

## SUNKIŪJŲ METALŲ SĄVEIKOS SU DIRVOŽEMIO MIKROORGANIZMAIS LITERATŪROS APŽVALGA

Vaida PALIULIENĖ\*, Saulius VASAREVIČIUS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Aplinkos inžinerijos fakultetas,  
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra, Vilnius, Lietuva  
\*El. paštas [vaida.paliuliene@stud.vilniustech.lt](mailto:vaida.paliuliene@stud.vilniustech.lt)*

Gauta 2024 m. kovo 4 d.; priimta 2024 m. kovo 18 d.

**Santrauka.** Žmonių veikla (pramonė, žemės ūkis, kasyba, sąvartynai) susijusi su dirvožemio tarša sunkiaisiais metalais. Ši tarša neigiamai veikia visus gyvus organizmus, įskaitant ir dirvožemio mikroorganizmus. Esant nedidelei sunkiųjų metalų koncentracijai dirvožemio mikroorganizmai gali pašalinti juos. Darbo tikslas: išanalizuoti sunkiųjų metalų sąveiką su dirvožemio mikroorganizmais remiantis pateiktais moksliniais straipsniais. Tiriamas dirvožemio užterštumas įvairiais sunkiaisiais metalais, bet daugiausiai analizuojami kadmis, varis, švinas. Moksliniuose straipsniuose daugiausiai atliekami fitoremediacijos tyrimai, skirti ištirti ryšius tarp sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmų naudojant augalus. Taip pat tyrimai atliekami naudojant dirvožemį, užterštą vykdančią antropogeninę veiklą. Literatūroje aprašomi su sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio tyrimai, kurie atskleidžia mikroorganizmų panaudojimo galimybes bei jų pokyčius laikui bėgant.

**Reikšminiai žodžiai:** dirvožemio užterštumas, mikroorganizmai, sunkieji metalai.

### 1. Įvadas

Dirvožemio taršą sunkiaisiais metalais sukelia žmogaus veikla (Hou et al., 2020; Narayanan & Ma, 2022). Virš 20 milijonų hektarų pasaulio žemės užteršta sunkiaisiais metalais (Jiang et al., 2023). Sunkieji metalai yra labai toksiški ir paplitę aplinkos teršalai, keliantys potencialią grėsmę aplinkai (Shan et al., 2023). Dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais gali būti žalingas gyvūnams, augalams, žmonėms ir pakeisti arba neigiamai paveikti dirvožemio mikroorganizmus (Li et al., 2024b). Metalų toksinis poveikis gyviems organizmams atsiranda net esant mažoms koncentracijoms, todėl yra poreikis šiuos metalus pašalinti iš aplinkos (Chi et al., 2024). Dirvožemyje esantys mikroorganizmai geba apvalyti nuo sunkiųjų metalų, tačiau jei šių metalų koncentracija yra didelė, tada mikroorganizmai nebepajėgia to padaryti. Sunkieji metalai sutrikdo ekologinę dirvožemio pusiausvyrą, nes žūsta mikroorganizmai ir būna prarandamas dirvožemio derlingumas (Lin et al., 2022).

Sąveiką tarp sunkiųjų metalų koncentracijos ir mikroorganizmų veikia įvairūs veiksniai, pavyzdžiui: pH, azoto (N), fosforo (P) ir kalio (K) kiekis dirvožemyje

(Chen et al., 2020; Guo et al., 2021) ir organinių medžiagų sudėtis (Kou et al., 2023). Sunkieji metalai susiję su dirvožemio mikroorganizmais ir dirvožemyje vykstančiais procesais, tokiais kaip dirvožemio biologinės pusiausvyros sutrikdymas ir jo degradavimas. Sunkiųjų metalų poveikis mikroorganizmams priklauso nuo dirvožemio pH, organinių ir mineralinių koloidų kiekio, taip pat nuo sunkiųjų metalų rūšies ir jų cheminių savybių (Yang et al., 2020). Li su bendraautorais (2024a) nustatė, kad didelė sunkiųjų metalų koncentracija keičia mikroorganizmų prisitaikymą prie užterštos aplinkos, paveikdama mikroorganizmų taksonų simbiozės intensyvumą ir abipusiškumą.

Darbo tikslas: išanalizuoti sunkiųjų metalų sąveiką su dirvožemio mikroorganizmais remiantis pateiktais moksliniais straipsniais.

### 2. Literatūros apžvalga

Sunkieji metalai gali būti apibrėžiami pagal jų fizines savybes, toksiškumą gyviems organizmams ir cheminę reaktyvumą (Sakin et al., 2024). Jie gali susidaryti iš natūralių (gamtos) ir antropogeninių šaltinių. Antropogeninė

veikla yra labai svarbi teršiant dirvožemį sunkiaisiais metalais, pvz., pramonės, kasybos ir žemės ūkio veiklos, nes kasybos atliekose, nuotekų dumble, neorganinėse trąšose ir pesticiduose esantys metalai yra linkę trikdyti dirvožemio mikroorganizmus, prasiskverbdami į dirvožemio aplinką (Cai et al., 2024).

