

VYTAUTO DIDŽIOJO UNIVERSITETAS  
LIETUVOS AGRARINIŲ IR MIŠKŲ MOKSLŲ CENTRAS

Vilija MATYŽIŪTĖ

**DIRVOŽEMIO SĖKLŲ BANKAS SKIRTINGOSE  
KALVOTO RELJEFO AGROFITOCENOZĖSE**

Mokslo daktaro disertacija  
Žemės ūkio mokslai, agronomija (A 001)

Kaunas, 2023

Mokslo daktaro disertacija rengta 2019–2023 m. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centre pagal LR švietimo, mokslo ir sporto ministro 2019 m. vasario 22 d. įsakymu Nr. V-160 suteiktą doktorantūros teisę Vytauto Didžiojo universitetui su Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centru.

**Mokslinė vadovė:**

Dr. **Regina Skuodienė** (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

**Mokslinė konsultantė:**

Dr. **Regina Repšienė** (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

**Disertacijos gynimo taryba:**

**Pirmininkas**

Prof. habil. dr. **Rimantas Velička** (Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

**Nariai:**

Dr. **Ona Auškalnienė** (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001);

Dr. **Vaclovas Stukonis** (Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001);

Prof. dr. **Ingrida Šaulienė** (Vilniaus universiteto Šiaulių akademija, Gamtos mokslai, Ekologija ir aplinkotyra N 012);

Prof. dr. **Branko Kramberger** (Slovėnijos Maribor universitetas, Žemės ūkio mokslai, Agronomija A 001).

Disertacija bus ginama viešame Agronomijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2023 m. gruodžio 19 d. 10 val. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centre.

Adresas: Instituto al. 1, Akademija, Kėdainių r.

Disertacija galima peržiūrėti Lietuvos nacionalinėje Martyno Mažvydo bibliotekoje bei Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro ir Vytauto Didžiojo universiteto bibliotekose.

VYTAUTAS MAGNUS UNIVERSITY  
LITHUANIAN RESEARCH CENTRE FOR AGRICULTURE AND FORESTRY

Vilija MATYŽIŪTĖ

**SOIL SEED BANK IN DIFFERENT  
AGROPHYTOCENOSES OF THE HILLY RELIEF**

Doctoral Dissertation  
Agricultural Sciences, Agronomy (A 001)

Akademija, 2023

Dissertation was prepared at Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry in 2019–2013. The right of doctoral studies was granted to Vytautas Magnus University jointly with Vytautas Magnus University Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, on 22 February, 2019, by the decision No. V-160 of the Government of the Republic of Lithuania.

**Scientific Supervisor:**

Dr. **Regina Skuodienė**. (Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

**Scientific consultant:**

Dr. **Regina Repšienė**. (Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

**Council of defence of the doctoral dissertation:**

**Chairman:**

Prof. habil. dr. **Rimantas Velička** (Vytautas Magnus University, Žemės ūkio akademija, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

**Members:**

Dr. **Ona Auškalnienė** (Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Agricultural Sciences, Agronomy A 001);

Dr. **Vaclovas Stukonis** (Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Agricultural Sciences, Agronomy A 001);

Prof. dr. **Ingrida Šaulienė** (Vilnius University Šiauliai Academy, Natural Sciences, Ecology and Environmental Sciences N 012);

Prof. dr. **Branko Kramberger** (University of Maribor, Slovenia, Agricultural Sciences, Agronomy A 001).

The official defence of the dissertation will be held at 10 a.m. on 19 th December, 2023 at Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

Address: Instituto al. 1, Akademija, Kėdainiai distr.

The dissertation is available at Martynas Mažvydas National Library of Lithuania and the libraries of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry and Vytautas Magnus University.

## TURINYS

SUTRUMPINIMAI.....	7
ĮVADAS .....	9
1. LITERATŪROS ANALIZĖ.....	12
1.1. Dirvožemio sėklų bankas.....	12
1.2. Dirvožemio sėklų banko vertikalus pasiskirstymas.....	14
1.3. Dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis .....	14
1.4. Dirvožemio sėklų banko ir agrofītocenozių augmenijos tarpusavio ryšys .....	16
1.5. Sėklų morfologinės savybės .....	17
1.6. Dirvožemio sėklų banko ir aplinkos veiksnių sąsajos .....	18
2. TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODIKA.....	21
2.1. Tyrimo objektas .....	21
2.2. Eksperimento vieta ir dirvožemis .....	21
2.3. Eksperimento schema .....	22
2.4. Tyrimų metodai .....	25
2.4.1. Augalinės analizės .....	25
2.4.2. Dirvožemio cheminės analizės .....	26
2.4.3. Dirvožemio fizikinės analizės .....	26
2.4.4. Dirvožemio biologinės analizės.....	26
2.5. Meteorologinės sąlygos .....	27
2.6. Statistinis tyrimų duomenų vertinimas .....	29
3. REZULTATAI .....	30
3.1. Dirvožemio sėklų banko struktūra (sėklų skaičius, vertikalus pasiskirstymas) .....	30
3.2. Dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis .....	37
3.3. Dirvožemio sėklų banko ir agrofītocenozių rūšinės sudėties palyginimas.....	45
3.3.1. Ilgalaikis žolynas .....	45
3.3.2. Javų-žolių sėjomaina.....	50
3.3.3. Sėjomaina su kaupiamaisiais augalais .....	53
3.4. Augalų sėklų skaičius ir rūšinė sudėtis dirvožemio nešmenyse .....	56
3.5. Dirvožemio sėklų banko morfologiniai sėklų požymiai.....	61
3.6. Dirvožemio sėklų banko ir dirvožemio savybių sąsajos .....	64
IŠVADOS .....	72
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	74

PRIEDAI .....	89
DISERTACIJOS TEMA PASKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS .....	98
MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA KOPIJOS .....	101
SUMMARY.....	134
GYVENIMO APRAŠYMAS .....	167
CURRICULUM VITAE.....	167
PADĖKA .....	168

## SUTRUMPINIMAI

% – procentai;

°C – celsijus;

μg – mikrogramas;

C – anglis;

C:N – anglies ir azoto santykis;

cm – centimetrai;

C<sub>org</sub> – organinė anglis;

Cs – Sörensen statistinis floristinio panašumo koeficientas;

g – gramai;

ha – hektaras;

JŽ – javų-žolių sėjomaina;

JŽ-1 – javų-žolių sėjomaina – kalvos viršūnė;

JŽ-2 – javų-žolių sėjomaina – kalvos šlaitas;

JŽ-3 – javų-žolių sėjomainą – kalvos pašlaitė;

K<sub>2</sub>O – judrusis kalis;

KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais;

KA-1 – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais – kalvos viršūnė;

KA-2 – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais – kalvos šlaitas;

KA-3 – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais – kalvos pašlaitė;

kg – kilogramai;

l – litrai;

LAMMC – Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras;

MBC – mikroorganizmų biomasės anglies kiekis;

mg – miligramai;

mm – milimetrai;

N<sub>sum</sub> – suminis azotas;

P% – rūšies santykinis gausumas;

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – judrusis fosforas;

pH<sub>KCl</sub> – vandenilio jonų rodiklis;

Pš – kalvos pašlaitė;

r – koreliacijos koeficientas;

$R_{0,05}$  – mažiausias esminis skirtumas prie 95 % tikimybės lygmens;

SKN – standartinė klimato norma;

Šl – kalvos šlaitas;

t – tona;

vnt. – vienetai;

Vš – kalvos viršūnė;

Ž – ilgalaikis žolynas;

Ž-1 – ilgalaikis žolynas – kalvos viršūnė;

Ž-2 – ilgalaikis žolynas – kalvos šlaitas;

Ž-3 – ilgalaikis žolynas – kalvos pašlaitė;



## IVADAS

**Aktualumas.** Pasaulyje žemės ūkio ir maisto sektorius tampa vis svarbesnis, nes didėja poreikis žemės ūkio žaliavoms ir maistui, atsiveria naujos perspektyvios rinkos. Jos aktyvėja dėl gyventojų skaičiaus ir maisto suvartojimo lygio didėjimo bei dėl vartotojų perkamosios galios augimo daugelyje šalių. Intensyvus ūkininkavimas, reikalaujantis daug trąšų ir pesticidų prisideda prie klimato kaitos dėl ekonominių energetinių ir aplinkosauginių problemų. Toks ūkininkavimas kelia grėsmę aplinkai, o nenaudojant ar minimaliai naudojant herbicidus iškelia naują problemą – piktžolėtumą. Pasaulyje išlaidos herbicidams sudaro 20–30 % visų išlaidų, reikalingų augalams išauginti (Auškalnienė ir kt., 2011). Griežti pesticidų reglamentai Europos Sąjungoje pašalino iš rinkos daugelį anksčiau plačiai naudotų herbicidų veikliųjų medžiagų (Hillocks, 2012).

Piktžolių populiacija yra tiesiogiai susijusi su sėklų banku dirvožemyje (Brainard ir kt., 2008). Dirvožemio sėklų banką sudaro įvairios ramybės būklės subrendusių gyvybingų sėklų mišinys (Gandía ir kt., 2022; Feledyn-Szewczyk ir kt., 2020). Sėklų bankas, kuriame yra kelių kartų sėklos, yra potencialus biologinės įvairovės šaltinis, prisidedantis prie augalų bendrijos dinamikos ir išlikimo (Fisher ir kt., 2009) bei sudaro didžiąją dalį pasėlių piktžolių (Auškalnienė ir kt., 2018). Sėklų banko nuostoliai gali atsirasti kintančio klimato laikotarpiu dėl sumažėjusio sėklų gyvybingumo, sėklų dygimo netinkamomis sąlygomis (Ooi, 2012).

Pasėlių piktžolėtumo tendencijos tyrinėtos tiek Lietuvoje, tiek ir kitose šalyse. Atlikti tyrimai rodo, kad pasėlių piktžolėtumui įtakos turi augalų kaita arba sėjomainos struktūra (Rudinskienė, 2022; Andrade ir kt., 2017; Arlauskiene ir kt., 2014; Andreasen, Skovgaard, 2009.), dirvožemio maisto medžiagų gausa (Čiuberkis, Vilkonis, 2013; Repšienė, Skuodienė, 2010), dirvožemio kalkinimas (Skuodienė ir kt., 2020; Skuodienė ir kt., 2017; Skuodienė, Repšienė, 2009), tręšimas mineralinėmis ir organinėmis trąšomis (Repšienė, 2010; Arlauskienė, Maikštėnienė, 2005; Kinderienė, 2005), žemės dirbimo būdai (Auškalnienė ir kt., 2018; Skuodienė ir kt., 2013; 2016; 2018; Avižienytė ir kt., 2015; Deveikytė ir kt., 2006; Velykis, Satkus, 2003;), herbicidų naudojimas (Deveikytė ir kt., 2015; Kinderienė, 2011; Ulber, 2010), piktžolių rezistentiškumas (Auškalnienė ir kt., 2020; Akhter ir kt., 2023), augalų konkurencingumas ir žemės ūkio augalų derliaus pjūties laikas (Pilipavičius, 2005; Auškalnienė ir kt., 2010; Pšibišauskienė, 2012; Velička ir kt., 2016).

Keičiantis žemės ūkio technologijoms, dirvožemio sėklų bankas gali padidėti arba sumažėti, todėl gali kisti pasėliuose piktžolių rūšinė sudėtis ir gausumas (Nichols ir kt., 2015). Siekiant numatyti ilgalaikes klimato kaitos pasekmes augalams, rūšių pasiskirstymui, ypač

ekosistemose, kuriose sėklų banko išlikimas yra labai svarbus, būtina susieti būsimus klimato pokyčius su mechanizmais, lemiančiais sėklų banko ilgaamžiškumą (Ooi, 2012).

Europos sąjungos dokumentuose nurodoma, kad dirvožemis yra svarbus mūsų gerovei bei ekosistemų pusiausvyrai (Europen Commision, 2019), o dėl vandens erozijos ardomas dirvožemis, jo dalelės pernešamos iš vienos vietos į kitą, patiriamas maistingų medžiagų nuostolis (Kinderienė ir kt., 2013; Kinderienė, Karčauskienė, 2012; Jankauskas, 1996). Dirvožemio (ir kartu su juo sėklų) judėjimas dėl vandens erozijos yra reikšmingas sėklų paskleidimui (Lewis ir kt., 2013). Todėl svarbu suprasti dirvožemio paviršiaus procesus kartu su sėklų banko (nuolatinio ir laikino) vykstančiais reiškiniais, įskaitant sėklų žūtį, gyvybingumą. Terminai „nuolatinis sėklų bankas“ ir „laikinas sėklų bankas“ nėra aiškiai apibrėžti literatūroje. Šiam darbui terminai pasirinkti pagal Csontos (2007) ir plačiau paaiškinti tyrimų sąlygos ir metodika skyriuje. Mokslinėje literatūroje trūksta tyrimų, analizuojančių erozijos veikiamą dirvožemį ir sėklų banko ryšį, ypač vertinant dirbamą dirvožemį kalvotose vietovėse.

**Tyrimo hipotezė** – Tikėtina, kad kalvoto reljefo dirvožemyje ir jo nešmenyse sėklų banko aprėptis, struktūra ir sėklų rūšinė sudėtis priklausys nuo dirvožemio savybių, skirtingų agrofitocenozių<sup>1</sup> ir atskirų kalvos šlaito dalių.

**Tyrimo tikslas** – Nustatyti skirtingų agrofitocenozių įtaką sėklų bankui dirvožemyje, kompleksiskai vertinant augalijos, dirvožemio biologinių, fizikinių ir cheminių rodiklių tarpusavio sąveiką kalvotame reljefe.

#### **Tyrimo uždaviniai:**

1. Nustatyti dirvožemio nuolatinį ir laikiną sėklų banką (sėklų skaičių, sėklų vertikalų pasiskirstymą, sėklų gyvybingumą).
2. Nustatyti ir palyginti dirvožemio sėklų banko ir agrofitocenozių bendrųjų rūšinę sudėtį.
3. Nustatyti sėklų skaičių ir rūšinę sudėtį dirvožemio nešmenyse.
4. Įvertinti sėklų paviršiaus savybių įtaką sėklų pasiskirstymui sėklų banke, skirtingose kalvos dalyse.
5. Įvertinti dirvožemio sėklų banko ir dirvožemio savybių (dirvožemio cheminių, fizikinių ir mikrobiologinių) tarpusavio sąsajas.

#### **Ginamieji disertacijos teiginiai:**

1. Nuolatiname ir laikiname dirvožemio sėklų banke sėklų skaičius ir vertikalus jų pasiskirstymas dirvožemio gyliuose esmingai priklauso nuo skirtingų agrofitocenozių ir kalvos dalių.

---

<sup>1</sup> Agrofitocenezė – (gr. agros – laukas + phytos – augalas + koinos – bendras), dirbamoje žemėje susidaranti augalų bendrija – kultūriniai augalai ir piktžolės (Žemės ūkio enciklopedija, 1998).

2. Sėklų rūšių skaičius sėklų banke kinta esmingai skirtingose agrofitocenozėse kalvotame reljefe. Dirvožemio sėklų banko ir pasėlių bendrijos rūšinės sudėties floristinis panašumas priklauso nuo skirtingų agrofitocenozių.
3. Dirvožemio nešmenyse sėklų skaičius priklauso nuo skirtingų agrofitocenozių ir nuo dienų su stipriais krituliais skaičiaus per augalų vegetacijos laikotarpį. Sėklų luobelės paviršiaus savybės siejasi su sėklų pasiskirstymu kalvotame reljefe.
4. Dirvožemio cheminių (dirvožemio  $pH_{KCl}$ , suminio azoto, judriųjų fosforo ir kalio, organinės anglies), fizikinių (dirvožemio drėgnio, struktūros, granulometrinės sudėties), biologinio rodiklio (mikroorganizmų biomasės anglies) ir sėklų banko tarpusavio ryšys priklauso nuo kalvos dalių mikroklimatinių sąlygų.

**Mokslinio darbo naujumas.** Pirmą kartą Lietuvos eroduotuose dirvožemiuose, skirtingomis agrofitocenozėmis užimtuose šlaituose, išsamiai išnagrinėti nuolatinio ir laikino dirvožemio sėklų banko struktūros kitimai. Taip pat pirmą kartą įvertinti dirvožemio nešmenyse sėklų skaičiaus ir rūšinės sudėties ypatumai bei įvertinta sėklų luobelės paviršiaus savybių svarba sėklų pasiskirstymui dirvožemio sėklų banke. Be to kompleksiskai įvertintos augalijos, dirvožemio sėklų banko ir dirvožemio cheminių, fizikinių bei biologinių rodiklių tarpusavio sąsajos, nustatius koreliacinius ryšius pagrįstus dėsningumus, kalvoto reljefo erozijos veikiamame dirvožemyje.

**Darbo praktinė vertė.** Kompleksiniai nuolatinio ir laikino dirvožemio sėklų banko bei dirvožemio cheminių, fizikinių, biologinių rodiklių tarpusavio sąsajų duomenys turi fundamentalią ir praktinę reikšmę. Prognozuojami klimato pokyčiai neišvengiamai paveiks sėklų ekologiją, todėl atsižvelgiant į tyrimuose nustatytus dėsningumus, bus galima pasirinkti tinkamiausias priemones ekosistemos stabilumui palaikyti eroduoto dirvožemio kalvotame reljefe.

**Darbo aprobacija.** Darbo tema paskelbtos trys publikacijos žurnale, referuojamame ir turinčiame citavimo indeksą duomenų bazėje „Web of Science“, keturios publikacijos kituose recenzuojamuose leidiniuose; keturios santraukos mokslinių konferencijų leidiniuose. Tyrimų rezultatai buvo pristatyti 9 mokslinėse konferencijose, 5 iš jų – tarptautinės.

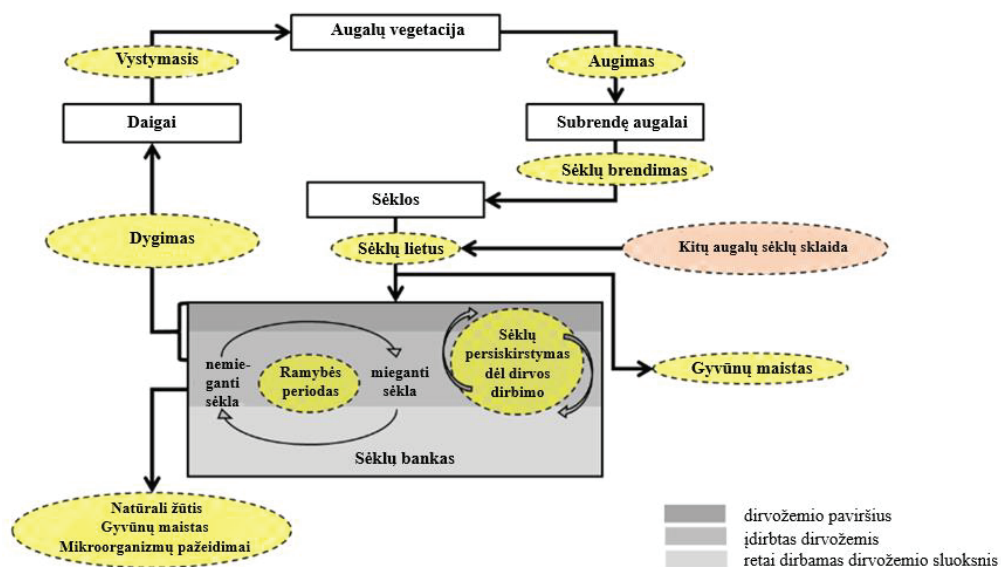
**Darbo apimtis ir struktūra.** Disertacija parašyta lietuvių kalba. Disertacijos apimtis 169 puslapiai. Ją sudaro įvadas, literatūros apžvalga, tyrimų metodai, tyrimų rezultatai ir jų aptarimas, išvados, darbe naudotos literatūros sąrašas ir mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas, straipsnių kopijos, disertacijos santrauka anglų kalba. Disertacijoje pateiktos 8 lentelės, 28 paveikslai, 7 priedų lentelės ir 1 priedų paveikslas. Panaudoti 204 literatūros šaltiniai. Disertacijos 3.5 rezultatų skyrelis parengtas straipsnio Skuodienė R., Matyžiūtė V., Aleinikovienė J., Fercks B., Repšienė R. (2023) pagrindu.

# 1. LITERATŪROS ANALIZĖ

## 1.1. Dirvožemio sėklų bankas

Dirvožemio sėklų bankas yra gyvybingų sėklų, esančių dirvos paviršiuje ir išsibarsčiusių dirvožemio profilyje, rezervas. Jį sudaro tiek naujos, neseniai išbarstytos augalų sėklos, tiek senesnės sėklos, kurios keletą metų išliko dirvožemyje (Begum ir kt., 2006; Menalled, 2008; Gardarin ir kt., 2009; Singh ir kt., 2012; Borgy ir kt., 2015). Dirvožemio sėklų bankas atspindi atžeminę augmeniją ir yra būsimos augmenijos rezervas, todėl jis potencialiai gali būti naudojamas vertinant buvusias, esamas ir būsimas augalų rūšis (Faist ir kt., 2013; Mahé ir kt., 2021).

Dirvožemio sėklų banko ilgaamžiškumas priklauso nuo rūšies ir dirvožemio sąlygų. Bet kuriuo metų laiku sėklų bankas nyksta dėl sėklų mirtingumo (fiziologinės žūties, faunos grobuoniškumo ar patogenų pažeidimų) ir sėklų dygimo. (1.1 pav.) (Mahé ir kt., 2021).



1.1 pav. Sėklų banko ciklas pagal Mahé ir kt. (2021)

Fig 1.1. Seedbank cycle according to Mahé et al. (2021)

Daugeliui sėklų yra būdinga ramybės būseną, kai sėklos subrendusios ir išbyrėjusios išdygsta sekančiais arba vėlesniais metais, taip išlikdamos gyvybingomis sėklomis jos apsisaugo nuo rūšių išnykimo neprognozuojamoje aplinkoje (Fennimore, 2017).

Literatūroje nurodoma, kur auga žemės ūkio augalai, sėklų banką įtakoja skirtingas dirvos dirbimas (Sosnoskie ir kt., 2006), herbicidų panaudojimas (Bennett, Shaw, 2000; Jha, Norsworthy, 2012), sėjomaina (Swanton, Booth, 2004; Anderson, 2004).

Dažniausiai subrendusios augalų sėklos pasklinda šalia motininio augalo, su laiku didelė dalis sėklų į dirvą patenka per plyšius, dirvožemio faunos veiklą ar žemės dirbimą. Didelis kritulių intensyvumas kalvos šlaituose sukelia vandens nutekėjimą ir kartu dirvožemio eroziją, sėklos taip pat gali būti nuplautos kartu su dirvožemiu, nuo kalvos viršūnės pašlaitės link (De Rouw ir kt., 2018).

Literatūroje nurodoma, kad dirvožemyje gali būti tūkstančiai sėklų viename kvadratiname metre (Menalled, 2013). Fenner (1985) nurodo, kad sėklų kiekis dirvožemyje yra nuo 0 iki 1 mln. sėklų m<sup>2</sup>. Reine (2004) ir Janicka (2016) teigia, kad pievų dirvožemyje sėklų skaičius gali būti nuo 6,0 iki 54,5 tūkst. gyvybingų sėklų kvadratiname metre viršutiniame dirvožemio sluoksnyje (iki 20,0 cm gylio).

Literatūroje nurodoma, kad užterštumas piktžolių sėklomis priklauso nuo rudeninio žemės dirbimo būdo. Naudojant gilų arimą dirvožemis buvo esmingai mažiau užterštas piktžolių sėklomis nei dirbant sekliai ar naudojant sėklų neariminį dirbimą. Taikant sėklų ir sėklų neariminį dirbimą piktžolių sėklų kiekis dirvožemyje nustatytas 1,7 ir 1,5 kartų didesnis nei dirbant tradiciniu būdu (Skuodienė ir kt., 2020). Naudojant gilų arimą dirvožemio sėklų banke rasta nuo 24,7 iki 51,6 tūkst. vnt. m<sup>-2</sup> sėklų, sekliai ariant – nuo 36,4 iki 69,6 tūkst. vnt. m<sup>-2</sup>, o beariminiais padargais dirbant – nuo 40,8 iki 71,7 tūkst. vnt. m<sup>-2</sup> sėklų (Skuodienė ir kt., 2020).

Sėklos yra svarbi piktžolių gyvavimo ciklo dalis, nes jos yra ypač svarbios vienmečių ir daugiamečių rūšims, tokioms kaip paprastoji kiaulpienė (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.), kurios dauginasi tik sėklomis (Gulden, Shirliffe, 2009). Sėklų bankai tarnauja daugeliui tikslų: leidžia tokioms rūšims kaip vienmetės piktžolės išgyventi atšiauriomis žiemos aplinkos sąlygomis; leidžia dygti daugelį metų nepriklausomai nuo veiksmingų kontrolės metodų (Gulden, Shirliffe, 2009).

Gyvybingų ir negyvybingų, pažeistų ir nepažeistų, sėklų proporcijos dirvožemio sėklų banke rodo ryšį tarp sėklų patekimo į dirvožemio sėklų banką ir jo išsekimo (Moravcová ir kt., 2007; Taura ir kt., 2022). Kita vertus, pažeistų, negyvybingų ir gyvybingų sėklų dalis taip pat rodo sėklų banko tipą (Van Clef ir kt., 2001). Vieni autoriai pagal sėklų ilgaamžiškumą dirvožemio sėklų banką skirsto į trumpalaikius sėklų bankus, kur gyvybingos sėklos išlieka mažiau nei 1 metus, ir patvarius sėklų bankus, kur gyvybingos sėklos išlieka ilgiau nei 1 metus. O patvarius dirvožemio sėklų bankus papildomai suskirsto į trumpalaikius patvarius, kur sėklos aptinkamos ilgiau nei 1, bet mažiau nei 5 metus, ir ilgalaikius patvarius sėklų bankus, kur sėklos išlieka ilgiau nei 5 metus (Thompson, Fenner, 1992). Csontos (2007) rekomenduoja, kad norit aptikti visą dirvožemio sėklų banką mėginius verta imti vėlyvą rudenį, o tiriant jo nekintamą dalį – mėginius imti vėlyvą pavasarį.

## 1.2. Dirvožemio sėklų banko vertikalus pasiskirstymas

Sėklų kiekis dirvožemyje yra labai įvairus tiek horizontalia, tiek vertikalia kryptimis (Benvenuti, 2007a). Sėklos padėtis dirvožemio profilyje kitų sėklų atžvilgiu sėklų banke, gali turėti įtakos jos gebėjimui sudygti (Harbuch, 2007). Benvenuti ir kt. (2001) nustatė, kad sėklos rečiau išdygo iš didesnio gylio, o didžiausias poveikis buvo mažesnės masės sėkloms. Sėklų daigumas sumažėja, kai jos atsiduria gilesniame dirvožemio sluoksnyje, nes joms trūksta šviesos ir šilumos (Harbuch, 2007).

Didžiausios sėklų banko atsargos randamos dirvožemio paviršiniame sluoksnyje (0–5 cm) (Gselman, Kramberger, 2004; Janicka, 2006; Butkevičienė ir kt., 2021; Skuodienė, Matyžiūtė, 2022) ir palaiptui mažėja profiliu gilyn (Erfanzadeh ir kt., 2010). Sėklų vertikaliam judėjimui įtakos turi dirvožemio granulimetrinė sudėtis (Benvenuti, 2007a), skirtingas žemės dirbimas (Moonen, Barberi, 2004; Colbach ir kt., 2005; Skuodienė ir kt., 2013; Fennimore, 2017). Skirtingi žemės dirbimo būdai įtakoja dirvožemio sėklų kiekio ir įvairovės pokyčius (Jose–Maria, Sans, 2011, Auškalnienė ir kt., 2018), ypač sėklų sudėtį viršutiniame 0–15 cm dirvožemio sluoksnyje (Barberi, Lo Cascio, 2001). Taikant supaprastinto žemės dirbimo sistemas, maždaug 80,0–90,0 % sėklų pasklinda viršutiniame 10 cm dirvožemio gylyje. Nearinguose laukuose didžioji dalis piktžolių sėklų lieka dirvos paviršiuje arba labai sekliai (Kumar ir kt., 2019).

Minimaliai dirbant žemę, dirvos paviršius labiau užsiteršia sėklomis, jis greičiau ir apsisvalo, nes paviršiuje esančios sėklos turi mažiau galimybių pereiti į ramybės būseną, jos greičiau sudygsta arba žūsta (Stancevičius, Raudonius, 1990). Dirvą dirbant 10 cm gyliu daugiausia – apie 80,0 % visų sėklų buvo randama 0–10 cm gylyje. Sėjant į nedirbtą dirvą, daugiau, nei 50,0 % visų piktžolių sėklų buvo randamos 0–5 cm gylyje (Auškalnienė, Auškalnis, 2009). Taikant įprastines žemės dirbimo sistemas, neseniai išsklaidytos bet kokios rūšies piktžolių sėklos bus randamos viršutiniame 5 cm gylyje tik nuėmus derlių. Senesnės sėklų kartos bus gilesniuose dirvožemio gyliuose (Ghersa ir kt., 2000). Taigi, žemės dirbimo supaprastinimas turi neigiamos reikšmės pasėlių piktžolėtumui.

## 1.3. Dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis

Dirvožemio sėklų banko ilgaamžiškumas ir dydis priklauso nuo augalų rūšies (Mahe, 2021). Mokslininkai dirvožemyje randa labai skirtingą augalų rūšių skaičių. Vienuose tyrimuose nurodoma daug augalų rūšių (38 ir 53) (De Cauver ir kt., 2010; Cordeau ir kt., 2022), kituose tyrimuose rasta nuo 5 iki 19 (Auškalnienė, Auškalnis, 2009; Auškalnienė ir kt., 2018; Mahé ir kt., 2021; Köllmann, Waldhardt, 2022). Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose piktžolių sėklų

rūšių gausa mažėja didėjant dirvožemio gyliui (Pan ir kt., 2020). Skirtingose agrofitocenezėse kalvoto reljefo sąlygomis dirvožemio 0–5 cm gylyje vidutiniškai rasta 8 augalų rūšių sėklos, o 5–15 cm gylyje vidutiniškai 6 augalų rūšių sėklos (Skuodienė ir kt., 2023). Ekologiškai ūkininkaujant nustatyta, kad dirvožemio sėklų banke sudarė dvigubai daugiau (18 rūšių), nei tradiciniu ūkininkavimo būdu (9 rūšys) (Köllmann, Waldhardt, 2022). Nešienautoje 27 metų pievoje buvo nustatytos 32 dirvožemio sėklų banke esančios rūšys iš jų 11 pievų rūšių, 20 segetalinių ir 1 medžio rūšis (Skuodienė, Matyžiūtė, 2022). Didesnė sėklų banke rūšių gausa (40 rūšių) viename lauke buvo nustatyta per praėjusį šimtmetį ariamoje žemėje, kur buvo prastai kontroliuojamos piktžolės (Squire ir kt., 2000).

Sėklų banko rūšinę sudėtį 0–15 cm gylyje labiau įtakoja žemės dirbimo būdai nei sėjomaina (Barberi, Cascio, 2001). Taikant skirtingus ūkininkavimo būdus (tradicinį ar ekologinį) dirvožemio sėklų banke rūšių skaičius labai skyrėsi (Berbeć, Feledyn-Szewczyk, 2018). Daugiausia sėklų rūšių rasta beariminiame ir sekliame neariminiame žemės dirbime 0–5 cm dirvožemio gylyje (Auškalnienė, Auškalnis, 2009). Tačiau pasikeitęs žemės ūkio tvarkymo būdai skatina keistis piktžolių sėklų banko savybes, o tai dažnai lemia piktžolių floros dydžio ir rūšies sudėties pokyčius (Nichols ir kt., 2015). Rūšinė floros sudėtis gali būti svarbesnė už bendrą sėklų skaičių (Jastrzębska ir kt., 2013).

Dažniausiai nurodoma, kad didžiausią sėklų banko dalį sudaro kelios augalų rūšys (70,0–90,0 % viso sėklų banko)(Gselman, Kramberger, 2004; Pilipavičius, 2004; Auškalnienė, Auškalnis, 2009; Fennimore, 2017; Skuodienė, Matyžiūtė, 2022). Autoriai nurodo, kad labiausiai dirvožemiai užteršti baltosios balandos sėklomis (Pilipavičius ir kt., 2010; Sadrabadi Haghghi ir kt., 2013; Butkevičienė ir kt., 2021). Baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklos dirvožemyje gali sudaryti 90,0 % ar net daugiau visų rastų sėklų (Grigas, 1995) ir taip sukurti pastovų sėklų banką, gebantį išlikti gyvybingą dirvožemyje daugelį dešimtmečių (Gulden, Shirliffe, 2009). Šį procesą lemia rūšies biologinės savybės – didelis sėklų skaičius (Grundy ir kt., 2004),

Piktžolės subrandina daugiau sėklų nei žemės ūkio augalai. Pavyzdžiui, rauktalapė rūštyinė (*Rumex crispus* L.) subrandina 7000 sėklų, daržinė žliūgė (*Stellaria media* L.) 15000–25000, baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) iki 200000, o šiurkštusis burnotis (*Amarantus retroflexus* L.) gali subrandinti net milijoną sėklų (Bogužas, Marcinkevičienė, 2008).

Dirvožemio sėklų banko sudėtis priklauso nuo konkrečioje vietovėje šiuo metu ir praeityje susidariusių augalų bendrijų, taip pat nuo augalų biologinių savybių (Reine, Chocarro, 2004). Dirvožemio sėklų banke daugiausiai yra vienmečių augalų rūšių sėklų (Auffret, Cousin, 2011; Schwartz-Lazaro, Copes, 2019; Mahé, 2021). Janicka (2016) nustatė, kad ilgalaikio žolyno dirvožemio sėklų banke 80,0 % sudarė vienmečių dviskilčių rūšių sėklos, o pievų dirvožemio

sėklų banką 83,0 % sudarė baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) (37374 sėklos m<sup>2</sup>), daržinė žliūgė (*Stellaria media* L.) (6703 sėklos m<sup>2</sup>) ir paprastoji žilė (*Senecio vulgaris* L.) (2772 sėklos m<sup>2</sup>). Pastovų dirvožemio sėklų banką gali sudaryti tokios rūšys kaip dirvinis garstukas (*Sinapis arvensis* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* L.), aguona birulė (*Papaver rhoeas* L.), trikertė žvaginė (*Capsella bursa-pastoris* L.). Laikiną sėklų banką sudaro trumpos gyvenimo trukmės sėklų rūšys, tokios kaip: tuščioji aviža (*Avena fatua* L.), pelinis pašiaušėlis (*Alopecurus myosuroides* Huds), kibasis lipikas (*Galium aparine* L.), rugiagėlė (*Centaurea cyanus* L.) (Gulden, Shirtliffe, 2009).

#### 1.4. Dirvožemio sėklų banko ir agrofitecenozių augmenijos tarpusavio ryšys

Nors žemės dirbimas ir sėjomaina turi įtakos rūšinei sudėčiai ir sėklų bankui, sunku apibendrinti, kaip rūšys reaguos, nes daugumoje tyrimų atsižvelgiama į veiksnių (žemės dirbimo, herbicidų naudojimo, augalų sėjomainos) sąveiką sėklų banko dinamikai (Schwartz–Lazaro, Copes, 2019; Žekonienė ir kt., 2008).

Literatūroje nurodoma, kad sėklų banko rūšinė sudėtis iš dalies priklauso nuo augmenijos. Monstvilaitė, Kinderienė (2000) nurodo, kad pasėliuose piktžolių kiekis, jų botaninė sudėtis keičiasi priklausomai nuo reljefo. Šlaitų viršutinėse ir vidurinėse dalyse dominuoja piktžolės, pakenčiančios drėgmės trūkumą ir didesnę dirvožemio rūgštumą: vienametės klėstenės (*Scleranthus annuus* L.), dirviniai kežiai (*Spergula arvensis* L.). Šlaito apačioje bujoja piktžolės, mėgstančios drėgmę ir turtingesnę maisto medžiagomis dirvą: baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), dirviniai vijokliai (*Convolvulus arvensis* L.), baltosios smilgos (*Agrostis stolonifera* L.). Kai kurios piktžolės gerai auga visose šlaito dalyse.

Dirvožemio sėklų bankas gali atlikti esminį vaidmenį atkuriant pusiau natūralias pievas (Stroh ir kt., 2012). Pievų dirvožemio sėklų banko turtingumas priklauso nuo daugybės veiksnių: žolyno rūšinės sudėties, apylinkėse augančios augmenijos tiek šiuo metu, tiek praeityje, biologinės rūšies savybės (sėklų ilgaamžiškumo, morfologijos), oro sąlygų ir naudojimo (Smith ir kt., 2002; Reine ir kt., 2004; Stańko-Bródkowa, 2008; Peng ir kt., 2010; Rossiter ir kt., 2014).

Tyrimai rodo, kad dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis neatitinka pievų bendrųjų rūšinės sudėties (Lopez-Marino ir kt., 2000; Bossuyt ir kt., 2006; Klimkowska, 2006; Valko ir kt., 2011). Janicka (2016) nurodo, kad dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis sudarė apie 30,0–40,0 % pievų žolynų botaninės sudėties, o didesnis panašumas nustatytas viršutiniame 0–5 cm gylyje ir mažėjo didėjant dirvožemio gyliui. Pievų tvarkymas daro įtaką floristiniam panašumui tarp susiformavusios augmenijos ir sėklų banko (Auffret, Cousins, 2011).



Siekiant nustatyti augalijos ir dirvožemio sėklų banko panašumą naudojami Sørensen (Cs) floristinio panašumo koeficientai (Gonzalez, Ghermandi, 2008; Plohak ir kt., 2020); Šenono įvairovės indeksai (Berbeć, Feledyn-Szewczyk, 2018).

Sėjomaina, yra veiksminga piktžolių sėklų banko valdymo priemonė. Įvedant daugiamečius augalus į vienmečių pasėlių sistemas, laikui bėgant išiekuojamas vienmečių rūšių dirvožemio sėklų bankas (Gulden, Shirliffe, 2009). Maksimalus bioįvairovės sėjomainoje palaikymas (pasėlių diversifikacija), žieminių ir vasarinių pasėlių kaita riboja skirtingos tipologijos piktžolių (vienamečių, dvimečių ar daugiamečių) dauginimąsi ir plitimą (Stevenson ir kt., 1998). Sėjomainos su daugiametėmis žolėmis padeda užkirsti kelią vienaskilčių piktžolių, ypač paprastosios rietinės (*Echinochloa crus-galli* L.), plitimui (Butkevičienė ir kt., 2021).

Rūšys, kurios dauginasi vegetatyvinio dauginimosi būdu, paprastai duoda mažai sėklų palyginti su vienametėmis piktžolėmis, ir net ten kur šių rūšių gausu antžeminėje augalijoje, jų sėklų banke gali ir nebūti. Nėra aiškios tendencijos tarp sėklų banko ir antžeminės augalijos ir bet koks ryšys labai priklauso nuo rūšių sudėties ir pasėlių sistemos (Ryan ir kt., 2010).

Tačiau ankstesni tyrimai davė prieštarų rezultatų. Kai kurie tyrimai rodo tvirtus ryšius tarp piktžolių sėklų banko ir antžeminės paviršiaus bendruomenės (Rahman ir kt., 2001; Tuesca ir kt., 2004; Rahman ir kt., 2006), tačiau remiantis kitų tyrėjų duomenimis tarp šių rodiklių buvo nustatyta silpna koreliacija (Wilson ir kt., 1985).

Dėl tradicinio pievų tvarkymo susidariusi tanki velėna, kurioje vyrauja daugiametės rūšys su trumpalaikiu sėklų banku, lemia menką susiformavusios augmenijos ir sėklų bankų panašumą (Kalamees, Zobel, 2002; Valko' ir kt., 2011).

### 1.5. Sėklų morfologinės savybės

Sėkla yra augalo dalis, kuri yra generatyvinio dauginimosi būdas ir tampa vienu iš svarbiausių rodiklių nustatant ir klasifikuojant rūšį (Khalik ir kt., 2007). Sėklų morfologinės savybės yra kiekybinės (ilgis, plotis, masė, tūris) ir kokybinės (spalva, paviršius, forma). Pagrindinė informacija apie sėklų morfologiją ir sėklų grupavimą gali būti panaudota siekiant išsaugoti sėklas (Lestari ir kt., 2022). Sėklos morfologinis pobūdis taip pat lemia sėklos kokybę. Kokybiškos sėklos pasižymi geromis fizikinėmis ir fiziologinėmis savybėmis (Imansyah ir kt., 2020). Agronomijoje sėklų morfologinės savybės gali atspindėti genetinius, fiziologinius ir ekologinius požymius, kurie turės įtakos derliui ir kokybei (Cervantes ir kt., 2016).

Morfologinės sėklų savybės tai pat turi įtakos sėklų kokybei. Sėklų dydis labai įtakoja sėklų derlių ir sėklų gyvybingumą, sėklos masę, augalo aukštį (Leslie ir kt., 2017; Baidya ir kt., 2019). Sėklų morfologija yra ne tik susijusi su sėklų rūšies ir kokybės nustatymu, bet ir su sėklų paplitimu gamtoje (Diantina ir kt., 2020; Lewis ir kt., 2013; Mandarim-de-Lacerda, Del Sol,

2017). Kaip sėkla pasklis nuo motinio augalo, galima sužinoti iš sėklų savybių (Anvarkhah ir kt., 2011). Sparnuotąsias sėklas paprastai paskleidžia vėjas, o sunkias sėklas platina gyvūnai (Leslie ir kt., 2017). Morfologinės sėklų savybės yra viena iš prisitaikymo prie sėklų sklaidos formų (Gan ir kt., 2022). Kiekybinius požymius lengvai įtakoja aplinkos veiksniai, kur sėklos dygsta (Mandarim-de-Lacerda, Del Sol, 2017).

Literatūroje nurodoma, kad vandens nutekėjimas kalvos paviršiumi turi įtakos sėklų praradimui, tiriant sėklos dydį ir formą (Cerdà ir kt., 2002), bei kalvos nuolydžio kampa (García-Fayos, Cerdà, 1997).

Literatūroje nurodoma, kad sėklų forma yra svarbi jų vertikaliai pasiskirstymui (Dias, 2022). Piktžolių sėklų sudygimą lemia ir sėklų luobelės tvirtumas (Romanecienė, 2007). Augalai yra prisitaikę įvairiais būdais skleisti savo sėklas (Nathan ir kt., 2008; Lestari, Pratiwi, 2022). Sėklų morfologinės savybės yra susijusios ne tik su sėklų rūšies identifikavimu, bet ir su sėklų paplitimu gamtoje (Diantina ir kt., 2020). Sėklos masė ir sėklos forma yra susijusios su sėklos išsilaikymu ir su jų ramybės būseną (Thompson ir kt., 1993).

Nustatyta, kad rūšys, kurių sėklos pailgos arba suplotos, paprastai buvo trumpiau ramybės būsenoje nei apvalios (Gardarin, Colbach, 2015).

Mažos ir kompaktiškos sėklos dažnai būna patvaresnės nei didesnės ir linkusios lengviau prasiskverbti į dirvą. Taigi tokios sėklos dažnai išlieka dirvožemyje ilgiau vien dėl to, kad nukeliauja į gilesnius dirvožemio sluoksnius ir sudygsta vėliau (Thompson ir kt., 1993; Gaba ir kt., 2017).

Didesnėms sėkloms sudygti paprastai reikia daugiau laiko nei mažesnėms. Didesnis sėklos paviršiaus ploto ir masės santykis gali sumažinti vandens sugėrimo gebėjimą arba storesni sėklų apvalkalai gali sulėtinti daigumą, ribodami deguonies mainus arba veikdami kaip fizinį embriono augimo apribojimą (Ritchie ir kt., 2000).

### **1.6. Dirvožemio sėklų banko ir aplinkos veiksnių sąsajos**

Tiek sėklų bankas, tiek išdygusi augmenija reaguoja į naudojamą agrotechniką ir yra įtakojami dirvožemio fizikinių bei cheminių savybių (organinės anglies ir bendro azoto ir kt.) (Hawes ir kt., 2010). Piktžolių išplitimas pasėliuose, jų rūšinė įvairovė ir išsivystymas taip pat nemažai priklauso nuo dirvožemio savybių, lemiančių skirtingas mitybos sąlygas (Arlauskienė, Maikštėnienė, 2004). Dėl nevienodos dirvožemio erozijos atskirose kalvos vietose augalų vystymuisi kalvotame reljefe susidaro skirtingos sąlygos, įskaitant dirvožemio drėgnio, rūgštingumo, maistinių medžiagų, humuso ir kt. skirtumus (Monstvilaitė, Kinderienė, 2000). Dirvožemio drėgnis lemia fizikinės brandos trukmę bei sėklų sudygimo sąlygas (Maikštėnienė, 1996). Dėl organinės anglies ir azoto kiekio poveikio motininiam augalam yra įtakojamas ir

dirvožemio sėklų bankas (Hawes ir kt., 2009). Nuo organinės anglies ( $C_{org}$ ) kiekio priklauso augalų derlingumas, mikroorganizmų veikla, maisto medžiagų prieinamumas augalams, dirvožemio struktūra ir biologinis aktyvumas (Frouz, 2017). Literatūroje nurodoma, kad dirvožemio sėklų bankas yra nuolat atnaujinamas, greitai dygstančios sėklos negali kauptis dėl didelės dirvožemio drėgnio, organinių medžiagų ir kt. (Gandía, 2022). Dirvožemio organinių medžiagų kiekio padidėjimas lemia biologinį aktyvumą (atsiranda daug bakterijų, grybų, dirvožemio fermentų, vabzdžių ir sliekų) kurie gali sumažinti dirvožemio sėklų gyvybingumą (Dorado 1999; Fennimore, Jackson, 2003). Gandía (2022) nustatė, kad esant geroms dirvožemio sąlygomis (optimalus dirvožemio drėgnis, organinių medžiagų kiekis) lemia, kad dirvožemio sėklų bankas nuolat atnaujinamas, o sėklos greitai dygsta ir nepatenka į ramybės būseną ir sudaro trumpalaikį sėklų banką. Dirvožemyje, kuriame mažai organinių medžiagų, didėja sėklų rezervas, tačiau daugiausiai šį rezervą sudaro negyvybingos sėklos. Cauwer ir kt. (2010), nustatė, kad dirvožemio sėklų bankui įtakos turėjo tręšimas azotu ir padidino rupūžinio vikšrio (*Juncus bufonius* L.) sėklų banko tankį.

Albrecht, Auerswald (2003) tyrimo metu buvo nustatyta, kad fosforo ir azoto koncentracijos daugiausia prisidėjo prie organinių medžiagų patekimo į dirvą. Nustatytos nereikšmingos koreliacijos, kurios rodo, kad dirvožemyje esantis fosforas ir azotas beveik neturi įtakos sėklų bankui, tačiau šie rodikliai labiau paveikė rūšių sudėtį dirvožemio sėklų banke nei sėklų skaičių. Dunker, Nordmeyer, (2000) tyrimo metu, buvo nustatyta, kad kibisis lipikas (*Galium aparine* L.) ir daržinė žliūgė (*Stellaria media* L.) renkasi didelę azoto koncentraciją dirvožemyje. Dirvožemio  $pH_{KCl}$  turi didelę įtaką dirvožemio sėklų bankams (Albrecht, Auerswald, 2003). Albrecht ir Bachthaler (1990) nustatė, kad dirvožemio sėklų skaičius kalkinguose dirvožemiuose dažniausiai buvo mažas. Vidutinis lygis buvo nustatytas dirvožemiuose, kurių reakcija buvo vidutiniškai, o didžiausias sėklų tankis buvo laukuose, kuriuose buvo rūgštus smėlis arba kuriuose buvo optimalus drėgnio kiekis. Albrecht, Auerswald (2003) nustatė, kad sėklų bankų pokyčius lėmė C:N santykis ir jis reikšmingai koreliavo su bendru sėklų skaičiumi.

Atlikti tyrimai nurodo, kad kalvos šlaituose dirvožemio sėklų banko pasiskirstymui įtakos turi dirvožemio agregatinė sudėtis. Transportuojamas nuosėdas daugiausiai sudarė agregatai, kuriuose buvo daug molio ir dumblo dalelių, surištų organinėmis medžiagomis ir galbūt sėklomis. Konkretus sėklų mobilumas dirvožemyje greičiausiai buvo panašus į tokio paties dydžio dirvožemio daleles, bet taip pat priklausė nuo erozijos procesų, sėklų pasiskirstymo dirvožemio profilyje ir sėklų hidrodinaminių savybių (dydžio, formos, masės ir kitos paviršiaus savybės) (Benvenuti 2007a; Garcia-Fayos ir kt., 2010).

Literatūroje rašoma, kad natūralios dirvožemio mikroorganizmų populiacijos taip pat gali turėti įtakos dirvožemyje esančios sėklos, jų ilgaamžiškumui ir augalų vystymuisi (Blaney ir kt., 2001; Schafer ir kt., 2003; Schafer, 2004). Įprasta veikla, kurią skatina dirvožemio mikroorganizmai, apima organinių medžiagų ir mineralų ciklą, junginių biologinį skaidymą ir detoksikaciją taip įtakodami augalų augimą (Chee-Sanford ir kt., 2006). Dirvožemio mikroorganizmų dauginimasis ir išlikimas dirvožemyje glaudžiai susijęs su fizikinėmis cheminėmis aplinkos sąlygomis, o dirvožemio drėgnis ir temperatūra yra svarbūs veiksniai, kurie reguliuoja mikroorganizmų populiacijas ir taip įtakoja sėklų banko išlikimą dirvožemyje (Chee-Sanford ir kt., 2010). Žinios apie sėklos gyvybingumo būseną arba sėklos gyvybingumą yra labai svarbios norint suprasti sėklų ir mikroorganizmų sąveiką dirvožemyje (Chee-Sanford ir kt., 2010; Pollard, 2018).

*Apibendrinant analizuotą literatūrą, galima teigti, kad dirvožemio sėklų bankas priklauso nuo augusių augalų ir jų agrotechnikos, dirvožemio sąlygų, sėklų morfologinių savybių bei sėklų ilgaamžiškumo ir jų ramybės būsenos, tačiau Lietuvos kalvotame reljefe kintančio klimato sąlygomis tokių tyrimų nėra atlikta arba atliekami tik fragmentiškai.*

## 2. TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODIKA

### 2.1. Tyrimo objektas

Dirvožemio sėklų bankas, skirtingose kalvoto reljefo agrofitocenozėse.

### 2.2. Eksperimento vieta ir dirvožemis

Vertinant aplinkos sąlygų įtaką dirvožemio sėklų bankui kalvotame reljefe dirvožemio ir augalų ėminiai imti iš LAMMC Vėžaičių filiale 1993 metais dr. B. Jankausko įrengto stacionarinio lauko bandymo (Kaltinėnai, Šilalės r., koordinatės: 55°577' N 22°482' E) (2.1 pav.). Stacionarinio lauko eksperimento schema jungia šešeripias žemės naudojimo sistemas šešerių metų laikotarpiu kaitaliojant skirtingus augalus arba laikant dėl skirtingo naudojimo natūraliai kintančias fitocenozes (Jankauskas, Jankauskienė, 2003).



**2.1 pav.** Stacionarinis lauko eksperimentas, LAMMC Vėžaičių filialas, Kaltinėnai, 2022 m.  
**Fig 2.1.** *Stationary field experiment, Vėžaičiai Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kaltinėnai, 2022*

Kalvos ekspozicija yra pietinė, šlaito nuolydis 9–11°. Eksperimento dirvožemis – dulkiškas lengvas priemolis ant rišlaus smėlio su giliau slūgsančiu dulkišku vidutinio sunkumo priemoliu eroduotas balkšvažemis (LTDK 99) – *Eutric Retisol* (WRB 2022). Dirvožemio 0–5 ir 5–10 cm gylio agrocheminių ir fizikinių savybių rodikliai pradedant bandymą pateikti 2.1 lentelėje.

**2.1 lentelė.** Dirvožemio agrocheminės ir fizikinės savybės, 2020 m. (Skuodienė ir kt., 2023)

**Table 2.1.** Agrochemical and physical properties of the soil, 2020 (Skuodienė et al, 2023)

Rodiklis / Variable	Kalvos dalys/Part of the hill					
	Viršūnė/Summit		Šlaitas/Midslope		Pašlaitė/Footslope	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
<b>Ilgalaikis žolynas/ Permanent grassland (Ž)</b>						
pH <sub>KCl</sub>	5,5	5,8	6,4	6,0	5,1	4,9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	52,7	39,7	96,0	46,3	38,3	14,0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	253,7	138,3	250,7	132,3	329,7	154,0
N <sub>sum</sub> (%)	0,132	0,096	0,150	0,124	0,162	0,101
C <sub>org</sub> (%)	1,12	0,97	1,54	1,17	1,65	1,12
Tankis/Density (mg m <sup>-3</sup> )	1,00	1,12	0,76	0,93	0,81	1,07
Dirvožemio drėgnis/ Soil moisture <sup>1</sup> (%)	21,4–25,5	14,5–18,0	22,3–42,7	22,3–23,4	23,0–30,7	19,5–20,7
<b>Javų-žolių sėjomaina/Cereal–grass crop rotation (JŽ)</b>						
pH <sub>KCl</sub>	5,6	5,4	5,3	5,1	5,1	5,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	192,0	201,0	165,0	168,0	149,0	148,0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	209,0	112,0	198,0	98,0	223,0	107,0
N <sub>sum</sub> (%)	0,078	0,077	0,097	0,096	0,106	0,101
C <sub>org</sub> (%)	0,9	0,8	1,1	1,0	1,1	1,0
Tankis/Density (mg m <sup>-3</sup> )	1,34	1,36	1,35	1,35	1,27	1,33
Dirvožemio drėgnis/ Soil moisture <sup>1</sup> (%)	12,1–16,1	11,9–14,7	15,4–21,2	14,1–19,4	17,8–21,8	16,9–20,6
<b>Sėjomaina su kaupiamaisiais augalais /Crop rotation with a row crop (KA)</b>						
pH <sub>KCl</sub>	6,4	6,6	5,4	5,7	5,2	5,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	211,7	213,7	174,3	174,0	163,7	140,0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	181,7	112,7	225,0	103,7	207,3	116,3
N <sub>sum</sub> (%)	0,072	0,057	0,084	0,082	0,091	0,085
C <sub>org</sub> (%)	0,65	0,68	0,82	0,82	0,94	0,82
Tankis/Density (mg m <sup>-3</sup> )	1,32	1,38	1,30	1,30	1,38	1,44
Dirvožemio drėgnis/ Soil moisture <sup>1</sup> (%)	13,0–15,7	13,3–14,6	15,3–16,6	15,4–16,4	18,2–20,2	17,5–18,9

Pastaba: <sup>1</sup>– Min–max. vertės augalų vegetacijos sezono metu.

Note: <sup>1</sup>– Min–max. values during the growing season.

### 2.3. Eksperimento schema

*A veiksnys. Agrofitocenozės*

1. Ilgalaikis žolynas
2. Javų-žolių sėjomaina
3. Sėjomaina su kaupiamaisiais augalais

*B veiksnys. Kalvos dalys*

1. Viršūnė
2. Šlaitas
3. Pašlaitė

Dirvožemio sėklų banko tyrimai atlikti sėjomainose (2.2 lentelė), kurios skiriasi žemės dirbimo būdais ir ilgalaikiame žolyne (agrofitocenozėse).

## 2.2 lentelė. Auginamų augalų kaita lauko sėjomainose

**Table 2.2. Changes of grown plants in the crop rotations**

Metai/ Year	Javų-žolių sėjomaina/ Cereal-grass crop rotation	Sėjomaina su kaupiamaisiais augalais/ Crop rotation with a row crop
2019	Žieminiai kviečiai/ <i>Triticum aestivum</i> L.	Žieminiai kviečiai/ <i>Triticum aestivum</i> L.
2020	Vasariniai miežiai/ <i>Hordeum vulgare</i> L.	Bulvės/ <i>Solanum tuberosum</i> L.
2021	Vasariniai kviečiai/ <i>Triticum aestivum</i> L.	Vasariniai miežiai + daugiamečių žolių įsėlis/ <i>Hordeum vulgare</i> L. with undersown peren-nial grasses
2022	Vasariniai miežiai + daugiamečių žolių įsėlis/ <i>Hordeum vulgare</i> L. with undersown peren-nial grasses	Daugiametės žolės I n.m./ Perennial grasses first year of use
2023	Daugiametės žolės I n.m./ Perennial grasses first year of use	Žieminiai kviečiai/ <i>Triticum aestivum</i> L.
2024	Daugiametės žolės II n.m./ Perennial grasses second year of use	Juodasis pūdymas/ Black fallow

**Ilgalaikis žolynas** netręštas ir nešienautas, suformuotas iš daugiakomponenčio žolių mišinio (20,0 % pašarinis motiejukas (*Phleum pratense* L.); 20,0 % raudonasis eraičinas (*Festuca rubra* L.); 20,0 % pievinė miglė (*Poa pratensis* L.); 20,0 % baltosis dobilas (*Trifolium repens* L.) ir 20,0 % paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.)) įsėto į vikių (*Vicia sativa* L.) ir avižų (*Avena sativa* L.) mišinį, prieš stacionarinio lauko eksperimento įrengimą ir be atsėjimo auginto 12 metų ar dar ilgiau (Jankauskas, Jankauskienė, 2003).

**Javų-žolių sėjomainoje 2020 metais** auginti vasariniai miežiai (*Hordeum vulgare* L.) ‘Luokė’, sėti 2020.04.23, norma 220 kg ha<sup>-1</sup>. Po sėjos tręšta NPK 9–14–27+7S trąšomis, norma 250 kg ha<sup>-1</sup>, voluota. Panaudoti herbicidai BBCH 32 augalų augimo tarpsniu: MCPA (MCPA 750 g l<sup>-1</sup>) 30 ml + Arrat (dikamba 500 g kg<sup>-1</sup> (50,0 %) ir tritosulfuronas 250 g kg<sup>-1</sup> (25,0 %)) 10 ml. **2021 metais** auginti vasariniai kviečiai (*Triticum aestivum* L.), ‘Taifun’ sėti 2021.04.27, norma 250 kg ha<sup>-1</sup>. Prieš sėją tręšta NPK 15–15–15 trąšomis, norma 600 kg ha<sup>-1</sup>. Po sėjos – voluota. Pesticidai nenaudoti. **2022 metais** auginti vasariniai miežiai (*Hordeum vulgare* L.) su daugiamečių žolių įsėliu. Vasarinių miežių veislė ‘Ema’ sėta 2022.05.04, norma 180 kg ha<sup>-1</sup>. Sėtas daugiamečių žolių mišinys: pašariniai motiejukai (*Phleum pratense* L.) ir raudonieji dobilai (*Trifolium pratense* L.) santykis 1:2, norma 18 kg ha<sup>-1</sup>. Prieš sėją tręšta NPK 15–15–15 trąšomis, norma 400 kg ha<sup>-1</sup>. Panaudotas herbicidas BBCH 23 augalų augimo tarpsniu: MCPA 750 (MCPA 750 g l<sup>-1</sup>) 0,8 l ha<sup>-1</sup>.

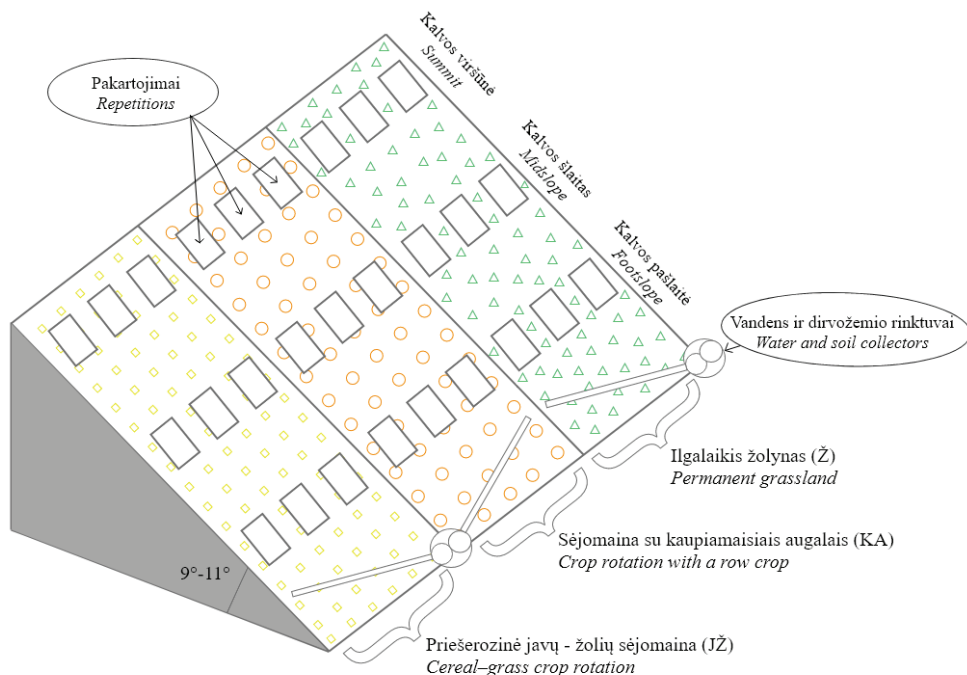
**Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais 2020 metais** augintos bulvės, (*Solanum tuberosum* L.) ‘Vineta’, sėtos 2020.05.05, norma 4 t ha<sup>-1</sup>. Prieš sėją tręšta NPK 9–14–27+7S trąšomis, norma 250 kg ha<sup>-1</sup>. Panaudoti pesticidai BBCH 41 augalų augimo tarpsniu: fungicidas Infinito (propamokarbo hidrochloridas 625 g l<sup>-1</sup> (55,3 %), fluopikolidas 62,5 g/l (5,5 %)) 1,6 l ha<sup>-1</sup> ir insekticidas Bulldock 025 EC (beta-ciflutrinis 25g l<sup>-1</sup>) 0,25 l ha<sup>-1</sup>. **2021 metais** auginti vasariniai miežiai (*Hordeum vulgare* L.) su daugiamečių žolių įsėliu. Vasarinių miežių veislė ‘Laureate’ sėta 2021.04.27, norma 200 kg ha<sup>-1</sup>. Sėtas daugiamečių žolių mišinys:

raudonieji dobilai (*Trifolium pratense* L.), veislė ‘Arimaičiai’; tikrasis eraičinasis (*Festuca pratensis* Huds.), veislė ‘Arita’, liucerna (*Medicago sativa* L.), veislė ‘Birutė’, pašarinis motiejukas (*Phleum pratense* L.), veislė ‘Žolis’, norma 22 kg ha<sup>-1</sup>. Prieš sėją tręšta NPK 15–15–15 trąšomis, norma 600 kg ha<sup>-1</sup>. Po sėjos – voluota. Pesticidai nenaudoti. **2022 metais** augintos daugiametės žolės I naudojimo metų.

Abiejose sėjomainose šlaito dirvožemį saugant nuo erozijos, per žiemą paliktos ražienos, o pavasarį taikytas minimalus dirvos dirbimas (12–15cm gylyje). Javai ir daugiametės žolės sėtos išilgai šlaito.

Pietinio šlaito ilgis siekė 65,0 m. Kiekvienoje kalvos dalyje buvo įrengtos stacionarios 21,0 m<sup>2</sup> (7,0 × 3,0 m) aikštelės. Kiekviena aikštelė buvo padalinta į tris pakartojimus t. y. stačiakampio formos laukelius 7,0 m<sup>2</sup> (7,0 × 1,0 m). Atstumai tarp aikštelių skirtingose kalvos vietose buvo 15,0 metrų. Dirvožemio sėklų banko bei cheminių, fizikinių ir mikrobiologinių analizių ėminiai imti trimis pakartojimais, kurie išdėstyti horizontalia kryptimi (2.2 pav.).

Nutekančio vandens ir nunešamo dirvožemio surinkimui kalvos šlaito apačioje yra įrengti 2,0 m gylis ir 1,5 m skersmens šuliniai dirvožemio ir vandens rezervuarams talpinti.



