

Correction of Excessive Soil Acidity with Different Liming Materials

Milan MESIĆ

SUMMARY

Aimed at defining the differences between 8 liming materials and their influence on chemical properties of Dystric Luvisols at Central Podravina region, stationary investigations were carried out. Different liming materials were applied in two doses. Applied materials were hydrated lime (4.5 and 9.0 t/ha), sugar factory waste lime (15 and 30 t/ha), ground soft lithothamnium limestone (6 and 12 t/ha), not ground soft lithothamnium limestone (6 and 12 t/ha), hard limestone - calcite (6 and 12 t/ha), dolomite (6 and 12 t/ha), phosphogypsum (12,5 and 25 t/ha) and special natural substrata with zeolite (1.0 and 1.5 t/ha) combined with hard limestone (1.5 t/ha).

According to the changes of soil pH, hydrolytic acidity, base saturation level and mobile aluminium content in soil for all investigation years, the differences in rapidity and duration of activity of particular liming material were recorded. Hydrated lime, sugar factory waste lime, ground soft lithothamnium limestone, hard limestone and dolomite influenced the soil chemical properties on the similar way, but not equally. When higher doses of these materials were applied the excessive soil acidity was almost completely neutralised. Compared to the other liming materials the efficacy of not ground lithothamnium limestone was somewhat lower, and that of phosphogypsum and special natural substrata was considerably lower.

Winter wheat and corn were used as test crops and they were grown in the crop sequence winter wheat - corn - corn - winter wheat. According to the winter wheat and corn grain yield recorded at different trial treatments, the trial was statistically significant in all 4 years of investigation. At the first investigation year the highest yield of winter wheat was recorded at the treatment with higher dose of sugar factory waste lime. At the second, third and fourth year highest yields of test crops were obtained at trial treatment with higher dose of ground soft lithothamnium limestone.

KEY WORDS

Dystric Luvisols, different liming materials, liming, corn, winter wheat

Faculty of Agriculture University of Zagreb
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Croatia
E-mail: mmesic@agr.hr

Received: February 15, 2001

Korekcija suvišne kiselosti tla različitim vapnenim materijalima

Milan MESIĆ

SAŽETAK

U stacionarnom poljskom pokusu, za kalcifikaciju distričnog lesiviranog tla (pH 3,8-3,9) na području srednje Podravine, korišteno je ukupno osam materijala, a svi su primijenjeni u dvije različite doze. Korišteni su: hidratizirano vapno (4,5 i 9,0 t/ha), saturacijski mulj (15,0 i 30,0 t/ha), mljeveni meki litotamnijski vapnenac (6,0 i 12,0 t/ha), nemljeveni meki litotamnijski vapnenac (6,0 i 12,0 t/ha), tvrdi vapnenac (6,0 i 12 t/ha), dolomit (6,0 i 12,0 t/ha), fosfogips (12,5 i 25,0 t/ha), te specijalni prirodni supstrat sa zeolitom (1,0 i 1,5 t/ha) u smjesi s tvrdim vapnencem (1,5 t/ha).

Na temelju kretanja pokazatelja kiselosti tla - pH vrijednosti, hidrolitskog aciditeta, sadržaja mobilnog aluminijskog u tlu, te stanja adsorpcijskog kompleksa prema godinama istraživanja utvrđene su razlike u brzini i trajnosti djelovanja pojedinih materijala. Hidratizirano vapno, saturacijski mulj, mljeveni meki litotamnijski vapnenac, tvrdi vapnenac i dolomit djelovali su na kemijska svojstva tla slično, premda ne i jednako, te je s primjenom viših doza ovih materijala u najvećoj mjeri neutralizirana suvišna kiselost tla. Djelovanje nemljevenog mekog vapnenca bilo je nešto, a fosfogipsa i specijalnog prirodnog supstrata znatno slabije. Razlike između viših i nižih doza materijala u pravilu su bile jako izražene, osim u slučaju fosfogipsa i specijalnog prirodnog supstrata.

Test kulture bile su ozima pšenica i kukuruz i to u plodosmjeni ozima pšenica - kukuruz - kukuruz - ozima pšenica. Glede razlika u visini prinosa zrna ozime pšenice i kukuruza između pokusnih varijanata, pokus je u sve četiri godine bio statistički opravdan. Reakcija usjeva na primjenu vapnenih materijala bila je izražena, posebice u slučaju viših doza materijala. Prema visini prinosa ozime pšenice prve godine istraživanje najbolji rezultati ostvareni su s višom dozom saturacijskog mulja. Druge, treće i četvrte godine najviši su prinosi ostvareni u varijante s višom dozom mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca.

KLJUČNE RIJEČI

distrično lesivirano tlo, kalcifikacija, kukuruz, ozima pšenica, različiti vapneni materijali

Zavod za opću proizvodnju bilja
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25, 10 000 Zagreb, Hrvatska
E-mail: mmesic@agr.hr

Primljeno: 15. veljače 2001.