Dirvožemyje esantys mikroorganizmai (grybai, bakterijos) gamina tam tikras medžiagas, kurios turi įtakos sunkiųjų metalų judumui ir biologiniam prieinamumui augaluose, tirpindamos metalų fosfatus, išlaisvindamos chelatininius agentus ir sukeldamos redokso pokyčius bei rūgštėjimą (Zeng et al., 2020). Nustatytos reikšmingos koreliacijos tarp dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais ir mikroorganizmų gausos bei įvairovės pokyčio (Qi et al., 2022). Moksliniais tyrimais nustatytas teigiamas ryšys tarp augalų rizosferos bendrijų įvairovės ir ekosistemų funkcionalumo (He et al., 2024). Augalai daugiausiai sugeria sunkiuosius metalus iš dirvožemio šaknų sistemos per jonų mainus, redokso reakcijas arba tirpimo ir nusodinimo būdu (Li et al., 2024a). Mikroorganizmai yra pagrindiniai azoto, sieros ir fosforo ciklų bei organinių liekanų skilimo dalyviai, kurie susiję su dirvožemio mityba ir aktyvumu (Xiang et al., 2024).

Dauguma mikroorganizmų yra slopinami arba miršta dėl slopinančio ir toksiško teršalų poveikio, leidžiant išgyventi tik dominuojančiai populiacijai. Pavyzdžiui, sunkiųjų metalų kiekis dirvožemyje netoli lydyklos Baiyin mieste Kinijos Gansu provincijoje pasiekė aukštą lygį (326 mg/kg), kuris sumažino *proteobakterijų* ir *acidobakterijų* gausą, tačiau padidino *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Deinococcus-Thermus* ir *Chloroflexi* dalį (Zeng et al., 2020).

Dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais atsiranda dėl antropogeninės veiklos.

### 3. Metodas

Šiame darbe taikyta mokslinės literatūros apžvalga. Išanalizuoti moksliniai straipsniai, susiję su sunkiaisiais metalais ir dirvožemio mikroorganizmais. Naudota visiems prieinama *google scholar* paieškos naršyklė. Pasirinkta visiems prieinama priemonė ieškant mokslinių straipsnių, taip siekta išsiaiškinti, kiek galima laisvai surasti naujausių mokslinių straipsnių, susijusių su šia tema. Vartotas raktinis angliškas žodžių junginys *heavy metals and soil microbes*. Taip pat pasirinktas filtravimo kriterijus – ne senesni moksliniai straipsniai, kurie publikuoti 2024 metais.

### 4. Mokslinės literatūros apžvalgos rezultatai

Mokslinės literatūros analizės metu išsiaiškinta, kad pagal raktinių žodžių junginį straipsnių, susijusių su

sunkiųjų metalų sąveika ir dirvožemio mikroorganizmais, parašyta daugiausiai apie Kinijos šalyje (pvz., Chi et al., 2024; Li et al., 2024a, 2024b; Sun et al., 2024; Wen et al., 2024) kilusias dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais problemas. 1 lentelėje pateikta mokslinių straipsnių analizė.

Išanalizuota 17 straipsnių, susijusių su sunkiaisiais metalais ir dirvožemio mikroorganizmais. Mokslinės literatūros analizės metu išsiaiškinta, kad daugiausiai analizuojami sunkieji metai yra Cu, Cd ir Pb. Keturiuose straipsniuose analizuojamas vienas sunkusis metalas (Cd) ir jo poveikis dirvožemiui. Trijuose straipsniuose analizuojama po tris sunkiuosius metalus. Dviuose straipsniuose analizuoti keturi sunkieji metalai, o šešiuose – penki ar daugiau sunkiųjų metalų. Tai rodo mokslininkų įsigilinimo poreikį į skirtingų sunkiųjų metalų poveikį dirvožemiui ir galimas valymo galimybes.