**2.2 pav.** Tyrimo schema, 2020–2022 m.  
**Fig 2.2.** Experimental design, 2020–2022



## 2.4. Tyrimų metodai

### 2.4.1. Augalinės analizės

Dirvožemio sėklų bankui nustatyti dirvožemio mėginiai imti iš dviejų gylių: 0–5 cm ir 5–15 cm gyliuose kiekviename pakartojime ir nuneštame dirvožemyje (nešmenyse). Iš kiekvieno pakartojimo 20 vietų gražtu paimta 2 kg dirvožemio, iš kurio pasverti 5 mėginiai po 100 g. Pasvertas 100 g sauso dirvožemio mėginys, supiltas ant sieto (akučių dydis 0,25 mm) ir plautas tekančio vandens srove, kol išplautos smulkios dirvožemio dalelės. Prisotintu druskos tirpalu atskirta likusi mineralinė dirvožemio dalis nuo organinės bei nuo sėklų (Pupalienė ir kt., 2012). Nustatant sėklų rūšį naudoti vaizdą didinantys optiniai prietaisai ir sėklų rūšių apibūdinimui naudotas A. Grygo (1986) monografija „Lietuvos augalų vaisiai ir sėklos“. Sėklų gyvybingumas nustatytas pagal Rahman ir kt. (1995), ardant sėklas adata.

Sėklų skaičius perskaičiuotas tūkst. vnt. m<sup>2</sup>:

$$A = n \times h \times p \times 100,$$

kur: A – sėklų skaičius, vnt. m<sup>2</sup>; n – mėginyje rastas sėklų skaičius, vnt.; h – tiriamojo armens sluoksnio storis, cm.; p – dirvožemio tankis, g cm<sup>3</sup> (Stancevičius, 1979).

Kadangi dirvožemio sėklų bankas kinta (pasipildo ir nyksta) dirvožemio ėminiai sėklų bankui tirti imti pagal Csontos (2007) du kartus. Kad būtų aptiktas visas sėklų bankas, tai yra pasipildęs augalų vegetacijos metu subrandintomis sėklomis, vėjo ar vandens atneštomis sėklomis, dirvožemio ėminiai imti rudenį (2020.09.11; 2021.09.01; 2022.09.22) ir tekste naudojamas terminas „**laikinas sėklų bankas**“, nes iki pavasario dalis sėklų supūva arba sunaikinamos dirvos faunos. Tiriant nekintamą dirvožemio sėklų banko dalį ėminiai imti pavasarį, vegetacijos pradžioje (2020.04.08; 2021.04.21; 2022.03.24) ir tekste naudojamas terminas „**nuolatinis sėklų bankas**“.

Piktžolių apskaita atlikta kiekviename pakartojime, keturiose vietose 0,25 m<sup>2</sup> dydžio stacionariose plotuose. Javų pasėlio piktžolėtumas nustatytas 2 kartus per vegetacijos periodą: piktžolių skaičius (pagal rūšis) (2020.06.25; 2021.06.02 ir 2022.06.03), bei piktžolių skaičius ir jų masė (pagal rūšis) (2020.07.28; 2021.08.04 ir 2022.08.19).

Ilgalaikio žolyno rūšinė sudėtis nustatyta De Vries metodu (Peeters, 1989; Skuodienė, 2004), paimant iš vienos aikštelės 30 augalų mėginių ir juos įvertinat. Mėginių paėmimas laukelyje atsitiktinis. Darbe naudotas rūšies santykinio gausumo rodiklis (P %), išreikštas procentais:

$$P \% = F \% / \Sigma F \% \times 100,$$

kur F % rūšies dažnumo procentas:  $F \% = n/N \times 100$ . Jis gautas, mėginių, kuriuose rastos rūšys, sumą (n) dalijant iš bendro mėginių skaičiaus (N) (Peeters, 1989).

#### 2.4.2. Dirvožemio cheminės analizės

Dirvožemio ėminiai cheminėms analizėms buvo imti iš kiekvieno pakartojimo 0–5 ir 5–15 cm gylių. Ėminį sudarė 20 zondo dūrių, kurie paimti einant kiekvieno laukelio įstrižaine. Dirvožemio cheminės savybės nustatytos šiais metodais:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  1 mol l<sup>-1</sup> KCl suspensijoje – ISO 10390:2005; organinė anglis ( $C_{\text{org}}$ ) – sausojo deginimo Dumas metodu ISO 10694:199; suminis azotas ( $N_{\text{sum}}$ ), % – Kjeldalio metodu ISO 11261:1995; judrusis fosforas  $\text{P}_2\text{O}_5$  mg kg<sup>-1</sup> – LVP D-07:2016, 9 leidimas, laboratorijos parengtas Egnerio-Rimo-Domingo (A–L) metodas; judrusis kalis  $\text{K}_2\text{O}$  mg kg<sup>-1</sup> – LVP D-07:2016, 9 leidimas, laboratorijos parengtas Egnerio-Rimo-Domingo (A–L) metodas; C:N santykis nustatytas pagal formulę:  $C_{\text{org}} / N_{\text{sum}} = \text{C:N}$ .

#### 2.4.3. Dirvožemio fizikinės analizės

Aeracijos ir drėgmės sąlygoms įvertinti nustatytas dirvožemio tankis ir drėgnis iš 0–5; 5–10 cm gylių. Tankis nustatytas 100 cm<sup>3</sup> cilindrinio gražtu (Kačinskio metodu). Dirvožemio drėgnis (%) augalų vegetacijos laikotarpiu nustatytas svorio metodu.

Dirvožemio struktūros analizė (sausas sijojimas) mikro ir makro agregatų patvarumas vandens poveikiui nustatytas iš 0–5 ir 5–15 cm gylio Savinovo metodu.

Granulimetrinė sudėtis nustatyta pagal trijų frakcijų: smėlio, dulkių ir dumblo procentinę sudėtį (Kačinskio metodu, modifikuotu pagal FAO).

#### 2.4.4. Dirvožemio biologinės analizės

Dirvožemio biologinis aktyvumas buvo įvertintas nustatant bendrą mikroorganizmų biomasės anglį. Dirvožemio ėminiai analizėms buvo imti iš kiekvieno laukelio 0–5 ir 5–15 cm gylių.

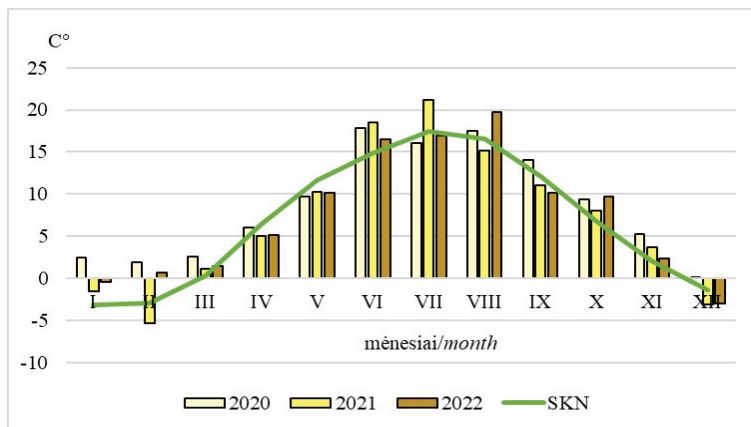
Dirvožemio mikroorganizmų biomasės anglies (MBC) kiekis buvo nustatytas pagal chloroformo fumigacijos ir ekstrahavimo (CFE) metodą, pagal Vance ir kt. (1987) ir Brooke (1995). MBC mėginys buvo apskaičiuotas pagal šią lygtį (Jenkinson, Powlson, 1976):

$$\text{MBC} = \text{CE} / 0,35,$$

kur: MBC kiekis išreikštas mg C sausosios masės pagal orausį dirvožemį, išvedant vidurkį iš trijų matavimų; CE – skirtumas tarp organinės C, ekstrahuotos iš fumiguotų ir nefumiguotų mėginių.

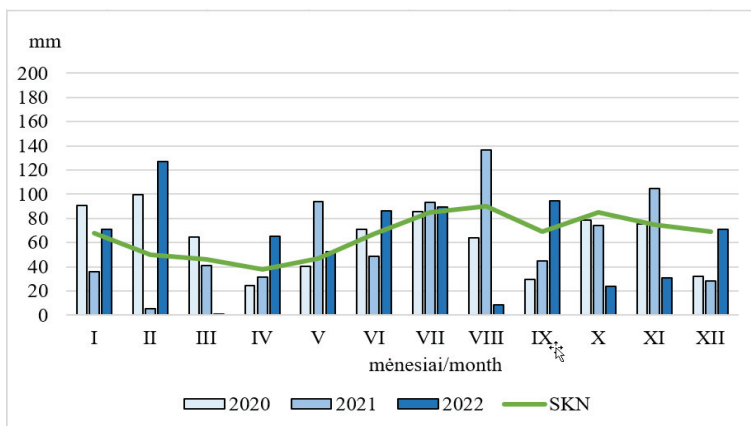
## 2.5. Meteorologinės sąlygos

Vertinant meteorologines sąlygas naudoti Laukuvos meteorologinės stoties duomenys (vidutinė mėnesio temperatūra, mėnesio kritulių suma).



2.3 pav. Vidutinė paros oro temperatūra tyrimų laikotarpiu, Laukuvos meteorologinė stotis, 2020–2022 m.

*Fig 2.3. The average daily air temperature (°C) during the study period.  
Data from the Laukuva Automatic Meteorological Station, 2020–2022*



2.4 pav. Kritulių kiekis tyrimų laikotarpiu, Laukuvos meteorologinė stotis, 2020–2022 m.

*Fig 2.4. The average daily air precipitation (mm) during the study period.  
Data from the Laukuva Automatic Meteorological Station, 2020–2022*

2020 metais sausio, vasario ir kovo mėnesiais vidutinė oro temperatūra nustatyta teigiama, o kritulių iškrito 90,8; 99,6 ir 64,7 mm (33,5; 99,2 ir 40,6 % daugiau negu standartinė klimato norma (SKN)) (2.3 ir 2.4 pav.). Augalų vegetacija atsinaujino balandžio 25 d. Augalų augimo metu, t. y. balandžio–liepos mėn. oro temperatūra ir kritulių kiekis buvo artimi standartinei klimato normai. Balandžio ir gegužės mėnesį kritulių iškrito 13,6 ir 6,6 mm mažiau negu standartinė klimato norma, o vidutinė oro temperatūra 0,4 °C ir 1,9 °C buvo žemesnė.

Birželio mėnesį kritulių iškrito artima standartinei klimato normai, o vidutinė oro temperatūra buvo 2,9 °C aukštesnė. Liepos mėnesį kritulių iškrito norma, o vidutinė oro temperatūra buvo 1,3 °C žemesnė negu SKN. Nuo rugpjūčio iki gruodžio vyravo šiltesni ir sausesni orai lyginant su standartine klimato norma. Rugpjūčio mėnesį kritulių iškrito 25,8 mm, rugsėjo – 39,5 mm; spalio – 6,4 mm ir gruodžio – 36,7 mm mažiau negu įprastai, o lapkričio mėnesį iškritusių kritulių kiekis prilygo daugiametei kritulių normai. Vidutinė oro temperatūra rugpjūčio – gruodžio mėnesiais nustatyta 0,9 – 3,1 °C aukštesnė palyginus su standartine klimato norma.

**2021 metais** sausio–balandžio mėnesiais kritulių iškrito mažiau negu standartinė klimato norma (sausį – 31,9 mm; vasarį – 44,6 mm; kovą – 5,3 mm ir balandį – 6,6 mm mažiau). Sausio vidutinė oro temperatūra buvo aukštesnė negu įprastai (nustatyta 1,6 °C daugiau), tačiau vasario mėnesį temperatūra 2,4 °C buvo žemesnė negu standartinė klimato norma. Kovo mėnesį 0,8 °C vidutinė temperatūra buvo aukštesnė negu SKN. Balandžio ir gegužės mėnesiais vidutinė oro temperatūra buvo aukštesnė 1,4 °C ir 1,3 °C, o gegužės mėnesį kritulių iškrito 46,8 mm daugiau, negu SKN. Birželio mėnesį kritulių iškrito 18,4 mm mažiau, oro temperatūra vidutiniškai nustatyta 3,6 °C aukštesnė negu įprastai. Liepos ir rugpjūčio mėnesiais vidutiniškai kritulių iškrito 8,4 ir 46,4 mm daugiau negu vidutiniškai, tačiau oro temperatūra liepos mėnesį buvo nustatyta 3,8 °C aukštesnė, o rugpjūčio mėnesį 1,4 °C žemesnė negu vidutinė klimato norma. Rugsėjo ir spalio mėnesiai buvo sausesni vidutiniškai rugsėjo mėnesį iškrito 24,4 mm, o spalio mėnesį 10,8 mm mažiau kritulių. Oro temperatūra rugsėjo mėnesį buvo 1,4 °C aukštesnė negu SKN. Spalio ir lapkričio mėnesiais vyravo šiltesni orai, nustatyta, kad vidutinė oro temperatūra 1,3 °C ir 1,6 °C buvo aukštesnė negu įprastai. Lapkričio mėnuo buvo lietingas, kritulių iškrito vidutiniškai 29,9 mm daugiau negu įprastai. Tačiau gruodžio mėnuo buvo sausesnis ir kritulių iškrito 40,8 mm mažiau.

**2022 metais** sausio ir vasario mėnesiai buvo šiltesni ir drėgnesni negu įprastai, vidutiniškai kritulių iškrito 2,7 ir 76,0 mm daugiau negu standartinė klimato norma, o vidutinė oro temperatūra nustatyta 2,8 ir 2,2 °C aukštesnė. Kovo mėnuo buvo sausas ir šiltas, vidutiniškai nustatyta 45,3 mm mažiau kritulių ir 1,2 °C aukštesnė oro temperatūra negu vidutinė klimato norma. Balandžio–rugsėjo mėnesiai buvo drėgnesni negu įprastai, vidutiniškai balandžio mėnesį iškrito 27,3 mm; gegužės – 5,5 mm; birželio – 19,0 mm; liepos – 4,4 mm; rugpjūčio – 81,5 mm ir rugsėjo – 25,3 mm daugiau kritulių negu standartinė klimato norma. Balandžio ir gegužės mėnesį vidutinė oro temperatūra buvo 1,3 ir 1,5 °C žemesnė, o birželio mėnesį 1,6 °C aukštesnė negu SKN. Liepos mėnesio vidutinė oro temperatūra buvo artima standartinei klimato normai ir buvo žemesnė tik 0,5 °C. Rugpjūčio mėnesį iškrito daugiausiai kritulių per visus metus, tačiau oro temperatūra taip pat buvo aukštesnė 3,1 °C palyginus su standartine klimato norma. Rugsėjo

mėnesį vidutinė oro temperatūra buvo 1,9 °C žemesnė palyginus su standartine klimato norma. Spalio ir lapkričio mėnesiai buvo šiltesni ir sausesni, vidutiniškai 3,0 °C ir 0,3 °C vidutinė oro temperatūra buvo aukštesnė, o kritulių iškrito 61,4 ir 44,4 mm mažiau negu standartinė klimato norma. Gruodžio mėnesį nustatyta, kad 1,6 °C vidutinė oro temperatūra buvo žemesnė ir iškrito 1,6 mm kritulių mažiau.

## 2.6. Statistinis tyrimų duomenų vertinimas

Tyrimų duomenys įvertinti daugiafaktorinės dispersinės analizės metodu (ANOVA) (Raudonius, 2017). Skirtumų tarp variantų esmingumas įvertintas dviejų veiksnių dispersinės analizės metodu. Duomenys lyginti naudojant mažiausio skirtumo Fišerio testą ( $F$ ), taikant  $P < 0,05$  tikimybės lygį. Atskirų rodiklių tarpusavio priklausomybės įvertintos tiesinės koreliacijos koeficientais ( $r$ ). Statistinės programinės įrangos paketas visoms statistinėms analizėms naudojama SAS Enterprise (2011).

Naudojant hierarchinę klasterinę analizę buvo įvertinta, kaip sėklų forma, dydis ir paviršius įtakojo sėklų pasiskirstymą įvairiose kalvoto reljefo vietose (kalvos viršūnėje, šlaite ir pašlaitėje). Sėklų paviršiaus morfologiniai požymiai buvo konvertuoti į dvejetainę matricą, kurioje požymio nebuvimas buvo žymimas 0, o buvimas – 1. Dendrograma buvo sudaryta naudojant Nei ir Li (1979) atstumų matricą ir nesvertinių porų grupių aritmetinis vidurkis (UPGMA) metodą Treecon v.1.3b programoje (van de Peer ir de Wachter, 1994). Norint nustatyti dendrogramos statistinį patikimumą, buvo sudaryta 1000 atstumų matricų naudojant „bootstrap“ įrankį, Treecon v.1.3b programoje.

Naudojant statistinį floristinį panašumo koeficientą  $C_s$  (Magguran, 1992) atliktas agrofitozenozijų antžeminės rūšinės sudėties ir dirvožemio sėklų banko rūšinės sudėties palyginimas.

$$C_s = 2w / (A + B),$$

kur:  $w$  yra bendras rūšių skaičius abiejuose situacijose,  $A$  – rūšių skaičius vienoje iš dviejų situacijų,  $B$  – rūšių skaičius kitoje situacijoje.

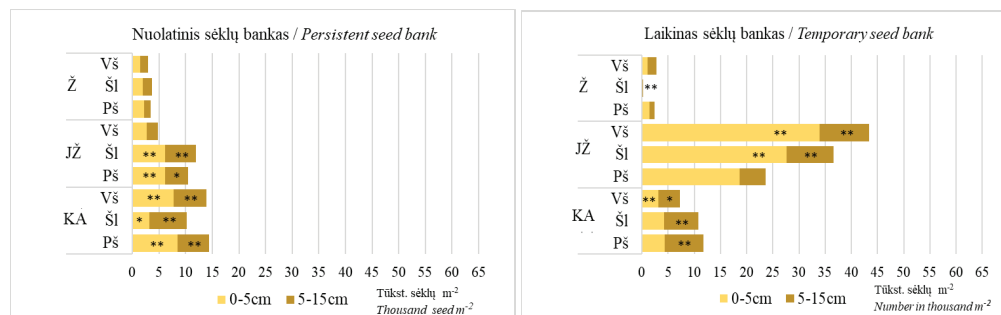
Indekso reikšmės svyruoja nuo 0 iki 1. Kai indekso reikšmė yra 0 – rūšinė sudėtis visiškai skirtinga, kai indekso reikšmė 1 – rūšinė sudėtis visiškai vienoda.

### 3. REZULTATAI

#### 3.1. Dirvožemio sėklų banko struktūra (sėklų skaičius, vertikalus pasiskirstymas)

Dirvožemio sėklų bankas yra sėklų poilsio vieta ir svarbi augalų gyvenimo ciklo dalis (Kumari ir kt., 2018). Sėklų bankai, kuriuose yra kelių kartų sėklos, yra potencialus įvairovės šaltinis ir prisideda prie piktžolių bendrijos dinamikos ir išlikimo (Hopfensperger ir kt., 2007). Dirvožemio sėklų banko susidarymas yra labai svarbus norint suprasti piktžolių išlikimo žemės ūkio paskirties žemėje, bei augalų sukcesijos procesus (Ghersa ir kt., 2000). Skirtingi augmenijos tipai skiriasi savo sėklų banko savybėmis, tokiomis kaip sėklų tankis, sėklų banko rūšių turtingumas (Plue ir kt., 2020; Wang ir kt., 2020). Sėklų skaičius dirvožemyje kinta tiek erdvėje, tiek laike (Shiferaw ir kt., 2018).

Sėklų skaičiui dirvožemio sėklų banke visais tyrimų metais esminės įtakos turėjo agrofitocenozės (veiksny A) ir kalvos dalys (veiksny B). 2020 metais nuolatiniame dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) esmingai mažiausias (3348 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų skaičius nustatytas ilgalaikio žolyno dirvožemyje (3.1 pav.), o didžiausias (12894 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų skaičius nustatytas sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (bulvių pasėlis) dirvožemyje. Ilgalaikio žolyno dirvožemyje sėklų rasta 2,7 ir 3,8 kartų mažiau palyginus su javų-žolių sėjomaina (vasarinių miežių pasėlis) ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.



3.1 pav. Dirvožemio sėklų bankas (sėklų m<sup>-2</sup>), 2020 m.

Fig 3.1. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2020

Pastaba: agrofitocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope; \* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ .

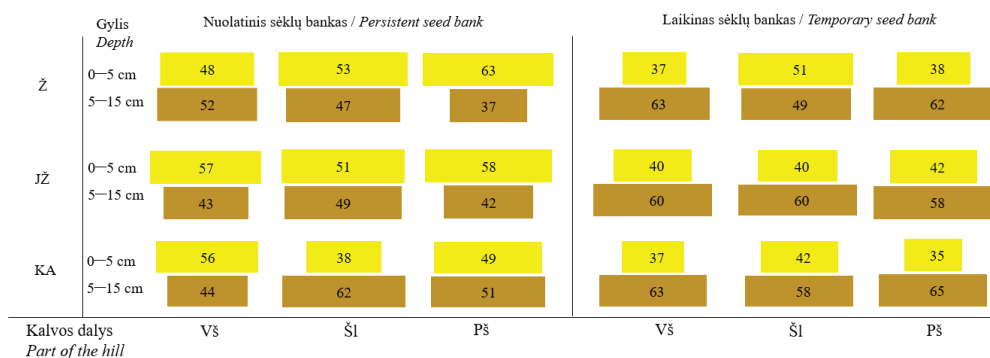
Laikiname dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) išliko tos pačios tendencijos: didžiausias sėklų skaičius (34515 sėklų m<sup>-2</sup>) nustatytas javų-žolių sėjomainoje. Ilgalaikio žolyno dirvožemyje sėklų rasta 19,1 ir 5,5 karto mažiau lyginant su anksčiau

minėtomis sėjomainomis. Laikiname ilgalaikio žolyno ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemio sėklų banke sėklų nustatyta atitinkamai: 1,8 ir 1,3 karto mažiau palyginus su nuolatinio dirvožemio sėklų banku. Tačiau javų-žolių sėjomainos dirvožemyje laikiname sėklų banke sėklų nustatyta 3,8 karto daugiau palyginus su nuolatinio dirvožemio sėklų banku.

Nepriklausomai nuo agrofytocenozės, abiejuose gyliuose nuolatinio sėklų banko dirvožemyje nustatyta kalvos dalių (veiksny B) esminė įtaka sėklų skaičiui. Sėklų skaičius esmingai didžiausias (9434 sėklų m<sup>-2</sup>) dirvožemio 0–15 cm gylyje nustatytas kalvos pašlaitėje. Kalvos viršūnėje ir šlaite sėklų nustatyta 23,4 ir 8,3 % mažiau palyginus su kalvos pašlaite. Tam įtakos galėjo turėti reljefas, nes žemesnėse šlaitų dalyse didėja dirvožemio drėgnio atsargos, gausėja maisto medžiagų kiekis, todėl susidaro geresnės augimo sąlygos pasėliu augalams.

Laikinam sėklų bankui kalvos dalių esminė įtaka nustatyta tik dirvožemio 0–5 cm gylyje. Sėklų skaičius nuosekliai mažėjo kalvos pašlaitės link: 17789, 15853 ir 12601 sėklų m<sup>-2</sup> atitinkamai: kalvos viršūnės, šlaito ir pašlaitės dirvožemyje.

Literatūroje nurodoma, kad piktžolių sėklų kiekis labai įvairus tiek horizontalia, tiek vertikalia kryptimis. Išbyrėjusių sėklų perskirstymas daugiausiai vyksta dėl natūralių procesų ir žemės dirbimo (Stancevičius, Raudonius, 1990; Naylor, 2002; Bochet, 2015). Sėklos sudygti gali tik esančios viršutiniuose sluoksniuose (0–5 cm) (Rimkus, 2003). Sėklų gausa viršutiniame, ypač 0–5 cm dirvožemio gylyje įtakoja piktžolėtumo laipsnį žemės ūkio pasėliuose (Santín-Montanyá ir kt., 2016). Ilgalaikiame žolyne nuolatiniam sėklų banke visose kalvos dalyse sėklų skaičius abiejuose gyliuose nustatytas panašus (vidutiniškai 54,7 ir 45,3 % atitinkamai 0–5 ir 5–15 cm gyliuose) (3.2 pav.). Ta pati tendencija išliko ir laikiname sėklų banke.



**3.2 pav.** Sėklų vertikalus pasiskirstymas dirvožemyje (%), 2020 m.

**Fig 3.2.** Vertical distribution of the soil seed bank (%), 2020

Pastaba: agrofytocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope.

Dėl supaprastinto žemės dirbimo dauguma sėklų lieka dirvos paviršiuje (Boyd, Van Acker, 2003; Skuodienė ir kt., 2013). Javų-žolių sėjomainoje nuolatiniame sėklų banke 0–5 cm gylyje didesnis sėklų skaičius nustatytas kalvos viršūnėje ir pašlaitėje (atitinkamai 57,0 ir 58,0 %) (3.2 pav.). Sumažintas žemės dirbimas skatina piktžolių plitimą (Čiuberkis, 2008; Feledyn–Szewczyk ir kt., 2020). Laikiname sėklų banke 0–5 cm gylyje visose kalvos dalyse sėklų buvo daugiau nei nuolatiniame sėklų banke, tai yra 76,0–79,0 %. Literatūroje nurodoma, kad augalų vegetacijos metu pražydusios piktžolės greitai subrandina sėklas (Forcella ir kt., 2000), bei yra prisitaikiusios jas plačiai išplatinti (Benvenuti, 2007b).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nuolatiniame sėklų banke didesnis (56,0 ir 59,0 %) sėklų skaičius nustatytas 0–5 cm gylyje kalvos viršūnėje ir pašlaitėje, o kalvos šlaite 5–15 cm gylyje nustatyta 2,1 karto daugiau sėklų negu 0–5 cm gylyje (3.2 pav.). Sėjomainoje kurioje buvo auginami kaupiamieji augalai dirva buvo intensyviau dirbama, todėl laikiname sėklų banke visose kalvos dalyse daugiau sėklų rasta 5–15 cm gylyje ir jų daugėjo nuo kalvos viršūnės pašlaitės link, tai yra nuo 57,0 iki 63,0 %.

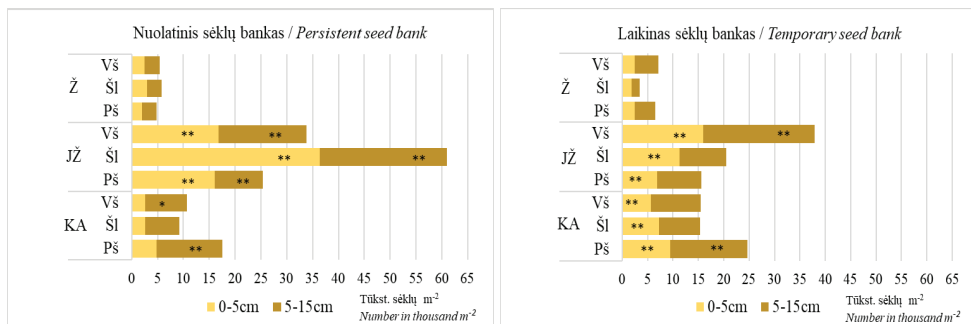
Sėklų kiekis dirvožemyje yra dinamiškas. Nuolatiniame dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 78,8; 85,8 ir 75,5 % bendro sėklų kiekio rastų analizės metu, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Nepriklausomai nuo agrofitocenozės, didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos pašlaitėje (84,5 %), o mažiausias (75,7 %) – kalvos viršūnėje.

Laikiname dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 82,0; 86,8 ir 80,3 % bendro sėklų kiekio, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos šlaite (87,2 %), o mažiausias (81,7 %) – kalvos viršūnėje (žr. Priedai 1 pav.).

2021 metais nuolatiniame dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) esmingai didžiausias (40062 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų skaičius nustatytas javų-žolių sėjomainos (vasarinių kviečių pasėlis) dirvožemyje (3.3 pav.). Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (vasariniai miežių pasėlis su daugiamečių žolių įsėliu) dirvožemyje rasta 3,2 karto mažiau sėklų palyginus su javų-žolių sėjomaina. Ankstesniuose tyrimuose buvo nustatyta, kad sėklų kiekis dirvožemyje taikant sėklų arimą ir sėklų neariminį dirbimą nustatytas 1,5 ir 2,2 karto didesnis nei dirbant tradiciniu būdu (giliai ariant) (Skuodienė ir kt., 2013; Skuodienė ir kt., 2018).

Ilgalaikiame žolyne rasta 5347 sėklų m<sup>-2</sup> arba 7,5 ir 2,3 kartų mažiau palyginus su javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.





3.3 pav. Dirvožemio sėklų bankas (sėklų m<sup>-2</sup>), 2021 m.

Fig 3.3. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2021

Pastaba: agrofytocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

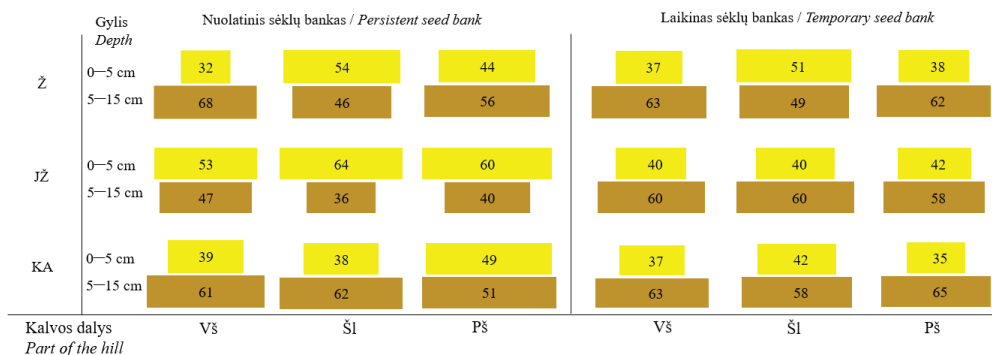
Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

Laikiname dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) išliko tos pačios tendencijos: didžiausias sėklų skaičius (24649 sėklų m<sup>-2</sup>) nustatytas javų-žolių sėjomainoje (3.3 pav.). Ilgalaikio žolyno dirvožemyje sėklų rasta 4,4 ir 3,2 karto mažiau lyginant javų-žolių sėjomainą ir sėjomainą su kaupiamaisiais augalais. Lyginant nuolatinio ir laikino sėklų banko sandaugas nustatyta, kad laikiname dirvožemio sėklų banke javų-žolių sėjomainoje nustatyta 1,6 karto mažiau palyginus su nuolatiniu dirvožemio sėklų banke, sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais – 1,5 karto sėklų daugiau, o ilgalaikio žolyno dirvožemio sėklų sandaugos išliko panašios.

Nuolatiniam sėklų banke kalvos dalys esmingai įtakojo sėklų skaičių 0–5 cm gylyje. Sėklų skaičius esmingai didžiausias (13999 sėklų m<sup>-2</sup>) nustatytas kalvos šlaite (3.3 pav.). Kalvos viršūnėje ir pašlaitėje sėklų nustatyta 47,8 ir 45,7 % mažiau palyginus su kalvos šlaitu.

Laikiname sėklų banke kalvos dalys esmingai įtakojo sėklų skaičių abiejuose gyliuose. Daugiausiai (20134 sėklų m<sup>-2</sup>) dirvožemio 0–15 cm gylyje sėklų nustatyta kalvos viršūnės dirvožemio sėklų banke. Kalvos šlaite ir pašlaitėje nustatyta 35,0 ir 22,8 % mažiau sėklų nei kalvos viršūnėje.

Įvertinus sėklų vertikalią pasiskirstymą dirvožemyje, ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke, visose kalvos dalyse sėklų skaičius abiejuose gyliuose nustatytas panašus (vidutiniškai 45,7 ir 54,3 % atitinkamai 0–5 ir 5–15 cm gyliuose (3.4 pav.), ta pati tendencija išliko ir laikiname sėklų banke (41,3 ir 58,7 %).



**3.4 pav.** Sėklų vertikalus pasiskirstymas dirvožemyje (%), 2021 m.

**Fig 3.4.** Vertical distribution of the soil seed bank (%), 2021

Pastaba: agrofitocenozės (veiksnyys A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksnyys B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope.

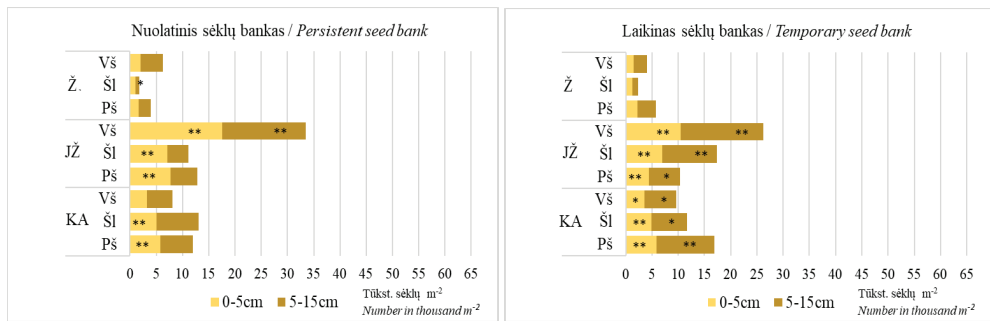
Javų-žolių sėjomainoje nuolatiniame sėklų banke 0–5 cm gylyje sėklų skaičius didėjo nuo kalvos viršūnės pašlaitės link, didesnis sėklų skaičius nustatytas kalvos šlaite ir pašlaitėje (atitinkamai 60,0 ir 63,0 %) (3.4 pav.). Laikiname sėklų banke visose kalvos dalyse abiejuose gyliuose sėklų skaičius kito panašiose ribose (nuo 42,0 iki 58,0 %).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nuolatiniame sėklų banke visose kalvos dalyse didesnis (72,0–76,0 %) sėklų skaičius nustatytas 5–15 cm gylyje (3.4 pav.). Tokia pati tendencija išliko ir laikiname sėklų banke (53,0–64,0 %).

Nuolatiniame dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 78,5; 63,7 ir 59,0 % bendro sėklų kiekio, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Nepriklausomai nuo agrofitocenozės, didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos šlaite (67,5 %), o mažiausias (58,0 %) – kalvos viršūnėje.

Laikiname dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 64,2 58,5 ir 56,1 % bendro sėklų kiekio, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos pašlaitėje (87,2 %), o mažiausias (55,6 %) – kalvos viršūnėje (žr. Priedai 1 pav.).

2022 metais nustatyta, kad nuolatiniame dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) esmingai mažiausias (4003 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų skaičius nustatytas ilgalaikio žolyno dirvožemyje (3.5 pav.), o didžiausias (19127 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų skaičius nustatytas javų-žolių sėjomainoje (vasarinių miežių pasėlis su daugiamečių žolių įsėliu). Ilgalaikio žolyno dirvožemyje sėklų rasta 4,8 ir 2,8 kartų mažiau palyginus su javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais (daugiametės žolės I naudojimo metų).



3.5 pav. Dirvožemio sėklų bankas (sėklų m<sup>-2</sup>), 2022 m.

Fig 3.5. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2022

Pastaba: agrofytocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

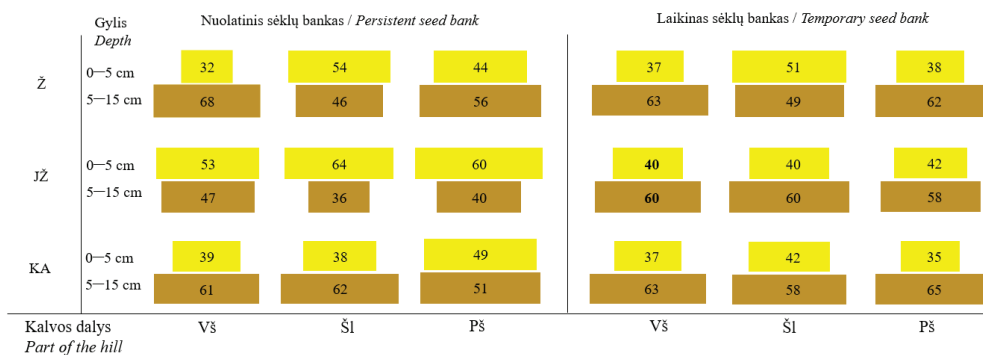
Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

Laikiname dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–15 cm gylyje) išliko tos pačios tendencijos: esmingai didžiausias sėklų skaičius (17997 sėklų m<sup>-2</sup>) nustatytas javų-žolių sėjomainoje (3.5 pav.). Ilgalaikio žolyno dirvožemyje sėklų rasta 4,4 ir 3,1 karto mažiau lyginant javų-žolių sėjomainą ir sėjomainą su kaupiamaisiais augalais. Laikiname dirvožemio sėklų banke ilgalaikiame žolyne ir javų-žolių sėjomainoje nustatytas panašus sėklų skaičius, o sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais sėklų nustatyta 1,2 karto daugiau palyginus su nuolatinio sėklų banke.

Kalvos dalys nuolatiniame sėklų banke abiejuose gyliuose turėjo esminės įtakos sėklų skaičiui. Sėklų skaičius esmingai didžiausias (15930 sėklų m<sup>-2</sup>) nustatytas kalvos viršūnėje (3.5 pav.). Kalvos šlaite ir pašlaitėje sėklų nustatyta 45,4 ir 40,1 % mažiau palyginus su kalvos viršūne.

Laikiname sėklų banke kalvos dalys esminės įtakos sėklų skaičiui neturėjo, tačiau tendencija išliko panaši. Daugiausia (13296 sėklų m<sup>-2</sup>) sėklų nustatyta kalvos viršūnės dirvožemio sėklų banke, o kalvos šlaite ir pašlaitėje nustatyta 21,2 ir 17,5 % mažiau sėklų nei kalvos viršūnėje.

Įvertinus sėklų vertikalus pasiskirstymą dirvožemyje, nustatyta kad ilgalaikiame žolyne nuolatiniame ir laikiname sėklų banke 0–5 cm gylyje mažesniu sėklų skaičiumi išsiskyrė kalvos viršūnė (3.6 pav.). Tam įtakos galėjo turėti prastesnės augalų augimo sąlygos dėl kalvos viršūnės dirvožemyje esančio mažesnio drėgumo. Kitose kalvos dalyse sėklų skaičius nustatytas panašus.



3.6 pav. Sėklų vertikalus pasiskirsymas dirvožemyje (%), 2022 m.

Fig 3.6. Vertical distribution of the soil seed bank (%), 2022

Pastaba: agrofitocenozęs (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope.

Javų-žolių sėjomainoje nuolatiniame sėklų banke visose kalvos dalyse didesnis sėklų skaičius nustatytas 0–5 cm gylyje, o laikiname sėklų banke 5–15 cm gylyje (atitinkamai 53,0–64,0 % ir 58,0–60,0 %).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nuolatiniame ir laikiname sėklų banke visose kalvos dalyse didesnis (atitinkamai 51,0–62,0 % ir 58,0–65,0 %) sėklų skaičius nustatytas 5–15 cm gylyje.

Nuolatiniame dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 66,8; 43,7 ir 53,5 % bendro sėklų kiekio, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Nepriklausomai nuo agrofitocenožės, didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos pašlaitėje (56,2 %), o mažiausias (45,3 %) – kalvos viršūnėje.

Laikiname dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos sudarė 53,1; 50,7 ir 52,2 % bendro sėklų kiekio, atitinkamai; ilgalaikio žolyno, javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje. Didžiausias gyvybingų sėklų procentas rastas kalvos pašlaitėje (55,1 %), o mažiausias (47,7 %) – kalvos viršūnėje (žr. Priedai 1 pav.).

**Apibendrinimas.** Kalvoto reljefo sąlygomis, nuolatiniame ir laikiname dirvožemio sėklų banke sėklų skaičius esmingai priklausė nuo skirtingų agrofitocenozių ir kalvos dalių.

Esmingai mažiausias sėklų skaičius nustatytas ilgalaikio žolyno dirvožemio sėklų banke.

Javų-žolių sėjomainoje, kur taikytas supaprastintas žemės dirbimas, sėklų skaičius visais tyrimų metais buvo didžiausias. Didesnis sėklų kiekis dirvožemyje susijęs su didesniu pasėlių pikžolėtumu taikant sumažintą žemės dirbimą (Streit ir kt., 2000; Skuodienė ir kt., 2013).

*Auginant kaupiamuosius augalus sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais, žemės dirbimas buvo tradicinis. Sėklų skaičius dirvožemyje buvo 1,9 kartų mažesnės nei javų žolių sėjomainoje, kur taikytas supaprastintas žemės dirbimas.*

*Nuolatiniam sėklų banke javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais sėjomainų dirvožemyje sėklų rasta 5,6 ir 2,9 kartų daugiau palyginus su ilgalaikiu žolynu. Panašios tendencijos nustatytos ir tiriant laikiną sėklų banką, dirvožemyje sėklų rasta 7,9 ir 3,8 karto.*

*Dirvožemio sėklų banko vertikalus pasiskirstymas priklausė nuo skirtingų agrofitocenozė. Kai dirvožemis padengtas ilgalaikė žoline danga, nevyksta nei erozija nei sėklų transportavimas, nes augalinė danga sudaro biologinį barjerą, todėl nuolatinio sėklų banko visose kalvos dalyse sėklų sankaupos abiejuose gyliuose nustatytos panašios. Laikino sėklų banko išsiskyrė kalvos šlaito 0–5 cm gylis tam įtakos galėjo turėti sėklų sklaida augalų vegetacijos metu.*

*Supaprastinto žemės dirbimo sąlygomis, javų-žolių sėjomainos nuolatiniam sėklų banke 0–5 cm gylyje sėklų sankaupos didėjo kalvos pašlaitės link, panaši tendencija nustatyta ir laikinam sėklų banke.*

*Sėjomainoje kurioje buvo auginami kaupiamieji augalai (sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) dirva buvo intensyviau dirbama, todėl didesnis sėklų skaičius nustatytas 5–15 cm gylyje. Ta pati tendencija išliko ir laikinam sėklų banke.*

*Nuolatiniam dirvožemio sėklų banke gyvybingos sėklos vidutiniškai sudarė 62,7–74,7 %, o laikinam – 62,9–66,4 % bendro sėklų kiekio. Nepriklausomai nuo agrofitocenozės ir sėklų banko tipo, skirtingo dirvožemio drėgnio kalvoto reljefo sąlygomis, kalvos pašlaitėje gyvybingų sėklų rasta daugiausiai (66,5 %), o kalvos viršūnėje – mažiausiai (61,4 %). Nustatyta sėklų gyvybingumo ir metinio kritulių kiekio priklausomybė ( $r = 0,802^{**}$  ir  $0,940^{**}$ , atitinkamai: nuolatinis ir laikinas sėklų bankas).*

### **3.2. Dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis**

Žinios apie sėklų banko dydį ir rūšinę sudėtį gali padėti numatyti ir pagerinti auginamų žemės ūkio augalų konkurenciją, derlių bei kokybę (Menalled, 2008). Taip pat galima gauti informacijos apie buvusias ir esamas piktžolių populiacijas ir prognozuoti piktžolėtumo problemas ateityje (Auffret, Cousins, 2011; Birthisel ir kt., 2015).

Ariamieji laukai skiriasi nuo natūralių buveinių, nes juose yra daugiau maistinių medžiagų ir labiau sutrikdyta aplinka. Skirtingas žemės dirbimas keičia rūšių skaičių. Taikant sėklų arimą ir sėklų neariminį dirbimą, balskšvažemyje 0–20 cm gylyje įvairių rūšių sėklų nustatyta 25,5 ir 41,5 % daugiau nei dirbant tradiciniu būdu (giliai ariant) (Skuodienė ir kt., 2013). Gilesniuose

rudžemio sluoksniuose (5–10, 10–20 cm) sėklų rūšių skaičiaus skirtumų nenustatyta (Auškalnienė, Auškalnis, 2009).

2020 m. tirtų agrofitocenozių dirvožemio sėklų banke rasta iš viso 32 augalų rūšių sėklos. Rastos sėklos priklausė 14 šeimų: balandinių (*Chenopodiaceae*), astrinių (*Asteraceae*), beržinių (*Betulaceae*), agurklinių (*Boraginaceae*), bastutinių (*Brassicaceae*), gvazdikinių (*Caryophyllaceae*), pupinių (*Fabaceae*), vikšrinių (*Juncaceae*), notrelinių (*Lamiaceae*), aguoninių (*Papaveraceae*), miglinių (*Poaceae*), rūgtinių (*Polygonaceae*), bervidinių (*Scrophulariaceae*) ir našlaitinių (*Violaceae*) (žr. Priedai 1–6 lent.). Dauguma rūšių sėklų buvo astrinių (*Asteraceae*), pupinių (*Fabaceae*), ir rūgtinių (*Polygonaceae*) šeimos. Tame skaičiuje piktžolių rūšių rasta – 22, kitų augimviečių augalų – 9 ir viena rūšis medžių. Bendras sėklų rūšių skaičius ilgalaikio žolyno dirvožemyje buvo 26, javų-žolių sėjomainos (vasarinių miežių pasėlis) – 22 ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (bulvių pasėlis) – 23. Visose agrofitocenozėse vyravo (100,0; 80,6 ir 88,3 %, atitinkamai; ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) dviskilčių augalų sėklos.

Sėklų rūšių skaičiui nuolatiniame dirvožemio sėklų banke agrofitocenozės (veiksny A) esminės įtakos turėjo dirvožemio 5–15 cm gylyje, o kalvos dalys (veiksny B) – dirvožemio 0–5 cm gylyje.

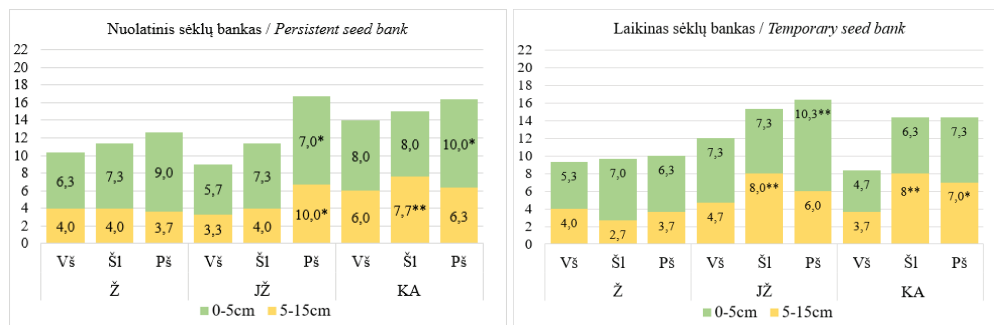
Nuolatiniame dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 5–15 cm gylyje) esmingai daugiausiai rūšių (6,7 rūšys m<sup>-2</sup>) nustatyta sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje (3.7 pav.). Ilgalaikio žolyno ir javų-žolių sėjomainos dirvožemyje sėklų rūšių rasta 1,7 ir 1,4 kartų mažiau negu sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais.

Nepriklausomai nuo agrofitocenozių, abiejuose dirvožemio gyliuose (0–5 ir 5–15 cm) sėklų rūšių nustatyta 1,4 ir 1,3, bei 1,3 ir 1,1 kartų daugiau kalvos pašlaitės dirvožemyje palyginus su kalvos viršūne ir šlaitu (atitinkamai: 9,7 ir 5,6 rūšys m<sup>-2</sup>). Dirvožemio 0–5 cm gylyje minėti skirtumai buvo esminiai.

Didžiausią dalį 70–90 % viso sėklų banko sudaro kelios dominuojančios rūšys (Gselman, Kramberger, 2004). Ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), daržinė žliūgė (*Stellaria media* (L.) Vill.) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (žr. Priedai 1 lent.). Tai atitinka Lenkijoje atliktų tyrimų duomenis: dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis neatspindi žolyno floristinės sudėties, nes žolyne dominuoja rūšys, kurių išgyvenimo strategija susijusi su vegetatyviniu dauginimusi. Nors ir pasikeičia žolynų agrotechnika, dirvožemyje išlieka ankstesniam žemės dirbimui būdingų rūšių sėklos. Vyraujančios sėklų banke buvo dviskilčių augalų sėklos, o iš jų daugiausiai baltosios baltos (*Chenopodium album* L.) (Janicka, 2006).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir vijoklinis pelėvikštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.) (žr. Priedai 3 lent.).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), dirvinis kežys (*Spergula arvensis* L.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 5 lent.).



3.7 pav. Sėklų rūšių skaičius dirvožemyje (rūšys m<sup>-2</sup>), 2020 m.

Fig 3.7. Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2020

Pastaba: agrofitocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

Laikiname dirvožemio sėklų banke tirtų veiksnių esminė įtaka nustatyta abiejuose gyliuose. Dirvožemio 0–5 gylyje sėklų rūšių esmingai daugiau nustatyta javų-žolių sėjomainos dirvožemyje (1,3 ir 1,4 karto) palyginus su ilgalaikiu žolynu ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais. (3.7 pav.). O dirvožemio 5–15 cm gylyje esmingai mažiau rūšių (po 1,8 karto) nustatyta ilgalaikio žolyno dirvožemyje palyginus su javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.

Nepriklausomai nuo agrofitocenozės, laikiname sėklų banke dirvožemio 0–5 cm gylyje esmingai daugiau sėklų rūšių nustatyta kalvos pašlaitės dirvožemyje (1,4 ir 1,2 karto) palyginus su kalvos viršūne ir šlaitu. Dirvožemio 5–15 cm gylyje esmingai daugiau sėklų rūšių nustatyta kalvos šlaito dirvožemyje (1,5 ir 1,1 karto) palyginus su kalvos viršūne ir pašlaite.

Ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vaistinė žvirblirūtė (*Fumaria officinalis* L.) ir daugiametė dviskiltė rūšis dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (žr. Priedai 2 lent.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžė vienskiltė rūšis: žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) ir trumpaamžės dviskiltės rūšys: dirvinė veronika (*Veronica*

*arvensis* L.), smalkinis tvertikas (*Erysimum cheiranthoides* L.) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (žr. Priedai 4 lent.).

O sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 6 lent.).

Laikiname dirvožemio sėklų banke, 0–15 cm gylyje, sėklų rūšių skaičius sumažėjo 1,2 karto ilgalaikiam žolyne ir sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais, o javų-žolių sėjomainoje – padidėjo 1,1 karto palyginus su nuolatiniu sėklų banku.

2021 m. tirtų agrofitocenozių dirvožemio sėklų banke rasta iš viso 40 augalų rūšių sėklos. Rastos sėklos priklausė 17 šeimų: balandinių (*Chenopodiaceae*), salierinių (*Apiaceae*), astrinių (*Asteraceae*), beržinių (*Betulaceae*), agurklinių (*Boraginaceae*), bastutinių (*Brassicaceae*), gvazdikinių (*Caryophyllaceae*), pupinių (*Fabaceae*), vikšrinių (*Juncaceae*), notrelinių (*Lamiaceae*), nakvišinių (*Onagraceae*), aguoninių (*Papaveraceae*), gyslotinių (*Plantaginaceae*) miglinių (*Poaceae*), rūgtinių (*Polygonaceae*), bervidinių (*Scrophulariaceae*) ir našlaitinių (*Violaceae*) (žr. Priedai 1–6 lent.). Dauguma rūšių sėklų buvo astrinių (*Asteraceae*) ir rūgtinių (*Polygonaceae*) šeimos. Tame skaičiuje piktžolių rūšių rasta – 24, kitų augimviečių augalų – 15 ir viena rūšis medžių. Bendras sėklų rūšių skaičius ilgalaikio žolyno dirvožemyje buvo 32, javų-žolių sėjomainos (vasarinių kviečių pasėlis) – 21 ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (vasarinių miežių pasėlis su daugiamečių žolių įsėliu) – 26. Visose agrofitocenozėse vyravo (99,2; 68,3 ir 80,0 %, atitinkamai; ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) dviskilčių augalų sėklos.

Sėklų rūšių skaičiui nuolatiniame dirvožemio sėklų banke agrofitocenozės (veiksny A) esminės įtakos turėjo dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gylyje, o kalvos dalys (veiksny B) – dirvožemio 0–5 cm gylyje.

Nuolatiniame dirvožemio sėklų banke 0–5 cm gylyje sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais sėklų rūšių skaičius nustatytas esmingai mažesnis (1,7 ir 1,5 karto) palyginus su ilgalaikiu žolynu ir javų-žolių sėjomaina. Dirvožemio 5–15 cm gylyje esmingai daugiau rūšių (8,4 rūšys m<sup>-2</sup>) nustatyta javų-žolių sėjomainos dirvožemyje (3.8 pav.). Ilgalaikio žolyno ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje sėklų rūšių rasta 1,8 ir 1,6 kartų mažiau negu javų-žolių sėjomainoje.

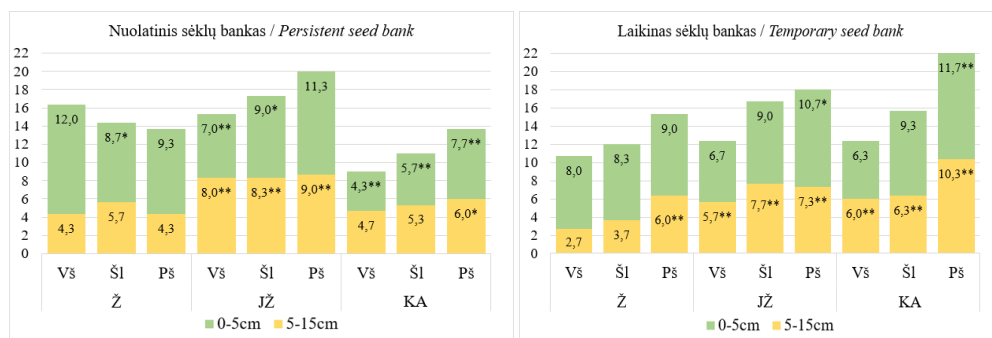
Nepriklausomai nuo agrofitocenozių, dirvožemio 0–5 cm gylyje sėklų rūšių esmingai daugiau nustatyta kalvos pašlaitės dirvožemyje (po 1,2 karto) palyginus su kalvos viršūne ir šlaitu. Dirvožemio 5–15 cm gylyje esminių skirtumų nenustatyta, o sėklų rūšių skaičius nustatytas panašus (nuo 5,8 iki 6,4 rūšių m<sup>-2</sup>).



Ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke vyravo trumpaamžė dviskiltė rūšis baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir daugiametės dviskiltės rūšys: paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) bei dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (žr. Priedai 1 lent.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšis: smalkinis tvertikas (*Erysimum cheiranthoides* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 3 lent.).

O sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 5 lent.).



3.8 pav. Sėklų rūšių skaičius dirvožemyje (rūšys m<sup>-2</sup>), 2021 m.

Fig 3.8. Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2021

Pastaba: agrofitocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

Laikiname dirvožemio sėklų banke agrofitocenozės (veiksny A) esminės įtakos turėjo dirvožemio 5–15 cm gylyje, o kalvos dalys – abiejuose tirtuose gyliuose (0–5 ir 5–15 cm).

Dirvožemio 5–15 cm gylyje sėklų rūšių esmingai daugiau nustatyta javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje (1,6 ir 1,8 karto) palyginus su ilgalaikiu žolynu (3.8 pav.).

Nepriklausomai nuo agrofitocenozės, dirvožemio 0–5 cm gylyje sėklų rūšių esmingai daugiau nustatyta kalvos šlaite ir pašlaitėje (1,3 ir 1,5 karto) palyginus su kalvos viršūne. Dirvožemio 5–15 cm gylyje esmingai daugiau nustatyta kalvos pašlaitėje (1,7 ir 1,4 karto) palyginus su kalvos viršūne ir šlaitu.

Ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke vyravo trumpaamžė dviskiltė rūšis baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir daugiametės dviskiltės rūšys: paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) ir dirvinė pienė (*Sonchus oleraceus* L.) (žr. Priedai 2 lent.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšis: dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), dirvinis kežys (*Spergula arvensis* L.), baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir trumpaamžė vinskiltė rūšis paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.) (žr. Priedai 4 lent.).

O sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.) ir trumpaamžė vinskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 6 lent.).

Laikiname dirvožemio sėklų banke, 0–15 cm gylyje, sėklų rūšių skaičius sumažėjo 1,2 ir 1,1 karto ilgalaikiame žolyne ir javų-žolių sėjomainoje, o sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais – padidėjo 1,5 karto palyginus su nuolatinio sėklų banku.

2022 m. tirtų agrofitocenozių dirvožemio sėklų banke rasta iš viso 33 augalų rūšių sėklos. Rastos sėklos priklausė 17 šeimų: balandinių (*Chenopodiaceae*), salierinių (*Apiaceae*), astrinių (*Asteraceae*), beržinių (*Betulaceae*), agurklinių (*Boraginaceae*), bastutinių (*Brassicaceae*), gvazdikinių (*Caryophyllaceae*), pupinių (*Fabaceae*), vikšrinių (*Juncaceae*), notrelinių (*Lamiaceae*), nakvišinių (*Onagraceae*), aguoninių (*Papaveraceae*), gyslotinių (*Plantaginaceae*) miglinių (*Poaceae*), rūgtinių (*Polygonaceae*), bervidinių (*Scrophulariaceae*) ir našlaitinių (*Violaceae*) (žr. Priedai 1–6 lent.). Dauguma rūšių sėklų buvo astrinių (*Asteraceae*) ir pupinių (*Fabaceae*) šeimos. Tame skaičiuje piktžolių rūšių rasta – 20, kitų augimviečių augalų – 12 ir viena rūšis medžių (žr. Priedai 1–6 lent.). Bendras sėklų rūšių skaičius ilgalaikio žolyno dirvožemyje buvo 20, javų-žolių sėjomainos (vasarinių miežių pasėlis su daugiamečių žolių įsėliu) – 21 ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (daugiametės žolės I naudojimo metų) – 25. Visose agrofitocenezėse vyravo (99,0; 76,8 ir 82,0 %, atitinkamai; ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) dviskilčių augalų sėklos.

Sėklų rūšių skaičiui nuolatiniam dirvožemio sėklų banke esminės įtakos dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gylyje turėjo tik agrofitocenezės (veiksny A).

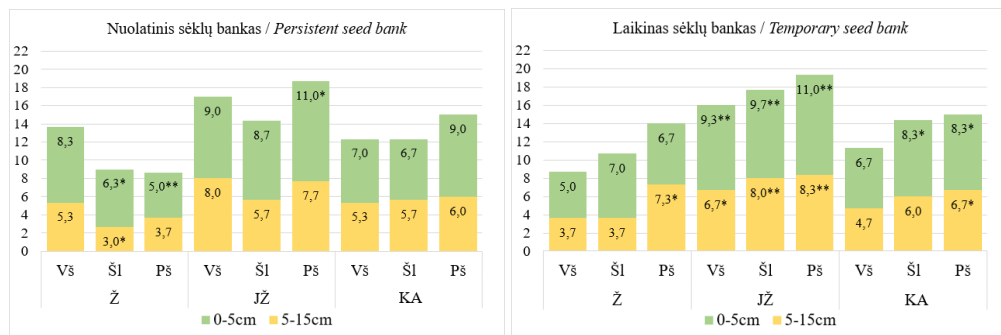
Nuolatiniam dirvožemio sėklų banke (dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gyliuose) esmingai daugiausiai rūšių (9,6 ir 7,1 rūšių m<sup>-2</sup>) nustatyta javų-žolių sėjomainoje (3.9 pav.). Ilgalaikio žolyno ir sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais dirvožemyje 0–5 cm ir 5–15 cm gylyje sėklų rūšių rasta atitinkamai 1,4 ir 1,3, bei 1,8 ir 1,2 kartų mažiau negu javų-žolių sėjomainoje.

Lyginant kalvos dalis esminių skirtumų nenustatyta, sėklų rūšių skaičius nustatytas panašus (7,2–8,3 ir 4,7–6,2 rūšys m<sup>-2</sup>, atitinkamai: dirvožemio 0–5 cm ir 5–15 cm gyliuose).

Ilgalaikio žolyno nuolatiniam sėklų banke vyravo trumpaamžė dviskiltė rūšis baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir daugiamečių dviskiltės rūšys: paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) ir dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (žr. Priedai 1 lent.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšis: vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.) (žr. Priedai 3 lent.).

O sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.) (žr. Priedai 5 lent.).



3.9 pav. Sėklų rūšių skaičius (rūšys m<sup>-2</sup>), dirvožemyje, 2022 m.

Fig 3.9. Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2022

Pastaba: agrofitocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

Laikiname dirvožemio sėklų banke rūšių skaičiui esminės įtakos turėjo agrofitocenozės (veiksny A) dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gyliuose, o kalvos dalys 5–15 cm gylyje.

Dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gyliuose sėklų rūšių esmingai daugiau nustatyta javų-žolių sėjomainos dirvožemyje (1,6 ir 1,3 bei 1,6 ir 1,3 karto) palyginus su ilgalaikiu žolynu ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais (3.9 pav.).

Nepriklausomai nuo agrofitocenozės, dirvožemio 5–15 cm gylyje esmingai daugiau sėklų rūšių nustatyta kalvos pašlaitėje (1,5 ir 1,2 karto) palyginus su kalvos viršūne ir šlaitu. Dirvožemio 0–5 cm gylyje tarp variantų esminių skirtumų nenustatyta. Tačiau išliko tendencija, sėklų rūšių mažiau rasta kalvos viršūnės dirvožemyje (po 1,2 karto) palyginus su kalvos šlaitu ir pašlaite.

Ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke vyravo trumpaamžė dviskiltė rūšis baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir daugiametės dviskiltės rūšys: paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) ir dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (žr. Priedai 2 lent.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšis: dirvinis kežys (*Spergula arvensis* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.) (žr. Priedai 4 lent.).

O sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (žr. Priedai 6 lent.).

Laikiname dirvožemio sėklų banke, 0–15 cm gylyje, visose agrofitocenozėse sėklų rūšių skaičius tik nežymiai padidėjo palyginus su nuolatinio sėklų banku.

Literatūroje nurodoma, kad didžiausią sėklų banko dalį sudaro kelios rūšys, o labiausiai dirvožemiai užteršti baltosios balandos sėklomis (Pilipavičius ir kt., 2010; Sadrabadi Haghghi ir kt., 2013; Butkevičienė ir kt., 2021), kurios kasmetinis nykimo tempas yra apie 14–41 % (Efthimiadou ir kt., 2009). Mūsų tyrimuose dažniausiai randamos baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.). Šį procesą lemia jų biologinės savybės – didelis sėklų skaičius (*Chenopodium album* L.) (Grundy ir kt., 2004), atsparumas herbicidams (*Viola arvensis* Murr.) (Degenhardt ir kt., 2005).

**Apibendrinimas.** Per tyrimų laikotarpį dirvožemio sėklų banke rasta iš viso 47 augalų rūšių sėklos. Rastos sėklos priklausė 17 šeimų: balandinių (*Chenopodiaceae*), salierinių (*Apiaceae*), astrinių (*Asteraceae*), beržinių (*Betulaceae*), agurklinių (*Boraginaceae*), bastutinių (*Brassicaceae*), gvazdikinių (*Caryophyllaceae*), pupinių (*Fabaceae*), vikšrinių (*Juncaceae*), notrelinių (*Lamiaceae*), nakvišinių (*Onagraceae*), aguoninių (*Papaveraceae*), gyslotinių (*Plantaginaceae*) miglinių (*Poaceae*), rūgtinių (*Polygonaceae*), bervidinių (*Scrophulariaceae*) ir našlaitinių (*Violaceae*) (žr. Priedai 1–6 lent.). Tame skaičiuje piktžolių rūšių rasta – 27, kitų augimviečių augalų – 19 ir viena medžių rūšis.

Ilgalaikio žolyno sėklų banke vyravo trumpaamžė dviskiltė rūšis baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) ir daugiametės dviskiltės rūšys: paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) ir dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.).

Javų-žolių sėjomainos dirvožemio sėklų banke vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšis: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), smalkinis tvertikas (*Erysimum cheiranthoides* L.) ir trumpaamžės vinskiltės rūšys: paprastoji rietmenė (*Echinochloa crus-galli* L.) ir žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais vyravo trumpaamžės dviskiltės rūšys: baltoji balanda (*Chenopodium album* L.), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) ir trumpaamžė vienskiltė rūšis žalioji šerytė (*Setaria viridis* P. B.).