UVOD

Nepovoljna kemijska svojstva jako kiselih tala ograničavaju rast i razvoj kulturnih biljaka, često i do granice opravdanosti korištenja tih tala u intenzivnoj ratarskoj proizvodnji. Brzi razvoj kemije tla u posljednjim desetljećima 20. stoljeća omogućio je bolje razumijevanje mehanizama toksičnosti koji djeluju u kiselim tlima, pri čemu posebna važnost pripada kemizmu aluminija. Premda su danas poznati mehanizmi detoksikacije jako kiselih tala, još uvijek su otvorena brojna pitanja o vrsti, količini, te o kemijskim i fizikalnim značajkama materijala koji se mogu koristiti u zahvatima agromelioracija na tim tlima.

Na jako distričnom lesiviranom u Suhopolju, lokalitet Cabuna, postavljen je pokus s ukupno 8 različitih materijala za kalcifikaciju, koji su aplicirani u dvije različite doze. Kao test kultura korištena je u dvije od četiri godine istraživanja ozima pšenice, a u dvije kukuruz. Osnovni cilj bio je istražiti učinkovitost različitih vapnenih materijala u otklanjanju suvišne kiselosti tla, te utvrditi utjecaj smanjene kiselosti tla na prinose test kultura.

PREGLED LITERATURE

Suvišna kiselost tla korigira se aplikacijom vapnenih materijala. Opcenito, za kalcifikaciju se mogu koristiti svi materijali koji sadrže kalcijeve i magnezijeve ione (Barber, 1984). Prema ovoj definiciji za kalcifikaciju se mogu koristiti živo i hidratizirano vapno, meki i tvrdi vapnenac, lapor, te različiti sporedni proizvodi - nusprodukti. Vapnenac je najčešće korišten materijal za kalcifikaciju. Ovisno o sadržaju kalcijevih i magnezijevih iona vapnenac može biti kalcit, dolomit, dolomitni vapnenac, ali i smjesa navedenih minerala.

Uz količinu primijenjenog vapnenog materijala glavni čimbenici koji utječu na otapanje i reaktivnost materijala su veličina čestica, ekvivalent kalcijevog karbonata i vrsta materijala za kalcifikaciju (Bertsch i Alley, 1981). U literaturi postoji obilje podataka o djelovanju različitih vapnenih materijala na prinos kukuruza i ozime pšenice, ali i na kemijske značajke tla (Bergin, 1959, Butorac, 1967, Hutchinson i Hunter, 1970, Butorac i Tkalec, 1974, Jones, 1978, Friesen i sur., 1982, Haynes, 1984, Jurić i sur., 1986, Jurić i sur., 1988, Butorac i sur., 1988, Bašić i sur., 1990, Mesić, 1992). Osim vrste vapnenog materijala važna je i fizikalna kvaliteta materijala koja znatnim dijelom određuje brzinu aktivacije materijala (Davis, 1951, Meyer i Volk, 1952, Beacher i sur., 1952, Hoyert i Axley, 1952, Motto i Melsted, 1960, Alley, 1981, Warfvinge i Sverdrup, 1989, Alcarde i sur., 1991).

Oksidi aluminija, željeza i mangana, posebice njihovi slabo kristalizirani oblici, najreaktivnije su komponente kiselih tala (Paterson i sur., 1991). Brojni istraživači navode kemizam aluminija kao temeljni problem u većine jako kiselih tala

(Kamprath, 1978, Thomas i Hargrove, 1984, Haynes, 1984, Foy, 1984, Okhi, 1985, Wright i sur., 1989), dijelom zato što i sama visoka koncentracija mobilnog aluminija često djeluje toksično, a dijelom i zbog slabije pristupačnosti fosfora u jako kiselim tlima, gdje dolazi do stvaranja netopivih aluminijskih fosfata (Bartlet i Riego, 1972, Foy i Fleming, 1978, Haynes, 1984, Adams, 1984, Sumner, 1990).

Osim klasičnih materijala za kalcifikaciju u pokusu su korišteni i fosfogips, saturacijski mulj, te specijalni prirodni supstrat sa zeolitnim tufom. Pozitivno djelovanje fosfogipsa u melioraciji kiselih tala uglavnom se tumaci smanjenjem koncentracije mobilnog aluminija (Noble i sur., 1988, Alva i Sumner, 1989, Frenkel i sur., 1989, Alva i sur., 1990, Mullins i Mitchell, 1990, Rechcigl i sur., 1993). Yagodin (1984) ukazuje na bolju učinkovitost saturacijskog mulja u odnosu na kalcijev karbonat, a pozitivne rezultate s primjenom ovog materijala navode i drugi autori (Orovčanec, 1953, Irsko Ministarstvo poljoprivrede, 1953, Oldershaw, 1955, Stojkowska, 1958, Boekel, 1959, Leehnheer i de Boodt, 1959).

Prema Novogordovu (1995) u prirodnim zeolitima najveći dio ionske izmjene odnosi se na natrijev i kalcijev ion, a manji na kalijev i magnezijev, dok je alumosilikatna komponenta vrlo stabilna. Ioneva (1995) iznosi pozitivno djelovanje zeolita na stabiliziranje i pojacanje učinka kalcifikacije kiselih tala, što je dijelom posljedica vezanja teških kovina i amfoternih elemenata na površini zeolita. Kombiniranje zeolita i vapnenih materijala korisno je stoga zbog dodatno pojačanog učinka vapnenih materijala u smislu detoksikacije suvišne kiselosti tla. Chevychelov (1995) također navodi smanjenje aktivne kiselosti, te povećanje kapaciteta adsorpcijskog kompleksa tla zbog primjene kalcijevih oblika zeolita. Pozitivne rezultate s primjenom raznih zeolita navode i MacKown i Tucker (1985), Barbarick i sur. (1990), Gworek (1992), Butorac i sur. (1992), De Genaro i sur. (1995), Tsitsishvili i Andronikashvili (1995), Butorac i sur. (1995), Chakalov i sur. (1995).

