



GELEŽINKELIO TRANSPORTO TARŠOS SUNKIAISIAIS METALAIS DIRVOŽEMYJE TYRIMAI IR ĮVERTINIMAS

Pranas Baltrėnas¹, Petras Vaitiekūnas², Živilė Bačiulytė³

^{1,2}*Aplinkos apsaugos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva*

³*The Peak Health Club, Jumeirah Carlton Tower on Cadogan Place London SW1X9pY
El. paštas: ^{1,2}aak@vgtu.lt; ²vaitiek@vgtu.lt; ³zivile@yahoo.com*

Įteikta 2008 02 21; priimta 2008 05 19

Santrauka. Vienas iš pagrindinių dirvožemio teršiklių yra transportas. Jam Lietuvoje priskiriama 75 % teršalų. Pastaruoju metu mokslinėje ir žemės ūkio literatūroje itin dažnai minimi sunkieji metalai. Tai grupė cheminių elementų, kurių tankis didesnis kaip 5 g/cm³. Paprastai sunkieji metalai aptinkami ne elementų, o druskų ir kitų junginių formos. Iš 100 ar daugiau elementų apie 80 galima priskirti metalams, o 3/4 jų – sunkiesiems metalams. Biologiškai svarbūs ir tirti metalai yra kadmis, gyvsidabris, švinas, cinkas, chromas ir varis. Dirvožemio užterštumas – tai rimta geležinkelių sistemos aplinkos apsaugos problema. Geležinkelio transportas gali turėti įtakos dirvožemio užtaršai naftos produktais, nedideliais kancerogeninių medžiagų kiekiais, sunkiaisiais metalais.

Tyrimai atlikti geležinkelio ruožuose: Vilnius – Naujoji Vilnia (Pavilnio regioninis parkas), Ignalina – Švenčionėliai Aukštaitijos nacionaliniame parke, miško teritorijoje netoli Švenčionėlių, Radviliškyje ir vienas Melnragės gyvenvietės teritorijoje. Geležinkelio stočių ties Radviliškio (Pb junginių didžiausioji leidžiamoji koncentracija (DLK) viršija 1,8 karto) ir Pavilniu (Ni DLK viršija 1,9, Cu – 1,85, Zn – 1,1 karto) teritorijose dirvožemio natūrali sandara ir savybės dėl intensyvaus antropogeninio poveikio yra pakitę. Šių vietovių dirvožemiai priskiriami užterštu dirvožemių kategorijai. Geležinkelio atkarpos Ignalina – Švenčionėliai dirvožemį galima galimai laikyti mažai užterštu (Cu DLK viršija 1,17, o Pb – 1,16 karto, foninę koncentraciją viršija beveik visi metalai, išskyrus Cr ir Mn).

Reikšminiai žodžiai: sunkieji metalai, geležinkelio transportas, dirvožemio tarša, gruntas, bandiniai.

1. Įvadas

Vienas iš pagrindinių dirvožemio teršiklių yra transportas (Baltrėnas, Kiaugienė 2003; Балтренаc, Янкайте 2003). Jam Lietuvoje priskiriama 75 % teršalų (Girgždys 2000). Pastaruoju metu mokslinėje ir žemės ūkio literatūroje vis dažniau minimi sunkieji metalai. Tai grupė cheminių elementų, kurių tankis didesnis kaip 5 g/cm³ (Kadūnas *et al.* 1999). Paprastai sunkieji metalai aptinkami ne elementų, o druskų ir kitų junginių formos (Adomaitis, Antanaitis 2001; Ašmenskas *et al.* 1997). Iš 100 ar daugiau elementų apie 80 galima priskirti metalams, o 3/4 jų – sunkiesiems metalams. Biologiškai svarbūs ir tiriami metalai yra kadmis, gyvsidabris, švinas, cinkas, chromas ir varis (Балтренаc, Янкайте 2003; Ашменcкаc иr кt. 1997).

Dirvožemio užterštumas – tai rimta geležinkelių sistemos aplinkos apsaugos problema. Geležinkelio transportas gali turėti įtakos dirvožemio užtaršai naftos produktais, nedideliais kancerogeninių medžiagų kiekiais, sunkiaisiais metalais. Dirvožemio taršos priežastys yra: varvantis lokomotyvų tepalai ir transportuojamos medžiagos (tarp jų – naftos produktai), judančių mechanizmų trinties ar kuro degimo produktai, su kietosiomis dalelėmis nusėdantys ant žemės paviršiaus, užteršto lokomotyvų bei vagonų paviršiaus nuoplovos. Teršalų susikaupimą lemia ir dirvožemio taršos mastas, ir dirvožemio filtracinės savybės, jo rūgštin-

gumas, drėgmės kiekis, klimatinės sąlygos, teritorijos topografija (Jankauskaite *et al.* 2008). Dalis teršalų su vandens nuotekomis migruoja į gilesnius grunto sluoksnius ir gali sukelti pavojų užteršti požeminį vandenį (Voronkienė *et al.* 2001; Idzelis *et al.* 2006). Dirvožemyje susikaupę teršalai gali pakeisti jo pH, suardyti natūralią cheminę, fizinę ir biologinę pusiausvyrą. Sieros ir azoto oksidai, patekę su krituliais į dirvožemį, taip pat didina jo rūgštingumą, suintensyvėja šarminių biogeninių kationų (K, Na, Ca, Ba) išplovimas, padidėja sunkiųjų metalų aktyvumas, judrumas ir toksiškumas (Baltrėnas *et al.* 2003a).

Vertinant dirvožemio užterštumo lygį, ypač svarbu nustatyti foninius mikroelementų kiekius, susikaupusius dėl gamtinių geocheminių procesų, veikiant globalinei, regioninei ir integruotai vietinei technogeninių elementų pernašai (Baltrėnas *et al.* 2001a; Jankaitė, Vasarevičius 2005).

