jakštaitė, A.; Šimaitis, R. 1999. Biologinis nuotekų valymas aktyviuoju dumbliu: *Aplinkos inžinerija* 3. 15-19.

Juknys, R. 2002. Aplinkotyros pagrindai. Paskaitų medžiaga. Kaunas: Vytauto Didžiojo Universitetas, 209-225 p.

Januškis, V. 1990. Gamta ir mes. Vilnius: Mokslas, 60-72 p.

Jodaugienė, D.; Motuzas, A.; Stancevičius, A.; Raudonius, S. 2001. Skirtingas žemės dirbimas ir giliau glėžiško pasotintojo palkšvažemio humuso kokybė, smulkiadispersė dalis bei jos organinė ir mineralinė sudėtis. Žemės ūkio mokslai 4: 3-11.

Juodkazis, V., Marcinonis, A. 2008. Aplinkos hidrogeologija. Vilnius, 181 p.

Jučas, P. 1992. Degalai ir tepalai. Vilnius: Mokslas, 252 p.

Kaczorek, E.; Urbanowicz, M.; Olszanowski, A. 2010. The influence of surfactants on cell surface properties of *Aeromonas hydrophila* during diesel oil biodegradation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81: 363-368.

Kalėdienė, L.; Giedraitytė, G. 2003. Application of indigenous microorganisms in bioremediation of soil contaminated by fuel oil. *Biologija*, Nr.4. p.17-21.

Kalėdienė L. 1999. Naftos angliavandenilių mikrobiologinė degradacija. *Ekologija*. 3: (55 – 57).

Khan, F. I., Husain, T., Hejazi, R. 2004. An overview and analysis of site remediation technologies. *Journal of Environmental Management* 71: 95 – 122.

Kriščiūnas, J. 2003. Biopreparatas nafta ir jos produktais užterštamgruntui ir vandeniui valyti. *Statyba ir architektūra*. 43 p.

Kuyukina, M.S.; Ivshina, I.B.; Kamenskikh, T. N.; Bulicheva, M. V.; Stukova, G. I. 2012. Survival of cryogel-immobilized *Rhodococcus* strains in crude oil-contaminated soil and their impact on biodegradation efficiency. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2012: 1-8.

Kononova, M. M. 1999. Soil organic matter. Oxford: Pergamon, 469 p.

Landmeyer, J. E. 2001. Monitoring the Effect of Poplar Trees on Petroleum-Hydrocarbon and Chlorinated-Solvent Contaminated Ground Water. *International Journal of Phytoremediation* 3: 61 – 85.

LAND 20 – 2005. Nuotekų dumblo naudojimo trešimui bei rekultivavimui reikalavimai, Valstybės žinios 142-5135.

Lietuvos žemės ūkio ministerija [interaktyvus]. 2009. Žiūrėta 2012 m. lapkričio 30 d. Prieiga per internetą < http://www1151.vu.lt/wp-content/uploads/2012/04/Mokomoji-priemone-Lietuvos-dirvozemiai_txt.pdf>.

Li, X., Lin, X., Li, P., Liu, W., Wang, L., Ma, F., Chukwuka, K. S. 2009. Biodegradation of the low concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by microbial consortium during incubation. *Journal of Hazardous Materials* 172: 601 – 605.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija „*Aplinkos apsaugos reikalavimai užterštų teritorijų tvarkymui*“. 2007. [Interaktyvus]. Žiūrėta 2013 m. balandžio 4 d. Prieiga per internetą: <<http://www.am.lt/VI/files/0.439979001194421681.pdf>>.

Liu, Y.; Ye, F.; Zeng, G.; Fan, T.; Meng, L.; Yuan, H. 2007. Effects of added Cd on Cd uptake by oilseed rape and pai-tsai co-cropping. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 17: 846-852.

Maila, M. P.; Randima, P.; SurrIDGE, K.; Drūnen, K.; Cloete, T. E. 2005. Evaluation of microbial diversity of different soil layers at a contaminated diesel site. *International Biodeterioration & Biodegradation* 55: 39-44.