MATERIJALI I METODE

U jesen 1989. godine odabrana je pokusna površina, te su izvršene kemijske analize tla, kako bi se utvrdilo stanje prije primjene vapnenih materijala. Pokus je postavljen na distričnom lesiviranom semiglejnom tlu na lesu, na proizvodnim površinama poduzeća "Poljoprivreda" Suhopolje - lokalitet Cabuna. U pokusu je korišteno ukupno osam materijala, a svi su primijenjeni u dvije različite doze. S ciljem potpunijeg uvida u učinkovitost samih materijala, ali i samih mineralnih gnojiva, te različitih kombinacija mineralne gnojidbe i različitih vrsta i doza materijala, odabrane su varijante pokusa prikazane u tablici 1.

Materijali korišteni u istraživanju

U pokusu su korišteni različiti vapneni materijali: hidratizirano vapno, meki litotamnijski vapnenac različitog podrijetla, tvrdi vapnenec, dolomit, zatim dva materijala koji predstavljaju industrijski otpad - saturacijski mulj i fosfogips, te specijalni prirodni supstrat SPS sa zeolitnim tufom (komercijalni naziv - Agrarvital). U svrhu potpunijeg vrednovanja ovih materijala, a na temelju rezultata kemijskih i fizikalnih analiza, za svaki materijal određen je neutralizacijski indeks (tab. 2). Računanje neutralizacijskog indeksa provedeno je prema metodi prihvaćenoj u SAD (Barber, 1984). Metoda se sastoji u određivanju frakcija s česticama materijala većim

od 2,36 mm, česticama promjera 0,25 do 2,36 mm, te onih manjih od 0,25 mm, kao i ekvivalenta CaCO_3 za svaki materijal.

Svi materijali aplicirani su u tlo jednokratno oranjem na 30 cm dubine u godini osnivanja pokusa (jesen 1989). Prema uputama proizvođača specijalnog prirodnog supstrata, primjena ovog materijala ponovljena je nakon druge godine, također u jesen, neposredno prije osnovne obrade tla.

Pokus je postavljen prema metodi slučajnog bloknoeg rasporeda s 20 varijanata u 4 ponavljanja. Veličina pokusne parcele iznosila je 40 m². Statistička obrada

Tablica 1. Varijante pokusa
Table 1. Trial treatments

Broj No.	Varijanta pokusa Trial treatment	Doza Dose (t/ha)	Vapneni materijal Liming material	Porijeklo vapnenog materijala (proizvođač) Origin of liming material (manufacturer)
1.	∅ (Kontrola - Check)			
2.	NPK			Petrokemija Kutina
3.	Ca ₁	4,5	Hidratizirano vapno	
4.	Ca ₂	9,0	Hydrated lime	
5.	NPK + Ca ₁	4,5	Hidratizirano vapno	
6.	NPK + Ca ₂	9,0	Hydrated lime	
7.	NPK + Ca ₁	15,0	Saturacijski mulj	Tvornica šećera - Virovitica
8.	NPK + Ca ₂	30,0	Sugar factory waste lime	Sugar Factory - Virovitica
9.	NPK + Ca ₁	6,0	Meki litotamnijski vapnenac - nemljeven	Domin - Slavonski Brod
10.	NPK + Ca ₂	12,0	Soft lithothamnium limestone – not ground	Podcrkavlje
11.	NPK + Ca ₁	6,0	Meki litotamnijski vapnenac - mljeven	Kaming - Ljubešćica
12.	NPK + Ca ₂	12,0	Soft lithothamnium limestone - ground	Presečno
13.	NPK + Ca ₁	6,0	Tvrđi vapnenac (kalcit)	Kaming - Ljubešćica
14.	NPK + Ca ₂	12,0	Hard limestone (calcite)	Špica
15.	NPK + (CaMg) ₁	6,0	Dolomit	IGM Lepoglava
16.	NPK + (CaMg) ₂	12,0	Dolomite	Očura
17.	NPK + Ca ₁	12,5	Fosfogips	Petrokemija Kutina
18.	NPK + Ca ₂	25,0	Phosphogypsum	Deponij
19.	NPK + Ca ₁	1,5+1,0	Tvrđi vapnenac + SPS-01*	Kaming - Ljubešćica
20.	NPK + Ca ₂	1,5+1,5	Hard limestone + SNS-01*	Ljubešćica

* SPS-01 = Specijalni prirodni supstrat - Special Natural Substrata (Agrarvital)

Tablica 2. Kemijske i fizikalne značajke materijala za kalcifikaciju
Table 2. Chemical and physical properties of liming materials