Sakin su bendraautorais (2024) išsiaiškino, kad fermentų aktyvumas gali mažėti dėl didelės sunkiųjų metalų koncentracijos. Li ir kiti (2024b) įvertino vaisių *Amomum villosum Lour* užterštumą sunkiaisiais metalais Pietų Kinijos plantacijose ir nustatė dirvožemio, grybų ir augalų sąveiką. Wen su bendraautorais (2024) savo darbe rašė apie sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmų geochemines savybes revegetacijos procese tiriant Pb ir Zn. Liu ir kiti (2024) rašė apie kadmiui, chromui atsparių padermių atranką ir sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio valymą naudojant mikroorganizmus. Huang su bendraautorais (2024) pateikė darbą apie sunkiesiems metalams atsparios bakterijos *Bacillus cereus BCS1* galimybes skaidyti piretroidą dirvožemyje. Ghosh su bendraautorais (2024) tyrė kasyklų, užterštų sunkiaisiais metalais, ir metalų frakcijos poveikį ryšiams, grūdams užterštame dirvožemyje. He ir kiti (2024) atliko tyrimą apie retus dirvožemio mikroorganizmus, kurie tarpininkavo įsisavinant kadmį augaluose, ir nustatė pagrindinį protistų vaidmenį. Sun su bendraautorais (2024) pateikė straipsnį apie anglimi kūrenamų elektrinių poveikį dirvožemio mikroorganizmų įvairovei. Cai ir kiti (2024) įvertino sąvartynuose sunkiųjų metalų taršos, fizinį, cheminį poveikį dirvožemio mikroorganizmams. Nepal su bendraautorais (2024) įvertino kopūstų galimybes pašalinti sunkiuosius metalus iš dirvožemio. Chi su bendraautorais (2024) tyrė *Bassica juncea L.* poveikį ir kadmiu užterštą dirvožemį. Li ir kiti (2024) taip pat pateikė straipsnį apie kadmį Rytų Kinijos dirvožemyje. Wanas su bendraautorais (2024) aiškino taip pat apie kadmį, kuris randamas žemės ūkio dirvožemyje. Išsiaiškinta ekologinė rizika, susijusi su pakitusių mikroorganizmų funkcijomis, kai užterštas Cd dirvožemis (Li et al., 2024a). Usako žemės ūkio dirvožemio užterštumą sunkiaisiais metalais analizavo Yildiz ir Ozkul (2024) (žr. 1 lentelę).

