

# Prednosti i nedostaci korištenja pepela kao kalcizacijskog sredstva

---

**Petrlić, Željko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:053472>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-23**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Željko Petrić

Preddiplomski stručni studij Bilinogojstvo

Smjer Ratarstvo

**Prednost i nedostaci korištenja pepela kao  
kalcizacijskog sredstva**

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Željko Petrić

Preddiplomski stručni studij Bilinogojstvo

Smjer Ratarstvo

**Prednosti i nedostaci korištenja pepela kao  
kalcizacijskog sredstva**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. doc.dr.sc. Vladimir Ivezić, mentor
2. izv.prof.dr.sc. Brigita Popović
3. doc.dr.sc. Vladimir Zebec

Osijek, 2020.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Bilinogojstvo

Završni rad

Željko Petrić

### **Prednosti i nedostaci korištenja pepela kao kalcizacijskog sredstva**

**Sažetak:** Kalcizacija je agrotehnička mjera kojom se u kiselom tlu aplicira sredstvo koje sadrži Ca i/ili Mg s ciljem neutralizacije suvišne kiselosti tla i postizanja ciljne pH vrijednosti. Sredstvo za kalcizaciju je svaki materijal koji sadrži Ca i/ili Mg u oblicima koji mogu neutralizirati suvišnu kiselost podizanjem pH reakcije tla do određene razine, ovisno o neutralizacijskoj vrijednosti i količini sredstva. Cilj istraživanja je bio utvrditi utjecaj dva različita sredstva za kalcizaciju (pepeo i karbokalk) na prinos lucerne na kiselom tlu i na povećanje pH reakcije u tlu. U kalcizacijskim sredstvima koja su se koristila u ovom pokusu došli smo do zaključka da pepeo za razliku od karbokalka osim što više podiže pH u tlu također sadrži i određene količine dva glavna hranjiva elementa (kalija i fosfora), te na taj način istovremeno utječe i na povećanje prinosa lucerne.

**Ključne riječi:** kalcizacija, karbokalk, pepeo, pH, lucerna.

22 stranica, 6 tablica, 3 grafikona i 5 slika, 9 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Thesis  
Faculty of agrobiotechnical science  
Undergraduate university study Agriculture, course Plant production

BSc

Osijek

### **Effect of application of different nitrogen fertilizers in topdressing on wheat yield**

**Abstract:** Calcification is an agro-technical measure by which an agent containing Ca and/or Mg is applied to acidic soil in order to neutralize excess soil acidity and to achieve the target pH. Calcification agent is any material containing Ca and/or Mg in forms that can neutralize excess acidity by raising the soil pH to a certain level, depending on the neutralization value and the amount of agent. The aim of the study was to determine the effect of two different calcification agents (ash and sugar factory lime) on the yield of alfalfa on acidic soil and on the increase in soil pH reaction. In this experiment we came to the conclusion that ash, apart from sugar factory lime, ash also raises pH in the soil, it also contains certain amounts of the two main nutrients (potassium and phosphorus), and thus simultaneously affects the increase in alfalfa yield.

**Keywords:** Calcification, sugar factory lime, ash, pH, alfa-alfa

22 pages, 6 tables, 8 figures, 9 references

Final work is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. MATERIJAL I METODE.....	3
2.1. Lokalitet .....	3
2.2. Agrokemijska svojstva tla.....	4
2.2.1. pH reakcija tla i hidrolitička kiselost.....	5
2.2.2. Humus .....	5
2.2.3. Koncentracija AL- pristupačnog fosfora i kalija.....	6
2.2.4. Ukupne koncentracije teških metala .....	6
2.3. Analize biljnog materijala.....	6
2.3.1. Uzorkovanje biljnog materijala za određivanje prinosa i komponenti prinosa....	6
2.3.2. Analize elemenata ishranjenosti biljke.....	7
2.4. Analize kalcizacijskih materijala i organskog gnojiva .....	7
2.5. Količine kalcizacijskih materijala potrebne za neutralizaciju kiselosti .....	8
3. REZULTATI I RASPRAVA .....	10
3.1. Svojstva kalcizacijskih materijala.....	10
3.2. Svojstva tla.....	11
3.2.1. pH reakcija tla i hidrolitička kiselost.....	12
3.2.2. Humus .....	13
3.3. Utjecaj pepela na količinu fosfora i kalija u tlu .....	13
3.4. Teški metali.....	14
3.5. Utjecaj pepela na prinos lucerne .....	16
3.6. Ekonomska isplativost primjene pepela .....	17
4. ZAKLJUČAK .....	18
5. POPIS LITERATURE .....	20
POPIS TABLICA	
POPIS SLIKA	
POPIS GRAFIKONA	

## 1. UVOD

Za proizvodnju hrane a samim time i opstanak čovječanstva jedan od najbitnijih resursa je tlo. Danas više nego ikad tlo je ugroženo raznim degradacijskim procesima poput erozije, zbijanja tla, zaslanjivanja tla, plavljenja i klizišta, smanjenja organske tvari i gubitka biološke raznolikosti.

Osim klimatskih i prirodnih promjena ne smijemo zanemariti ni ljudski faktor, odnosno neodgovorno korištenje, iscrpljivanje i onečišćavanje tla. Iako možemo reći da su i za dio klimatskih promjena također odgovorni ljudi. Upravo zbog toga krajnje je vrijeme da upozorimo na važnost vraćanja organske tvari u tlo te smanjenja kiselosti tla kalcizacijom.

Kalcizacija je agrotehnička mjera kojom se u kiselo tlo aplicira sredstvo koje sadrži Ca i/ili Mg s ciljem neutralizacije suvišne kiselosti tla i postizanja ciljne pH vrijednosti, tj. optimalne kiselosti za uzgoj određene biljne vrste. Potrebu kalcizacije utvrđujemo na temelju kemijskih svojstava tla, što je svakako bolje nego da to (pre)kasno zaključimo na temelju limitiranog rasta usjeva.

U ishrani bilja i kemiji tla pH reakcija tla jedan je od osnovnih pokazatelja plodnosti tla jer značajno utječe na raspoloživost hraniva. Optimalna pH reakcija za većinu hraniva i većinu usjeva je između vrijednosti 6 i 7.

Kalcizacija se izvodi na način da se kalcizacijsko sredstvo razbacuje posebnim raspodjeljivačem napravljenim za tu namjenu ali se može povoljno obaviti i sa rotacionim razbacivačima ili s razbacivačem stajskog gnoja. Najpogodnije u ljeto odmah po strništu, jesen je manje povoljna, a najnepovoljnija je proljetna kalcizacija. Izuzetno se može primjenjivati zimi, ali samo ako je tlo bez snijega, suho i smrznuto.