Materijal - Material	CaO %	MgO %	Kemijska kakvoća Chemical quarrantee	Fizikalna kakvoća Physical quarrantee	Neutralizac. indeks Neutralising index
Hidratizirano vapno - Hydrated lime	72,9	0,43	131,3	100	131,3
Saturacijski mulj - Sugar factory waste lime	35,3	1,4	69,3	-	-
Meki litotamnijski vapnenac - nemljeveni Soft lithothamnium limestone - not ground	51,1	2,2	96,7	-	-
Meki litotamnijski vapnenac - mljeveni Soft lithothamnium limestone - ground	55,9	0,1	100,0	98,6	98,6
Tvrđi vapnenac (kalcit) Hard limestone (calcite)	54,5	1,1	100,0	91,8	91,8
Dolomit - Dolomite	30,4	21,5	107,6	99,8	107,4
Fosfogips - Phosphogypsum	31,6	-	56,6	-	-
Tvrđi vapnenac + SPS-01 (Agrarvital)	16,4	1,6	33,3	100,0	33,0
Hard limestone + SNS-01 (Agrarvital)					

Tabela 3 - Kemijske značajke tla
Table 3 - Chemical soil properties

Genetski horizont Genetic horizon		pH		Hidrolitski aciditet Hydrolitic acidity	Humus Humus	Al mobilni Al mobile	Adsorpcijski kompleks m.e./100 g Adsorption complex m.e./100 g			Zasićenost bazama Base saturation	P ₂ O ₅	K ₂ O
Oznaka Mark	Dubina Depth, cm	H ₂ O	nKCl	Y ₁	%	mg/100g	S	T-S	T	V, %	mg/100g	
Ap	0-28	4,8	3,8	20,7	1,6	32,0	2,9	13,5	16,4	17,7	16,2	26,5
E	28-41	4,7	3,7	20,9	-	35,2	2,7	13,6	16,3	16,6	14,5	25,0
Bt ₁	41-67	4,8	4,0	16,3	-	21,6	3,5	10,6	14,1	24,8	7,0	26,5
Bt ₂	67-97	5,5	4,5	8,7	-	3,5	9,7	5,7	15,4	62,9	4,0	23,5
C	97-120	6,0	4,9	5,7	-	1,2	6,1	3,7	9,8	62,2	5,7	8,0

rezultata za prinose test kultura provedena je prema metodi analize varijance do određivanja vrijednosti F testa, a zatim korištenjem Duncanovog testa signifikantnih rangova. U istraživanju su u plodosmjeni bile uzgajane sljedeće kulture: ozima pšenica - kukuruz - kukuruz - ozima pšenica. Za ozimu pšenicu izvršena je uobičajena gnojidba sa 160 kg/ha dušika, 150 kg/ha fosfora i 140 kg/ha kalija. Gnojidba za kukuruz je iznosila ukupno 180 kg/ha dušika, 150 kg/ha fosfora i 160 kg/ha kalija. U pokusu su korištena kompleksna NPK gnojiva, te pojedinačna dušična gnojiva. Za svaku pokusnu parcelu utvrđena je težina prinosa, sadržaj vlage u %, te je izvršeno preračunavanje u dt/ha prinosa određene kulture uz sadržaj vlage 14%.

Analize tla

U svrhu praćenja promjena kemijskih značajki tla vršene su odgovarajuće kemijske analize tla. To su: pH vrijednost tla elektrometrijski u 1M otopini KCl, Y₁ hidrolitskog aciditeta s natrijevim acetatom, adsorpcijski kompleks tla prema Kappenu i sadržaj mobilnog aluminija prema Sokolovu. Za određivanje kemijskih značajki tla svake godine uzimani su prosječni uzorci tla za svaku pokusnu varijantu. Vrijeme uzimanja uzoraka bilo je nakon žetve odnosno berbe test kulture, a jedan prosječan uzorak dobiven je iz 5 pojedinačnih za svaku parcelu u četiri ponavljanja, drugim riječima, iz 20 pojedinačnih.

AGROKOLOŠKI UVJETI

Klima

Klima područja na kojem je provedeno istraživanje je umjeren kontinentalna. Prosječna godišnja količina oborina u Suhopolju za razdoblje 1972-93. godine iznosi 812,9 mm. Srednja godišnja temperatura za isto razdoblje iznosi 10,7 °C. Prosječne vrijednosti sume oborina i srednjih mjesečnih temperatura po mjesecima, te odgovarajuće vrijednosti za razdoblje istraživanja prikazane su na klimadijagramu prema Walteru (graf 1).

