



Virginijos Valuckienės nuotrauka

## MIŠKO DIRVOŽEMIŲ EKOSISTEMINĖS PASLAUGOS

Akad. Kęstutis Armolaitis

**Dirvožemis globaliai tiesiogiai ir netiesiogiai tiekia žmonijai daugiau nei 95 proc. maisto, todėl yra reikšmingiausias, gyvybiškai svarbus aplinkos išteklius** (<https://www.weforum.org/agenda/2023/02/soil-degradation-biodiversity-planet/>).

**Vienoje saujoje geros būklės dirvožemio gali tilpti iki milijardo bakterijų, daugiau kaip vienas kilometras grybų hifų, būtinų augalų augimui ir gyvūnų gyvenimui palaikyti** (*EU Soil Strategy for 2030*, [https://environment.ec.europa.eu/publications/eu-soil-strategy-2030\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/eu-soil-strategy-2030_en)).

**Lietuvos teritorija yra miškų zonoje, kurioje kiekvienas apleistas neužliejamas / neužlietas žemės plotelis anksčiau ar vėliau apželia mišku. Naujojoje 2030 m. ES miškų strategijoje Tvari miškotvarka Europoje (*New EU Forest Strategy for 2030 – Sustainable Forest Management in Europe*), pabrėžiama, kad miškai teikia ne tik ekonominę ir socialinę naudą, bet ir padeda siekti klimato kaitos švelninimo ir biologinės įvairovės puoselėjimo tikslų, prevenciškai apsaugo dirvožemio ir vandens kokybę** ([https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0310\\_LT.html#def\\_1\\_12](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2022-0310_LT.html#def_1_12)).

XX amžiuje, prasidėjus šeštam dešimtmečiui, reikšmingus Lietuvos miško dirvožemių tyrimus iniciavo prof. Mečislovas Vaičys. Kartu su kolegomis tirti dirvodaros procesai, dirvožemio fizikinių, cheminių ir biologinių savybių įtaka medynų produktyvumui, miškų tręšimas ir atlikti kiti su miškininkavimu susiję tyrimai. Buvo parengta miško dirvožemių tipologinių grupių (miško augaviečių tipų) klasifikacija, kuri iki šiol taikoma ūkininkaujant Lietuvos miškuose ir juos tvarkant. Pastaraisiais metais vykdomi tyrimai susieti su keturiomis miško dirvožemių ekosistemineis paslaugomis: (1) anglies sekvestracija; (2) biologine įvairove; (3) vandens ir (4) dirvožemio kokybe.

## 1. Anglies sekvestracija miško dirvožemiuose

Dirvožemyje organinės anglies (OC) sandauga yra apie 2 kartus didesnė negu atmosferoje ir beveik 3 kartus – negu augalų biomasėje (Europos mastu miško dirvožemiuose OC sukaupta apie 1,5 karto daugiau negu antžeminėje medžių biomasėje) (de Vries et al., 2003; Guggenberger, 2010). Todėl geros būklės dirvožemis yra didžiausias sausumos anglies kaupiklis mūsų planetoje, galintis sušvelninti prognozuojamos klimato kaitos, ypač šiltėjimo, globalias pasekmes (UNFCCC, 1997; IPCC, 2007).