1 lentelė. Moksliniai straipsniai, susiję su *heavy metals and soil microbes*

| Darbo tikslas  | Tyrimo rezultatai   | Tirti sunkieji metalai         | Straipsnio autoriai |
|--|---|--------------------------------|---------------------|
| Ištirta fermentų aktyvumo, mikroorganizmų biomasės anglies ir CO <sub>2</sub> sąveika sunkiaisiais metalais pagal skirtingą žemės naudojimo paskirtį dirvožemio kokybės ir tvarumo požiūriu.   | Yra statistškai reikšminga teigiama koreliacija tarp dehidrogenazės fermentų aktyvumo ir Mn, Pb, Cd ir Co, o tarp Cr ji buvo neigiama. Nustatyta teigiama koreliacija tarp katalazės fermento aktyvumo ir Mn bei Pb bei tarp ureazės ir Co.   | Mn, Pb, Co, Cr                 | Sakin et al. (2024) |
| Įvertintas sunkiųjų metalų kaupimasis <i>A. villosum</i> vaisiuose iš skirtingų auginimo vietovių (plantacijų) ir ištirtas pavojus sveikatai ir dirvožemio, mikroorganizmų bei augalų reguliavimas.                                      | Cr ir Mn buvo labiausiai teršiantys elementai. Visų tirtų sunkiųjų metalų kaupimasis <i>A. villosum</i> vaisiuose buvo nežymus. Sunkiųjų metalų kiekį <i>A. villosum</i> vaisiuose netiesiogiai paveikė dirvožemio sunkieji metalai, reguliuodami mikroorganizmų bendruomenę.   | Hg, As, Cd, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn | Li et al. (2024b)   |
| Tirtas sunkiųjų metalų erdvinis pasiskirstymas, taip pat lemiamas dirvožemio mikroorganizmų bendruomenės vaidmuo per trejus metus trukusią gamybos Pb-Zn atliekų revegetaciją šiaurinėje Guangdongo provincijoje, Kinijoje.              | Užsitęsios atliekų atsargos padidino Pb užterštumą, padidindamos koncentracijas (nuo 10,11 iki 11,53 g/kg) esant ilgalaikiam atmosferos poveikiui. Tačiau revegetacija veiksmingai sumažino Pb, sumažinama jo koncentraciją 9,81 g/kg revegetacijos procese.  | Pb, Zn                         | Wen et al. (2024)   |
| Šis tyrimas apėmė dviejų kadmiumi (Cd) ir chromiu (Cr) atsparių mikroorganizmų padermių, identifikuotų kaip <i>Staphylococcus cohnii</i> LI-N1 ir <i>Bacillus cereus</i> CKN12, išskiriamą iš sunkiaisiais metalais užteršto dirvožemio. | Adsorbcijos greitis sumažėjo Cr <sup>6+</sup> 24,4 % ir Cd 6,43 % naudojant <i>S. cohnii</i> LI-N1 per 5 dienų laikotarpį. <i>B. cereus</i> padermė CKN12 parodė visišką Cr <sup>6+</sup> sumažėjimą per 48 h intervalą, nors per 120 h laikotarpį buvo įrodytas 57,3 % Cd adsorbcijos pajėgumas. Visi rezultatai priklauso nuo pH, temperatūros, drebinimo greičio, sėjimo kultūros. | Cd, Cr                         | Liu et al. (2024)   |
| Išskirta bakterijų padermė, kuri veiksmingai skaido piretroidus net esant abiotiniams įtempiams, susijusiems su sunkiaisiais metalais ir biotiniams įtempiams su autochtoniniais veiksniais.   | <i>Bacillus cereus</i> BCS1 gali efektyviai suskaidyti piretroidus ir pasižymi nepaprastu atsparumu aplinkos stresui.   | Pb, Cr ir Cd                   | Huang et al. (2024) |
| Įvertintas įvairių metalų frakcijų poveikis įsisavinimui ryžiuose, dirvožemio mikroorganizmams ir biocheminėms savybėms žėručio atliekomis užterštame dirvožemyje Jharkhande, Indijoje.  | Ni, Cr, Cd ir Pb ryžių grūduose buvo atitinkamai 0,83±0,41, 0,41±0,19, 0,21±0,14 ir 0,17±0,08 mg/kg. Iš atsitiktinio algoritmo kintamos svarbos grafiko Ni, Cr ir Cd Ws frakcija ir Pb Ex frakcija buvo svarbiausias ryžių grūdų metalo kiekio prognozės rodiklis.  | Ni, Cr, Cd ir Pb               | Ghosh et al. (2024) |
| Ištirtas poveikis integruotam rizosferos mikrobiomui, įskaitant bakterijas, grybus, augalų kadmio įsisavinimui.  | Rezultatai atskleidė galimą retų mikroorganizmų, ypač protistų, reikšmę Cd užteršto dirvožemio fitoekstrakcijai, nes jie atlieka pagrindinį vaidmenį mikroorganizmų maisto tinkle.  | Cd                             | He et al. (2024)    |
| Rytų Kinijoje ištirta (anglimi kūrenamų elektrinių dirvožemis) mikrobu įvairovė ir bendruomenės struktūros taikant didelio našumo sekos nustatymo metodą.  | Anglies krovimas reikšmingai padidino ( $p < 0,05$ ) bendrosios anglies, bendrojo azoto, bendrosios sieros ir Mo kiekį dirvožemyje, o atmosferos teršalų nusėdimas padidino Cu, Zn ir Pb kiekį.   | Cu, Zn, Pb                     | Sun et al. (2024)   |
| Ištirtos fizikinės ir cheminės savybės, šešių metalų (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr ir Mn) cheminės frakcijos ir dirvožemio mikroorganizmų bendrijos aplink tipinį sanitarinį sąvartyną.  | Cu, Pb, Cr ir Mn buvo kaupiami netoliese esančiose dirbamose žemėse. Cd turėjo didžiausią keičiamos frakcijos procentą (33,7–51,8 %) sąvartynų ir dirbamos žemės dirvožemyje. Sąvartynas gali paveikti dirvožemio grybų, bakterijų bendruomenes.  | Cu, Zn, Pb, Cd, Cr ir Mn       | Cai et al. (2024)   |
| Įvertintas 5 dirvožemio pakeitimų poveikis trijų kopūstų veislių ( <i>Capture</i> , <i>Primo vantage</i> ir <i>Tiara</i> ) derliui, kokybei ir Cd, Cu, Ni, Pb ir Zn kaupimasis kopūstų galvose.  | Kopūstai yra geri Cu, Cd, Ni ir Zn kaupikliai, todėl jie gali būti naudojami sunkiųjų metalų fitoremediacijai.  | Cd, CuNi, Pb, Zn               | Nepal et al. (2024) |
| Ištirtas tarpinio kukurūzų pasėlių su <i>Brassica juncea</i> L. poveikis rizosferos mikroekologinėms savybėms, augalų augimui ir kadmio kaupimuisi.  | Kukurūzų tarpinė su <i>Brassica juncea</i> L. gali būti perspektyvus fitoremediacijos būdas, nesumažinant pasėlių derliaus Cd užterštoje dirvoje.   | Cd                             | Chi et al. (2024)   |
| Ištirtas bakterijų bendruomenės ir mikrobu ekologinių funkcijų atsakas į Cd užterštumą Rytų Kinijos dirvožemyje.   | Cd tarša žymiai pakeitė bakterijų alfa ir beta įvairovę. Išsiaiškinta ekologinė rizika, susijusi su pakitusių mikroorganizmų funkcijomis, kai užteršta Cd dirvožemis.   | Cd                             | Li et al. (2024a)   |