Sredstvo za kalcizaciju je svaki materijal koji sadrži Ca i/ili Mg u oblicima koji mogu neutralizirati suvišnu kiselost podizanjem pH reakcije tla do određene razine, ovisno o neutralizacijskoj vrijednosti i količini sredstva. Kalcizacijski materijali su kalcijevi i/ili magnezijevi karbonati, oksidi, hidroksidi i silikati. Najčešća sredstva za kalcizaciju širom svijeta su različiti vapneni materijali, a u pojedinim regijama koriste se i industrijski nusproizvodi i otpadne tvari. Jedan od poboljšivača tla koji je nusproizvod iz industrije je i pepeo koji osim što neutralizira kiselost tla, prozračuje tlo i popravljaju strukturu teških

glinastih tala. Isto tako pepeo sadržava određene količine dva glavna hranjiva elementa - kalija i fosfora u odnosu na karbokalk i na taj način sudjeluje u povećanju prinosa.

Od sredstava za kalcizaciju koji se najčešće koriste tu su:

1. oksidna i hidroksidna prirodna vapna - paljeno (živo) vapno, paljeno vapno s magnezijevim oksidom, dolomitsko paljeno vapno, gašeno paljeno vapno (hidratizirano ili vapno u prahu), gašeno paljeno vapno s magnezijevim oksidom, gašeno dolomitsko paljeno vapno i gašena vapnena suspenzija.

2. vapna iz industrijskih postupaka – šećeransko vapno ili karbokalk.

3. mješavine vapnenih materijala s ostalim gnojivima - proizvodi dobiveni miješanjem, komprimiranjem ili granuliranjem vapnenih materijala s mineralnim gnojivima.

3. lapor - rastresita sedimentna stijena, tj. taložno mekano kamenje koje je mješavina gline, praha, pijeska i kalcita (depozit kalcijevog karbonata od ostataka školjaka).

4. drveni pepeo - drveni pepeo je alkalne reakcije, djeluje brže od vapnenih materijala i neutralizira po prilici upola manje kiselosti tla nego vapnenac.

5. silikati - spadaju u grupu industrijskih otpada.

6. fosfogips - nusproizvod u proizvodnji mineralnih gnojiva dobiven kao ostatak fosfatne sirovine (fosfati), a čini ga najvećim dijelom kalcijev sulfat, tj. gips ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ).

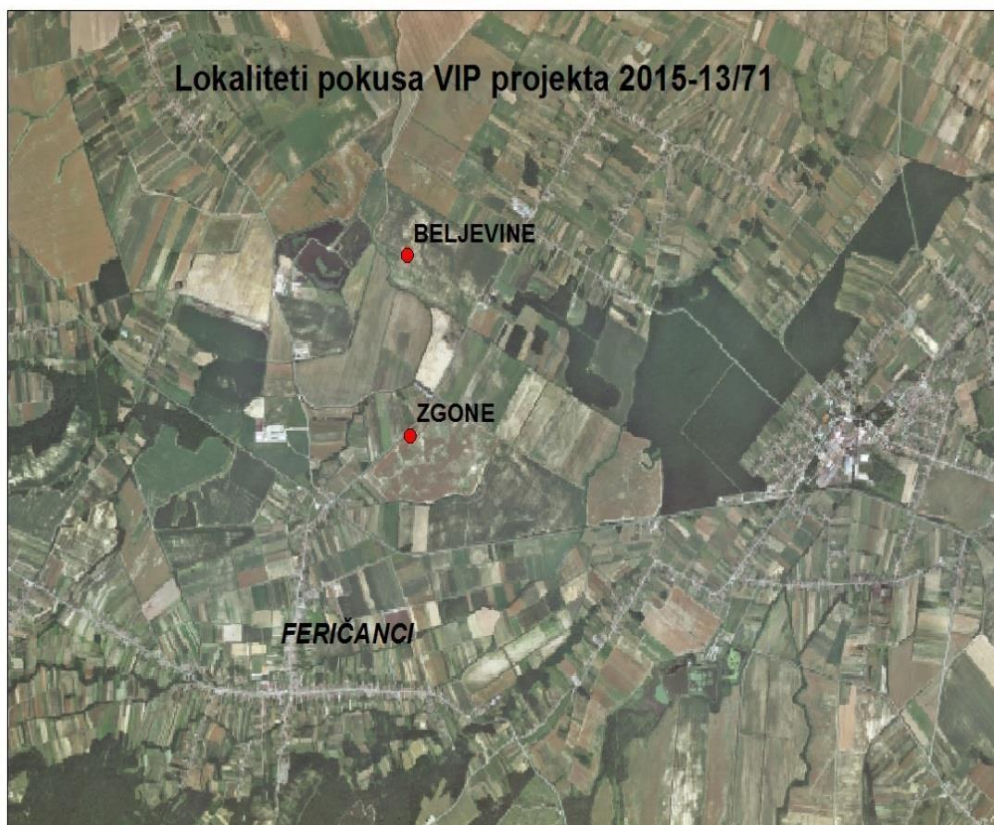
7. granulirani kalcizacijski materijali - komprimirani, peletirani ili granulirani praškasti kalcizacijski materijali.

Cilj istraživanja je odrediti kalcizacijsku vrijednost drvenog pepela kao industrijskog nusproizvoda te usporediti njegovu kalcizacijsku vrijednost i utjecaj na prinos lucerne s najčešće korištenim kalcizacijskim materijalom dobivenim inindustrijske proizvodnje – karbokalkom tj. šećeranskim vapnom.

## 2. MATERIJAL I METODE

### 2.1. Lokalitet

Istraživanjima koja su provedena na proizvodnim površinama tvrtke Osilovac d.o.o. (Nexe Grupa) kroz dvije godine (2015. - 2017.) na dva različita lokaliteta (Beljevine i Zgone) (slika 1.) u pokusima su korištena dva kalcizacijska sredstva dobivena kao nusproizvod u industriji: jedno alternativno sredstvo - drveni pepeo (Viridas Biomass grupa) i karbokalk, nusproizvod iz proizvodnje šećera kao učestalo korišteno sredstvo i jedino kalcizacijsko sredstvo na tržištu koje je nusproizvod iz industrijske proizvodnje.



Slika 1. Lokaliteti: Beljevine i Zgone, (Ivezić i sur. 2018.)