Neretai pageležinkelių ruožuose yra sodinamos daržovės, ganomos karvės, ruošiami pašarai. Tačiau iki šiol nėra duomenų, kiek šiuose ruožuose susikaupia teršalų. Tai nustačius galima būtų spręsti, kokių apsaugos priemonių reikia imtis, norint apsaugoti pageležinkelių gyventojus nuo teršalų. Galima būtų populiarinti mažiau teršalams imlių daržovių sodinimą, apsauginių želdinių juostų sudarymą, biosorbentų naudojimą (Baltrėnas *et al.* 2001b; 2003b), administracines priemones. Visa tai padėtų padaryti pageležinkelių ruožo naudojimo pakeitimą,

tačiau šioms priemonėms taikyti reikalingas išsamus pageležinkelių ruožo užterštumo tyrimas. Šį tyrimą būtina sieti ne tik su traukinių judėjimo intensyvumu, bet ir su pageležinkelių ruožo reljefo sąlygomis, dirvožemio savybėmis, želdinių erdvinio išsidėstymu (Poszyler-Adamska, Czerniak 2007). Visi šie faktoriai lemia šilumvežių teršalų patekimą į maisto produktus ir turi įtakos žmogaus sveikatai (Ašmenskas *et al.* 1997; Mažeikienė *et al.* 2005).

Darbo tikslas – išanalizuoti neigiamą geležinkelio transporto įtaką dirvožemiui ir įvertinti kelių geležinkelio atkarpų dirvožemio paviršinės dalies užtaršos sunkiaisiais metalais lygį, t. y. nustatyti judriosios (migracinės) metalų formos sklaidą į aplinką (grunta).

2. Tyrimų metodika

Teršalų kaupimasis dirvožemyje – tai gana ilgą laiką trunkantis procesas, dėl to šiame darbe pateikiami tyrimų rezultatai apibūrina ne teršalų kiekio kitimą, o esamą taršos lygį.

Mėginiai surenkami abiejose geležinkelio kelio pusėse. Ėmimo taškai nuo taršos šaltinio pasirinkti per 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10; 15; 25; 50 ir 75 metrus.

Mėginių ėmimas ir paruošimas analizei yra reglamentuojamas valstybinio standarto (Baltrėnas, Kiaugienė 2003). Viršutinės litosferos dalies užterštumo sunkiaisiais metalais didžiausias leidžiamasis koncentracijas dirvožemyje reglamentuoja Lietuvos higienos norma (HN 60-1996). Ši higienos norma taikoma gyvenamųjų vietovių, poilsio, sveikatingumo zonų ir žemės ūkiui naudojamiems dirvožemiams. Pagrindinis dirvožemio užterštumo vertinimo kriterijus – didžiausioji leidžiamoji cheminės medžiagos koncentracija dirvožemyje (DLK). Šiame normatyviniame dokumente DLK dirvožemiams nurodoma pagal visą metalų kiekį grunte arba jų judriąsias formas. Mėginiai imami taip, kad analizių rezultatai nebūtų iškreipti.

Siekiant kiek įmanoma tiksliau nustatyti atmosferinės teršalų apkrovos intensyvumą, bandiniai imti iš paviršinio dirvožemio sluoksnio – 0–10 cm gylio. Kiekvienas dirvos mėginys buvo surenkamas patobulintu „voko“ principu, – kad dirvožemio užtaršos būklės rezultatai būtų kuo tikslesni – tarsi „vokus voke“. Taip tiksliau nurodoma sąlyginio kartografinio mėginio ėmimo taško situacija. Nustatant sunkiųjų metalų kiekius dirvožemyje negalima naudoti priemonių, turinčių metalų, todėl mėginiai renkami nedažytu, netepaluotu, nerūdijančio plieno kastuvėliu laikantis visų mėginių ėmimo instrukcijų (Baltrėnas *et al.* 2001b). Surinkti į specialius medžiaginius maišelius mėginiai (apie 500 g svorio) vežami į Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos apsaugos katedros chemijos laboratoriją ir tiriami atominės emisinės spektroskopijos analizės būdu nustatant Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Co ir Zn.

Laboratorijoje mėginiai džiovinami, susmulkinami, išrenkamos stambesnės šaknys, kiti organiniai tarpai bei akmenėliai. Dirvožemio mėginiai homogenizuojami persijojant pro 1 mm² akutės dydžio kaproninį sietelį, (Baltrėnas *et al.* 2001b). Taip paruošti 20 g dirvožemio mėginiai užpilami 100 ml 20 % azoto rūgštimi (HNO₃), pakaitinami 15 minučių ir filtruojami pro popierinius

filtrus. Gautas tirpalas atskiedžiamas iki 100 ml 2 % HNO₃ ir analizuojamas atominiu absorbciniu spektrofotometru 210 VGP.

Metallų koncentracijos grunte apskaičiavimo metodika:

1. Apskaičiuojama vidutinė metalo koncentracija tirpale. Iš 2–4 matavimų rezultatų apskaičiuojama vidutinė metalo koncentracija C_t tirpale:

$$C_t = \frac{\sum C_n}{n}, \quad (1)$$

C_n – vienkartinė metalo koncentracija mėginyje; n – matavimų skaičius.

2. Įvertinamas ištirpinus metalus rūgštyje gaunamas tirpalo tūris. Kai tūris lygus 100 ml, $K_1 = 0,1$.

3. Skiedimo įtaka įvertinama koeficientu K_2 . Jei mėginys skiedžiamas, tai $K_2 = 1$.

4. Metodikos netikslumas vertinamas koeficientu K_3 . Jo reikšmės pateikiamos 1 lentelėje. Visų kitų elementų $K_3 = 1$.

1 lentelė. K_3 koeficiento reikšmės

Table 1. Values of coefficient K_3

| Metalas | Cr | Cu | Mn | Ni | Pb |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Koeficientas K_3 | 1,15 | 1,41 | 1,18 | 4,31 | 4,44 |

5. Analizei paimto mėginio svoris vertinamas koeficientu K_4 : $K_4 = 1000/m$, m – grunto masė, mg.

6. Apskaičiuojama metalo koncentracija grunte (mg/kg):

$$C_{gr} = C_t \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4. \quad (2)$$