Marcinonis A. 1999. Žemės gelmių teršimas naftos produktais. *Statyba ir architektūra*. 9: 33- 37.

Martucci, J. F.; Ruseckaite, R. A. 2009. Biodegradation of three-layer laminate films based on gelatin under indoor soil conditions. *Polymer Degradation and Stability* 94: 1307-1313.

Matuzevičius A. 1998. Nuotekų valymas aktyviuoju dumbliu. Paskaitų konspektas. Vilnius. 6-8 p.

Matuzevičius, A. 1998. Nuotekų valymas veikliuoju dumbliu. Vilniaus: Technika. 78 p.

Mickevičius, V., Miknius, L. 2010. Naftos chemija. Kaunas: Technologija. 124 p.

Motuzas, A. J.; Buivydaite, V. V.; Vaisvalavičius, R.; Šleinys, R. A. 2009. Dirvotyra. Vilnius: Enciklopedija, 336 p.

Motuzas, A. J.; Buivydaite, V.; Danilevičius, V. 1999. Dirvotyra. Vilnius: Mokslas ir enciklopedija, 100-101, 374 p.

Muthukumar, T.; Aravinthan, A.; Mukesh D. 2010. Effect of environment on the degradation of starch and pro-oxidant blended polyolefins. Polymer Degradation and Stability 95: 1988-1993.

Nadzeikienė, J. 2012. Aplinkos apsaugos inžinerija. Mokomoji knyga. Aleksandro Stulginskio universitetas [interaktyvus]. Žiūrėta 2013 m. sausio 8 d. Prieiga per internetą <<http://dspace.lzuu.lt/bitstream/1/2008/1/Aplinkos%20apsaugos%20inžinerija.pdf>>.

Namkoong, W.; Hwang, E.Y.; Park, J.S.; Choi, J.Y. 2002. Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. Journal of Environmental Pollution 119: 23-310.

Nicholas, P.; Cherimisinoff, Ph. D. 2002. Hand book of water and waste water technologies. Butterworth – Heinemann. 98-99.

Nievas, M. L., Commendatore, M. G., Esteves, J. L., Bucala, V. 2008. Biodegradation pattern of hydrocarbons from a fuel oil – type complex residue by an emulsifier – producing microbial consortium. Journal of Hazardous Materials 154: 96 – 104.

Ojeda, T.; Freitas, A.; Dalmolin, E.; Pizzol, M. D.; Vignol, L.; Melnik, J.; Jacques, R.; Bento, F.; Camargo, F. 2009. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable foamed polystyrene. Polymer Degradation and Stability 94: 2128-2133.

Pavel, L. V.; Gavrilesco, M. 2008. Overview of ex situ decontamination techniques for soil cleanup. *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 7, No. 6, p. 815-834.

Phytoremediation [interaktyvus]. Žiūrėta 2013 m. sausio 15 d. Prieiga per internetą <<http://syariffauzi.wordpress.com/tag/phytoremediation-fitoremediasi/>>.

Peressutti S. R.; Alvarez H. M.; Pucci O. H. 2003. Dynamics of hydrocarbon-degrading bacteriocenosis of an experimental oil pollution in Patagonian soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 52:21.

Penet, S.; Marchal, R.; Solano-Serena, F.; Vandecasteele, J. P. 2003. Gasoline and diesel oil biodegradation. *Oil & gas science and technology* 58 (4): 411 - 449.

Rahman, K. S. M., Thahira – Rahman, J., Lakshmanaperumalsamy, P., Banat, I. M. 2002.

Rieuwerts, J. S.; Thornton, I.; Farago, M. E.; Ashmore, M. R. 1998. Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical load approach for metals. *Chemical Speciation and Bioavailability* 10: 61–76.

Roldan–Carrillo, T., Castorena– Cortes, G., Zapata–Penasco, I., Reyes–Avila, J., Olguin– Lora, P. 2012. Aerobic biodegradation of sludge with high hydrocarbon content generated by Mexican natural gas processing facility. *Journal of Environmental Management* 95: 93 – 98.