Pokus je postavljen u šest ponavljanja na svakom lokalitetu a parcelice na kojima su obavljani pokusi su bile veličine 40 m<sup>2</sup> i podijeljene na dva dijela zbog dobivanja što točnijih rezultata. Na pola parcele je primijenjeno pola doze kalcizacijskog materijala, a na



drugu polovicu puna doza i to nakon što su utvrđene neutralizacijske vrijednosti svakog materijala. Dakle svako ponavljanje se sastojalo od pet parcela: kontrole, karbokalk puna doza, karbokalk pola doze, pepel puna doza i pepel pola doze (Ivezić i sur., 2018).

Poznato je da podizanje pH vrijednosti tla potiče rad mikroorganizama u tlu i na taj način utječe na smanjenje organske tvari. Kako do toga ne bi došlo tijekom primjene kalcizacijskog sredstva istodobno je na tri ponavljanja korišteno organsko gnojivo, odnosno digestat iz proizvodnje bioplina.

Učinci pepela uspoređeni su s učinkom karbokalka (nusproizvod iz proizvodnje šećera) koji se kao materijal za kalcizaciju najviše koristi u Republici Hrvatskoj za neutralizaciju kiselih tala.

Doze materijala utvrđene su na temelju inicijalne kiselosti i ciljne kiselosti tla te temeljem neutralizacijske vrijednosti (NV) materijala titracijom (EN 12945:2008). Na pokusna polja u proljeće 2015. i nakon 40 dana od primjene kalcizacijskih sredstava provedena je sjetva lucerne koja je izrazito osjetljiva na kisela tla. Osim što su u dvije godine pet puta uzeti uzorci tla i biljnog materijala u svakoj godini se pratila kiselost tla, status makro i mikroelemenata u tlu, te naravno prinos i mineralni sastav lucerne.

Prije primjene kalcizacijskih sredstava utvrđen je njihov kemijski sastav kao i kemijski sastav digestata, te potencijalno toksični teški metali i koncentracija rezidua pesticida u drvenom pepelu (Ivezić i sur., 2018).

## 2.2. Agrokemijska svojstva tla

Prije postavljanja pokusa u oraničnom sloju (0-30 cm) određena su osnovna svojstva tla kao što su pH, količina organske tvari i hidrolitička kiselost koja je neophodna za određivanje potreba za kalcizacijom.

Tlo je tijekom pokusa uzorkovano nakon svakog otkosa, a uzorak se sastojao od nekoliko poduzoraka koji su činili ukupno 500 g. Uzorci su dopremljeni u laboratorij Zavoda za agroekologiju gdje su prema ISO standardu pripremljeni za daljnje analize.

### 2.2.1. pH reakcija tla i hidrolitička kiselost

Analizom su utvrđene 2 vrste kiselosti:

1. Aktualna ili trenutna (u H<sub>2</sub>O)
2. Suptitucijska ili izmjenjiva ( u 1M otopini KCl-a)

Aktualnu kiselost čine H<sup>+</sup> ioni u vodenoj fazi tla, a supstitucijsku kiselost čine pored H<sup>+</sup> iona i ioni slabih lužina (Al, Fe) koji se s površina koloidnih čestica zamjenjuju K<sup>+</sup> ionom iz otopine KCl-a. Za tumačenje rezultata kiselosti nekog tla koristi se kiselost utvrđena u otopini 1M KCl-a (ISO, 1994.).

Također je određena i hidrolitička kiselost pomoću Na (ili Ca)-acetata pri čemu dolazi do zamjene H<sup>+</sup> (i Al) iona s adsorpcijskog kompleksa tla alkalnim ionima iz acetata. Iznos hidrolitičke kiselosti tla (stupanj acidifikacije AK) služi za izračunavanje kapaciteta adsorpcije kationa (T) i stupnja zasićenosti tla alkalijama (V) te nam je služila za određivanje potrebe za kalcizacijom.

### 2.2.2. Humus

Sadržaj humusa u tlu određen je bikromatnom metodom (ISO 14235, 1998) koja predstavlja mokro spaljivanje organske tvari tla kalijevim bikromatom. Koncentracija organskog ugljika mjeri se spektrofotometrijski na valnoj duljini od 585 nm uz prethodno dekantiranje otopine u kivetu za mjerenje. Rezultat koncentracije organskog ugljika preračunava se na sadržaj humusa koeficijentom 1,724, a izražava se u postotcima (%).

S obzirom na koncentraciju humusa tlo se smatra:

1. jako siromašno humusom (0 - 0,75 %)
2. siromašno humusom (0,75 - 1,5 %)
3. osrednje humozno tlo (1,5 - 2,5 %)
4. humozno tlo (2,5 - 4,0 %)
5. vrlo humozno tlo (4,0 - 6,0 %)

6. ekstremno humozno tlo (> 6,0 %)

### 2.2.3. Koncentracija AL- pristupačnog fosfora i kalija

Lakopristupačni fosfor i kalij u tlu određeni su AL-metodom, ekstrakcijom tla s amonijevim laktatom (Egner i sur., 1960.). Koncentracije biljkama pristupačnog kalija utvrđene su izravno iz ekstrakta tla emisijskom tehnikom na AAS-u. Fosfor određen prema AL- metodi odnosi se na frakciju topivu u vodi te u slabim kiselinama, koje su najznačajnije za ishranu bilja. Koncentracija fosfora određena je plavom metodom spektrofotometrijski. Dobiveni rezultati izražavaju se u mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O 100 g<sup>-1</sup> tla.

### 2.2.4. Ukupne koncentracije teških metala

Ukupne koncentracije teških metala u tlu određene su razaranjem tla zlatotopkom (1/3 HNO<sub>3</sub> + 2/3 HCl). Uzorci tla razarani su u mikrovalnoj pećnici s 12 ml zlatotopke nakon čega su profiltrirani u odmjerne tikvice koje su potom dopunjene destiliranom vodom do volumena 100 ml (ISO, 1995). Koncentracije teških metala mjerene su u ekstraktima tla izravno na induktivno spregnutoj plazmi optičkom emisijskom spektrometrijom (ICP-OES) i izražene su u mg kg<sup>-1</sup> tla.