Kalvoto reljefo sąlygomis, nuolatiniame ir laikiname dirvožemio sėklų banke sėklų rūšių skaičius esmingai priklausė nuo agroflocenozijų ir kalvos dalių. Skirtingos agroflocenozėse rūšių skaičius nustatytas skirtingas, tačiau jis buvo esmingai didesnis javų-žolių sėjomainoje (0–5 ir 5–15 cm gyliuose) negu sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais (atitinkamai: 1,2 ir 1,1 karto) ir ilgalaikiame žolyne (atitinkamai: 1,2 ir 1,6 karto).

Nuolatiniame sėklų banke 0–5 cm gylyje vidutiniškai nustatyta 8,0 rūšys, o 5–15 cm gylyje 5,6 rūšys. Laikiname sėklų banke 0–5 cm ir 5–15 cm gyliuose tendencija išliko tokia pati, atitinkamai: 7,9 ir 5,9 rūšys.

Per tyrimų laikotarpį didžiausias rūšių skaičius nustatytas nuolatiniame ir laikiname sėklų banke, kalvos pašlaitės dirvožemyje 0–5 cm gylyje. Laikiname 2020 metų sėklų banke 5–15 cm gylyje daugiausiai sėklų rūšių nustatyta kalvos šlaito, o 2021 ir 2022 metais – kalvos pašlaitės dirvožemio sėklų banke.

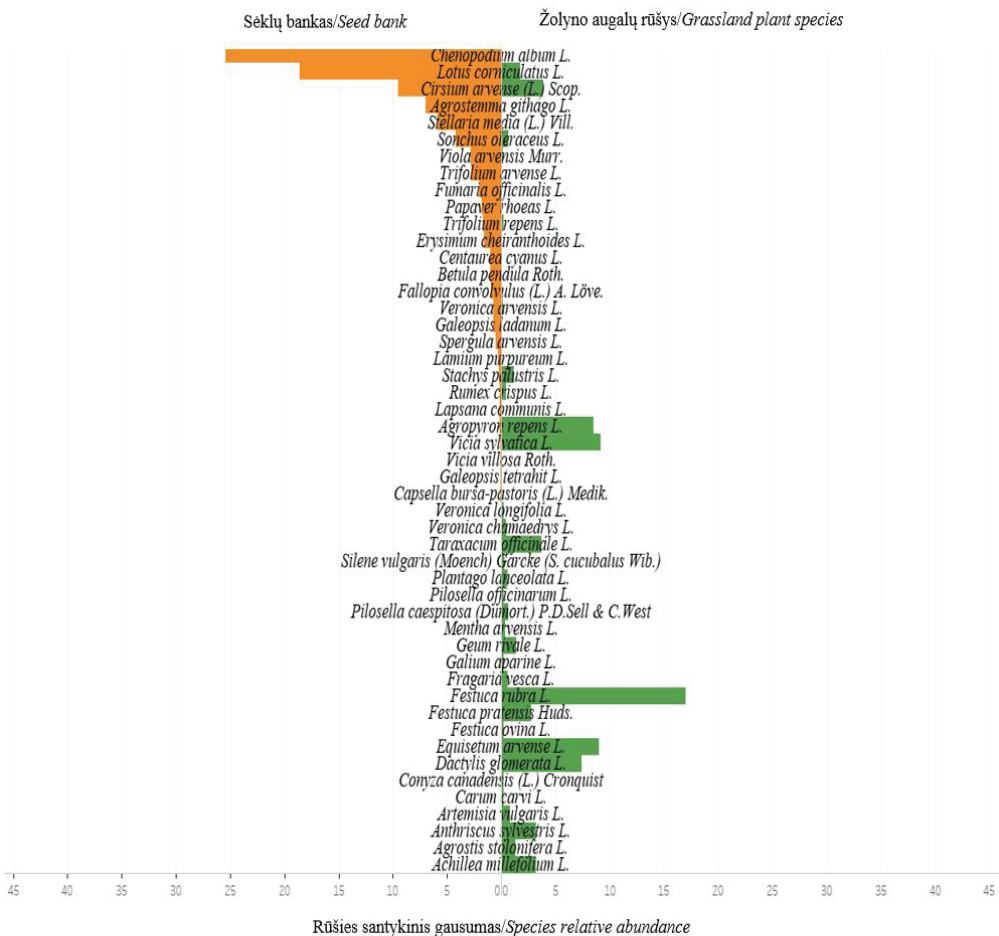
### 3.3. Dirvožemio sėklų banko ir agroflocenozijų rūšinės sudėties palyginimas

#### 3.3.1. Ilgalaikis žolynas

Dirvožemio sėklų banko sudėtis priklauso nuo augalų bendrijų, susiformavusių konkrečioje vietovėje tiek šiuo metu, tiek ir praityje, taip pat nuo augalų biologinių savybių (Reine ir kt., 2004; Wellstein ir kt., 2007).

Sudarytos agroflocenozijų ir dirvožemio sėklų banko induočių augalų rūšių dalies santykio su visuma tam tikru laikotarpiu stulpelinės diagramos.

Ilgalaikio žolyno nuolatiniame dirvožemio sėklų banke nustatytos 37 rūšių sėklos, o žolyne – 68 rūšys (3.10 a ir 3.10 b pav.). Palyginus nuolatinio sėklų banko rūšinę sudėtį su žolyno rūšine sudėtimi, nustatyta 13 bendrų augalų rūšių. Iš jų didžiausią dalį sudarė paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) (sėklų banke sudarė 18,6 %; antžeminėje dalyje – 1,7 %), dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (sėklų banke sudarė 9,5 %; antžeminėje dalyje – 3,8 %) ir mėlynžiedis vikis (*Vicia sylvatica* L.) (sėklų banke sudarė 0,1 %; antžeminėje dalyje – 9,1 %). Taip pat nuolatiniame dirvožemio sėklų banke didžiausia dalis (25,4 %) sėklų buvo baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), tačiau šių augalų žolyne nebuvo. Priešingai ilgalaikiame žolyne buvo išplitęs raudonasis eraičinas (*Festuca rubra* L.) (16,9 %), kurio sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta. Literatūroje nurodoma, kad miglinės žolės turi tik trumpalaikį sėklų banką, todėl mėginių ėmimo metu sėklų banke jų nebuvo (Wagner ir kt., 2003).



**3.10 a pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke ir žolyne. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

**Fig 3.10 a.** Relative abundance of plant species in the persistent seed bank and actual vegetation of permanent grassland. Average data, 2020–2022 m.

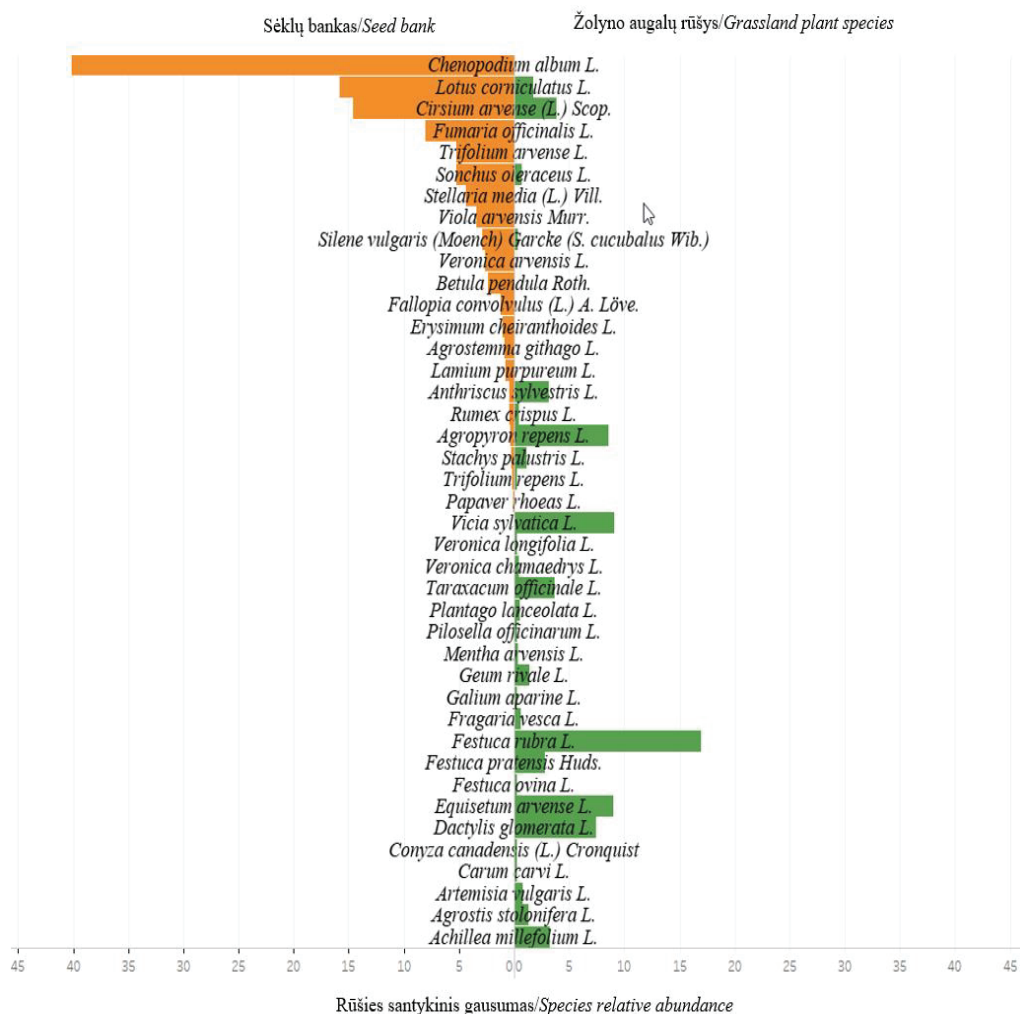


Rūšies santykinis gausumas/Species relative abundance

**3.10 b pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke ir žolyne. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m..

**Fig 3.10 b.** Relative abundance of plant species in the persistent seed bank and actual vegetation of permanent grassland. Average data, 2020–2022

Įvairios augalų rūšys skiriasi morfologiniais ir anatominiiais požymiais, mitybos ir gyvenimo būdu bei trukme, dauginimosi ypatybėmis, paplitimo vieta, todėl tyrime rastos augalų rūšys buvo suskirstytos į vienaskilčius, dviskilčius ir asiūklainius. Ilgalaikio žolyno nuolatiniame dirvožemio sėklų banke ir žolyno antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 91,9 %; antžeminėje dalyje – 82,4 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 8,1 %, o antžeminėje dalyje – 14,7 % (3.2 lentelė).



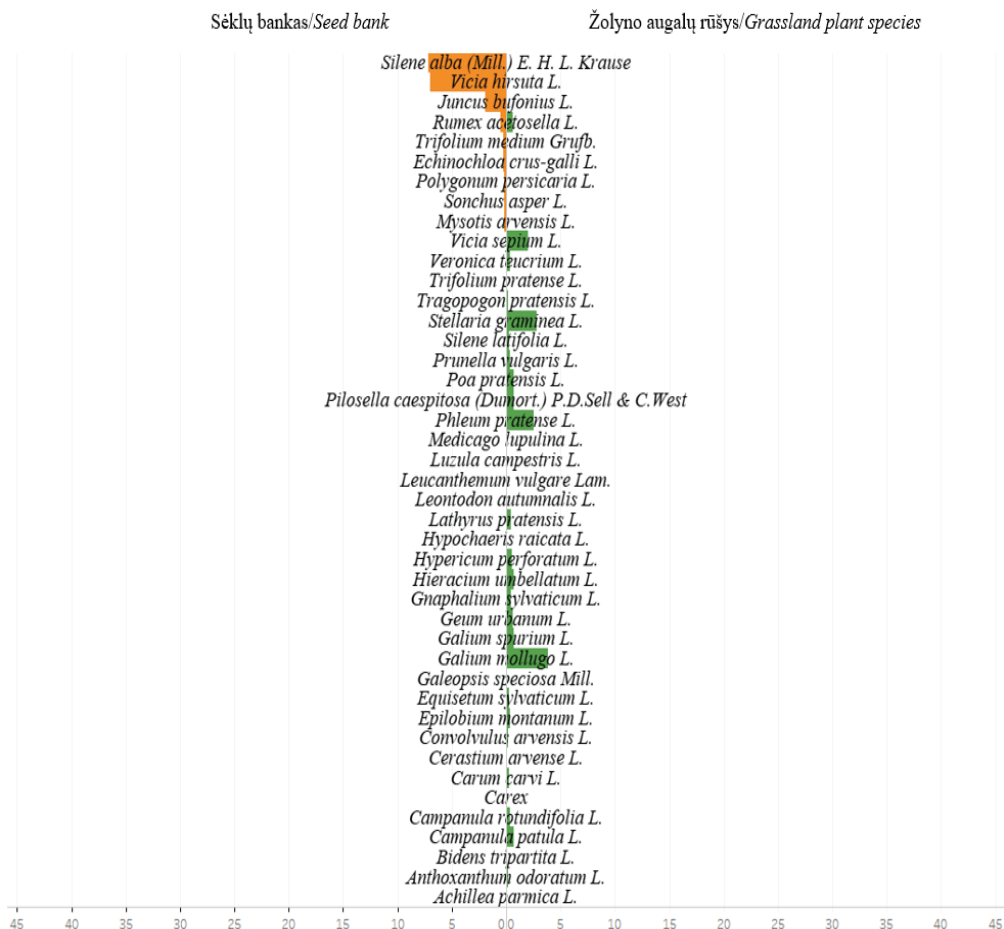
**3.11 a pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke ir žolyne. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

**Fig 3.11 a.** Relative abundance of plant species in the temporary seed bank and actual vegetation of permanent grassland. Average data, 2020–2022

Lyginant ilgalaikio žolyno laikiną dirvožemio sėklų banką panaudoti tie patys žolyno rūšinės sudėties duomenys (68 rūšys), o laikiname sėklų banke nustatyta 30 sėklų rūšių, (3.11 a ir 3.11 b pav.). Palyginus laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su žolyno rūšine sudėtimi, nustatytos 13 bendros augalų rūšys. Iš jų labiausiai paplitusios buvo paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.) (sėklų banke sudarė 15,8 %; antžeminėje dalyje – 1,7 %), dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) (sėklų banke sudarė 14,6 %; antžeminėje dalyje – 3,8 %).



Laikiname kaip ir nuolatiniame dirvožemio sėklų banke didžiausia dalis (40,2 %) sėklų nustatyta baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), o žolyne gausiai išplitęs buvo raudonasis eraičinasis (*Festuca rubra* L.) (16,9 %) ir melynžiedis vikis (*Vicia sylvatica* L.) (9,1 %).



Rūšies santykinis gausumas/Species relative abundance

**3.11 b pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke ir žolyne. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

**Fig 3.11 b.** Relative abundance of plant species in the temporary seed bank and actual vegetation of permanent grassland. Average data, 2020–2022

Ilgalaikio žolyno laikiname dirvožemio sėklų banke ir žolyno antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 93,3 %; antžeminėje dalyje – 82,4 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 6,7 %, antžeminėje dalyje – 14,7 %.

Ilgalaikio žolyno nuolatinio ir laikino dirvožemio sėklų banko rūšinės sudėtis neatitiko žolyno rūšinės sudėties. Sørensen koeficiento (Cs) reikšmės gautos 0,25 ir 0,27 (3.1 lent.). Janicka (2006) nurodo, kad dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis neatspindėjo pievų žolyno floristinės sudėties, nes: 1) žolyne vyravo rūšys, kurių išlikimas susijęs su vegetatyviniu dauginimu; 2) pakeitus žemėnaudą, dirvožemyje liko ariamų laukų būdingos sėklų rūšys, sukurdamos patvarų sėklų banką.

**3.1 lentelė.** Sørensen (Cs) floristinio panašumo koeficientai, 2020–2022 m.

**Table 3.1.** Floristic similarity coefficients of Sørensen (Cs).2020–2022

Rodikliai/ <i>Properties</i>	Nuolatinis sėklų bankas/ <i>Persistent seed bank</i>			Laikinas sėklų bankas/ <i>Temporary seed bank</i>		
	Ž	JŽ	KA	Ž	JŽ	KA
Pasėlio augalų rūšys/ <i>Crop plant species</i>	–	0,5	0,41	–	0,42	0,38
Žolyno augalų rūšys/ <i>Grassland plant species</i>	0,25	–	–	0,27	–	–

Pastaba: agrofytocenozės: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais.

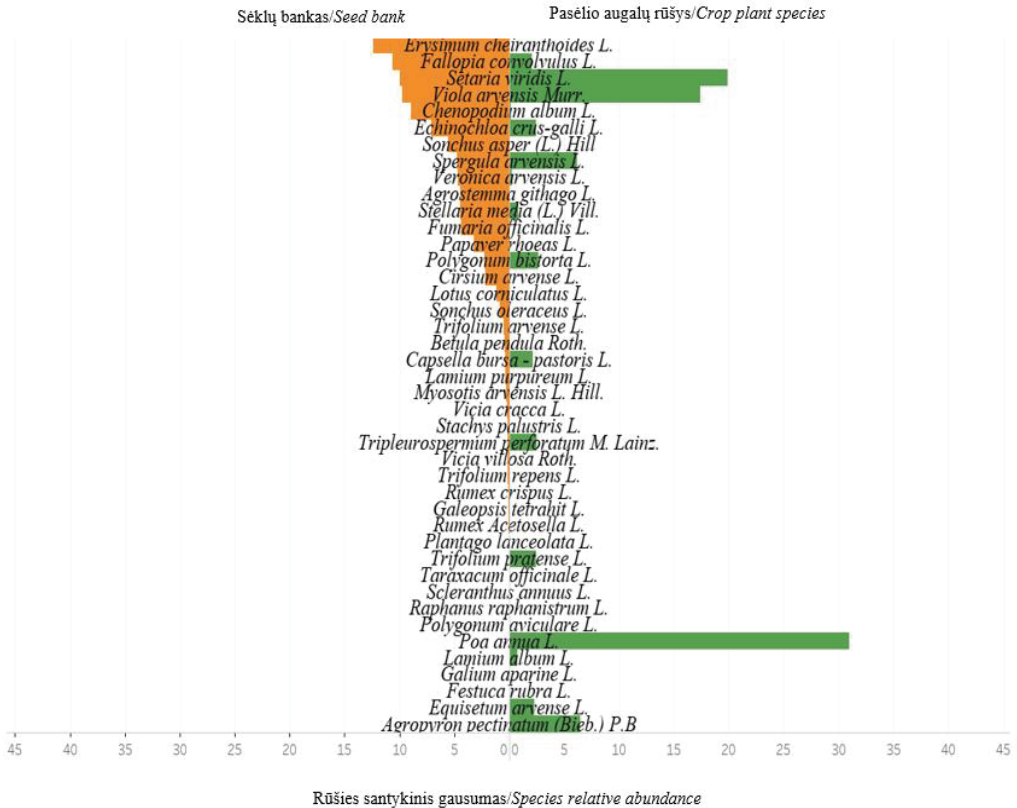
Note: agrophytocoenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop.

### 3.3.2. Javų-žolių sėjomaina

Javų-žolių sėjomainos (2020 m. – vasariniai miežiai; 2021 m. – vasariniai kviečiai; 2022 m. – vasariniai miežiai su daugiamečių žolių įsėliu) nuolatiniame dirvožemio sėklų banke nustatyta 31 rūšis sėklų, o pasėliuose nustatytos 25 augalų rūšys (3.12 pav.). Palyginus nuolatinio sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlių rūšine sudėtimi, nustatyta 14 bendrų augalų rūšių. Iš jų didžiausią dalį sudarė žalioji šerytė (*Setaria viridis* L.) (sėklų banke sudarė 10,0 %; antžeminėje dalyje – 19,9 %), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (sėklų banke sudarė 9,7 %; antžeminėje dalyje – 17,4 %) ir vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* L.) (sėklų banke sudarė 10,7 %; antžeminėje dalyje – 2,1 %). Harbuch (2007) nurodo, kad sėklų banke ne visada aptinkamos pasėliuose augančių augalų rūšys ir ne visos dirvožemio sėklų banko rūšys gali būti aptinkamos antžeminėje bendrijoje.

Javų-žolių sėjomainos nuolatiniame dirvožemio sėklų banke didžiausia dalis (12,4 %) sėklų nustatyta smalkinio tvertiko (*Erysimum cheiranthoides* L.), kurio nerasta pasėlyje, o pasėliuose buvo išplitusi vienametė miglė (*Poa annua* L.) (16,9 %), tačiau jos sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta.

Javų-žolių sėjomainos nuolatiniame dirvožemio sėklų banke ir pasėlio antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 96,8 %; antžeminėje dalyje – 80,0 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 3,2 %, antžeminėje dalyje – 16,0 %, o asiūklainių antžeminėje dalyje rasta 4,0 % (3.2 lentelė).

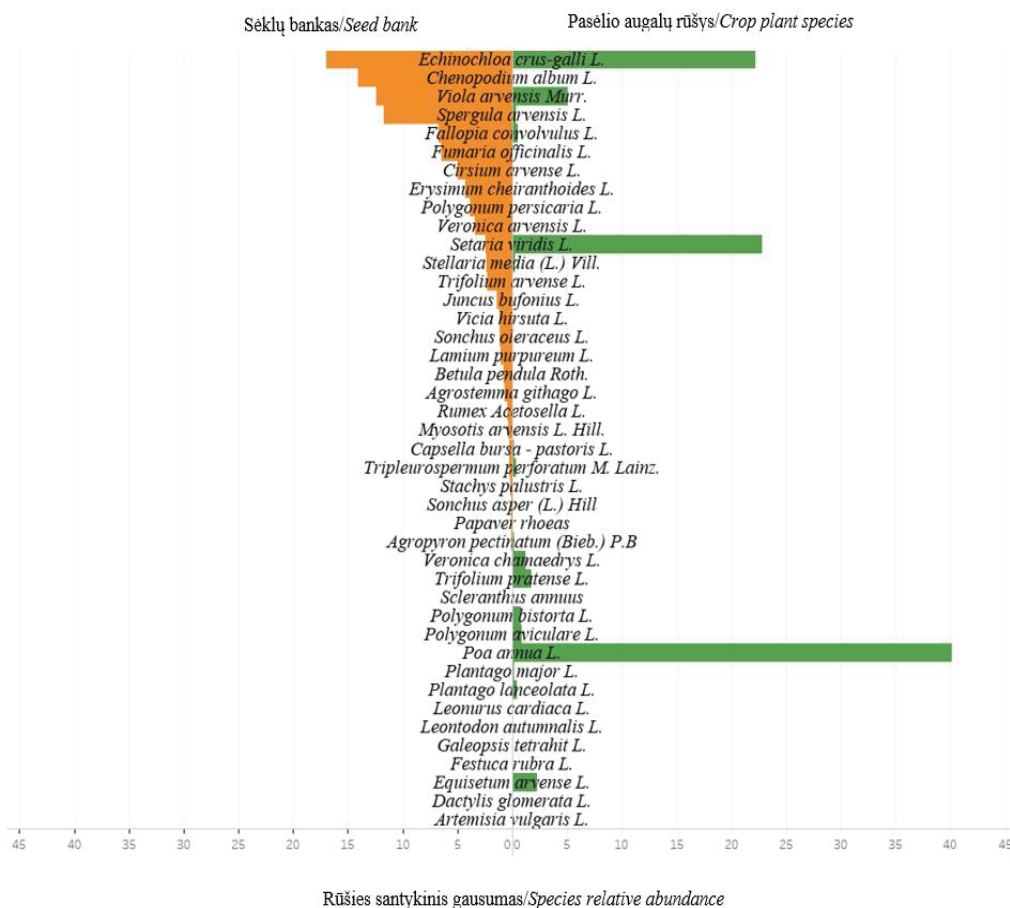


3.12 pav. Augalų rūšių santykinis gausumas javų-žolių sėjomainos nuolatiniame sėklų banke ir pasėliuose, Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

Fig 3.12. Relative abundance of plant species in the persistent seed bank and crops of cereal-grass crop rotation, Average data, 2020–2022

Javų-žolių sėjomainos laikiname dirvožemio sėklų banke nustatytos 27 sėklų rūšys, o pasėliuose – 26 rūšys (3.13 pav.). Palyginus laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlių rūšine sudėtimi, nustatyta 11 bendrų augalų rūšių. Iš jų labiausiai paplitusios buvo paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.) (sėklų banke sudarė 17,0 %; pasėlyje – 22,2 %), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (sėklų banke sudarė 12,4 %; pasėlyje – 5,1 %) ir žalioji šerytė (*Setaria viridis* L.) (sėklų banke sudarė 2,5 %; pasėlyje – 22,8 %).

Javų-žolių sėjomainos laikiname dirvožemio sėklų banke didesnė dalis (14,1 %) sėklų nustatyta baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), bet jos nebuvo nustatyta pasėliuose. Tačiau pasėliuose buvo išplitusi vienametė miglė (*Poa annua* L.) (40,1 %), kurios sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta.



3.13 pav. Augalų rūšių santykinis gausumas javų-žolių sėjomainos laikiname sėklų banke ir pasėliuose. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.  
**Fig 3.13.** Relative abundance of plant species in the temporary seed bank and crops of cereal-grass crop rotation. Average data, 2020–2022

Javų-žolių sėjomainos laikiname dirvožemio sėklų banke ir pasėlio antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 88,9 %; antžeminėje dalyje –73,1 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 11,1 %, o antžeminėje dalyje – 23,1 %, o asiūklainių antžeminėje dalyje rasta 3,8 %.

Javų-žolių sėjomainos nuolatinio ir laikino dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis sutapo 50,0 ir 42,0 % pasėlio rūšinės sudėties. Sörensen koeficiento (Cs) reikšmės gautos 0,50 ir 0,42 (3.1 lent.).

### 3.3.3. Sėjomaina su kaupiamaisiais augalais

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais (2020 m. – bulvės; 2021 m. – vasarinai miežiai su daugiamečių žolių įsėliu; 2022 m. – daugiametės žolės I naudojimo metų) nuolatiniam dirvožemio sėklų banke nustatytos 25 rūšių sėklos, o pasėliuose nustatyta 29 augalų rūšys (3.14 pav.). Palyginus nuolatinio sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlio rūšine sudėtimi, nustatyta 11 bendrų augalų rūšių. Iš jų didžiausią dalį sudarė dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (sėklų banke sudarė 18,3 %; antžeminėje dalyje – 10,7 %), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* L.) (sėklų banke sudarė 24,4 %; antžeminėje dalyje – 6,8 %) ir baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) (sėklų banke sudarė 22,8 %; antžeminėje dalyje – 2,8 %). Paprastai nurodoma, kad tik kelios rūšys sudaro didžiausią dirvožemio sėklų banko dalį. Autoriai pažymi, kad dirvožemiai dažniausiai užteršti baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) sėklomis (Pilipavičius ir kt., 2010; Sadrabadi ir kt., 2013; Butkevičienė ir kt., 2021). Tai lemia jos biologinės savybės – didelis sėklų skaičius (Grundy ir kt., 2004).

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais nuolatiniam dirvožemio sėklų banke didesnė dalis (9,7 %) sėklų nustatyta žaliosios šerytės (*Setaria viridis* L.), bet jos pasėlyje nerasta. Pasėliuose buvo išplitęs dirvinis asiūklis (*Equisetum arvense* L.) (16,9 %).

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais nuolatiniam dirvožemio sėklų banke ir pasėlio antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 92,0 %; antžeminėje dalyje – 79,3 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 8,0 %, o antžeminėje dalyje – 17,2 %, asiūklainių antžeminėje dalyje rasta 3,5 % (3.2 lentelė).

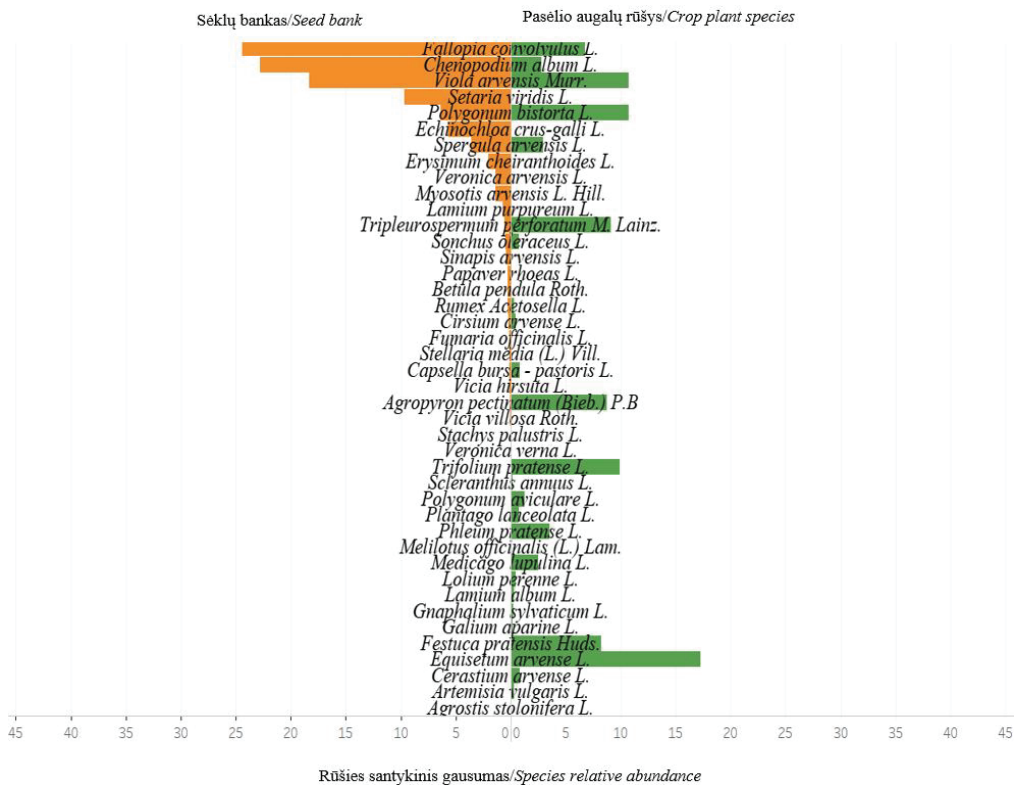
**3.2 lentelė.** Dviskilčių, vienaskilčių ir asiūklainių procentinė dalis bendrijose, 2020–2022 m.

**Table 3.2** Percentage of dicotyledonous, monocotyledonous and equisetophyta in communities, 2020–2022

Agrofitocenozės/ <i>Agrophytocenosis</i>	Dviskilčiai/ <i>Dicotyledonous</i>		Vienaskilčiai/ <i>Monocotyledonous</i>		Asiūklainiai/ <i>Equisetophyta</i>	
	Dirvožemio sėklų bankas/ <i>Soil seed bank</i>					
	Nuolatinis/ <i>Persistent</i>	Laikinas/ <i>Temporary</i>	Nuolatinis/ <i>Persistent</i>	Laikinas/ <i>Temporary</i>	Nuolatinis/ <i>Persistent</i>	Laikinas/ <i>Temporary</i>
Ž	91,9	93,3	8,1	6,7	–	–
JŽ	96,8	88,9	3,2	11,1	–	–
KA	92,0	92,3	8,0	7,7	–	–
	Pasėliai/ <i>Crops</i>					
	I	II	I	II	I	II
Ž	82,4	–	14,7	–	2,9	–
JŽ	80,0	73,1	16,0	23,1	4,0	3,8
KA	79,3	71,9	17,2	25,0	3,5	3,1

Pastaba: agrofitocenozės: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; I ir II – pirmojo ir antrojo vertinimo metu nustatyta piktžolių rūšinė sudėtis.

Note: agrophytocenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; I and II – During the first and second assessment, weed species composition was determined.

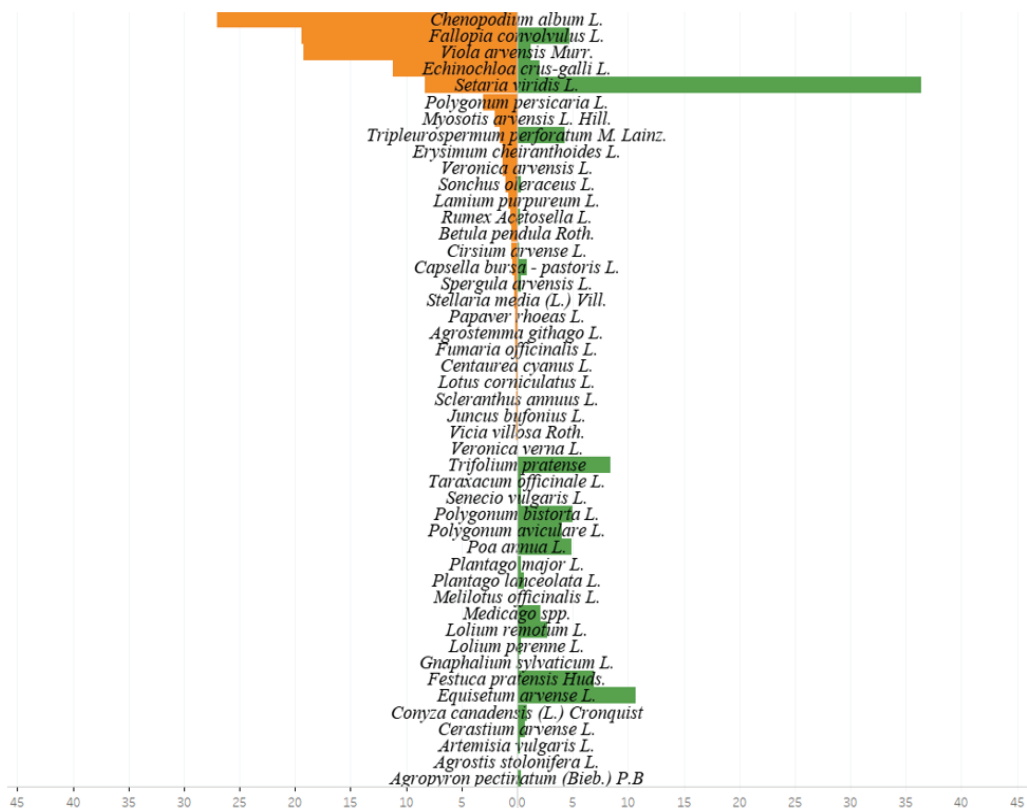


**3.14 pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas sėjomainos su kaupiamaisiais augalais nuolatiname sėklų banke ir pasėliuose. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

**Fig 3.14.** Relative abundance of plant species in the persistent seed bank and crops of crop rotation with a row crop. Average data, 2020–2022

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais laikiname dirvožemio sėklų banke nustatytos 26 sėklų rūšys, o pasėliuose – 32 rūšys (3.15 pav.). Palyginus laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlių rūšine sudėtimi, nustatyta 11 bendrų augalų rūšių. Iš jų labiausiai paplitusios buvo žalioji šerytė (*Setaria viridis* L.) (sėklų banke sudarė 8,4 %; pasėlyje – 36,2 %), baltoji balanda (*Chenopodium album* L.) (sėklų banke sudarė 27,0 %; pasėlyje – 0,1 %), dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.) (sėklų banke sudarė 19,2 %; pasėlyje – 1,2 %) ir vijoklinis pelėvirškštis (*Fallopia convolvulus* L.) (sėklų banke sudarė 19,4 %; pasėlyje – 4,7 %).

Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais pasėlio rūšinę sudėtį (10,7 %) sudarė dirvinis asiūklis (*Equisetum arvense* L.).



## Rūšies santykinis gausumas/Species relative abundance

**3.15 pav.** Augalų rūšių santykinis gausumas sėjomainos su kaupiamaisiais augalais laikiname sėklų banke ir pasėliuose. Vidutiniai duomenys, 2020–2022 m.

**Fig 3.15.** Relative abundance of plant species in the temporary seed bank and crops of crop rotation with a row crop. Average data, 2020–2022

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais laikiname dirvožemio sėklų banke ir pasėlio antžeminėje dalyje didžiausią dalį sudarė dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 92,3 %; antžeminėje dalyje – 71,9 %), vienaskilčių augalų sėklų banke buvo 7,7 %, o antžeminėje dalyje – 25,0 %, asiūklainių antžeminėje dalyje rasta 3,1 %.

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais dirvožemio sėklų banko rūšinės sudėtis buvo labiau panaši su pasėlio rūšine sudėtimi. Sörensen koeficiento (Cs) reikšmė gauta 0,41 ir 0,38 (3.1 lent.).

**Apibendrinimas.** Ilgalaikio žolyno nuolatiniame dirvožemio sėklų banke nustatytas 18,9 % didesnis rūšių skaičius palyginus su laikinu dirvožemio sėklų banku. Palyginus nuolatinio ir laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su žolyno rūšine sudėtimi, nustatyta 13 bendrų augalų rūšių ir

dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis sutapo 25,0 ir 27,0 % su žolyno rūšine sudėtimi. Didžiausią dalį sudarė paprastasis gargždenis (*Lotus corniculatus* L.), dirvinė usnis (*Cirsium arvense* (L.) Scop.). Taip pat nuolatiniame ir laikiname dirvožemio sėklų banke didžiausia dalis (40,2 ir 25,4 %) sėklų buvo baltosios balandos (*Chenopodium album* L.), tačiau šių augalų žolyne nebuvo. Priešingai ilgalaikiame žolyne buvo išplitęs raudonasis eraičinas (*Festuca rubra* L.) (16,9 %), kurio sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta.

Javų-žolių sėjomainos nuolatiniame dirvožemio sėklų banke nustatytas 12,9 % didesnis rūšių skaičius palyginus su laikiniu dirvožemio sėklų. Palyginus nuolatinio ir laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlio rūšine sudėtimi, nustatyta, kad dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis sutapo 50,0 ir 42,0 % su pasėlio rūšine sudėtimi. Didžiausią dalį sudarė žalioji šerytė (*Setaria viridis* L.) ir dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.). Pasėlyje buvo išplitusi vienametė miglė (*Poa annua* L.), tačiau jos sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta.

Sėjomainos su kaupiamaisiais augalais nuolatiniame dirvožemio sėklų banke nustatytas panašus, t.y. tik 3,8 % didesnis rūšių skaičius rūšių palyginus su laikiniu dirvožemio sėklų banke. Palyginus nuolatinio ir laikino sėklų banko rūšinę sudėtį su pasėlio rūšine sudėtimi, nustatyta 11 bendrų augalų rūšių ir dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis sutapo 41,0 ir 38,0 % su pasėlio rūšine sudėtimi. Didžiausią dalį sudarė dirvinė našlaitė (*Viola arvensis* Murr.), vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* L.) ir baltoji balanda (*Chenopodium album* L.). Pasėlyje buvo išplitęs dirvinis asiūklis (*Equisetum arvense* L.), tačiau jos sėklų dirvožemio sėklų banke nerasta.

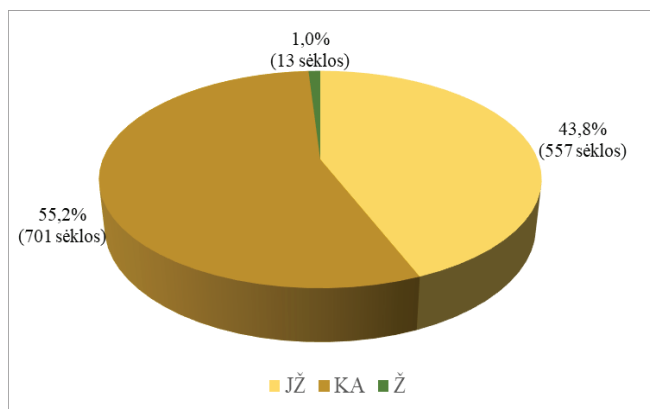
Visose agrofitocenozėse nuolatiniame ir laikiname dirvožemio sėklų banke ir antžeminėje dalyje vyravo dviskilčių augalų sėklos (dirvožemio sėklų banke 88,9–96,8 %; antžeminėje dalyje 71,9–82,4 %).

### 3.4. Augalų sėklų skaičius ir rūšinė sudėtis dirvožemio nešmenyse

Lyginant įvairių agrofitocenozių sėklų skaičių iš vandens ir dirvožemio rinktuvų, nustatyta, kad 2020 metais nuo ilgalaikio žolyno paviršiaus sėklų nusiplovė 42,8 kartų mažiau nei javų-žolių sėjomainoje (vasarinių miežių pasėlis) ir 53,2 kartų mažiau nei sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais (bulvių pasėlis) (3.16 pav.). Tikėtina, kad dėl auginamų kaupiamųjų augalų sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais dirvožemis labiau judinamas ir stiprių kritulių ( $\geq 10$  mm) atveju, sėklos esančios dirvos paviršiuje yra nešamos kartu su dirvožemio dalelėmis šlaitu žemyn. Javų-žolių sėjomainoje buvo auginami vasariniai miežiai, kur naudotas supaprastintas žemės dirbimas (dirvožemis įdirbtas iki 15 cm gylio), todėl tikėtina, kad augalų sėklos taip pat nusiplovė stiprių kritulių metu. Per 2020 metus stiprių kritulių, kai per parą iškrinta  $\geq 10$  mm, augalų vegetacijos metu buvo net 57 dienos. Ilgalaikis žolynas buvo nuolatinė



kalvos šlaito dirvožemio apsauga nuo erozijos daugiau nei 27 metus (Skuodienė, Matyžiūtė, 2022). Šioje situacijoje žolinė augalija buvo kaip fizinė – biologinė kliūtis vandens nutekėjimui nuo šlaito paviršiaus (Skuodienė ir kt., 2020). Suformavus žolyną, kalvos šlaitai yra apsaugoti nuo tekančio vandens srautų (Stokes, 2009).



**3.16 pav.** Sėklų skaičius ir procentinė dalis dirvožemio nešmenyse (vnt. ir %), 2020 m.

**Fig 3.16.** Number and percentage of seeds in the soil runoff sediments (unit, %), 2020

Pastaba: agrofitocnozės: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.  
 Note: agrophytocenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop.

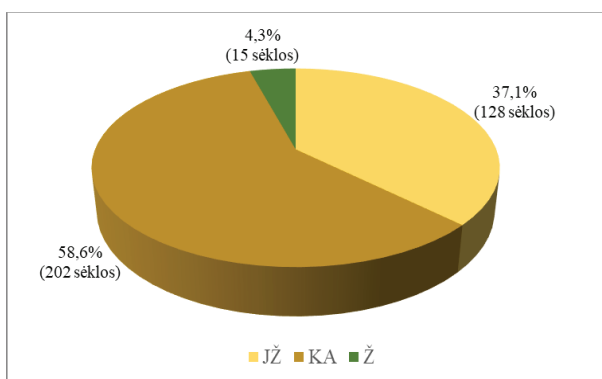
Nuo ilgalaikio žolyno paviršiaus daugiausiai nusiplovė baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (30,7 %), smalkinio tvertiko (*Erysimum cheiranthoides* L.) (23,1 %) ir dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L. Hill.) (15,4 %) sėklų. Nuo javų-žolių sėjomainos ir sėjomainos su kaupiamaisiais augalais paviršiaus daugiausiai nusiplovė baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (45,2 %), vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) (37,5 %) ir dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* Murr.) (10,2 %) sėklų (žr. Priedai 7 lent.).

Palyginus dirvožemio sėklų banko rūšinę sudėtį su dirvožemio nešmenyse rastomis sėklų rūšimis, artimaisi rūšių sudėtimi ( $C_s = 0,69-0,71$ ) buvo sėjomainos su kaupiamaisiais augalais ir javų-žolių sėjomainos, o mažiausiai panaši ( $C_s = 0,46$ ) rūšių sudėtimi buvo ilgalaikis žolynas.

Dirvožemio nešmenyse rastos sėklos sudarė 0,5; 2,6 ir 6,1 % dirvožemio sėklų banko kiekio atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais. Nešmenyse rastų sėklų gyvybingumas agrofitocenozeose nebuvo didelis ir mažėjo atitinkamai: javų-žolių sėjomaina (51,0 %), sėjomaina su kaupiamaisiais augalais (45,8 %), ilgalaikis žolynas (41,9 %).

2021 metais nustatyta, kad nuo ilgalaikio žolyno paviršiaus sėklų nusiplovė 8,5 kartų mažiau nei javų-žolių sėjomainoje (vasarinių kviečių pasėlis) ir 13,5 kartų nei sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais (vasarinių miežių pasėlis su daugiamečių žolių įsėliu) (3.17 pav.).

Pastebėta, kad sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais, auginant vasarinius miežius su daugiamečių žolių įsėliu ir naudojant supaprastintą žemės dirbimą, skirtumas tarp nuplautų sėklų nuo ilgalaikio žolyno buvo mažesnis. Javų žolių sėjomainoje nors kiekybiškai sėklų nusiplovė mažai, tačiau procentinė dalis lyginant agrofitocenozes išliko panaši. Išbūrėjusių sėklų perskirstymas daugiausiai vyksta dėl natūralių procesų ir žemės dirbimo (Naylor, 2002; Moonen, Barberi, 2004; Armengot ir kt., 2016). Dėl sumažinto žemės dirbimo didžioji dalis praėjusiais metais išaugintų sėklų lieka pačiame paviršiniame dirvožemio sluoksnyje (Gruber, Claupein, 2009). Mažesniame nuplautų sėklų skaičiui įtakos turėjo ir dienų su stipriais krituliais mažesnis skaičius. Per 2021 metus stiprių kritulių, kai per parą iškrinta  $\geq 10$  mm, augalų vegetacijos metu buvo tik 16 dienų.



**3.17 pav.** Sėklų skaičius ir procentinė dalis dirvožemio nešmenyse (vnt. ir %) 2021 m.

**Fig 3.17.** Number and percentage of seeds in the soil runoff sediments (unit, %), 2021

Pastaba: agrofitocenozės: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.

Note: agrophytocoenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop.

Nuo ilgalaikio žolyno paviršiaus daugiausiai nusiplovė baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (33,3 %), paprastosios kiaulpienės (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.) (20,0 %) sėklų. Nuo javų-žolių sėjomainos paviršiaus daugiausiai nusiplovė trumpamakščio rūgčio (*Polygonum lapathifolium* L.) (27,5 %), vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) (22,5 %) ir dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* Murr.) (12,5 %) sėklų (žr. Priedai 7 lent.), o nuo sėjomainos su kaupiamaisiais augalais – vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) (27,0 %), baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (25,4 %) ir dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* Murr.) (12,6 %) (žr. Priedai 7 lent.).

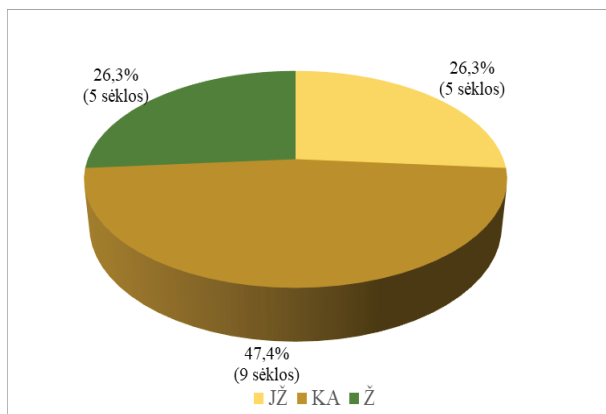
Palyginus dirvožemio sėklų banko rūšinę sudėtį su dirvožemio nešmenyse rastomis sėklų rūšimis, 2021 metais augalų sėklų rūšių panašumas visose agrofitocenozėse buvo mažesnis nei

2020 metais ( $C_s = 0,56$ ; 0,54 ir 0,26 atitinkamai: javų-žolių sėjomaina, sėjomaina su kaupiamaisiais augalais ir ilgalaikis žolynas).

Dirvožemio nešmenyse rastos sėklos sudarė 0,3; 0,4 ir 1,3 % dirvožemio sėklų banko kiekio atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais. Nešmenyse rastų sėklų gyvybingumas agrofitorozėse mažėjo atitinkamai: javų-žolių sėjomaina (72,7 %), sėjomaina su kaupiamaisiais augalais (70,0 %), ilgalaikis žolynas (60,0 %).

2022 metais nustatyta, kad ilgalaikiame žolyne ir javų-žolių sėjomainoje (vasarinių miežių pasėlis su daugiamečių žolių išėliu) sėklų nusiplovė vienodai. Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais (daugiametės žolės I naudojimo metų) sėklų nusiplovė 1,8 karto daugiau nei ilgalaikiame žolyne ir javų-žolių sėjomainoje (3.18 pav.). Javų-žolių sėjomainoje buvo auginami vasariniai miežiai su daugiamečių žolių išėliu, o sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais augo pirmųjų naudojimo metų daugiamečių žolės.

Mažam nuplautų sėklų skaičiui įtakos turėjo dienų su stipriais krituliais mažas skaičius. Per 2022 metus stiprių kritulių kai per parą iškrinta  $\geq 10$  mm augalų vegetacijos metu buvo tik 11 dienų.



**3.18 pav.** Sėklų skaičius ir procentinė dalis dirvožemio nešmenyse (vnt. ir %), 2022 m.

**Fig 3.18.** Number and percentage of seeds in the soil runoff sediments (unit, %), 2022 m.

Pastaba: agrofitorozės: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.  
Note: agrophytocenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop.

Nuo ilgalaikio žolyno paviršiaus nusiplovė dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* Murr.) (80,0 %) ir trumpamakšties rūgties (*Polygonum lapathifolium* L.) (20,0 %) sėklos (žr. Priedai 7 lent.). Nuo javų-žolių sėjomainos paviršiaus lygiomis dalimis (po 20 %) nusiplovė: vijoklinio pelėvirksčio (*Fallopia convolvulus* L.), dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L. Hill.), paprastosios rietmenės (*Echinochloa crus-galli* L.), dirvinės pienės (*Sonchus oleraceus* L.),

geltonosios žiognegės (*Geum urbanum* L.). Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nusiplovė dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L. Hill.) (55,6 %), dirvinės pienės (*Sonchus oleraceus* L.) (33,3 %) ir kibiojo lipiko (*Galium aparine* L.) (11,1 %) sėklos.

Palyginus dirvožemio sėklų banko rūšinę sudėtį su dirvožemio nešmenyse rastomis sėklų rūšimis, 2022 metais augalų sėklų rūšių panašumas buvo nedidelis ( $C_s = 0,43$ ; 0,13 ir 0,18 atitinkamai: javų-žolių sėjomaina, sėjomaina su kaupiamaisiais augalais ir ilgalaikis žolynas).

Dirvožemio nešmenyse rastos sėklos sudarė 0,1; 0,03 ir 0,03 % dirvožemio sėklų banko kiekio atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais. Nešmenyse rastų sėklų gyvybingumas agrofitocenoze mažėjo atitinkamai: sėjomaina su kaupiamaisiais augalais (75,0 %), javų-žolių sėjomaina (41,7 %), ilgalaikis žolynas (35,7 %).

Visais tyrimų metais iš esmė daugiau (vidutiniškai  $3,86 \text{ t ha}^{-1}$ ) dirvožemio nusiplovė sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais. Nors skirtumas tarp agrofitocenozių buvo esmingas, tačiau tarp nuplauto dirvožemio kiekio ir sėklų skaičiaus nešmenyse koreliacija nenustatyta. Dirvožemio nešmenyse sėklų skaičius esmingai priklausė nuo dienų su stipriais krituliais, kai per parą iškrinta  $\geq 10 \text{ mm}$  kritulių, skaičiaus per augalų vegetacijos laikotarpį ( $r = 0,699^*$ ).

**Apibendrinimas.** Dirvožemio nešmenyse sėklų skaičius esmingai priklausė nuo dienų su stipriais krituliais, kai per parą iškrinta  $\geq 10 \text{ mm}$  kritulių, skaičiaus per augalų vegetacijos laikotarpį ( $r = 0,699^*$ ), bei konkrečioje agrofitocenozeje atsiradusių augalų bendrųjų ir augalų biologinių savybių.

Nuo ilgalaikio žolyno daugiausiai sėklų nusiplovė dirvinės našlaitės (*Viola arvensis* Murr.) (29,2 %) ir baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (21,3 %). Nuo javų-žolių sėjomainos: vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) (26,7 %) ir baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (16,7 %) sėklų. O nuo sėjomainos su kaupiamaisiais augalais: baltosios balandos (*Chenopodium album* L.) (24,8 %), dirvinės neužmirštuolės (*Myosotis arvensis* L.) (20,0 %) ir vijoklinio pelėvirkščio (*Fallopia convolvulus* L.) (19,1 %) sėklos.

Dirvožemio nešmenyse rastos sėklos sudarė vidutiniškai 0,3; 0,1 ir 2,4 % dirvožemio sėklų banko kiekio atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais. Mažas (vidutiniškai: 45,9, 55,1 ir 63,6 %, atitinkamai ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) dirvožemio nešmenyse rastų sėklų gyvybingumas galėjo atsirasti dėl sėklų judėjimo vandens srautu. Toks sėklų transportavimas gali sumažinti sėklų gyvybingumą (Cousens ir kt., 2008; Van Oost ir kt., 2006).

### 3.5. Dirvožemio sėklų banko morfologiniai sėklų požymiai

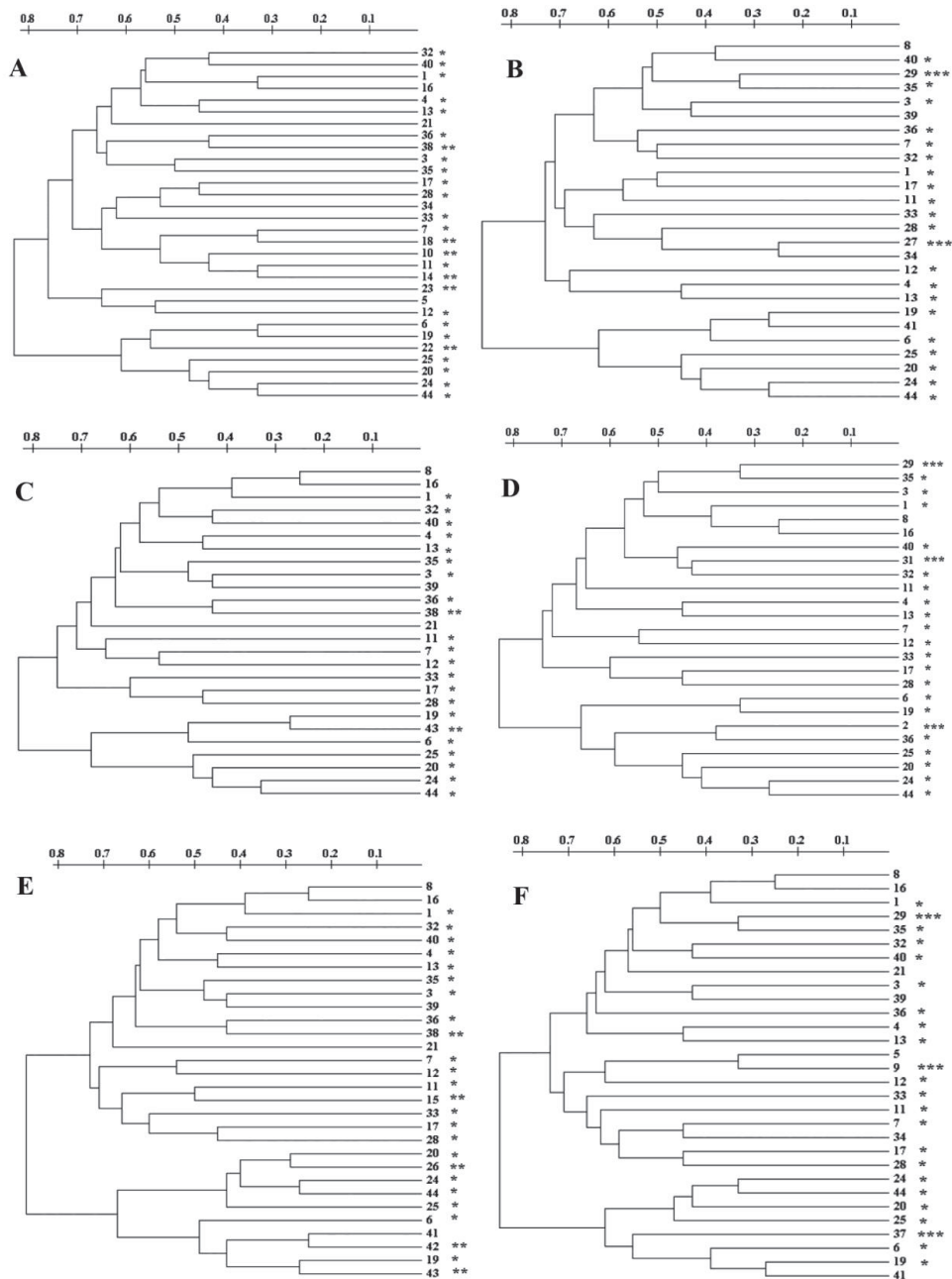
Specifinės sėklų morfologinės savybės yra viena iš pritaikymo prie sėklų sklaidos formų (Gan ir kt., 2022). Siekiant įvertinti sėklų luobelės paviršiaus svarbą sėklų banko dinamikai buvo atliekama hierarchinė klasterinė analizė, kur visos sėklos buvo suskirstytos į dvi pagrindines grupes pagal sėklų paviršių nuolatiname ir laikiname dirvožemio sėklų banke (3.19 pav.). Kalvos viršūnės nuolatiname dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (76,7 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (23,3 %) priskirtos antrajam pagrindiniam klasteriui (II), tai rodo grubaus paviršiaus sėklų dominavimą (3.19A pav.). Tolesnį pagrindinių klasterių skirstymą į subklasterius lėmė skirtingos sėklos formos ir paviršiaus ypatybės. Pirmajame klasteryje rugiagėlė (*Centaurea cyanus* L.) nuo kitų rūšių buvo atskirta pagal pailgą sėklų formą ir vagotą paviršių. Dar trys klasteriai buvo atskirti pagal blizgų (IA), suplotą (IB), matinį (IC) paviršių ir vagotą sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal neblizgų (IIA) arba blizgų (IIB) paviršių. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (kiaušiniškos, pailgos ar apvalios).

Kalvos šlaito nuolatiname dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (73,1 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (26,9 %) priskirtos antrajam pagrindiniam klasteriui (II) (3.19C pav.). Pirmajame klasteryje dirvinis kežys (*Spergula arvensis* L.) nuo kitų rūšių buvo atskirtas pagal apvalią sėklų formą ir briaunuotą paviršių. Dar trys klasteriai buvo atskirti pagal matinį (IA), duobėtą (IB), vagotą (IC) paviršių ir kiaušinišką sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal neblizgų (IIA) arba blizgų (IIB) paviršių. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (kiaušiniškos, tribriaunės, ovalios, apvalios).

Kalvos pašlaitės nuolatiname dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (66,7 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (33,3 %) priklausė antrajam pagrindiniam klasteriui (II) (3.19E pav.). Pirmajame klasteryje aguona birulė (*Papaver rhoeas* L.) nuo kitų rūšių buvo atskirta pagal inkstišką sėklų formą ir duobėtą paviršių. Dar trys klasteriai buvo atskirti pagal matinį (IA), suplotą (IB), inkstišką (IC) paviršių ir vagotą sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal kiaušinišką (IIA) formą arba blizgų (IIB) paviršių. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (apvalios, suplotos, ovalios).

Nuolatinis sėklų bankas/*Persistent seed bank*

Laikinas sėklų bankas/*Temporary seed bank*



**3.19 pav.** Dirvožemio sėklų banko hierarchinė klasterinė analizė, naudojant 27 sėklų formas ir luobelės paviršiaus morfologinius požymius, 2020–2022 m.

**Fig 3.19** Hierarchical cluster analysis of the soil seed bank using 27 morphological traits of seed shape and surface, 2020–2022

Pastaba: A ir B – kalvos viršūnė; C ir D – kalvos šlaitas; E ir F – kalvos pašlaitė. \* – sėklų rūšys, nustatytos nuolatiniame ir laikiname dirvožemio sėklų banke visose kalvos dalyse; \*\* – sėklų rūšis, nustatytos nuolatiniame dirvožemio sėklų banke,

visose kalvos dalyse; \*\*\* – sėklos rūšys, nustatytos laikiname dirvožemio sėklų banke, visose kalvos dalyse. Virš dendrogramos esanti skalė rodo atstumo koeficientą tarp dirvožemio sėklų banko, naudojant sėklų morfologines savybes. Arabiškais skaitmenimis nurodomos sėklos rūšys: 1 – *Agrostemma githago* L.; 2 – *Anthriscus sylvestris* L.; 3 – *Betula pendula* Roth.; 4 – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.; 5 – *Centaurea cyanus* L.; 6 – *Chenopodium album* L.; 7 – *Cirsium arvense* (L.) Scop.; 8 – *Echinochloa crus-galli* L.; 9 – *Elytrigia repens* (L.) Nevski.; 10 – *Epilobium montanum* L.; 11 – *Erysimum cheiranthoides* L.; 12 – *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.; 13 – *Fumaria officinalis* L.; 14 – *Galeopsis ladanum* L.; 15 – *Galeopsis tetrahit* L.; 16 – *Juncus bufonius* L.; 17 – *Lamium purpureum* L.; 18 – *Lapsana communis* L.; 19 – *Lotus corniculatus* L.; 20 – *Myosotis arvensis* L. Hill.; 21 – *Papaver rhoeas* L.; 22 – *Plantago lanceolata* L.; 23 – *Poa annua* L.; 24 – *Polygonum persicaria* L.; 25 – *Rumex acetosella* L.; 26 – *Rumex crispus* L.; 27 – *Scleranthus annuus* L.; 28 – *Setaria viridis* P. B.; 29 – *Silene vulgaris* (Moench) Garcke; 30 – *Sinapis arvensis* L.; 31 – *Sonchus asper* L.; 32 – *Sonchus oleraceus* L.; 33 – *Spergula arvensis* L.; 34 – *Stachys palustris* L.; 35 – *Stellaria media* (L.) Vill.; 36 – *Trifolium arvense* L.; 37 – *Trifolium medium* Grufb.; 38 – *Trifolium repens* L.; 39 – *Tripleurospermum perforatum* (Mérat.) M. Lainz.; 40 – *Veronica arvensis* L.; 41 – *Vicia hirsuta* L.; 42 – *Vicia sylvatica* L.; 43 – *Vicia villosa* Roth.; 44 – *Viola arvensis* Murr.

Note: A and B summit of the hill; C and D – midslope of the hill; E and F – footslope of the hill. \* – seed species, determined in persistent and temporary seed bank in all parts of the hill; \*\* – seed species, determined in persistent seed bank in all parts of the hill; \*\*\* – seed species, determined in temporary seed bank in all parts of the hill. The scale above the dendrogram indicates the distance coefficient between soil seeded bank using morphological traits of seeds. Arabic numerals indicate the seed species: 1 – *Agrostemma githago* L.; 2 – *Anthriscus sylvestris* L.; 3 – *Betula pendula* Roth.; 4 – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.; 5 – *Centaurea cyanus* L.; 6 – *Chenopodium album* L.; 7 – *Cirsium arvense* (L.) Scop.; 8 – *Echinochloa crus-galli* L.; 9 – *Elytrigia repens* (L.) Nevski.; 10 – *Epilobium montanum* L.; 11 – *Erysimum cheiranthoides* L.; 12 – *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.; 13 – *Fumaria officinalis* L.; 14 – *Galeopsis ladanum* L.; 15 – *Galeopsis tetrahit* L.; 16 – *Juncus bufonius* L.; 17 – *Lamium purpureum* L.; 18 – *Lapsana communis* L.; 19 – *Lotus corniculatus* L.; 20 – *Myosotis arvensis* L. Hill.; 21 – *Papaver rhoeas* L.; 22 – *Plantago lanceolata* L.; 23 – *Poa annua* L.; 24 – *Polygonum persicaria* L.; 25 – *Rumex acetosella* L.; 26 – *Rumex crispus* L.; 27 – *Scleranthus annuus* L.; 28 – *Setaria viridis* P. B.; 29 – *Silene vulgaris* (Moench) Garcke; 30 – *Sinapis arvensis* L.; 31 – *Sonchus asper* L.; 32 – *Sonchus oleraceus* L.; 33 – *Spergula arvensis* L.; 34 – *Stachys palustris* L.; 35 – *Stellaria media* (L.) Vill.; 36 – *Trifolium arvense* L.; 37 – *Trifolium medium* Grufb.; 38 – *Trifolium repens* L.; 39 – *Tripleurospermum perforatum* (Mérat.) M. Lainz.; 40 – *Veronica arvensis* L.; 41 – *Vicia hirsuta* L.; 42 – *Vicia sylvatica* L.; 43 – *Vicia villosa* Roth.; 44 – *Viola arvensis* Murr.