1 lentelės pabaiga

| Darbo tikslas  | Tyrimo rezultatai   | Tirti sunkieji metalai | Straipsnio autoriai     |
|--|---|------------------------|-------------------------|
| Įvertinti žemės ūkio dirvožemio šaltiniai, įtaką darantys veiksniai, atkūrimo strategijos, susijusios su sunkiaisiais metalais.  | Dirvožemio pakaitalai, tokie kaip kalkės, veiksmingai imobilizuoja Cd rūgščiame dirvožemyje, tačiau turi ribotą poveikį šarminiam ir neutraliam dirvožemiui.  | Cd                     | Wan et al. (2024)       |
| Įvertinti 48 žemės ūkio paskirties dirvožemio mėginiai, As, Cu, Hg, Ni ir Pb koncentracijos bei fizikinės ir cheminės savybės, siekiant nustatyti galimą ekologinę riziką ir jų šaltinius, Usak mieste, vakarų Turkijoje.                | Sunkiųjų metalų koncentracija svyravo nuo 4 iki 61 mg/kg As, 8–48 mg/kg Cu, 0,01–0,06 mg/kg Hg, 30–813 mg/kg Ni ir 4–30 mg/kg Pb. Pramoninė veikla ir per didelis trąšų, pesticidų, fungicidų ir herbicidų naudojimas pagrindiniai rodikliai.   | As, Cu, Ni, Pb, Hg     | Yildiz & Ozkul (2024)   |
| Nustatytas ryšys tarp dirvožemio sunkiųjų metalų kaupimosi ir įvairios antropogeninės veiklos, buvo sukurtas hibridinis modelis dirvožemio sunkiųjų metalų koncentracijai prognozuoti.   | Įvairios antropogeninės veiklos buvo pagrindinė dirvožemio sunkiųjų metalų kaupimosi priežastis (Ni (100 %) = Cu (100 %) > As (98,73 %) > Zn (95,50 %) > Pb (94,90 %)).   | Ni, Cu, As, Zn, Pb     | Wang et al. (2024)      |
| Ištirtas atmosferoje nusėdusių sunkiųjų metalų (Cu, Cd ir Pb) poveikis mobilumui ir biologiniam prieinamumui dirvožemyje su kalkėmis ir be jų.   | Atmosferoje nusėdę sunkieji metalai gali žymiai padidinti jų biologiškai prieinamą koncentraciją dirvos arimo horizonte ir apriboti dirvožemio pakeitimų poveikį sunkiųjų metalų imobilizacijai, taip padidindami pasėlių pasisavinimo riziką.  | Cu, Cd ir Pb           | Cui et al. (2024)       |
| Ištirti Pb ir Cd koncentracijų pokyčiai požeminiame vandenyje ir specifiniuose dirvožemio sluoksniuose, apimančiuose viršutinį sluoksnį (10–20 cm), vidurinį sluoksnį (50–60 cm) ir apatinį sluoksnį (90–100 cm) visoje Bandung Regency. | Pb ir Cd buvo aptikti visose Bandung Regency dirvožemio mėginiuose vietose, kai vertės viršijo kritinį tašką keliose vietose (Cd viršijo 97 proc., o Pb 3 proc. normas). Abu metalai randami gausiai, ypač didelėmis koncentracijomis Majalaya subrajone, kuris yra pramoninis rajonas (tekstilės pramonė). | Pb, Cd                 | Anggraeni et al. (2024) |

Apie atmosferos nusėdimo įtaką sunkiųjų metalų mobilizacijai ir biologiniam prieinamumui dirvožemyje aiškinosi Cui ir kiti (2024). Anggraeni su bendraautoriais (2024) analizavo Indonezijos sunkiųjų metalų poveikį. Wang su bendraautoriais (2024) nustatė ryšį tarp sunkiųjų metalų kaupimosi ir antropogeninės veiklos (žr. 1 lentelę). Galima pritarti paskutinių mokslininkų minčiai, kad sunkiųjų metalų kaupimasis dirvožemyje priklauso nuo antropogeninės veiklos, nes daugelyje straipsnių analizuoti taršos šaltiniai buvo sąvartynai, kasyklos, pramonės rajonai, žemės ūkis.

## 5. Diskusija

Mokslinės literatūros analizės metu nustatyta, kad nemažai tyrimų buvo atlikti naudojant augalus siekiant išsiaiškinti metalų poveikį dirvožemiui ir patiems augalams. Su šaknimis susiję mikroorganizmai sudaro ekologinį sąveikos tinklą, tačiau dėl retų rūšių praradimo dirvožemyje gali pasikeisti rizosferos mikroorganizmų bendruomenių sudėtis, dėl to pasikeis mikroorganizmų sąveikos modeliai (He et al., 2024). Li su bendraautoriais (2024b) ištyrė, kad sunkiųjų metalų kaupimasis *A. villosum* vaisiuose buvo neįreikšmingas ir jokio tikėtino pavojaus žmonių sveikatai nenustatyta. He su bendraautoriais (2024) nustatė, kad protistų ir bakterijų įvairovė bei kartu pasitaikantis protistų ir grybų tinklo ryšys labiausiai