Sanchez M. E.; Estrada I. B.; Martinez O.; Martin-Villacorta J.; Aller A.; Moran A. 2004. Influence of the application of sewage sludge on the degradation of pesticides in the soil. *Chemosphere*. 57: 673-679.

Simon, M. A.; Bonner, J. S.; Page, C. A.; R. Townsend, T.; Mueller, D. C.; Fuller, C. B.; Autenrieth R. L. 2004. Evaluation of two commercial bioaugmentation products for enhanced removal of petroleum from a wetland. *Ecological Engineering* 22: 263-277.

Spruogis A., Jaskelevičius B. 2000. Atliekos ir jų tvarkymas. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 177-182 p.

Stella, M.; Bezerra, C.; Zytner, R. G. 2003. Bioventing of Gasoline-Contaminated Soil: Some Aspects for Optimization [interaktyvus]. Žiūrėta 2013 m. Sausio 15 d. Prieiga per internetą <http://ipcc.utulsa.edu/Conf2003/Papers/bezerra_zytner_86.pdf>.

Tahhan, R. A.; Abu-Ateih, R. Y. 2009. Biodegradation of petroleum industry oily-sludge using Jordanian oil refinery contaminated soil. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63: 1054-1060.

Tezuka, Y.; Shiin, I.; Kasuya, K.; Mitomo, H. 2004. Degradation of poly(ethylene succinate) by mesophilic bacteria. *Polymer Degradation and Stability* 84: 115-121

Towards efficient crude oil degradation by a mixed bacterial consortium. *Bioresource Technology* 85: 257 – 261.

Ulozas, R. V.; Viršilas, R. 2010. Atliekų tvarkymo technologijos: mokomoji knyga. Šiauliai: VšĮ Šiaulių universiteto leidykla. 275 p.

Van Gestel K.; Mergaert J.; Swings J.; Coosemans J.; Ryckeboer J. 2003. Bioremediation of diesel oil contaminated soil by composting with biowaste. *Environmental Pollution*. 125: 361-368.

Vlahogianni, T., Dassenakis, M., Scoullou, M.J., Valavanidis, A. 2007. Integrated use of biomarkers (superoxide dismutase, catalase and lipid peroxidation) in mussels *Mytilus galloprovincialis* for assessing heavy metals' pollution in coastal areas from the Saronikos Gulf of Greece. *Marine Pollution Bulletin* 54: 1361-1371.

Volungevičius, J.; Kavaliauskas, P. 2012. Lietuvos dirvožemiai. VU: Vilnius. 23 p.

Zdanavičiūtė O. 1998. Lietuvos nafta. Vilnius. 72-73 p.

Žukauskaitė, A.; Belous, O.; Jakubauskiatė, V.; Šatinskienė, V. 2003. Naftos produktais užteršto vandens ir grunto biodegradacijos tyrimai. *Jūra ir aplinka* 1(8): 54-63.

Wang, C.; Hu, X.; Chen, M. L.; Wu, Y. H. 2005. Total concentrations and fractions of Cd, Cr, Pb, Ni and Zn in sewage sludge from municipal and industrial wastewater treatment plants. *Journal of Hazardous Materials* 119: 245 – 249.

Witters, N., Mendelsohn, R., Van Passel, S., Van Slycken, S., Weyens, N., Schreurs, E., Meers, E., Tack, F., Vanheusden, B., Vangronsveld, J. 2012. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? II: Economic assessment of CO₂ abatement through the use of phytoremediation crops for renewable energy production. *Biomass and Bioenergy* 39: 470 – 477.

SAMMARY

OIL-CONTAMINATED SOIL CLEANING BY USING SEWAGE SLUDGE

Biological method is an effective method of oil polluted soil depuration. Applying the method microorganisms, decomposing various contaminants, are used.