Kadangi Lietuva yra miškų zonoje, dirvožemio organinės anglies (DOC) sandaugas miškuose galima įvardyti kaip etalonines, kurios gali būti taikomos vertinant ūkininkavimo tvarumą žemės ūkio naudmenose, ypač dirbamoje žemėje. Glaudžiai bendradarbiaujant su Valstybinės miškų tarnybos Nacionalinės miškų inventorizacijos (NMI) skyriumi 2015 m. skirtingoje žemėnaudoje įvertintos DOC sandaugos miško paklotėje ir žolynų nuokritose bei 0–30 cm viršutiniame mineraliniame ar durpiniame sluoksnyje. Tyrimai buvo vykdomi NMI bareliuose, kurie visoje Lietuvos teritorijoje sistemingai (iš viso 9×9 km tinklo 754 bareliai, barelis atspindėjo apie 8 000 ha teritoriją) buvo išdėstyti miško žemėje, daugiamečiuose žolynuose ir dirbamoje žemėje. Nustatyta, kad dirbamos žemės ariamajame sluoksnyje DOC koncentracijos derlinguose rudžemiuose (*Cambisols*) buvo vidutiniškai 2–2,7 karto, o išplautžemiuose (*Luvisols*) ir balkšvažemiuose (*Albeluvisols*) – 1,5–2,4 karto mažesnės negu tokiuose pačiuose miško dirvožemiuose. Apskaičiavus vidutinės DOC sandaugas paaiškėjo, kad, palyginti su miško žeme, minėtuose priemolinguose rudžemiuose, išplautžemiuose ir balkšvažemiuose DOC sandaugos vidutiniškai 20 proc. buvo mažesnės ne tik dirbamoje žemėje, bet ir daugiamečiuose žolynuose. Tačiau vidutinės DOC sandaugos smėlžemiuose skirtingoje žemėnaudoje iš esmės nesiskyrė. Tai galima paaiškinti tuo, kad dirbamoje žemėje ir daugiamečiuose žolynuose istoriškai vyrauja patys derlingiausi, pavyzdžiui, karbonatingieji (*Calcaric Arenosols*) ir rudžemiškieji (*Cambic Arenosols*) smėlžemiai.

Anglies sekvestracijos didesnę potencialą miško dirvožemiuose, palyginti su žemės ūkio naudmenomis, atskleidė mikrobiologiniai tyrimai, vykdyti kartu su doc. dr. Jūrate Aleinikoviene (Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija). Skirtinguose geomorfologiniuose rajonuose tirtų smėlžemių, išplautžemių, balkšvažemių ir rudžemių DOC stabilumui viršutiniuose 0–10 cm ir 10–30 cm mineraliniuose sluoksniuose įtakos turėjo ne tik skirtinga dirvodara ir žemėnauda, bet ir žemdirbystės intensyvumas. Dirvožemio mikroorganizmų biomasės anglies (DMBC) ir azoto (DMBN) koncentracijų DMBC:DMBN santykis atskleidė, kad DOC imobilizacija vyko Pietryčių smėlingoje lygumoje ir Žemaičių aukštumoje visose žemėnaudose: miško žemėse, daugiamečiuose pievose ir ariamose žemėse. Tačiau Vidurio Lietuvos žemumoje DOC imobilizacija nustatyta tik miško žemėje. Šioje derlingų dirvožemių žemumoje žemės ūkio naudmenose DOC stabilumui neigiamą įtaką galėjo daryti intensyvi, pramoninė žemdirbystė, ypač siauranarės sėjomainos ir perteklinis mineralinių trąšų bei pesticidų naudojimas.

Daugelyje Europos šalių, taip pat ir Lietuvoje, skatinamas buvusių žemės ūkio naudmenų (pasėlių nederlingose žemėse, apleistų pievų) apželdinimas mišku. Apželdinimas mišku laikomas pagrindine priemone, padedančia sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas. Apželdinus mišku DOC sandaugos keičiasi santykinai lėtai. Nustatyta, kad žemės ūkio naudmenas apželdinus mišku, per pirmuosius 30 metų OC kaupėsi tik besiformuojančioje miško paklotėje ir tik vėliau DOC sandaugos pradėjo didėti ir viršutiniuose mineraliniuose horizontuose.

Dirvožemis, kaip ir visi gyvieji organizmai, išskiria anglies dvideginį (CO<sub>2</sub>). Kvėpavimas atspindi mineralinių dirvožemių gyvybingumą ir organinės medžiagos N, P, S ir kt. junginių mineralizaciją (mineraliniai junginiai tampa augalų maistinėmis medžiagomis). Tačiau organiniuose dirvožemiuose, durpžemiuose (*Histosols*) dėl klimato kaitos svarbu išsaugoti ir kaupti organines medžiagas. Nusausinus durpžemius suintensyvėja durpių skaidymasis: labai padidėja CO<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub>O emisijos. Nuo 2019 m. vykdomas Europos Sąjungos aplinkos ir klimato politikos programos (LIFE) projektas „Klimato kaitos švelninimo potencialo demonstravimas maisto medžiagų turtinguose organiniuose dirvožemiuose Baltijos šalyse ir Suomijoje“ (*Demonstration of Climate Change Mitigation Potential of Nutrients Rich Organic Soils in Baltic States and Finland, Life OrgBalt*,