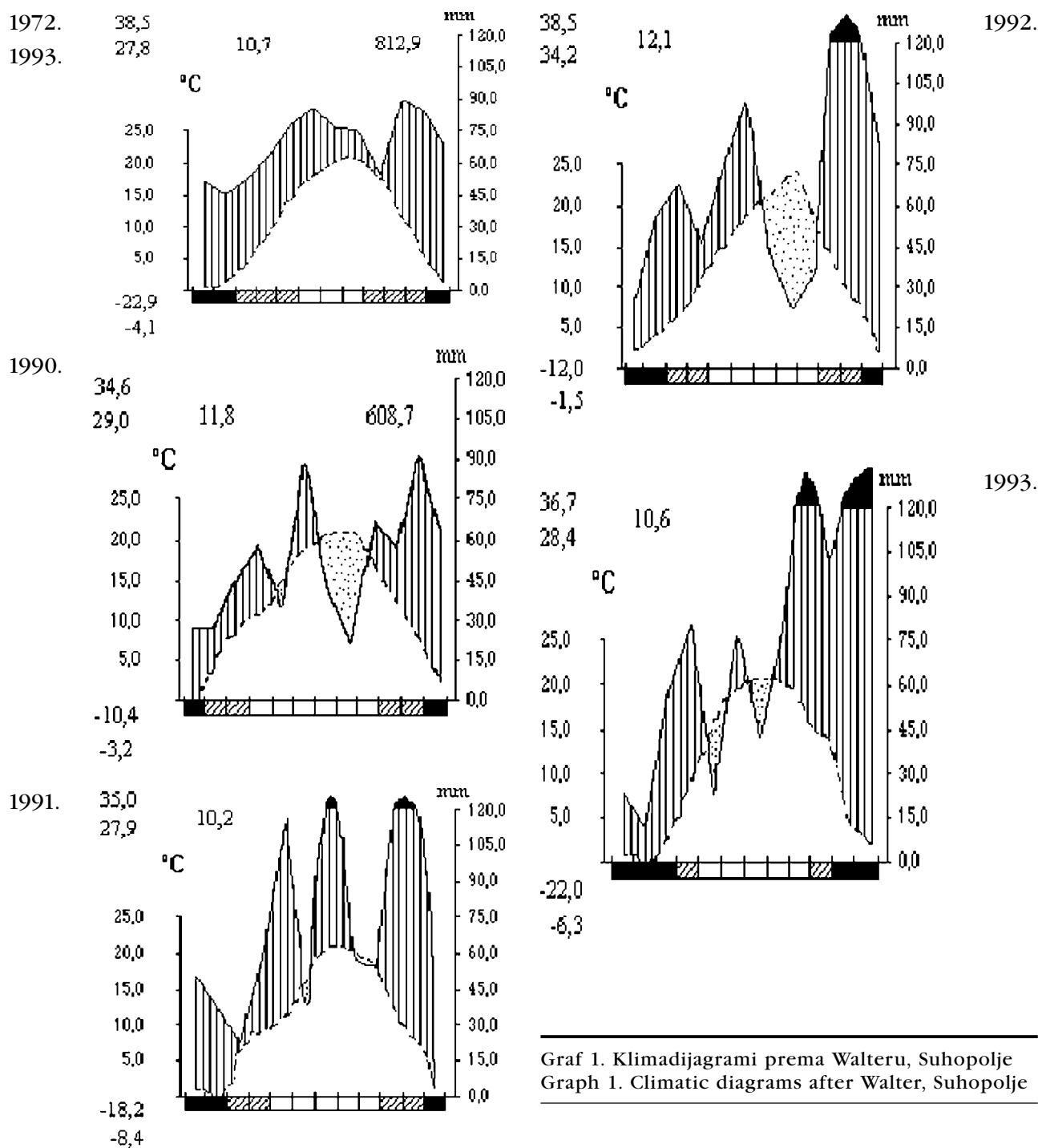
Vremenske prilike u razdoblju istraživanja

Prva godina istraživanja (1990.) bila je prema količini oborina za 200 mm oborina siromašnija od višegodišnjeg prosjeka. Na klimadijagramu su vidljiva dva razdoblja s nedostatkom vode, kraće i manjeg intenziteta u svibnju, te znatno veće i duže u srpnju, kolovozu i dijelu rujna. Za razliku od prve, 1991. godina nije značajnije odstupala od prosječne klime područja istraživanja. Prvo kraće razdoblje na granici suše nastupilo je u lipnju, a drugo krajem kolovoza. Kombinacija visokih temperatura zraka u ljetnim mjesecima i nedostatka oborina obilježila je 1992. godinu kao vrlo nepovoljnu za uzgoj jarina, a u području istraživanja suša je poprimila obilježja agrometeorološke averzije. Godišnja količina oborina u 1993. godini bila je veća od višegodišnjeg prosjeka za gotovo 130 mm. Usprkos tome, u svibnju i u lipnju zabilježena su i sušna razdoblja. Nesrazmjer u količini oborina između prve dvije i posljednje trećine godine dobro je vidljiv na klimadijagramu.

Tlo

Tip tla na pokusnoj površini je distrično lesivirano, semiglejno, na lesu. Tlo je po cijeloj dubini pjeskovita ilovača, s razmjerno malim sadržajem frakcije gline. Glavni pokazatelji kemijskog stanja tla prikazani su u tablici 3. Reakcija tla je jako kisela u površinskom i podpovršinskom horizontu. Veoma je visoka i potencijalna kiselost iskazana kao Y₁ hidrolitske kiselosti. Sadržaj mobilnog aluminija također je vrlo visok.

Na visoku ispranost tla ukazuju i značajke adsorpcijskog kompleksa. Kapacitet adsorpcije razmjerno je nizak, zbog malenog sadržaja humusa i gline u ovom tlu. Sadržaj za zamjenu sposobnih baza je mali, a zasićenost bazama je veoma niska. U gornjim horizontima kreće se ispod 20%, što ni izdaleka ne odgovara potrebama kulturnih biljaka. Opskrbljenost fosforom je dobra, a kalijem vrlo bogata po gotovo cijeloj dubini soluma.