## 2.3. Analize biljnog materijala

### 2.3.1. Uzorkovanje biljnog materijala za određivanje prinosa i komponenti prinosa

Kao test kultura zasijana je lucerna (*Medicago sativa* L.), biljna vrsta koja ne podnosi kisela tla i time predstavlja idealan indikator učinkovitosti primijenjenih kalcizacijskih materijala. Nakon svakog otkosa pokusa određen je prinos, tj. komponente prinosa i mineralni sastav lucerne. Za određivanje prinosa sa svake parcelice uzorkovana je lucerna s površine od 1/2 m<sup>2</sup>. Masa uzoraka utvrđena je u svježem i suhom stanju, dok je

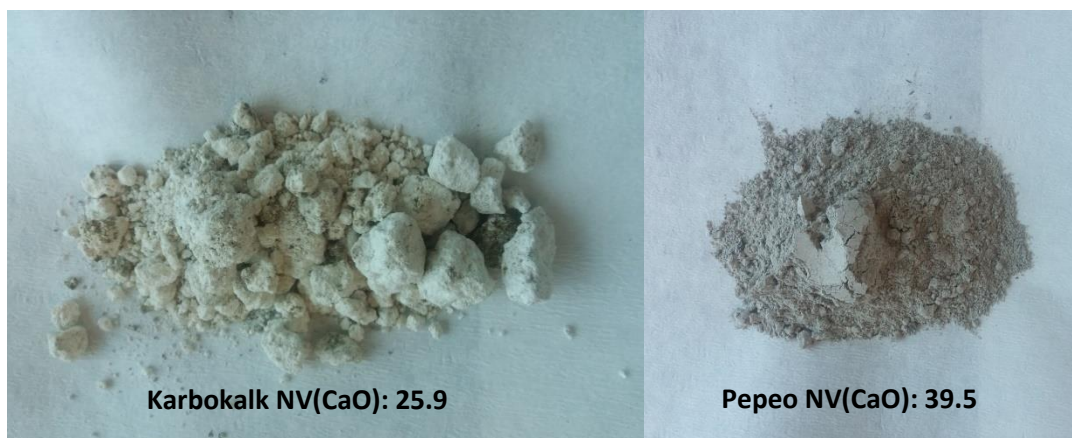
udio suhe tvari dobiven računski nakon sušenja uzoraka na temperaturi od 105 °C do konstantne mase te izražen u t/ha. S obzirom da su prva dva otkosa bila jako zakorovljena određen je udio korova vaganjem u svježem stanju. Za utvrđivanje komponenti prinosa uzorkovano je 20 biljaka sa svake pokusne parcelice te je mjerena visina biljke i udio listova na stabljici.

### 2.3.2. Analize elemenata ishranjenosti biljke

Analiza mineralnog dijela biljne tvari sastojala se od pripreme osnovne otopine uzorka (oksidacijom biljne tvari razaranjem ili spaljivanjem) i određivanja koncentracije elemenata u osnovnoj otopini. Osnovna otopina dobila se razaranjem biljnog materijala mokrim postupkom, tj. razaranjem dušičnom kiselinom mikrovalnom tehnikom. Koncentracije makroelemenata (K i P), esencijalnih mikroelemenata (Fe, Mn, Zn, Cu) te toksičnih teških metala (Cd i Pb) utvrđene su izravnim mjerenjem iz osnovne otopine apsorpcijskom tehnikom na ICP-OES.

### 2.4. Analize kalcizacijskih materijala i organskog gnojiva

Prema ISO standardu analitički je utvrđen kemijski sastav kalcizacijskih materijala i digestata (makro i mikroelementi te potencijalno toksični teški metali), neutralizacijska vrijednost (NV - CaO) te rezidue pesticida u drvenom pepelu (Slika 2.).



Slika 2. Kalcizacijski materijali i njihove neutralizacijske vrijednosti (NV (CaO)) , (Ivezić i sur. 2018.)

## 2.5. Količine kalcizacijskih materijala potrebne za neutralizaciju kiselosti

Lokalitet Zgone imao je umjereno kiselu pH reakciju tla (pH H<sub>2</sub>O) dok su Beljevine imale slabo kiselu reakciju. No na oba lokaliteta utvrđena je visoka hidrolitička kiselost. Temeljem dobivenih vrijednosti hidrolitičke kiselosti tla i neutralizacijske vrijednosti (NV) primijenjenih materijala preporučene su doze za kalcizaciju. Utvrđene doze za kalcizaciju bile su vrlo visoke pa su pokusne parcele podijeljene na dva dijela gdje je na jedan dio parcele primijenjena puna doza potrebna za neutralizaciju suvišne kiselosti, a na drugi dio pola doze (tablica 1 i slika 3).

Tablica 1. Primijenjene doze kalcizacijskih materijala

	<b>Zgone</b>		<b>Beljevine</b>	
	<i>Puna doza</i> (t/ha)	<i>Pola doze</i> (t/ha)	<i>Puna doza</i> (t/ha)	<i>Pola doze</i> (t/ha)
Pepeo	20,0	10,0	15,0	7,5
Karbokalk	30,0	15,0	22,5	10,0

Kalcizacijski materijali aplicirani su početkom ožujka 2016., a sjetva lucerne obavljena je u proljeće (travanj 2016.). Kroz godinu i pol (4. 2016. - 9. 2017.) lucerna je uzorkovana u 5 otkosa:

1. otkos (lipanj 2016.)
2. otkos (rujan 2016.)
3. otkos (svibanj 2017.)
4. otkos (srpanj 2017.)
5. otkos (rujan 2017.)



Slika 3. Postavljanje pokusa, (Ivezić i sur. 2018.)

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

#### 3.1. Svojstva kalcizacijskih materijala

Od dva pokusna nusproizvoda iz industrijske proizvodnje koji se potencijalno mogu koristiti u poljoprivredi kao kalcizacijska sredstva za neutralizaciju suvišne kiselosti poljoprivrednih tala možemo reći da se pepeo pokazao kao najbolji izbor. Prije same primjene kalcizacijskih materijala analitički je utvrđen njihov kemijski sastav (makro i mikroelementi te potencijalno toksični teški metali), neutralizacijska vrijednost (tablica 2) te rezidue pesticida u drvenom pepelu.

Tablica 2. Kemijska svojstva kalcizacijskih materijala

		<b>Pepeo</b>	<b>Karbokalk</b>
<b>NV</b>	CaO eq.	39,5	25,9
<b>Ca + Mg</b>	%	30	45
<b>K</b>		71,1	1,2
<b>P</b>		13,8	0,3
<b>Fe</b>	g/kg	12,7	5
<b>Mn</b>		1,2	0,15
<b>Cu</b>		142,5	6,3
<b>Zn</b>		452,1	13,6
<b>Pb</b>	mg/kg	27,2	2,3
<b>Cd</b>		4,6	0,9

NV – neutralizacijska vrijednost

Neutralizacijska vrijednost (NV) pepela je 39,5, dok je NV karbokalka na donjoj granici uobičajenoj za karbokalk. Pepeo ima povišene koncentracije toksičnog Pb i potencijalno toksičnih mikroelemenata Cu i Zn.