2019–2024; [www.orgbalt.eu](http://www.orgbalt.eu)). Projekto tikslas – įvertinti miško žemėje, daugiamečiuose žolynuose ir dirbamoje žemėje nusaustintų ir nusaustintų žemapelkės durpžemių (*Terric Histosols*) klimato kaitos švelnimo potencialą, mažinant ŠESD ( $\text{CO}_2$  bei  $\text{N}_2\text{O}$  ir  $\text{CH}_4$ ) emisijas. Tai ypač aktualūs tyrimai, nes, pavyzdžiui, Lietuvoje iš nusaustintų durpžemių  $\text{CO}_2$  emisijos sudaro (iš jų – 70 proc. dirbamoje produkuojančioje žemėje) didžiąją dalį visų Žemės naudojimo, žemės naudojimo keitimo ir miškininkystės sektoriuje (ŽNŽNKM, angl. – *LULUCF*) susidarantių emisijų arba 8 proc. visų Lietuvos ŠESD emisijų (<https://am.lrv.lt/media/viesa/saugykla/2024/3/8CXXUPWkOJI.pdf>). Ypač glaudžiai bendradarbiauta su Latvijos valstybiniu miškų tyrimo institutu „Silava“. Nuolatiniai 2–7 metus kiekvieną mėnesį vykdyti matavimai atskleidė, kad miškuose dėl vėsesnio mikroklimato po medynų lajomis žemapelkių durpės skaidosi lėčiau, todėl metinės  $\text{CO}_2\text{-C}$  ir  $\text{N}_2\text{O}$  emisijos buvo gerokai mažesnės negu nusaustintose žemapelkėse daugiamečiuose žolynuose ir ypač dirbamoje žemėje. Be to, apskaičiuota, kad anglis, kuri kaupiasi įveistų medynų, pavyzdžiui eglynų, medžių ir kitų augalų biomasėje, gali kompensuoti  $\text{CO}_2\text{-C}$  emisijas. Įdomūs duomenys gauti nusaustintose žemapelkėse augančiuose miškuose ir daugiamečiuose. Jie iš dalies oponuoja vienareikšmiškai nuostatai, kad nusaustintuose durpžemiuose ŠESD emisijoms mažinti tikslinga atkurti hidrologinį režimą. Tai, be abejo, svarbu atkuriant pelkių biologinę įvairovę. Tačiau nustatyta, kad ir nusaustintuose žemapelkės durpžemiuose per dabar dažnas vegetacijos periodo sausras nusekus vandens lygiui labai padidėja  $\text{CO}_2\text{-C}$  emisijos. Be to, užlietose žemapelkėse reikšmingai padidėja  $\text{CH}_4$  emisijos, kurių potencialas globaliniam atšilimui yra 28 kartus didesnis nei  $\text{CO}_2$ .

Miškuose anglis kaupiasi ir medžių sausuoliuose, kurie reikšmingi gausinant biologinę įvairovę. Valstybinės miškų tarnybos NMI skyriaus duomenimis (asmeninė Gintaro Kulboko informacija), per 20 metų registruotais sausuoliais (69 mln.  $\text{m}^3$  likvidinių ir nelikvidinių sausuolių, skaičiuojant pagal stiebų tūrį medžių žuvimo metu) galima visiškai uždengti 117 tūkst. ha miško plotą arba 5,3 aro viename ha. Pradžioje šie sausuoliai, kaip ir medienos gaminiai, yra anglies kaupiklis. Tačiau pradėti tyrimai atskleidė, kad iš tręštančių sausuolių  $\text{CO}_2\text{-C}$  emisijos gali būti net didesnės negu iš besiskaidančių durpių nusaustintuose durpžemiuose.

## 2. Dirvožemis ir biologinė įvairovė

Ankstesnių metų tyrimai rodo, kad miško dirvožemio daugiafunkciškumas nulemia ir augalijos tipą. Dar 1988 m. Lietuvoje biogeocenotinius miško formacijų tyrimus atliko akademikas prof. Stasys Karazija, pateikdamas visų Lietuvos miško tipų serijų biogeocenotinę charakteristiką.