Graf 1. Klimadijagrami prema Walteru, Suhopolje
Graph 1. Climatic diagrams after Walter, Suhopolje

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Promjene u kemijskom kompleksu tla

Analize tla uključuju početno stanje prije postavljanja pokusa za najvažnije pokazatelje kiselosti tla; reakcija tla, hidrolitski aciditet, sadržaj mobilnog aluminija, te stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama (V%). Reakcija tla prije postavljanja pokusa bila je jako kisela, a pH vrijednost varirala je između 3,8 i 3,9 (tab. 4).

Ukoliko se usporedi kretanje aktivne kiselosti tla po godinama istraživanja u pojedinim varijantama pokusa vidljive su razlike u učinkovitosti pojedinih

materijala primijenjenih u različitim dozama. U varijantama s hidratiziranim vapnom, bez obzira da li je riječ o kombinacijama s mineralnom gnojivom, ili o samom hidratiziranom vapnu, ostvareno je znatno smanjenje aktivne kiselosti tla prve godine istraživanja. Evidentne razlike između više i niže doze ovog materijala zadržale su se u cijelom razdoblju istraživanja, ali je jače smanjenje pH vrijednosti u godinama nakon provedene kalcifikacije zabilježeno u varijantama s višim dozama hidratiziranog vapna.

Saturacijski mulj bio je izuzetno učinkovit u smanjenju aktivne kiselosti tla. Pri usporedbi s

Tablica 4. pH vrijednost tla
Table 4. Soil pH

Broj Number	Varijanta pokusa - Trial treatment	pH u nKCl - pH in nKCl Godina - Year				
		1989.	1990.	1991.	1992.	1993.
1.	∅ (Kontrola -Check)	3,8	3,8	3,8	3,8	4,0
2.	NPK	3,8	3,7	3,8	3,9	3,9
3.	Ca ₁ - Hidratizirano vapno - Ca ₁ - Hydrated lime	3,9	4,6	4,2	4,1	4,1
4.	Ca ₂ - Hidratizirano vapno - Ca ₂ - Hydrated lime	3,8	5,6	4,8	5,0	4,7
5.	NPK + Ca ₁ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₁ - Hydrated lime	3,9	4,5	4,2	4,2	4,2
6.	NPK + Ca ₂ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₂ - Hydrated lime	3,8	5,5	4,7	4,7	4,6
7.	NPK + Ca ₁ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₁ - Sugar factory waste lime	3,8	4,7	4,4	4,3	4,2
8.	NPK + Ca ₂ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₂ - Sugar factory waste lime	3,8	5,6	5,8	5,3	4,7
9.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – not ground	3,8	4,1	4,4	4,0	4,1
10.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – not ground	3,8	4,2	4,5	4,3	4,3
11.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – ground	3,8	4,1	4,1	4,2	4,2
12.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – ground	3,9	5,6	5,2	4,9	4,7
13.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₁ - Hard limestone (calcite)	3,8	4,4	4,2	4,4	4,2
14.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₂ - Hard limestone (calcite)	3,8	5,5	5,0	5,1	4,7
15.	NPK + Ca ₁ - Dolomit - NPK + Ca ₁ - Dolomite	3,8	4,2	4,2	4,1	4,1
16.	NPK + Ca ₂ - Dolomit - NPK + Ca ₂ - Dolomite	3,8	4,8	4,8	4,7	4,5
17.	NPK + Ca ₁ - Fosfogips - NPK + Ca ₁ - Phosphogypsum	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
18.	NPK + Ca ₂ - Fosfogips - NPK + Ca ₂ - Phosphogypsum	3,8	4,1	4,3	4,0	4,1
19.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₁ - Hard limestone + SNS-01	3,8	3,9	3,9	4,1	4,0
20.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₂ - Hard limestone + SNS-01	3,8	3,8	3,9	4,2	3,9

ostalim materijalima saturacijski mulj je uvjetovao najjače povećanje pH vrijednosti tla prve, ali i druge godine istraživanja, svakako, uz uvažavanje razlika između više i niže doze. Treće se godine aktivnost ovog materijala u korekciji suvišne kiselosti tla smanjuje, ali je u varijante s višom dozom još uvijek ostvareno najizraženije smanjenje aktivne kiselosti tla u odnosu na druge materijale. Četvrte godine, međutim, slabi djelovanje, a to smanjenje izraženo je jače upravo u slučaju primjene više doze. Melioracijski učinak saturacijskog mulja može se raščlaniti na djelovanje vapnene i organske komponente. Premda se mehanizam neutralizacije kiselosti tla vapnene komponente ovog materijala razlikuje od mehanizama antitoksičnog djelovanja organske tvari, nije ih moguće u potpunosti razlučiti. Može se jedino pretpostaviti da je u prvim godinama nakon primjene ovog materijala organska tvar djelovala jače, te da je na određeni način upotpunjavala melioracijski učinak vapnene komponente.