The aim of this study was to analyze possibility to use sewage sludge for cleaning oil contaminated soil and assess the effect of different environment cleaning technologies.

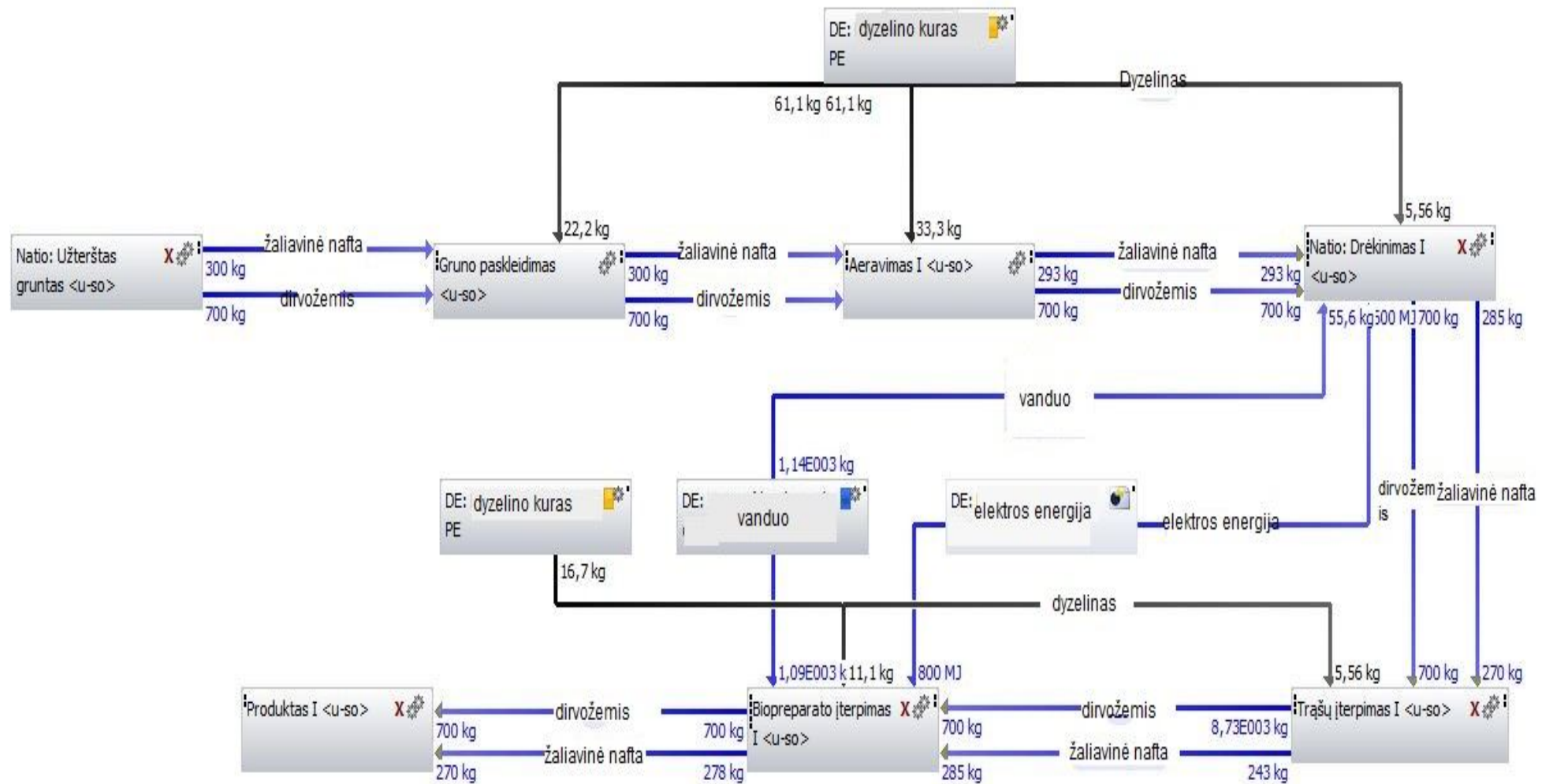
During the experiment two types of diesel concentration were used for artificial contamination of soil in laboratory conditions of 15 and 30 g/kg for dry soil and two types of concentration of raw oil of 15 and 30 g/kg for dry soil. Two different kinds of sewage sludge were inserted into the polluted soil - from Palanga city sewage and from the paper factory sewage. The concentration of sewage sludge was of 5 and 10% dry sludge per kilo of dry soil.