Dabar daug diskutuojama apie miškų plynųjų kirtaviečių neigiamą įtaką biologinei įvairovei. Tačiau tyrimai atskleidė, kad po plynųjų kirtimų jau po 20–30 metų dirvožemio gyvosios dangos rūšinė sudėtis nesiskiria nuo brandiems pušynams būdingos samanų ir žolinių augalų dangos. Be to, vertinant visą medyno formavimosi laikotarpį, plynieji kirtimai netgi padidina dirvožemio gyvosios dangos augalų rūšių įvairovę.

Minėtosios žuvusios negyvos medienos tyrimai atskleidė, kad samanų rūšių įvairovė ant kelmų ir medžių virtėlių buvo panaši, o ant kelmų samanų danga buvo netgi didesnė nei ant virtėlių.

Inovatyvūs tyrimai pradėti, vykdant Baltijos mokslinių tyrimų programos projektą „Dirvožemio išteklių tvarus naudojimas keičiantis klimatui“ (*Sustainable Use of Soil Resources in the Changing Climate*, SUCC, 2020–2024; <https://www.lammc.lt/lt/tarptautiniai-projektai/dirvozemio-istekliu-tvarus-naudojimas-keiciantis-klimatui-succ/4011>). Didžiausias dėmesys buvo skiriamas dirvožemio mikroskopiniams grybams, kurie, sudarydami tik daugiau kaip 2 proc. globalinės sausumos biomasės (Bar-On et al., 2018; He et al., 2019), kontroliuoja sausumos ekosistemų sveikatingumą / gyvybingumą, produktyvumą ir anglies bei maistinių medžiagų apykaitą (Dean et al., 2012; Lehmann et al., 2017; Tadersoo et al. 2020; Semchenko et al., 2022). Lietuvoje dirvožemio mikrobiotos įvairovės tyrimai buvo vykdyti skirtingoje žemėnaudoje: skirtingos rūšinės sudėties ir kilmės medynuose bei agromiškeliuose; daugiamečiuose žolynuose; žemės ūkio paskirties produkuojančioje, apleistoje bei apželdintoje mišku žemėje. Tai nauji duomenys, kurie vis dar analizuojami. Tačiau bendradarbiaujant su minėto projekto vadovu prof. dr. Leho Tadersoo (Tartu

universiteto Ekologijos ir žemės ūkio institutas) ir jo doktorantais, dalyvauta rengiant straipsnį, kuriame pateikiamas globalinis Pasaulinio dirvožemio mikrobiomo konsorciumo (*Global Soil Mycobiome consortium GSMc*) dirvožemio mikroskopinių grybų duomenų rinkinys, siekiant paskatinti tolesnius grybų įvairovės, biogeografijos ir makroekologijos tyrimus (<https://doi.org/10.1007/s13225-021-00493-7>). Duomenų rinkinį sudaro 722 682 grybeliniai operatyviniai taksonominiai vienetai (angl. *operational taxonomic unit, OTU*), nustatyti 3 200 tyrimo vietose, 108 šalyse ir visuose žemynuose. Šiam duomenų rinkiniui iš Lietuvos atrinkta smėlžemiuose ar išplautžemiuose 15-a objektų paprastosios pušies (*Pinus sylvestris* L.) ir karpotojo beržo (*Betula pendula* Roth.) medynuose bei daugiamečiuose žolynuose. Kitoje publikacijoje taip pat visuotinai analizuoti dirvožemio mikroskopinių grybų funkcinių grupių endemiškumo modeliai, pažeidžiamumas globaliniams pokyčiams ir prioritetinės saugomos teritorijos (<https://doi.org/10.1111/gcb.16398>). Pabrėžta, kad aukščiausio prioriteto grybų saugomoms teritorijoms priklauso žoliniais augalais apaugusios pelkės ir miškai.