Djelovanje nemljevenog mekog litotamnijskog vapnenca u korekciji aktivne kiselosti tla uvjetovano je njegovim fizikalnim značajkama. Na temelju analize pH vrijednosti tla u varijanata s višom i nižom dozom nemljevenog litotamnijskog vapnenca može se zaključiti da je do maksimalne aktivacije ovog materijala došlo tek druge godine nakon njegove primjene. Razlike između pH vrijednosti tla

ostvarene s višom i nižom dozom ovog materijala relativno su male, što je u najvećoj mjeri posljedica slabe aktivacije nemljevenog litotamnijskog vapnenca u višoj dozi. To, drugim riječima, znači da je s primjenom niže doze ostvareno slično djelovanje kao i s većinom ostalih vapnenih materijala, dok je u slučaju aplikacije više doze ono bilo znatno slabije.

Mljeveni meki litotamnijski vapnenac bio je vrlo djelotvoran u smanjenju aktivne kiselosti tla, što posebno vrijedi za višu dozu ovog materijala. I dok je s višom dozom mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca ostvareno maksimalno povećanje pH vrijednosti već prve godine istraživanja, u slučaju aplicirane niže doze najizraženiji melioracijski učinak utvrđen je tek treće i četvrte godine.

Primjenom tvrdog vapnenca ostvarene su promjene pH vrijednosti tla sukladne primijenjenim dozama. Prema smanjenju aktivne kiselosti ostvarenom u varijanata s ovim materijalom može se zaključiti da je tvrdi vapnenac bio među djelotvornijim materijalima u pokusu. Njegovo djelovanje u potpunosti se javlja već prve godine nakon primjene, što bi se najprije moglo objasniti fizikalnim značajkama - usitnjenosti materijala, a tek onda njegovim kemijskim značajkama. Trajnost melioracijskog učinka nešto je konzistentnija u slučaju primijenjene niže doze, dok je nakon primjene više doze prisutan razmjerno brzi porast aktivne kiselosti.

Djelovanje niže doze dolomita na pH vrijednost tla ne razlikuje se jače od djelovanja većine ostalih vapnenih materijala u nižoj dozi. U slučaju više doze, međutim, prisutno je slabije djelovanje dolomita, koje bi se moglo objasniti sporijom aktivacijom ovog materijala pri usporedbi s ostalima. Treće i četvrte godine istraživanja pH vrijednost tla u varijantama s dolomitom se smanjuje, premda je to smanjenje manje izraženo nego kod materijala s primjenom kojih je ostvaren jači porast pH vrijednosti prve godine nakon njihove primjene.

Fosfogips apliciran u nižoj dozi nije uvjetovao promjenu reakcije tla. U odnosu na početno stanje s primjenom više doze fosfogipsa dolazi do blagog porasta pH vrijednosti prve, a zatim i druge godine istraživanja. Treće i četvrte godine, međutim, reakcija se tla u varijante s višom dozom fosfogipsa smanjila blizu početne vrijednosti.

Specijalni prirodni supstrat sa zeolitnim tufom u prve dvije godine nakon primjene nije utjecao na promjenu reakcije tla, što je posljedica malih količina ovog materijala, kao i razmjerno malog sadržaja kalcija i magnezija u njemu. Nakon ponovljene primjene ovog materijala treće godine se javlja određeno povećanje pH vrijednosti. Četvrte godine pH vrijednost se smanjuje blizu početnih vrijednosti, što ukazuje na kratkotrajno i relativno slabo izraženo djelovanje na suzbijanje suvišne kiselosti tla. Kako se mehanizam djelovanja specijalnog prirodnog

supstrata temelji na procesima pojačane ionske izmjene, to su i aplicirane količine ovog materijala bile nedovoljne za jaču promjenu reakcije tla. U kontrolne varijante, kao i u varijante same mineralne gnojidbe nisu zabilježene promjene pH vrijednosti koje bi ukazale na određene pravilnosti ili trendove, što je i logično s obzirom na razmjerno kratko razdoblje istraživanja.

Vrijednost hidrolitskog aciditeta Y_1 prije aplikacije vapnenih materijala bila je jako visoka i iznosila je oko 20 (tab. 5).

Najizraženije djelovanje na smanjenje hidrolitske kiselosti tla u četverogodišnjem razdoblju imao je saturacijski mulj, a zatim i hidratizirano vapno, mljeveni meki litotamnijski vapnenac, tvrdi vapnenac i dolomit, uz uvažavanje razlika između nižih i viših doza ovih materijala. Neki od materijala korištenih u pokusu vrlo su slabo utjecali na promjenu hidrolitskog aciditeta, što se na prvom mjestu odnosi na specijalni prirodni supstrat i fosfogips, a neki su djelovali slabije od očekivanja, primjerice nemljeveni meki litotamnijski vapnenac.