Prema sadržaju makroelemenata, u pepelu je utvrđeno 7,1 % K i 1,3 % P što odgovara podacima iz literature (Lončarić Z., 2015a), a relativno visok sadržaj tih elemenata posljedica je podrijetla pepela (nastao sagorijevanjem biomase). Također,

biomasa koju koristi elektrana u Babinoj Gredi isključivo je šumskog podrijetla, dakle bez primjene pesticida, što je potvrdila analiza kojom nisu utvrđene rezidue pesticida.

Pepeo je imao i znatno više koncentracije Cd u odnosu na karbokalk (tablica 1), no te su koncentracije bile u okvirima dozvoljenih koncentracija propisanih Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 32/10).

### 3.2. Svojstva tla

Prije početka pokusa određena su osnovna svojstva tla na oba lokaliteta (tablica 6). Na lokalitetu Zgone utvrđena je umjereno kisela reakcija tla, dok je na lokalitetu Beljevine utvrđena slabo kisela reakcija. Na oba lokaliteta utvrđena je visoka hidrolitička kiselost. Utvrđene koncentracije fosfora na oba lokaliteta bile su u klasi tala bogato opskrbljenih fosforom, dok je za kalij kod lokaliteta Zgone utvrđena klasa tala siromašnih kalijem, a na lokalitetu Beljevine klasa tala dobro opskrbljenih kalijem. I jedan i drugi lokalitet imali su srednji sadržaj humusa te pripadaju klasi srednje humoznih tala (tablica 3).

Tablica 3. – početno stanje tla na pokusnim površinama

lokalitet	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Hk	Humus (%)	AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	AL-K <sub>2</sub> O mg/100g
Zgone	5,4	4,0	6,7	1,9	22,5	15,9
Beljevine	6,2	4,7	5,1	2,5	22,5	20,6

AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - lakopristupačni fosfor (amonij laktat); AL-K<sub>2</sub>O - lakopristupačni kalij (amonij laktat); Hk – hidrolitička kiselost



### 3.2.1. pH reakcija tla i hidrolitička kiselost

pH reakcija tla je vrlo značajno svojstvo tla o kojem uvelike ovisi o raspoloživosti esencijalnih, ali i toksičnih elemenata. Primjerice, u izrazito kiselom tlu dolazi do nedovoljne raspoloživosti kalcija, magnezija i molibdena, a osim toga, ekstremna je kiselost toksična za biljke zbog slobodnih kiselih iona aluminija i mangana. S druge strane, u alkalnom tlu dolazi do smanjene raspoloživosti željeza, mangana, cinka, bakra i bora (Lončarić Z., 2015b). Poljoprivrednim kulturama pogoduje uglavnom pH u rasponu između 4-8 (Baumgarten, 2006.), s tim da su se neke kulture prilagodile kiseloj pH reakciji, a neke alkalnoj reakciji tla, no većina ih preferira slabo kiselo do neutralno tlo. Upravo iz tog razloga primjenjuje se kalcizacija kako bi se podigao pH na izrazito kiselim tlima i stvorili optimalni uvjeti za poljoprivrednu proizvodnju.

Na početku istraživanja lokalitet Zgone bio je umjereno kisele reakcije tla (pH u vodi 5,4), dok je na Beljevinama tlo bilo slabo kisele reakcije (pH u vodi 6,2), no oba su lokaliteta imala visoku hidrolitičku kiselost, tj. ukupnu kiselost tla. Primjena kalcizacijskih materijala imala je statistički značajan utjecaj na povećanje pH reakcije tla i na smanjenje hidrolitičke kiselosti. Primjena kalcizacijskih sredstava podigla je pH u H<sub>2</sub>O s inicijalnih 5,5 (prosjeak oba lokaliteta) na 7 (puna doza pepela i karbokalka), te na 6,4 (polu doze pepela i karbokalka) (tablica 4). Također, povećanje je utvrđeno i kod pH u KCl-u gdje je s inicijalnih 4,3 (prosjeak oba lokaliteta) pH tla podignut na 6,5 (puna doza pepela i karbokalka) te na 5,5. (polu doze pepela i karbokalka).

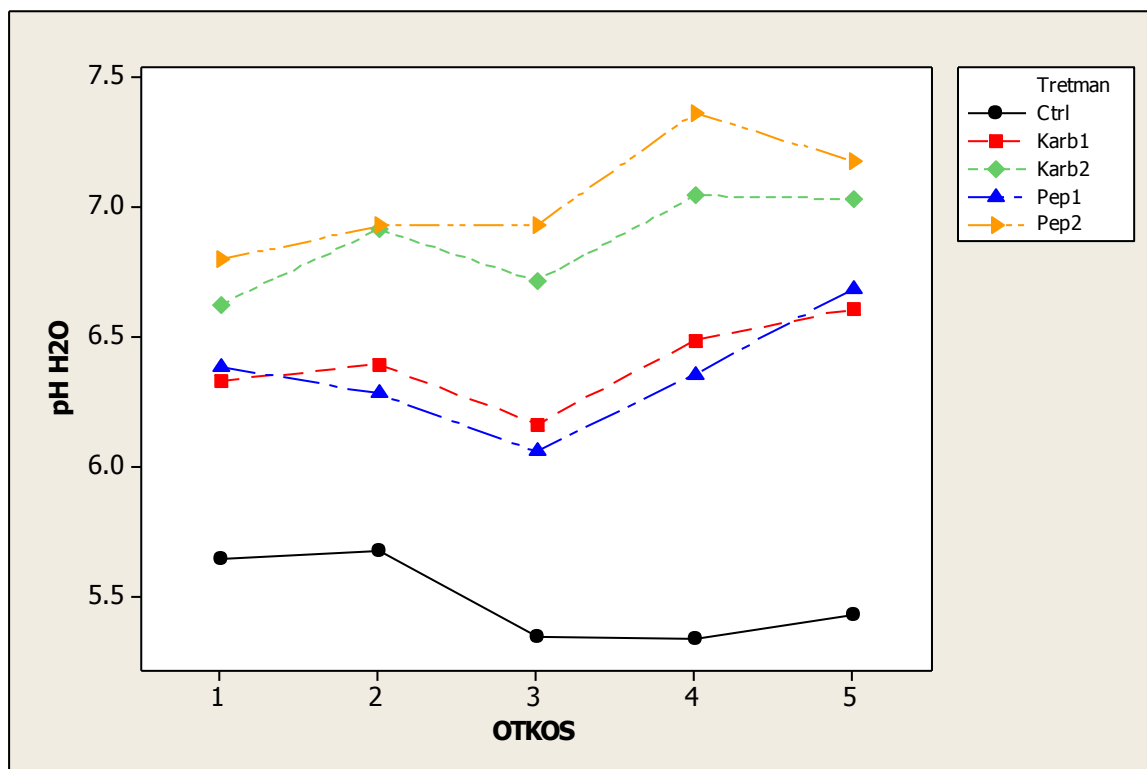
Tablica 4. Utjecaj kalcizacije na pH tla (prosjeak svih 5 otkosa)