3. Vietovių aprašymai

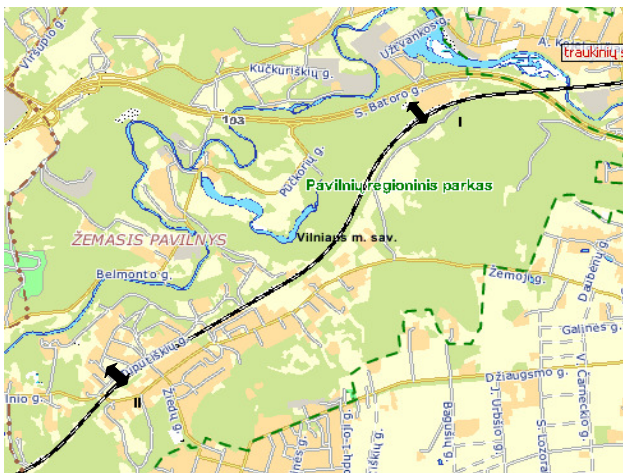
Išanalizavus Lietuvos geležinkelio transporto kelių tinklą, atsižvelgus į šio transporto intensyvumą, du profiliai buvo pasirinkti Pavilnio regioninio parko teritorijoje, vienas profilis – Aukštaitijos nacionalinio parko teritorijoje, vienas Radviliškio miestelyje ir vienas Melnragės gyvenvietės teritorijoje, 1 pav.



1 pav. Lietuvos geležinkelių tinklas

Fig. 1. The net of Lithuanian railway roads

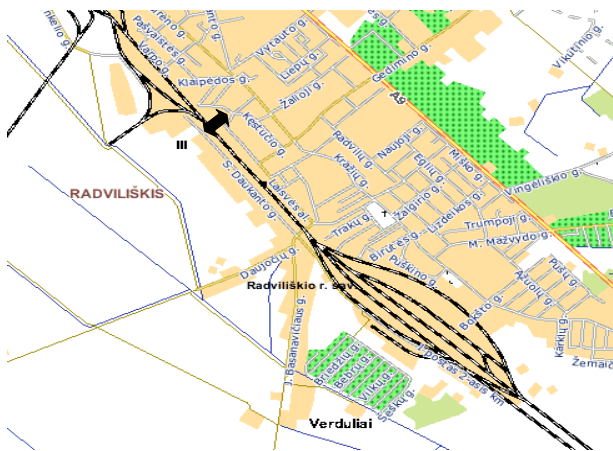
Žinant, kad atkarpa Vilnius – Naujoji Vilnia yra 8 km ilgio, technogeninių anomalijų struktūrai nustatyti mėginiai imti kuo vienodesniais atstumais dviejų tipų reljefe, t. y. pirmasis profilis pasirinktas slėnio tipo vietoje, o antrasis – lygesniame reljefe bei netoli gyvenamųjų namų ir ariamos žemės (2 pav.).



2 pav. Mėginių ėmimo vietos geležinkelio atkarpoje Vilnius – Naujoji Vilnia (I ir II profiliai)

Fig. 2. Sample collection points in the section of Vilnius – N. Vilnia railway (I profile and II profile)

Siekiant kiek įmanoma patikimiau nustatyti sunkiųjų metalų intensyvumą dirvožemyje, mėginiai imami iš paviršinio (0–10 cm) dirvožemio sluoksnio 2 m, 5 m, 10 m, 15 m ir 25 m nuo bėgių abiejose geležinkelio pusėse. Tai sumažino vyraujančių vėjų reikšmę dirvožemio užtaršai. Antrojo profilio ėmimo vieta buvo beveik tokia pačia žemės paviršiaus lygyje kaip geležinkelio sankasa, todėl reljefas neturėjo didesnės reikšmės teršalų sklaidai. Gi tiriant pirmojo taško mėginius teko atkreipti dėmesį ir į reljefo įtaką sunkiųjų metalų pasiskirstymui šlaite. Pirmojo profilio kairiojoje kelio pusėje vyravo mišrusis miškas ir smėlingas dirvožemis, dešiniojoje buvo status šlaitas, kurio viršuje augo krūmai, dirvožemyje dominavo durpės.



3 pav. Mėginių ėmimo vieta Radviliškio geležinkelio stotyje (III profilis)

Fig. 3. Sample collection point in Radviliškis railway station (III profile)

Geležinkelio atkarpoje Panevėžys – Šiauliai mėginiai imti Radviliškio geležinkelio stoties teritorijoje (3 pav.). Pirmasis gyvenamasis namas stovėjo maždaug per 100 m nuo bėgių. Augalijos nebuvo, tad galima teigti, kad didžiąją teršalų dalį sugeria dirvožemis. Visame profilyje vyrauja supiltinis gruntas su žvyro ir smėlio priemaišomis.

Geležinkelio atkarpoje Klaipėda – Kretinga mėginiai buvo imti netoli Melnragės gyvenvietės miško teritorijoje (4 pav.), kur dominavo spygliuočiai. Netoli vyko statybos darbai. Atsižvelgiant į vietovės reljefą ir dirvožemio sudėtį (vyrauja smėlis ir žvyras) tolimiausias taškas pasirinktas 50 m atstumu nuo bėgių.



4 pav. Mėginių ėmimo vieta geležinkelio atkarpoje Klaipėda – Kretinga ties Melnragės gyvenvietė (IV profilis)

Fig. 4. Sample collection point in the section of Klaipėda – Kretinga railway near Melnragė village (IV profile)

Geležinkelio atkarpoje Ignalina – Švenčionėliai mėginiai imti Aukštaitijos nacionaliniame parke, miško teritorijoje netoli Švenčionėlių (5 pav.). Vyravo spygliuočiai medžiai ir smėlingas dirvožemis. Profilį sudarė 12 mėginių iš smėlio. Dešinėje kelio pusėje prieš mišką iškastas 1×1 m dydžio griovys.