Kalvos viršūnės laikiname dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (73,1 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (26,9 %) priskirtos antrajam pagrindiniam klasteriui (II), tai rodo grubaus paviršiaus sėklų dominavimą (3.19B pav.). Tolesnį pagrindinių klasterių skirstymą į subklasterius lėmė skirtingos sėklos formos ir paviršiaus ypatybės. Pirmajame klasteryje vijoklinis pelėvirkštis (*Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.) nuo kitų rūšių buvo atskirtas pagal tribriaunę sėklų formą ir vagotą paviršių. Dar trys klasteriai buvo atskirti pagal matinį (IA), raukšlėtą (IB), kiaušinišką (IC) paviršių ir ovalią sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal truputį suplotą (IIA) arba tribriaunę (IIB) formą. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (suplotos, kiaušiniškos, ovalios, apvalios).

Kalvos šlaito laikiname dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (68,0 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (32,0 %) priklausė antrajam pagrindiniam klasteriui (II) (3.19D pav.). Laikiname dirvožemio sėklų banke kaip ir nuolatiniam sėklų banke pirmajame, klasteryje buvo atskirtas dirvinis kežys (*Spergula arvensis* L.) nuo kitų rūšių pagal apvalią sėklų formą ir briaunuotą paviršių. Dar trys klasteriai buvo atskirti pagal matinį (IA), raukšlėtą (IB), vagotą (IC) paviršių ir briaunuotą sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal blizgų (IIA) arba

neblizgų (IIB) paviršių. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (apvalios, pailgos, kiaušiniškos, tribriaunės).

Kalvos pašlaitės nuolatiniam dirvožemio sėklų banke pirmajame klasteryje (I) buvo atskirtos visos sėklos grublėtu paviršiumi (73,3 %), o sėklos su lygiu paviršiumi (26,7 %) priklausė antrajam pagrindiniam klasteriui (II) (3.19F pav.). Trys klasteriai buvo atskirti pagal matinį (IA), raukšlėtą (IC) paviršių ir ovalią (IB), pailgą sėklų formą (ID). Antrajame klasteryje pirmojo lygio sėklos buvo sugrupuotos pagal blizgų (IIA) arba neblizgų (IIB) paviršių. Toliau skirstyta į pogrupius pagal sėklos formą (apvalios, truputį suplotos, tinkliškos, kiaušiniškos).

Nepriklausomai nuo agrofitorocenozių kalvos pašlaitėje sumažėjo grublėtu paviršiumi sėklų, o padaugėjo lygiu paviršiumi sėklų. Greičiausiai taip yra dėl to, kad kalvotame reljefe, tirpstant sniegui ar užklupus liūtimis, sėklas lengvai neša vandens srovės (Casper ir kt., 2014). Be to, sėklos, kurių paviršius grubus, labiau prilimpa prie dirvos paviršiaus kalvotame reljefe nei tos, kurių paviršius lygus. Sėklų dydis ir forma taip pat turi įtakos hidrodinaminei elgsenai dėl selektyvaus įtraukimo ir nusodinimo (Lewis ir kt., 2013).

***Apibendrinimas.** Didesnis sėklų skaičius grublėtu paviršiumi buvo nustatytas viršūnėje, nepriklausomai nuo sėklų banko tipo. Nuo kalvos viršūnės pašlaitės link, grublėto ir lygaus paviršiaus sėklų santykis pasikeitė taip, sumažėjo grublėtu paviršiumi sėklų, o padaugėjo lygiu paviršiumi sėklų. Sėklų forma buvo kitas pagrindinis veiksnys, lemiantis dirvožemio sėklų banko pasiskirstymą, nes rūšių atskyrimas pogrupiuose buvo atliktas klasterio analizės antrajame arba trečiame dendrogramos lygyje. Visuose klasteriuose tolesniam skirstymui į pogrupius buvo išskirtos sėklos pagal kiaušinišką, ovalią, plokščią arba apvalią formą.*

### **3.6. Dirvožemio sėklų banko ir dirvožemio savybių sąsajos**

Analizuojant sėklų banko kitimą, buvo įvertintos sąsajos tarp sėklų skaičiaus ir dirvožemio savybių (dirvožemio pH, organinė anglis, suminis azotas, judrieji fosforas ir kalis, drėgnis, struktūra, granulimetrinė sudėtis, mikroorganizmų biomasės anglis) (2.1 lent.). Dirvožemio cheminės, fizikinės savybės keitėsi priklausomai nuo kalvos reljefo. Nuo kalvos viršūnės pašlaitės link didėjo drėgnio atsargos, gausėjo organinės anglies, mažėjo dirvožemio rūgštumas ir judriojo fosforo kiekis (2.1 lent.). Nustatyta, kad organinės anglies ir suminio azoto kiekis turi poveikį dirvožemio sėklų bankui nors ir netiesioginį, nes įtakoja motininių augalų produktyvumą (Andreasen, Skovgaard, 2009; Hawes ir kt., 2009; 2010). Nuo organinės anglies priklauso augalų derlingumas, mikroorganizmų veikla, maisto medžiagų prieinamumas augalams, dirvožemio struktūra ir biologinis aktyvumas (Frouz, 2017). Ribota organinių medžiagų kaita gali išsaugoti sėklas dirvožemyje, nes mikroorganizmų aktyvumą mažina



deguonies trūkumas labai drėgnose vietose arba vandens trūkumas – smėlingose (Albrecht, Auerswald, 2003).

Nepriklausomai nuo agrofitorozės, tiriant nuolatinį sėklų banką, silpnos ir stiprios koreliacijos su pH, judriaisiais fosforu ir kaliu, suminiu azotu bei organine anglimi nustatytos kalvos šlaito 5–15 cm gylyje ir pašlaitės abiejuose gyliuose kur buvo geresnės augalų augimui sąlygos (3.3 lent.). Taip pat silpna teigiama koreliacija nustatyta su judriuoju fosforu kalvos viršūnėje abiejuose gyliuose. Literatūroje nurodoma, kad dirvožemio ir sėklų banko tarpusavio ryšys labai priklauso nuo tyrimo apimties. Sąveika su pH, suminio N koncentracija ir C/N santykiu daugiausia išryškėjo regioniniu mastu, kur buvo įvairesnių dirvožemio sąlygų (Albrecht, Auerswald, 2003).

Analizuojant laikino sėklų banko, koreliacinio ryšio duomenis su judriaisiais fosforu ir kaliu bei dirvožemio pH nustatytos panašios tendencijos kaip ir tiriant nuolatinį sėklų banką. Tarp sėklų skaičiaus ir organinės anglies bei suminio azoto koreliacinių ryšių nenustatyta. Albrecht, Auerswald (2003) pastebi, kad fosforo ir azoto koncentracija labiau įtakojo rūšies sudėtį nei sėklų skaičių dirvožemyje.

**3.3 lentelė.** Koreliaciniai ryšiai tarp sėklų skaičiaus dirvožemio sėklų banke ir dirvožemio cheminių rodiklių, 2020–2022 m.

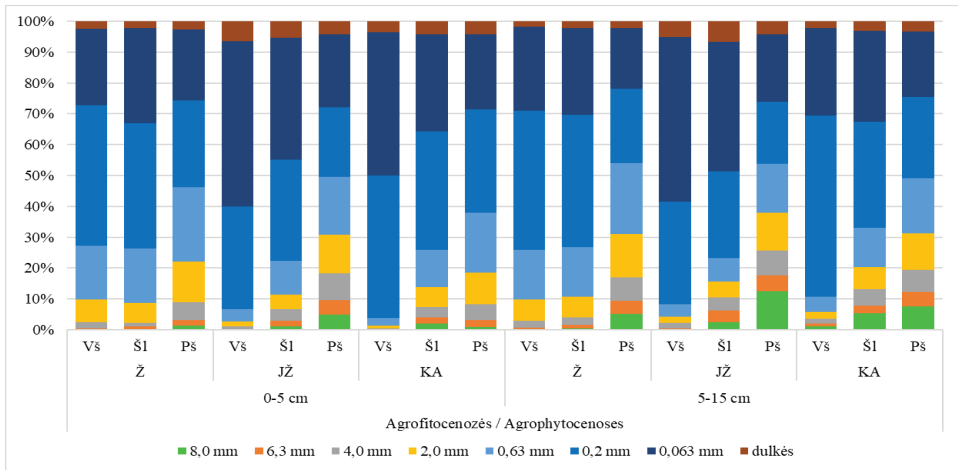
**Table 3.3.** Correlations between the seed number in the soil seed bank and soil chemical properties, 2020–2022

Rodikliai Properties	Gylis/Depth (cm)	Nuolatinis sėklų bankas / Persistent seed bank			Laikinas sėklų bankas / Temporary seed bank		
		Vš	Šl	Pš	Vš	Šl	Pš
Dirvožemio rūgštingumas Soil acidity (pH <sub>KCl</sub> )	0–5					-0,52**	0,66**
	5–15		-0,54**	-0,55**		-0,75**	
Judrusis fosforas Mobile P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	0–5	0,38*		0,58**			0,48*
	5–15	0,42*	0,49**	0,58**	0,49**	0,84**	0,63**
Judrusis kalis Mobile K <sub>2</sub> O (mg/kg)	0–5					-0,42*	-0,48*
	5–15			-0,50**	-0,47*	-0,52**	-0,43*
Suminis azotas Total N (%)	0–5			-0,45*			
	5–15			-0,41*			
Organinė anglis Organic C (%)	0–5			-0,52**			
	5–15						

Pastaba: kalvos dalys: Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: parts of the hill: Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope; \* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ .

Agronominiu požiūriu geriausia dirva, kai vyrauja mezoagregatai, tai yra 1–5 mm skersmens dirvožemio trupinėliai (Feiza ir kt., 2008). Mezoagregatų (1–5 mm) daugiausiai (20,3; 20,7 ir 17,2 %, atitinkamai: ilgalaikis žolynas; javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais) nustatyta 0–15 cm gylyje kalvos pašlaitėje (3.20 ir 3.21 pav.). Ta pati tendencija nustatyta vertinant makroagregatų (>5 mm) kiekį, tik jų kiekis buvo mažesnis nei mezoagregatų tai yra, 6,3; 13,7 ir 7,7 %, atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais).

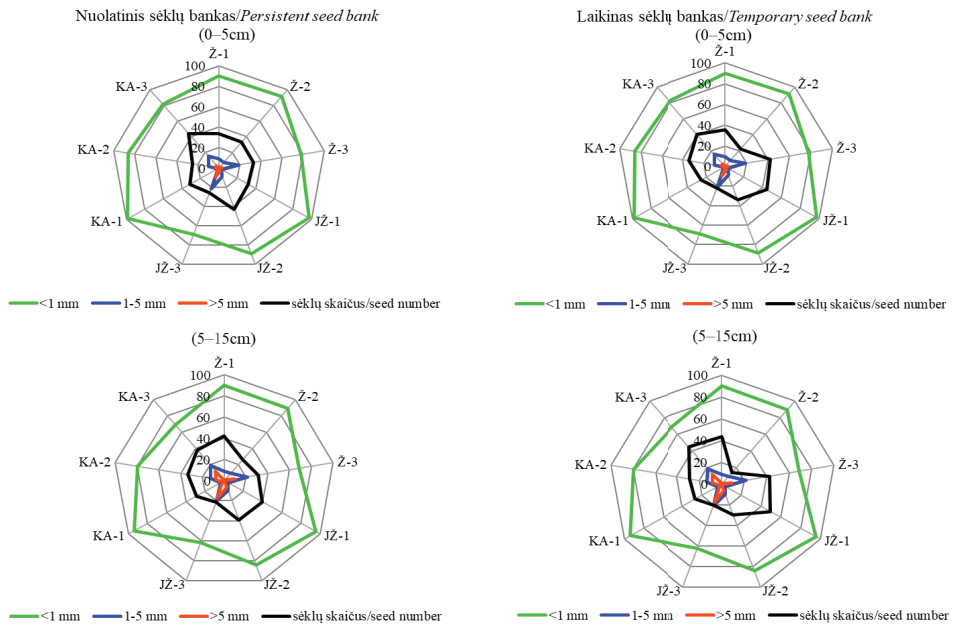


**3.20 pav.** Dirvožemio agregatų sudėtis (%) skirtingose agrofitocenoze 2022 m.

**Fig 3.20.** Soil aggregate distribution (%) in different agrophytocoenoses 2022

Pastaba: agrofitocenoze (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vs – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vs – summit, Šl – midslope, Pš – footslope.



**3.21 pav.** Dirvožemio sėklų banko priklausomybė nuo dirvožemio agregatų sudėtis skirtingose agrofitocenoze kalvotame reljefe

**Fig 3.21.** Soil seed bank dependence on the soil aggregate distribution in different agrophytocoenoses of the hilly relief

Pastaba: agrofitocenoze: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys: 1 – viršūnės, 2 – šlaitas, 3 – pašlaitė.

Note: agrophytocoenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill: 1 – summit, 2 – midslope, 3 – footslope.

Mikroagregatų (<1 mm) 0–15 cm dirvožemio gylyje nustatyta labai daug nuo 65,6 iki 96,4 %. Tai rodo, kad dirvožemio agregatai silpnai surišti, nes dirvožemyje (ypač kalvos viršūnės ir šlaito), mažas molio ir organinės medžiagos kiekis. Dirvožemio organinė anglis yra vienas svarbiausių agregatų patvarumą įtakančių veiksnių (Veršulienė, 2015). Mūsų tyrime mikroagregatų kiekis mažėjo nuo kalvos viršūnės pašlaitės link.

**3.4 lentelė.** Koreliaciniai ryšiai tarp sėklų skaičiaus dirvožemio sėklų banke ir dirvožemio fizikinių rodiklių, 2020–2022 m.

**Table 3.4.** Correlations between the seed number in the soil seed bank and soil physical properties, 2020–2022

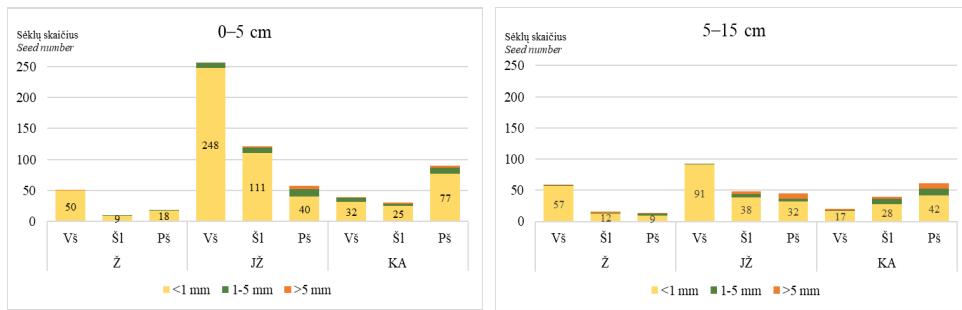
Rodikliai/ Properties	Gylis/Depth (cm)	Nuolatinis sėklų bankas/ Persistent seed bank			Laikinas sėklų bankas/ Temporary seed bank		
		Vš	Šl	Pš	Vš	Šl	Pš
Mikroagregatų (<1mm) <i>Microaggregates</i>	0–5	0,39*		-0,46*			
	5–15	0,57**			0,68**	-0,62**	
Mezoagregatų (1–5mm) <i>Mesoaggregates</i>	0–5						
	5–15	-0,49*		-0,66**	-0,55**		-0,74**
Makroagregatų (>5mm) <i>Macroaggregates</i>	0–5	-0,56**		0,60**	-0,58**		0,49**
	5–15		0,43*			0,76**	
Dirvožemio drėgnis % <i>Humidity</i>	0–5		-0,40*	-0,48*			
	5–15	-0,47*	-0,54**	-0,65**	-0,45*		-0,39*
Molis % <i>Clay</i>	0–5		-0,58**	-0,45*		-0,64**	-0,39*
	5–15	-0,58**		-0,65**	-0,71**	-0,40**	-0,68**

Pastaba: kalvos dalys: Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.  
Note: parts of the hill: Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope; \* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ .

Atlikus koreliacinę analizę nustatyta, kad sėklų skaičius dirvožemio sėklų banke daugeliu atveju koreliavo su dirvožemio agregatine sudėtimi (3.4 lent.). Tiriant nuolatinį sėklų banką, koreliaciniai ryšiai nustatyti silpnesni palyginus su laikinu sėklų banku, atitinkamai:  $r = 0,39^*$ – $0,66^{**}$  ir  $r = 0,49^{**}$ – $0,76^{**}$ . Teigiamos koreliacijos ( $r = 0,39^*$ ;  $0,57^{**}$  ir  $0,68^{**}$ ) kalvos viršūnėje nustatytos dirvožemio sėklų skaičiaus su mikroagregatų kiekiu, o neigiamos koreliacijos nustatytos kalvos viršūnėje ir pašlaitėje (5–15 cm gylyje) su mezoagregatų kiekiu. Teigiamos ir neigiamos koreliacijos nustatytos su makroagregatais, kurių dirvožemyje rasta mažai (0,2–17,7 % bendro agregatų kiekio).

Nevienodos sėklų banko ir dirvožemio agregatų koreliacijos mūsų tyrime galima priežastis – skirtingi procesai, vykstantys dirvožemyje dėl taikomo žemės dirbimo agrofitocenozėse, meteorologinių reiškinių (iššalas, atlydis) bei skirtingos organinės anglies sekvestracijos įvairiose kalvos dalyse. Literatūroje nurodoma, kad dirvožemio savybių poveikį, gali būti sunku atskirti nuo aplinkos veiksnių poveikio (Suárez ir kt., 2001).

Vertinant išplautų sėklų skaičių iš dirvožemio agregatų 0–5 ir 5–15 cm gyliuose nustatyta, kad visose agrofitocenozėse daugiausia, atitinkamai: 69,0–98,0 % ir 68,9–97,8 % sėklų nuo bendro išplautų sėklų skaičiaus rasta mikroagregatuose (3.22 pav.).



**3.22 pav.** Sėklų skaičius skirtingo skersmens dirvožemio agregatuose, 2022 m.

**Fig 3.22.** Number of seeds in different soil aggregates, 2022

Pastaba: agrofytocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų-žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimyybės lygiui.

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

Ilgalaikio žolyno dirvožemio mikroagregatuose sėklų rasta vidutiniškai 87,3 %, javų-žolių sėjomainos – 84,3 %; sėjomainos su kaupiamaisiais augalais – 79,4 %. Sėklų gyvybingumas mikroagregatuose nustatytas vidutinis (nuo 44,8 iki 79,4 %). Mažiausias sėklų gyvybingumas nustatytas ilgalaikio žolyno šlaito ir pašlaitės 0–15 cm gylio dirvožemio mikroagregatuose (45,6 ir 44,8 %), o didžiausias – javų-žolių sėjomainos kalvos viršūnėje (79,4 %). Literatūroje nurodoma, kad sėklų pasiskirstymas skiriasi priklausomai nuo dirvožemio gylio ir agregatų dydžio. Priemolio dirvožemyje esančios sėklos dažnai įtraukiamos į agregatus. Ir jos dažniausiai buvo susijusios su didesniais nei 9 mm agregatais (Reuss ir kt., 2001). Tačiau mūsų tyrime didelis sėklų kiekis mikroagregatuose galėjo būti analizės atlikimo paklaida. Dirvožemio agregatai ypač stambieji (makro ir mezoagregatai) dėl mechaninio poveikio analizės atlikimo metu galėjo suirti, todėl sėklos kartu su atsipalaidavusiomis pavienėmis dirvožemio dalelėmis pateko į smulkiausių agregatų frakcijas.

Kalvos viršūnės 0–5 cm gilyje, kur mažiausias dirvožemio drėgnis ir molio dalelių kiekis koreliacijų su sėklų skaičiumi dirvožemio sėklų banke nenustatyta (3.4 lent.). Kitose kalvos dalyse nustatytos neigiamos silpnos ir vidutinio stiprumo koreliacijos su molio dalelių kiekiu. Molio dirvožemis yra mažiausiai tinkamas piktžolių sėkloms prasiskverbti (Benvenuti, 2007a). Tiriant nuolatinę sėklų banką, koreliaciniai ryšiai tarp sėklų skaičiaus ir dirvožemio drėgno nustatyti silpni ir vidutinio stiprumo, o tiriant laikiną sėklų banką statistiškai reikšmingų koreliacijų nustatyta mažai.

Analizuojant sėklų banko kitimą, buvo įvertintos bendros sąsajos tarp sėklų skaičiaus ir dirvožemio mikroorganizmų biomasės anglies kiekio (MBC). Mikroorganizmų biomasės anglies kiekis esmingai priklausė nuo kalvos dalies ( $p = \leq 0.01$ ). Kalvos viršūnėje MBC kiekis

nustatytas esmingai mažesnis (vidutiniškai 427,66  $\mu\text{g C g}^{-1}$ ) (3.5 ir 3.6 lent.). Kalvos šlaite ir pašlaitėje MBC buvo 34,1 ir 51,5 % daugiau nei kalvos viršūnėje.

**3.5 lentelė.** Dirvožemio mikroorganizmų biomasės C,  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Nuolatinis sėklų bankas, 2020 m.

**Table 3.5.** Soil microbial biomass carbon,  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Persistent seed bank, 2020

Variantai / Variants	0–5 cm	5–15 cm	0–15 cm
<b>Agrofitocenozę/Agrophytocenosis (Veiksnyš/Factor A)</b>			
Ž	354,12	269,98	624,10
JŽ	287,48**	288,52	576,00*
KA	258,73**	250,41	509,14**
<i>R</i> <sub>05</sub>	30,324	29,25	43,798
<b>Kalvos dalys/ Parts of the hill (Veiksnyš/Factor B)</b>			
Vš	280,68	228,39	509,07
Šl	311,29*	310,53**	621,82**
Pš	308,37	269,99**	578,36**
<i>R</i> <sub>05</sub>	30,324	29,25	43,7981
<b>Veiksnių sąveika/Interaction of factors (A x B)</b>			
A1×B1	385,47	242,90	628,37
A1×B2	364,33	325,37**	689,70
A1×B3	312,57**	241,67	554,23
A2×B1	238,80**	231,37	470,17**
A2×B2	302,77**	335,90**	638,67
A2×B3	320,87*	298,30*	619,17
A3×B1	217,77**	210,90	428,67**
A3×B2	266,77**	270,33	538,10*
A3×B3	291,67**	270,00	561,67
<i>R</i> <sub>05</sub>	52,523	50,662	75,861
Veiksnyš/Factor A	**	*	**
Veiksnyš/Factor B	<i>n.s.</i>	**	**
A×B Sąveika/Interaction	**	<i>n.s.</i>	**

Pastaba: agrofitocenožės (veiksnyš A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksnyš B): Vš – viršūnės, Šl – slaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

Pavasari kalvoto reljefo sąlygomis tarp šių rodiklių nebuvo nustatyta patikimų ryšių dėl per mažos temperatūros aktyviai mikroorganizmų veiklai. Tačiau rudenį koreliacinė analizė parodė, kad mikroorganizmų biomasės anglis koreliuoja su sėklų skaičiumi. Ilgalaikio žolyno kalvos pašlaitėje šių rodiklių tarpusavio ryšiai buvo stiprūs ( $r = 0,801^{**}$ ) 5–15 cm gylyje. Ši koreliacija rodo, kad pagal cheminius, fizikinius ir biologinius dirvožemio rodiklius yra palankiausias sąlygos žolyno natūralėjimui (Nichols ir kt., 2015). Taip pat nustatyta dirvožemio mikroorganizmų biomasės anglies kiekio ir sėklų skaičiaus priklausomybė sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais kalvos šlaite ( $r = 0,773^{*}$ ) 0–5 cm gylyje. Galima daryti prielaidą, kad gilaus arimo taikymas stimuliuoja organinės medžiagos mineralizaciją viršutiniame armens sluoksnyje. Vadinasi didėja mikroorganizmų biomasės anglies kiekis ir kartu intensyviau vyksta azoto transformacija. Augalai greičiau gauna lengviau pasisavinamą azotą (Jackson ir kt., 2008). Todėl yra teigiamai veikiamas sėklų banko dydis.

Nustatytas silpnas neigiamas ryšys javų-žolių sėjomainos agrofitocenozėje ( $r = -0,493^{**}$ ) 5–15 cm gylyje. Dėl javų-žolių sėjomainoje auginamų javų, mažėjo mikroorganizmų biomasės sukaupiamas anglies kiekis. Todėl silpnėjo mikroorganizmų aktyvumas ir buvo mažiau atpalaiduojama azoto augalų poreikiams (Vigueira ir kt., 2013).

**3.6 lentelė.** Dirvožemio mikroorganizmų biomasės C,  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Laikinas sėklų bankas, 2020–2022 m.  
**Table 3.6.** Soil microbial biomass carbon,  $\mu\text{g C g}^{-1}$ . Temporary seed bank, 2020–2022

Variantai \ Variants	2020 m.			2021 m.			2022 m.		
	0-5 cm	5-15 cm	0-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	0-15cm	0-5 cm	5-15 cm	0-15cm
<b>Agrofitocenozė/Agrophytocenosis (Veiksnyys/Factor A)</b>									
Ž	279,23	230,33	509,63	344,67	300,67	645,33	264,41	270,14	534,56
JŽ	281,41	223,22	504,63	290,18**	283,81	574,00*	247,67	264,01	511,74
KA	273,74	265,30	539,04	314,48*	288,56	603,04	256,32	269,22	525,54
$R_{05}$	60,499	36,77	75,518	28,099	44,279	56,747	32,817	29,848	40,212
<b>Kalvos dalys/ Parts of the hill (Veiksnyys/Factor B)</b>									
Vš	221,81	220,74	442,56	231,96	225,37	457,33	191,97	191,11	383,08
Šl	278,41	249,59	528,00*	356,93**	317,96**	674,89**	260,48**	257,10**	517,58**
Pš	334,22**	248,52	582,74**	360,44**	329,70**	690,15**	315,96**	355,23**	671,19**
$R_{05}$	60,4987	36,7698	75,5182	28,0988	44,279	56,7474	32,8171	29,8478	40,2119
<b>Veiksnių sąveika/Interaction of factors (A x B)</b>									
A1×B1	260,67	231,22	491,89	295,56	274,44	570,00	221,13	220,77	441,90
A1×B2	298,11	260,11	558,22	351,22*	314,89	666,11	267,33	255,43	522,78*
A1×B3	279,11	199,67	478,78	387,22**	312,67	699,89*	304,77**	334,23**	639,00**
A2×B1	223,11	194,44	417,56	197,44**	198,22	395,67**	181,67	170,90*	352,57**
A2×B2	267,00	234,78	501,78	319,22	322,56	641,78	260,57	267,20	527,77**
A2×B3	354,11	240,44	594,56	353,89*	330,67	684,56*	300,77**	354,13**	654,90**
A3×B1	181,67	236,56	418,22	202,89**	203,44	406,33**	173,10*	181,67	354,77**
A3×B2	270,11	253,89	524,00	400,33**	316,44	716,78**	253,53	248,67	502,20
A3×B3	369,44*	305,44*	674,89**	340,22	345,78	686,00*	342,33**	377,33**	719,67**
$R_{05}$	104,787	63,687	130,801	48,669	76,694	98,289	56,841	51,698	69,649
Veiksnyys/ Factor A	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Veiksnyys/ Factor B	**	n.s.	**	**	**	**	**	**	**
A×B Sąveika/ Interaction	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	*

Pastaba: agrofitocenozės (veiksnyys A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksnyys B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

**Apibendrinimas.** Nuolatiname sėklų banke, nepriklausomai nuo agrofitocenozės silpnos ir stiprios koreliacijos su pH, judriais fosforu ir kaliumu, suminiu azotu bei organine anglimi nustatytos kalvos šlaito 5–15 cm gylyje ir pašlaitės abiejuose gyliuose, kur buvo geresnės sąlygos augalų augimui. Laikiname sėklų banke nustatytos panašios tendencijos kaip ir tiriant nuolatinį sėklų banką.

Įvertinus dirvožemio agregatinę sudėtį, nustatyta, kad dirvožemio agregatai silpnai surišti, nes dirvožemyje (ypač kalvos viršūnės ir šlaito), mažas molio ir organinės medžiagos kiekis. Atlikus koreliacinę analizę nustatyta, kad sėklų skaičius dirvožemio sėklų banke daugeliu atveju koreliavo su dirvožemio agregatine sudėtimi. Tiriant nuolatinį sėklų banką, koreliaciniai

ryšiai nustatyti silpnesni palyginus su laikinu sėklų banku. Teigiamos koreliacijos ( $r = 0,39^*$ ;  $0,57^{**}$  ir  $0,68^{**}$ ) kalvos viršūnėje nustatytos dirvožemio sėklų skaičiaus su mikroagregatų kiekiu, o neigiamos koreliacijos nustatytos kalvos viršūnėje ir pašlaitėje (5–15 cm gylyje) su mezoagregatų kiekiu.

Sėklų gyvybingumas mikroagregatuose nustatytas vidutinis (nuo 44,8 iki 79,4 %). Mažiausias sėklų gyvybingumas nustatytas ilgalaikio žolyno šlaito ir pašlaitės 0–15 cm gylio dirvožemio mikroagregatuose (45,6 ir 44,8 %), o didžiausias – javų-žolių sėjomainos kalvos viršūnėje (79,4 %).

Ilgalaikio žolyno kalvos pašlaitėje mikroorganizmų biomasės anglis koreliavo su sėklų skaičiumi, o jų tarpusavio ryšiai buvo stiprūs ( $r = 0,801^{**}$ ) 5–15 cm gylyje. Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nustatyta dirvožemio mikroorganizmų biomasės anglies kiekio ir sėklų skaičiaus priklausomybė kalvos šlaite ( $r = 0,773^*$ ) 0–5 cm gylyje, o javų-žolių sėjomainos agrofitocenozeje nustatytas silpnas ir neigiamas ryšys ( $r = -0,493^{**}$ ) 5–15 cm gylyje.

## IŠVADOS

1. Esmingai mažiausias sėklų skaičius nustatytas ilgalaikio žolyno dirvožemio sėklų banke. Žolyno dirvožemio 0–5 ir 5–15 cm gyliuose sėklų skaičius nustatytas panašus, išskyrus laikino sėklų banko kalvos šlaito 0–5 cm gylį. Javų-žolių sėjomainos dirvožemyje sėklų skaičius nustatytas esmingai didžiausias. Dirvožemio 0–5 cm gylyje sėklų buvo 1,4 kartų daugiau palyginus su 5–15 cm gyliu ir jų kiekis didėjo nuo kalvos viršūnės pašlaitės link. Sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais sėklų skaičius dirvožemyje buvo 1,9 kartų mažesnis nei javų žolių sėjomainos dirvožemyje, tačiau dėl auginamų kaupiamųjų augalų, dirva buvo intensyviau dirbama, todėl didesnis sėklų skaičius nustatytas 5–15 cm gylyje.
2. Gyvybingos sėklos nuolatiname dirvožemio sėklų banke vidutiniškai sudarė 62,7–74,7 %, o laikiname 62,9–66,4 % bendro sėklų kiekio. Kalvos pašlaitėje gyvybingų sėklų rasta daugiausiai (66,5 %), o kalvos viršūnėje – mažiausiai (61,4 %).
3. Esmingai didesnis rūšių skaičius nustatytas javų-žolių sėjomainos dirvožemyje. Didžiausias rūšių skaičius nustatytas nuolatiname ir laikiname sėklų banke, kalvos pašlaitės dirvožemyje 0–5 cm gylyje.
4. Ilgalaikio žolyno nuolatiname dirvožemio sėklų banke nustatytas 18,9 %, javų-žolių sėjomainoje – 12,9 % didesnis rūšių skaičius palyginus su laikinu dirvožemio sėklų banke, o sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais nustatytas panašus (tik 3,8 % didesnis) rūšių skaičius. Dirvožemyje susikaupusios sėklos neatitiko ilgalaikio žolyno rūšinės sudėties (floristinio panašumo Sørensen koeficientas ( $C_s$ ) nustatytas mažas (0,25–0,27)). Javų-žolių sėjomainoje ir sėjomainoje su kaupiamaisiais augalais dirvožemio sėklų banko rūšinė sudėtis buvo panašesnė su pasėlio rūšine sudėtimi ( $C_s = 0,50–0,42$  ir  $0,41–0,38$ ).
5. Dirvožemio nešmenyse sėklų skaičius esmingai priklausė nuo dienų su stipriais krituliais skaičiaus per augalų vegetacijos laikotarpį ( $r = 0,699$ ,  $P < 0,05$ ), bei konkrečioje agrofitocenozeje atsiradusių augalų bendrijų ir augalų biologinių savybių. Dirvožemio nešmenyse rastos sėklos sudarė vidutiniškai 0,3; 0,1 ir 2,4 % dirvožemio sėklų banko kiekio atitinkamai: ilgalaikis žolynas, javų-žolių sėjomaina ir sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.



6. Didesnis sėklų skaičius (74,9 %) grublėtu paviršiumi buvo nustatytas kalvos viršūnėje, nepriklausomai nuo sėklų banko tipo. Nuo kalvos viršūnės pašlaitės link, grublėto ir lygaus paviršiaus sėklų santykis pasikeitė: sumažėjo grublėtu paviršiumi sėklų, o padaugėjo lygiu paviršiumi sėklų.
7. Nepriklausomai nuo agrofitorocenozės, abiejų tipų sėklų banke, daugiausiai sėklų skaičiaus koreliacinių ryšių su pH, judriaisiais fosforu ir kaliu, suminiu azotu bei organine anglimi nustatyta kalvos pašlaitės abiejuose gyliuose, kur buvo geresnės sąlygos pasėlio augalų augimui. Koreliaciniai ryšiai tarp sėklų skaičiaus ir dirvožemio agregatinės sudėties nuolatiniam sėklų banke nustatyti silpnesni palyginus su laikinu sėklų banku.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Jensen P. K.; Mathiassen S. K.; Melander B.; Kudsk P. Biology and Management of *Vulpia myuros*—An Emerging Weed Problem in No-Till Cropping Systems in Europe. *Plants*. 2020, 9, p. 715.
2. Akhter M. J.; Sønderskov M.; Loddo D.; Ulber L.; Hull R.; Kudsk P. Opportunities and challenges for harvest weed seed control in European cropping systems. *European Journal of Agronomy*. 2023, 142, p. 126639.
3. Albrecht By H.; Auerswald K. Arable weed seedbanks and their relation to soil properties. *Aspects of Applied Biology*. 2003, 69.
4. Albrecht H.; Bachthaler G. Unkrautsamengehalte und Bodeneigenschaften von Ackerflächen in Bayern. *Weed Research*. 1990, 30, p. 101–108.
5. Anderson R. L. Sequencing crops to minimize selection pressure for weeds in the Central Great Plains. *Weed Technology*. 2004, 18, p. 157–164.
6. Andrade J. F.; Satorre E. H.; Ermacora C. M.; Poggio S. L. Weed communities respond to changes in the diversity of crop sequence composition and double cropping. *Weed Research*. 2017, 57, (3), p. 148–158.
7. Andreasen C.; Skovgaard I. M. Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2009, 133, p. 61–67.
8. Anvarkhah S.; Khaje H. M.; Jangju M. Morphologic evaluation of some Northern Khorasan Rangeland species seeds from the point of view of seed dispersal. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 2011, 18, (1), p. 71–89.
9. Arlauskienė A.; Maikštėnienė S. Ankštinių priešėlių biomasės įtaka javų pasėlių piktžolėtumui. *Vagos*. 2005, 66, (19), 7–16.
10. Arlauskienė A.; Maikštėnienė S. Priešėlių ir organinių trąšų poveikis vienamečių piktžolių plitimui skirtingose agrosistemose. *Zemdirbyste*. 2004, 4, 88, p. 102–116.
11. Arlauskienė A.; Šarūnaitė L.; Kadžiulienė Ž.; Deveikytė I.; Maikštėnienė S. Suppression of annual weeds in pea and cereal intercrops. *Agronomy Journal*, 2014, 106, (5), p. 1765–1774.
12. Armengot L.; Blanco-Moreno J. M.; Bárberic P.; Boccia G.; Carlesic S.; Aendekerck R.; Berner A.; Celette F.; Grossef M.; Huiting H.; Kranzler A.; Luiki A.; Mäder P.; Peigné J.; Stoll E.; Delfosse P.; Sukkelg W.; Surböckh A.; Westaway J. S.; Sansa F. X. Tillage as a driver of change in weed communities: a functional perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2016, 222, p. 276–285.

13. Auffret A. G.; Cousins S. A. O. Past and present management influences the seed bank and seed rain in a rural landscape mosaic. *Journal of Applied Ecology*. 2011, 48, (5), p. 1278–1285.
14. Auškalnienė O.; Auškalnis A. The influence of tillage system on diversities of soil weed seed bank. *Agronomy Research*. 2009, 7, p. 156–161.
15. Auškalnienė O.; Kadžienė G.; Stefanovičienė R.; Jomantaitė B. Development of herbicides resistance in *Apera spica-venti* in Lithuania. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2020, 107, (2), p. 99–104.
16. Auškalnienė O.; Kadžienė G.; Janušauskaitė D.; Supronienė S. Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2018, 105, (3), p. 221–226.
17. Auškalnienė O.; Pšibišauskienė G.; Auškalnis A.; Kadžys A. Cultivar and plant density influence on weediness in spring barley crops. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2010, 97, 2, p. 53–60.
18. Auškalnienė O.; Pšibišauskienė G.; Auškalnis A.; Lauzauskas S.; Povilaitis V. Segetalinės floros pokyčiai Lietuvoje paskutiniaisiais dešimtmečiais. *Kaimo raidos kryptys žinių visuomenėje*. 2011, 2, p. 217–222.
19. Avižienytė D.; Romaneckas K.; Adamavičienė A.; Šarauskis E.; Jakienė E. The interaction between maize and weeds under the conditions of long-term reduced tillage. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2015, 102, (4), p. 363–370.
20. Baidya A.; Mondal S.; Nath R. Screening and evaluation of seed characters and their relationship with seed quality in lentil (*Lens culinaris* Medikus). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2019, 8, (6), p. 1890–1893.
21. Barberi P. L.; Cascio B. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seed bank size and composition. *Weed Research*. 2001, 41, p. 325–340.
22. Begum M.; Juraimi A. S.; Rastan S. O. B. S.; Amartalingam R.; Man A. B. Seedbank and seedling emergence characteristics of weeds in rice field soils of the muda granary area in north-west peninsular Malaysia. *Biotropia*. 2006, 13, (1), p. 11–21.
23. Bennett A. C.; Shaw D. R. Effect of preharvest desiccants on weed seed production and viability. *Weed Technology*. 2000, 14, p. 530–538.
24. Benvenuti S. Natural weed seed burial: effect of soil texture, rain and seed characteristics. *Seed Science Research*. 2007 a, 17, (3), p. 211–219.
25. Benvenuti S. Weed seed movement and dispersal strategies in the agricultural environment. *Weed Biology and Management*. 2007 b, 7, p. 141–157.
26. Benvenuti S.; Macchia M.; Miele S. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Science*. 2001, 49, p. 528–535.
27. Berbeć A. K.; Feledyn-Szewczyk B. Biodiversity of weeds and soil seed bank in organic and conventional farming systems. *Research for Rural Development*. 2018, 2, p. 12–19.

28. Birthisel S. K.; Gallandt E. R.; Jabbour R.; Drummond F. A. Habitat and time are more important predictors of weed seed predation than space on a diversified vegetable farm in Maine, USA. *Weed Science*. 2015, 63, (4), p. 916–927.
29. Blaney C. S.; Kotanen P. M. Effects of fungal pathogens on seeds of native and exotic plants: a test using congeneric pairs. *Journal of Applied Ecology*. 2001, 38, p. 1104–1113.
30. Bochet E. The fate of seeds in the soil: A review of the influence of overland flow on seed removal and its consequences for the vegetation of arid and semiarid patchy ecosystems. *Soil*. 2015, 1, p. 131–146.
31. Bogužas V.; Marcinkevičienė A. Effect of long-term organic farming on weed seed-bank. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2008.
32. Boyd N. S.; Van Acker R. C. The effects of depth and fluctuating soil moisture on the emergence of eight annual and six perennial plant species. *Weed Science*. 2003, 51, p. 725–730.
33. Borgy B.; Reboud X.; Peyrard N.; Sabbadin R. & Gaba S. Dynamics of weeds in the soil seed bank: a hidden markov model to estimate life history traits from standing plant time series. *Plos One*. 2015, 10, (10), p. 1–15.
34. Bossuyt B., Butaye J., Honnay O. Seed bank composition of open and overgrown calcareous grassland soils – a case study from Southern Belgium. *Journal of Environmental Management*. 2006, 79, p. 364–371.
35. Brainard D. C.; Bellinder R. R.; Hahn R. R.; Shah D. A. Crop rotation, cover crop and weed management effects on weed seedbanks and yields in snap bean, sweet corn and cabbage. *Weed Science*. 2008, 56, p. 434–441.
36. Butkevičienė L. M.; Skinulienė L.; Auželienė I.; Bogužas V.; Pupalienė R.; Steponavičienė V. The Influence of Long-Term Different Crop Rotations and Monoculture on Weed Prevalence and Weed Seed Content in the Soil. *Agronomy*. 2021, 11, p. 1367.
37. Casper H. A.; Leeuwen V.; Sarneel J. M.; Paassen J., Rip W. J; Bakker E. S. Hydrology, shore morphology and species traits affect seed dispersal, germination and community assembly in shoreline plant communities. *Journal of Ecology*. 2014, 102, p. 998–1007.
38. Cerdà A.; García-Fayos P. The influence of seed size and shape on their removal by water erosion. *Catena*. 2002, 48, p. 293–301.
39. Cervantes E.; Martin J. J.; Saadaoui E. Updated methods for seed shape analysis: A review. *Scientifica*. 2016, p. 10.
40. Chee-Sanford J. C. Do microorganisms influence seed-bank dynamics? *Weed Science*. 2006, 54, p. 575–587.

41. Chee–Sanford J.; Fu X. Investigating the role of microorganisms in soil seed bank management. In Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology; Méndez–Vilas J., Ed.; Formatex Research Centre: Badajoz, Spain, 2010, 1, p. 257–266.
42. Colbach N.; Dür C.; Roger-Estrade J.; Caneill J. How to model the effects of farming practices on weed emergence. *Weed Research*. 2005, 45, p. 2–17.
43. Cordeau S.; Baudron A.; Busset H.; Farcy P.; Vieren E.; Smith R. G.; Munier–Jolain N.; Adeux G. Legacy effects of contrasting long–term integrated weed management systems. *Frontiers in Agronomy*. 2022, 3.
44. Cousens R.; Dytham C.; Law R. Dispersal In Plants: A Population Perspective. Oxford: Oxford University Press. 2008.
45. Csontos P. Seed banks: ecological definitions and sampling considerations. *Community Ecology*. 2007, 8, p. 75–85.
46. Čiuberkis S. Dirvos rūgštumo, fosforo ir kalio kiekio įtaka vasarinių miežių piktžolėtumui. *Vagos*. 2009, 84, (37), p. 12–16.
47. Čiuberkis S. Tradicinio ir supaprastinto rudeninio žemės dirbimo įtaka sėjomainos pasėlių piktžolėtumui. *Vagos*. 2008, 79, p. 37–42.
48. Čiuberkis S.; Vilkonis K. K. Piktžolės Lietuvos agroekosistemose. Monografija, 2013.
49. De Cauwer B.; Van Den Berge K.; Coughon M.; Bulcke R.; Reheul D. Weed seedbank responses to 12 years of applications of composts, animal slurries or mineral fertilisers. *Weed Research*. 2010, 50, p. 425–435.
50. De Rouw A.; Ribolzi O.; Douillet M.; Tjantahosong H.; Soulileuth B. Weed seed dispersal via runoff water and eroded soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2018, 265, (1), p. 488–502.
51. Degenhardt R. F.; Harker K. N.; Topinka A. K.; McGregor W. R.; Hall L. M. Effect of Herbicides on Field Violet (*Viola arvensis*) in Four Direct-Seeded Canola Management Systems. *Weed technology*. 2005, 19, p. 608–622.
52. Deveikytė I.; Feiza V.; Feizienė D. Vasarinių miežių, vasarinių kviečių ir vasarinių rapsų piktžolėtumo kitimas supaprastinus pavasarinį žemės dirbimą. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2006, 93, (4), p. 47–54.
53. Deveikytė I.; Seibutis V.; Feiza V.; Feizienė D. Control of annual broadleaf weeds by combinations of herbicides in sugar beet. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2015, 102, (2), p. 147–152.

54. Diantina S.; McGill C.; Millner J.; Nadarajan J.; Pritchard H. W.; McCormick A. C. Comparative seed morphology of tropical and temperate orchid species with different growth habits. *Plants*. 2020, 9, (2), p. 161.
55. Dias L. S. Size–number and shape distribution of buried seeds in soil in a field not cultivated for more than 10 years. *International Journal of Plant Biology*. 2022, 13, p. 485–498.
56. Dorado J.; Monte J. P. D.; López-Fando C. Weed Seedbank Response to Crop Rotation and Tillage in Semiarid Agroecosystems. *Weed Science*. 1999, 47, p. 67–73.
57. Dunker M.; Nordmeyer H. Reasons for the distribution of weed species in arable fields - field and greenhouse experiments concerning the influence of soil properties. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. 2000, 17 p. 55–62.
58. Efthimiadou A. P.; Karkanis A. C.; Bilalis D. J.; Efthimiadis P. Review: The phenomenon of crop-weed competition; a problem or a key for sustainable weed management? *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2009, 7, (2), p. 861–868.
59. Erfanzadeh R.; Hendrickx F.; Maelfait J. P.; Hoffmann M. The effect of successional stage and salinity on the vertical distribution of seeds in salt marsh soils. *Flora*. 2010, 205, p. 442–448.
60. European Commission. 2019. Soil matters for our future. [https://ec.europa.eu/info/news/soil-matters-our-future-2019-dec-05\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/soil-matters-our-future-2019-dec-05_en) (žiūrėta 2019 12 12).
61. Faist A. M.; Ferrenberg S.; Collinge S. K. Banking on the past: Seed banks as a reservoir for rare and native species in restored vernal pools. *AoB PLANTS*. 2013, 5, p. 1–11.
62. Feiza V., Feizienė D., Kadžienė G. Glėjiško rudžemio (*Endocalcari Epihypogleyic Cambisol*) armens agrofizikinių savybių pokyčiai taikant ilgametės žemdirbystės sistemas. *Žemės ūkio mokslai*. 2008, 15, (2), p. 13–23.
63. Feledyn-Szewczyk B.; Smagacz J.; Kwiatkowski C. A.; Harasim E.; Woźniak A. Weed Flora and Soil Seed Bank Composition as Affected by Tillage System in Three-Year Crop Rotation. *Agriculture*. 2020, 10, p. 186.
64. Fenner M. Seed bank dynamics. In *Seed Ecology*. New York: Chapman Hall. 1985, p. 82–96.
65. Fennimore S. A. Weed seed biology, seedbanks and management. *Weed Science School*. 2017, p. 14–49.
66. Fennimore S. A.; Jackson L. E. Organic amendment and tillage effects on vegetable field weed emergence and seedbanks. *Weed Technology*. 2003, 17, p. 42–50.
67. Fisher B.; Turner R. K.; Morling P. Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making. *Ecological Economics*. 2009, 68, p. 643–653.
68. Forcella F.; Benech Arnold R. L.; Sanchez R.; Ghera C. M. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*. 2000, 67, p. 123–139.

69. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*. 2017, 332, p. 161–172.
70. Gaba S.; Perronne R.; Fried G.; Gardarin A.; Bretagnolle F.; Biju-Duval L.; Colbach N.; Cordeau S.; Fernández-Aparicio M.; Gauvrit C.; Gibot-Leclerc S.; Guillemain J. P.; Moreau D.; Munier-Jolain N.; Strbik F.; Reboud X. Response and effect traits of arable weeds in agroecosystems: a review of current knowledge. *Weed Reserch*. 2017.
71. Gan S.; Guo J.; Zhang Y.; Wang X.; Huang L. “Phoenix in flight”: a unique fruit morphology ensures wind dispersal of seeds of the phoenix tree (*Firmiana simplex* (L.) W. Wight). *BMC Plant Biology*. 2022, 22, p. 113–125.
72. Gandía M. L.; Del Monte J. P.; Santín-Montanyá M. I. Efficiency of Methodologies Used in the Evaluation of the Weed Seed Bank under Mediterranean Conditions. *Agronomy*. 2022, 12, p. 138.
73. Garcia-Fayos P.; Bochet E.; Cerda A. Seed removal susceptibility through soil erosion shapes vegetation composition. *Plant Soil*. 2010, 334, p. 289–297.
74. Garcià-Fayos P.; Cerdà A. Seed losses by surface wash in degraded Mediterranean environments. *Catena*. 1997, 29, p. 73–83.
75. Gardarin A.; Colbach N. How much of seed dormancy in weeds can be related to seed traits? *Weed Research*. 2015, 55, p. 14–25,
76. Gardarin A.; Dürr C.; Colbach N. Which model species for weed seedbank and emergence studies? A review. *Weed Research*. 2009, 49, p. 117–130.
77. Ghera C. M.; Martínez-Ghera M. A. Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: Implications for weed management. *Field Crops Research*. 2000, 67, p.141–148.
78. Gonzalez S.; Ghermandi L. Postfire seed bank dynamics in semiarid grasslands. *Plant Ecology*. 2008, 199, p. 175–185.
79. Grigas A. Lietuvos Augalų Vaisiai ir Sėklos. (Fruits and Seeds of Lithuanian Plants); Mokslas: Vilnius, Lithuania, 1986.
80. Grigas A. Žemėnauda ir dirvos užterštumas piktžolių sėklomis. *Zemdirbyste*. 1995, 49, p. 90–111.
81. Gruber S.; Claupein W. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil and Tillage Research*. 2009, 105, (1), p. 104–111.
82. Grundy A. C.; Mead A.; Burston S.; Overs T. Seed production of *Chenopodium album* in competition with field vegetables. *Weed Research*. 2004, 44, (4), p. 271–281.

83. Gselman A.; Kramberger B. Longevity and vertical distribution of dandelion (*Taraxacum officinale* F. Weber.) seeds in meadow soil. *Grassland Science in Europe*. 2004, 9, p. 252–254.
84. Gulden R. H.; Shirliffe S. J. Weed Seed Banks: Biology and Management. *Prairie Soils and Crop Journal*. 2009, 2, p. 46–53.
85. Harbuch K. S. B. Weed seedbank dynamics and composition of northern great plains cropping systems. Dissertation. Montana state university, Bozeman, Montana 2007, p. 124.
86. Hawes C.; Haughton A. J.; Bohan D. A.; Squire G. R. Functional approaches for assessing plant and invertebrate abundance patterns in arable systems. *Basic and Applied Ecology*. 2009, 10, p. 34–42.
87. Hawes C.; Squire G. R.; Hallett P. D.; Watson C. A.; Young M. Arable plant communities as indicator of farming practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2010, 138, p. 17–26.
88. Hawes C.; Squire G. R.; Hallett P. D.; Watson C. A., Young M. Arable plant communities as indicators of farming practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2010, 138, p. 17–26.
89. Hillocks R. J. Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture. *Crop Protection*. 2012, 31, p. 85–93.
90. Hopfensperger K. N. A Review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. *Oikos*. 2007, 116, p. 1438–1448.
91. Imansyah A. A.; Andreyuni F. D. A. Identifikasi morfologi benih padi sawah varietas pandanwangi di lima lokasi kecamatan. *Jurnal Pro-Stek*. 2020, 2, (1), p. 33–48.
92. IUSS Working Group WRB. 2022. World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. [Žiūrėta 2022.07.21]. Prieiga per internetą:  
<https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/universal-soil-classification/en/>
93. Jackson L. E.; Burger M.; Cavagnaro T. R. Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. *Annual Review of Plant Biology*. 2008, 59, (1), p. 341–363.
94. Janicka M. Species composition of the soil seed bank in comparison with the floristic composition of meadow sward. *Grassland Science in Europe*. 2006, 11, p. 200–203.
95. Janicka M. The evaluation of soil seed bank in two arrhenatherion meadow habitats in Central Poland. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*. 2016, 15, (4), p. 25–38.
96. Jankauskas B. Dirvožemio erozija. Vilnius, 1996, p. 34–57.
97. Jankauskas B.; Jankauskienė G. Stacionariniai dirvožemio erozijos tyrimai Žemaičių aukštumoje: 2 vandeninės erozijos intensyvumas. *Zemdirbystė–Agriculture*. 2003, 82, (2), p. 20–34.



98. Jastrzębska M.; Jastrzębski W. P.; Hołdyński C.; Kostrzewska M. K. Weed species diversity in organic and integrated farming systems. *Acta Agrobotanica*. 2013, 66, (3), p. 113–124.
99. Jenkinson D. S.; Powelson D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*. 1976, 8, (3), p. 167–177.
100. Jha P.; Norsworthy J. K. Influence of late-season herbicide applications on control, fecundity, and progeny fitness of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) biotypes from Arkansas. *Weed Technology*. 2012, 26, p. 807–812.
101. Jose-Maria L.; Sans F. X. Weed seedbanks in arable fields: Effects of management practices and surrounding landscape. *Weed Research*. 2011, 51, p. 631–640.
102. Kalamees R.; Zobel M. The role of the seed bank in gap regeneration in a calcareous grassland community. *Ecology*. 2002, 83, p.1017–1025.
103. Khalik K. A.; Osman A. K. Seed morphology of some species of Convolvulaceae from Egypt (identification of species and systematic significance). *Feddes Repert*. 2007, 118, 1–2, p. 24–37.
104. Kinderienė I. Dirvožemio erozija ir priešerozinės technologijos Žemaitijos kalvose. 2011, p. 136.
105. Kinderienė I. Tarpinių pasėlių įtaka piktžolių, augančių javuose, sudėčiai, skaičiui ir dažnumui kalvoto reljefo dirvose. *Zemdirbyste*. 2005, 91, (3), p. 40–54.
106. Kinderienė I.; Jarašiūnas G.; Karčauskienė D. Augalų maisto medžiagų (N, P, K) netekimas nuo kalvų šlaitų su dirvožemiu ir vandeniu. *Žemės ūkio mokslai*. 2013, 20, (1), p. 10–19.
107. Kinderienė I.; Karčauskienė D. Effects of different crop rotations on soil erosion and nutrient losses under natural rainfall conditions in Western Lithuania. *Acta Agriculture Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*. 2012, 62, (2), p. 199–205.
108. Klimkowska A. Rola glebowego banku nasion w renaturyzacji torfowisk na przykładzie Bagna Całowanie. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie. 2006, 6, (16), p. 183–194.
109. Köllmann P.; Waldhardt R. Farming intensity affects soil seedbank composition and spontaneous vegetation of arable weeds. *Diversity*. 2022, 14, p. 111.
110. Kudsk P.; Mathiassen S. K. Pesticide regulation in the European Union and the glyphosate controversy. *Weed Science*. 2020, 68, p. 214–222.
111. Kumar A.; Choudhary T.; Das S.; Meena S. K. Weed seed bank: Impacts and management for future crop production. In *Agronomic Crops*; Springer: Singapore, 2019, 2, p. 207–223.
112. Kumari S.; Pradhan S. S.; Chauhan J. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. *International Journal of Chemical Studies*. 2018, 6, p. 643–647.

113. Leslie A. B.; Beaulieu J. M.; Mathews S. Variation in seed size is structured by dispersal syndrome and cone morphology in conifers and other nonflowering seed plants. *New Phytol.* 2017, 216, p. 429–437.
114. Lestari D. A.; Pratiwi A. Studi morfologi benih terpilih Annonaceae: Koleksi bank benih Kebun Raya Purwodadi. Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia. 2022, 8, 103–110.
115. Lewis T. D.; Rowan J. S.; Hawes C.; McKenzie B. M. Assessing the significance of soil erosion for arable weed seedbank diversity in agro-ecosystems. *Progress in Physical Geography.* 2013, 37, (5), p. 622–641.
116. Lopez-Marino A.; Luis-Calabuig E.; Fillat F.; Bermudez F. F. Floristic composition of established vegetation and the soil seed bank in pasture communities under different traditional management regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2000, 78, p. 273–282.
117. Mahé I.; Cordeau S.; Bohan D.; Derrouch D.; Dessaint F.; Millot D.; Chauvel B. Soil seedbank: Old methods for new challenges in agroecology? *Annals of Applied Biology.* 2021, 178, (1), p. 23–38.
118. Mandarim-de-Lacerda C.; Del Sol M. Tips for studies with quantitative morphology (morphometry and stereology). *International Journal of Morphology.* 2017, 35, (4), p. 1482–1494.
119. Melander B.; Liebman M.; Davis A. S.; Gallandt E. R.; Barberi P.; Moonen A. C.; Rasmussen J.; van der Weide R.; Vidotto F. Non-chemical weed management. In: Hatcher P. E.; Froud-Williams R. J. (Eds.). *Weed Research: Expanding Horizons.* 2017, 1, p. 245–270.
120. Menalled F. D. Weed seedbank dynamics and integrated management of agricultural weeds. *Agriculture and Natural Resources (Weeds).* 2008, p. 200–708 SA.
121. Monstvilaitė J.; Kinderienė I. Reljefo įtaka agrofitorozėms. Augalininkystė kalvoto reljefo sąlygomis. Mokslinė konferencija. 2000, p. 64–72.
122. Moonen A. C.; Barberi P. Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Research.* 2004, 44, (3), p. 163–177.
123. Moravcová L.; Gudžinskas Z.; Pyšek P.; Pergl J.; Perglová I. Seed ecology of *Heracleum mantegazzianum* and *H. sosnowskyi*, two invasive species with different distributions in Europe. *In Ecology and Management of Giant Hogweed.* 2007, p. 157–169.
124. Naylor R. Weed Management Handbook. – British Crop Protection Council and Blackwell Science. 2002, p. 423.
125. Nathan R.; Schurr F. M.; Spiegel O.; Steinitz O. Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology and Evolution.* 2008. 23, p. 638–647.

126. Nei M.; Li W. H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1979, 76, (10), p. 5269–5273.
127. Nichols V.; Verhulst N.; Cox R.; Govaerts B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: a review. *Field Crops Research*. 2015, 183, p. 56–68.
128. Ooi M. K. J. Seed bank persistence and climate change. *Seed Science Research*. 2012, 22, p. 53–60.
129. Pan J.; Zhang L.; Wang L.; Fu S. Effects of long-term fertilization treatments on the weed seedbank in a wheat-soybean rotation system. *Global Ecology and Conservation*. 2020, 21.
130. Peeters A. Management, vegetation and feeding quality of grasslands: study of their triangular relationships in forage systems: doctoral dissertation. University of Louvain, Belgium. 1989, p. 287.
131. Peng Y. L.; Wu N.; Gao X. F.; Fang Z. Q.; Xiao W. Y. Soil seed banks in lakeshore wetlands: relation to the extant vegetation. *Polish Journal of Ecology*. 2010, 58, (3), p. 449–457.
132. Pilipavičius V. Changes in soil weed seed bank according to spring barley maturity stages. *Agronomy research*. 2004, 2, (2), p. 217–226.
133. Pilipavičius V. Piktžolių ir vasarinių miežių konkurencija ekologinės ir tradicinės žemdirbystės sistemose. *Vagos: mokslo darbai*. 2005, 68, (21), p. 30–43.
134. Pilipavičius V.; Aliukonienė I.; Romaneckas K. Chemical weed control in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crop of early stages of development: I. Crop weediness. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2010, 8, (1), p. 206–209.
135. Plohak P.; Svehlakova H.; Rajdus T.; Stalmachova B. Soil seed bank in Ostrava post-mining landscape. *Earth and Environmental Science*. 2020, 444.
136. Plue J., Cousins S. A. O. Temporal dispersal in fragmented landscapes. *Biological Conservation*. 2013, 160, p. 250–262.
137. Plue J.; Van Calster H.; Auestad I.; Basto S.; Bekker R. M.; Bruun H. H.; Chevalier R.; Decocq G.; Grandin U.; Hermy M.; Jacquemyn H.; Jakobsson A.; Jankowska-Błaszczuk M.; Kalamees R.; Koch M. A.; Marrs R. H.; Marteinsdóttir B.; Milberg P.; Måren I. E.; Pakeman R. J.; Phoenix G. K.; Thompson K.; Vandvik V.; Wagner M.; Auffret A. G. Buffering effects of soil seed banks on plant community composition in response to land use and climate. *Global Ecology and Biogeography*. 2020,30,1, p.1–12.
138. Pollard A. Seeds vs fungi: an enzymatic battle in the soil seedbank. *Seed Science Research*. 2018, 28, 3, p. 197–214.
139. Pšibišauskienė G. Segetalinės floros biologiniai pokyčiai skirtingo konkurencingumo vasarinio miežio (*Hordeum vulgare* L.) agrofitocenoze. Daktaro disertacija, 2012, Akademija.

140. Pupalienė R.; Jodaugienė D.; Sinkevičienė A.; Bajorienė K. Organinių mulčių įtaka dirvos užterštumui piktžolių sėklomis. *Žemės ūkio mokslai*. 2012, 19, (1), p. 20–26.
141. Rahman A.; James T. K.; Grbavac N. Correlation between the soil seed bank and weed populations in maize fields. *Weed Biology and Management*. 2006, 6, p. 228–234.
142. Rahman A.; James T. K.; Grbavac N. Potential of weed seed banks for managing weeds: a review of recent New Zealand research. *Weed Biology and Management*. 2001, 1, p. 89–95.
143. Rahman A.; James T. K.; Grbavac N.; Mellsop J. Evaluation of two methods for enumerating the soil weeds seedbank. Proceedings of 48th New Zealand Plant Protection Conference, Angus Inn, Hastings, New Zealand, 8–10 August 1995, p. 75–95.
144. Raudonius S. Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste–Agriculture*. 2017, 104, p. 377–382.
145. Reine R.; Chocarro C.; Fillat F. Soil seed bank and management regimes of semi–natural mountain meadow communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2004, 104, p. 567–575.
146. Repšienė R.; Skuodienė R. The influence of liming and organic fertilisation on the changes of some agrochemical indicators and their relationship with crop weed incidence, *Zemdirbyste–Agriculture*, 2010, 97, (4), p. 3–4.
147. Reuss S. A.; Buhler D. D.; Gunsolus J. L. Effects of soil depth and aggregate size on weed seed distribution and viability in a silt loam soil. *Applied Soil Ecology*. 2001, 16, p. 209–217.
148. Ryan M. R.; Smith R. G.; Mirsky S. B.; Mortensen D. A.; Seidel R. Management filters and species traits: weed community assembly in long-term organic and conventional systems. *Weed Science*. 2010, 58, p. 265–277.
149. Rimkus K. Pievotyra (Meadow Research); Morkūnas ir ko: Kaunas, Lithuania. 2003, p. 114.
150. Ritchie S.; Swanson S. J.; Gilroy S. Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*. 2000, 10, p. 193–212.
151. Romaneckienė, R. Piktžolių ir vasarinių miežių konkurencija ir adaptacija skirtingomis aplinkos sąlygomis: daktaro disertacija: biomedicinos mokslai, agronomija (06 B). Akademija (Kauno r.), 2007, p. 128.
152. Rossiter S. C.; Ahlering M. A.; Goodwin B. J.; Yurkonis K. A. Seed bank effects on recovery after disturbance in reconstructed tallgrass prairies. *Restoration Ecology*. 2014, 22, (5), p. 567–570.
153. Rudinskienė A. Kmynai (*Carum carvi* L.) daugiavfunkciniuose pasėliuose ir jų poveikis agroekosistemai. Daktaro disertacija, Kaunas, 2022.