prisidėjo prie augalų Cd įsisavinimo ir augimo (He et al., 2024). Augalai kaupia sunkiuosius metalus (pvz., kopūstai) iš dirvožemio skirtingais lygiais, priklausomai nuo augalų rūšies ir genotipo toje pačioje rūšyje, dirvožemio pH ir organinių medžiagų kiekio (Nepal et al., 2024). Žemas dirvožemio pH padidino turimą Cd tarpšėliuose *Brassica juncea L. rhizosphere* (Chi et al., 2024). Mažai metalo turinčių veislių sodinimas siūlomas kaip praktiškas būdas tvarkyti mažai ar vidutiniškai sunkiaisiais metalais užterštos žemės ūkio paskirties žemę (Wan et al., 2024).

Taip pat pastebėta tendencija, jog moksliniuose straipsniuose tirtas antropogeninės veiklos metu užterštas dirvožemis. Li su bendraautoriais (2024b) tyrė dirbamos žemės dirvožemį ir nustatė pagrindinius sunkiuosius metalus, teršiančius dirvožemį, tai Cr ir Mn. Ghosh su bendraautoriais (2024) tyrė veikiančių kasyklų dirvožemį ir užterštumą Ni, Cd, Cr ir Pb. Kito tyrimo metu užsienio mokslininkai išsiaiškino, kaip geriau suprasti ryšį tarp dirvožemio mikroorganizmų bendruomenių ir anglimi kūrenamų elektrinių ilgalaikio poveikio (Sun et al., 2024). Cai su bendraautoriais (2024) tyrė dirvožemį aplink sąvartyną ir išsiaiškino, kad Cr buvo dominuojantis metalas. Spalvotosios metalurgijos pramonės taršos dirvožemyje dažnai susikaupia itin didelės įvairių rūšių sunkiųjų metalų koncentracijos (Liu et al., 2021). Wan su bendraautoriais (2024) tyrė žemės ūkio

paskirties dirvožemį. Pramoninė veikla ir per didelis trąšų, pesticidų, fungicidų ir herbicidų naudojimas buvo nustatyti kaip pagrindiniai Usako žemės ūkio dirvožemio užterštumo sunkiaisiais metalais šaltiniai (Yildiz & Ozkul, 2024). Wang su bendraautoriais (2024) išsiaiškino, kad Kinijos pramoniniuose rajonuose yra padidėjęs dirvožemio užterštumas sunkiaisiais metalais, tokį patį užterštumą nustatė ir Anggraeni su bendraautoriais (2024) Majalaya subrajone (pramoninis rajonas).

Mokslinių darbų autoriai aprašė tyrimus, susijusius su sunkiaisiais metalais užterštais dirvožemiais ir mikroorganizmų panaudojimo galimybėmis ar pokyčiais. Manoma, kad didelis molio kiekis dirvožemyje sumažina kai kuriuos neigiamus sunkiųjų metalų poveikius fermentams (Sakin et al., 2024). Wen su bendraautoriais (2024) savo tyrime pateikė esminę sunkiųjų metalų užterštumo ir mikroorganizmų bendruomenės dinamiką (Pb-Zn atliekų revegetacijos metu). Bendras dviejų bakterijų naudojimas gali veiksmingai padėti atkurti tropinius dirvožemius, užterštus Cd ir Cr (Liu et al., 2024). *Bacillus cereus* BCS1 efektyviai suardė 84 %  $\beta$ -cipermetrino ( $\beta$ -CP) net ir veikiant įvairioms švino (10–1000 mg·L<sup>-1</sup>), taip pat chromo (10–1000 mg·L<sup>-1</sup>) arba kadmio (0,5–50 mg·L<sup>-1</sup>) koncentracijoms (Huang et al., 2024).

Užsienio mokslininkai išsiaiškino, kaip geriau suprasti ryšį tarp dirvožemio mikroorganizmų bendruomenių ir ilgalaikių anglimi kūrenamų elektrinių trikdžių (Sun et al., 2024). Pb, Cr ir Mn daugiausia egzistavo oksiduojamoje frakcijoje, o Cu ir Zn vyravo likutinėje frakcijoje. *Actinobacteria*, *Proteobacteria*, *Chloroflexi* ir *Acidobacteria* buvo dominuojančios bakterijos, o gausiausia grybų – *Ascomycota* (Cai et al., 2024).

Dėl dirvožemio tipų ir taršos šaltinių įvairovės bei sunkiųjų metalų erdvinės kaitos dirvožemiuose nevie-nalytiškumo mokslinių darbų autoriai pasirenka tirti skirtingai užterštus dirvožemius skirtingais sunkiaisiais metalais.