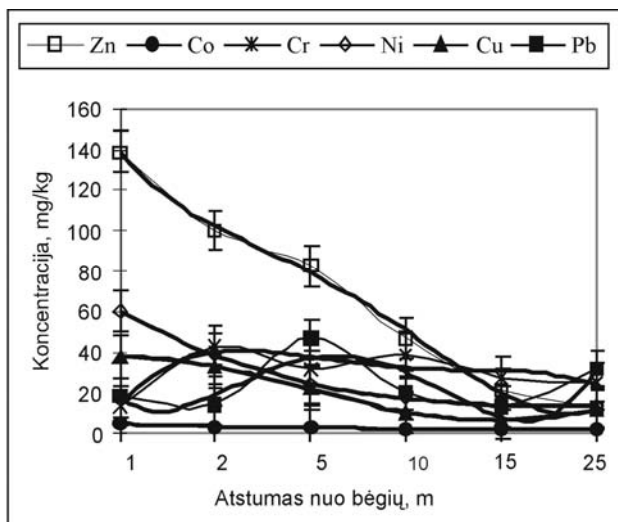


5 pav. Mėginių ėmimo vieta geležinkelio atkarpoje Ignalina – Švenčionėliai (V profilis)

Fig. 5. Sample collection point in the section of Ignalina – Švenčionėliai railway (V profile)

4. Tyrimų rezultatai

I profilis Naujosios Vilnios – Vilniaus geležinkelio ruože pasirinktas per 1 km nuo Naujosios Vilnios geležinkelio viaduko ir kelio į Naująją Vilnią sankirtos. Čia slėnio tipo vietovėje „voko“ principu paimta 13 mėginių. Didžiausios cinko, nikelio ir vario koncentracijos rastos 1,0 m, chromo – 2,0 m, o švino – 5,0 m atstumu nuo bėgių (6 pav.).



6 pav. Sunkiųjų metalų kiekis viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje geležinkelio atkarpoje Vilnius – Naujoji Vilnia (I profilis)

Fig. 6. Amount of heavy metals on the upper boundary of soil (0–10 cm) in the section of Vilnius – N. Vilnia railway (I profile)

Pirmojo profilio tirtų sunkiųjų metalų matematinis įvertinimas ir koreliacinis ryšys R :

$$y_{Cu} = -0,077 4x^4 + 2,010 1x^3 - 13,462x^2 + 22,836x + 26,108, \quad R^2 = 0,998 6;$$

$$y_{Cr} = -0,698 2x^4 + 11,053x^3 - 62,793 x^2 + 147,13x - 80,391, \quad R^2 = 0,800 2;$$

$$y_{Ni} = 0,003 1x^4 - 0,329 6x^3 + 5,843 1x^2 - 37,016x + 91,755, \quad R^2 = 0,999 5;$$

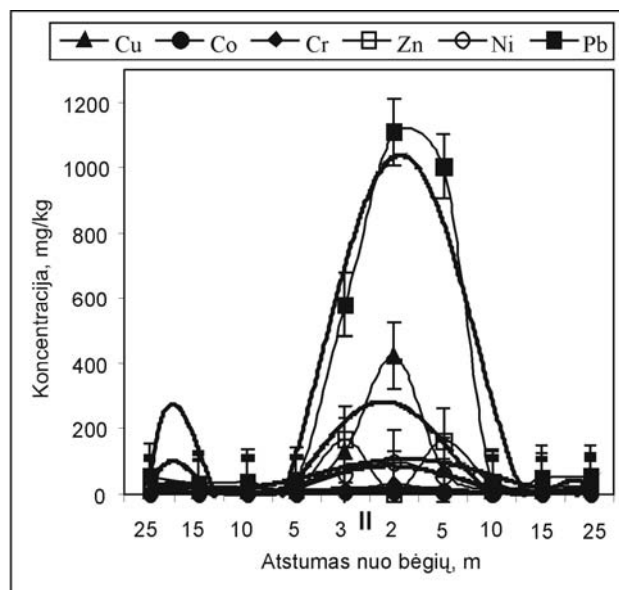
$$y_{Pb} = 2,116 9x^4 - 27,989x^3 + 123,05x^2 - 203,1x + 122,97, \quad R^2 = 0,723 1;$$

$$y_{Co} = 0,013 2x^4 - 0,204 7x^3 + 1,234 7x^2 - 3,844 6x + 7,689 3, \quad R^2 = 1;$$

$$y_{Zn} = 0,915x^4 - 12,265x^3 + 57,376x^2 - 136,36x + 228,65, \quad R^2 = 0,997 4.$$

Koreliacinis koeficientas R rodo tyrimo vietoje gautų duomenų (sunkiųjų metalų koncentracijos) ir jų matematinio apibendrinimo daugianariais tarpusavio sąsają (Koreliacinė analizė... 2008/04).

II profilis tirtas per 1 km nuo Vilniaus geležinkelio stoties ties Pavilnio geležinkelio stotimi, gyvenamajame



7 pav. Sunkiųjų metalų kiekis viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje geležinkelio atkarpoje Vilnius – Naujoji Vilnia (II profilis)

Fig. 7. Amount of heavy metals on the upper boundary of soil (0–10 cm) in the section of Vilnius – N. Vilnia railway (II profile)

rajone prie dirbamų žemių, lygesnėje vietovėje. Čia „voko“ principu paimta 10 mėginių (7 pav.). Šiame profilyje didžiausios visų tirtų sunkiųjų metalų koncentracijos aptiktos kairėje geležinkelio pusėje ne toliau kaip 5 m atstumu nuo bėgių.