154. Sadrabadi Haghghi R.; Critchley N.; Leifert C.; Eyre M.; Cooper J. Individual and interactive effects of crop type and management on weed and seed bank composition in an organic rotation. *International Journal of Plant Production*. 2013, 7, (2), p. 243–268.
155. Santín-Montanyáa M. I.; Martín-Lammerdingb D.; Zambranab E.; Tenorio J. L. Management of weed emergence and weed seed bank in response to different tillage, cropping systems and selected soil properties. *Soil and Tillage Research*. 2016, 16, (1), p. 38–46.
156. SAS Institute. The SAS System for Windows Version 9.3. Cary, NC, USA: SAS Institute. 2011.
157. Schafer M.; Kotanen P. M. Impacts of naturally-occurring soil fungi on seeds of meadow plants. *Plant Ecology*. 2004, 175, p. 19–35.
158. Schafer M.; Kotanen P. M. The influence of soil moisture on losses of buried seeds to fungi. *Acta Oecologica*. 2003, 24, p. 255–263.
159. Schwartz-Lazaro L. M.; Copes J. T. A Review of the Soil Seedbank from a Weed Scientists Perspective. *Agronomy*. 2019, 9, p. 369.
160. Shiferaw W.; Demissew S.; Bekele T. Ecology of soil seed banks: Implications for conservation and restoration of natural vegetation: A review. *International Journal of Biodiversity and Conservation*. 2018, 10, p. 380–393.
161. Singh A.; Kaur R.; Kang J. S.; Singh G. Weed dynamics in rice-wheat cropping system. *Global Journal of Biology, Agriculture & Health sciences*. 2012, 1, (1), p. 7–16.
162. Skuodienė R. Žolynų botaninės sudėties nustatymo svorio ir saujų (*De Vries*) metodais palyginimas. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2004, 87, (3), p. 145–156.
163. Skuodienė R.; Karčauskienė D.; Čiuberkis S.; Repšienė R.; Ambrazaitienė D. The influence of primary soil tillage on soil weed seed bank and weed incidence in a cereal–grass crop rotation. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2013, 100, (1), p. 25–32.
164. Skuodienė R.; Karčauskienė D.; Repšienė R. The influence of primary soil tillage, deep loosening and organic fertilizers on weed incidence in crops. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2016, 103, (2), p. 135–142.
165. Skuodienė R.; Karčauskienė D.; Repšienė R.; Šiaudinis G. Changes in the weed communities as affected by different primary soil tillage and deep loosening. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*. 2018, 68, (7), p. 643–648.
166. Skuodienė R.; Kinderienė I.; Tomchuk D.; Šlepetys J.; Karčauskienė D. Root development of temporary and permanent grasslands and their anti-erosion significance on a hilly terrain. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2020, 107, (3), p. 209–216.
167. Skuodienė R.; Matyžiūtė V. Assessment of an abandoned grassland community and the soil seed bank of a hilly relief. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022, 109, (1), p. 3–10.

168. Skuodienė R.; Matyžiūtė V. Soil seed bank in pre-erosion cereal-grass crop rotation. *Plants*. 2022, 11, p. 2636.
169. Skuodienė R.; Matyžiūtė V.; Aleinikovienė J.; Fercks B.; Repšienė R. Seed bank community change under different intensity agrophytocoenoses on hilly terrain in Lithuania. *Plants*. 2023, 12, (5), p. 1084.
170. Skuodienė R.; Repšienė R. Organinių trąšų ir kalkinimo įtaka segetalinei florai tausojamąją sėjomainą taikant rūgščiuose dirvožemiuose. *Zemdirbystė-Agriculture*. 2009, 96, (4), p. 154–169.
171. Skuodienė R.; Repšienė R.; Karčauskienė D. Organic fertilizers effect on crop weediness in acid and limed soils. *Romanian Agricultural Research*. 2017, 34, p. 263–273.
172. Smith R. S.; Shiel R. S.; Millward D.; Corkhil P. I.; Sanderson R. A. Soil seed banks and the effects of meadow management on vegetation change in a 10-year meadow field trial. *Journal of Applied Ecology*. 2002, 39, p. 279–293.
173. Sosnoskie L. M.; Herms C. P.; Cardina J. Weed seedbank community composition in a 35-yr-old tillage and rotation experiment. *Weed Science*. 2006, 54, p. 263–273.
174. Squire G. R.; Rodger S.; Wright G. Communityscale seedbank response to less intense rotation and reduced herbicide input at three sites. *Annals of Applied Biology*. 2000, 136, p. 47–57.
175. Stancevičius A. Piktžolių apskaita ir laukų piktžolėtumo kartografavimas. Vilnius, 1979, p. 37.
176. Stancevičius A.; Raudonius S. Žemės riekės apvertimo reikšmė mažinant dirvos užteršimą piktžolėmis. *Žemės ūkis: mokslo darbai*. 1990, 36, p. 18–26.
177. Stańko-Bródkowa B. Znaczenie banku nasion w glebie i rozprzestrzeniania nasion w kształtowaniu i regeneracji wielogatunkowych zbiorowisk łąkowych. *Łąkarstwo w Polsce*. 2008, 11, p. 185–199.
178. Stevenson F.; Légère A.; Simard R. R.; Angers D. A.; Pageau D.; Lafond J. Manure, tillage, and crop rotation: effects on residual weed interference in spring barley cropping systems. *Agronomy Journal*. 1998, 90, p. 496–504.
179. Stokes A. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant Soil*. 2009, 324, p. 1–2, 1–30.
180. Streit B.; Stamp P.; Richner W. Einfluss von unterschiedlicher Bodenbearbeitung Intensität auf Entwicklung von Unkraut Populationen in Ackerkulturen. *Z. Für Pflanzenkrankh. Und Pflanzenschutz Sonderh.* 2000, 17, p. 41–46.
181. Stroh P. A.; Hughes F. M. R.; Sparks T. H.; Mountford J. O. The influence of time on soil seed bank and vegetation across a landscape-scale wetland restoration project. *Restoration Ecology*. 2012, 20, (1), p. 103–112.

182. Suárez S. A.; De La Fuente E. B.; Ghersa C. M.; León R. J. C. Weed community asan indicator of summer crop yield and site quality. *Agronomy Journal*. 2001, 93, p. 524–530.
183. Swanton C. J.; Booth B. D. Management of weed seedbanks in the context of populations and communities. *Weed Technology*. 2004, 18, p. 1496–1502.
184. Taura L.; Kamaitytė-Bukelskienė L.; Sinkevičienė Z.; Gudžinskas Z. Study on the Rare Semiaquatic Plant Elatine hydropiper (*Elatinaceae*) in Lithuania: Population Density, Seed Bank and Conservation Challenges. *Frontiers in Bioscience, Landmark*. 2022, 27, p. 162.
185. Thompson K.; Band S. R.; Hodgson J. G. Seed size and shape predict persistence in soil. *Functional Ecology*. 1993, 7, p. 236–241.
186. Thompson K.; Fenner M. The functional ecology of seed banks. In: Fenner, M. (ed.) *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. CAB International, Wallingford, UK, 1992, p. 231–258.
187. Tuesca D.; Nisehsohn L.; Boccanelli S.; Torres P.; Lewis J. P. Weed seed bank and vegetation dynamics in summer crops under two contrasting tillage regimes. *Community Ecology*. 2004, 5, p. 247–25.
188. Ulber L. Weed species diversity in cropping systems: Management and conservation strategies. Dissertation. Göttingen. 2010, p. 85.
189. Valko O.; Török P.; Tóthmérész B.; Matus G. Restoration potential in seed banks of acidic fen and dry-mesophilous meadows: can restoration be based on local seed banks? *Restoration Ecology*. 2011, 19, p. 9–15.
190. Van Clef M.; Stiles E. W. Stiles. Seed longevity in three pairs of native and non-native congeners: Assessing invasive potential. *Northeastern Naturalist*. 2001, 8, p. 301–310.
191. Van de Peer Y.; De Wachter R. Treecon for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Computer Applications Biosciences*. 1994, 10, (5), p. 569–570.
192. Van Oost K.; Govers G.; De Alba S.; Quine T. A. Tillage erosion: A review of controlling factors and implications for soil quality. *Progress in Physical Geography*. 2006, 30, p. 443–466.
193. Vance E. D.; Brookes P. C.; Jenkinson D. S. Microbial biomass measurements in forest soils: determination of KC values and tests of hypotheses to explain the failure of the chloroform fumigation–incubation method in acid soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 1987, 19, p. 689–696.
194. Velička R., Marcinkevičienė A., Pupalienė R., Butkevičienė L. M., Kosteckas R., Čekanauskas S., Kriauciūnienė Z. Winter oilseed rape and weed competition in organic farming using non-chemical weed control. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2016, 103, 1, p. 11–20.

195. Velykis A.; Satkus A. Meliorantų ir žemės dirbimo įtaka pasėlių piktžolėtumui ir augalų derliui. *Žemės ūkio mokslai*. 2003, 4, p. 57–68.
196. Veršulienė A. Ilgalaikiai dirvožemio savybių pokyčiai skirtingose agroekosistemose ir jų kompleksinė įtaka agroekocenozei. Daktaro disertacija, Akademija, 2017.
197. Vigueira O. C.; Vigueira C. C.; Olsen K. M.; Caicedo A. L. The red queen in the corn: agricultural weeds as models of rapid adaptive evolution. *Heredity*. 2013, 110, (4), p. 303–311.
198. Wagner M.; Poschlod P.; Setchfield R. P. Soil seed bank in managed and abandoned semi-natural meadows in Soomaa National Park, Estonia. *Annales Botanici Fennici*. 2003, 40, p. 87–100.
199. Wang N.; He X.; Zhao F.; Wang D.; Jiao J. Soil seed bank in different vegetation types in the Loess Plateau region and its role in vegetation restoration. *Restoration Ecology*. 2020, 28, 1, p. 5–12.
200. Wellstein C.; Otte A.; Waldhardt R. Seed bank diversity in mesic grasslands in relation to vegetation type, management and site conditions. *Journal of Vegetation Science*. 2007, 18, p. 153–162.
201. Wilson R. G.; Kerr E. D.; Nelson L. A. Potential for using weed seed content in the soil to predict future weed problems. *Weed Science*. 1985, 33, p. 171–175.
202. Žekonienė V.; Daugėlienė N.; Skuodienė R.; Gavenauskas A. Segetalinės floros tyrimai agroecozėse su daugiametėmis žolėmis. *Zemdirbyste–Agriculture*. 2008, 95, (1), p. 138–152.
203. Žemės ūkio enciklopedija. I tomas, Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, Vilnius, 1998.
204. Марурран А. 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. Москва: Наука. 572.



## PRIEDAI

**1 lentelė.** Sėklų rūšinė sudėtis ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke (%), 2020–2022 m.

**Table 1.** Seed species composition in persistent seed bank of the permanent grassland (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ <i>Botanic family</i>	Augalų rūšys/ <i>Plant species</i>	Kalvos dalys/ <i>Parts of the hill</i>								
		Viršūnė/ <i>Summit</i>			Šlaitas/ <i>Midslope</i>			Pašlaitė/ <i>Footslope</i>		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai <i>Asteraceae</i>	Rugiagėlė <i>Centaurea cyanus</i> L.		6,9							
	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	7,7	4,0	7,8	9,1	9,2	19,0	2,6	14,3	6,1
	Paprastoji gaiva <i>Lapsana communis</i> L.		1,0							
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.	3,1	1,0	0,9	1,0	1,7	13,9	3,5	4,5	4,9
Beržiniai <i>Betulaceae</i>	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.	3,1	1,0	1,7			3,4			
Agurkliniai <i>Boraginaceae</i>	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.		1,0	3,5						
Bastutiniai <i>Brassicaceae</i>	Trikertė žvaginė <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	1,5								
	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.		7,8			0,6			2,7	
	Dirvinis garstukas <i>Sinapis arvensis</i> L.			0,9						
Gvazdikiniai <i>Caryophyllaceae</i>	Baltažiedė naktižiedė <i>Silene alba</i> (Mill.) E. H. L. Krause			18,3			3,4			
	Daržinė žliugė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	12,3	9,9	2,6	24,2	12,6		2,7	3,6	
	Paprastoji naktižiedė <i>Silene vulgaris</i> L.	12,3			20,3	33,3		8,0	2,7	
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.	3,1	1,0			1,7		0,9		
Balandiniai <i>Chenopodiaceae</i>	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	33,8	28,7	43,5	14,1	12,6	34,5	8,0	21,4	20,7
Pupiniai <i>Fabaceae</i>	Paprastasis gargždenis <i>Lotus corniculatus</i> L.	1,5	15,7	9,5	6,1	19,0	8,6	2,6	25,0	48,8
	Dirvinis dobilas <i>Trifolium arvense</i> L.		1,0	5,2	3,0		8,6	1,8		2,4
	Šilinis dobilas <i>Trifolium medium</i> Grufb.			0,9			1,7			
	Baltasis dobilas <i>Trifolium repens</i> L.		3,0		1,0	2,9			1,8	3,7
	Mėlynžiedis vikis <i>Vicia cracca</i> L.							1,8		
	Gauruotasis vikis <i>Vicia hirsuta</i> L.						3,4		15,2	9,8
	Ruginis vikis <i>Vicia villosa</i> Roth.				1,0					
Vikšriniai <i>Juncaceae</i>	Rupūžinis vikšris <i>Juncus bufonius</i> L.		2,0			1,1			0,9	
Notreliniai <i>Lamiaceae</i>	Raudonoji aklė <i>Galeopsis ladanum</i> L.		5,0							
	Dirvinė aklė <i>Galeopsis tetrahit</i> L.							0,9		
	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.							1,8		1,2
	Pelkinė notra <i>Stachys palustris</i> L.	1,5	1,0							
Nakvišiniai <i>Onagraceae</i>	Kalninė ožkarožė <i>Epilobium montanum</i> L.		4,0							
Aguoniniai <i>Papaveraceae</i>	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.	10,8			4,0			24,7		
	Aguona birulė <i>Papaver rhoeas</i> L.							29,1	0,9	

**1 lentelė. tęsinys.** Sėklų rūšinė sudėtis ilgalaikio žolyno nuolatiniame sėklų banke (%), 2020–2022 m.

**Table 1.** Seed species composition in persistent seed bank of the permanent grassland (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Migliniai Poaceae	Paprastasis varputis <i>Agropyron pectinatum</i> (Bieb.) P.B			0,9						
	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-galli</i> L.			0,9			1,7			2,4
	Vienametė miglė <i>Poa annua</i> L.		1,0							
Rūgtiniai Polygonaceae	Vijoklinis pelėvirkštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	4,6	1,0	2,5	2,0			2,7		
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.		2,0			0,6				
	Rauktalapė rūgštyinė <i>Rumex crispus</i> L.			0,9				0,9		
Bervidiniai Scrophulariaceae	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	1,5	2,0		2,0	3,5		1,8		
Našlaitiniai Violaceae	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	3,2			12,2	1,1	1,7	6,2	7,0	
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		14	21	15	13	13	11	17	12	9
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		0	1,0	0,9	0	0	1,7	0	0	2,4
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		70,8	67,3	58,2	62,5	33,2	44,9	80,6	36,5	24,3
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0,9	0	0	0	0	0	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		29,2	31,7	40,0	37,5	66,8	53,4	19,4	63,5	73,3

2 lentelė. Sėklų rūšinė sudėtis ilgalaikio žolyno laikiname sėklų banke (%), 2020–2022 m.

Table 2. Seed species composition in temporary seed bank of the permanent grassland (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Salieriniai <i>Apiaceae</i>	Krūminis builis <i>Anthriscus sylvestris</i> L.					3,1				
Astriniai <i>Asteraceae</i>	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	16,8	3,6	10,4	19,6	19,0	15,6	7,5	3,1	6,9
	Šiurkščioji pienė <i>Sonchus asper</i> L.					1,1				
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.	5,1	1,2	3,0	1,8	7,3	1,4	1,5	10,2	5,0
Beržiniai <i>Betulaceae</i>	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.	3,4	1,8	3,0	1,8	1,1	4,2			1,0
Agurkliniai <i>Boraginaceae</i>	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.					1,1				
Bastutiniai <i>Brassicaceae</i>	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	1,7			1,8		2,8		0,8	
Gvazdikiniai <i>Caryophyllaceae</i>	Dirvinė raugė <i>Agrostemma githago</i> L.	1,7			1,8			3,0		
	Baltažiedė naktižiedė <i>Silene alba</i> (Mill.) E. H. L. Krause			7,5			26,8			15,8
	Daržinė žliugė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	8,5	1,8		7,1	3,2	2,8	1,5	5,5	
	Paprastoji naktižiedė <i>Silene vulgaris</i> L.		7,8			9,5			3,1	
Balandiniai <i>Chenopodiaceae</i>	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	44,1	72,4	47,8	16,1	32,5	22,5	16,4	18,1	11,9
Pupiniai <i>Fabaceae</i>	Paprastasis gargždenis <i>Lotus corniculatus</i> L.		4,2	20,8		9,5	15,5		33,9	26,7
	Dirvinis dobilas <i>Trifolium arvense</i> L.	3,4			10,7	3,2	2,8	6,0	4,7	5,9
	Šilinis dobilas <i>Trifolium medium</i> Grufb.								1,6	
	Baltasis dobilas <i>Trifolium repens</i> L.			1,5						
	Gauruotasis vikis <i>Vicia hirsuta</i> L.		2,4	4,5			4,2	10,4	7,1	20,8
Vikšriniai <i>Juncaceae</i>	Rupūžinis vikšris <i>Juncus bufonius</i> L.				12,5				0,8	
Notreliniai <i>Lamiaceae</i>	Raudonžiedė notrelė <i>Lamium purpureum</i> L.	3,4						1,5		1,0
	Pelkinė notra <i>Stachys palustris</i> L.	1,7								
Aguoniniai <i>Papaveraceae</i>	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.	3,4			14,3			40,2		
	Aguona birulė <i>Papaver rhoeas</i> L.								0,8	
Migliniai <i>Poaceae</i>	Paprastasis varputis <i>Agropyron repens</i> L.								2,4	
	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-galli</i> L.								1,6	
Rūgtiniai <i>Polygonaceae</i>	Vijoklinis pelėvirškštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.		1,8	1,5			1,4	1,5	2,4	
	Dėmėtasis rūgtis <i>Polygonum persicaria</i> L.							1,5		
	Smulkioji rūgštynė <i>Rumex acetosella</i> L.	1,7			1,8					
	Rauktalapė rūgštynė <i>Rumex crispus</i> L.									3,0
Bervidiniai <i>Scrophulariaceae</i>	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	3,4	0,6		10,7	1,1		3,0		
Našlaitiniai <i>Violaceae</i>	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	1,7	2,4			8,3		6,0	3,9	2,0
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		14	11	9	12	13	11	13	16	11
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	1,6	0
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		71,3	79,0	49,3	75,0	49,4	32,3	80,6	37,0	20,8
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	2,4	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		28,7	21,0	50,7	25,0	50,6	67,7	19,4	59,0	79,2

3 lentelė. Sėklų rūšinė sudėtis javų-žolių sėjomainos nuolatiniame sėklų banke (%), 2020–2022 m.

Table 3. Seed species composition in persistent seed bank of the grass-grain crop rotation (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai <i>Asteraceae</i>	Rugiagėlė <i>Centaurea cyanus</i> L.	1,2								
	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.		0,2					0,5		0,4
	Šiurkščioji pienė <i>Sonchus asper</i> (L.) Hill									50,0
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.							0,5		
	Bekvapis šunramunis <i>Tripleurospermum perforatum</i> M. Lainz			0,2				4,5	0,2	0,9
Beržiniai <i>Betulaceae</i>	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.	4,8	0,2	0,7	1,0				0,2	
Agurkliniai <i>Boraginaceae</i>	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.			0,3	1,0	0,4	0,3	6,4		1,3
Bastutiniai <i>Brassicaceae</i>	Trikertė žvaginė <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.		0,2			0,3		1,0	0,7	0,4
	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.		1,5	1,4	1,5	60,0	11,8	6,4	32,1	5,0
Gvazdikiniai <i>Caryophyllaceae</i>	Daržinė žliūgė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	7,1			1,0		0,7	1,5	0,2	0,2
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.	1,2	8,8	14,5		3,7	6,3		3,3	2,4
Balandiniai <i>Chenopodiaceae</i>	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	23,8	6,6	4,8	33,4	2,5	4,6	20,3	4,0	2,0
Pupiniai <i>Fabaceae</i>	Baltasis dobilas <i>Trifolium repens</i> L.							1,0		
	Ruginis vikis <i>Vicia villosa</i> Roth.								0,2	
Vikšriniai <i>Juncaceae</i>	Rupūžinis vikšris <i>Juncus bufonius</i> L.	1,2			0,5					
Notreliniai <i>Lamiaceae</i>	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.							1,0	0,9	0,4
Aguoniniai <i>Papaveraceae</i>	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.				0,5			1,5		
Gyslotiniai <i>Plantaginaceae</i>	Siauralapis gyslotis <i>Plantago lanceolata</i> L.		0,2							
Migliniai <i>Poaceae</i>	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-gali</i> L.			45,3		0,1	8,9		1,2	8,6
	Žalioji šerytė <i>Setaria viridis</i> P. B.	13,1	58,8	8,0	1,0	6,4	1,0	1,5	12,5	3,1
Rūgtiniai <i>Polygonaceae</i>	Vijklinis pelėvirškštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	3,6	3,5	11,6	13,9	3,4	50,0	13,9	8,3	9,9
	Dėmėtasis rūgtis <i>Polygonum persicaria</i> L.	1,2	0,5	0,7		2,8	5,6		7,3	3,5
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.		0,7		1,5			1,0		
Bervidiniai <i>Scrophulariaceae</i>	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	2,4	2,4	7,9	3,1	11,3	2,6	32,1	12,6	0,4
Našlaitiniai <i>Violaceae</i>	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	40,5	16,4	4,6	41,6	9,1	8,2	6,9	16,3	11,5
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		11	13	12	12	11	11	16	15	16
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		13,1	58,7	53,3	1,0	6,5	9,9	1,5	13,7	11,7
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		82,1	40,0	46,0	96,5	93,5	90,1	95,5	86,1	37,9
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		4,8	1,3	0,7	2,5	0	0	3,0	0,2	50,4

4 lentelė. Sėklų rūšinė sudėtis javų-žolių sėjomainos laikiname sėklų banke (%), 2020–2022 m.

Table 4. Seed species composition in temporary seed bank of the grass-grain crop rotation (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai Asteraceae	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.							0,4		0,5
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.			0,5		0,3	0,7	0,4	0,4	0,5
	Bekvapis šunramunis <i>Tripleurospermum perforatum</i> M. Lainz	0,2					0,7	0,6		1,6
Beržiniai Betulaceae	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.	0,1	0,7	1,4	0,1			0,6		
Agurkliniai Boraginaceae	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.	0,1		0,7	0,9	0,3	0,3	0,2	1,4	0,5
Bastutiniai Brassicaceae	Trikertė žvaginė <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0,1	0,3	0,2	0,1		0,3		0,7	1,1
	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	0,2		0,2	40,0	17,3	3,8	20,9	7,6	6,5
Gvazdikiniai Caryophyllaceae	Daržinė žliūgė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.			0,5		0,6	1,0		0,7	1,1
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.	4,8	22,1	23,7	7,4	11,1	27,2	5,3	10,4	10,9
Balandiniai Chenopodiaceae	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	2,5	6,8	11,0	2,6	10,8	6,2	4,1	7,6	8,2
Notreliniai Lamiaceae	Raudonoji aklė <i>Galeopsis speciosa</i> Mill.						0,3			
	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.						0,3	1,2	1,8	2,7
Aguoniniai Papaveraceae	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.	0,1								
	Aguona birulė <i>Papaver rhoeas</i> L.			0,2			0,3			
Migliniai Poaceae	Paprastasis varputis <i>Agropyron pectinatum</i> (Bieb.) P.B									0,5
	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-gali</i> L.		55,1	37,6		22,8	9,4		19,1	8,7
	Žalioji šerytė <i>Setaria viridis</i> P. B.	79,8	6,6	4,0	5,8	4,7		14,9	3,2	3,8
Rūgtiniai Polygonaceae	Vijoklinis pelėvirkštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	0,8	0,2	9,9	0,6	1,8	13,8	2,5	12,9	20,7
	Dėmėtasis rūgtis <i>Polygonum persicaria</i> L.			0,9	1,3	2,6	17,7	0,8	4,7	7,1
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.		0,2		0,2	0,3				
Bervidiniai Scrophulariaceae	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	0,4	0,2		30,0	3,2	3,8	20,9	2,9	3,8
Našlaitiniai Violaceae	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	10,9	7,8	9,2	11,0	24,3	14,2	27,2	26,6	21,8
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		12	10	14	12	13	15	14	14	17
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		79,8	61,7	41,6	5,8	27,4	9,4	14,9	22,3	12,5
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		20,1	37,4	56,5	93,9	72,0	89,9	83,7	77,3	86,0
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		0,1	0,9	1,9	0,3	0,6	0,7	1,4	0,4	1,0

5 lentelė. Sėklų rūšių sudėtis sėjomainos su kaupiamaisiais augalais nuolatiniam sėklų banke (%), 2020–2022 m.

Table 5. Seed species composition in persistent seed bank of the field crop rotation with a row crop (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai <i>Asteraceae</i>	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	0,4	0,7				0,5		0,4	
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.		2,1					0,9	0,5	
	Bekvapis šunramunis <i>Tripleurospermum perforatum</i> M. Lainz				1,2		0,5	7,5		0,5
Beržiniai <i>Betulaceae</i>	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.			0,8		0,8		1,7		
Agurkliniai <i>Boraginaceae</i>	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.			0,8	1,2	2,3	0,9	0,8	2,7	2,3
Bastutiniai <i>Brassicaceae</i>	Trikertė žvaginė <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0,8						0,8	0,4	
	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	2,9			2,5	0,8		8,8	4,9	3,7
	Dirvinis garstukas <i>Sinapis arvensis</i> L.						3,0			
Gvazdikiniai <i>Caryophyllaceae</i>	Daržinė žliugė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	0,4			2,5			0,8		
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.	26,8			30,9			24,3	0,4	
Balandiniai <i>Chenopodiaceae</i>	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	11,7	31,8	26,3	7,4	34,0	16,8	5,9	21,3	20,5
Pupiniai <i>Fabaceae</i>	Gauruotasis vikis <i>Vicia hirsuta</i> L.								0,4	0,5
	Ruginis vikis <i>Vicia villosa</i> Roth.						0,5			
Notreliniai <i>Lamiaceae</i>	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.	0,4		0,8	1,9		0,5	2,9		2,3
	Pelkinė notra <i>Stachys palustris</i> L.	0,4								
Aguoniniai <i>Papaveraceae</i>	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.					0,8				0,5
	Aguona birulė <i>Papaver rhoeas</i> L.		0,7	0,8		0,8				
Migliniai <i>Poaceae</i>	Paprastasis varputis <i>Agropyron pectinatum</i> (Bieb.) P.B			0,8						
	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-gali</i> L.			24,0			5,94			10,0
	Žalioji šerytė <i>Setaria viridis</i> P. B.	17,3	30,6	12,7	3,7	7,6	0,5		5,8	3,1
Rūgtiniai <i>Polygonaceae</i>	Vijoklinis pelėvirkštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	2,1	18,1	18,7	1,9	24,1	33,7	9,2	33,3	37,9
	Dėmėtasis rūgtis <i>Polygonum persicaria</i> L.	0,4		4,5	7,4	3,8	21,3	4,2	5,8	5,5
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.			0,8	0,6	0,8		0,4		
Bervidiniai <i>Scrophulariaceae</i>	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	6,3	16,0	1,5	7,4	0,8		3,8	0,9	0,9
Našlaitiniai <i>Violaceae</i>	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	30,1		7,5	31,4	23,4	15,9	28,9	22,8	11,8
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		13	7	13	13	12	12	14	13	14
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		17,3	30,6	36,7	3,7	7,6	6,4	0	5,8	13,1
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		81,9	66,6	60,9	95,7	90,8	93,1	97,9	92,5	85,9
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0,8	0	0	0	0	0	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		0,8	2,8	1,6	0,6	1,6	0,5	2,1	1,7	1,0

6 lentelė. Sėklų rūšinė sudėtis sėjomainos su kaupiamaisiais augalais laikiname sėklų banke (%), 2020–2022 m.

Table 6. Seed species composition in temporary seed bank of the field crop rotation with a row crop (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Kalvos dalys/Parts of the hill								
		Viršūnė/Summit			Šlaitas/Midslope			Pašlaitė/Footslope		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai <i>Asteraceae</i>	Rugiagėlė <i>Centaurea cyanus</i> L.							1,1		
	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.			0,7	1,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.	1,5	0,5	2,0		2,5	1,0		1,7	
	Bekvapis šunramunis <i>Tripleurospermum perforatum</i> M. Lainz			0,7				0,5	7,5	5,2
Beržiniai <i>Betulaceae</i>	Karpotasis beržas <i>Betula pendula</i> Roth.			2,0	1,1	0,4			0,3	1,2
Agurkliniai <i>Boraginaceae</i>	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.	1,5			1,6	0,8	1,5	5,3	3,9	3,6
Bastūniniai <i>Brassicaceae</i>	Trikertė žvaginė <i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	1,5						1,1	1,1	
	Dirvinis garstukas <i>Sinapis arvensis</i> L.						0,4			
	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.				1,1		1,1	1,6	6,7	1,6
Gvazdikiniai <i>Caryophyllaceae</i>	Dirvinė raugė <i>Agrostemma githago</i> L.	0,8			1,1					
	Vienametė klėstenė <i>Sckeranthus annuus</i> L.	0,8								
	Daržinė žliūgė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.		0,9					0,5	0,3	0,4
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.		0,9	0,7	0,5					
Balandiniai <i>Chenopodiaceae</i>	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	36,4	16,1	24,5	49,2	21,7	27,8	31,0	18,4	18,3
Pupiniai <i>Fabaceae</i>	Paprastasis gargždenis <i>Lotus corniculatus</i> L.					0,4				0,4
	Dirvinis dobilas <i>Trifolium arvense</i> L.					0,4				
	Ruginis vikis <i>Vicia villosa</i> Roth.						0,5			
Vikšriniai <i>Juncaceae</i>	Rupūžinis vikšris <i>Juncus bufonius</i> L.			0,7						
Notrėliniai <i>Lamiaceae</i>	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.					0,8	0,5	2,1	1,4	2,4
	Pelkinė notra <i>Stachys palustris</i> L.								0,3	
Aguoniniai <i>Papaveraceae</i>	Vaistinė žvirbliarūtė <i>Fumaria officinalis</i> L.				1,1				0,3	
	Aguona birulė <i>Papaver rhoeas</i> L.			1,4			0,5			
Migliniai <i>Poaceae</i>	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-gali</i> L.		35,9	29,2		11,5	7,8		8,4	8,2
	Žalioji šerytė <i>Setaria viridis</i> P. B.	37,8	15,2	6,1	8,6	3,3		2,7	1,4	
Rūgtiniai <i>Polygonaceae</i>	Vijoklinis pelėvirkštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	1,5	22,1	24,5	4,3	27,5	25,3	12,8	26,3	30,2
	Dėmėtasis rūgtis <i>Polygonum persicaria</i> L.	0,8	2,3	1,4	1,6	9,4	5,7		3,9	2,4
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.		0,5		2,1		2,6		0,3	
Bervidiniai <i>Scrophulariaceae</i>	Dirvinė veronika <i>Veronica arvensis</i> L.	0,8	0,5		25,6	0,8	0,5	7,5	0,8	0,4
Našlaitiniai <i>Violaceae</i>	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	16,6	5,1	6,1	0,5	19,7	24,7	33,3	16,7	25,3
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		11	11	13	14	15	14	13	19	14
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		37,8	51,1	35,3	8,6	14,8	7,8	2,7	9,8	8,2
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		60,7	47,9	60,0	86,6	81,5	88,1	96,8	87,3	89,8
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		1,5	1,0	4,7	4,8	3,7	4,1	0,5	2,9	2,0

7 lentelė. Sėklų rūšinė sudėtis dirvožemio nešmenyse (%), 2020–2022 m.

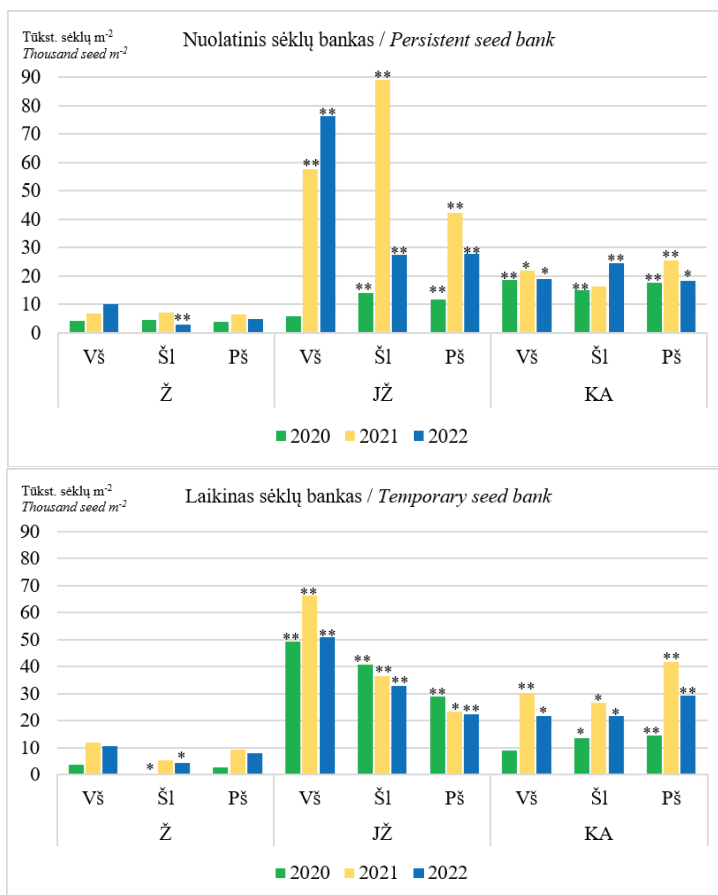
Table 7. Seed species composition in the soil runoff sediments (%), 2020–2022

Botaninė šeima/ Botanic family	Augalų rūšys/ Plant species	Agrofitocenozių/Agrophytocenoses								
		Ž			JŽ			KA		
		2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Astriniai Asteraceae	Dirvinė usnis <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.				0,7	2,5		0,7		
	Šiurkščioji pienė <i>Sonchus asper</i> L.		6,8							
	Dirvinė pienė <i>Sonchus oleraceus</i> L.	7,7	13,3		0,7		20,0	1,4		33,3
	Bekvapis šunramunis <i>Tripleurospermum perforatum</i> M. Lainz				0,2					
	Paprastoji kiaulpienė <i>Taraxacum officinale</i> F. H. Wigg.		20,0			2,5				
Agurkliniai Boraginaceae	Dirvinė neužmirštuolė <i>Myosotis arvensis</i> L.	15,4			0,7	5,0	20,0	1,1	3,2	55,6
Bastutiniai Brassicaceae	Smalkinis tvertikas <i>Erysimum cheiranthoides</i> L.	23,1			0,2					
Gvazdikiniai Caryophyllaceae	Daržinė žliugė <i>Stellaria media</i> (L.) Vill.								4,8	
	Dirvinis kežys <i>Spergula arvensis</i> L.		13,3		1,3	7,5		1,6	1,6	
Balandiniai Chenopodiaceae	Baltoji balanda <i>Chenopodium album</i> L.	30,7	33,3		45,2	5,0		49,1	25,4	
Pupiniai Fabaceae	Baltasis dobilas <i>Trifolium repens</i> L.					5,0				
Notreliniai Lamiaceae	Raudonžiedė notrėlė <i>Lamium purpureum</i> L.				1,1	5,0		0,7	1,6	
Migliniai Poaceae	Paprastoji rietmenė <i>Echinochloa crus-gali</i> L.					5,0	20,0		3,2	
	Žalioji šerytė <i>Setaria viridis</i> P. B.				0,4			0,3	9,5	
Rūgtiniai Polygonaceae	Vijoklinis pelėvirkštis <i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	7,7	13,3		37,5	22,5	20,0	30,4	27,0	
	Trumpamakštis rūgtis <i>Polygonum lapathifolium</i> L.	7,7		20,0	1,8	27,5		1,7	7,9	
	Smulkioji rūgštyinė <i>Rumex acetosella</i> L.							0,6		
	Rauktalapė rūgštyinė <i>Rumex crispus</i> L.								3,2	
Erškėtiniai Rosaceae	Geltonoji žiognagė <i>Geum urbanum</i> L.						20,0			
Raudiniai Rubiaceae	Kibusis lipikas <i>Galium aparine</i> L.									11,1
Našlaitiniai Violaceae	Dirvinė našlaitė <i>Viola arvensis</i> Murr.	7,7		80,0	10,2	12,5		12,4	12,6	
Rūšių skaičius / The number of species, vnt		7	6	2	12	11	5	11	11	3
Trumpaamžės vienaskiltės / Annual monocotyledonous, %		0	0	0	0,4	5,0	20,0	0,3	12,7	0
Trumpaamžės dviskiltės / Annual dicotyledonous, %		92,3	59,9	100,0	98,2	85,0	40,0	97,0	84,1	66,7
Daugiametės vienaskiltės / Perennial monocotyledonous, %		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Daugiametės dviskiltės / Perennial dicotyledonous, %		7,7	40,1	0	1,4	10,0	40,0	2,7	3,2	33,3

Pastaba: agrofitocenozių: Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais.

Note: agrophytocenoses: Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop.





**1 pav.** Sėklų sankaupos (gyvybingos ir negyvybingos sėklos) dirvožemyje (sėklų m<sup>-2</sup>), 0–15 cm, 2020–2022 m.

**Fig. 1** Reserve of seeds (viable and non-viable seeds) in the soil (seeds m<sup>-2</sup>), 0–15 cm, 2020–2022

Pastaba: agrofitocenozės (veiksny A): Ž – ilgalaikis žolynas, JŽ – javų – žolių sėjomaina, KA – sėjomaina su kaupiamaisiais augalais; kalvos dalys (veiksny B): Vš – viršūnės, Šl – šlaitas, Pš – pašlaitė; \* ir \*\* – esminis skirtumas esant 0,05 ir 0,01 tikimybės lygiui.

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

## DISERTACIJOS TEMA PASKELBTŲ PUBLIKACIJŲ SĄRAŠAS

### Moksliniai straipsniai leidiniuose, referuojamuose ir turinčiuose citavimo indeksą „Clarivate Analytics Web of Science“ duomenų bazėje

1. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**. Assessment of an abandoned grassland community and soil seed bank of a hilly relief. 2022. *Zemdirbyste–Agriculture*. Basel : MDPI AG ISSN 1392-3196, vol. 109 iss.1, p. 3–10. doi: 10.13080/z-a.2022.109.001.
2. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**. Soil seed bank in pre-erosion cereal-grass crop rotation. 2022. *Plants*. Basel : MDPI. vol. 11, 2636. doi:10.3390/plants11192636.
3. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**; Aleinikovienė, Jūratė; Fercks, Birutė; Repšienė, Regina. Seed bank community change under different intensity agrophytocenoses on hilly terrain in Lithuania. 2023. *Plants*. Basel : MDPI. vol. 12 iss. 5, p. 1084; doi:10.3390/plants12051084.

### Straipsniai recenzuojamuose periodiniuose leidiniuose

1. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. The effect of hilly terrain on plant species in sown permanent grassland, *Grassland Science in Europe*, 2021. 26, p. 141–143.
2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley. *17th International conference of young scientists on energy and natural sciences issues*. 2021, p. 1054–1062, ISSN 1822-7554.
3. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil contamination with plants seeds in a pre-erosion cereal-grass crop rotation. *18th International conference of young scientists on energy and natural sciences issues*. 2022, p. 692–698, ISSN 1822-7554.
4. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil seed bank response to agrophytocenoses on hillside ecotopes, *Grassland Science in Europe*, 2023. 28, p. 155–158.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil seed bank and their relation to soil properties under hilly terrain in Lithuania. *19th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI)*. Kaunas, 2023 05 23-26.

### Kituose mokslo leidiniuose

1. Skuodienė Regina, Repšienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**. Segetalinės floros pokyčiai tausojamojoje sėjomainoje rūgščius dirvožemius kalkinant ir tręšiant organinėmis trąšomis. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). "Herbologija 2020: Piktžolių ekologija ir kontrolė" Lietuvos laukų piktžolėtumo problemos. Kaunas, ASU, 2020.
2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Reljefo įtaka piktžolių sėklų atsargoms dirvožemyje. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). „Herbologija 2021: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2021.

3. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Permanent grassland established on eroded soils: floristic composition of different sections of a hillside after 27 years of sward naturalization following sowing, leidinyje „Sinsing – New Insights into Grassland Science and Practice. Book of abstract“. 2021, p. 28.
4. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Sėklų atsargų pasiskirstymas dirvožemyje kalvoto reljefo sąlygomis. „Herbologija 2022: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). Kaunas VDUŽUA. 2022.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Dirvožemio sėklų banko ir pasėlių segetalinių augalų rūšinės sudėties palyginimas „Herbologija 2023: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2023.

#### **Skaityti žodiniai pranešimai nacionalinėse ir tarptautinėse konferencijose**

1. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. „Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley“ į 17th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI). 2021.
2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. „Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley“ į 18th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI). 2022.
3. Skuodienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**, Repšienė Repšienė. 2020. Skirtingų agrotechninių priemonių įtaka piktžolių gausumui rūgščiuose dirvožemiuose. Nuotolinė konferencija "Kokybiško dirvožemio išsaugojimas – XXI amžiaus iššūkis". Klaipėda, KU, 2020 12 16.
4. Skuodienė Regina, Repšienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**. 2020. Segetalinės floros pokyčiai tausojamojoje sėjomainoje rūgščius dirvožemius kalkinant ir tręšiant organinėmis trąšomis. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). "Herbologija 2020: Piktžolių ekologija ir kontrolė" Lietuvos laukų piktžolėtumo problemos. Kaunas, ASU, 2020.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Reljefo įtaka piktžolių sėklų atsargoms dirvožemyje. Nuotolinė konferencija „Herbologija 2021: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2021.
6. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Sėklų atsargų pasiskirstymas dirvožemyje kalvoto reljefo sąlygomis. Nuotolinė konferencija „Herbologija 2022: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2022.
7. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Dirvožemio sėklų banko ir pasėlių segetalinių augalų rūšinės sudėties palyginimas. „Herbologija 2023: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2023.

## Dalyvavimas konferencijose ir seminaruose

1. „Integruota kenksmingų organizmų kontrolė Europos patirties kontekste”, 2020-03-12, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
2. „Žemės dirbimas, išsaugantis dirvožemio derlingumą ir mažinantis klimato kaitos poveikį”, 2020-03-13, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
3. „Dirvožemio tyrimų svarba, tyrimo metodai ir rezultatai“, 2020-10-08, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
4. „Integruotoji kenksmingųjų organizmų kontrolė (IKOK): prognozavimas ir sprendimai“, 2021-02-09, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
5. „Rūgščių dirvožemių derlumo gerinimas efektyvesniam maisto medžiagų prieinamumui ir augalininkystės produkcijos savikainos pokyčiui“. 2021.10.28, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
6. „Sveikas dirvožemis – sveikam augalų derliui“, 2022.02.11, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
7. „Piktžolių naikinimas javuose – integruoti sprendimai“, 2022.03.01, Bayer.
8. „Augalų mityba Geros žemdirbystės praktikos kodekse“, 2022.04.28, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
9. „Skirtingo ilgaamžiškumo žolynai: jų įrengimas ir panaudojimas pašarų įvairinimui“, 2022.07.10, Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.
10. „Rapool rekomenduojamos žieminių rapsų ir kviečių veislės rudens sėjai“, 2022.07.15, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
11. „Akvaponika: žuvų ir augalų augimo sistemų simbiozė“, 2023.02.23, Klaipėdos universitetas.
12. „Tausojamasis ūkininkavimas“. 2023.03.01, Vytauto Didžiojo universiteto žemės ūkio akademija.
13. „Dirvožemio suslėgimas technologinėse vėžėse: problemos ir eliminavimo galimybės“, 2023.05.04, Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.

## Dalyvavimas vykdant mokslinius tiriamuosius darbus, finansuojamus Lietuvos ūkio subjektų

1. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2021. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.
2. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2022. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.
3. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2023. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.

ISSN 1392-3196 / e-ISSN 2335-8947

Zemdirbyste-Agriculture, vol. 109, No. 1 (2022), p. 3–10

DOI 10.13080/z-a.2022.109.001

## Assessment of an abandoned grassland community and the soil seed bank of a hilly relief

Regina SKUODIENĖ, Vilija MATYŽIŪTĖ

Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry

Gargždų 29, Vėžaičiai, Klaipėda distr., Lithuania

E-mail: regina.skuodiene@iammc.lt

### Abstract

The importance of grasslands is closely linked to biodiversity and soil health. Changes in plant diversity reflect the environmental conditions and practices of grasslands management. The aim of this study was to investigate the impact of abandonment on the grassland community and soil seed bank under the conditions of a hilly relief. The experiment was carried out at the Vėžaičiai Branch of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry on the hilly topography of Žemaičiai Highland. The study analyses long-term monitoring data of a soil erosion experiment set up on the slopes of 9–11° steepness. The soil of the southern exposition slope was a slightly eroded *Eutric Retisol*. In 1993, to protect the hill from erosion, a mixture of five grasses consisting of 20% timothy grass (*Phleum pratense* L.), 20% red fescue (*Festuca rubra* L.), 20% meadow grass (*Poa pratensis* L.), 20% white clover (*Trifolium repens* L.), and 20% common bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) was sown in different parts of the hill: the summit, the midslope, and the footslope. The grassland had not been fertilised and used. After 27 years, 56 vascular plant species were identified. In the summit, midslope, and footslope parts of the hill, the relative abundance (P%) of the sown species was 17.2%, 23.9%, and 27.2%, respectively. A good growth of *Festuca rubra* did not depend on abandonment. In all parts of the hill, P% of other sown species significantly decreased. The low-value plants (*Elytrigia repens* L., *Cirsium arvense* L., and *Equisetum arvense* L.) spread in grasslands. The soil seed bank of abandoned grasslands was composed of the arable weeds: *Chenopodium album* L. was the dominant species in the soil seed bank of the summit of the hill (0–15 cm depth), while *Stellaria media* (L.) Vill in the soil seed bank of the midslope, 31.3% and 18.4%, respectively, of the total seed number.

Keywords: abandoned meadow, floristic similarity, hillside ecotopes, plant species, relative abundance, soil seed bank.

### Introduction

Grasslands occupy a large area of the land surface in a temperate climate zone. They are not only the core of forage production worldwide but also provide multiple additional ecosystem services such as carbon sequestration and erosion control (Tribot et al., 2018; Bengtsson et al., 2019; Hamanaka et al., 2019). Depending on local natural conditions, grasslands can be used in a variety of ways. Changes in plant diversity reflect the environmental (pedo-climate) conditions and management (mowing, fertilisation, grazing, etc.) practices (da Silveira Pontes et al., 2015). As soon as human impact on the natural environment declines, the process of re-naturalisation becomes more intensive. After 10–30 years, sown meadows have a similar structure and floristic composition as natural meadows (Sendžikaitė et al., 2013). The number of low-value species increases in unattended meadows (López-i-Gelats, Bartolomé, 2007), and trees and scrubs start to grow (Kulik, 2014). Neglect and abandonment of used grasslands can lead to the expansion of several dominant species and further to the expansion of invasive species (Pruchniewicz, Zohnierz, 2016).

Long-term (several decades) naturalisation process influences the structure of sown permanent grasslands phytocenoses: the floristic composition of vascular plants varies, their diversity increases, and phytocenotic role changes (Sendžikaitė et al., 2013). Functional plant traits are similar in mowed and abandoned communities, while functional diversity is lower in unmanaged communities (Uogintas, Rašomavičius, 2020). Despite the relatively low productivity of permanent grasslands, they remain a key source of forage in High Nature Value farming systems in Europe (Herzon et al., 2021).

The soil seed bank is a fundamental aspect of most plant communities and plays a vital role in the response of these communities to environmental perturbations such as changing climate and land use (Baskin, Baskin, 2014; Basto et al., 2015). The loss of species from the aboveground vegetation is caused by environmental change; however, seeds of these species may be buried and remain dormant in the seed bank through the storage effect (Basto et al., 2015). Grassland species are often

Please use the following format when citing the article:

Skuodiėnė R., Matyžiūtė V. 2022. Assessment of an abandoned grassland community and the soil seed bank of a hilly relief. Zemdirbyste-Agriculture, 109 (1): 3–10. DOI 10.13080/z-a.2022.109.001

$$P\% = F\% / \Sigma F\% \times 100,$$

where  $F\%$  is the frequency of occurrence of every species:

$$F\% = n/N \times 100,$$

where  $n$  is the number of samples, in which species were found;  $N$  – the total number of samples in a model plot;  $\Sigma F\%$  – the sum of frequencies of occurrence of all the plant species in a model plot.

To compare the value of the grasslands, the agronomic value (VP) was used:

$$VP = (\Sigma P\% \times I_i) / 10,$$

Where  $\Sigma P\%$  is the sum of relative abundance of the species found;  $I_i$  – the forage value score of the plant species.

To assess plant species attachment to hydrological regime, soil acidity (pH) and soil nutrition, the Ellenberg's (1992) scale was used. Plant species were sorted into ecological groups according to adaptation to soil moisture (xeromesophytes, mesophytes, hygromesophytes, hygrophytes), adaptation to soil acidity (highly acid, acid, moderately acid, slightly acid, neutral), adaptation to soil nutrition (oligotrophic, oligomesotrophic, mesotrophic, eutromesotrophic, eutrophic plants) and indifferent species. Only more significant groups of plants were discussed in the results.

To express floristic similarity of phytocenoses or similarity of the seed bank and actual vegetation, the coefficient of Sørensen ( $C_s$ ) was used:

$$C_s = 2w / (A + B),$$

where  $w$  is number of common species in both situations,  $A$  – number of species in one of two comparable situations,  $B$  – number of species in another situation.

To assess the impact of the hill slope on soil contamination by weed seeds, the seed bank was investigated at the depths of 0–5 and 5–15 cm. The seed bank was estimated from soil samples taken in spring of 2020 and 2021. In each model plot, 2 kg of soil from 20 positions were collected using an agrochemical drill. The soil was dried out. In total, five 100 g samples were taken out of 2 kg soil sample and weighed. Later, the soil samples were wet-sieved through a 0.25 mm sieve until all contents of the soil were washed out. The remaining mineral part of the soil was separated from the organic part and weed seeds using the saturated salt solution (Pupalienė et al., 2012). Weed seeds were identified using binoculars with 8.75× magnification. Weed seed species were determined by Grigas (1986). The number of weed seeds ( $A$ ) was recalculated to thousands of unit per  $m^2$ :

$$A = n \times h \times p \times 100,$$

where  $A$  is number of seeds, seeds,  $m^2$ ;  $n$  – the counted number of seeds in the soil sample;  $h$  – the depth of plough layer, cm;  $p$  – soil bulk density,  $g\ cm^{-3}$ .

Chemical analyses were carried out at the Chemical Research Laboratory of the Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. Before establishing the experiment, soil agrochemical characteristics were determined from the samples taken from the depths of 0–5 and 5–15 cm. Soil acidity (pH) was measured by the potentiometric method in the extraction of 1 M KCl ( $pH_{KCl}$ ) according to standard ISO 10390:2005 (Soil quality – Determination of pH). In the soil, mobile  $P_2O_5$  and  $K_2O$  were determined using the Egner-Riehm-Đomingo (AL) method (LVP D-07:2016), total nitrogen ( $N_{org}$ ) content by the Kjeldahl method, and organic carbon ( $C_{org}$ ) by the Dumas dry combustion method. Soil bulk density was determined with a 100  $cm^3$  cylindrical drill by the Kachinsky method. Soil moisture

content was evaluated every 3–4 weeks during the plant vegetation period in 2020–2021 and expressed on a dry weight basis after oven drying to a constant weight at 105°C temperature. Soil texture was determined by the Fere triangle (FAO recommended method) according to the percentage of sand, silt, and clay fractions in the graphical diagram.

*Statistical analysis.* Significance of the differences between the means was determined according to the Fisher's protected least significant difference (LSD) at 0.05 probability level. The experimental data were subjected to the analysis of variance (ANOVA) (Raudonius, 2017). The average data of the experiment are presented in Tables 3 and 4. Interaction between the examined factor and years was not determined. The actual data of the seed bank were transformed ( $\sqrt{S(x+1)}$ ).

## Results and discussion

*Diversity and distribution of plant species.* Over 27 years, species composition in sown meadow changed considerably due to spontaneous plant spread. Some of the sown plant species decreased, and the others spread, and new unsown species emerged. In total, 56 vascular plant species belonging to 17 families were identified in the abandoned grasslands during the experimental period (2020–2021) (Table 2). The dominant plant families were Asteraceae (14 species) and Poaceae (10 species). The variety of species was greater compared with the seminatural meadow of the Minija mid-riverbanks with 23–33 species of vascular plants (Nekrošienė, Skuodienė, 2012). Similar findings were also reported by Uogintas and Rašomavičius (2020), where 46 species were identified in unmanaged plots.

Sown species in the grasslands amounted averagely to 17.2, 23.9, and 27.2  $P\%$ , respectively, in the summit, midslope, and footslope parts of the hill (Table 3). In the grasslands, *Trifolium repens*, *Lotus corniculatus*, *Poa pratensis*, and *Phleum pratense* decreased. Under the conditions of a hilly relief, plants germinate, grow, and develop unequally (Jarašiūnas, Kinderienė, 2016).

Due to the increased amount of physical clay and silt in lower parts of slope, the resources of soil moisture as well as the amounts of humus and nutrients increase but soil acidity decreases (Table 1). Due to unequal edaphic conditions in different parts of the hill and competition of various plant species, the diverse composition of phytocenoses species was determined, although the number of vascular plant species forming phytocenoses was similar: from 24 to 29 species in 2020 and from 24 to 32 in 2021 (Table 2). Unequal composition of species was confirmed by the coefficient of Sørensen ( $C_s$ ): 0.56–0.61 in 2020 and 0.54–0.67 in 2021. The largest number of species was identified in the summit part of the hill. However, during the experimental period, no dominant or subdominant species common for the whole association were identified, only secondary and rare species were found. Unlike in the summit part, subdominant species (*Festuca rubra*), which forms phytocenoses, was found in the midslope and the footslope parts of the hill. Competitive species *F. rubra* that is included in most of the sown meadow seed mixtures consolidate easily in the grasslands and dominate in mesophilous phytocenoses (Sendžikaitė et al., 2013). As species forming the phytocenoses, *Dactylis glomerata*, *Elytrigia repens*, *F. rubra*, and *Vicia cracca* can be partly considered. It was observed that the distribution of these herbaceous plant species in phytocenoses was increasing in the

**Table 2.** Species diversity and their distribution (P%) in the grasslands

Plant species	Botanic family	Part of the hill					
		summit		midslope		footslope	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021
<i>Anthriscus sylvestris</i> L.	Apiaceae	2.9	3.9	5.7	3.5		
<i>Carum carvi</i> L.		0.7		0.8			
<i>Achillea millefolium</i> L.	Asteraceae	6.5	7.8	4.1	3.5	0.7	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.		0.7	0.6			0.7	1.3
<i>Cirsium arvense</i> L.		4.3	5.0	9.8	2.5	1.4	6.7
<i>Conyza canadensis</i> L.		0.7				0.7	
<i>Gnaphalium sylvaticum</i> L.			1.1		1.0	0.7	
<i>Hieracium umbellatum</i> L.			0.6	0.8			
<i>Hypochaeris radicata</i> L.						0.5	
<i>Leontodon autumnalis</i> L.						0.5	
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.						0.5	
<i>Pilosella caespitosa</i> (Dumort.) P.D. Sell et C.West		0.7	2.8				
<i>Pilosella officinarum</i> F.V. Schultz et Sch.Bip.		0.7					
<i>Sonhus</i> spp.					3.0	0.7	1.3
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.		0.7		4.1	6.0	12.7	
<i>Tragopogon pratensis</i> L.							1.3
<i>Campanula patula</i> L.	Campanulaceae		0.6	0.8			
<i>Campanula rotundifolia</i> L.				0.8	1.5	0.7	
<i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke	Caryophyllaceae	0.7	0.6	1.6		0.7	
<i>Stellaria graminea</i> L.			1.7		2.0	0.7	
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Convolvulaceae					0.5	
<i>Equisetum arvense</i> L.	Equisetaceae	12.3	12.8	4.1	9.5	5.6	
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.			2.2				
<i>Lathyrus pratensis</i> L.	Fabaceae		0.6		0.5		2.7
<i>Lotus corniculatus</i> L.		0.7		0.8	1.5	4.9	6.0
<i>Medicago lupulina</i> L.					0.5		
<i>Trifolium repens</i> L.		0.7					
<i>Vicia cracca</i> L.		14.5	5.6	4.5	9.5	16.9	9.4
<i>Vicia sepium</i> L.				4.1		5.6	
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Hypericaceae					0.7	
<i>Mentha arvensis</i> L.	Lamiaceae	0.7		0.8	1.0		
<i>Prunella vulgaris</i> L.			0.6	0.8			
<i>Stachys palustris</i> L.			5.0			0.7	4.0
<i>Epilobium montanum</i> L.	Onagraceae	0.7	1.1				
<i>Plantago lanceolata</i> L.	Plantaginaceae	0.7			0.5	0.7	
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	Poaceae	2.9	1.1	0.8	0.5	2.1	0.7
<i>Alopecurus pratensis</i> L.				0.8			0.7
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.			0.6				
<i>Dactylis glomerata</i> L.		9.4	10.1	6.5	9.0	12.7	10.1
<i>Elytrigia repens</i> L.		9.4	3.4	17.1	8.0	4.9	6.0
<i>Festuca ovina</i> L.		0.7					
<i>Festuca pratensis</i> Huds.		8.0	1.7	0.8	2.0		3.4
<i>Festuca rubra</i> L.		15.1	16.2	23.0	14.5	20.6	18.1
<i>Phleum pratense</i> L.			0.6	3.3	3.0	1.4	1.3
<i>Poa pratensis</i> L.			0.6	0.8	0.5	1.4	0.7
<i>Rumex acetosella</i> L.	Polygonaceae		0.6		0.5		
<i>Rumex crispus</i> L.		0.7	0.6				0.7
<i>Fragaria vesca</i> L.	Rosaceae	0.7				1.4	
<i>Geum rivale</i> L.		1.4	1.7		2.0		
<i>Geum urbanum</i> L.			2.2				
<i>Galium aparine</i> L.	Rubiaceae	0.7					
<i>Galium mollugo</i> L.			2.2	3.3	10.0		
<i>Galium spurium</i> L.			5.0		2.0		
<i>Veronica arvensis</i> L.	Scrophulariaceae		1.1				
<i>Veronica chamaedrys</i> L.		1.4					
<i>Veronica longifolia</i> L.		0.7					

P% – index of relative abundance of species

**Table 3.** Quantitative characteristics of grasslands, 2020–2021

Part of the hill	Number of species in grasslands	Agronomic value of grasslands	Sown species P%	Total Poaceae P%	Total Fabaceae P%	Total other species P%	Mesophytes %
Summit	30.0 a	49.5 b	17.2 b	39.9 a	11.0 b	49.0 a	55.5 b
Midslope	27.0 ab	55.0 a	23.9 ab	45.5 a	10.7 b	43.8 b	57.4 b
Footslope	24.5 b	58.9 a	27.2 a	42.0 a	22.7 a	36.3 c	66.9 a

Note. Different letters indicate significant ( $p < 0.05$ ) differences between the means.

downslope direction (41.8, 46.2 and 49.4 P%) during the experimental period.

The diversity of plant species has been increasing together with the grassland naturalisation process. However, the number of low-value species (*E. repens*, *Cirsium arvense* and *Equisetum arvense*) increased in the abandoned grasslands as well. The average data of 2020–2021 show that the relative abundance of these species reached 23.6 and 25.5 P% in the summit and the midslope of the hill (Table 2).

Edaphic factors such as soil moisture, acidity and nutrition are probably very important to grasslands phytocenoses succession. It was found that 55.5%, 57.4%, and 66.9% in the summit, the midslope, and the footslope of the hill, respectively of all vascular plants of the meadow were mesophyte species. In the hilly meadow, soil acidity was not determining factor for the greater part (61.8–68.0%) of plants. The greater part of mesotrophic plants was found in the summit and footslope parts and eutromesotrophic plants – in the midslope part of the hill (35.6%, 25.4%, and 32.9 %, respectively). Depending on

the partition of the relief, various soil moisture and plant nutrition conditions determine different phytocenoses species composition (Nekrošienė, Skuodienė 2012; Sendžikaitė et al., 2013).

The agronomic value of the grasslands depended on the amount of Fabaceae species and the relief as well. The largest part (22.8 P%) of Fabaceae species was determined averagely in the footslope part of the hill. Due to the greater amount of Fabaceae species, the agronomic value of the grasslands was greater in the footslope and medium in the summit and midslope parts of the hill (Table 3).

**Seed distribution in the soil.** The seed bank is the resting place of seeds and an important component of the life cycle of plants (Hossain, Begum, 2015). The average data for 2020–2021 show that at the soil depth of 0–15 cm of the abandoned grasslands, the number of seeds reached 4192, 4708, and 4142, respectively, in the summit, the midslope, and the footslope parts of the hill (Table 4).

**Table 4.** Quantitative characteristics of the soil seed bank, 2020–2021

Part of the hill	Number of species in soil seed bank	Seed number m <sup>-2</sup>			Coefficient of Sørensen <sup>1</sup>
		0–5 cm depth	5–15 cm depth	0–15 cm depth	
Summit	17.0 a	1976.5 a	2215.0 a	4191.5 a	0.09 / 0.23
Midslope	13.5 a	2445.5 a	2263.5 a	4708.5 a	0.11 / 0.19
Footslope	14.5 a	2060.5 a	2081.5 a	4142.0 a	0.19 / 0.17

Note. Different letters indicate significant ( $p < 0.05$ ) differences between the means; <sup>1</sup> – comparison of vegetation and seed bank in 2020 / 2021.

In the soil seed bank of the midslope of the hill, the number of seeds was by 12.3% and 13.7% higher compared to the summit and footslope parts. A small number of seeds identified in the soil of long-abandoned meadows conform to the data of the research done by

Wagner et al. (2003). The species composition of the flora may be more important than the total number of seeds (Jastrzębska et al., 2013). In our experiment, the seeds represented 32 species including 11 meadow species, 20 segetal, and one tree (Table 5).