## 6. Išvados

1. Išanalizavę 2024 metų mokslinius straipsnius, susijusius su sunkiųjų metalų ir dirvožemio mikroorganizmais, mokslininkai skirtingai pasirenka tirti sunkiuosius metalus dirvožemyje, tačiau dažniausiai buvo tiriami kadmio, varis, švinas.
2. Moksliniuose straipsniuose daugiausiai pateikiami fitoremediacijos tyrimai naudojant augalus. Taip pat tyrimams naudojamas antropogeninės veiklos užterštas dirvožemis. Aprašyti tyrimai susiję su sunkiaisiais metalais užterštais dirvožemiais ir mikroorganizmų panaudojimo galimybėmis bei jų pokyčiais laikui bėgant.

## Literatūra

- Anggraeni, D., Oginawati, K., Fahimah, N., Salami, I. R. S., Absari, H. R., Mukhaiyar, U., Pasaribu, U. S., Sari, N. K., & Adiyani, L. (2024). Analysis of heavy metals (Pb and Cd) in soil layers of Indonesia: Spatial distribution, potential source, and groundwater effect. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, Article 100652. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100652>
- Cai, S., Zhou, S., Wang, Q., Cheng, J., & Zeng, B. (2024). Assessment of metal pollution and effects of physicochemical factors on soil microbial communities around a landfill. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 271, Article 115968. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.115968>
- Chen, J., Nan, J. Xu, D., Mo, L., Zheng, Y., Chao, L., Qu, H., Guo, Y. Li, F., & Bao, Y. (2020). Response differences between soil fungal and bacterial communities under open-cast coal mining disturbance conditions. *Catena*, 194, Article 104779. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104779>
- Chi, G., Fang, Y., Zhu, B., Guo, N., & Chen, X. (2024). Intercropping with *Brassica juncea* L. enhances maize yield and promotes phytoremediation of cadmium-contaminated soil by changing rhizosphere properties. *Journal of Hazardous Materials*, 461, Article 132727. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132727>
- Cui, H., Zhao, Y., Hu, K., Xia, R., Zhou, J., & Zhou, J. (2024). Impacts of atmospheric deposition on the heavy metal mobilization and bioavailability in soils amended by lime. *Science of the Total Environment*, 914, Article 170082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170082>
- Ghosh, S., Mondal, S., Mandal, J., Mukherjee, A., & Bhattacharyya, P. (2024). Effect of metal fractions on rice grain metal uptake and biological parameters in mica mines waste contaminated soils. *Journal of Environmental Sciences*, 136, 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.10.038>
- Guo, J., Zhang, Y., Huang, H., & Yang, F. (2021). Deciphering soil bacterial community structure in subsidence area caused by underground coal mining in arid and semiarid area. *Applied Soil Ecology*, 163, Article 103916. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103916>
- He, X., Xiao, X., Wei, W., Li, L., Zhao, Y., Zhang, N., & Wang, M. (2024). Soil rare microorganisms mediated the plant cadmium uptake: The central role of protists. *Science of the Total Environment*, 908, Article 168505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168505>
- Hou, D., O'Connor, D., Igalavithana, A.D., Alessi, D. S., Luo, J., Tsang, D. C. W., Sparks, D. L., Yamauchi, Y., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2020). Metal contamination and bioremediation of agricultural soils for food safety and sustainability. *Nature Reviews Earth Environment*, 1, 366–381. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0061-y>
- Huang, Y., Yang, L., Pan, K., Yang, Z., Yang, H., Liu, J., Zhong, G., & Lu, Q. (2024). Heavy metal-tolerant bacteria *Bacillus cereus* BCS1 degrades pyrethroid in a soil–plant system. *Journal of Hazardous Materials*, 461, Article 132594. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132594>
- Yang, G., Wu, H., Ma, X., Tang, Y., Li, J., Chai, Y., Wang, C., & Yang, H. (2020). Review on the effects of combined pollution of lead and chromium on soil microorganisms and treatment methods. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(9), 140–150. <https://doi.org/10.4236/gep.2020.89009>