During the investigation residual concentrations of oil products were observed. The state period assessment was made for two different polluted soil depuration scenarios created with the "Gabi 5" program.

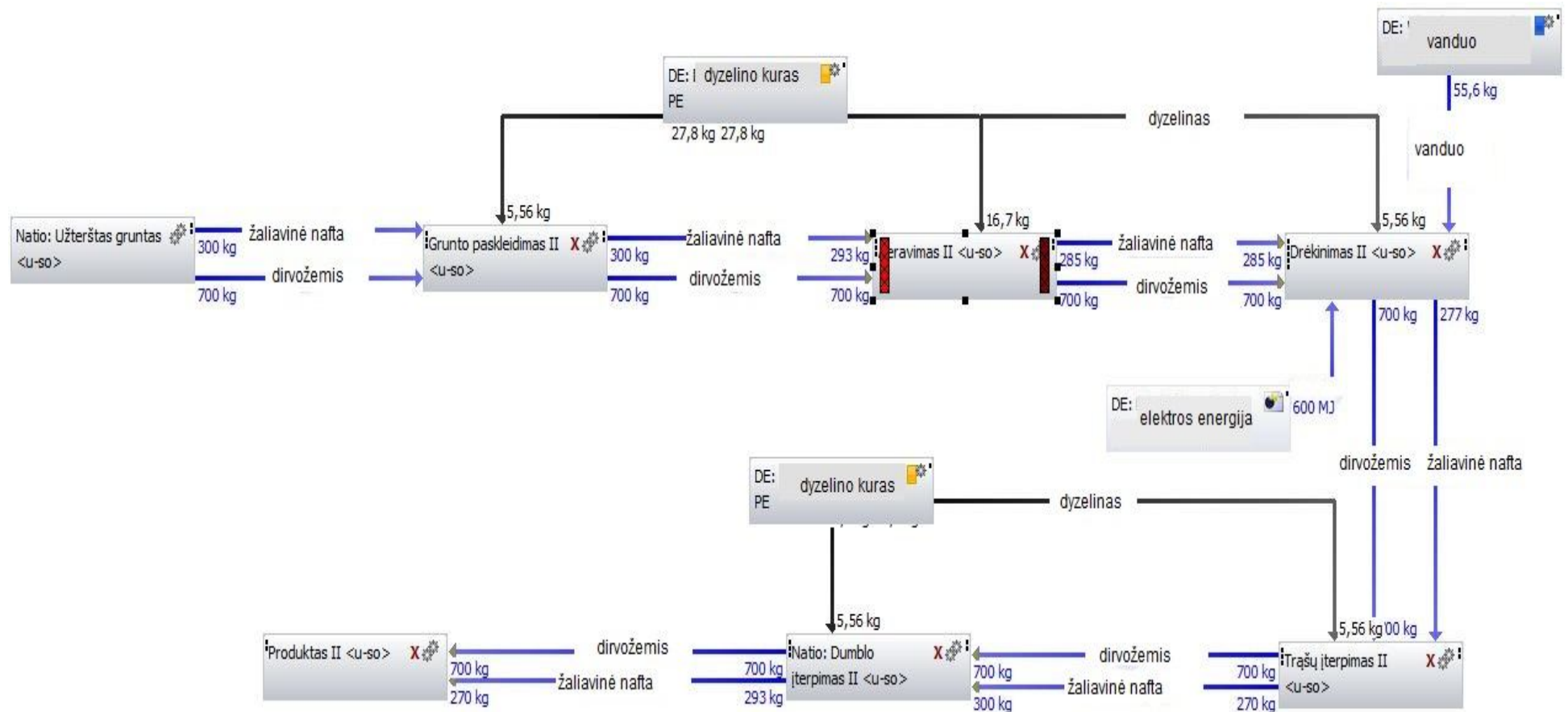
The results of the experiment revealed that insertion of the sewage sludge into the contaminated soil helped to reach better cleaning effect. Diesel contaminated soil with the concentration of 15 g/kg and 10% which was inserted with Palanga city sewage. The effect of 94% decomposition clarity was reached. Meanwhile at the same rate of initial contamination 30% of decomposition effect was reached. Raw oil polluted soil at the initial concentration of 30% g/kg and 10% Palanga city sewage sludge, 77% of decomposition effect was reached. At the control only 28% of effectiveness took place. After the scenario of the lifecycle assessment using the program "GaBi 5" was made, it revealed that the basic soil cleaning technology has the major effect on the environment.