**Table 5.** Seed species composition of grassland soil (%) at the depth of 0–15 cm

Plant species	Botanic family	Part of the hill					
		summit		midslope		footslope	
		2020	2021	2020	2021	2020	2021
<i>Chenopodium album</i> L.	Amaranthaceae	33.8	28.7	14.1	12.6	8.0	21.4
<i>Centaurea cyamus</i> L.	Asteraceae		6.9				
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.		7.7	4.0	9.1	9.2	2.7	14.3
<i>Lapsana communis</i> L.			1.0				
<i>Sonchus oleraceus</i> L.		3.1	1.0	1.0	1.7	3.5	4.5
<i>Betula pendula</i> Roth.	Betulaceae	3.1	1.0				
<i>Myosotis arvensis</i> L.	Boraginaceae		1.0				
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Brassicaceae	1.5					
<i>Erysimum cheiranthoides</i> L.			7.9		0.6		2.7
<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.	Caryophyllaceae	12.3	9.9	24.2	12.6	2.7	3.6
<i>Silene vulgaris</i> L.		12.3		20.2	33.3	8.0	2.7
<i>Spergula arvensis</i> L.			3.1		1.7		0.9
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Fabaceae	1.5	15.8	6.1	19.0	2.7	25.0
<i>Trifolium arvense</i> L.			1.0		3.0		1.8
<i>Trifolium repens</i> L.			3.0		1.0	2.9	
<i>Vicia cracca</i> L.						1.8	
<i>Vicia irsuta</i> L.							15.2
<i>Vicia villosa</i> Roth.				1.0			
<i>Juncus bufonius</i> L.	Juncaceae		2.0		1.1		0.9
<i>Galeopsis ladanum</i> L.	Lamiaceae		5.0				
<i>Galeopsis tetrahit</i> L.						0.9	
<i>Lamium purpureum</i> L.						1.8	
<i>Stachys palustris</i> L.		1.5	1.0				
<i>Epilobium montanum</i> L.	Onagraceae		4.0				
<i>Fumaria officinalis</i> L.	Papaveraceae	10.8		4.0		24.8	
<i>Papaver rhoeas</i> L.						29.2	0.9
<i>Poa annua</i> L.	Poaceae		1.0				
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) A. Löve.	Polygonaceae	4.6	1.0	2.0		2.7	
<i>Rumex acetosella</i> L.			2.0		0.6		
<i>Rumex crispus</i> L.						0.9	
<i>Veronica arvensis</i> L.	Scrophulariaceae	1.5	2.0	2.0	3.5	1.8	
<i>Viola arvensis</i> Murr.	Violaceae	3.1		12.1	1.1	6.2	7.1



In the soil seed bank, the most numerous were dicotyledonous species of the arable land use. Similar findings were also reported by Kurdyukova (2018). Lopez-Marino et al. (2000) indicate that after changing the land use form from arable to grassland, over half of the seed bank in the soil is often composed of the arable weeds creating long-term persistent seed banks that are non-significant for the structure of grassland community. One of the reasons for this phenomenon is the low dispersal and accumulation ability of the diaspores (Janicka, 2016). Moreover, the seeds of most target species from the mesic grassland, especially grass seeds, tend to remain in the soil for a short time (they form only a transient seed bank). This is mainly due to their limited viability, usually from three to five years (Smith et al., 2002). Other authors point out that soil seed banks are typically characterised by their longevity and are determined by how long an individual seed may reside within it in a viable state. This longevity depends primarily on plant species (Hossain, Begum, 2015). Moreover, Lewis et al. (2013) found that arable weed seed banks are essential for the sustainability of cropping systems, because they provide the basis for the aboveground flora that contributes to biodiversity and supports ecosystem services within otherwise simplified agroecosystems.

The species composition of the soil seed bank in nearby parts of the hill varied slightly ( $C_s = 0.63-0.76$ ). The most similar species composition of the soil seed bank was in the summit and midslope parts of the hill ( $C_s = 0.76$ ), while it was the greatest in the summit and footslope parts of the hill ( $C_s = 0.63$ ). On the other hand, the size of the reserve of seeds in the soil was diverse. *Chenopodium album* was the dominant species in the soil seed bank of the summit of the hill (0–15 cm depth), while *Stellaria media* in the soil seed bank of the midslope – 31.3% and 18.4% of the total seed number, respectively. In the soil seed bank of the footslope of the hill, these species formed only 17.2%, while the seeds of other species (*Papaver rhoeas*) formed the main part (15.1%) of the soil seed bank. *Ch. album* form a persistent seed bank with the ability to remain viable in the soil for many decades (Hossain, Begum, 2015). It is possible that in previous years, the number of weeds in crops was greater than in the summit part of the hill due to lower weed competition with crops. The seeds of *Ch. album* are still found in the soil seed bank because of their characteristic feature of longevity.

The number of seeds at the soil depth of 0–5 and 5–15 cm changed depending on the relief. It was observed that at the depth of 0–5 cm, the number of seeds increased in the downslope direction. In the soil seed bank of the summit of the hill, the number of seeds was 47.7%. In the soil seed bank of the midslope of the hill, the number of seeds was similar both in the upper and lower soil layers (averagely 50% in each). In the soil seed bank of the footslope of the hill, the number of seeds reached 53.0% of the total number (Table 4).

**Comparison between the seed bank and vegetation.** Many species present in the vegetation of the investigated sites may not have been detected in the soil

samples. The species of the abandoned grassland did not correlate well with the seed bank data. The coefficient of Sørensen ( $C_c$ ) was 0.09–0.19 in 2020 and 0.17–0.23 in 202 (Table 4). The literature indicates that they maintain only a transient seed bank and, therefore, were absent from the seed bank at the time of sampling. On the other hand, it cannot be excluded that other species were not detected due to a lack of appropriate conditions for germination (Wagner et al., 2003). Janicka (2006) states that the species structure of the soil seed bank did not reflect the floristic composition of the grassland, because (1) the sward was dominated by the species, whose survival strategy was related to vegetative reproduction, and (2) along with the change of management, the seeds of species characteristic of the previous type of management remained in the soil creating a persistent seed bank.

### Conclusions

1. During 27 years of the experiment, the floristic composition of the abandoned grassland (56 vascular plant species were identified) became similar to that of natural meadows. Competitive species *Festuca rubra*, which was included in the grass mixture, prevailed in all meadows, especially in the midslope and the footslope of the hill. The species of Poaceae and Fabaceae families dominated (51.0–64.8 P%) in all parts of the hill, but the larger number of these species was identified in the footslope. However, the low-value plants with great adaptability to different habitations (*Elytrigia repens*, *Cirsium arvense*, and *Equisetum arvense*) spread in the grassland. The largest amounts of these species were found in the summit and midslope parts of the hill (23.6 and 25.6 P%).

2. The seeds accumulated in soil did not correspond to the species composition of grassland community. The similarity ( $C_c$ ) between the seed bank and the overlying plant community at a given site was low (0.09–0.23). In the seed bank, the seeds of dicotyledonous arable weeds were identified; they created stable long-term seed banks and were not typical in grassland community.

3. The number of seeds at the soil depth of 0–5 and 5–15 cm soil changed depending on the relief. At the depth of 0–5 cm, the number of seeds increased in the downslope direction, 47.7%, 50.4%, and 53.0%, respectively, in the summit, midslope, and footslope parts of the hill. At the soil depth of 5–15 cm, the number of seeds decreased: 52.3%, 49.6%, and 47.0%, respectively, in the summit, midslope, and footslope parts of the hill.

### Acknowledgements

The paper presents experimental findings obtained through the long-term research programme “Productivity and sustainability of agricultural and forest soils” implemented by the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

Received 10 11 2021

Accepted 09 02 2022

## References

- Auestad I., Rydgren K., Spindelböck J. P. 2013. Management history affects grassland seed bank build-up. *Plant Ecology*, 214 (12): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11258-013-0267-x>
- Auffret A. G., Cousins S. A. O. 2011. Past and present management influences the seed bank and seed rain in a rural landscape mosaic. *Journal of Applied Ecology*, 48 (5): 1278-1285. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02019.x>
- Auškalniėnė O., Kadziėnė G., Janušauskaitė D., Supronienė S. 2018. Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste-Agriculture*, 105 (3): 221-226. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.028>
- Baskin C. C., Baskin J. M. 2014. *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press, p. 187-225. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00597-X>
- Basto S., Thompson K., Phoenix G., Sloan V., Leake J., Rees M. 2015. Long-term nitrogen deposition depletes grassland seed banks. *Nature Communications*, 6: 6185. <https://doi.org/10.1038/ncomms7185>
- Bengtsson J., Bullock J. M., Egho B., Everson C., O'Connor T., O'Farrell P. J., Smith H. G., Lindborg R. 2019. Grasslands – more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10 (2): e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>
- da Silva Pontes L., Maire V., Schellberg J., Louault F. 2015. Grass strategies and grassland community responses to environmental drivers: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 1297-1318. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0314-1>
- Grigas A. 1986. Lietuvos augalų vaisiai ir sėklos [Fruits and seeds of Lithuanian plants]. Vilnius, Lithuania, 604 p. (in Lithuanian).
- Ellenberg H. 1992. *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen (ohne Rubus)*. *Scripta Geobotanica*, 18: 9-166 (in German).
- Gomaa N. H. 2012. Soil seed bank in different habitats of the Eastern Desert of Egypt. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19 (2): 211-220. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.01.002>
- Hamanaka A., Sasaoka T., Shimada H., Matsumoto S. 2019. Experimental study on soil erosion under different soil composition using rainfall simulator. *Plant, Soil and Environment*, 65 (4): 181-188. <https://doi.org/10.17221/68/2019-PSE>
- Herzon I., Raatikainen K. J., When S., Růsina S., Helm A., Cousins S. A. O., Rašomavičius V. 2021. Semi-natural grasslands in boreal Europe: the rise of a socioecological research agenda. *Ecology and Society*, 26 (2): 13. <https://doi.org/10.5751/ES-12313-260213>
- Hossain M. M., Begum M. 2015. Soil weed seed bank: importance and management for sustainable crop production – a review. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13 (2): 221-228. <https://doi.org/10.3329/jbau.v13i2.28783>
- Janicka M. 2006. Species composition of the soil seed bank in comparison with the floristic composition of meadow sward. *Grassland Science in Europe*, 11: 200-203.
- Janicka M. 2016. The evaluation of soil seed bank in two arhenatherion meadow habitats in Central Poland. *Acta Scientiarum Polonorum Agricultura*, 15 (4): 25-38.
- Jankauskas B., Jankauskienė G. 2003. Long-term soil erosion studies on the Žemaičiai Upland: 2. Intensity of water erosion. *Zemdirbyste-Agriculture*, 82 (2): 20-34 (in Lithuanian).
- Jarašiūnas G., Kinderienė I. 2016. Impact of agro-environmental systems on soil erosion processes and soil properties on hilly landscape in Western Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 24 (1): 60-69. <https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1054289>
- Jastrzębska M., Jastrzębski W. P., Holdyński C., Kostorzewska M. K. 2013. Weed species diversity in organic and integrated farming systems. *Acta Agrobotica*, 66 (3): 113-124. <https://doi.org/10.5586/aa.2013.045>
- Kulik M. 2014. Changes of biodiversity and species composition of Molinia meadow depending on use method. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23 (3): 11-20.
- Kurdyukova O. M. 2018. Seed production capability of monocotyledonous and dicotyledonous weeds in segetal and ruderal habitats. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8 (1): 153-157. [https://doi.org/10.15421/2018\\_200](https://doi.org/10.15421/2018_200)
- Lange M., Eisenhauer N., Sierra C. A., Bessler H., Engels C., Griffiths R. I., Mellado-Vázquez P. G., Malik A. A., Roy J., Scheu S., Steinbeis S., Thomson B. C., Trumbore S. E., Gleixner G. 2015. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6: 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms7707>
- Lewis T. D., Rowan J. S., Hawes C., McKenzie B. M. 2013. Assessing the significance of soil erosion for arable weed seedbank diversity in agro-ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 37 (5): 622-641. <https://doi.org/10.1177/0309133313491131>
- Lietuvos dirvožemiai [Lithuanian soils]. 2001. Lietuvos mokslas. Kn. 32, p. 745-747 (in Lithuanian).
- López-i-Gelats F., Bartolomé J. 2007. The effects of agricultural abandonment on botanical diversity in mountain hay meadows. *Grassland Science in Europe*, 12: 404-409.
- Lopez-Marino A., Luis-Calabuig E., Fillat F., Bermudez F. F. 2000. Floristic composition of established vegetation and the soil seed bank in pasture communities under different traditional management regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 78: 273-282. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00000-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00000-0)
- Nekrošienė R., Skuodienė R. 2012. Changes in floristic composition of meadow phytocenoses, as landscape stability indicators, in protected areas in Western Lithuania. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21 (3): 703-711.
- Peeters A. 1989. *Management, vegetation and feeding quality of grasslands: study of their triangular relationships in forage systems: doctoral dissertation*. University of Louvain, Belgium, 287 p. (in French).
- Pruchniewicz D., Zolnierz L. 2016. The influence of *Calamagrostis epigejos* expansion on the species composition and soil properties of mountain mesic meadows. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 86 (1): 351-6. <https://doi.org/10.5586/asbp.3516>
- Pupalienė R., Jodaugienė D., Sinkevičienė A., Bajorienė K. 2012. Effect of different organic mulches on weed seed bank. *Žemės ūkio mokslai*, 19 (1): 20-26 (in Lithuanian). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v19i1.2233>
- Raudomius S. 2017. Application of statistics in plant and crop research: important issues. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104 (4): 377-382. <https://doi.org/10.13080/z-a.2017.104.048>
- Sendžikaitė J., Pakalnis R., Gudžinskas Z. 2013. Changes in botanical diversity of sown grasslands due to naturalization and extensive management. *Botanica Lituonica*, 19 (2): 99-110. <https://doi.org/10.2478/bohtit-2013-0013>
- Skuodienė R. 2004. Comparison of grasslands botanical composition determination by weight and handful (De Vries) methods. *Zemdirbyste-Agriculture*, 87 (3): 145-156 (in Lithuanian).

- Skuodienė R., Kinderienė I., Tomchuk D., Šlepetyš J., Karčauskienė D. 2020. Root development of temporary and permanent grasslands and their anti-erosion significance on a hilly terrain. *Zemdirbyste-Agriculture*, 107 (3): 209–216. <https://doi.org/10.13080/z-a.2020.107.027>
- Smith R. S., Shiel R. S., Millward D., Corkhill P. I., Sanderson R. A. 2002. Soil seed banks and the effects of meadow management on vegetation change in a 10-year meadow field trial. *Journal of Applied Ecology*, 39: 279–293. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00715.x>
- Tribot A.-S., Deter J., Mouquet N. 2018. Integrating the aesthetic value of landscapes and biological diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285 (1886): 20180971. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0971>
- Uogintas D., Rašomavičius V. 2020. Impact of short-term abandonment on the structure and functions of semi-natural dry grasslands. *Botanica*, 26 (1): 40–48. <https://doi.org/10.2478/botlit-2020-0004>
- Wagner M., Poschold P., Setchfield R. P. 2003. Soil seed bank in managed and abandoned semi-natural meadows in Soomaa National Park, Estonia. *Annales Botanici Fennici*, 40: 87–100.
- Wainwright J., Parsons A. J., Schlesinger W. H. 2002. Hydrology–vegetation interactions in areas of discontinuous flow on a semi-arid bajada, Southern New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 51 (3): 319–338. <https://doi.org/10.1006/jare.2002.0970>
- WRB. 2015. World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports No. 106.

## Apleisto žolyno bendrijos ir dirvožemio sėklų bankas kalvotame reljefe

R. Skuodienė, V. Matyžiūtė

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vėžaičių filialas

### Santrauka

Žolynų svarba yra glaudžiai susijusi su biologine įvairove ir dirvožemio sveikata. Augalų įvairovės pokyčiai priklauso nuo aplinkos sąlygų ir žolynų priežiūros. Tyrimo tikslas – nustatyti apleistumo įtaką žolynų bendrijai ir dirvožemio sėklų bankui kalvoto reljefo sąlygomis. Eksperimentas buvo įrengtas LAMMC Vėžaičių filiale, kalvotame Žemaičių Aukštumos reljefe. Analizuoti 9–11<sup>o</sup> statumo šlaituose įrengto dirvožemio erozijos eksperimento ilgalaikio monitoringo duomenys. Pietinės ekspozicijos šlaito dirvožemis – menkai eroduotas nepasotintasis balkšvažemis. Siekiant kalvą apsaugoti nuo erozijos, 1993 m. skirtingose kalvos dalyse (viršūnėje, šlaite ir pašlaitėje) buvo pasėtas penkių žolių mišinys: pašarinis motiejukas (*Phleum pratense* L.) 20 %, raudonasis eraičinas (*Festuca rubra* L.) 20 %, pievinė miglė (*Poa pratensis* L.) 20 %, baltasis dobilas (*Trifolium repens* L.) 20 % ir paprastasis garždenis (*Lotus corniculatus* L.) 20 %. Po 27 metų buvo nustatytos 56 induočių augalų rūšys. Sėtų rūšių santykinis gausumas (P %) buvo 17,2, 23,9 ir 27,2 % atitinkamai kalvos viršūnėje, šlaite ir pašlaitėje. Geras *F. rubra* augimas nepriklausė nuo to, kad žolynas buvo visiškai nenaudojamas. Kitų sėtų augalų rūšių santykinis gausumas žymiai sumažėjo visose kalvos dalyse. Žolynuose išplito menkaverčiai augalai (*Elytrigia repens* L., *Cirsium arvense* L. ir *Equisetum arvense* L.). Apleistų žolynų dirvožemio sėklų banką sudarė ariamų laukų piktžolės: kalvos viršūnės dirvožemio sėklų banke (0–15 cm gylyje) vyraujanti rūšis buvo *Chenopodium album*, o kalvos šlaito dirvožemio sėklų banke vyravo *Stellaria media*, atitinkamai 31,3 ir 18,4 % bendro sėklų skaičiaus.

Reikšminiai žodžiai: apleista pieva, augalų rūšys, dirvožemio sėklų bankas, floristinis panašumas, santykinis gausumas, šlaitų ekotopai.

Article

# Soil Seed Bank in a Pre-Erosion Cereal-Grass Crop Rotation

Regina Skuodienė \*  and Vilija Matyžiūtė

Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry Vezaiciai Branch, Gargzdu Str. 29, Vezaiciai LT-96216, Klaipėda District, Lithuania

\* Correspondence: regina.skuodiene@lammc.lt; Tel.: +370-616-03-874

**Abstract:** Soil erosion by water is a serious environmental problem. It is very important to form agrophytocenosis, which is productive on hilly terrain and could effectively protect the soil from erosion. The aim of the study was to examine the impact of a hilly relief on the changes of seeds in a soil of pre-erosion cereal-grass crop rotation. The study included different parts of the hill (summit, midslope, and footslope). The southern exposition slope's soil was slightly eroded Eutric Retisol (loamic) (RT-eu.lo), and the steepness of the slope was 9–11°. The seed bank was investigated at the depths of 0–5 and 5–15 cm. The number of seeds in the soil seed bank during autumn was 20.4% higher than in the spring. The highest number of seeds in the autumn was determined on the summit (40.6 thousand seeds m<sup>-2</sup>). The highest count during the spring was determined on the midslope of the hill (36.4 thousand seeds m<sup>-2</sup>). In general, in the soil seed bank of the midslope of the hill, the number of seeds was by 7.8% and 42.4% higher compared to the summit and footslope parts. The highest seed reserve was found in the soil at a 0–5 cm depth (59.4% of the total seed number).

**Keywords:** hilly relief; seed bank changes; vertical distribution; seed and plant species; segetal plants; floristic similarity



**Citation:** Skuodienė, R.; Matyžiūtė, V. Soil Seed Bank in a Pre-Erosion Cereal-Grass Crop Rotation. *Plants* **2022**, *11*, 2636. <https://doi.org/10.3390/plants11192636>

Academic Editor: Alberto Gianinetti

Received: 15 September 2022

Accepted: 4 October 2022

Published: 7 October 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The weed seed bank is the reserve of the viable weed seeds that are present on the soil surface and scattered in the soil profile. It consists of both new weed seeds recently shed and older seeds that have persisted in the soil for several years [1]. The weed incidence is largely based on the contamination of soil by weed seeds, the biological properties of the cultivated plant, and its overshadowing abilities [2,3]. The alterations of weed communities and the contamination of soil by weed seeds appears because of differences in soil pH, pedological aspects, and crop management [4]. The seed bank extent and a high number of species influence the dynamics of vegetation [5]. Soil tillage also has a significant influence on the dynamics of seeds [6,7]. The highest seed reserves are found in the upper soil layer (0–5 cm) [8,9] and gradually decrease moving down the soil profile [10].

Kumar et al. [11], determined that under reduced tillage systems such as chisel ploughing, approximately 80–90% of the weed seeds are distributed in the top ten centimetres of the soil profile. In no-till fields, the majority of weed seeds remain at or near the soil surface.

Tillage systems cause changes in the density and composition of soil weed seed bank [12,13], especially in weed seed composition in the upper 0–15 cm soil layer [14]. Studies showed that the highest number of weed seed species was found in the treatments with reduced and no-tillage treatments in a soil layer of 0–5 cm. In deeper soil layers (5–10, 10–20 cm), no differences in weed seed species number were found [15]. The species richness decreased with increases in soil depth [16]. Although seed banks and the resulting weed populations are composed of many species, a few dominant species generally comprise 70–90% of the total seed bank [8].

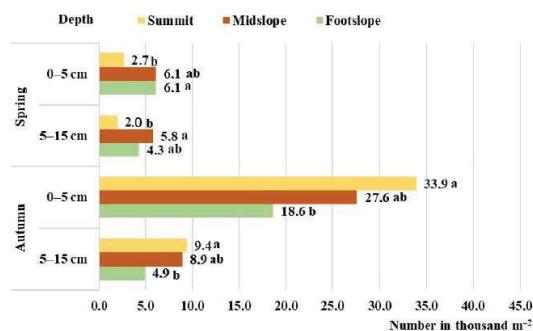
About 14% of Lithuania's agricultural land is eroded, but this number is higher in a hilly relief, where it reaches up to 25–53% [17]. Due to uneven soil erosion in select

parts of the hill, different conditions in the hilly topography become present for the plant development, including differences in soil humidity, acidity, richness in nutrients, humus, and others [18]. It is believed that the microclimatic conditions of hilly relief influence crop weediness and soil seed bank. The aim of the study was to examine the impact of a hilly relief on the changes of seeds in a soil of pre-erosion cereal-grass crop rotation.

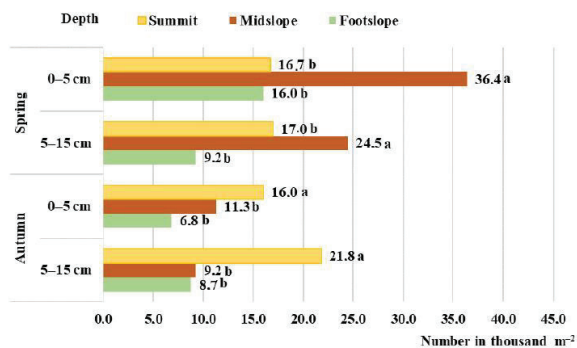
## 2. Results

### 2.1. Soil Seed Bank and Vertical Profile

In the spring of 2020 under the conditions of hilly relief in the soil seed bank at the depth of 0–15 cm ( $p \leq 0.01$ ), the smallest number of seeds (4.8 thousand seeds  $m^{-2}$ ) was determined in the soil of the summit of the hill, while the highest (12.0 thousand seeds  $m^{-2}$ ) number of seeds was found in the midslope part of the hill (Figure 1). In 2021, the smallest number of seeds (25.4 thousand seeds  $m^{-2}$ ) was determined in the footslope of the hill, ( $p \leq 0.01$ ), while the highest (60.9 thousand seeds  $m^{-2}$ ) number of seeds was found in the midslope part of the hill (Figure 2).



**Figure 1.** The number of seeds in a pre-erosion cereal-grass crop rotation soil in 2020. Letters “a” and “b” indicate significant ( $p < 0.05$ ) differences between the means.



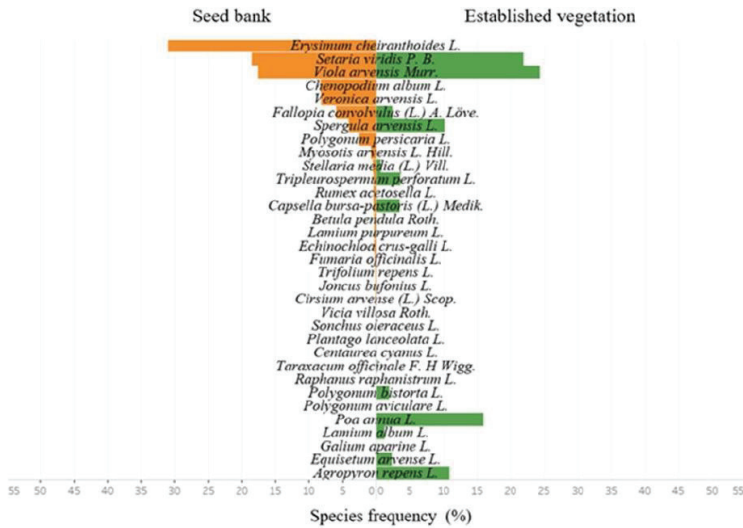
**Figure 2.** The number of seeds in a pre-erosion cereal-grass crop rotation soil in 2021. Letters “a” and “b” indicate significant ( $p < 0.05$ ) differences between the means.

Analysing the soil seed bank in the autumn of 2020 and 2021, a similar tendency was found. Significantly ( $p \leq 0.01$ ), the smallest (23.6 and 15.5 thousand seeds  $m^{-2}$ ) number of seeds was determined in the soil of the summit of the hill, while the highest (43.4 and 37.9 thousand seeds  $m^{-2}$ ) number of seeds was found in the midslope part of the hill, respectively, in 2020 and 2021 (Figures 1 and 2).

The seed number in the upper and lower arable soil layers differed. In spring, in the seed bank of the upper (0–5 cm depth) soil layer, the seed number ranged from 53.1 to 60.9% of the total seed number, while in autumn, the number of seeds at the same depth was determined to be higher by 1.0–17.9%, and this formed from 60.2 to 65.3% of the total seed number. In all examined cases, the highest number of weeds was determined in the footslope part of the hill, while the smallest was in the summit (Figures 1 and 2).

## 2.2. Soil Seed Bank Composition and Comparison with Segetal Plant (Weeds) in Crops

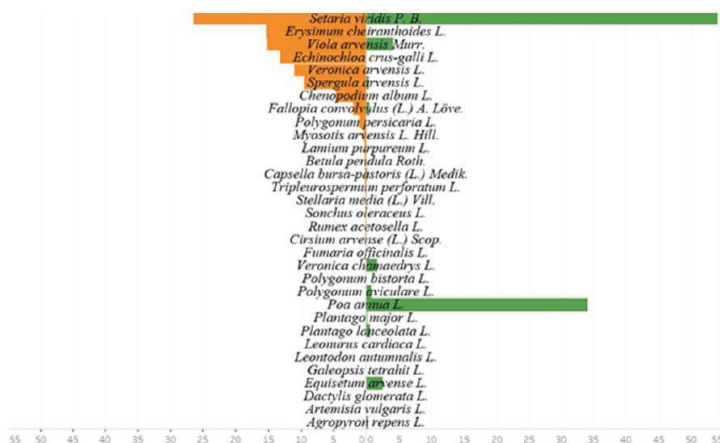
During the research, 22 seed species were found in the soil seed bank in 2020 and 21 seed species were found in 2021. The species of dicotyledonous plants formed 95.5 and 90.5% of all founded species, respectively, in 2020 and 2021 (Figures 3 and 4).



**Figure 3.** Percentage frequency of the species content of the seed bank in spring (left) and established vegetation in first assessment (right) in 2020–2021.

According to the data of the dispersive analysis, hill parts had the essential influence on the number of species of segetal plants in the arable soil layer. In all the study years, in the footslope of the hill, the number of discovered seed species was significantly higher (11–12 species) compared to the summit and midslope.

In the spring of 2020, the seeds of *Chenopodium album* L. and *Viola arvensis* Murr. were found in all parts of the hill, and they comprised 64.3, 74.8, and 52.5% of the total seed number in the soil seed bank, respectively, in the summit, midslope, and footslope of the hill.



**Figure 4.** Percentage frequency of the species content of the seed bank in autumn (left) and established vegetation in the second assessment (right) in 2020–2021.

In the autumn (2020), the seeds of *Setaria viridis* P. B. were mostly found in the summit (79.8%); the seeds of *Erysimum cheiranthoides* L. (40.0%) and *Veronica arvensis* L. (30.0%) in the midslope; and the seeds of *Viola arvensis* (27.1%), *Veronica arvensis* (20.9%), and *Erysimum cheiranthoides* (20.9%) in the footslope of the hill. The seeds of *Chenopodium album* and *Viola arvensis* comprised only 13.4, 13.6, and 31.2% of the total seed number in the seed bank, respectively, in the summit, midslope, and footslope of the hill.

In the spring of 2021, the seeds of *Setaria viridis* were mostly found in the summit (58.1%); the seeds of *Erysimum cheiranthoides* (60.0%) in the midslope; and the seeds of *Erysimum cheiranthoides* (32.1%), *Viola arvensis* (16.3%), and *Veronica arvensis* (12.5%) in the footslope of the hill.

In the autumn (2021), the seeds of *Echinochloa crus-galli* L. were found in the summit of the hill (55.2%), while the seeds of *Viola arvensis* were found in the midslope and footslope parts (24.3 and 26.6%).

The seeds of *Chenopodium album*, *Viola arvensis*, *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve, *Setaria viridis*, and *Veronica arvensis* were found in all parts of the hill. The seeds of *Betula pendula* Roth. and *Spargula arvensis* L. were found only in the summit, the seeds of *Myosotis arvensis* L. Hill were found only in the midslope, and the seeds of *Lamium purpureum* L. were found only in the footslope part of the hill.

The average data of 2020 and 2021 showed that the soil seed bank in spring consisted of 24 species of plant seeds, while 20 segetal species were found in crops during the first assessment. Comparing the species composition of the seed bank and weed species composition in crops in spring, 11 common plant species were determined. *Viola arvensis* (17.6% in the seed bank; 24% in crops); *Setaria viridis* (18.5% in the seed bank; 21.9% in crops); and *Spargula arvensis* (4.1% in the seed bank; 10.3% in crops) formed the majority (Figure 3). In the soil seed bank in spring, the seeds of *Erysimum cheiranthoides* comprised a third part (30.9%). However, during the first assessment this species was not determined in crops.

The soil seed bank in autumn consisted of 19 species of seeds, while 21 segetal species were found in crops. Comparing the species composition of the soil seed bank and the

weed species composition in crops during the second assessment, eight common plant species were determined. The most dominant species were *Viola arvensis* (15.2% in the seed bank; 4.1% in crops) and *Setaria viridis* (26.5% in the seed bank; 54.1% in crops) (Figure 4). In autumn, *Setaria viridis* (54.1%) and *Poa annua* L. (34.1%) overshadowed crops the most. *Setaria viridis* (26.5%), *Viola arvensis* Murr. (15.2%), and *Echinochloa crus-galli* (13.2%) composed a great part of the soil seed bank.

The research showed that in the footslope soil of the hill, an average of 1.2 to 1.7 times more seed species were found compared to other parts of the hill. In most cases, the closest in species composition ( $C_s = 0.71$ – $0.89$ ) was the soil seed bank in the midslope and footslope of the hill, while the least similar ( $C_s = 0.44$ – $0.74$ ) was the soil seed bank in the summit and footslope parts (Table 1).

**Table 1.** Floristic similarity coefficients of Sørensen ( $C_s$ ).

Parts of the Hill	Floristic Similarity Between Parts of the Hill					
	Spring		Autumn			
	2020	2021	2020	2021		
Summit and midslope	0.70	0.75	0.83	0.70		
Summit and footslope	0.44	0.71	0.74	0.67		
Midslope and footslope	0.71	0.77	0.74	0.89		
Floristic similarity between autumn in 2020 and spring in 2021						
	summit		midslope		footslope	
Summit	0.75					
Midslope			0.91			
Footslope					0.79	

Due to recurring difficulties in accomplishing crop management tasks in time, *Setaria viridis* spread in crops in 2020. Therefore, the species composition of the seed bank in the spring of 2021 was especially similar to the seed bank in the autumn of 2020 (in the summit— $C_s = 0.75$ , in the midslope— $C_s = 0.91$  and in the footslope— $C_s = 0.79$ ).

Edaphic factors such as soil moisture, acidity, and nutrition are very important to the growth and development of crops and segetal plants. It was found that 43.3%, 48.4%, and 48.5% of all vascular plants of the cereal-grass crop rotation in the soil of the summit, the midslope, and the footslope of the hill, respectively, were mesophyte species. Soil acidity was not a determining factor for the higher part (57.1%) of plants. The higher part of mesotrophic and eutromesotrophic plants were found in the footslope part (29.7% and 34.7%, respectively).

### 3. Discussion

#### 3.1. Soil Seed Bank and Vertical Profile

The weed soil seed bank is of interest in agroecosystems as a major source of weed infestation in fields and as a reservoir of plant and seed-feeder diversity [19]. The number of seeds in the soil is dynamic. Annually, the part of the seeds that enter the soil become dormant, and the other part of the seeds decay [20]. Although sampling time may depend on research goals for vegetation types with a winter standstill period, late autumn sampling is suggested for detecting the entire soil seed bank, whilst late spring sampling is recommended for the examination of its persistent part [21].

According to Butkevičienė et al. [22], the research data show that 20.2 to 71.4 thousand weed seeds can be found in 1 m<sup>2</sup> of the cultivated soil in the depth of 0–20 cm. In 1 m<sup>2</sup> of the uncultivated soil (natural meadow) in the depth of 0–15 cm, 4.3 thousand weed seeds were found [23]. The average data of 2020 and 2021 show that in the depth of 0–15 cm of the pre-erosion cereal-grass crop rotation soil, the number of seeds reached 29.9, 32.5, and 18.7 thousand, respectively, in the summit, the midslope, and the footslope parts of the hill.



Considering the hilly relief conditions, the number of seeds in the soil seed bank during autumn was 20.4% higher than in spring. The highest number of seeds in autumn was determined in the summit (40.6 thousand seeds  $m^{-2}$ ).

The influence of meteorological conditions (precipitation) on soil contamination by plant seeds was observed in our study. Due to variations in humidity as well as the impact of soil biota [24,25] after the autumn-winter period in spring, the seed bank was 2.1 times smaller in the summit of the hill compared to autumn. The seed number decreases together with increasing precipitation, thus, showing strong negative correlations:  $y = 260.068 - 0.004x$ ,  $r = -0.817$ ,  $p \leq 0.05$ . The highest number of seeds during spring was determined on the midslope of the hill (36.4 thousand seeds  $m^{-2}$ ). This could have been caused by seed transportation due to precipitation [26].

The number of weed seeds is very diverse in both the horizontal as well as vertical directions. The redistribution of fallen seeds is mostly caused by natural processes and soil management [6,27,28]. The majority of seeds are in rest; therefore, the viable seeds can be accumulated in the soil for several or even more than ten years [29]. Only the seeds that are present in the upper soil layers can germinate, while the seeds that are present in the deeper soil layers only make the potential reserves [30]. Changes in land-use and management practices influence the distribution of seeds in the soil and the established vegetation [31]. By reducing soil tillage, the seeds of segetal plants concentrate in the upper soil layer, unlike in the soil with deep ploughing applied [32]. In our research under the conditions of hilly relief, reduced soil cultivation was applied. In this way, the number of seeds in the depth of 0–5 cm increased (from 56.7 to 61.2 %) in the downslope direction.

The literature showed that in reduced soil tillage treatments the number of weed seeds was 1.6 times greater than in conventional ploughing plots. The type of tillage strongly influenced the vertical seed placement in the soil. The annual application of the shallow ploughless tillage mostly influenced soil contamination with weed seeds (72.3% of the total seed number) at the depth of 0–10 cm. At the same depth, 61.1% of weed seeds were found after the use of shallow ploughing, and 43.7% of weed seeds of the total seed number were found after the use of conventional ploughing [33]. Feledyn-Szewczyk et al. [13] also confirm that under direct sowing, most weed seeds were accumulated in the top soil layer of 0–5 cm, while in the ploughing system, most weed seeds were found in deeper layers: 5–10 and 10–20 cm. Reduced tillage allows the bulk of the seed produced in the previous year to remain in the most superficial layer of soil, leading to its extensive germination and emergence in subsequent years [34].

### 3.2. Soil Seed Bank Composition and Comparison with Segetal Plants in Crops

Researchers identify different numbers of plant species in the soil. A high variation of plant species (38 and 53) was found in Belgium and France [35,36]; other studies recorded from 5 to 19 species [15,19,32,37,38], and in our research, 25 plant species were identified.

The composition of the soil seed bank depends on the plant communities appearing in a particular area at present and in the past, as well as on the biological properties of plants [31]. The plants that germinated, grew, and developed on the hilly topography had different conditions [39]. While the amount of physical clay and mud increased on the lower parts of the slope, the humidity reserves increased, as well as the amount of humus and nutrients, and the acidity also decreased (Table 2).

**Table 2.** Agrochemical and physical properties of the arable (0–15 cm) soil layer (2020).

Soil Properties	Part of the Hill					
	Summit		Midslope		Footslope	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
Soil acidity (pH <sub>KCl</sub> )	5.6	5.4	5.3	5.1	5.1	5.1
Mobile P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	192	201	165	168	149	148
Mobile K <sub>2</sub> O (mg/kg)	209	112	198	98	223	107
Total N (%)	0.078	0.077	0.097	0.096	0.106	0.101
Organic C (%)	0.9	0.8	1.1	1.0	1.1	1.0
Soil texture	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam
Sand (%)	79.2	77.4	75.6	75.9	73.0	69.7
Silt (%)	15.5	17.8	19.0	18.8	19.0	22.5
Clay (%)	5.3	4.8	5.4	5.3	8.0	7.8
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	12.1–16.1	11.9–14.7	15.4–21.2	14.1–19.4	17.8–21.8	16.9–20.6

<sup>1</sup>—Min–max. values during the growing season.

It is usually indicated that only a few species compose the highest part of the soil seed bank. The authors indicated that soils are mostly contaminated by the seeds of *Chenopodium album* L. [22,40,41], whose annual decline rates were about 14–41% [42]. In our research, the seeds of *Chenopodium album* prevailed in the soil seed bank in the spring of 2020, while in the autumn (2020) and in the spring and autumn of 2021, they comprised from 2.5 to 10.8% of the whole seed bank. *Viola arvensis* seeds were also found in all the research treatments. These results are in accordance with previous studies, which indicated that the seed bank is composed of the few dominant weed species [15,23,43,44]. This process is determined by their biological properties—a high number of seeds (*Chenopodium album*) [45] and less sensitivity to herbicides (*Viola arvensis*) [46]. The results of the research confirm that, due to limited viability, most of the segetal plants' species do not compose persistent seed banks. The literature indicates that they only maintain a transient seed bank and, therefore, were absent from the seed bank at the time of sampling. On the other hand, it cannot be excluded that other species were not detected due to a lack of appropriate conditions for germination [47].

Composition of the seed bank can also be assessed as the indicator of crop management success and failure. Sadrabadi Haghghi et al. [41] showed that although crop type in a single year significantly affected the weed functional group and cover of individual species, it did not change the weed functional group and composition in the seed bank in the following year.

In the crops of spring barley and spring wheat, agricultural and segetal plants usually begin to germinate together. As the seeds of segetal plants are mostly bloated and the weather in the Baltic States after sowing often becomes cold or dry, agricultural plants stop germinating and segetal plants often germinate earlier. Management intensity therefore impacts directly on many aspects of the seed bank, establishes vegetation relationships, and controls established vegetation, partly through seed bank dynamics involving both temporal and spatial dispersal [48].

In both study years, the similarity of segetal plants' species in crops and seed bank species composition was determined to be minor ( $C_s = 0.10\text{--}0.48$ ). Harbuch [49] indicates that the species of segetal plants in crops are not always detected in the seed bank and not all species of the seed bank can be found in the overground community. However, the samples of the soil seed bank that were collected in the autumn can be well related to the community of segetal plants in the crops of the growing season.

A low correlation coefficient between the number of segetal plants in the field and the seed number in soil shows that high plant densities did not automatically increase the seed bank. Teasdale et al. [50] observed that a high weed cover and corresponding seed production normally lead to an increase in the seed bank when the initial seed number in soil is low. However, when the initial seed bank is high, seed losses can exceed the gains and may reduce the seed bank in the following spring. This may be a major reason why

a close relationship between the field vegetation and the seed bank only occurred when plant numbers fell below  $50 \text{ m}^{-2}$  [51].

#### 4. Materials and Methods

##### 4.1. Site and Soil Description and Experimental Design

The experiment was carried out at the Vėžaičiai Branch of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, on the midslope soil of Žemaičiai Highland covered by different anti-erosion agrophytocenoses [52] in Kaltinėnai (lat.  $55^{\circ}57' \text{ N}$ , long.  $22^{\circ}48' \text{ E}$ ,  $185.0 \text{ m a. s. l.}$ ). The steepness of the slope was  $9\text{--}11^{\circ}$ . The soil of the southern exposition slope was slightly eroded Eutric Retisol (loamic), according to WRB [53], with a texture of sandy loam. The agrochemical and physical properties of the soil are presented in Table 2.

The research slope was 65 metres in length and the strip was 3.2 metres in width. The study included different parts of the hill (summit, midslope and footslope).

The six-course crop rotation consisted of *Hordeum vulgare* L. with under-sown perennial grasses: *Trifolium pratense* L. 80% and *Phleum pratense* L. 20% (2016), perennial grasses (2018), *Triticum aestivum* L. (winter crop) (2019), *Hordeum vulgare* (2020), and *Triticum aestivum* (spring crop) (2021).

Soil samples were taken from the pre-erosion cereal-grass crop rotation in which crops of *Hordeum vulgare* (2020) and *Triticum aestivum* (2021) had been grown.

All treatments were equally fertilised with granular mineral fertilisers (background fertilisation). The rate of fertiliser  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  was applied for spring barley as well as for spring wheat. Reduced soil cultivation (12–15 cm depth) was applied in spring. The stubble breaking was performed first, followed by cultivation. During winter, stubble was left on the slope to secure its soil from erosion. Before sowing, the grains of spring wheat and spring barley were treated with Kinto (a.i. triticonazole + prochloraze) at a rate of  $2 \text{ L t}^{-1}$ . Plant protection products (pesticides) were used as well: in 2020, at BBCH 32–MCPA (a.i. MCPA 750 g L) 30 mL and Arrat (a.i. dicamba-sodio + tritosulfuron) 10 mL; in 2021, BBCH 33–Trimmer 50 SG (a.i. tribenuron metil)  $15 \text{ g ha}^{-1}$  and Elegant 2FD (a.i. florasulam  $6.25 \text{ g L} + 2,4\text{-D } 300 \text{ g L}$ )  $0,6 \text{ L ha}^{-1}$ .

##### 4.2. Methods of Analysis

To assess the impact of the hill slope on soil contamination by seeds, the seed bank was investigated at the depths of 0–5 and 5–15 cm. The seed bank was estimated from soil samples taken in the spring (April) and autumn (September) of 2020 and 2021. In each model plot, 2 kg of soil from 20 positions was collected using a hand auger. The soil was dried out. In total, five 100 g samples were removed from 2 kg of soil sample and weighed. Later, the soil samples were wet sieved through a 0.25 mm sieve until all the contents of the soil were washed out. The remaining mineral part of the soil was separated from the organic part and seeds using the saturated salt solution. The seeds were identified using binoculars with  $8.75\times$  magnification. Seed viability was determined by “destructive crushing” using forceps [54]. The number of viable seeds (A) was recalculated to thousands of seeds per  $\text{m}^2$ :

$$A = n \times h \times p \times 100, \quad (1)$$

where A is the number of viable seeds, seeds,  $\text{m}^2$ ; n is the counted number of viable seeds in the soil sample; h is the depth of the plough layer, cm; and p is the soil bulk density,  $\text{g cm}^3$ .

The Latin names of seed species are presented using the book “Fruits and seeds of Lithuanian plants” [55].

The crop weed analysis was carried out in stationary  $0.25 \text{ m}^{-2}$  lots in six different parts of the field. The weediness was evaluated in 2020 in spring barley during BBCH 58 and BBCH 86 stages. In 2021, the weediness was evaluated in the spring barley crop during the stages of BBCH 32 and BBCH 87. During both evaluations, the weed type composition was determined. The number of weeds was recounted by the unit of  $\text{m}^{-2}$ .

To express the floristic similarity of phytocenoses or the similarity of the seed bank and actual vegetation, the coefficient of Sørensen ( $C_s$ ) was used:

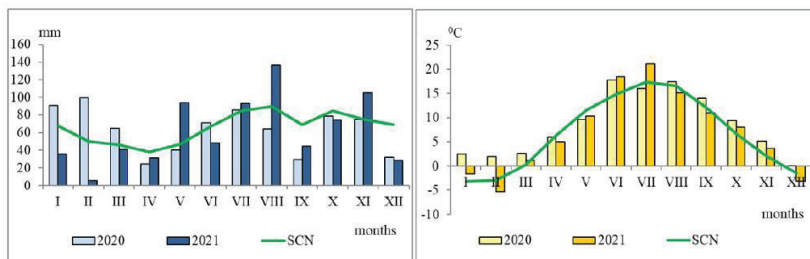
$$C_s = 2w / (A + B), \quad (2)$$

where  $w$  is the number of common species in both situations,  $A$  is the number of species in one of two comparable situations, and  $B$  is the number of species in another situation.

Chemical analyses were carried out at the Chemical Research Laboratory of the Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. Before establishing the experiment, soil agrochemical characteristics were determined from the samples taken from the depths of 0–5 and 5–15 cm. Soil acidity (pH) was measured by the potentiometric method in the extraction of 1 M of KCl ( $pH_{KCl}$ ), according to International standard ISO 10390:2005 (soil quality—determination of pH). In the soil, mobile  $P_2O_5$  and  $K_2O$  were determined using the Egner–Riehm–Domingo (AL) method (LVP D-07:2016), total nitrogen ( $N_{tot}$ ) content by the Kjeldahl method, and organic carbon ( $C_{org}$ ) by the Dumas dry combustion method. Soil bulk density was determined with a 100 cm<sup>3</sup> cylindrical drill by the Kachinsky method. Soil texture was determined by the Fere triangle (FAO recommended method), according to the percentage of sand, silt, and clay fractions in the graphical diagram.

#### 4.3. Agrometeorological Conditions

In 2020, the amount of precipitation throughout the year reached 92.6% of the Standard Climate Norm SCN (Figure 5). During the growing season, the amount of precipitation was by 18.2% lower and in the summertime by 8.8% lower compared to the SCN. Soil moisture at a 0–15 cm depth in the summit of the hill was lower (by 11.9–16.1%) than the optimal moisture for the plants (Table 2).



**Figure 5.** The average daily air temperature (°C) and precipitation (mm) during the study period (2020–2021). SCN—standard climate norm.

In 2021, the amount of precipitation was by 3.4% higher compared to the SCN (Figure 5). During the growing season and summertime, the amount of precipitation was by 8.6 and 15.0% higher compared to the SCN. The soil in the midslope and footslope of the hill was on average by 14.0–25.2% more humid compared to the summit.

#### 4.4. Statistical Analysis

The significance of the differences between the means was determined according to the Fisher’s protected Least Significant Difference (LSD) at a 0.05 probability level. The experimental data were subjected to the analysis of variance (ANOVA) [56]. The actual data of the seed bank were transformed ( $Sqr(x + 1)$ ).

## 5. Conclusions

In spring (the beginning of plant vegetation), the seed number in the soil of the midslope of the hill was determined to be higher by 1.9 and 2.0 times compared to the summit and footslope of the hill. In autumn (the end of plant vegetation), the seed number in the soil of the summit of the hill was determined to be higher by 1.4 and 2.1 times compared to the midslope and footslope of the hill.

The number of seeds at the soil depth of 0–5 and 5–15 cm changed depending on the relief. In the top-soil layer, the number of seeds increased in the downslope direction by 56.7%, 60.4%, and 61.2%, respectively, in the summit, midslope, and footslope parts of the hill.

The seeds of *Chenopodium album*, *Viola arvensis*, *Fallopia convolvulus*, *Setaria viridis*, and *Veronica arvensis* were found in all parts of the hill. The seeds of *Betula pendula* and *Spergula arvensis* were found only in the summit, the seeds of *Myosotis arvensis* were found only in the midslope, and the seeds of *Lamium purpureum* were found only in the footslope part of the hill.

The closest in species composition ( $C_s = 0.71$ – $0.89$ ) was the soil seed bank in the midslope and footslope of the hill, while the least similar ( $C_s = 0.44$ – $0.74$ ) was the soil seed bank in the summit and footslope parts. The floristic similarity of segetal plants' species in crops and seed bank species composition in all parts of the hill was determined to be minor ( $C_s = 0.10$ – $0.48$ ).

**Author Contributions:** This work was a product of the joint effort of R.S. and V.M., and the authors equally contributed to the manuscript writing and revisions. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** Supported by the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry within the program "Productivity and sustainability agrogenic and forest soils".

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Singh, A.; Kaur, R.; Kang, J.S.; Singh, G. Weed dynamics in rice-wheat cropping system. *Glob. J. Biol. Heal. Sci.* **2012**, *1*, 7–16.
2. Maikštėnienė, S.; Velykis, A.; Arlauskienė, A.; Satkus, A. Javų stelbiamosios gebos įtaka sunkiuose priemoliuose plintančioms piktžolėms [Investigations of weed-suppressing ability of cereals on clay loam soils]. *LŽŪU Moksl. Darb.* **2006**, *72*, 25–32. (In Lithuanian)
3. Starkutė, R.; Bundinienė, O.; Zalatorius, V. Tręšimo įtaka piktžolių paplitimui ir įvairovei pupų pasėlyje. [Influence of fertilization on weed distribution and diversity in bean crop]. *Sodininkystė Daržininkystė.* **2018**, *37*, 3–4. (In Lithuanian)
4. Skuodienė, R.; Repšienė, R.; Karčauskienė, D.; Šiaudinis, G. Assessment of the weed incidence and weed seed bank of crops under different pedological traits. *Appl. Ecol. Environ. Res.* **2018**, *16*, 1131–1142. [[CrossRef](#)]
5. Matus, G.; Papp, M.; Tothmeresz, B. Impact of management on vegetation dynamics and seed bank formation of inland dune grassland in Hungary. *Flora.* **2005**, *200*, 296–306. [[CrossRef](#)]
6. Moonen, A.C.; Barberi, P. Size and composition of the weed seedbank after 7 years of different cover-crop-maize management systems. *Weed Res.* **2004**, *44*, 163–177. [[CrossRef](#)]
7. Skuodienė, R.; Karčauskienė, D.; Čiuberkis, S.; Repšienė, R.; Ambrazaitienė, D. The influence of primary soil tillage on soil weed seed bank and weed incidence in a cereal-grass crop rotation. *Zemdirbyste.* **2013**, *100*, 25–32. [[CrossRef](#)]
8. Gselman, A.; Kramberger, B. Longevity and vertical distribution of dandelion (*Taraxacum officinale* F. Weber.) seeds in meadow soil. *Grassland Sci. Eur.* **2004**, *9*, 252–254.
9. Janicka, M. Species composition of the soil seed bank in comparison with the floristic composition of meadow sward. *Grassl. Sci. Eur.* **2006**, *11*, 200–203.
10. Erfanzadeh, R.; Hendrickx, F.; Maelfait, J.P.; Hoffmann, M. The effect of successional stage and salinity on the vertical distribution of seeds in salt marsh soils. *Flora* **2010**, *205*, 442–448. [[CrossRef](#)]

11. Kumar, A.; Choudhary, T.; Das, S.; Meena, S.K. Weed seed bank: Impacts and management for future crop production. In *Agronomic Crops*; Springer: Singapore, 2019; Volume 2, pp. 207–223.
12. Jose-Maria, L.; Sans, F.X. Weed seedbanks in arable fields: Effects of management practices and surrounding landscape. *Weed Res.* **2011**, *51*, 631–640. [[CrossRef](#)]
13. Feledyn-Szewczyk, B.; Smagacz, J.; Kwiatkowski, C.A.; Harasim, E.; Woźniak, A. Weed Flora and Soil Seed Bank Composition as Affected by Tillage System in Three-Year Crop Rotation. *Agriculture* **2020**, *10*, 186. [[CrossRef](#)]
14. Barberi, P.L.; Cascio, B. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seed bank size and composition. *Weed Res.* **2001**, *41*, 325–340. [[CrossRef](#)]
15. Auškalnienė, O.; Auškalnis, A. The influence of tillage system on diversities of soil weed seed bank. *Agron. Res.* **2009**, *7*, 156–161.
16. Pan, J.; Zhang, L.; Wang, L.; Fu, S. Effects of long-term fertilization treatments on the weed seedbank in a wheat-soybean rotation system. *Glob. Ecol. Conserv.* **2020**, *21*, e00870.
17. *Lietuvos dirvožemiai [Lithuanian soils]*; Lietuvos mokslas: Vilnius, Lithuania, 2001; Volume 32, pp. 745–747. (In Lithuanian)
18. Monstvilaitė, J.; Kinderimė, I. Reljefo įtaka agrofitocenozėms [Effect of relief on agrophytocoenoses]. Agronomic, economic and ecological aspects of crop production on hilly soils. In Proceedings of the Scientific Conference, Kaitinėnai, Lithuania, 25 May 2000; pp. 64–72. (In Lithuanian).
19. Mahé, I.; Cordeau, S.; Bohan, D.A.; Derrouch, D.; Dessaint, F.; Millot, D.; Chauvel, B. Soil seedbank: Old methods for new 1136 challenges in agroecology? *Ann. Appl. Biol.* **2021**, *178*, 23–38. [[CrossRef](#)]
20. Clarence, J.; Swanton, Anil Shrestha, Stevan, Z. Knezevic, Robert, C. Roy, Bonnie, R. Ball-Coelho. Influence of tillage type on vertical weed seedbank distribution in a sandy soil. *Can. J. Plant Sci.* **2000**, *80*, 455–457.
21. Csontos, P. Seed banks: Ecological definitions and sampling considerations. *Community Ecol.* **2007**, *8*, 75–85. [[CrossRef](#)]
22. Butkeviciene, L.M.; Skinuliene, L.; Auželienė, I.; Bogužas, V.; Pupalienė, R.; Steponavičienė, V. The influence of long-term different crop rotations and monoculture on weed prevalence and weed seed content in the soil. *Agronomy* **2021**, *11*, 1367. [[CrossRef](#)]
23. Skuodienė, R.; Matyžaitė, V. Assessment of an abandoned grassland community and the soil seed bank of a hilly relief. *Zemdirbyste* **2022**, *109*, 3–10. [[CrossRef](#)]
24. Franke, A.C.; Lotz, L.A.P.; Van Der Burg, W.J.; Van Overbeek, L. The role of arable weed seeds for agroecosystem functioning. *Weed Res.* **2009**, *49*, 131–141. [[CrossRef](#)]
25. Chee-Sanford, J.; Fu, X. Investigating the role of microorganisms in soil seedbank management. In *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*; Meñdez-Vilas, J., Ed.; Formatex Research Centre: Badajoz, Spain, 2010; Volume 1, pp. 257–266.
26. Lewis, T.D.; Rowan, J.S.; Hawes, C.; McKenzie, B.M. Assessing the significance of soil erosion for arable weed seedbank diversity in agro-ecosystems. *Prog. Phys. Geogr.* **2013**, *37*, 622–641. [[CrossRef](#)]
27. Naylor, R. *Weed Management Handbook*; British Crop Protection Council and Blackwell Science: Oxford, UK, 2002.
28. Armengot, L.; Blanco-Moreno, J.M.; Barberi, P.; Bocci, G.; Carlesi, S.; Aendecker, R.; Berner, A.; Celette, F.; Grosse, M.; Huiting, H.; et al. Tillage as a driver of change in weed communities: A functional perspective. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2016**, *222*, 276–285. [[CrossRef](#)]
29. Špokienė, N.; Jodaugienė, D. *Piktžolės ir jų Naikinimas. [Weeds and Their Removal]*; LŽŪU publishing center: Akademija, Lithuania, 2009; p. 44. (In Lithuanian)
30. Rimkus, K. *Pievytyra [Meadow Research]*; Morkūnas ir ko: Kaunas, Lithuania, 2003; p. 114. (In Lithuanian)
31. Reine, R.; Chocarro, C.; Fillat, F. Soil seed bank and management regimes of semi-natural mountain meadow communities. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2004**, *104*, 567–575. [[CrossRef](#)]
32. Auškalnienė, O.; Kadžienė, G.; Janušauskaitė, D.; Supronienė, S. Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste* **2018**, *105*, 221–226. [[CrossRef](#)]
33. Skuodienė, R.; Karčauskienė, D.; Feiza, V.; Feizienė, D.; Repšienė, R.; Šiaudinis, G. Changes in weed flora under the influence of long term application of liming and reduced soil tillage. *Zemdirbyste* **2020**, *107*, 25–32. [[CrossRef](#)]
34. Gruber, S.; Claupein, W. Effect of tillage intensity on weed infestation in organic farming. *Soil Tillage Res.* **2009**, *105*, 104–111. [[CrossRef](#)]
35. De Cauver, B.; Van der Berge, K.; Cougnon, M.; Bulcke, R.; Reheul, D. Weed seedbank responses to 12 years of applications of composts, animal slurries or mineral fertilisers. *Weed Res.* **2009**, *50*, 425–435. [[CrossRef](#)]
36. Cordeau, S.; Baudron, A.; Busset, H.; Farcy, P.; Vieren, E.; Smith, R.G.; Munier-Jolain, N.; Adeux, G. Legacy effects of contrasting long-term integrated weed management systems. *Front. Agron.* **2022**, *3*, 769992. [[CrossRef](#)]
37. Lutman, P.J.W.; Gussans, G.W.; Wright, K.J.; Wilson, B.J.; Wright, G.M.N.; Lawson, H.M. The persistence of seeds of 16 weed species over six years in two arable fields. *Weed Res.* **2002**, *42*, 231–241. [[CrossRef](#)]
38. Köllmann, P.; Waldhardt, R. Farming intensity affects soil seedbank composition and spontaneous vegetation of arable weeds. *Diversity* **2022**, *14*, 111. [[CrossRef](#)]
39. Jarašiūnas, G.; Kinderienė, I. Impact of agro-environmental systems on soil erosion processes and soil properties on hilly landscape in Western Lithuania. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* **2016**, *24*, 60–69. [[CrossRef](#)]
40. Pilipavičius, V.; Aliukonienė, I.; Romanekas, K. Chemical weed control in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) crop of early stages of development: I. Crop weediness. *J. Food Agric. Environ.* **2010**, *8*, 206–209.

41. Sadrabadi Haghighi, R.; Critchley, N.; Leifert, C.; Eyre, M.; Cooper, J. Individual and interactive effects of crop type and management on weed and seed bank composition in an organic rotation. *Int. J. Plant Prod.* **2013**, *7*, 243–268.
42. Efthimiadou, A.P.; Karkanis, A.C.; Bilalis, D.J.; Efthimiadis, P. Review: The phenomenon of crop-weed competition; a problem or a key for sustainable weed management? *J. Food Agric. Environ.* **2009**, *7*, 861–868.
43. Pilipavičius, V. Changes in soil weed seed bank according to spring barley maturity stages. *Agron. Res.* **2004**, *2*, 217–226.
44. Janicka, M. The evaluation of soil seed bank in two arrhenatherion meadow habitats in Central Poland. *Acta Sci. Pol. Agric.* **2016**, *15*, 25–38.
45. Grundy, A.C.; Mead, A.; Burston, S.; Overs, T. Seed production of *Chenopodium album* in competition with field vegetables. *Weed Res.* **2004**, *44*, 271–281. [[CrossRef](#)]
46. Degenhardt, R.F.; Harker, K.N.; Topinka, A.K.; McGregor, W.R.; Hall, L.M. Effect of Herbicides on Field Violet (*Viola arvensis*) in Four Direct-Seeded Canola Management Systems. *Weed Technol.* **2005**, *19*, 608–622. [[CrossRef](#)]
47. Wagner, M.; Poschold, P.; Setchfield, R.P. Soil seed bank in managed and abandoned semi-natural meadows in Soomaa National Park, Estonia. *Ann. Bot. Fenn.* **2003**, *40*, 87–100.
48. Auestad, I.; Rydgren, K.; Spindelböck, J.P. Management history affects grassland seed bank build-up. *Plant Ecol.* **2013**, *214*, 1467–1477. [[CrossRef](#)]
49. Harbuch, K.S.B. Weed Seedbank Dynamics and Composition of Northern Great Plains Cropping Systems. Ph.D. Thesis, Montana State University, Bozeman, MT, USA, 2007.
50. Teasdale, J.R.; Mangum, R.W.; Radhakrishnan, J.; Cavigelli, M.A. Weed seedbank dynamics in three organic farming rotations. *Agron. J.* **2004**, *96*, 1429–1435. [[CrossRef](#)]
51. Albrecht, H. Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Res.* **2005**, *45*, 339–350. [[CrossRef](#)]
52. Jankauskas, B.; Jankauskienė, G. Long-term soil erosion studies on the Žemaičiai Upland: 2. Intensity of water erosion. *Zemdirbyste* **2003**, *82*, 20–34.
53. WRB. World reference base for soil resources. *World Soil Resour. Rep.* **2014**, *106*, 187–189.
54. Rahman, A.; James, T.K.; Grbavac, N.; Mellsop, J. Evaluation of two methods for enumerating the soil weeds seedbank. Proceedings of 48th New Zealand Plant Protection Conference, Angus Inn, Hastings, New Zealand, 8–10 August 1995; pp. 75–95.
55. Grigas, A. *Lietuvos Augalų Vaisiai ir Sėklos*. [Fruits and Seeds of Lithuanian Plants]; Mokslas: Vilnius, Lithuania, 1986. (In Lithuanian)
56. Raudonius, S. Application of statistics in plant and crop research: Important issues. *Zemdirbyste* **2017**, *104*, 377–382. [[CrossRef](#)]

## Article

# Seed Bank Community under Different-Intensity Agrophytocenoses on Hilly Terrain in Lithuania

Regina Skuodiene<sup>1,\*</sup>, Vilija Matyžiūtė<sup>1</sup>, Jūratė Aleinikovienė<sup>2</sup>, Birutė Frercks<sup>3</sup> and Regina Repšienė<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry Veizaiciai Branch, Gargzdu Str. 29, Klaipėda District, LT-96216 Veizaiciai, Lithuania

<sup>2</sup> Faculty of Agronomy, Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Studentų Str. 11, Kaunas District, LT-53361 Akademija, Lithuania

<sup>3</sup> Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Institute of Horticulture, Kaunas Str. 30, Kaunas District, LT-54333 Babtai, Lithuania

\* Correspondence: regina.skuodiene@lammc.lt; Tel: +370-616-03-874

**Abstract:** On the summit of a hill with a lack of humidity, and in usually stronger eroded midslope parts, crops thin out. Changing ecological conditions change the soil seed bank as well. The aim of this study was to examine changes in the seed bank size and number of species and the influence of seed surface characteristics on their spread in different-intensity agrophytocenoses under hilly relief conditions. This study included different parts of the hill (summit, midslope and footslope) in Lithuania. The southern exposition slope's soil was slightly eroded Eutric Retisol (loamic). In spring and autumn, the seed bank was investigated at depths of 0–5 and 5–15 cm. Irrespective of the season, in the soil of permanent grassland, the seed number was 6.8 and 3.4 times smaller compared to those of cereal–grass crop rotation and crop rotation with black fallow. The highest number of seed species was determined in the footslope of the hill. Seeds with rough surfaces dominated on all parts of the hill, but the highest amount (on the average 69.6%) was determined on the summit of the hill. In autumn, a strong correlation was found between the total seed number and soil microbial carbon biomass ( $r = 0.841–0.922$ ).

**Keywords:** seed bank size; species number; seed surface; agrophytocenoses; hilly relief; microbial biomass carbon



Citation: Skuodiene, R.; Matyžiūtė, V.; Aleinikovienė, J.; Frercks, B.; Repšienė, R. Seed Bank Community under Different-Intensity Agrophytocenoses on Hilly Terrain in Lithuania. *Plants* **2023**, *12*, 1084. <https://doi.org/10.3390/plants12051084>

Academic Editors: Giedrė Samuoliene, Darius Kvilyks, Neringa Rasiukeviciute, Kristina Laužikė and Giuseppe Fenu

Received: 3 January 2023

Revised: 20 February 2023

Accepted: 24 February 2023

Published: 1 March 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The soil seed bank is the resting place of seeds and an important component of the life cycle of plants [1]. Seed banks, which contain seeds of multiple generations, are a potential source of diversity and contribute to the dynamics and persistence of the weed community [2]. Depending on the pattern of the soil seed bank, the understanding of plant succession and weed survival facilities are becoming more significant for agricultural soil [3].

Seeds are spread in the soil profile both horizontally and vertically [4]. The density of seeds in the soil is variable both in space and time [5]. Seed distribution in the soil profile depends on seed mass [6] and shape [7]. Seed mass and shape were found to be closely linked to the living conditions of plants [8]. Small spherical seeds, which penetrate the soil more easily, often display higher persistence [6,9]. Susceptibility to seed removal varies highly between species and is mainly related to seed traits, including seed size, seed shape, the presence of appendages and the ability of a seed to secrete mucilage [4]. Seeds on or in the soil may also be moved horizontally to new locations by different biotic (animals) or abiotic (often wind, runoff and gravity) agents [4].