Antrajame profilyje tirtų sunkiųjų metalų matematinis įvertinimas ir koreliacinis ryšys R :

$$y_{Pb} = -0,491x^6 + 17,936x^5 - 250,71x^4 + 1 672x^3 - 5 426,1x^2 + 7 913,9x - 3 893,7, \quad R^2 = 0,890 9;$$

$$y_{Cu} = -0,265 8x^6 + 9,088 7x^5 - 119,75x^4 + 760,47x^3 - 2 383,8 x^2 + 3 404,8 x - 1 671,5, \quad R^2 = 0,718 9;$$

$$y_{Ni} = -0,05x^6 + 1,742 9x^5 - 23,371x^4 + 150,52x^3 - 476,46x^2 + 686,88x - 328,36, \quad R^2 = 0,931 4;$$

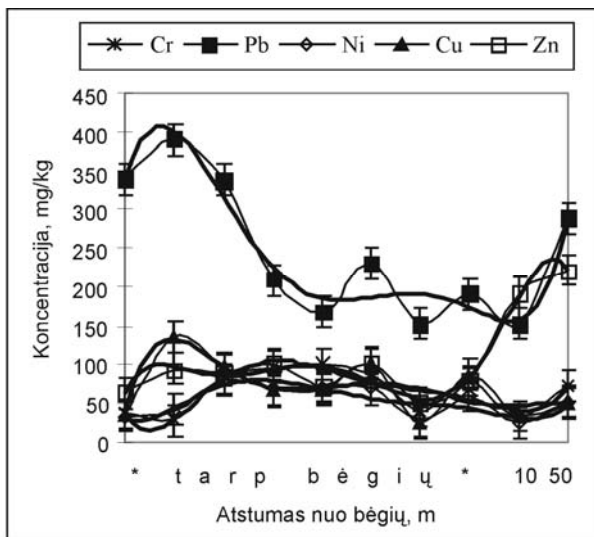
$$y_{Cr} = -0,045 8x^6 + 1,373 8x^5 - 15,885x^4 + 88,899x^3 - 248,09x^2 + 321,81x - 145,9, \quad R^2 = 0,897 5;$$

$$y_{Zn} = -0,059 8x^6 - 1,754 5 x^5 + 20,618x^4 - 124,15x^3 + 395,23 x^2 - 583,15x + 312,89, \quad R^2 = 0,975 6;$$

$$y_{Co} = -0,002 4 x^6 + 0,084 4 x^5 - 1,144 7x^4 + 7,432 3x^3 - 23,649x^2 + 34,258x - 15,561, \quad R^2 = 0,930 3.$$

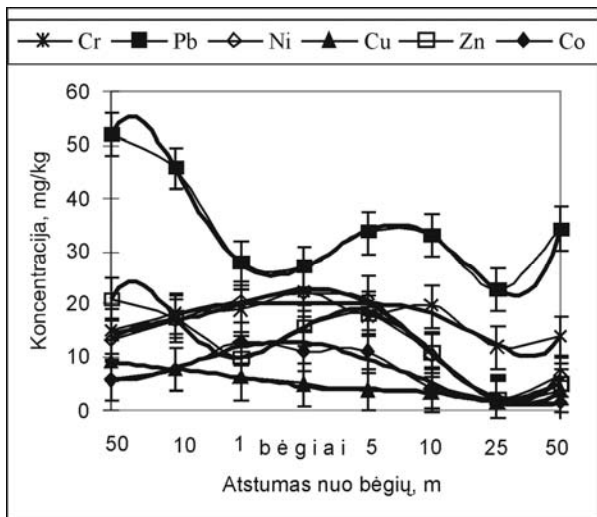
Palyginus duomenis, gautus iš mėginių, imtų slėnio tipo ir lygesnėje vietovėje, pastebėta, kad slėnio tipo vietovėje didžiausios sunkiųjų metalų koncentracijos susikaupusios ne toliau kaip per 5,0 m nuo bėgių, o lygesnio reljefo vietovėje teršalai yra pasklidę iki 15 m nuo bėgių. Slėnio tipo vietovės šlaito viršuje taip pat pastebėtos kiek didesnės sunkiųjų metalų koncentracijos.

III profilis susideda iš 10 mėginių, imtų Radviliškio geležinkelio stoties teritorijoje (8 pav.). 8 iš 10 mėginių imti pačiame taršos šaltinio centre, t. y. tarp bėgių, todėl nenuostabu, kad didžiausios sunkiųjų metalų koncentracijos aptiktos būtent čia. Kiek kitokia cinko koncentracijos pasiskirstymo tendencija, didžiausieji jo kiekiai rasti per 10–50 m atstumu nuo bėgių.



8 pav. Sunkiųjų metalų kiekis viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje Radviliškio geležinkelio stotyje (III profilis)

Fig. 8. Amount of heavy metals on the upper boundary of soil (0–10 cm) in Radviliškis railway station (III profile)



9 pav. Sunkiųjų metalų kiekis viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje geležinkelio atkarpoje Klaipėda – Kretinga (IV profilis)

Fig. 9. Amount of heavy metals on the upper boundary of soil (0–10 cm) in the section of Klaipėda – Kretinga railway (IV profile)

Trečiajame profilyje tirtų sunkiųjų metalų matematinis įvertinimas ir koreliacinis ryšys R :

$$y_{Pb} = 0,011 5x^6 - 0,043 2x^5 - 4,578 6x^4 + 68,27x^3 - 368,61x^2 + 760,07x - 116,61, \quad R^2 = 0,925 6;$$

$$y_{Cu} = -0,039 6x^6 + 1,463 2x^5 - 21,369x^4 + 155,67x^3 - 585,48x^2 + 1 040,6x - 554,42, \quad R^2 = 0,650 2;$$

$$y_{Zn} = -0,074 8x^6 + 2,362 7x^5 - 28,812x^4 + 172,15x^3 - 526,96x^2 + 775,52x - 331,93, \quad R^2 = 0,948;$$

$$y_{Ni} = 0,026 8x^6 - 0,901 7x^5 + 11,892x^4 - 76,987x^3 + 247,43x^2 - 344,79x + 195,21, \quad R^2 = 0,685 8;$$

$$y_{Cr} = 0,037 8x^6 - 1,318 8x^5 + 18,192x^4 - 124,68x^3 + 431,49x^2 - 664,77x + 377,56, \quad R^2 = 0,799 9.$$

IV profilis sudarytas imant bandinius geležinkelio atkarpoje Klaipėda – Kretinga miško teritorijoje netoli Melnragės gyvenvietės (9 pav.). Tolimiausias taškas – per 50 m nuo bėgių. Čia abiejose bėgių pusėse rastos didžiausios švino koncentracijos. Visi kiti cheminiai elementai ir jų didžiausios koncentracijos nustatyta per 1–5 m nuo bėgių ir daugiausia dešiniojoje bėgių pusėje.