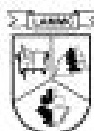
Key words: biodegradation, sewage sludge, diesel, raw oil, lifecycle.

PRIEDAI



Priedas Nr. 2 scenarijus su dumbliu





LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRO
FILIALAS AGROCHEMINIŲ TYRIMŲ LABORATORIJA
ANALITINIS SKYRIUS

LEIDIMAS Nr. IAT-265 2011-02-23
APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA
1 (1) puslapis

TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. D 14SI

2012-04-23

Užsakovas: Klaipėdos universitetas, H. Manto g. 84, Klaipėda

Tiriamąjį ėminio identifikavimas: kodas, pavadinimas, kiekis- D 14SI dirvožemis- 3 ėminiai, po 0,5 kg
D 14SI-1 Nr.1, D 14SI-2 Nr.2, D 14SI-3 Nr.3

Užsakovo pateikta informacija: ėminio atrinkimo vieta ir data, atrinkimo akto Nr. arba kitas lydinčis dokumentas* - nepateikta

Ėminį pristatė: Klaipėdos universitetas, Raimonda Reikaite

Ėminį priėmė: 2012-04-14, vyresnioji agrochemikė-vadybininkė Nijolė Sūdžienė

Tyrimo metodai ir rezultatai:

Tyrimų parametras	Ėminio kodas ir tyrimo rezultatai			Tyrimo metodai (žymuo)
	D 14SI-1	D 14SI-2	D 14SI-3	
pH	5,1	4,9	4,6	LST ISO 10390:2005
Judrusis fosforas (P ₂ O ₅) mg/kg (AL) metodu	148	494	224	Judrusis fosforas (P ₂ O ₅) ir judrusis kalis (K ₂ O)- LVP D-07:2012, 4 leidimas. Laboratorijos parengtas Egnerio -Rimo-Domingo (A-L) metodas.
Judrusis kalis (K ₂ O) mg/kg (AL) metodu	155	216	88	
Azotas suminis (N) %	0,912	0,946	0,512	ISO 11261:1995
Kadmio (Cd) mg/kg	0,332	0,340	0,196	ISO 11466:1995, ISO 11047:98, B metodas
Švinas (Pb) mg/kg	11,8	12,5	9,70	ISO 22036-2008
Chromas (Cr) mg/kg	14,4	12,6	8,73	
Nikelis (Ni) mg/kg	11,8	11,6	7,27	
Varis (Cu) mg/kg	15,8	17,0	10,5	
Cinkas (Zn) mg/kg	46,4	52,3	33,9	

* Analitinis skyrius už ėminių atrinkimą ir užsakovo pateiktą informaciją neatsako.

Tyrimų atlikimo data : 2012-04-20

Skyriaus vedėjo pavaduotoja



Tyrimo rezultatai galioja tik pateiktam tiriamajam ėminiai.

Bė raštinės skyriaus sutikimo tyrimų protokolo dalys negali būti dauginamos.

Jadvyga Lubytė

Ramutė Mickutė