Changes in management practices influence the distribution of seeds in the soil [10–13]. Tillage mixes seeds into the soil independent of their size and shape [8] and changes the



germination environment of seeds by modifying soil cover and altering soil temperature and moisture patterns [3].

Grass vegetation is a physical and biological barrier for water runoff from a slope's surface [14]. Rainfall, slope and soil characteristics influence seed transport [4]. In areas with high erosion risk, it is very important to form agrophytocenoses, which can be productive on hilly terrain and can protect the soil from erosion effectively [14]. Cereal–grass crop rotation (with temporary grasslands) and perennial grasslands form a permanent soil cover and improve soil conservation on slopes [15]. In our study, permanent grassland constantly provided anti-erosion protection for the slope's soil (for over 25 years). The seed bank of permanent grassland was compared with seed banks of pre-erosion cereal–grass crop rotation (50% of perennial grasses) and crop rotation with black fallow (only 30% of perennial grasses).

There is research on seed persistence in the soil [16], dormancy [17,18], germination and emergence [19] but rarely with the attempt of establishing generic relationships between seed morphological characteristics and the parameters of hilly relief [4].

The aim of this study was to examine (1) changes in the seed bank size and number of species and (2) the influence of the seed surface characteristics on their spread in different-intensity agrophytocenoses under hilly relief conditions.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Site and Soil Description and Experimental Design

The experiment was carried out at the Vėžaičiai Branch of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, on the midslope soil of Žemaičiai Highland covered by different anti-erosion agrophytocenoses in Kaitinėnai (lat. 55°57' N, long. 22°48' E, 185.0 m a.s.l.). The steepness of the slope was 9–11°. The soil of the southern exposition slope was slightly eroded Eutric Retisol (loamic) (RT-eu.lo), with a texture of sandy loam. The research slope was 65 m in length, and the strip was 3.2 m in width [20].

The agrochemical, physical and biological properties of the soil are presented in Table 1. Changes in the soil's chemical and physical properties depended on the hill relief. In the downslope direction, humidity and organic carbon resources increased, whereas the soil acidity and the quantity of mobile phosphorus decreased.

**Table 1.** Agrochemical, physical and biological properties of the arable (0–15 cm) soil depth (2020).

Soil Properties	Part of the Hill					
	Summit		Midslope		Footslope	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
	Permanent grassland					
Soil acidity (pH <sub>KCl</sub> )	5.5	5.8	6.4	6.0	5.1	4.9
Mobile P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	52.7	39.7	96.0	46.3	38.3	14.0
Mobile K <sub>2</sub> O (mg/kg)	253.7	138.3	250.7	132.3	329.7	154.0
Total N (%)	0.132	0.096	0.150	0.124	0.162	0.101
Organic C (%)	1.12	0.97	1.54	1.17	1.65	1.12
Soil density Mg m <sup>-3</sup>	1.00	1.12	0.76	0.93	0.81	1.07
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	21.4–25.5	14.5–18.0	22.3–42.7	22.3–23.4	23.0–30.7	19.5–20.7
MBC μg/g C	278.11	252.83	324.67	287.50	333.17	256.17
	Cereal–grass crop rotation					
Soil acidity (pH <sub>KCl</sub> )	5.6	5.4	5.3	5.1	5.1	5.1
Mobile P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	192	201	165	168	149	148
Mobile K <sub>2</sub> O (mg/kg)	209	112	198	98	223	107
Total N (%)	0.078	0.077	0.097	0.096	0.106	0.101
Organic C (%)	0.9	0.8	1.1	1.0	1.1	1.0
Soil density Mg m <sup>-3</sup>	1.34	1.36	1.35	1.35	1.27	1.33

Table 1. Cont.

Soil Properties	Part of the Hill					
	Summit		Midslope		Footslope	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
Cereal–grass crop rotation						
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	12.1–16.1	11.9–14.7	15.4–21.2	14.1–19.4	17.8–21.8	16.9–20.6
MBC µg/g C	210.28	196.33	293.11	278.67	354.00	285.56
Crop rotation with black fallow						
Soil acidity (pH <sub>KCl</sub> )	6.4	6.6	5.4	5.7	5.2	5.4
Mobile P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	211.7	213.7	174.3	174.0	163.7	140.0
Mobile K <sub>2</sub> O (mg/kg)	181.7	112.7	225.0	103.7	207.3	116.3
Total N (%)	0.072	0.057	0.084	0.082	0.091	0.085
Organic C (%)	0.65	0.68	0.82	0.82	0.94	0.82
Soil density Mg m <sup>-3</sup>	1.32	1.38	1.30	1.30	1.38	1.44
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	13.0–15.7	13.3–14.6	15.3–16.6	15.4–16.4	18.2–20.2	17.5–18.9
MBC µg/g C	192.28	220.00	335.22	285.17	354.83	325.61

<sup>1</sup>—Min–max. values during the growing season. MBC—microbial biomass carbon.

## 2.2. Trial Factors and Treatments

Factor A. Agrophytocenosis: (1) permanent grassland, (2) cereal–grass crop rotation, (3) crop rotation with black fallow. Factor B. Part of the hill: (1) summit, (2) midslope, (3) footslope.

The mixture of perennial grasses for permanent grasslands, which consisted of 20% timothy grass (*Phleum pratense* L.), 20% red fescue (*Festuca rubra* L.), 20% meadow grass (*Poa pratensis* L.), 20% white clover (*Trifolium repens* L.) and 20% common bird’s-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.), was sown in 1993. The grasslands were used without fertilization (abandoned grassland).

The six-course cereal–grass crop rotation consisted of *Hordeum vulgare* L. with undersown perennial grasses (2016), perennial grasses (2017), perennial grasses (2018), *Triticum aestivum* L. (winter crop) (2019), *Hordeum vulgare* (2020) and *Triticum aestivum* (spring crop) (2021).

The six-course crop rotation with black fallow consisted of perennial grasses (2016), *Hordeum vulgare* L. (2017), black fallow (2018), *Triticum aestivum* L. (winter crop) (2019), *Solanum tuberosum* L. (2020) and *Hordeum vulgare* L. with undersown perennial grasses (2021).

For growing the cereal crops, reduced soil cultivation (12–15 cm depth) was applied in the spring. Stubble breaking was performed first, followed by cultivation. During the winter, stubble was left on the slope to secure its soil from erosion.

Before planting the potatoes in the spring, the soil was deep ploughed and cultivated, and during the growing season, the culture of potatoes was disced and hoed one time.

All soils were equally fertilized with granular mineral fertilizers (background fertilization). For fertilizers, N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> was applied for spring barley as well as for spring wheat, and N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> was applied for potatoes. Before sowing, the grains of spring wheat and spring barley were treated with Kinto (i.e., triticonazole + prochloraz) at a rate of 2 L t<sup>-1</sup>. Plant protection products (pesticides) were used as well. In 2020, BBCH 32–MCPA (i.e., MCPA 750 g L) was used with 30 mL, and Arrat (i.e., dicam-ba-sodio + tritosulfuron) was used with 10 mL. In 2021, BBCH 33–Trimmer 50 SG (i.e., tribenuron metil) was used with 15 g ha<sup>-1</sup>, and Elegant 2FD (i.e., florasulam 6.25 g L + 2.4-D 300 g L) was used with 0.6 L ha<sup>-1</sup>.

## 2.3. Methods of Analysis

Soil samples were taken from the agrophytocenoses in 2020 and 2021.

To assess the impact of the hill slope on soil contamination by the seeds, the seed bank was investigated at depths of 0–5 and 5–15 cm. The seed bank was analyzed using soil samples taken in the spring (April) and autumn (September) of 2020 and 2021. In each

model plot, 2 kg of soil from 20 positions was collected using a hand auger. The soil was dried out. In total, five 100 g samples were removed from 2 kg of soil sample and weighed. Later, the soil samples were wet sieved through a 0.25 mm sieve until all the contents of the soil were washed out. The remaining mineral part of the soil was separated from the organic part and seeds using the saturated salt solution. The seeds were identified using binoculars with  $8.75\times$  magnification. Seed viability was determined with “destructive crushing” using forceps [21]. The number of viable seeds (A) was recalculated to thousands of seeds per  $m^2$ .

$$A = n \times h \times p \times 100, \quad (1)$$

where A is the number of viable seeds in thousands of seeds per  $m^2$ ; n is the counted number of viable seeds in the soil sample; h is the depth of the plough layer in cm; and p is the soil bulk density in  $g\ cm^{-3}$ .

The Latin names of seed species were presented using the book “Fruits and seeds of Lithuanian plants” [22]. Morphological seed surface and shape traits were described according to Grigas [22]. Different seed shapes (egg-shaped, oval, flattened or round) and surface traits (seeds with a smooth or rough (wrinkled and furrowed) and a shiny or matte surface) were analyzed.

Chemical analyses were carried out at the Chemical Research Laboratory of the Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry. Before establishing the experiment, soil agrochemical characteristics were determined from the samples taken at depths of 0–5 and 5–15 cm. Soil acidity (pH) was measured using the potentiometric method with the extraction of 1 M of KCl ( $pH_{KCl}$ ), according to the International standard ISO 10390:2005 (soil quality determination of pH). In the soil, mobile  $P_2O_5$  and  $K_2O$  were determined using the Egner–Riehm–Domingo (AL) method (LVP D-07:2016), total nitrogen ( $N_{tot}$ ) content was determined using the Kjeldahl method, and organic carbon ( $C_{org}$ ) content was determined using the Dumas dry combustion method. Soil bulk density was determined with a  $100\ cm^3$  cylindrical drill using the Kachinsky method. Soil texture was determined with the Fere triangle (FAO recommended method), according to the percentage of sand, silt and clay fractions in the graphical diagram.

The soil microbial biomass carbon (MBC) was determined with the chloroform fumigation and extraction (CFE) method, according to Vance et al. [23] and Brooke [24].

The MBC of the sample was calculated with the following equation [25]:

$$MBC = CE/0.35, \quad (2)$$

where MBC is the amount of the dry weight of air-dry soil obtained from the average of three measurements, expressed in mg C; and CE is the difference between organic C extracted from fumigated and non-fumigated samples.

#### 2.4. Statistical Analysis

The significance of the differences between the means was determined according to Fisher’s protected Least Significant Difference (LSD) at a 0.05 probability level. The experimental data were subjected to an analysis of variance (ANOVA) [26]. The actual data of the seed bank were transformed as follows:

$$(\text{Sqr}(x + 1)) \quad (3)$$

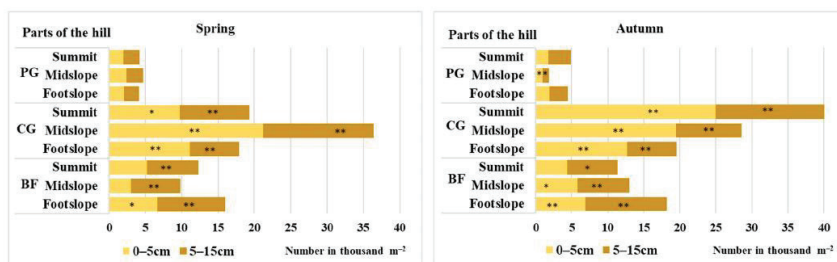
To assess the influence of the seed surface on the distribution of seed bank species on different parts of the hill, the average values of seeds in different agrophytocoenoses were used. The hierarchical clustering analysis was conducted to investigate how seed shape and surface impact the distribution of seeds on different parts of a hilly relief (summit, midslope and footslope) in spring and autumn. The data were converted to a binary matrix, where the absence of a trait was 0, and the presence of a trait was 1. The dendrogram was constructed using the Nei–Li [27] distance and UPGMA methods in the Treecon v.1.3b program [28].

To test the reliability of the dendrogram, a bootstrap analysis with 1000 replications was performed using the bootstrap tool in Treecon software.

### 3. Results

#### 3.1. Seed Reserves in the Soil and the Vertical Distribution of the Soil Seed Bank

The average data of 2020 and 2021 show that, in the spring (the beginning of plant vegetation), the seed number in the soil seed bank of the permanent grassland was determined to be significant and the smallest (4.3 thousand seeds  $m^{-2}$ ) (Figure 1), whereas the highest seed number (24.6 thousand seeds  $m^{-2}$ ) was determined in the soil of the cereal–grass crop rotation. In the soil of perennial grassland, the seed number was 5.6 and 2.9 times smaller compared to those of the cereal–grass crop rotation and crop rotation with black fallow.



**Figure 1.** Soil seed bank in different agrophytocoenoses, 2020–2021; PG—permanent grassland; CG—cereal–grass crop rotation; BF—crop rotation with black fallow. \* and \*\* indicate significance at  $p \leq 0.05$  and  $p \leq 0.01$ , respectively.

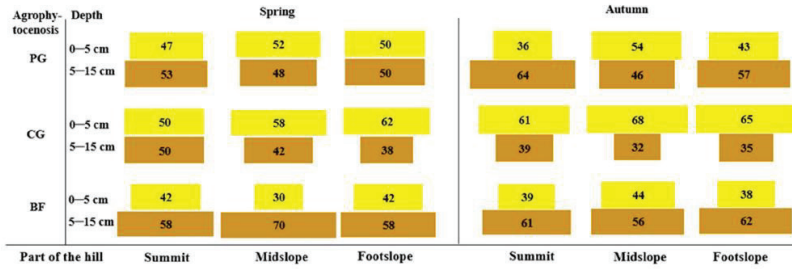
The same tendency remained in autumn; the seed number in the soil of perennial grassland was 8.0 and 3.8 times smaller compared to those of the above-mentioned crop rotations. The received differences were significant. Moreover, in autumn, the seed number in the soil of both crop rotations was determined to be 21.2 and 11.7% higher compared to that of spring, respectively, in the cereal–grass crop rotation and in the crop rotation with black fallow. In the permanent grassland soil, in the autumn, the seed number was 14.1% smaller than that in the spring.

Although the hill parts did not have a significant influence on the number of seeds, in the spring at both soil depths of the midslope, the number of seeds (irrespective of the agrophytocoenosis) was determined to be 42.2 and 34.0% higher compared to those of the summit and footslope parts of the hill. In autumn, the seed number at both soil depths was 31.1 and 34.7% higher than that of the summit of the hill compared to the midslope and footslope parts.

The vertical distribution of the seed reserves depended on the applied soil tillage. For the permanent grassland in spring, the seed number was determined to be similar at both soil depths of all parts of the hill (about 50%). In autumn, only the 0–5 cm soil depth for the summit part of the hill was distinguished by a smaller seed number (37.1%) (Figure 2).

In the cereal–grass crop rotation in the spring, the number of seeds at a depth of 0–5 cm increased in the downslope direction from 53.1 to 60.9%. In autumn at a soil depth of 0–5 cm for all parts of the hill, the seed number was higher than that in the spring and composed 60.2–65.3%. The midslope part of the hill was distinguished by a higher seed number. Both in the spring and in autumn, the smallest seed number was determined in the summit of the hill.

In the crop rotation with black fallow in the spring, a higher seed number was determined for a depth of 5–15 cm for all parts of the hill (56.8–69.8%). The same tendency remained in the soil seed bank in autumn.



**Figure 2.** Vertical distribution of soil seed bank (%) in 2020–2021. PG—permanent grassland; CG—cereal–grass crop rotation; BF—crop rotation with black fallow.

3.2. The Number of Seed Species

During the investigation period, the seeds of 44 plant species were found in the soil seed bank; 27 species belonged to weeds, 16 species belonged to plants from other growth places, and 1 species belonged to trees. The total seed species number in the cereal–grass crop rotation site was 24 (Tables S3 and S4). In the crop rotation with black fallow, it reached 28 (Tables S5 and S6), and in the grassland, it reached 32 (Tables S1 and S2).

The results of the dispersive analysis show that both examined factors were significant for the number of species in the soil seed bank at depths of 0–5 and 5–15 cm. In most examined cases, the highest number of seed species was determined in the soil of the cereal–grass crop rotation. At a soil depth of 0–5 cm, the seeds of 6 to 11 plant species were found (on average, 8 species), whereas in the lower soil layer, the seeds of 3 to 9 plant species were found (on average, 6 species) (Table 2). In all examined cases, the highest significant number of seed species was determined in the footslope of the hill.

**Table 2.** Number of seed species in soil, 2020–2021.

Treatment	Spring		Autumn	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
Agrophytocenosis (factor A)				
Permanent grassland	8.8 a	4.3 b	7.3 b	3.8 b
Cereal–grass crop rotation	8.4 a	6.6 a	8.6 a	6.6 a
Crop rotation with black fallow	7.2 b	6.0 a	7.6 b	6.9 a
Part of the Hill (factor B)				
Summit	7.2 b	5.1 b	6.4 c	4.4 c
Midslope	7.6 b	5.8 a	7.9 b	6.0 b
Footslope	9.6 a	5.9 a	9.2 a	6.8 a
F (t-test)				
Factor A	ns	**	*	**
Factor B	**	ns	**	**
Interaction of factors A × B	ns	ns	ns	*

Letters a–c indicate significant ( $p \leq 0.05$ ) differences between the means; \* and \*\* indicate significance at  $p \leq 0.05$  and  $p \leq 0.01$ , respectively; ns—not significant.

3.3. Seed Surface Morphological Traits of Soil Seed Bank

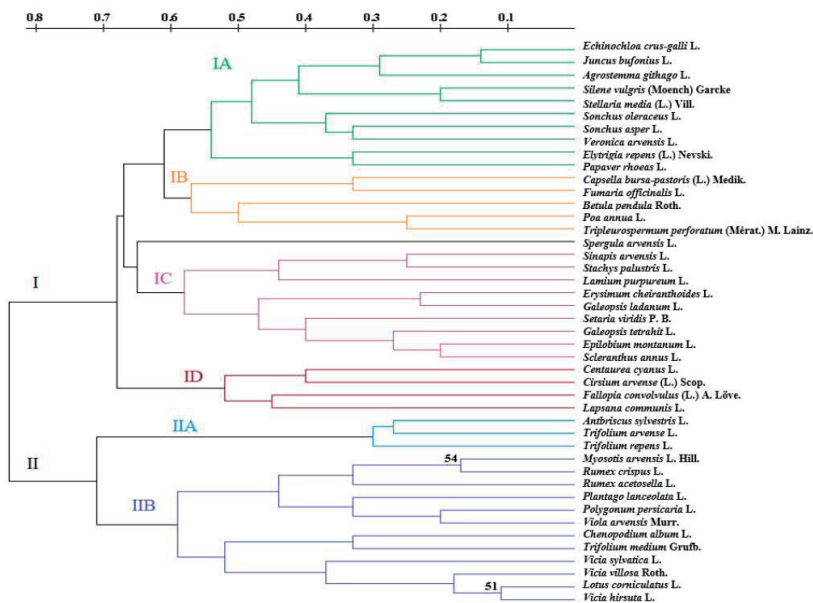
In the hierarchical cluster analysis, all seeds were separated into two main clusters according to the seed surfaces during spring and autumn (Figures 3 and S1). By analyzing the influence of the seeds’ shape and surface in the soil seed bank on the spread, it was

determined that seed surface was a major factor. In the spring, 23 species of seeds with rough surfaces were distinguished in the summit, 19 species were distinguished in the midslope, and 20 species were distinguished in the footslope of the hill. In the autumn, respectively, 19, 17 and 22 species of the seeds with rough surfaces were distinguished in the summit, midslope and footslope parts. The seeds of *Trifolium repens* L. were found in all hill parts in the spring, whereas the seeds of *Silene vulgaris* (Moench) Garcke (Figure S1A–E, respectively) were found in all hill parts in autumn. The seeds of *Stachys palustris* L. (Figure S1A,B) were found only in the summit of the hill in both spring and autumn. In the spring, the seeds of *Lapsana communis* L., *Epilobium montanum* L., *Galeopsis ladanum* L., *Poa annua* L. and *Plantago lanceolata* L. (Figure S1A) were identified only in the summit of the hill. The seeds of *Centaurea cyanus* L. were identified only in the summit of the hill in spring and in the footslope of the hill in autumn (Figure S1A,F), whereas the seeds of *Scleranthus annuus* L. were found only in the summit of the hill in autumn (Figure S1B).

The number of seeds with rough surfaces dominated in both spring and autumn compared to the number of seeds with smooth surfaces. In the spring, the number of seed species with rough surfaces was 2.0–3.3 times higher, and in the autumn, it was higher by 2.1–2.8 times.

By estimating the importance of the seeds' shape and surface of the seed bank on the spread, no significant differences were determined between the hill parts in spring and autumn. A total hierarchical clustering analysis of all hill parts and both seasons was conducted, showing that all seeds with rough surfaces were separated (29 in total) species in the first cluster (I). All seeds with smooth surfaces (14 in total) belonged to the second main cluster (II), with the exception of *Trifolium repens* L. with a rough surface and appearing only in the spring (Figure 3). This shows the dominance of rough-surfaced seeds at all hill sites in spring and autumn, with an average of 57% and 69.6%, respectively. Further division of main clusters into subclusters was determined according to different seed shapes and surfaces. In the first cluster, *Spergula arvensis* L. was separated from other members according to its round seeds and ribbed surface. Another three clusters were separated according to matted (IA), wrinkled (IB) and furrowed (ID) surfaces and egg-shaped seeds (IC, Figure 3). In the second cluster, the first level of the grouping of seeds was determined according to slightly shiny (IIA) or shiny (IIB) surfaces. Further division into subclusters was performed according to the seed shape (egg-shaped, oval, flattened or round).

Key features of the seeds' surfaces, which separated the soil seed bank into two groups according to the hierarchical cluster analysis, differed among hill sites. In spring and autumn, the highest number of seeds with rough surfaces (63.2 and 75.9%) was determined in the summit of the hill. Going down from the summit to the footslope, the number of seed species with rough surfaces reduced. In the midslope of the hill, the number of seeds with rough surfaces reached 68.6 and 65.4%, respectively, in spring and in autumn, whereas in the footslope of the hill, this number composed 57.9 and 56.2% (in spring and in autumn, respectively). The highest number of seeds with smooth surfaces was determined in the footslope of the hill in spring and autumn, respectively, composing 42.1 and 43.8%.



**Figure 3.** Hierarchical cluster analysis of soil seed bank using 27 morphological traits of seed shapes and surfaces. Roman numerals indicate the main clusters and subclusters according to different features of seeds, such as the surface (I—rough, II—smooth, IA—matte, IB—wrinkled, ID—furrowed, IIA—slightly shiny, IIB—shiny) or shape (IC—egg-shaped). The scale above the dendrogram indicates the distance coefficient between soil seed banks using morphological traits of seeds. Arabic numerals above branches indicates the bootstrap values in percentages.

### 3.4. Correlation between the Seed Number and Soil Microbial Biomass Carbon

By analyzing changes in the soil seed bank, the total correlation between the seed number and soil microbial biomass carbon was estimated. In the spring as well as in autumn, the microbial biomass carbon content basically depended on the hill part ( $p \leq 0.01$ ). In the summit of the hill, MBC content was determined to be significantly smaller (on the average  $319.67 \mu\text{g C g}^{-1}$ ) (Table 1). In the midslope and footslope of the hill, the MBC content was 26.6 and 27.6% higher than that in the summit of the hill.

The seed number correlated with the soil microbial carbon biomass. Under hilly relief conditions in the spring, there were no reliable relations determined between these factors. However, in autumn, the dispersive analysis showed that the microbial biomass carbon correlated with the seed number. In the footslope part of the permanent grassland, the correlation between these factors was strong at depths of 5–15 cm and 0–15 cm ( $r = 0.902$ ,  $p \leq 0.05$  and  $0.846$ ,  $p \leq 0.05$ ). The dependence of soil microbial biomass carbon content on the cereal–grass crop rotation in the midslope of the hill at a depth of 0–15 cm ( $r = -0.859$ ,  $p \leq 0.05$ ), as well as the crop rotation with black fallow in the midslope of the hill at depths of 0–5 cm and 0–15 cm ( $r = 0.841$ ,  $p \leq 0.05$  and  $0.922$ ,  $p \leq 0.01$ ), was also determined.

## 4. Discussion

### 4.1. Seed Reserves in the Soil and the Vertical Distribution of the Soil Seed Bank

Literature sources indicate that soil seed banks are a key to understanding the dynamics of plant populations, species and ecosystems [29]. Different vegetation types vary in their seed bank characteristics, such as seed density and seed bank species richness [30,31].

The small number of seeds in the soil of permanent grassland coincides well with data from research accomplished in Estonia [32]. Data from research conducted in Lithuania show that the soil seed banks of the permanent grasslands were composed of arable weeds; *Chenopodium album* L. was the dominant species in the soil seed bank of the summit of the hill (0–15 cm depth), whereas *Stellaria media* (L.) Vill. dominated the soil seed bank of the midslope, composing 31.3 and 18.4% of the total seed number, respectively [33]. The studied area underwent changes in land use from arable land to grassland. Therefore, in the meadow soils of Spain, over half of seed banks are often composed of arable weeds, creating long-term persistent seed banks that are non-significant for the structure of meadow communities [34]. Seeds accumulated in meadow soils often do not correspond to the species composition of meadow communities in Hungary [35]. The species composition of a soil seed bank corresponded to approximately 30–40% of the botanical composition of meadow swards in Poland [36].

In cereal–grass crop rotation, where reduced soil tillage was applied, the seed number in the soil was significantly the highest. Auškalnienė et al. [12] also reported about the high seed density in the reduced tillage system, as compared to the conventional system. A higher seed number in the soil is related to higher crop weediness applying reduced soil tillage [37,38]. Reduced soil tillage promotes the spread of weeds [13,39].

By growing cumulative plants, the conventional soil tillage system was applied. The number of seeds in the soil was determined to be two times as small compared to cereal–grass crop rotation, where reduced soil tillage was applied. Previous studies have also indicated that the soil seed bank is 1.5 and 2.2 times greater with the shallow ploughing and shallow ploughless tillage treatments compared with that of the conventional tillage treatment [38,40].

In other studies, it was stated that winter cereals, sunflowers and lupines increase the weed seed bank by 30–40%; grass–clover mixtures, however, reduce the seedbank by 39% [41].

The vertical distribution of seed resources depended on the agrophytocenosis. The permanent grassland constantly provided anti-erosion protection for the slope soil (for over 27 years). In this situation, grass vegetation was a physical–biological barrier for water runoff from the slope surface [33]. After a sward is formed, slopes of the hill are protected from running water flows [42]. In the spring (the beginning of plant vegetation), in the soil of all hill parts in the permanent grassland, the seed number at both depths was determined to be similar. In autumn, a depth of 0–5 cm in the summit of the hill was distinguished by a smaller seed number. This could have been influenced by environmental factors (wind and precipitation), which promote the annual spread of new seeds during the plant vegetation period [43,44].

In cereal–grass crop rotation, due to applied reduced soil tillage, the seed number at a depth of 0–5 cm was higher compared to that of a depth of 5–15 cm, and it increased in the downslope direction. This tendency was determined in the seed bank in both spring and autumn [19]. By applying reduced soil tillage, around 80–90% of weed seeds spread in the topsoil layer to a depth of 10 cm. A major part of weed seeds in no-tillage fields remain in the soil surface or close to it [45]. Under conventional tillage systems, recently dispersed seeds of any weed species are found in the top 5 cm only after crop harvest. At this time, older seed generations are in deeper layers of the soil [3].

In the rotation where the cumulative plants were grown, the soil was more cultivated. A higher seed number was determined at a depth of 5–15 cm. The annual ploughing of cereal fields can bury seed surfaces to below germination depth but can bring seeds from previous years up to near the surface [46]. Some studies have shown that intensive soil



cultivation, such as moldboard plowing, which turns soil up to 20 cm, has a more uniform distribution of seeds in its soil profile [38,47].

#### 4.2. The Number of Seed Species

Different-intensity agrophytocoenoses and hill parts had a significant influence on the number of seed species. The total number of species was variable among the examined sites, but in general, it was lower at the crop rotation sites than that at the sites located in grasslands (Table 2). Consequently, the number of plant seed species in the soil seed bank also depended on different management, which was applied to agrophytocoenoses. Arable fields differ from natural habitats, as they are more nutrient-rich and highly disturbed environments. In the shallow ploughing and shallow ploughless tillage treatments, 25.5 and 41.5% more weed seed species were found in the soil compared with those of the conventional tillage treatment [38].

#### 4.3. Seed Surface Morphological Traits of Soil Seed Bank

Plants are adapted to disperse their seeds in a variety of ways [44,48]. The morphological characteristics of seeds are related not only to the identification of the seed species, but also to the distribution of seeds in nature [49]. Specific morphological features of seeds are some forms of adaptation to seed dispersal [50]. According to the results of this study, seed surface was one of the main factors determining seed dispersal (Figure 3). In the cluster analysis, all species of the soil seed bank were separated into two main groups: species with smooth surfaces in one cluster, and those with rough surfaces in the second. The highest number of seeds with rough surfaces was observed in the summit, irrespective of the season (Figures S1–S6). Going down toward the footslope, the ratio of seeds with rough and smooth surfaces changed. The number of seeds with rough surfaces decreased, and the number of smooth seeds increased. This was likely due to the fact that, in a hilly relief, seeds are easily carried by water currents when snow melts or downpours pass [51]. In addition, seeds with a rough surface are more likely to stick to the soil surface in a hilly relief than those with a smooth surface. Seed shape also influences hydrodynamic behavior via selective entrainment and preferential deposition [46]. Seed shape was a secondary key factor for distribution of the soil seed bank in this study, as the separation of species in subclusters was performed at the second or third level of the dendrogram in the cluster analysis. The main seed shape features for further division into subclusters were egg-shaped, oval, flattened or round. In the cluster analysis, there was no clear separation in the seed soil bank according to the season or different sites of the hill. This could have been caused by relatively small height differences between the summit and footslope (about 10–13 m). Another reason for the absence of separation could have been the fact that the soil seed bank in the spring was persistent, and in autumn, the entire soil seed bank was detected [52]. Therefore, only the ration of seeds differed between spring and autumn.

#### 4.4. Correlation between the Seed Number and Soil Microbial Biomass Carbon

The soil seed bank plays an important role in the natural environment of many ecosystems, functioning as natural seed reserves for the future regeneration of many plant species. Seed mortality in the soil is one of the key factors affecting the persistence and density fluctuations of plant populations, especially for annual plants. A number of soil microorganisms are known for their important relationships with plants, including seedling development and giving rise to numerous rhizosphere processes and disease protection. However, the role of microorganisms, as important regulators of seed banks, has not been well studied [1,53]. Select soil fungi have been shown to cause significant decay in weed seeds [54].

The literature indicates that the insertion of residues stimulates microbiological processes in the soil, and part of the weeds mineralizes more rapidly [55–58]. During the period of sample taking in the spring (the first decade in April), the air temperature was 6.2 °C, and the soil temperature reached only 4.0 °C. Therefore, it was too cold for high microorganism

activity, and no correlation was observed. In autumn, a strong significant correlation was determined between MBC and the seed number in the footslope part of permanent grassland. This correlation showed the most favorable conditions for grassland naturalization according to the chemical, physical and biological factors of the soil [59]. Moreover, a strong negative correlation in the cereal–grass crop rotation was determined in the midslope of the hill. Due to crops grown in the cereal–grass crop rotation, the microbial biomass carbon content decreased (Table 1). Therefore, the activity of microorganisms became weaker, and less nitrogen was loosened for plant needs [60]. In the crop rotation with black fallow, a strong positive correlation was determined in the midslope of the hill. It can be assumed that the application of deep ploughing stimulates organic matter mineralization in the top soil. Thus, the microbial biomass carbon content increases, and nitrogen transformation becomes more intensive as well. Plants also access nitrogen faster [61]. Consequently, the soil seed bank is affected positively. Other research also indicates that soil characteristics, such as concentrations of organic carbon and total nitrogen, play an indirect role in arable seedbanks through their effect on parent plant growth, thereby altering the reproductive potential of different species or plant functional types [62,63].

## 5. Conclusions

In hilly landscape ecosystems, pre-erosion cereal–grass crop rotations and perennial grasslands are highly recommended, as they stabilize erosional processes [15]. When protecting hilly fields, it is difficult to apply regular agricultural techniques. Reduced soil tillage application is one of the most important means for soil protection in hill slopes [64,65]. In cereal–grass crop rotation, where reduced soil tillage was applied, the seed number in the soil was significantly the highest. For growing cumulative plants, the conventional soil tillage system was applied. The number of seeds in the soil was determined to be twice as small compared to the cereal–grass crop rotation, where reduced soil tillage was applied. In the soil of perennial grassland, the seed number was 5.6 and 2.9 times smaller compared to the cereal–grass crop rotation and the crop rotation with black fallow.

As the soil was covered with permanent grass, erosional processes and seed transportation could not happen. On average, in all parts of the hill in the soil of permanent grassland, the number of seeds at both depths was determined to be similar. In the cereal–grass crop rotation, due to applied reduced soil tillage, the seed number at a depth of 0–5 cm was higher compared to that at a depth of 5–15 cm, and it increased in the downslope direction. In the rotation where the cumulative plants were grown, the soil was more cultivated. A higher seed number was determined at a depth of 5–15 cm.

The total number of species was lower at the crop rotation sites than those at the sites located in grasslands.

Seeds with rough surfaces dominated in all parts of the hill, but the highest amount (69.6% on average) was determined in the summit of the hill. In autumn, a strong correlation was found between the total seed number and soil microbial carbon biomass ( $r = 0.841–0.922$ ).

**Supplementary Materials:** The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/plants12051084/s1>, Figure S1: Hierarchical cluster analysis of soil seed bank using 27 morphological traits of seed shape and surface; Table S1: Seed species composition of permanent grassland soil (%) in the depth of 0–15 cm in Spring; Table S2: Seed species composition of permanent grassland soil (%) in the depth of 0–15 cm in Autumn; Table S3: Seed species composition of cereal–grass crop rotation soil (%) in the depth of 0–15 cm in Spring; Table S4: Seed species composition of cereal–grass crop rotation soil (%) in the depth of 0–15 cm in Autumn; Table S5: Seed species composition of crop rotation with black fallow soil (%) in the depth of 0–15 cm in Spring; Table S6: Seed species composition of crop rotation with black fallow soil (%) in the depth of 0–15 cm in Autumn.

**Author Contributions:** Conceptualization: R.S.; Methodology: R.S., J.A., B.F. and R.R.; Software: V.M., J.A. and B.F.; Validation: R.S., J.A. and B.F.; Formal analysis: V.M., J.A., B.F. and R.R.; Investigation: R.S. and V.M.; Data curation: R.S., V.M., J.A. and B.F.; Writing—original draft preparation: R.S.,

V.M., J.A., B.F. and R.R.; Writing—review and editing: R.S., J.A., B.F. and R.R.; Visualization: V.M. and B.F.; Supervision: R.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Not applicable.

**Acknowledgments:** Supported by the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, within the program “Productivity and sustainability agrogenic and forest soils”.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

- Kumari, S.; Pradhan, S.S.; Chauhan, J. Dynamics of weed seed bank and its management for sustainable crop production. *Int. J. Chem. Stud.* **2018**, *6*, 643–647.
- Hopfensperger, K.N. A Review of similarity between seed bank and standing vegetation across ecosystems. *Oikos* **2007**, *116*, 1438–1448. [[CrossRef](#)]
- Ghersa, C.M.; Martínez-Ghersa, M.A. Ecological correlates of weed seed size and persistence in the soil under different tilling systems: Implications for weed management. *Field Crop. Res.* **2000**, *67*, 141–148. [[CrossRef](#)]
- Bochet, E. The fate of seeds in the soil: A review of the influence of overland flow on seed removal and its consequences for the vegetation of arid and semiarid patchy ecosystems. *Soil* **2015**, *1*, 131–146. [[CrossRef](#)]
- Shiferaw, W.; Demissew, S.; Bekele, T. Ecology of soil seed banks: Implications for conservation and restoration of natural vegetation: A review. *Int. J. Biodivers. Conserv.* **2018**, *10*, 380–393.
- Bekker, R.M.; Bakker, J.P.; Grandin, U.; Kalamees, R.; Milberg, P.; Poschlod, P.; Thompson, K.; Willems, J.H. Seed size, shape and vertical distribution in the soil: Indicators of seed longevity. *Funct. Ecol.* **1998**, *12*, 834–842. [[CrossRef](#)]
- Tóth, Á.; Deák, B.; Tóth, K.; Kiss, R.; Lukács, K.; Rádai, Z.; Godó, L.; Borza, S.; Kelemen, A.; Migléc, T.; et al. Vertical distribution of soil seed bank and the ecological importance of deeply buried seeds in alkaline grasslands. *PeerJ* **2022**, *10*, 13226. [[CrossRef](#)]
- Albrecht, H.; Auerwald, K. Seed traits in arable weed seed banks and their relationship to land-use changes. *Basic. Appl. Ecol.* **2009**, *10*, 516–524. [[CrossRef](#)]
- Gardarin, A.; Dürr, C.; Mannino, M.R.; Busset, H.; Colbach, N. Seed mortality in the soil is related to seed coat thickness. *Seed Sci. Res.* **2010**, *20*, 243–256. [[CrossRef](#)]
- Reine, R.; Chocarro, C.; Fillat, F. Soil seed bank and management regimes of semi-natural mountain meadow communities. *Agric. Ecosyst Environ.* **2004**, *104*, 567–575. [[CrossRef](#)]
- Santín-Montanyà, M.I.; Martín-Lammerding, D.; Zambrana, E.; Tenorio, J.L. Management of weed emergence and weed seed bank in response to different tillage, cropping systems and selected soil properties. *Soil Tillage Res.* **2016**, *161*, 38–46. [[CrossRef](#)]
- Auškalnienė, O.; Kadžienė, G.; Janušauskaitė, D.; Supronienė, S. Changes in weed seed bank and flora as affected by soil tillage systems. *Zemdirbyste* **2018**, *105*, 221–226. [[CrossRef](#)]
- Feledyn-Szewczyk, B.; Smagacz, J.; Kwiatkowski, C.A.; Harasim, E.; Woźniak, A. Weed Flora and Soil Seed Bank Composition as Affected by Tillage System in Three-Year Crop Rotation. *Agriculture* **2020**, *10*, 186. [[CrossRef](#)]
- Jankauskas, B. *Soil Erosion: Case Study, Lithuania*; Jakobsson, C., Ed.; Sustainable Agriculture; Ecosystem Health and Sustainable Agriculture: Uppsala, Sweden, 2012; pp. 231–238.
- Skudienė, R.; Kinderienė, I.; Tomchuk, D.; Šlepetyš, J.; Karčauskienė, D. Root development of temporary and permanent grasslands and their anti-erosion significance on a hilly terrain. *Zemdirbyste* **2020**, *107*, 209–216. [[CrossRef](#)]
- Burnside, O.C.; Wilson, R.G.; Weisberg, S.; Hubbard, K.G. Seed longevity of 41 weed species buried 17 years in eastern and western Nebraska. *Weed Sci.* **1996**, *44*, 74–86. [[CrossRef](#)]
- Benech-Arnold, R.L.; Sánchez, R.A.; Forcella, F.; Kruk, B.C.; Ghersa, C.M. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field. Crops Res.* **2000**, 105–122. [[CrossRef](#)]
- Batlla, D.; Benech-Arnold, R.L. Predicting changes in dormancy level in natural seed soil banks. *Plant Mol. Biol.* **2010**, *73*, 3–13. [[CrossRef](#)]
- Swanton, C.J.; Shrestha, A.; Knezevic, S.Z.; Roy, R.C.; BallCoelho, B.R. Influence of tillage type on vertical weed seedbank distribution in a sandy soil. *Can. J. Plant Sci.* **2000**, *80*, 455–457. [[CrossRef](#)]
- Skudienė, R.; Matyziūtė, V. Soil Seed Bank in a Pre-Erosion Cereal-Grass Crop Rotation. *Plants* **2022**, *11*, 2636. [[CrossRef](#)]
- Rahman, A.; James, T.K.; Grbac, N.; Mellisop, J. Evaluation of two methods for enumerating the soil weeds seedbank. In Proceedings of the 48th New Zealand Plant Protection Conference, Hastings, New Zealand, 8–10 August 1995; pp. 75–95.
- Grigas, A. *Lietuvos Augalų Vaisiai ir Sėklos*; Fruits and Seeds of Lithuanian Plants; Mokslas: Vilnius, Lithuania, 1986. (In Lithuanian)
- Vance, E.D.; Brookes, P.C.; Jenkinson, D.S. Microbial biomass measurements in forest soils: Determination of KC values and tests of hypotheses to explain the failure of the chloroform fumigation-incubation method in acid soils. *Soil Biol. Biochem.* **1987**, *19*, 689–696. [[CrossRef](#)]

24. Brookes, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soils*. **1995**, *19*, 269–279. [[CrossRef](#)]
25. Jenkinson, D.S.; Powlson, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biol. Biochem.* **1976**, *8*, 167–177. [[CrossRef](#)]
26. Raudonius, S. Application of statistics in plant and crop research: Important issues. *Zemdirbyste* **2017**, *104*, 377–382. [[CrossRef](#)]
27. Nei, M.; Li, W.H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1979**, *76*, 5269–5273. [[CrossRef](#)]
28. Van de Peer, Y.; De Wachter, R. Treecon for Windows: A software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Comput. Appl. Biosci.* **1994**, *10*, 569–570. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Cabin, R.J.; Mitchell, R.J.; Marshall, D.L. Do surface plant and soil seed bank populations differ genetically? A multipopulation study of the desert mustard *Lesquerella fendleri* (*Brassicaceae*). *Am. J. Bot.* **1998**, *85*, 1098–1109. [[CrossRef](#)]
30. Plue, J.; Van Calster, H.; Auestad, I.; Basto, S.; Bekker, R.M.; Bruun, H.H.; Chevalier, R.; Decocq, G.; Grandin, U.; Hermy, M.; et al. Buffering effects of soil seed banks on plant community composition in response to land use and climate. *Glob. Ecol. Biogeogr.* **2020**, *30*, 128–139. [[CrossRef](#)]
31. Wang, N.; He, X.; Zhao, F.; Wang, D.; Jiao, J. Soil seed bank in different vegetation types in the Loess Plateau region and its role in vegetation restoration. *Restor. Ecol.* **2020**, *28*, 5–12. [[CrossRef](#)]
32. Wagner, M.; Poschold, P.; Setchfield, R.P. Soil seed bank in managed and abandoned semi-natural meadows in Soomaa National Park, Estonia. *Ann. Bot. Fenn.* **2003**, *40*, 87–100.
33. Skuodienė, R.; Matyžiūtė, V. Assessment of an abandoned grassland community and the soil seed bank of a hilly relief. *Zemdirbyste* **2022**, *109*, 3–10. [[CrossRef](#)]
34. Lopez-Marino, A.; Luis-Calabuig, E.; Fillat, F.; Bermudez, F.F. Floristic composition of established vegetation and the soil seed bank in pasture communities under different traditional management regimes. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2000**, *78*, 273–282. [[CrossRef](#)]
35. Valkó, O.; Török, P.; Tóthmérész, B.; Matus, G. Restoration potential in seed banks of acidic fen and dry-mesophilous meadows: Can restoration be based on local seed banks? *Restor. Ecol.* **2011**, *19*, 9–15. [[CrossRef](#)]
36. Janicka, M. The evaluation of soil seed bank in two arhenatherion meadow habitats in Central Poland. *Acta Sci. Pol. Agric.* **2016**, *15*, 25–38.
37. Streit, B.; Stamp, P.; Richner, W. Einfluss von unterschiedlicher Bodenbearbeitung Intensität auf Entwicklung von Unkraut Populationen in Ackerkulturen. *Z. Für Pflanzenkrankh. Und Pflanzenschutz Sonderh.* **2000**, *17*, 41–46.
38. Skuodienė, R.; Karčauskienė, D.; Čiuberkis, S.; Repšienė, R.; Ambrazaitienė, D. The influence of primary soil tillage on soil seed bank and weed incidence in a cereal–grass crop rotation. *Zemdirbyste* **2013**, *100*, 25–32. [[CrossRef](#)]
39. Čiuberkis, S. The influence of traditional and reduced soil tillage on crop weed infestation in crop rotation. *Vagos* **2008**, *79*, 37–42.
40. Skuodienė, R.; Karčauskienė, D.; Repšienė, R.; Šiaudinis, G. Changes in the weed communities as affected by different primary soil tillage and deep loosening. *Acta Agric. Scand. Sect. B—Soil Plant Sci.* **2018**, *68*, 643–648. [[CrossRef](#)]
41. Albrecht, H. Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Res.* **2005**, *45*, 339–350. [[CrossRef](#)]
42. Stokes, A. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. *Plant Soil.* **2009**, *324*, 1–30. [[CrossRef](#)]
43. Trakhtenbrot, A.; Katul, G.G.; Nathan, R. Mechanistic modeling of seed dispersal by wind over hilly terrain. *Ecol. Modell.* **2014**, *274*, 29–40. [[CrossRef](#)]
44. Lestari, D.A.; Pratiwi, A. Studi morfologi benih terpilih Annonaceae: Koleksi bank benih Kebun Raya Purwodadi. *Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indon.* **2022**, *8*, 103–110.
45. Kumar, A.; Choudhary, T.; Das, S.; Meena, K.S. Weed seed bank: Impacts and management for future crop production. *Agron. Crop.* **2019**, *2*, 207–223.
46. Lewis, T.D.; Rowan, J.S.; Hawes, C.; McKenzie, B.M. Assessing the significance of soil erosion for arable weed seedbank diversity in agro-ecosystems. *Prog. Phys. Geogr.* **2013**, *37*, 622–641. [[CrossRef](#)]
47. Schwartz–Lazaro, L.M.; Copes, J.T. A review of the soil seedbank from a weed scientists perspective. *Agronomy* **2019**, *9*, 369. [[CrossRef](#)]
48. Nathan, R.; Schurr, F.M.; Spiegel, O.; Steinitz, O. Mechanisms of long–distance seed dispersal. *Trends Ecol. Evol.* **2008**, *23*, 638–647. [[CrossRef](#)]
49. Diantina, S.; McGill, C.; Millner, J.; Nadarajan, J.; Pritchard, H.W.; McCormick, A.C. Comparative seed morphology of tropical and temperate orchid species with different growth habits. *Plants* **2020**, *9*, 161. [[CrossRef](#)]
50. Gan, S.; Guo, J.; Zhang, Y.; Wang, X.; Huang, L. “Phoenix in flight”: An unique fruit morphology ensures wind dispersal of seeds of the phoenix tree (*Firmitia simplex* (L.) W. Wight). *BMC Plant Biol.* **2022**, *22*, 113–125. [[CrossRef](#)]
51. Casper, H.A.; Leeuwen, V.; Sarneel, J.M.; Paassen, J.; Rip, W.J.; Bakker, E.S. Hydrology, shore morphology and species traits affect seed dispersal, germination and community assembly in shoreline plant communities. *J. Ecol.* **2014**, *102*, 998–1007.
52. Csontos, P. Seed banks: Ecological definitions and sampling considerations. *Community Ecol.* **2007**, *8*, 75–85. [[CrossRef](#)]

53. Chee-Sanford, J.; Fu, X. Investigating the role of microorganisms in soil seed bank management. In *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*; Méndez-Vilas, J., Ed.; Formatex Research Centre: Badajoz, Spain, 2010; Volume 1, pp. 257–266.
54. Pollard, A. Seeds vs fungi: An enzymatic battle in the soil seedbank. *Seed Sci. Res.* **2018**, *28*, 197–214. [[CrossRef](#)]
55. Bogužas, V.; Kairyte, A. Ploughless and no-tillage and residue impact on weed infestation in continuous barley. *Vagos* **2003**, *57*, 16–21.
56. Dorado, J.; Monte, J.P.D.; López-Fando, C. Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystems. *Weed Sci.* **1999**, *47*, 67–73. [[CrossRef](#)]
57. Dick, W.A.; Daniel, T.C. Soil Chemical and Biological Properties as Affected by Conservation Tillage: Environmental Implications. In *Effects Conservation Tillage on Ground Water Quality: Nitrates and Pesticides*; Logan, T.J., Ed.; CRC Press: Chelsea, MI, USA, 1987; pp. 125–147.
58. Poptrowska-Dlugosz, A.; Wilczewski, E. Changes in enzyme activities as affected by green manure catch crops and mineral nitrogen fertilization. *Zemdirbyste* **2014**, *101*, 139–146. [[CrossRef](#)]
59. Nichols, V.; Verhulst, N.; Cox, R.; Govaerts, B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crop. Res.* **2015**, *183*, 56–68. [[CrossRef](#)]
60. Vigueira, O.C.; Vigueira, C.C.; Olsen, K.M.; Caicedo, A.L. The red queen in the corn: Agricultural weeds as models of rapid adaptive evolution. *Heredity* **2013**, *110*, 303–311. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
61. Jackson, L.E.; Burger, M.; Cavagnaro, T.R. Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services. *Annu. Rev. Plant Biol.* **2008**, *59*, 341–363. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Andreasen, C.; Skovgaard, I.M. Crop and soil factors of importance for the distribution of plant species on arable fields in Denmark. *Agric. Ecosyst. Environ.* **2009**, *133*, 61–67. [[CrossRef](#)]
63. Hawes, C.; Haughton, A.J.; Bohan, D.A.; Squire, G.R. Functional approaches for assessing plant and invertebrate abundance patterns in arable systems. *Basic Appl. Ecol.* **2009**, *10*, 34–42. [[CrossRef](#)]
64. Kinderienė, I. The influence of catch crops on the composition, number and frequency on weeds growing in cereal crops on hilly soils. *Zemdirbyste* **2005**, *91*, 40–54.
65. Jarašiūnas, G.; Kinderienė, I. Impact of agro-environmental systems on soil erosion processes and soil properties on hilly landscape in Western Lithuania. *J. Environ. Eng. Landsc. Manag.* **2016**, *24*, 60–69. [[CrossRef](#)]

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

## SUMMARY

### INTRODUCTION

The agro-alimentary sector is becoming more and more important in the world because the need of agricultural stocks and food increases and perspective new markets arise. They become active due to the number of inhabitants and the increasing level of food consumption as well as consumers' purchasing power growth in most of countries. Intensive farming requires huge amounts of fertilisers and pesticides, therefore becomes less popular due to economical, energy and environment protection problems. Such farming causes danger for the environment, on the other hand, minimal amounts of herbicides bring new problem – weediness. The expenses for herbicides in the world compose 20–30 % of all expenses that are necessary for the plants to grow (Auškalnienė et al., 2011). Strict regulations for the use of pesticides in the European Union eliminated from the market most of previously widely used active materials of herbicides (Hillocks, 2012).

Weed population is directly related to the seed bank in the soil (Brainard et al., 2008). The soil seed bank is composed from the mixture of diverse mature viable seeds in dormancy state (Gandía et al., 2022; Feledyn-Szewczyk et al., 2020). The seed bank with seeds of several generations is a potential source of biological variety, promoting the plant community dynamics and survival (Fisher et al., 2009) as well as composing the great part of weeds in crops (Auškalnienė et al., 2018). Seed bank damage during the changing climate period can occur due to reduced seed viability and seed germination under the unfavourable conditions (Ooi, 2012).

Crop weediness has been widely studied in Lithuania and other countries as well. Accomplished researches show, that plant fluctuation or the structure of crop rotation (Rudinskienė, 2022; Andrade et al., 2017; Arlauskienė et al., 2014; Andreasen, Skovgaard, 2009.), plenty of nutrients in soil (Čiuberkis, Vilkonis, 2013; Repšienė, Skuodienė, 2010), soil liming (Skuodienė et al., 2020; Skuodienė et al., 2017; Skuodienė, Repšienė, 2009), fertilising with mineral and organic fertilisers (Repšienė, 2010; Arlauskienė, Maikštėnienė, 2005; Kinderienė, 2005), methods of soil cultivation (Auškalnienė et al., 2018; Skuodienė et al., 2013; 2016; 2018; Avižienytė et al., 2015; Deveikytė et al., 2006; Velykis, Satkus, 2003;), use of herbicides (Deveikytė et al., 2015; Kinderienė, 2011; Ulber, 2010), competitive ability of plants and the harvest time of agricultural plants (Pilipavičius, 2005, Auškalnienė et al., 2010; Pšibišauskienė, 2012; Velička et al., 2016) have influence on crop weediness.

Changes in agricultural management practices stimulate changes of the soil seed bank properties that often promote the extent of flora and species composition (Nichols et al., 2015).

On purpose to suppose the long-term outcomes of the climate change for plants, species distribution especially in the ecosystems, where the survival of the seed bank is very important, it is necessary to link the future climate changes with mechanisms determining the seed bank (Ooi, 2012).

In the documents of the European Union it is stated, that the soil is important for our welfare and the balance of ecosystems (European Commission, 2019), while the water erosion destroys the soil, its particles are transferred from one place to another, thus the amount of nutritive declines (Kinderienė et al., 2013; Kinderienė, Karčauskienė, 2012; Jankauskas, 1996). Soil (together with seeds) movement caused due to water erosion is significant for the seed spread (Lewis et al., 2013). Therefore, it is important to understand the soil surface processes together with occurrences in the soil seed bank (persistent and temporary), including the viability and death of seeds. The concepts “persistent seed bank” and “temporary seed bank” are not clearly specified in the literature. Analysing similar concepts, the concepts for this manuscript were chosen according to Csontos (2007) and are more clearly explained in the section of research conditions and methods. There is still a lack of scientific researches analysing the correlation between the eroded soil and seed bank, especially evaluating the arable soil in hilly relief.

**Hypothesis of the research** – It is believed, that in the soil and soil runoff sediments of hilly relief, the seed bank extent, structure and seed species composition will depend on soil properties, different agrophytocoenoses and diverse parts of the hill slope.

**Aim of the research** – To determine the influence of different agrophytocoenoses on the soil seed bank, estimating in complex the vegetation as well as soil biological, physical and chemical indicators’ correlation in hilly relief.

**Tasks of the research:**

1. To determine persistent and temporary soil seed bank (seed number, vertical seed distribution, seed viability).
2. To determine and compare species composition of the soil seed bank and communities of agrophytocoenoses.
3. To determine seed number and species composition in the soil runoff sediments.
4. To assess the influence of the seed surface characteristics on seed distribution in the soil seed bank in different parts of the hill.
5. To assess correlations between the soil seed bank and soil properties (chemical, physical and microbiological).

**Propositions to be defended:**

1. The seed number and their vertical distribution in the soil layers of persistent and temporary soil seed bank significantly depends on different agrophytocenoses and hill parts.
2. The number of seed species in the seed bank changes significantly in different agrophytocenoses of the hilly relief. Floristic similarity of the soil seed bank and crop community species composition depends on different agrophytocenoses.
3. Seed number in the soil runoff sediments depends on different agrophytocenoses and number of days with heavy precipitation during the plant vegetation period. Seed surface characteristics correlate with seed distribution in hilly relief.
4. Correlation between chemical (soil  $pH_{KCL}$ , total nitrogen, mobile phosphorus, mobile potassium and organic carbon), physical (soil moisture, structure and texture) and biological (soil microbial biomass carbon) indicators of the soil and seed bank depends on microclimatic conditions of the hill parts.

**Novelty of the research work.** For the first time in eroded soils of Lithuania, in slopes occupied with different agrophytocenoses, changes of the persistent and temporary soil seed bank structure have been comprehensively analysed. Also, the features of the seed number and species composition in the soil runoff sediments as well as the importance of seed peel surface characteristics for the seed distribution in the soil seed bank have been evaluated for the first time. Moreover, after determining the regularities based on correlations, the relations of vegetation, soil seed bank and soil chemical, physical and biological indicators in the eroded soil of hilly relief have been estimated in complex.

**Practical value of the research work.** Complex correlation data of the persistent and temporary soil seed bank and soil chemical, physical and biological indicators have fundamental and practical importance. Prognosticated climate changes will inevitably affect seed ecology, therefore considering the patterns determined in the researches it will be possible to choose the appropriate means to keep the ecosystem stability in the hilly relief of eroded soil.

**Research approbation.** Three publications in topic of study have been published in the journal, that is reviewed and has a citation index in data base „Web of Science“; four publications have been published in other reviewed editions; four summaries – in editions of scientific conferences. Results of the research have been represented in 9 scientific conferences, 5 of them – international.

**Contents and structure of the dissertation.** Dissertation was written in Lithuanian language. The size of dissertation is 169 pages. It is composed of introduction, literature review, methods of the research, results and their discussion, conclusions, list of the literature used in the study and list of the scientific publications in topic of dissertation, copies of articles, and



summary of dissertation in English language. In dissertation, 8 tables, 28 figures, 7 appendix tables and 1 appendix figure were represented. 204 literature sources were used. Section 3.5 in the results of dissertation was prepared on the base of the manuscript by Skuodienė et al., (2023).

## METHODS OF THE RESEARCH AND METHODICS

**Object of the research** – Seed bank in different agrophytocenoses.

**Experiment location and soil.** Evaluating the influence of the environmental conditions on the soil seed bank in hilly relief, soil and plants samples have been taken from the stationary field trial established by Dr. B. Jankauskas in Vėžaičiai Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry in 1993 (Kaltinėnai, Šilalė district, coordinates: 55°577' N 22°482' E) (Fig. 1). Stationary field experiment scheme connects sixfold land cultivation systems rotating different plants or keeping diversely cultivated naturally changing phytocenoses during the period of six years (Jankauskas, Jankauskienė, 2003; Skuodienė et al., 2023).



*Figure 1. Stationary field experiment, Vėžaičiai Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Kaltinėnai, 2022*

The hill exposition is southern with the steepness of 9–11°. Soil of the experiment – dusty light loam on the coherent sand with deeper occurring dusty moderate loam eroded *Eutric Retisol* (WRB 2022). Indicators of the soil agrochemical and physical properties in the depths of 0–5 and 5–10 cm before the experiment are represented in Table 1.

**Table 1.** Agrochemical and physical properties of the soil, 2020 (Skudienė et al., 2023)

Variable	Parts of the hill					
	Summit		Midslope		Footslope	
	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm	0–5 cm	5–15 cm
Permanent grassland						
pH <sub>KCl</sub>	5.5	5.8	6.4	6.0	5.1	4.9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	52.7	39.7	96.0	46.3	38.3	14.0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	253.7	138.3	250.7	132.3	329.7	154.0
N <sub>sum</sub> (%)	0.132	0.096	0.150	0.124	0.162	0.101
C <sub>org</sub> (%)	1.12	0.97	1.54	1.17	1.65	1.12
Density (mg m <sup>-3</sup> )	1.00	1.12	0.76	0.93	0.81	1.07
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	21.4–25.5	14.5–18.0	22.3–42.7	22.3–23.4	23.0–30.7	19.5–20.7
Cereal–grass crop rotation						
pH <sub>KCl</sub>	5.6	5.4	5.3	5.1	5.1	5.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	192.0	201.0	165.0	168.0	149.0	148.0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	209.0	112.0	198.0	98.0	223.0	107.0
N <sub>sum</sub> (%)	0.078	0.077	0.097	0.096	0.106	0.101
C <sub>org</sub> (%)	0.9	0.8	1.1	1.0	1.1	1.0
Density (mg m <sup>-3</sup> )	1.34	1.36	1.35	1.35	1.27	1.33
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	12.1–16.1	11.9–14.7	15.4–21.2	14.1–19.4	17.8–21.8	16.9–20.6
Crop rotation with a row crop						
pH <sub>KCl</sub>	6.4	6.6	5.4	5.7	5.2	5.4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	211.7	213.7	174.3	174.0	163.7	140.0
K <sub>2</sub> O (mg kg <sup>-1</sup> )	181.7	112.7	225.0	103.7	207.3	116.3
N <sub>sum</sub> (%)	0.072	0.057	0.084	0.082	0.091	0.085
C <sub>org</sub> (%)	0.65	0.68	0.82	0.82	0.94	0.82
Density (mg m <sup>-3</sup> )	1.32	1.38	1.30	1.30	1.38	1.44
Soil moisture <sup>1</sup> (%)	13.0–15.7	13.3–14.6	15.3–16.6	15.4–16.4	18.2–20.2	17.5–18.9

Note: <sup>1</sup>–Min–max. values during the growing season.

## Scheme of the experiment

### Factor A. Agrophytocenoses

1. Permanent grassland
2. Cereal–grass crop rotation
3. Crop rotation with a row crop

### Factor B. Parts of the hill

1. Summit
2. Midslope
3. Footslope

Investigations of the soil seed bank were performed in the rotations which vary in soil tillage methods (Table 2.2) and in the permanent grassland (agrophytocenoses).

**Table 2.** Changes of grown plants in the crop rotations

Year	Cereal–grass crop rotation	Crop rotation with a row crop
2019	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>Triticum aestivum</i> L.
2020	<i>Hordeum vulgare</i> L.	<i>Solanum tuberosum</i> L.
2021	<i>Triticum aestivum</i> L.	<i>Hordeum vulgare</i> L. with undersown perennial grasses
2022	<i>Hordeum vulgare</i> L. with undersown perennial grasses	Perennial grasses first year of use
2023	Perennial grasses first year of use	<i>Triticum aestivum</i> L.
2024	Perennial grasses second year of use	Black fallow

**Permanent grassland** was unfertilised and unmowed, composed from the mixture of multicomponent grasses (20.0% timothy-grass (*Phleum pratense* L.), 20.0% of red fescue (*Festuca rubra* L.), 20.0% of meadow-grass (*Poa pratensis* L.), 20.0% of white clover (*Trifolium repens* L.) and 20.0% of common bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.)), undersown to common vetch (*Vicia sativa* L.) and common oat (*Avena sativa* L.) mixture. Before establishing stationary field experiment, the grassland was grown 12 or more years without repeated sowing (Jankauskas, Jankauskienė, 2003; Skuodienė et al., 2023).

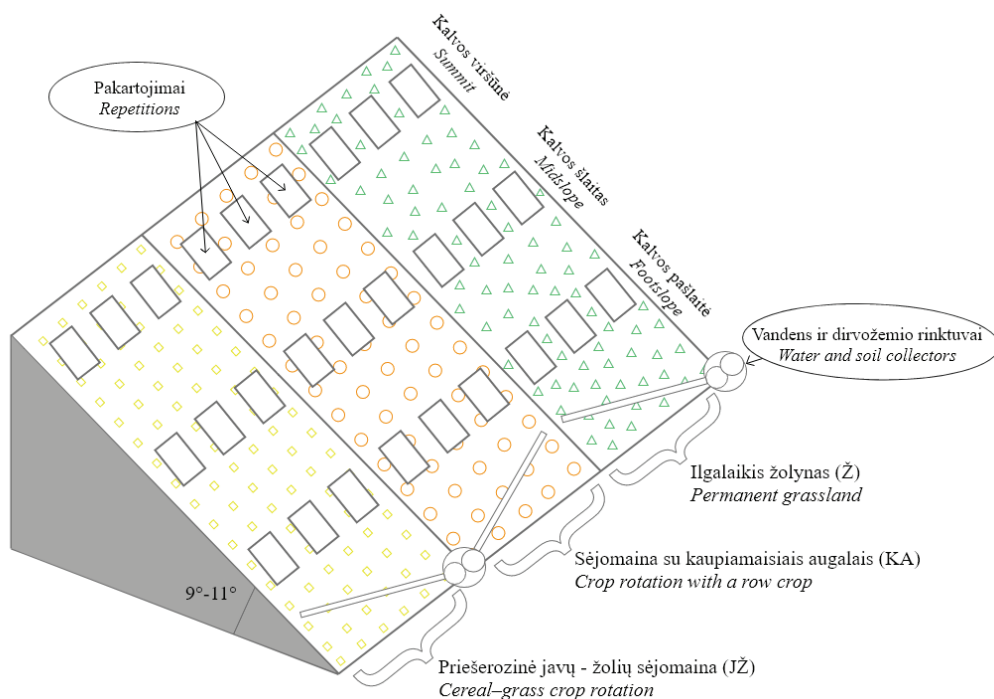
**Cereal-grass crop rotation. In 2020**, spring barley (*Hordeum vulgare* L.) “Luokė” have been grown, sown in 2020.04.23, with a rate of 220 kg ha<sup>-1</sup>. After sowing, crops have been fertilised with NPK 9–14–27+7S, with a rate of 250 kg ha<sup>-1</sup> then rolled. During the plant growing period herbicides BBCH 32 have been used: MCPA (MCPA 750 g l<sup>-1</sup>) 30 ml + Arrat (dikamba 500 g kg<sup>-1</sup> (50.0%) and tritosulfuron 250 g kg<sup>-1</sup> (25.0 %)) 10 ml. **In 2021**, spring wheat (*Triticum aestivum* L.) “Taifun” have been grown, sown in 2021.04.27, with a rate of 250 kg ha<sup>-1</sup>. Before sowing, crops have been fertilised with NPK 15–15–15, with a rate of 600 kg ha<sup>-1</sup>. After sowing crops were rolled. Pesticides were not used (Skuodienė et al., 2023). **In 2022**, spring barley (*Hordeum vulgare* L.) undersown with perennial grasses have been grown. Spring barley species “Ema” has been sown in 2022.05.04, with a rate of 180 kg ha<sup>-1</sup>. A mixture of perennial grasses has been sown: timothy-grass (*Phleum pratense* L.) and red clover (*Trifolium pratense* L.), with a rate of 18 kg ha<sup>-1</sup>, ratio 1:2. Before sowing, crops have been fertilised with NPK 15–15–15, with a rate of 400 kg ha<sup>-1</sup>. During the plant growing period herbicide BBCH 23 have been used: MCPA 750 (MCPA 750 g l<sup>-1</sup>) 0.8 l ha<sup>-1</sup>.