### 3. Vandens kokybė

Lietuvos klimatui būdingas drėgmės perteklius, todėl dirvožemiuose susiformuoja išplaunamasis režimas, kai atmosferos kritulių iškrinta daugiau negu išgaruoja. Aplinkosaugoje ypač akcentuojamas mineralinio azoto (N) išplovimas / nutekėjimas į gruntinius vandenis žemės ūkio naudmenose. Atlikus detalią gausių ir ilgamečių lizimetrinių dirvožemio tirpalo duomenų analizę galima konstatuoti, kad Lietuvoje tręšiant azoto sintetinėmis mineralinėmis trąšomis iš šių trąšų vidutiniškai išsiplauna 22 proc., iš organinių mėšlo trąšų – 13 proc., o iš įterptų augalų pasėlių likučių – 12 proc. mineralinio azoto (Tripolskaja & Verbylienė, 2014; Vaišvila ir kt., 2014; Tripolskaja et al., 2016;2023; Vaišvila ir kt., 2024).

Lizimetriniai dirvožemio tirpalo tyrimai, deja, negausūs, atskleidė, kad miško dirvožemiai gali išsaugoti gruntinio vandens kokybę. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro (LAMMC) Perlojos bandymų stotyje lengvos granulimetrinės sudėties (smėlingo priesmėlio) išplautžemių (*Luvisols*) tirpalo cheminė sudėtis tirta organinės žemdirbystės sėjomainoje ir šalia augančiuose pušynuose. Tyrimai atskleidė, kad, palyginti su pušynais, ekologinėje sėjomainoje, tiek tręštuose, tiek netręštuose pasėliuose,  $Ca^{2+}$  ir  $Mg^{2+}$  išplova vidutiniškai buvo apie 2–5 kartus,  $NO_3-N$  +  $NO_2-N$  – apie 7–8 kartus, o  $NH_4-N$  – net 20–50 kartų didesnė negu pušynuose.

Miško ekosistemose tirpiosios organinės anglies (TOC) ir maistinių medžiagų išplovimas ypač intensyvėja plynose kirtavietėse. Tyrimai atskleidė, kad smėlžemyje (*Arenosol*) augusio brandaus paprastosios pušies medyno plynėje kirtavietėje labai padidėjo, ypač po valksmais, TOC, suminio ir mineralinio ( $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$  +  $NO_2-N$ ) azoto bei  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ir  $Mg^{2+}$  katijonų išplova. Tačiau jau po 2–4 metų šių maistinių medžiagų koncentracijos plynėje kirtavietėje buvo tokios, kaip ir šalia augančiame pušyne.

Miško ekosistemų įtaka paviršinių telkinių vandens kokybei nagrinėta dalyvaujant *Interreg* Baltijos jūros regiono (*Interreg Baltic Sea Region*) projektuose „Vandens valdymas Baltijos miškuose“ (*Water Management in Baltic Forests (WAMBAF)*, 2016–2019; <https://www.lammc.lt/lt/tarptautiniai-projektai/wambaf/2223>) ir „Vandens valdymo Baltijos jūros regiono miškuose priemonių valdymo paketas“ (*WAMBAF Tool Box*, 2019–2021; <https://www.lammc.lt/lt/tarptautiniai-projektai/wambaf-tool-box/2986>). Pagal projektą *WAMBAF* Lietuvoje tirta bebrų užtvankų įtaka miško upelių ir sausinimo griovių vandens kokybei. Rezultatai parodė, kad su nuosėdomis OC, N ir P kaupiasi bebrų užtvankų tvenkinių dugno nuosėdose ir pačiose bebrų užtvankose. Todėl bebrų užtvankos kaip filtras gali mažinti maistinių medžiagų išplovimą iš pakrančių dirvožemių.

Vykdam minėtus *Interreg* Baltijos jūros regiono projektus kartu su Estijos, Latvijos, Lenkijos, Suomijos ir Švedijos tyrėjais parengtos rekomendacijos, kuriose apibendrinta geroji patirtis apie paviršinio vandens telkinių pakrančių miško apsauginių juostų svarbą, sukūrimą ir priežiūrą. Taip pat prie Lietuvos sąlygų pritaikytas vadovas, kaip atlikti žydraį planavimą miškų ūkyje mažųjų upelių geriausiai valdymo praktikai ([https://www.lammc.lt/data/public/uploads/2019/02/blue-targeting-manual\\_lt.pdf](https://www.lammc.lt/data/public/uploads/2019/02/blue-targeting-manual_lt.pdf)).