Ketvirtajame profilyje tirtų sunkiųjų metalų matematinis įvertinimas ir koreliacinis ryšys R :

$$y_{Ni} = -0,009 9x^6 + 0,300 2x^5 - 3,397 7x^4 + 18,107x^3 - 48,255x^2 + 64,157x - 17,626, \quad R^2 = 0,994 4;$$

$$y_{Pb} = -0,008 2x^6 + 0,412x^5 - 6,542 1x^4 + 46,18 4x^3 - 153,83x^2 + 217,73x - 51,926, \quad R^2 = 0,999;$$

$$y_{Zn} = -0,039 9x^6 + 1,169 8x^5 - 13,303x^4 + 73,775x^3 - 205,31x^2 + 261,93x - 97,373, \quad R^2 = 0,999 6;$$

$$y_{Cr} = 0,015 9x^6 - 0,404x^5 + 4,011 2x^4 - 19,777x^3 + 49,775x^2 - 56,801x + 38,194, \quad R^2 = 0,824;$$

$$y_{Cu} = 0,006 5x^6 - 0,160 2x^5 + 1,520 3x^4 - 7,055 5x^3 + 16,763 x^2 - 20,714x + 18,956, \quad R^2 = 0,996 6;$$

$$y_{Co} = -0,000 3x^6 - 0,003 4x^5 + 0,260 1x^4 - 3,017 4x^3 + 12,788x^2 - 18,782x + 14,555, \quad R^2 = 0,958 2.$$

V profilis imtas geležinkelio atkarpoje Ignalina – Švenčionėliai Aukštaitijos nacionaliniame parke, t. y. miško teritorijoje netoli Švenčionėlių (10 pav.). Kaip įprasta, daugumos sunkiųjų metalų didžiausios koncentracijos aptiktos per 5 m nuo bėgių. Didžiausioji cinko koncentracija – per 10 m nuo bėgių ir kiek didesnė 25 m atstumu nuo bėgių.

Penktajame profilyje tirtų sunkiųjų metalų matematinis įvertinimas ir koreliacinis ryšys R :

$$y_{Zn} = 16,816x^4 - 193,72x^3 + 755,01x^2 - 1 156,4 x + 656,9, \quad R^2 = 1;$$

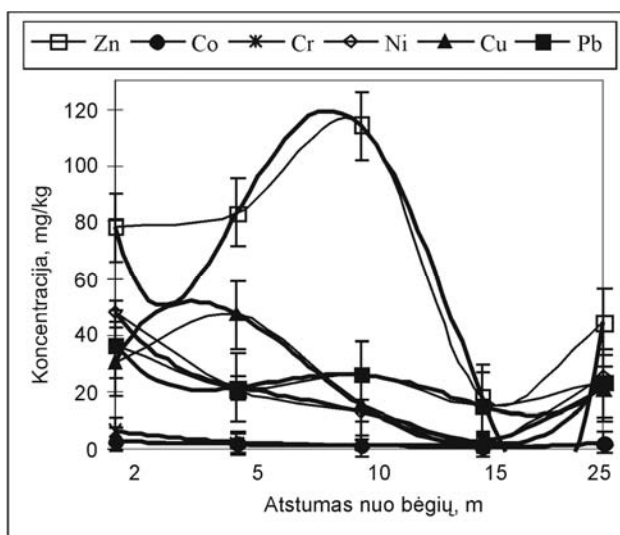
$$y_{Ni} = 2,463 3x^4 - 28,258x^3 + 117,32x^2 - 217,85x + 174,6, \quad R^2 = 1;$$

$$y_{Pb} = 2,883 8x^4 - 34,721x^3 + 146,23x^2 - 254,32x + 176,78, \quad R^2 = 1;$$

$$y_{Cu} = -2,307 9x^4 + 34,254x^3 - 171,86x^2 + 326,9x - 156,05, \\ R^2 = 1;$$

$$y_{Cr} = -0,291 7x^3 + 3,263x^2 - 12,027x + 15,887, \quad R^2 = 1;$$

$$y_{Co} = 0,144 7x^4 - 1,608x^3 + 6,421 3x^2 - 11,426x + 9,58, \\ R^2 = 1.$$



10 pav. Sunkiųjų metalų kiekis viršutiniame (0–10 cm) dirvožemio sluoksnyje geležinkelio atkarpoje Ignalina – Švenčionėliai (V profilis)

Fig. 10. Amount of heavy metals on the upper boundary of soil (0–10 cm) in the section of Ignalina – Švenčionėliai railway (V profile)

Tarp visų penkių profiliuose tirtų sunkiųjų metalų kiekių labai stipri koreliacija. Galima teigti, kad atlikus skaitinių eksperimentinių duomenų apdorojimą rezultatai yra panašūs į rezultatus, gautus chemiškai ištyrus surinktus dirvožemio mėginius.

Taigi intensyvaus transporto srautas iš tirtų sunkiųjų metalų labiausiai padidina švino ir cinko kiekius dirvožemiuose per 50 m atstumu nuo bėgių.

Tirti pakelių dirvožemiai savo fizikinėmis ir cheminėmis savybėmis yra gana panašūs (dominuoja smėlis), o tai turi didelės įtakos juose susikaupusių sunkiųjų metalų koncentracijoms. Smėlyje švinas, cinkas labiausiai kaupiasi viršutiniame 0–10 cm sluoksnyje per 15–50 m atstumu nuo kelio, o chromas ir varis – 5–10 m atstumu nuo bėgių.

Sunkiųjų metalų kaupimasi panašiuose dirvožemiuose lemia daugelis veiksnių: atstumas nuo bėgių, vyraujančių vėjų kryptis, transporto eismo intensyvumas, reljefas, augalija, apsauginės juostos ir kt.