<b>tretman</b>	<b>n</b>	<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>p &lt; 0.001</b>
Pepeo 2	60	7,0	A
Karbokalk 2	60	6,9	A
Pepeo 1	60	6,4	B
Karbokalk 1	60	6,4	B
KONTROLA	60	5,5	C

1 – pola doze; 2 – puna doza. Slova A,B,C i D označavaju statistički značajne razlike među tretmanima.

### 3.2.2. Humus

Tijekom provedbe pokusa utvrđen je sadržaj humusa u tlu te rezultati pokazuju da iako tretman karbokalkom ima nešto niže vrijednosti humusa u odnosu na kontrolu te vrijednosti nisu statistički značajne (grafikon 1).



Grafikon 1. Utjecaj tretmana na pH reakciju tla kroz pet otkosa: Karb: karbokalk; Pep: pepeo; 1 – pola doze; 2 – puna doza

### 3.3. Utjecaj pepela na količinu fosfora i kalija u tlu

Povišene koncentracije hraniva u pepelu (7 % K i 1,3 % P) rezultirale su povećanjem fosfora i kalija u tlu (tablica 5). Primjenom pune doze pepela vidljivo je povećanje P i K za čak 100 %. Punim dozama pepela (20 t i 15 t) unosili smo čak 1400 kg (Zgone) i 1050 kg (Beljevine) kalija te 260 kg (Zgone) i 195 kg (Beljevine) fosfora čime smo tla dobro opskrbljena kalijem učinili ekstremno bogatim kalijem i fosforom. Dakle, već unosom 1 t pepela unosimo 70 kg kalija te 13 kg P pa samim tim smanjujemo potrebu

za mineralnom gnojdbom. No bitno je napomenuti da pepeo nije gnojivo, već kalcizacijsko sredstvo i treba ga se primjenjivati isključivo na kiselim tlima u svrhu podizanja pH reakcije tla. Karbokalk nije imao statistički značajan učinak na koncentraciju fosfora i kalija u tlu.

Tablica 5. Utjecaj kalcizacije na koncentracije fosfora i kalija u tlu (prosjeak svih 5 otkosa)

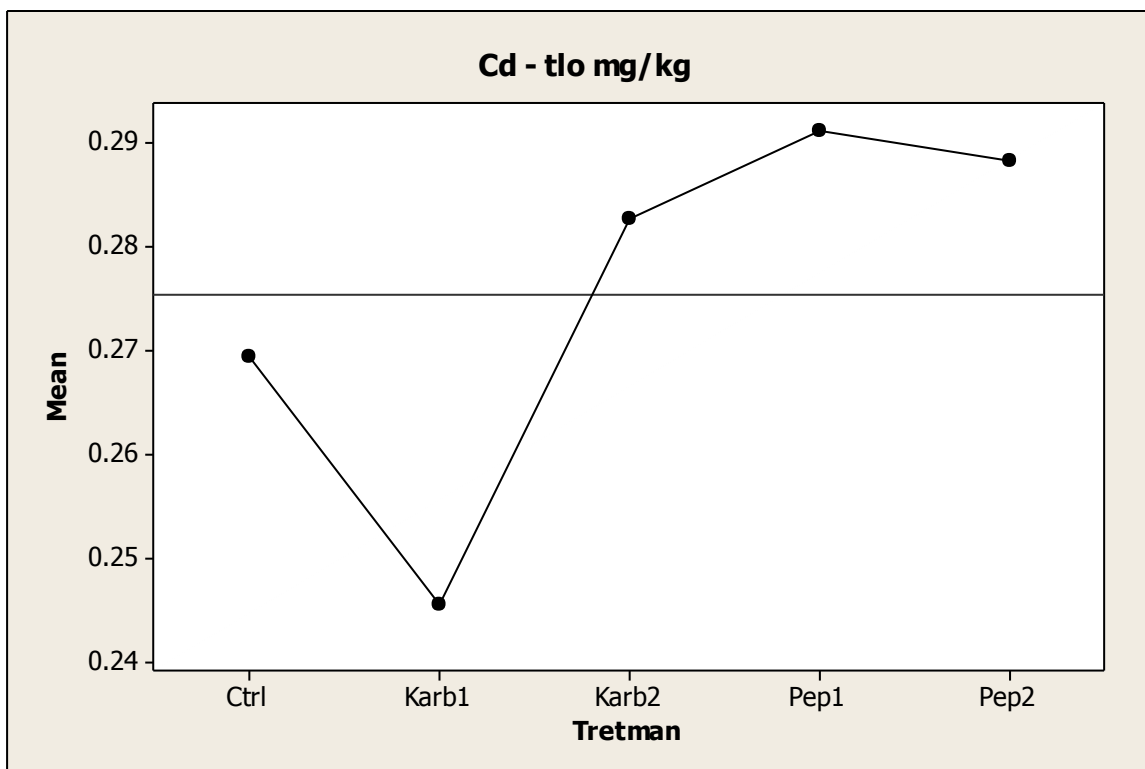
<b>K<sub>2</sub>O</b>				<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>			
<b>tretman</b>	<b>n</b>	<b>mg/100g tla</b>		<b>tretman</b>	<b>n</b>	<b>mg/100g tla</b>	
Pep2	60	38,1	A	Pep2	60	33,2	A
Pep1	60	28,1	B	Pep1	60	24,5	B
KONTROLA	60	19	C	Karb2	60	19,6	CD
Karb1	60	18,52	C	Karb1	60	19,1	CD
Karb2	60	18,28	C	KONTROLA	60	17,66	D

Karb: karbokalk; Pep: pepeo; 1 – pola doze; 2 – puna doza. Slova A,B,C i D označavaju statistički značajne razlike među tretmanima.