#### 4. Dirvožemio kokybė

Dirvožemių, kaip ir kitų sausumos ekosistemų atsinaujinančių komponentų (mikrobiotos, augalijos, gyvūnijos) kokybę, produktyvumą ir tvarumą lemia geba kaupti organines medžiagas (Franzmeier et al., 1985; Vaičys ir kt., 1997; Šlepetienė et al., 2008; Lal, 2009 ir kt.). Kaip jau minėta įžvalgose apie anglies sekvestraciją, miško dirvožemiuose organinė anglis (OC) kaupiasi. Vidutiniškai 58 proc. OC yra humuse, kuriame, mikroorganizmams suskaidžius organines medžiagas, kaupiasi augalams būtinos maistinės medžiagos.

Žemės ūkio augalų pasėliuose OC ir maistinės medžiagos kasmet pašalinami su augalų biomase. Miško ekosistemose šių medžiagų daugiausiai išnešama IVA grupės ūkiniuose miškuose plynai iškertant brandžius medynus: paprastai kas 40–60 metų kertami daugelio lapuočių medžių rūšių medynai, kas 100 metų – pušynai ar kas 120 metų – ąžuolynai. Vykdamas plynuosius kirtimus kirtavietėse suintensyvėja dirvožemio organinės medžiagos mineralizacija ir nitrifikacija, todėl dirvožemyje sumažėja DOC ir maistinių medžiagų, ypač mineralinio azoto. Tačiau jau po ketverių metų plynoje kirtavietėje šie procesai normalizuojasi. Be to, per visą miško formavimosi laikotarpį iki plynųjų kirtimų OC ir maistinės medžiagos (N, P, K ir kt.) miško dirvožemiuose nuolat kaupiasi daugiausia su spyglių ar lapų, taip pat su smulkiųjų šaknų nuokritomis. Tai kompensuoja OC ar net keletą kartų viršija maistinių medžiagų nuostolius, kurie po 100 metų apyvartos periodo pušynų plynose kirtavietėse susidaro dėl medžių stiebų ir, netgi, miško kurui naudojamų kirtimo liekanų (viršūnės, šakos) ruošos.

#### Apibendrinimas

Tyrimų rezultatai atskleidė, kad miško dirvožemių ekosisteminės paslaugos reikšmingai prisideda prie anglies sekvestracijos didinimo, atlieka svarbias reguliacines aplinkosaugines funkcijas – tokias kaip vandens ir dirvožemio kokybės bei biologinės įvairovės išsaugojimas.

Globaliai, kartu ir Lietuvos teritorijoje, dirvožemis yra reikšmingiausias aplinkos išteklius. ES lygmeniu ir Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacijos dokumentuose teigiama, kad dirvožemis yra ribotas, greitai nualinamas neatsinaujinantis aplinkos išteklius, nes jo atsinaujinimas po nualinimo užtrunka ilgiau nei visą žmogaus gyvenimą. Mūsų tyrimai atskleidė, kad miško dirvožemiai yra ypač turtingi mikrobiotos, o apželdinus mišku dirvožemiai gali pradėti natūralizuotis po 30–40 metų. Dėl tokio unikalaus vaidmens ekosistemose, tikslinga dirvožemį, ypač miškuose, įvardyti santykinai lėtai atsikuriančiu aplinkos ištekliumi. Jeigu manysime, kad dirvožemis negali atsikurti ar gali būti atkuriamas, tai greitai nuleisime rankas ir nieko nedarysime, jog jis išliktų gyvybingas.

**Pastaba:** be įžvalgose paminėtų kolegų analizuoti dr. Ivetos Varnagirytės-Kabašinskienės, dr. Dovilės Čiuldienės, dr. Mildos Muraškienės, dr. Vido Stakėno, dokt. Egidijaus Vigrigo (LAMMC Miškų institutas), dr. Jelenos Ankuda (LAMMC Žemdirbystės instituto Vokės filialas) ir doc. dr. Dovilės Gustienės (Lietuvos inžinerijos kolegija) tyrimų duomenys.