5. Išvados

Išanalizavus gautus rezultatus, vietovės reljefą, dirvožemį bei geležinkelio transporto intensyvumą, galima daryti išvadas:

1. Geležinkelio stočių ties Radviliškiu (Pb junginių koncentracija DLK viršija 1,8 karto) ir Pavilniu (Ni DLK

viršija 1,9 karto, Cu – 1,85 karto, Zn – 1,1 karto) teritorijose dirvožemis dėl intensyvaus antropogeninio poveikio yra praradęs natūraliąją sandarą ir savybes. Šių vietovių dirvožemiai priskiriami užterštų dirvožemių kategorijai. Geležinkelio atkarpos Ignalina – Švenčionėliai dirvožemį galima priskirti mažai užteršto dirvožemio tipui (čia Cu DLK viršija 1,17 karto, Pb – 1,16, foninę koncentraciją viršija beveik visi metalai, išskyrus Cr ir Mn).

2. Atlikus matematinį įvertinimą matyti, kad koreliacinės sąsajos R ribos tarp Lietuvos dirvožemiuose palei geležinkelį aptiktų sunkiųjų metalų kiekių ir tarp skaitinių būdu apdorotų eksperimentinių duomenų yra tokios: Co – 0,9303–1; Zn ir Cr – 0,6275–1; Cu – 0,6502–1; Ni – 0,6858–1; Pb – 0,7231–1.

3. Didžiausi teršalų kiekiai aptikti per 1–5 m nuo bėgių, o ryškiausios migracinės savybės būdingos švinui ir cinkui, nes jų didžiausios koncentracijos rastos net iki 50 m nuo bėgių.

4. Lygesnio tipo reljefe teršalai pasklinda didesniu spinduliu nuo taršos šaltinio, o mažesni sunkiųjų metalų kiekiai rasti lengvesnės granulometrinės sudėties dirvožemiuose.

5. Atsižvelgiant į kiekvieno geležinkelio ruožo reljefą, vyraujančių vėjų kryptis, transporto eismo intensyvumą, augaliją ir pan., apsauginių sanitarinių zonų plotį reikėtų nustatyti diferencijuotai: įdubose ar kituose reljefo pažemėjimuose šios zonos turėtų būti platesnės nei gerai vėjų prapučiamų ruožų atkarpose lygumoje.

6. Siūlytini keli šilumvežių teršalų sklaidimo dirvožemyje sulaikymo būdai:

- pakelių apsodinimas želdiniais, turinčiais kuo geresnių absorbcinių savybių;
- pylimų ir apkasų įrengimas kuo arčiau geležinkelio trasos;
- geležinkelio trasų vedimas kiek galima toliau nuo žmonių gyvenamų teritorijų, ganyklų ir dirbamų žemių.

Literatūra

- Adomaitis, T.; Antanaitis, A. 2001. *Sunkieji metalai Lietuvos dirvožemiuose ir augaluose*. Lietuvos žemdirbystės institutas, Agrocheminių tyrimų centras. Kaunas. 117 p.
- Ašmenskas, J.; Baubinas, A.; Obelenis, V.; Šimkūnienė, P. 1997. *Aplinkos medicina* [Environmental medicine]. Vilnius: Avicena. 481 p.
- Baltrėnas, P.; Kliaugienė, E. 2003. Environmental impact on soil from transport systems in various in Lithuania, in *Urban Transport IX: Urban Transport and Environment in the 21st Century*. Great Britain, IX, 373–382
- Baltrėnas, P.; Vasarevičius, S.; Kliaugienė, E. 2003a. Evaluation of environmental impact by transport systems, in *Transportes Means-2003: Proceedings of the International Conference Kaunas University of Technology, Lithuania, October 23–34, 2003*, 7–11.
- Baltrėnas, P.; Oškinis, V.; Ignatavičius, G.; Kumpienė, J. 2001a. Mechaniniai Lietuvos Kariuomenės centrinio poligono tankodromo dirvožemio pažeidimai ir aplinkos apsaugos gerinimo galimybės, *Aplinkos inžinerija* [Environmental Engineering] 9(2): 103–109.
- Baltrėnas, P.; Ignatavičius, G.; Vaišis, V. 2001b. Pabradės centrinio poligono grunto užterštumo sunkiaisiais metalais

- tyrimai, *Aplinkos inžinerija* [Environmental Engineering] 9(1): 3–8.
- Baltrėnas, P.; Kliaugienė, E.; Jankaitė, A. 2003b. Investigation of biosorbents for oil products and their use advantages, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 11(Suppl 1): 3–10.
- Girgždys, A. 2000. *Aplinkos monitoringas* [Environmental Monitoring]. Vilnius: Technika. 37 p.
- HN 60-1996. *Kenksmingos medžiagos. Didžiausia leidžiama ir laikinai leidžiama koncentracija dirvožemyje*. Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministerija. Vilnius. 23 p.
- Idzelis, R. L.; Greičiūtė, K.; Paliulis, D. 2006. Vandens telkinių taršos sunkiaisiais metalais ir naftos produktais Kairių kairiniame poligone tyrimai ir vertinimas, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 14(4): 183–191.
- Jankaitė, A.; Vasarevičius, S. 2005. Sunkiaisiais metalais užterštų dirvožemių atkūrimo būdai, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(2): 109–113.
- Jankauskaitė, M.; Taraškevičius, R.; Zinkutė, R.; Veteikis, D. 2008. Relationship between landscape self-regulation potential and topsoil additive contamination by trace elements in Vilnius city, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 16(1): 5–14.
- Kadūnas, V.; Budavičius, R.; Gregorauskienė, V.; Katinas, V.; Kliaugienė (Brannvall), E.; Radzevičius, A.; Taraškevičius, R. 1999. *Lietuvos geocheminis atlasas*. Vilnius, 90 p.
- Koreliacinė analizė. Pirsono koreliacijos koeficientas. Statistika*. 8 paskaita, 2 dalis. 2008/04. [Žiūrėta 2008 m.] Prieiga per internetą: <http://tbilev.home.mruni.lt/wp-content/uploads/2008/04/statistika_8_2.ppt#260,5>.
- Mažeikienė, A.; Rimeika, M.; Valentukevičienė, M.; Oškiniš, V.; Paškauskaitė, E.; Brannvall, E. 2005. Removal of petroleum products from water using natural sorbent zeolite, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(4): 187–192.
- Poszyler-Adamska, A.; Czerniak, A. 2007. Biological and chemical indication of roadside acetone zones, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 15(2): 113a–118a.
- Voronkienė, J.; Ignatavičius, G.; Špakauskas, V. 2001. Benzino skvarbos smėlyje tyrimai, *Aplinkos inžinerija* [Environmental Engineering] 9(3): 184–189.
- Балтрėнас, П.; Янкайте, А. 2003. Исследование загрязненности тяжелыми металлами почвы вдоль магистрали ВИА-Балтика, *Экология и промышленность России*, [Baltrėnas, P.; Jankaitė, A. Dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais tyrimai magistralėje Via Baltica, *Rusijos ekologija ir pramonė*] Август: 41–44. Москва.