### 3.4. Teški metali

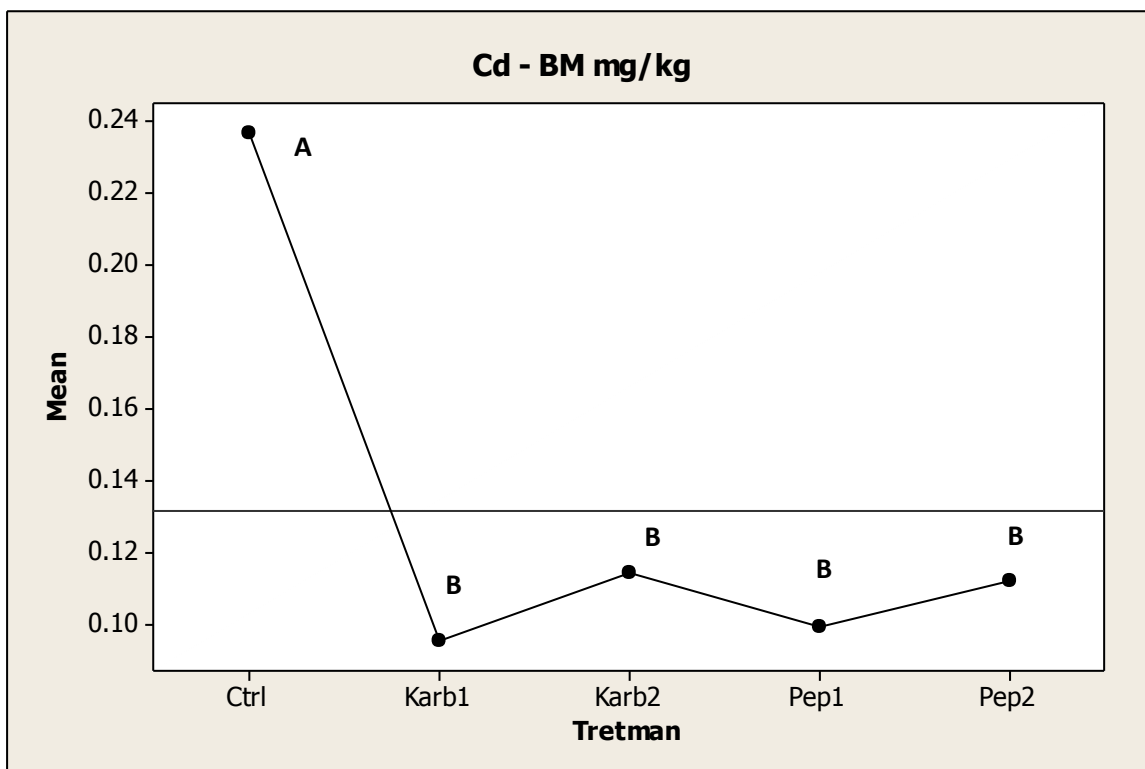
Kadmij u pepelu je bio blizu graničnih vrijednosti propisanih Pravilnikom (NN 09/14), no analize tla nisu pokazale porast koncentracija tog elementa iznad dozvoljenih granica za tlo. Koncentracije Pb i Cd nisu se statistički značajno povećale niti za jedan tretman u odnosu na kontrolu.

Tretman pepelom imao je nešto više koncentracije Cd, međutim te koncentracije nisu bile statistički značajne (grafikon 2) niti su prelazile maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK: 0,5 - 1,0 mg/kg). Na osnovi dobivenih rezultata možemo reći da primjene istraživanih kalcizacijskih sredstava ne predstavljaju opasnost po okoliš.



Grafikon 2. Koncentracije Cd u tlu; MDK za ovaj tip tla je 0,5 - 1,0 mg/kg

Bez obzira na povećani sadržaj teških metala u pepelu ni jedno kalcizacijsko sredstvo nije pokazalo statistički značajno povećanje Pb i Cd u biljci. Dapače, oba kalcizacijska sredstva utjecala su na smanjenje usvajanja Cd, što je bilo i očekivano zbog povećanja pH vrijednosti. Naime, u kiseloj sredini (kao što su u ovom slučaju kontrolne parcele) Cd je mobilan i biljka ga lako usvaja pa je tako primjena kalcizacijskih materijala imobilizirala Cd te su statistički najviše koncentracije Cd usvojene upravo na kontrolnim parcelama gdje nije bilo primjene kalcizacijskih sredstava (grafikon 3).



Grafikon 3. Koncentracije Cd u biljnom materijalu (BM): Slova A i B označavaju statistički značajne razlike među tretmanima: Karb: karbokalk; Pep: pepeo; 1 – pola doze; 2 – puna doza

### 3.5. Utjecaj pepela na prinos lucerne

Primjena kalcizacijskih materijala povećala je pH reakciju tla i time stvorila pogodne uvjete za rast lucerne, kulture koja je osjetljiva na kisela tla. Posljedica unosa kalcizacijskih materijala bila je povećanje prinosa na svim tretmanima, dok je na tretmanu s pepelom utvrđen najviši prinos zbog povećanih koncentracija P i K u pepelu (tablica 6).

Primjena digestata iz proizvodnje bioplina kao organskog gnojiva također je pozitivno djelovala na prinos (tablica 10).

Na lokalitetu Beljevine utvrđeni su viši prinosi što je očekivano s obzirom na utvrđena kemijska svojstva tla na početku istraživanja, prvenstveno pH reakciju.

Na lokalitetu Zgone na kontrolnim parcelama bez primjene organskog gnojiva nije utvrđen porast lucerne. Naime, tako niska pH reakcija tla nepovoljna je za rast lucerne tako da u drugoj godini na kontrolnim parcelama tog lokaliteta nije bilo prinosa (slika 4 i 5).

Takva pojava bila je odličan vizualni pokazatelj pozitivnog utjecaja istraživanih kalcizacijskih materijala.



Slika 4. i 5. – Lokalitet Zgone (kontrolne parcele bez prinosa lucerne), (Ivezić i sur. 2018.)

Tablica 6. Utjecaj kalcizacije na prinos (t suhe tvari /ha) lucerne (prosjeak svih 5 otkosa)

<b>tretman</b>	<b>n</b>	<b>t/ha</b>	
Pepeo 2	56	2,51	A
Pepeo 1	56	2,40	A B
Karbokalk 2	57	2,04	B C
Karbokalk 1	57	1,95	C
KONTROLA	57	1,37	D

Slova A, B, C i D označavaju statistički značajne razlike među tretmanima

### 3.6. Ekonomska isplativost primjene pepela

Kod novih kalcizacijskih sredstava kao što su pepeo, u troškove treba uzeti u obzir i povećane troškove amortizacije i održavanja poljoprivredne mehanizacije. Naime, prilikom utovara i istovara pepela strojevi su izloženi prašini, što povisuje trošak održavanja i amortizacije (smanjenje perioda za obračun vremenske amortizacije).