**Crop rotation with a row crop. In 2020**, potatoes (*Solanum tuberosum* L.) “Vineta” have been grown, sown in 2020.05.05, with a rate of 4 t ha<sup>-1</sup>. Before sowing they were fertilised with NPK 9–14–27+7S, with a rate of 250 kg ha<sup>-1</sup>. During the plant growing period pesticides BBCH 41 have been used: fungicide Infinito (propamocarb hydrochloride 625 g l<sup>-1</sup> (55.3%), fluopicolide 62.5 g/l (5.5%)) 1.6 l ha<sup>-1</sup> and insecticide Bulldock 025 EC (beta-cyphlutrine 25g l<sup>-1</sup>) 0.25 l ha<sup>-1</sup>. **In 2021**, spring barley (*Hordeum vulgare* L.) undersown with perennial grasses have been grown. Spring barley species “Laureate” has been sown in 2021.04.27, with a rate of 200 kg ha<sup>-1</sup>. A mixture of perennial grasses has been sown: red clover (*Trifolium pratense* L.) species “Arimaičiai”; meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.) species “Arita”, alfalfa (*Medicago sativa* L.) species “Birutė”, timothy-grass (*Phleum pratense* L.), species “Žolis”, with a rate of 22 kg ha<sup>-1</sup>. Before the sowing, crops have been fertilised with NPK 15–15–15, with a rate of 600 kg ha<sup>-1</sup>, after sowing – rolled. Pesticides were not used (Skuodienė et al., 2023). **In 2022**, perennial grasses of the first year of use have been grown.

Protecting the slope soil from erosion in winter, stubbles were left in both rotations, and in spring minimal soil tillage was applied (12–15 cm depth). Crops and perennial grasses have been sown along the slope.

The length of the southern slope reached 65.0 m. Stationary 21.0 m<sup>2</sup> (7.0 × 3.0 m) areas have been arranged in each part of the hill. Each area was divided into three repetitions – rectangle shape fields 7.0 m<sup>2</sup> (7.0 × 1.0 m). Distances between the areas in different parts of the hill was 15.0 metres. Samples of the soil seed bank and chemical, physical and microbiological analyses have been taken in three repetitions, which were located in horizontal direction (Figure 2).

To collect drained water and soil that is washed away, 2.0 m depth and 15 m diameter wells for water and soil reservoirs are installed in the footslope of the hill.



**Figure 2.** Experimental design, 2020–2022

## Methods of analyses

**Plant analyses.** Soil samples were taken out from two depths to determine the soil seed bank: in 0–5 cm and 5–15 cm depths of each repetition and washed soil (runoff sediments). From each repetition in 20 positions 2 kg of soil were collected using a drill. In total, five 100 g samples were taken out and weighed. Weighed 100 g of dry soil sample was poured into a sieve (mesh size 0.25 mm) and washed under running water, until all contents of the soil were washed out. The remaining mineral part of the soil was separated from the organic part and seeds using the saturated salt solution. (Pupalienė et al., 2012). Seed species were determined using the view magnifying optical devices and for seed species description A. Grygo (1986) monograph “Lithuanian plants’ fruits and seeds” was used. Seed viability was determined according to Rahman et al. (1995).

Seed number was recalculated to thousands of units per m<sup>2</sup>.

$$A = n \times h \times p \times 100$$

where: A – seed number, units m<sup>2</sup>; n – seed number found in a sample, units; h – thickness of the examined arable layer, cm; p – soil density, g cm<sup>3</sup> (Stancevičius, 1979).

The soil seed bank varies (refills and disappears), therefore, according to Csontos (2007), soil samples have been taken two times to investigate the seed bank. To detect the whole seed bank i.e., refilled with mature seeds during the plant vegetation period or the seeds brought by wind or water, soil samples have been taken in the autumn (2020.09.11; 2021.09.01 and 2022.09.22). The concept “**temporary seed bank**” was used in the text, because a part of seeds is decomposed by the spring or is destroyed by the soil fauna. Analysing the unchanging part of the seed bank, soil samples have been taken in the spring, the beginning of vegetation period (2020.04.08; 2021.04.21 and 2022.03.24), therefore the concept “**persistent seed bank**” was used in the text.

Weed recording was accomplished in each repetition, in four positions of 0.25 m<sup>2</sup> size stationary areas. Crop weediness was determined 2 times during the vegetation: weed number (according to species) (2020.06.25; 2021.06.02 and 2022.06.03) and weed number and their mass (according to species) (2020.07.28; 2021.08.04 and 2022.08.19).

Permanent grassland species composition was determined using De Vries method (Peeters, 1989, Skuodienė, 2004), taking 30 plants samples out of one site and evaluating them. Sample taking from the site is random. In the study, relative species abundance index (P %) expressed by percentage was used:

$$P \% = F \% / \Sigma F \% \times 100,$$

where: F % species frequency percentage:  $F \% = n/N \times 100$ . It is scored, when the sum of samples with species found within (n) are divided from the total number of samples (N) (Peeters, 1989).

**Soil chemical analyses.** Soil samples for chemical analyses have been taken from each repetition in 0–5 and 5–15 cm depths. The sample was composed from 20 probe sticks, taken from each plot in diagonal direction. Soil chemical properties were determined by these methods: pH<sub>KCl</sub> 1 mol l<sup>-1</sup> KCl suspension – ISO 10390:2005; organic carbon (C<sub>org</sub>) – using Dumas dry combustion method ISO 10694:199; total nitrogen (N<sub>sum</sub>), % – using Kjeldahl method ISO 11261:1995; mobile phosphorus P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg kg<sup>-1</sup> – using LVP D-07:2016, 9th edition, laboratory prepared Egner-Riehm-Domingo (A–L) method; mobile potassium K<sub>2</sub>O mg kg<sup>-1</sup> – using LVP D-07:2016, 9th edition, laboratory prepared Egner-Riehm-Domingo (A–L) method; C:N ratio was determined according to formula:  $C_{org} / N_{sum} = C:N$ .

**Soil physical analyses.** Soil density and moisture from the depths of 0–5 and 5–10 cm have been determined to evaluate the conditions of aeration and moisture. The density was determined with a 100 cm<sup>3</sup> cylindrical drill (Kachinsky method). Soil moisture (%) during the plant vegetation period was determined by weight method.

Soil structure analysis (dry sieving) – stability of micro and macro aggregates affected by water was determined from 0–5 and 5–15 cm depths using Savinov method.

Soil texture was determined according to the percentage of three fractions: sand, silt and clay (Kachinsky method, modified according to FAO).

**Soil biological analyses.** Soil biological activity was assessed determining the total microbial biomass carbon. Soil samples for the analyses have been taken out from each plot in 0–5 and 5–15 cm depths.

Soil microbial biomass carbon (MBC) was determined with the chloroform fumigation and extraction (CFE) method, according to Vance et al. (1987) and Brooke (1995). The MBC sample was calculated with the following equation (Jenkinson, Powelson, 1976):

$$MBC = CE / 0.35,$$

Where: MBC is the amount of the dry weight of air-dry soil obtained from the average of three measurements, expressed in mg C; CE – the difference between organic C, extracted from fumigated and non-fumigated samples.

**Meteorological conditions.** Assessing meteorological condition, the data of Laukuva meteorological station have been used (average temperature and precipitation of the month).

**Table 2.** The average daily air temperature (°C) and precipitation (mm) during the study period. Data from the Laukuva Automatic Meteorological Station, 2020–2022

Year/ Month	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Average air temperature (°C)												
2020	2.5	1.9	2.6	6.0	9.7	17.8	16.1	17.5	14.0	9.4	5.2	0.1
2021	-1.6	-5.3	1.1	5.0	10.3	18.5	21.2	15.2	11.0	8.0	3.7	-3.1
2022	-0.4	0.7	1.5	5.1	10.1	16.5	16.9	19.7	10.2	9.7	2.4	-3.0
Long-term average	-3.2	-2.9	0.3	6.4	11.6	14.9	17.4	16.6	12.1	6.7	2.1	-1.4
Precipitation rate (mm)												
2020	90.8	99.6	64.7	24.4	40.4	70.9	85.5	64.2	29.5	78.6	75.1	32.3
2021	36.1	5.4	40.7	31.4	93.8	48.6	93.4	136.4	44.6	74.2	104.9	28.2
2022	70.7	126.9	0.7	65.3	52.5	86.0	89.4	8.5	94.3	23.6	30.6	70.6
Long-term average	68.0	50.0	46.0	38.0	47.0	67.0	85.0	90.0	69.0	85.0	75.0	69.0

In January, February and March of **2020**, the average air temperature was positive and the amount of precipitation reached 90.8; 99.6 and 64.7 mm (33.5; 99.2 and 40.6 % more than the standard climate norm (SCN)) (Table 2). Plant vegetation renewed on the 25<sup>th</sup> of April. During the plant growth, i. e. April–July months, the air temperature and amount of precipitation were close to the SCN. In April and May, the amount of precipitation was 13.6 and 6.6 mm lower than the SCN, and the average air temperature was lower by 0.4°C and 1.9°C. In June, the amount of precipitation was close to the SCN, and the average air temperature was higher by 2.9°C. In July, the amount of precipitation was standard while the average air temperature was 1.3°C lower than the SCN. From August to December, warmer and drier air dominated compared to the SCN. The amount of precipitation in August was lower by 25.8 mm, in September – by 39.5 mm, in October – by 6.4 mm and in December – by 36.7 mm lower than usually, while in November the amount of precipitation matched the SCN. The average air temperature in the months of August – December was determined higher by 0.9–3.1°C compared to the SCN.

In January – April months of **2021**, the amount of precipitation was lower than the SCN (in January – lower by 31.9 mm; in February – by 44.6 mm; in March – by 5.3 mm and in April – by 6.6 mm). The average air temperature in January was higher than usually (higher by 1.6°C), however the temperature in February was 2.4°C lower than the standard climate norm.

The average temperature in March (0.8°C) was higher than the SCN. In months of April and May, the average air temperature was higher by 1.4°C and 1.3°C, and the amount of precipitation in May was 46.8 mm higher than the SKN. In June the amount of precipitation was lower by 18.4 mm, the air temperature was determined to be averagely 3.6°C higher than usually. In July and August, the amount of precipitation was averagely 8.4 and 46.4 mm higher than usually, however the air temperature in July was determined to be higher by 3.8°C and in August – lower by 1.4°C than the standard climate norm. The months of September and October were drier: the amount of precipitation in September was on the average lower by 24.4 mm, and in October – by 10.8 mm. The air temperature in September was 1.4°C higher than the SCN. September and October months were warmer, the average air temperature was determined to be 1.3°C and 1.6°C higher than usually. November was rainy, the amount of precipitation was on the average 29.9 mm higher than usually. However, December was drier with 40.8 mm lower amount of precipitation.

The months of January and February in **2022** were warmer and more humid than usually, the amount of precipitation was on the average 2.7 and 76.0 mm higher than the standard climate norm, and the average air temperature was determined to be higher by 2.8 and 2.2°C. The month of March was dry and warm, the amount of precipitation was determined to be on the average 45.3 mm lower and the air temperature – 1.2°C higher than the standard climate norm. The months of April – September were more humid than usually, the amount of precipitation in April was higher by 27.3 mm; in May – by 5.5 mm; in June – by 19.0 mm; in July – by 4.4 mm; in August – by 81.5 mm and in September – by 25.3 compared to the standard climate norm. The average air temperature in April and May was 1.3 and 1.5°C lower, and in June it was 1.6°C higher than the SCN. The average air temperature in July was close to the standard climate norm and was lower only by 0.5°C. The greatest amount of precipitation through the year has fallen in August, however the air temperature was also 3.1°C higher compared to the standard climate norm. The average air temperature in September was 1.9°C lower compared to the standard climate norm. The months of October and November were warmer and drier, the air temperature was on the average 3.0°C and 0.3°C higher, and the amount of precipitation was 61.4 and 44.4 mm lower than the standard climate norm. In December it was determined, that the average air temperature was lower by 1.6°C and the amount of precipitation was lower by 1.6 mm.

**Statistical evaluation of the research data.** The experimental data were assessed using multifactorial dispersion analysis method (ANOVA) (Raudonius, 2017). Significance of the



differences between the trials was evaluated with the method of two-factor dispersive analysis. The data were compared using the Fisher's protected Least Significant Difference test ( $F$ ) at a probability level of  $P < 0.05$ . The correlation and regression analysis between the data sets was done ( $r$ ). Statistical programming software for all statistical analyses was SAS Enterprise (2011).

Using the hierarchical cluster analysis it was assessed how the seed shape, size and surface influenced the seed distribution in various sites of hilly relief (summit, midslope and footslope). Seed surface morphological traits were converted to binary matrix, where the absence of trait was marked by 0, and the presence – 1. A dendrogram was formed with distances matrix of Nei and Li (1979) and the unweighted pair-group method using arithmetic averages (UPGMA) in Treecon v.1.3b software (van de Peer and de Wachter, 1994). To test the statistical reliability of the dendrogram, a bootstrap analysis with 1000 distance matrixes have been performed using the bootstrap tool in Treecon v.1.3b software.

Using the statistical floristic similarity coefficient  $C_s$  (Magguran, 1992), the comparison between the species composition of the agrophytocenoses above-ground and the soil seed bank was performed.

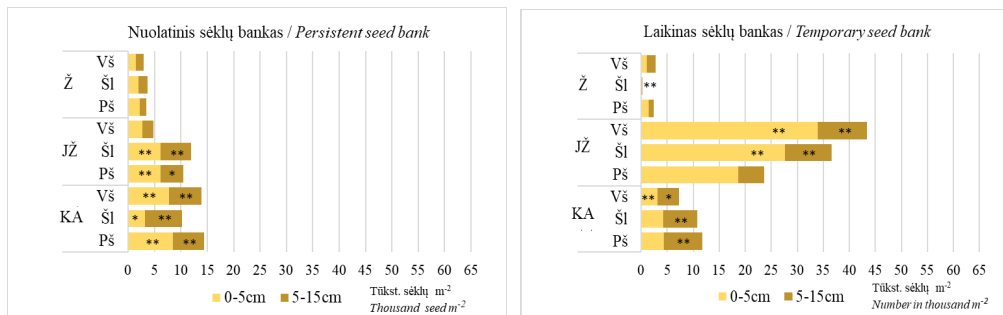
$$C_s = 2w / (A + B),$$

where:  $w$  is the total number of species in both situations,  $A$  – number of species in one of two situations,  $B$  – number of species in the other situation.

## RESULTS

### Soil seed bank structure (seed number, vertical distribution)

Soil seed number changes both in space and time (Shiferaw et al., 2018). Parts of the hill and agrophytocenoses had significant influence on the seed number in the soil seed bank in all experimental year. In persistent soil seed bank in 2020 (0–15 cm depth), significantly the least (3348 seeds  $m^{-2}$ ) seed number was determined in the soil of permanent grassland (Figure 3), while the greatest (12894 seeds  $m^{-2}$ ) seed number was determined in the soil of crop rotation with a row crop. The seed number in the soil of permanent grassland was 2.7 and 3.8 times lower compared to cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop.



**Figure 3. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2020**

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal–grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ ).

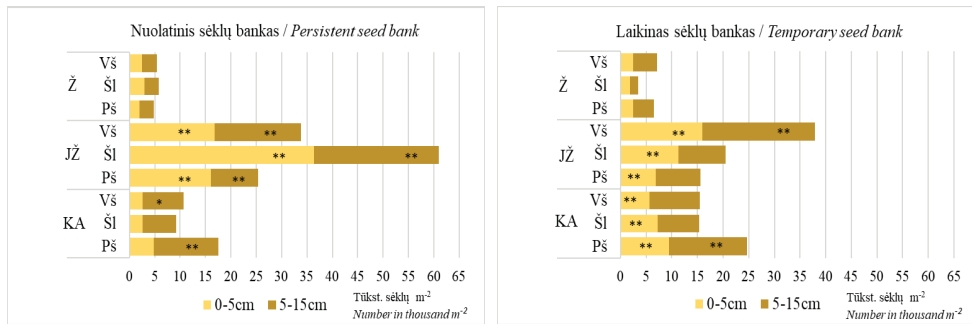
The same tendencies remained in the temporary soil seed bank (0–15 cm depth): the highest seed number (34515 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in cereal–grass crop rotation. In the soil of permanent grassland, the number of seeds was 19.1 and 5.5 times lower compared to the rotations mentioned above. In the temporary seed bank of the permanent grassland and in the seed bank of the crop rotation with a row crop, the number of seeds was determined to be, respectively: 1.8 and 1.3 times lower compared to persistent soil seed bank. However, in the temporary soil seed bank of cereal–grass crop rotation, the number of seeds was determined to be 3.8 times higher than in persistent soil seed bank.

Irrespective of the agrophytocenosis, the hill parts significantly affected seed number in both depths of the persistent soil seed bank. Significantly the highest seed number (9434 seeds m<sup>-2</sup>) in the depth of 0–15 cm was determined in the footslope of the hill. The number of seeds in the summit and midslope of the hill was lower by 23.4 and 8.3% compared to the footslope of the hill. That might be caused by the relief, because the resources of soil moisture and nutrients increase in lower parts of slope, thus forming better growth conditions for the crop plants.

Significant influence of the hill parts on the temporary seed bank was determined only in 0–5 cm soil depth. The number of seeds decreased consistently in the downslope direction – 17789, 15853 and 12601 seeds m<sup>-2</sup> respectively: in the soil of summit, midslope and footslope of the hill.

In persistent soil seed bank in 2021 (0–15 cm depth), significantly the highest (40062 seeds m<sup>-2</sup>) seed number was determined in cereal–grass crop rotation (Figure 4). In the soil of crop rotation with a row crop the number of seeds was 3.2 lower compared to the cereal–grass crop rotation.

In permanent grassland, it was found 5347 seeds m<sup>-2</sup> or 7.5 and 2.3 times less compared to the cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop.



**Figure 4. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2021**

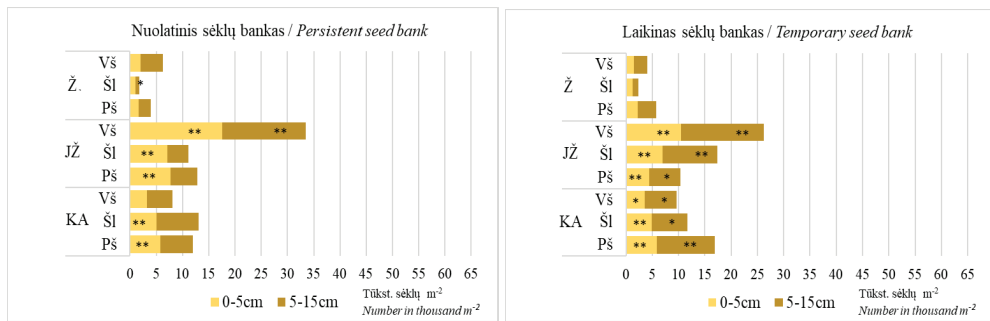
Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

The same tendencies remained in the temporary soil seed bank (0–15 cm depth): the highest seed number (24649 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in the cereal–grass crop rotation (Figure 4). In the soil of permanent grassland, the number of seeds was 4.4 and 3.2 times lower, comparing cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop. Comparing the accumulation of persistent and temporary seed bank it was determined, that in temporary soil seed bank of the cereal–grass crop rotation there were 1.6 times less of seeds determined compared to persistent soil seed bank and in the crop rotation with a row crop – 1.5 times more. The accumulation of the seeds in the soil of permanent grassland remained alike.

The hill parts in persistent soil seed bank significantly affected the seed number in 0–5 cm depth. Significantly the highest number of seeds (13999 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in the midslope of the hill (Figure 4). In the summit and footslope parts, the number of seeds was lower by 47.8 and 45.7 % compared to the midslope of the hill.

The hill parts in temporary soil seed bank significantly affected the seed number in both depths. Most of seeds (20134 seeds m<sup>-2</sup>) in 0–15 cm soil depth were determined in in the seed bank of the summit of the hill. In the midslope and footslope parts, the number of seeds was determined to be lower by 35.0 and 22.8 % compared to the summit of the hill.

In 2022 it was identified, that in persistent soil seed bank (0–15 cm soil depth) significantly the least (4003 seeds m<sup>-2</sup>) seed number was determined in the soil of permanent grassland (Figure 5), while the highest (19127 seeds m<sup>-2</sup>) – in cereal–grass crop rotation. The number of seeds in the soil of permanent grassland was 4.8 and 2.8 times lower compared to cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop.



**Figure 5. Soil seed bank (seed m<sup>-2</sup>), 2022**

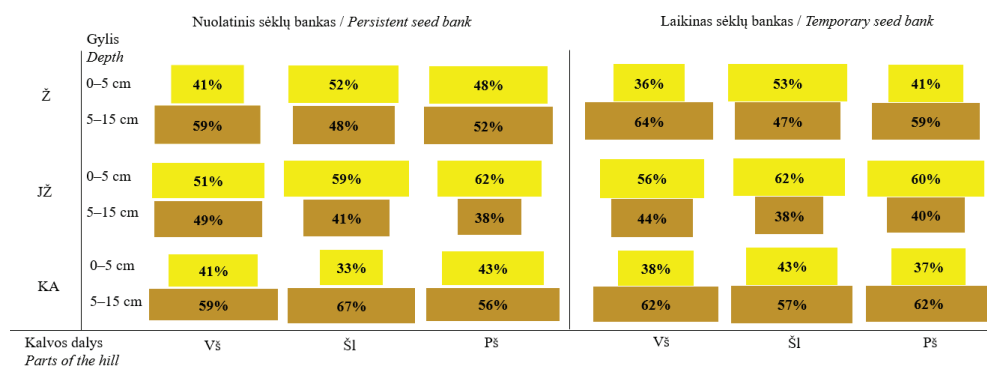
Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

The same tendencies remained in the soil of temporary grassland (0–15 cm depth): significantly the highest seed number (17997 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in cereal–grass crop rotation (Figure 5). In the soil of permanent grassland, there were 4.4 and 3.1 times less of seeds found than in cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop. In the temporary soil seed bank of the permanent grassland and in cereal–grass crop rotation, the seed number was determined to be similar while in crop rotation with a row crop there were 1.2 times more of seeds determined compared to persistent seed bank.

Hill parts had significant influence for the seed number in persistent seed bank in both soil depths. Significantly the highest seed number (15930 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in the summit of the hill (Figure 5). In the midslope and footslope parts, the number of seeds was determined to be 45.4 and 40.1 % lower compared to the summit of the hill.

Hill parts did not have significant influence for the number of seeds in temporary seed bank, however the tendency remained similar. The highest number of seeds (13296 seeds m<sup>-2</sup>) was determined in the soil seed bank of the summit part of the hill, while in the midslope and footslope parts the number of seeds was determined to be 21.2 and 17.5 % lower than in the summit of the hill.

Vertical distribution of the soil seed bank depended on different intensity agrophytocoenoses. When the soil is covered with permanent grass covering, erosion and the seed transportation can not occur, because the vegetal cover creates biological barrier so the seed accumulation in persistent seed bank in both depths was determined to be similar in all parts of the hill. In temporary seed bank, the depth of 0–5 cm in the midslope of the hill was outstanding and could be influenced by the seed spread during the plant vegetation period (Figure 6).



**Figure 6.** Vertical distribution of the soil seed bank (%), 2020–2022

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope.

Under the reduced soil tillage, in persistent seed bank in 0–5 cm depth of the cereal–grass crop rotation, seed accumulation increased in the downslope direction; similar tendency was also determined in temporary seed bank.

In the rotation, where the accumulative plants have been grown (crop rotation with a row crop), the soil was more moved, so the higher seed number was determined in 5–15 cm depth. The same tendency remained in temporary seed bank.

In persistent soil seed bank, viable seeds composed averagely 62.7–74.7 %, and in temporary – 62.9–66.4 % of the total seed number. Irrespective of the agrophytocenosis and seed bank type, under the conditions of different soil humidity in hilly relief, the most of viable seeds was found in the footslope (66.5 %), and the least – in the summit of the hill (61.4 %). Correlation between the seed viability and the annual amount of precipitation was determined ( $r = 0.802^{**}$  and  $0.940^{**}$ , respectively: persistent and temporary seed bank).

### Soil seed bank species composition

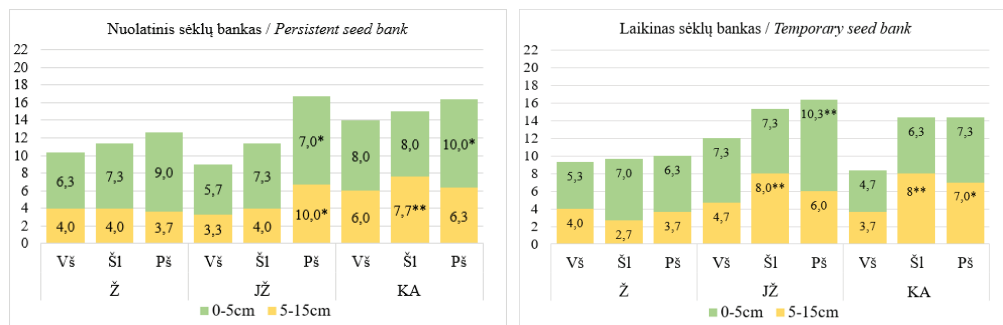
In 2020, the seeds of 32 plant species have been found in the soil seed bank of examined agrophytocenoses: 22 species of this number belonged to weeds, 9 species belonged to plants from other growth places and one species – to trees. The total number of seed species in the soil of permanent grassland was determined to be 26, in the soil of cereal–grass crop rotation – 22 and in the soil of crop rotation with a row crop – 23.

Agrophytocenoses had the significant influence on the number of seed species in persistent soil seed bank in 5–15 cm depth, while the hill parts – in the depth of 0–5 cm.

In persistent soil seed bank (5–15 cm depth), significantly the most of species (6.7 species m<sup>-2</sup>) were determined in the soil of crop rotation with a row crop (Figure 7). In the

soil of permanent grassland and cereal–grass crop rotation, there were found 1.7 and 1.4 times less of seed species than in crop rotation with a row crop.

Irrespective of the agrophytocoenoses, in both soil depths (0–5 and 5–15 cm) the number of seed species was determined to be 1.4 and 1.3, as well as 1.3 and 1.1 times higher in the footslope part compared to the summit and midslope of the hill (respectively: 9.7 and 5.6 species m<sup>-2</sup>). In 0–5 cm soil depth the differences mentioned above were significant.



**Figure 7.** Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2020

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

Significant influence of the examined factors in temporary soil seed bank was determined in both depths. In 0–5 depth, the number of seed species in the soil of cereal–grass crop rotation was determined to be significantly higher (1.3 and 1.4 times) compared to permanent grassland and crop rotation with a row crop (Figure 7). Significantly less of species in 5–15 cm depth (1.8 times each) was determined in the soil of permanent grassland compared to cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop.

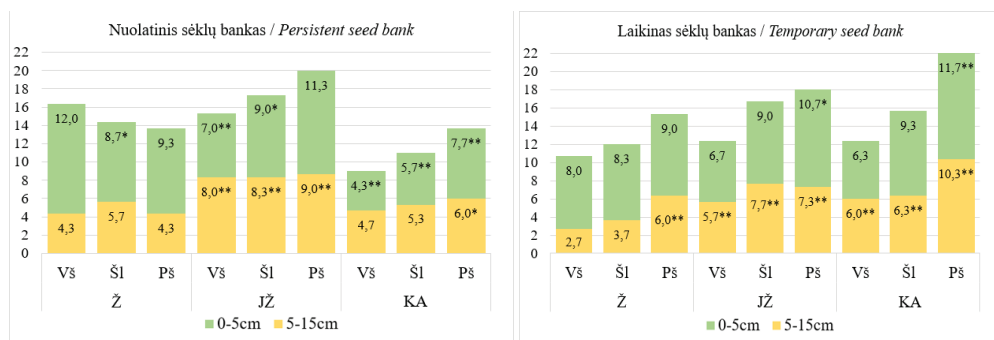
Irrespective of the agrophytocoenosis, in 0–5 cm depth of the temporary seed bank, significantly higher number of seed species was determined in the soil of footslope (1.4 and 1.2 times) compared to the summit and midslope of the hill. Significantly higher number of seed species was determined in 15 cm soil depth of the midslope part (1.5 and 1.1 times) compared to the summit and footslope of the hill.

In 2021, the seeds of 40 plant species have been found in the soil seed bank of examined agrophytocoenoses: 24 species of this number belonged to weeds, 15 species belonged to plants from other growth places and one species – to trees. The total number of seed species in the soil of permanent grassland was determined to be 32, in the soil of cereal–grass crop rotation – 21 and in the soil of crop rotation with a row crop – 26.

Agrophytocenoses had the significant influence on the number of seed species in persistent soil seed bank in 0–5 and 5–15 cm depths, while the hill parts – in the depth of 0–5 cm.

In persistent soil seed bank (0–5 cm depth) of the crop rotation with a row crop, the number of seed species was determined to be significantly lower (1.7 and 1.5 times) compared to permanent grassland and cereal–grass crop rotation. In 5–15 cm soil depth, significantly higher number of species (8.4 species m<sup>-2</sup>) was determined in the soil of cereal–grass crop rotation (Figure 8). The number of seed species in permanent grassland and crop rotation with a row crop was determined to be 1.8 and 1.6 times lower compared to cereal–grass crop rotation.

Irrespective of the agrophytocenoses, significantly higher number of seed species was determined in the the footslope of the hill in 0–5 cm soil depth (1.2 times each) compared to the summit and midslope of the hill. There were no significant differences determined in 5–15 cm soil depth but the number of seed species was similar (from 5.8 to 6.4 species m<sup>-2</sup>).



**Figure 8.** Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2021

Note: agrophytocenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal-grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): VŠ – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

In temporary soil seed bank, agrophytocenoses had significant influence in 5–15 cm soil depth, and the hill parts – in both depths (0–5 and 5–15 cm).

In the depth of 5–15 cm, significantly higher number of seed species was determined in the soil of cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop (1.6 and 1.8 times) compared to the permanent grassland (Figure 8).

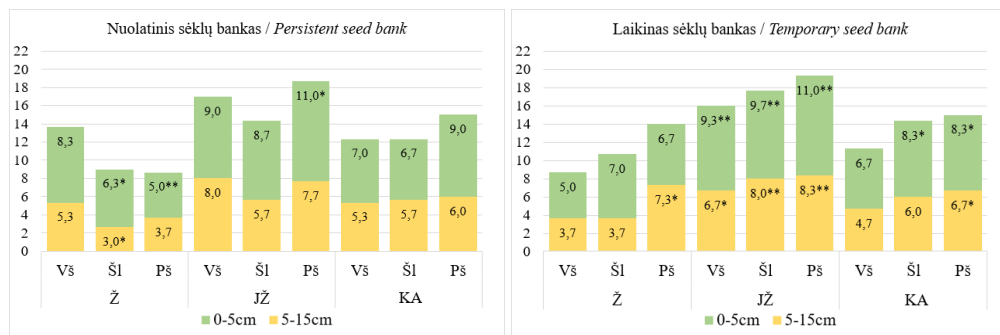
Irrespective of the agrophytocenoses, in 0–5 cm soil depth, significantly more of seed species was determined in the midslope and footslope of the hill (1.3 and 1.5 times) compared to the summit part. In the depth of 5–15 cm, significantly higher number of seed species was determined in the footslope part (1.7 and 1.4 times) compared to the summit and midslope of the hill.

In 2022, the seeds of 33 plant species have been found in the soil seed bank of examined agrophytocoenoses: 20 species of this number belonged to weeds, 12 species belonged to plants from other growth places and one species to trees (Tables 1–6, view in the appendixes). The total number of seed species in the soil of permanent grassland was determined to be 20, in the soil of cereal–grass crop rotation – 21 and in the soil of crop rotation with a row crop – 25.

Only the agrophytocoenoses had significant influence on the number of seed species in 0–5 and 5–15 cm depths of the persistent soil seed bank.

In persistent soil seed bank (0–5 and 5–15 cm depths), significantly the most of species (9.6 and 7.1 species m<sup>-2</sup>) was determined in cereal–grass crop rotation (Figure 9). In soils of permanent grassland and crop rotation with a row crop, in 0–5 cm and 5–15 cm depths, the number of seed species was determined, respectively, 1.4 and 1.3, as well as 1.8 and 1.2 times lower compared to cereal–grass crop rotation.

Comparing parts of the hill, there were no significant differences identified, the number of seed species was determined to be similar (7.2–8.3 and 4.7–6.2 species m<sup>-2</sup>, respectively: in 0–5 cm and 5–15 cm depths).



**Figure 9.** Number of seed species in the soil seed bank (species m<sup>-2</sup>), 2022

Note: agrophytocoenoses (factor A): Ž – permanent grassland, JŽ – cereal–grass crop rotation, KA – crop rotation with a row crop; parts of the hill (factor B): Vš – summit, Šl – midslope, Pš – footslope. (\* and \*\* – significantly different at P < 0.05 and P < 0.01).

In temporary soil seed bank, agrophytocoenoses significantly affected the number of species in 0–5 and 5–15 cm depths, while the hill parts had the influence in 5–15 cm depth.

In 0–5 and 5–15 cm depths, significantly higher number of seed species was determined in the soil of cereal–grass crop rotation (1.6 and 1.3 as well as 1.6 and 1.3 times) compared to permanent grassland and crop rotation with a row crop (Figure 9).

Irrespective of the agrophytocoenosis, in 5–15 cm soil depth, significantly higher number of seed species was determined in the footslope of the hill (1.5 and 1.2 times) compared to the summit and midslope parts. In 0–5 cm depth, there were no significant differences between the variations determined. However, a tendency remained, that in the soil of summit of the hill there



were less of seed species found (1.2 times each) compared to the midslope and footslope of the hill.

A short-term dicotyledonous species *Chenopodium album* L. and perennial dicotyledonous species *Lotus corniculatus* L. and *Cirsium arvense* L. Scop dominated in the seed bank of permanent grassland.

A short-term dicotyledonous species *Chenopodium album* L., *Viola arvensis* Murr., *Erysimum cheiranthoides* L. and short-term monocotyledonous species *Echinochloa crus-galli* L. and *Setaria viridis* P. B. dominated in the soil seed bank of cereal–grass crop rotation.

A short-term dicotyledonous species *Chenopodium album* L., *Viola arvensis* Murr. and short-term monocotyledonous species *Setaria viridis* P. B. dominated in the crop rotation with a row crop.

### Comparison of the soil seed bank and agrophytocenoses species composition

In persistent soil seed bank of the permanent grassland, the number of seed species was determined to be 18.9 % greater compared to the temporary soil seed bank. Comparing species composition of the persistent and temporary seed bank with species composition of the grassland it was determined that species composition of 13 common plant species and the soil seed bank coincided with species composition of the grassland by 25.0 and 27.0 (Table 3). *Lotus corniculatus* L. and *Cirsium arvense* (L.) Scop. formed the greatest part. Also, in persistent and temporary soil seed bank, the seeds of *Chenopodium album* L. formed the greatest part (40.2 and 25.4 %), however, these seeds were not found in the grassland. On the contrary, *Festuca rubra* L. was outspread in the permanent grassland (16.9 %), but these seeds were not found in the soil seed bank.

**Table 3.** Plant species number and floristic similarity coefficients of Sørensen (Cs), 2020–2022 m.

Agrophytocenoses	Permanent grassland		Cereal–grass crop rotation		Crop rotation with a row crop	
	Spring	Autumn	Spring	Autumn	Spring	Autumn
Seed bank	37	30	31	27	25	26
Crop plant species	68	68	25	26	29	32
Coefficients of Sørensen(Cs)	0.25	0.27	0.50	0.42	0.41	0.38

In persistent soil seed bank of the cereal–grass crop rotation, the number of seed species was determined to be 12.9 % higher compared to the temporary seed bank. Comparing species composition of the persistent and temporary seed bank with species composition of crops it was determined, that species composition of the soil seed bank coincided with species composition of crops by 50.0 and 42.0 %. *Setaria viridis* L. and *Viola arvensis* Murr. formed the greatest part.

*Poa annua* L. was also dispersed in crops, however these seeds were not found in the soil seed bank.

In persistent soil seed bank of the crop rotation with a row crop, a similar, only 3.8 % higher number of species was determined, compared to temporary soil seed bank. Comparing species composition in persistent and temporary seed bank with species composition in crops, 11 common plant species have been determined – species composition of the soil seed bank coincided with species composition in crops by 41.0 and 38.0 %. *Viola arvensis* Murr., *Fallopia convolvulus* L. and *Chenopodium album* L. formed the greatest part. *Equisetum arvense* L. was also spread in crops, however the seeds of this species were not found in the soil seed bank.

The seeds of dicotyledonous plants dominated in all agrophytocenoses in persistent and temporary soil seed bank as well as in the aboveground part (88.9 – 96.8 % in the soil seed bank; 71.9 – 82.4 % in the aboveground part).

#### Seed number and species composition of plants in the soil runoff sediments

In 2020, 42.8 times less of seeds have been washed out from the surface of permanent grassland compared to cereal–grass crop rotation and 53.2 times less than in crop rotation with a row crop (Table 4). It is believed, that due to grown accumulative plants (potatoes) the soil is moved more in crop rotation with a row crop and under the condition of heavy precipitation ( $\geq 10$  mm), the seeds present in the soil surface are carried together with soil particles in the downslope direction. Spring barley have been grown in cereal–grass crop rotation, where the reduced soil tillage was applied, so it is believed, that plant seeds have been also washed out during the heavy precipitation. In the year of 2020, there were even 57 days during the plant vegetation period when the amount of precipitation was  $\geq 10$  mm per day. Permanent grassland was a steady slope protection from the erosion.

**Table 4.** Number and percentage of seeds in the soil runoff sediments (unit, %), 2020–2022

Year	Agrophytocenoses	Seed number	Percentage in the soil runoff sediments (%)
2020	Permanent grassland	13	1.0
	Cereal–grass crop rotation	557	43.8
	Crop rotation with a row crop	701	55.2
2021	Permanent grassland	15	4.3
	Cereal–grass crop rotation	128	37.1
	Crop rotation with a row crop	202	58.6
2022	Permanent grassland	5	26.3
	Cereal–grass crop rotation	5	26.3
	Crop rotation with a row crop	9	47.4

Comparing species composition of the soil seed bank with seed species found in the soil runoff sediments, the closest in species composition ( $C_s = 0.69–0.71$ ) were the crop rotation

with a row crop and cereal–grass crop rotation, while the least similar ( $C_s = 0.46$ ) in species composition was the permanent grassland.

In 2021, 8.5 times less of seeds have been washed out from the surface of permanent grassland than in cereal–grass crop rotation and 13.5 times less than in crop rotation with a row crop. In crop rotation with a row crop, growing spring barley undersown with perennial grasses and using reduced soil tillage, the difference between seeds washed out from the permanent grassland was lower. In cereal–grass crop rotation, the number of seeds that were washed out was low, however comparing agrophytocenoses the percentage remained similar.

In the year of 2021, there were only 16 days with heavy precipitation during the plant vegetation period when the amount of precipitation was  $\geq 10$  mm per day.

Comparing species composition in the soil seed bank with seed species in the soil runoff sediments, in the year of 2021, the similarity of plant seed species in all agrophytocenoses was lower than in 2020 ( $C_s = 0.56$ ; 0.54 and 0.26 respectively: in cereal–grass crop rotation, in crop rotation with a row crop and in permanent grassland).

In 2022 it was determined, that the same number of seeds has been washed out both in permanent grassland and in cereal–grass crop rotation. In crop rotation with a row crop, 1.8 times more of seeds have been washed out compared to permanent grassland and cereal–grass crop rotation. In cereal–grass crop rotation, spring barley undersown with perennial grasses has been grown and in crop rotation with a row crop perennial grasses of the first year of use has been grown.

Low number of days with heavy precipitation had influence on low number of washed seeds. Only 11 days with heavy precipitation were in the year of 2022 during the plant vegetation period.

Comparing species composition of the soil seed bank with seed species found in the soil runoff sediments, the similarity of plant seed species in 2022 was minor ( $C_s = 0.43$ ; 0.13 and 0.18 respectively: in cereal–grass crop rotation, in crop rotation with a row crop and in permanent grassland).

The most of *Viola arvensis* Murr. (29.2 %) and *Chenopodium album* L. (21.3 %) seeds have been washed out from the permanent grassland. The most of *Fallopia convolvulus* L. (26.7 %) and *Chenopodium album* L. (16.7 %) seeds have been washed out from the cereal–grass crop rotation and most of *Chenopodium album* L. (24.8 %), *Myosotis arvensis* L. (20.0 %) and *Fallopia convolvulus* L. (19.1 %) seeds – from the crop rotation with a row crop.

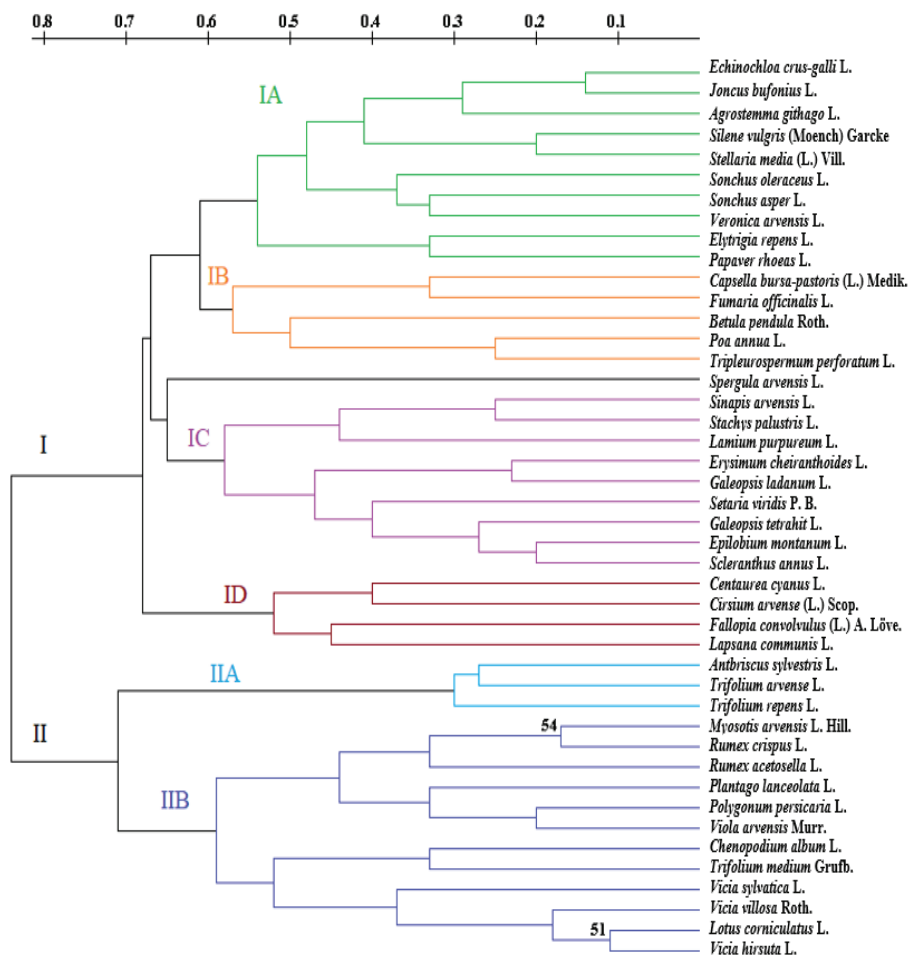
The seeds found in the soil runoff sediments composed averagely 0.3; 0.1 and 2.4 % of the soil seed bank quantity, respectively: in permanent grassland, in cereal–grass crop rotation and in crop rotation with a row crop. Low viability of seeds found in the soil runoff sediments

(averagely 45.9, 55.1 and 63.6 %, in permanent grassland, cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop, respectively) could show up due to seeds movement in water flow.

### **Morphological seed traits of the soil seed bank**

In the hierarchical cluster analysis, all seeds were separated in two main clusters according to seeds surface during spring and autumn (Figure 10). In the first cluster (I) all seeds with rough surface were separated (in total 29 species). All seeds with the smooth surface (in total 14) belonged to the second main cluster (II), with exception of *Trifolium repens* L. with a rough surface and appearing only in spring (Figure 10). This shows the dominance of rougsurfaced seeds at all hill sites in spring and autumn with an average of 57.0 % and 69.6 %, respectively. Further division of main clusters to subclusters were determined by different features of seed form and surface. In the first cluster *Spergula arvensis* L. was separated from other members by round seed form and ribbed surface. Another three clusters were separated according to matted (IA), wrinkled (IB), furrowed (ID) surface and eggshaped shape of seeds (IC, Figure 10). In the second cluster the first level grouping of seeds was determined by slightly shiny (IIA) or shiny (IIB) surfaces. The further division to subclusters was according to features of seed shape (eggshaped, oval, flattened or round) (Skuodienė et al., 2023).

The key features of seed surface that separated the soil seed bank into two groups by hierarchical cluster analysis differed among hill sites. In spring and autumn, the highest number of seeds with rough surface (63.2 and 75.9 %) was determined in the summit of the hill. Going down from the summit to the footslope, the number of seed species with rough surface reduced. In the midslope of the hill, the number of seeds with rough surface reached 68.6 and 65.4 %, respectively, in spring and in autumn, while in the footslope of the hill this number composed 57.9 and 56.2 % (in spring and in autumn, respectively). The highest number of seeds with smooth surface was determined in the footslope of the hill in spring and autumn, respectively: 42.1 and 43.8 %.



**Figure 10.** Hierarchical cluster analysis of the soil seed bank using 27 morphological traits of seed shape and surface, 2020–2022 (Skuodienė et al., 2023)

Note: A and B summit of the hill; C and D – midslope of the hill; E and F – footslope of the hill. \* – seed species, determined in persistent and temporary seed bank in all parts of the hill; \*\* – seed species, determined in persistent seed bank in all parts of the hill; \*\*\* – seed species, determined in temporary seed bank in all parts of the hill. The scale above the dendrogram indicates the distance coefficient between soil seeded bank using morphological traits of seeds. Arabic numerals indicate the seed species: 1 – *Agrostemma githago* L.; 2 – *Anthriscus sylvestris* L.; 3 – *Betula pendula* Roth.; 4 – *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.; 5 – *Centaurea cyanus* L.; 6 – *Chenopodium album* L.; 7 – *Cirsium arvense* (L.) Scop.; 8 – *Echinochloa crus-galli* L.; 9 – *Elytrigia repens* (L.) Nevski.; 10 – *Epilobium montanum* L.; 11 – *Erysimum cheiranthoides* L.; 12 – *Fallopia convolvulus* (L.) A. Löve.; 13 – *Fumaria officinalis* L.; 14 – *Galeopsis ladanum* L.; 15 – *Galeopsis tetrahit* L.; 16 – *Juncus bufonius* L.; 17 – *Lamium purpureum* L.; 18 – *Lapsana communis* L.; 19 – *Lotus corniculatus* L.; 20 – *Myosotis arvensis* L. Hill.; 21 – *Papaver rhoeas* L.; 22 – *Plantago lanceolata* L.; 23 – *Poa annua* L.; 24 – *Polygonum persicaria* L.; 25 – *Rumex acetosella* L.; 26 – *Rumex crispus* L.; 27 – *Scleranthus annus* L.; 28 – *Setaria viridis* P. B.; 29 – *Silene vulgaris* (Moench) Garcke; 30 – *Sinapis arvensis* L.; 31 – *Sonchus asper* L.; 32 – *Sonchus oleraceus* L.; 33 – *Spergula arvensis* L.; 34 – *Stachys palustris* L.; 35 – *Stellaria media* (L.) Vill.; 36 – *Trifolium arvense* L.; 37 – *Trifolium medium* Grufb.; 38 – *Trifolium repens* L.; 39 – *Tripleurospermum perforatum* (Mérat.) M. Lainz.; 40 – *Veronica arvensis* L.; 41 – *Vicia hirsuta* L.; 42 – *Vicia sylvatica* L.; 43 – *Vicia villosa* Roth.; 44 – *Viola arvensis* Murr.

### Correlation between soil seed bank and soil characteristics

In persistent seed bank, irrespective of the agrophytocenosis, weak and strong correlations with pH, mobile phosphorus and potassium, total nitrogen and organic carbon were determined in 5–15 cm depth of the midslope and both depths of the footslope of the hill where the conditions for plant growth were better. Like in persistent, the same tendencies have been determined in temporary seed bank.

Assessing soil aggregates composition, it was determined that soil aggregates are weakly connected because in the soil (especially the summit and midslope) there is a little amount of clay and organic matter. After accomplished correlation analysis it was determined, that seed number in the soil seed bank in most of cases correlated with soil aggregates composition. Investigating the persistent seed bank, correlations were determined to be weaker compared to temporary seed bank. Positive correlations ( $r = 0.39^*$ ;  $0.57^{**}$  and  $0.68^{**}$ ) in the summit of the hill were determined between the soil seed number and amount of microaggregates and the negative correlations were determined in the summit and footslope of the hill (5–15 cm depth) between the soil seed number and amount of mezoaggregates.

Seed viability in microaggregates was determined to be average (from 44.8 to 79.4 %). The least seed viability was determined in the soil microaggregates in the midslope and footslope of permanent grassland in 0–15 cm depth (45.6 and 44.8 %), and the highest – in the summit of the hill of cereal–grass crop rotation (79.4 %).

In the footslope of the hill of permanent grassland, microbial biomass carbon correlated with seed number, the correlation was strong ( $r = 0.801^{**}$ ) in 5–15 cm depth. In crop rotation with a row crop, correlation between the soil microbial biomass carbon and seed number was determined in the midslope of the hill ( $r = 0.773^*$ ) in 0–5 cm depth. In the agrophytocenosis of cereal–grass crop rotation, a weak negative correlation in 5–15 cm depth was determined ( $r = -0.493^{**}$ ).

## CONCLUSIONS

1. Significantly the lowest seed number was determined in the soil seed bank of permanent grassland. The seed number in 0–5 and 5–15 cm depths of the grassland soil was determined to be similar, except for the temporary seed bank in the depth of 0–5 cm of the midslope of the hill.

In the soil of cereal–grass crop rotation, the seed number was determined to be the highest. The number of seeds in 0–5 cm soil depth was 1.4 times higher compared to 5–15 cm depth and their amount increased in the downslope direction.

Seed number in the soil of crop rotation with a row crop was 1.9 times lower than in cereal–grass crop rotation, however due to grown accumulative plants, the soil was moved more, therefore the higher seed number was determined in 5–15 cm soil depth.

2. Viable seeds in persistent soil seed bank composed on the average 62.7–74.7 %, and in the temporary seed bank – 62.9–66.4 % of the total seed number. The most of viable seeds (66.5 %) was found in the footslope of the hill, while in the summit – the least (61.4 %).
3. Significantly the highest number of species was determined in the soil of cereal–grass crop rotation. The highest number of species was determined in persistent and temporary seed bank in 0–5 cm soil depth of the footslope of the hill.
4. In persistent soil seed bank of the permanent grassland, the number of species was determined to be greater by 18.9 %, in cereal–grass crop rotation – greater by 12.9 % compared to temporary soil seed bank, while the number of species in crop rotation with a row crop was similar (greater only by 3.8 %).

The seeds accumulated in the soil did not correspond to species composition of the permanent grassland (Sørensen's coefficient of floristic similarity (Cs) was determined to be low (0.25–0.27)). In cereal–grass crop rotation and in the rotation with a row crop, species composition of the soil seed bank was more comparable to species composition of crops (Cs = 0.50–0.42 and 0.41–0.38, respectively).

5. Seed number in the soil runoff sediments significantly depended on number of days with heavy precipitation during the plant vegetation period ( $r = 0.699$ ,  $P < 0.05$ ) as well as on plant communities appeared in certain agrophytocenosis and biological traits of plants. The seeds found in the soil runoff sediments composed on the average 0.3; 0.1 and 2.4 % of the soil seed bank amount, respectively: permanent grassland, cereal–grass crop rotation and crop rotation with a row crop.
6. Higher number of seeds (74.9 %) with rough surface was determined in the summit of the hill, irrespective of the seed bank type. In the downslope direction, the ratio of seeds with

rough and smooth surface changed: the number of seeds with rough surface decreased while with smooth surface – increased.

7. Irrespective of the agrophytocenosis and the seed bank type, most of correlations between the seed number in soil and soil pH, mobile phosphorus and potassium, total nitrogen as well as organic carbon, was determined in both depths of the footslope of the hill where the conditions for growth of crop plants were better. Correlations between the seed number and soil aggregation in persistent soil bank were determined to be weaker compared to temporary soil seed bank.



## ABBREVIATIONS

% – percentages;

°C – celsius;

μg – micrograms;

C – carbon;

C:N – carbon to nitrogen ratio;

cm – centimeters;

C<sub>org</sub> – organic carbon;

C<sub>s</sub> – floristic similarity coefficients of Sørensen;

g – grams;

ha – hectare;

JŽ – cereal–grass crop rotation;

JŽ-1 – cereal–grass crop rotation – summit;

JŽ-2 – cereal–grass crop rotation – midslope;

JŽ-3 – cereal–grass crop rotation – footslope;

K<sub>2</sub>O – mobile potassium;

KA – crop rotation with a row crop;

KA-1 – crop rotation with a row crop – summit;

KA-2 – crop rotation with a row crop – midslope;

KA-3 – crop rotation with a row crop – footslope;

kg – kilograms;

l – liters;

LAMMC – the Lithuanian research center for agriculture and forestry;

MBC – microbial biomass carbon;

mg – milligrams;

mm – millimeters;

N<sub>sum</sub> – total nitrogen;

P% – species relative abundance;

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – mobile phosphorus;

pH<sub>KCl</sub> – hydrogen ion indicator;

Pš – footslope;

r – correlation coefficient;

R<sub>0,05</sub> – the smallest difference at the 95% probability level;

SKN – standard climate norm;

Šl – midslope;

t – ton;

vnt – units;

Vš – summit;

Ž – permanent grassland;

Ž-1 – permanent grassland – summit;

Ž-2 – permanent grassland – midslope;

Ž-3 – permanent grassland – footslope;

## LIST OF PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

### Articles in periodical scientific publications with a citation index according to Clarivate Analytics Web of Science

1. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**. Assessment of an abandoned grassland community and soil seed bank of a hilly relief. 2022. *Zemdirbyste–Agriculture*. Basel : MDPI AG ISSN 1392-3196, vol. 109 iss.1, p. 3–10. doi: 10.13080/z-a.2022.109.001.
2. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**. Soil seed bank in pre-erosion cereal–grass crop rotation. 2022. *Plants*. Basel : MDPI. vol. 11, 2636. doi:10.3390/plants11192636.
3. Skuodienė, Regina; **Matyžiūtė, Vilija**; Aleinikovienė, Jūratė; Fercks, Birutė; Repšienė, Regina. Seed bank community change under different intensity agrophytocenoses on hilly terrain in Lithuania. 2023. *Plants*. Basel : MDPI. vol. 12 iss. 5, p. 1084; doi:10.3390/plants12051084.

### Other peer-reviewed publications

1. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. The effect of hilly terrain on plant species in sown permanent grassland, *Grassland Science in Europe*, 2021. 26, p. 141–143.
2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley. *17th International conference of young scientists on energy and natural sciences issues*. 2021, p. 1054-1062, ISSN 1822-7554.
3. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil contamination with plants seeds in a pre-erosion cereal–grass crop rotation. *18th International conference of young scientists on energy and natural sciences issues*. 2022, p. 692–698, ISSN 1822–7554.
4. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil seed bank response to agrophytocenoses on hillside ecotopes, *Grassland Science in Europe* , 2023. 28, p. 155–158.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Soil seed bank and their relation to soil properties under hilly terrain in Lithuania. *19th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI)*. Kaunas, 2023 05 23–26.

### Other publications

1. Skuodienė Regina, Repšienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**. Segetalinės floros pokyčiai tausojamojoje sėjomainoje rūgščius dirvožemius kalkinant ir tręšiant organinėmis trąšomis. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). „Herbologija 2020: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Lietuvos laukų piktžolėtumo problemos. Kaunas, ASU, 2020.

2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Reljefo įtaka piktžolių sėklų atsargoms dirvožemyje. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). „Herbologija 2021: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2021.
3. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Permanent grassland established on eroded soils: floristic composition of different sections of a hillside after 27 years of sward naturalization following sowing, leidinyje „Sinsing – New Insights into Grassland Science and Practice. Book of abstract“. 2021, p. 28.
4. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Sėklų atsargų pasiskirstymas dirvožemyje kalvoto reljefo sąlygomis. „Herbologija 2022: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). Kaunas VDUŽUA. 2022.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Dirvožemio sėklų banko ir pasėlių segetalinių augalų rūšinės sudėties palyginimas „Herbologija 2023: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2023.

**Oral presentation have been presented in the national and international conferences**

1. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. „Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley“ į 17th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI). 2021.
2. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. „Effect of hilly relief on the incidence of weeds in the crops of spring barley“ į 18th International Conference of Young Scientists on Energy and Natural Sciences Issues (CYSENI). 2022.
3. Skuodienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**, Repšienė Repšienė. 2020. Skirtingų agrotechninių priemonių įtaka piktžolių gausumui rūgščiuose dirvožemiuose. Nuotolinė konferencija „Kokybiško dirvožemio išsaugojimas – XXI amžiaus iššūkis“. Klaipėda, KU, 2020 12 16.
4. Skuodienė Regina, Repšienė Regina, **Matyžiūtė Vilija**. 2020. Segetalinės floros pokyčiai tausojamojoje sėjomainoje rūgščius dirvožemius kalkinant ir tręšiant organinėmis trąšomis. Mokslinės-praktinės konferencijos pranešimai (elektroninė versija). „Herbologija 2020: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Lietuvos laukų piktžolėtumo problemos. Kaunas, ASU, 2020.
5. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Reljefo įtaka piktžolių sėklų atsargoms dirvožemyje. Nuotolinė konferencija „Herbologija 2021: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2021.

6. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Sėklų atsargų pasiskirstymas dirvožemyje kalvoto reljefo sąlygomis. Nuotolinė konferencija „Herbologija 2022: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2022.
7. **Matyžiūtė Vilija**, Skuodienė Regina. Dirvožemio sėklų banko ir pasėlių segetalinių augalų rūšinės sudėties palyginimas. „Herbologija 2023: Piktžolių ekologija ir kontrolė“. Kaunas VDUŽUA. 2023.

### **Participation in conferences and seminars**

1. „Integruota kenksmingų organizmų kontrolė Europos patirties kontekste“, 2020-03-12, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
2. „Žemės dirbimas, išsaugantis dirvožemio derlingumą ir mažinantis klimato kaitos poveikį“, 2020-03-13, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
3. „Dirvožemio tyrimų svarba, tyrimo metodai ir rezultatai“, 2020-10-08, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
4. „Integruotoji kenksmingųjų organizmų kontrolė (IKOK): prognozavimas ir sprendimai“, 2021-02-09, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
5. „Rūgščių dirvožemių derlumo gerinimas efektyvesniam maisto medžiagų prieinamumui ir augalininkystės produkcijos savikainos pokyčiui“. 2021.10.28, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
6. „Sveikas dirvožemis – sveikam augalų derliui“, 2022.02.11, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
7. „Piktžolių naikinimas javuose – integruoti sprendimai“, 2022.03.01, Bayer.
8. „Augalų mityba Geros žemdirbystės praktikos kodekse“, 2022.04.28, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
9. „Skirtingo ilgaamžiškumo žolynai: jų įrengimas ir panaudojimas pašarų įvairinimui“, 2022.07.10, Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.
10. „Rapool rekomenduojamos žieminių rapsų ir kviečių veislės rudens sėjai“, 2022.07.15, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba.
11. „Akvaponika: žuvų ir augalų augimo sistemų simbiozė“, 2023.02.23, Klaipėdos universitetas.
12. „Tausojamasis ūkininkavimas“. 2023.03.01, Vytauto Didžiojo universiteto žemės ūkio akademija.
13. „Dirvožemio suslėgimas technologinėse vėžėse: problemos ir eliminavimo galimybės“, 2023.05.04, Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras.

**Participation in scientific research projects financed by  
Lithuanian economic entities**

1. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2021. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.
2. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2022. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.
3. Žieminių kviečių skirtingų veislių ligų monitoringas (UAB „BASF“). 2023. Vadovas Šiaudinis G. Vykdytojai: Šiaudinis Gintaras, **Matyžiūtė Vilija**.

## **GYVENIMO APRAŠYMAS**

Vilija Matyžiūtė gimė 1993 m. rugpjūčio 27 d. Klaipėdoje. 2012 m. baigė Telšių r. Varnių Motiejaus Valančiaus gimnaziją ir įstojo į Aleksandro Stulginskio universitetą (dabar Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija) pirmosios ir antrosios pakopos studijoms. 2016 m. baigė Agronomijos studijų programą ir įgijo agronomijos bakalauro laipsnį, 2018 m. – baigė Sodininkystės ir daržininkystės studijų programą ir įgijo agronomijos magistro laipsnį. 2019–2023 m. studijavo doktorantūroje Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro, Žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale.

## **CURRICULUM VITAE**

Vilija Matyžiūtė was born on the 27<sup>th</sup> of August in 1993 in Klaipėda. In 2012, graduated from Telšiai district Varnių Motiejaus Valančiaus gymnasium and joined the Aleksandras Stulginskis University (now Vytautas Magnus University Agriculture Academy) for the first and the second cycle studies. In 2016, she finished the program of Agronomy studies and gained the Agronomy Bachelor Degree. In 2018, she finished Gardening and Horticulture studies and gained Agronomy Master Degree. In the period of 2019–2023, she has studied PhD in Vėžaičiai Branch of Institute of Agriculture of Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry.

## PADEKA

Nuoširdžiai dėkoju mokslinio darbo vadovei Dr. Reginai Skuodienei ir mokslinei konsultantei Dr. Reginai Repšienei už vertingus patarimus ir bendradarbiavimą rengiant disertaciją. Recenzentams Dr. Onai Auškalnienei ir Prof. habil. dr. Rimantui Veličkai už vertingus pasiūlymus, patarimus ir pastabas.

Nuoširdžiai dėkoju Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Žemdirbystės instituto Vėžaičių filialo kolegoms. Taip pat dėkoju Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos Agroekosistemų ir dirvožemio mokslų katedros docentei Dr. Jūratei Aleinikovienei ir LAMMC Sodininkystės ir daržininkystės instituto, Sodo augalų genetikos ir biotechnologijos skyriaus vedėjai Dr. Birutei Frercks už konsultacijas ir patarimus.

Už pagalbą, supratimą, moralinį palaikymą ne tik rengiant disertaciją, bet ir studijuojant, nuoširdžiai dėkoju savo šeimai.



---

Vilija MATYŽIŪTĖ

**DIRVOŽEMIO SĖKLŲ BANKAS SKIRTINGOSE  
KALVOTO RELJEFO AGROFITOCENOZĖSE**

Mokslo daktaro disertacija

Redagavo autorė

Spausdino – Vytauto Didžiojo universitetas  
K. Donelaičio g. 58, LT-44248 Kaunas  
Užsakymo Nr. 23-175. Tiražas 15 egz. 2023 11 06.  
Nemokama