INVESTIGATION OF SOIL'S CONTAMINATION WITH HEAVY METALS BY RAILWAY TRANSPORT

P. Baltrėnas, P. Vaitiekūnas, Ž. Bačiulytė

Summary

Transport is one of the main factors causing soil pollution, since as much as 75% of the pollution is caused by this group in Lithuania. Lately the term “heavy metals” has been introduced into the science and agricultural literature as well. Heavy metals are classified as a group of chemical elements with the density of more than 5 g/cm³. In simple manner we can find heavy metals not in elements, but the salt or other structure forms. 80 of 100 or more elements can belong to the metal group, and ¾ of them belong to heavy metals’ group. The other metals are biologically important as well, for example cadmium, mercury, lead, zinc, chromium and copper. Soil’ impurity is a serious environment protection problem for the railway system. Railway transport can condition soil’ contamination with oil products or emit a negligible quantity of carcinogen and heavy metals into the ground.

The prove the thesis, the experimental research has been carried out in the following railway sections: Vilnius – N. Vilnia (Pavilnio regional park), Ignalina – Švenčionėliai in the territory of Aukštaitijos regional park, in Radviliškis town and one in Melnragė village. Soil from the railway stations near Radviliškis (Pb compounds biggest allowable concentration overrun 1,8 times) and Pavilnys (Ni biggest allowable concentration overrun 1,9 times, Cu – 1,85 and Zn – 1,1 times) has lost its natural structure as the result of intensive anthropogenesis effect. Therefore, the soil from these places belongs to impure soil categories. Soil from Ignalina – Švenčionėliai railroad section is low impurity soil (biggest allowable concentration of Cu and Pb is overrun by 1,17 for Cu and by 1,16 times for Pb. Background concentration is overrun for almost all heavy metals’, except Cr and Mn).

Keywords: heavy metals, railway transport, soil’s impurity, ground, samples.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

П. Балтрėнас, П. Вайтекунас, Ж. Бачюлите

Резюме

Одним из основных загрязнителей почвы является транспорт. К этой группе в Литве относят 75% загрязнителей. В последнее время в научной и сельскохозяйственной литературе появился термин „тяжелые металлы“. Это группа химических элементов, плотность которых превышает 5 г/см³. Обычно тяжелые металлы встречаются не в виде элементов, а в виде солей и других соединений. Из 100 и более элементов примерно 80 можно отнести к металлам, а ¾ из них – к тяжелым металлам. Биологически важными и наиболее исследованными являются кадмий, ртуть, свинец, цинк, хром и медь. Загрязнение почвы – важная проблема железнодорожной системы по охране природы. Железнодорожная деятельность может способствовать загрязнению нефтяными продуктами, небольшим количеством канцерогенов, происходящие процессы в которых в большой мере способны влиять на

другие компоненты литосферы (аэрационные зоны, подземные воды), растительность и условия проживания людей.

Исследования производились на отрезках железной дороги Вильнюс–Н. Вильня (территория парка района Павлиньнис); Игналина–Швенченелай; в городе Радвилишкис и недалеко от города Мелнраге. Почва около железнодорожных вокзалов Радвилишкиса, где содержание Pb в 1,8 раза превышает верхнюю допустимую величину концентрации, и Павлиньниса, где содержание Ni в 1,9 раза, Cu – в 1,85 раза и Zn – в 1,1 раза превышает верхнюю допустимую величину концентрации, утратила естественную структуру из-за интенсивного антропогенного влияния. Почва у этих мест подвержена смешиванию категорий почв. Почва у железной дороги Игналина–Швенченелай менее смешанна. Там Cu в 1,17 раза и Pb в 1,16 раза превышают предельно допустимую величину концентрации. Фоновую концентрацию превышают почти все тяжелые металлы за исключением Cr и Mn.

Ключевые слова: тяжелые металлы, железнодорожный транспорт, загрязнение почвы, грунт, проба.

Pranas BALTRĖNAS. Dr Habil, Prof. and Head of Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Doctor Habil of Science (air pollution), Leningrad Civil Engineering Institute (Russia), 1989. Doctor of Science (air pollution) Ivanov Textile Institute (Russia), 1975. Employment: Professor (1990), Associate Professor (1985), senior lecturer (1975), Vilnius Civil Engineering Institute (VISI, now VGTU). Publications: author of 13 monographs, 24 study-guides, over 320 research papers and 67 inventions. Honorary awards and membership: prize-winner of the Republic of Lithuania (1994), a corresponding Member of the Ukrainian Academy of Technological Cybernetics, a full Member of International Academy of Ecology and Life Protection. Probation in Germany and Finland.

Research interests: air pollution, pollutant properties, pollution control equipment and methods.

Petras VAITIEKŪNAS. Dr Habil, Prof. of Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU).

Doctor Habil of Science (energy and thermal engineering) Lithuanian Energy Institute, 1989. Doctor of Science Laboratory of Fluid Dynamics in Heat Exchangers Lithuanian Energy Institute, 1972. Employment: Professor (2002), Associate Professor (1997). Publications: author of 1 monograph, 2 educational books, over 230 research papers.

Membership: prize-winner of the Republic of Lithuania (2006), a corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Protection. Research interests: hydrodynamics, convective heat and mass transfer and thermophysics, computational fluid dynamics, mathematical modeling of transfer processes in the environment.

Živilė BAČIULYTĖ. Master student of Dept of Environmental Protection, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU). Bachelor of Sciences (environmental engineering), VGTU. Research interests: environmental protection.