## 4. ZAKLJUČAK

Provedeno dvogodišnje istraživanje je pokazalo da su oba istraživana sredstva, nusproizvoda iz industrije, pozitivno djelovala na:

- smanjenje kiselosti tla
- smanjeno usvajanje kadmija (Cd)
- povišenje koncentracije raspoloživog fosfora i kalija u tlu (pepeo)
- povećani prinos lucerne.

Primjena kalcizacijskih sredstava statistički je značajno utjecala na smanjenje kiselosti tla, tj. povisila je pH reakciju tla u 1 M KCl-u s inicijalnih 4,3 (prosjeak oba lokaliteta) na 6,5 (puna doza pepela i karbokalka) te na 5,5 (polu doze pepela i karbokalka). Također, isti je slučaj i kod pH reakcije u vodi gdje je s inicijalnih 5,5 (prosjeak oba lokaliteta) pH tla podignut na 7 (puna doza pepela i karbokalka) te na 6,4 (polu doze pepela i karbokalka). Kroz otkose nije primijećeno opadanje pH vrijednosti, dakle oba sredstva su održavala konstantnu pH reakciju tla kroz svih pet otkosa tijekom promatranog razdoblja od godine i pol.

Primjena oba kalcizacijska materijala rezultirala je povećanjem prinosa lucerne primarno zbog povećanja pH vrijednosti tla. Dopunski, analize kalcizacijskih materijala pokazale su da pepeo sadrži nešto više koncentracije hraniva (7 % K i 1,3 % P) u odnosu na druge materijale te su takva svojstva pepela rezultirala statistički značajno višim vrijednostima raspoloživog fosfora i kalija u tlu na parcelama gdje je primijenjen pepeo. S obzirom na podrijetlo pepela analiza na rezidue pesticida bila je negativna. Također, primjena pepela pokazala je i statistički najviše prinose u odnosu na ostale kalcizacijske materijale. Što se tiče negativnih strana korištenja pepela tu možemo istaknuti prisustvo određene koncentracije teških metala odnosno kadmija čija bi učestala primjena u kratkim razmacima mogla dovesti do prekoračenja maksimalno dopuštenih koncentracija. Stoga je neophodno redovito provoditi kontrolu koncentracije teških metala. No povećanje pH reakcije tla imobilizira teške metale te su rezultati pokusa pokazali statistički značajno smanjen unos kadmija na kalciziranim parcelama u odnosu na kontrolu. Isto tako ne smijemo pretjerati sa količinama pepela jer je poznata činjenica da se podizanjem pH

vrijednosti tla povećava aktivnost mikroorganizama koji negativno djeluju na sadržaj humusa te na taj način smanjuju humus u tlu. Upravo je zbog toga bitno istovremeno koristiti i organsko gnojivo.

Bitno je napomenuti da ni pepeo ni karbokatnisi nisu gnojiva, već poboljšivači tla koji se isključivo trebaju primjenjivati na kiselim tlama radi podizanja pH vrijednosti tla.

U Hrvatskoj je još uvijek teško pronaći dovoljne količine pepela za kalcijaciju, a isto tako teško je naći relevantne informacije te dobiti podršku stručnjaka u vezi korištenja pepela. Smatram da će trend korištenja pepela u poljoprivredi rasti kako raste interes za ekološkom i samoodrživom poljoprivredom, te kako rastu troškovi neškodljivog zbrinjavanja pepela.



## 5. POPIS LITERATURE

1. Baumgarten, A. (2006.): Richtlinien für die Sachgerechte Düngung. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien. Austrija.
2. International Organization for Standardization (1994.): Soil quality – Determination of pH. ISO 10390:1994.
3. International Organization for Standardization (1995.b): Soil quality – Extraxtion of trace elements soluble in aqua regia. ISO 11466:1995.
4. International Organization for Standardization (1998.): Soil quality – Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. 14235:1998.
5. Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960.): Untersuchung über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Boden II. Chemische Extractionsmethoden zu Phosphor- und Kaliumbestimmung. K. Lantbr. Hogsk. Annlr. W.R. 26: 199 – 215.
6. Lončarić, Z. (2015a): Sredstva za kalcizaciju. U: Lončarić Z. (Ur.) Kalcizacija tala u pograničnome području. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek. 28-40
7. Lončarić, Z. (2015b). Esencijalni i štetni teški metali od polja do stola. U: Lončarić Z. (Ur.) Utjecaj poljoprivrede na kakvoću hrane u pograničnome području. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek. 16-49
8. Ivezić, V., Popović B., Lončarić Z., Engler, M., Teklić, T., Lončarić, R. (2018). Utvrđivanje učinkovitosti novih karbonatnih i silikatnih materijala za kalcizaciju u vegetacijskim pokusima. Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske, Osijek 2018.
9. Ministarstvo poljoprivrede, ribarstva i ruralnog razvoja RH (2010.): Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne novine 32, 2010.

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Primijenjene doze kalcizacijskih materijala

Tablica 2. Kemijska svojstva kalcizacijskih materijala

Tablica 3. – početno stanje tla na pokusnim površinama

Tablica 4. Utjecaj kalcizacije na pH tla (prosjek svih 5 otkosa)

Tablica 5. Utjecaj kalcizacije na koncentracije fosfora i kalija u tlu (prosjek svih 5 otkosa)

Tablica 6. Utjecaj kalcizacije na prinos (t suhe tvari /ha) lucerne (prosjek svih 5 otkosa)

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Lokaliteti: Beljevine i Zgone, (Ivezić i sur. 2018.)

Slika 2. Kalcizacijski materijali i njihove neutralizacijske vrijednosti (NV (CaO)), (Ivezić i sur. 2018.)

Slika 3. Postavljanje pokusa, (Ivezić i sur. 2018.)

Slika 4 i 5 – Lokalitet Zgone (kontrolne parcele bez prinosa lucerne), (Ivezić i sur. 2018.)

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1. Utjecaj tretmana na pH reakciju tla kroz pet otkosa: Karb: karbokalk; Pep: pepeo; 1 – pola doze; 2 – puna doza

Grafikon 2. Koncentracije Cd u tlu; MDK za ovaj tip tla je 0,5 - 1,0 mg/kg

Grafikon 3. Koncentracije Cd u biljnom materijalu (BM): Slova A i B označavaju statistički značajne razlike među tretmanima: Karb: karbokalk; Pep: pepeo; 1 – pola doze; 2 – puna doza