- Yildiz, U., & Ozkul, C. (2024). Heavy metals contamination and ecological risks in agricultural soils of Uşak, western Türkiye: A geostatistical and multivariate analysis. *Environmental Geochemistry and Health*, 46, Article 58. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-01856-0>
- Jiang, M., He, L., Niazi, K. N., Wang, H., Gustave, W., Vithanage, M., Geng, K., Shang, H., Zhang, X., & Wang, Z. (2023). Nanobiochar for the remediation of contaminated soil and water: Challenges and opportunities. *Biochar*, 5, Article 2. <https://doi.org/10.1007/s42773-022-00201-x>
- Kou, B., He, Y., Wang, Y., Qu, C., Tang, J., Wu, Y., Tan, W., Yuan, Y., & Yu, T. (2023). The relationships between heavy metals and bacterial communities in a coal gangue site. *Environmental Pollution*, 322, Article 121136. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121136>
- Li, Y., Gao, Y., Chen, W., Zhang, W., & Lu, X. (2024a). Shifts in bacterial diversity, interactions and microbial elemental cycling genes under cadmium contamination in paddy soil: Implications for altered ecological function. *Journal of Hazardous Materials*, 461, Article 132544. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132544>
- Li, A., Li, A., Luo, C., & Liu, B. (2024b). Assessing heavy metal contamination in *Amomum villosum* Lour. fruits from plantations in Southern China: Soil-fungi-plant interactions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, Article 115789. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115789>
- Lin, H., Wang, Z., Liu, C., & Dong, Y. (2022). Technologies for removing heavy metal from contaminated soils on farmland: A review. *Chemosphere*, 305, Article 135457. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135457>
- Liu, F., Zhang, K., Zhao, Y., Li, D., Sun, X., Lin, L., Feng, H., Huang, Q., & Zhu, Z. (2024). Screening of cadmium-chromium-tolerant strains and synergistic remediation of heavy metal-contaminated soil using king grass combined with highly efficient microbial strains. *Science of the Total Environment*, 912, Article 168990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168990>
- Narayanan, M., & Ma, Y. (2022). Influences of biochar on bio-remediation/phytoremediation potential of metal-contaminated soils. *Frontiers in Microbiology*, 13, Article 929730. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.929730>
- Nepal, A., Antonious, G. F., Gyawali, B. R., Webster, T. C., & Bebe, F. (2024). Assessing the bioaccumulation of heavy metals in cabbage grown under five soil amendments. *Pollutants*, 4(1), 58–71. <https://doi.org/10.3390/pollutants4010005>
- Sakin, E., Yanardağ, I. H., Ramazanoğlu, I., & Yalçın, H. (2024). Enzyme activities and heavy metal interactions in calcareous soils under different land uses. *International Journal of Phytoremediation*, 26(2), 273–286. <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2238818>
- Shan, B., Hao, R., Zhang, J., Li, J., Ye, Y., & Lu, A. (2023). Microbial remediation mechanisms and applications for lead-contaminated environments. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39, Article 38. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03484-1>
- Sun, B., Zhu, R., Shi, Y., Zhang, W., Zhou, Z., Ma, D., Wang, R., Dai, H., & Che, C. (2024). Effects of coal-fired power plants on soil microbial diversity and community structures. *Journal of Environmental Sciences*, 137, 206–223. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.02.014>
- Zeng, X., Xu, H., Lu, J., Chen, Q., Li, W., Wu, L., Tang, J., & Ma, L. (2020). The immobilization of soil cadmium by the combined amendment of bacteria and hydroxyapatite. *Scientific Reports*, 10(1), Article 2189. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58259-1>
- Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q., & Li, H. (2024). Heavy metals in agricultural soils: Sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, 12(1), Article 63. <https://doi.org/10.3390/toxics12010063>
- Wang, H., Zhao, M., Huang, X., Song, X., Cai, B., Tang, R., Sun, J., Han, Z., Yang, J., Liu, Y., & Fan, Z. (2024). Improving prediction of soil heavy metal(loid) concentration by developing a combined Co-kriging and geographically and temporally weighted regression (GTWR) model. *Journal of Hazardous Materials*, 468, Article 133745. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133745>
- Wen, X., Zhou, J., Zheng, S., Yang, Z., Lu, Z., Jiang, X., Zhao, L., Yan, B., Yang, X., & Chen, T. (2024). Geochemical properties, heavy metals and soil microbial community during revegetation process in a production Pb-Zn tailings. *Journal of Hazardous Materials*, 463, Article 132809. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132809>
- Qi, Q., Hu, C., Lin, J., Wang, X., Tang, C., Dai, Z., & Xu, J. (2022). Contamination with multiple heavy metals decreases microbial diversity and favours generalists as the keystones in microbial occurrence networks. *Environmental Pollution*, 306, Article 119406. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119406>

## LITERATURE REVIEW OF THE INTERACTION OF HEAVY METALS WITH SOIL MICROORGANISMS

V. PALIULIENĖ, S. VASAREVIČIUS

**Abstract.** Human activities (industry, agriculture, mining, landfills) are linked to heavy metal pollution in soil. This pollution adversely affects all living organisms, including soil microorganisms. At low concentrations, soil microorganisms can remove heavy metals. Aim of the work: to analyse the interaction of heavy metals with soil microorganisms based on the scientific articles presented. The contamination of soil with various heavy metals has been investigated, but cadmium, copper and lead have been the most analysed. The scientific papers mainly focus on phytoremediation studies to investigate the relationship between heavy metals and soil microorganisms using plants. Studies are also carried out using soil contaminated by anthropogenic activities. The literature describes studies on soil contaminated with heavy metals which reveal the potential of microorganisms and their changes over time.

**Keywords:** soil contamination, microorganisms, heavy metals.