Primjena mineralnih gnojiva utjecala je u određenoj mjeri na povećanje vrijednosti hidrolitskog aciditeta, što je vidljivo pri usporedbi kontrolne varijante i varijante standardne mineralne gnojidbe. Slična tendencija vidljiva je i na primjeru varijantama sa samim hidratiziranim vapnom u odnosu na one s kombinacijom mineralne gnojidbe i hidratiziranog

Tablica 5. Hidrolitski aciditet, Y_1
Table 5. Hydrolitic acidity, Y_1

Broj Number	Varijanta pokusa - Trial treatment	Hidrolitski aciditet, Y_1 - Hydrolitic acidity, Y_1 Godina - Year				
		1989.	1990.	1991.	1992.	1993.
1.	∅ (Kontrola -Check)	20,2	18,2	19,8	17,9	16,2
2.	NPK	20,2	19,2	21,7	18,9	18,4
3.	Ca ₁ - Hidratizirano vapno - Ca ₁ - Hydrated lime	19,8	11,5	16,5	15,8	14,3
4.	Ca ₂ - Hidratizirano vapno - Ca ₂ - Hydrated lime	19,5	4,4	11,8	10,1	9,5
5.	NPK + Ca ₁ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₁ - Hydrated lime	19,3	12,6	17,9	15,6	14,3
6.	NPK + Ca ₂ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₂ - Hydrated lime	19,3	5,1	14,3	11,9	10,9
7.	NPK + Ca ₁ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₁ - Sugar factory waste lime	19,8	10,9	14,5	14,4	13,1
8.	NPK + Ca ₂ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₂ - Sugar factory waste lime	18,4	6,1	5,2	9,1	10,0
9.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – not ground	20,2	13,9	15,6	17,5	15,7
10.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – not ground	20,2	12,6	14,8	15,1	13,1
11.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – ground	19,9	15,8	19,2	15,8	15,2
12.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – ground	19,9	5,4	10,5	11,0	10,7
13.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₁ - Hard limestone (calcite)	20,5	14,2	16,7	14,4	14,3
14.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₂ - Hard limestone (calcite)	19,8	6,3	12,4	10,3	10,9
15.	NPK + Ca ₁ - Dolomit - NPK + Ca ₁ - Dolomite	19,5	12,7	18,2	16,1	14,3
16.	NPK + Ca ₂ - Dolomit - NPK + Ca ₂ - Dolomite	20,5	13,4	14,3	12,9	12,3
17.	NPK + Ca ₁ - Fosfogips - NPK + Ca ₁ - Phosphogypsum	19,9	17,6	21,2	19,6	16,7
18.	NPK + Ca ₂ - Fosfogips - NPK + Ca ₂ - Phosphogypsum	20,2	14,2	15,7	17,5	15,5
19.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₁ - Hard limestone + SNS-01	19,3	17,3	19,5	16,1	16,4
20.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₂ - Hard limestone + SNS-01	19,8	18,3	20,6	16,8	16,7

Tablica 6. Sadržaj mobilnog aluminija
Table 6. Mobile aluminium content

Broj Number	Varijanta pokusa - Trial treatment	Mobilni Al, mg/100g tla - Mobile Al mg/100g soil Godina - Year				
		1989.	1990.	1991.	1992.	1993.
1.	∅ (Kontrola -Check)	32,6	28,2	29,8	22,9	24,9
2.	NPK	31,4	28,1	28,1	18,8	27,6
3.	Ca ₁ - Hidratizirano vapno - Ca ₁ - Hydrated lime	30,4	4,5	10,9	8,8	14,1
4.	Ca ₂ - Hidratizirano vapno - Ca ₂ - Hydrated lime	30,0	1,1	1,9	1,2	2,4
5.	NPK + Ca ₁ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₁ - Hydrated lime	28,6	5,8	12,1	2,9	9,6
6.	NPK + Ca ₂ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₂ - Hydrated lime	29,2	1,1	3,5	1,9	2,4
7.	NPK + Ca ₁ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₁ - Sugar factory waste lime	27,7	4,4	3,3	5,0	9,0
8.	NPK + Ca ₂ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₂ - Sugar factory waste lime	28,3	1,1	0,0	0,9	1,7
9.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – not ground	31,1	15,1	8,6	11,4	15,9
10.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – not ground	32,8	12,5	5,9	8,6	9,0
11.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – ground	30,9	14,5	15,1	7,8	9,9
12.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – ground	31,2	0,9	0,8	1,0	1,5
13.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₁ - Hard limestone (calcite)	32,1	6,8	13,4	5,6	10,9
14.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₂ - Hard limestone (calcite)	32,4	0,7	1,2	1,5	1,7
15.	NPK + Ca ₁ - Dolomit - NPK + Ca ₁ - Dolomite	30,2	10,4	13,2	9,7	10,0
16.	NPK + Ca ₂ - Dolomit - NPK + Ca ₂ - Dolomite	32,3	2,4	1,9	1,7	2,6
17.	NPK + Ca ₁ - Fosfogips - NPK + Ca ₁ - Phosphogypsum	30,0	23,7	26,0	19,4	18,0
18.	NPK + Ca ₂ - Fosfogips - NPK + Ca ₂ - Phosphogypsum	33,4	15,4	12,2	14,0	15,0
19.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₁ - Hard limestone + SNS-01	30,0	20,9	23,6	11,8	17,2
20.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₂ - Hard limestone + SNS-01	30,6	28,7	22,5	9,1	19,6

vapna. Primjetno je i određeno smanjenje vrijednosti hidrolitskog aciditeta u kontrolne varijante.

Sadržaj mobilnog aluminija upotpunjuje sliku djelotvornosti u pokusu korištenih materijala (tab. 6). Najjače smanjenje pokretnog aluminija prve godine istraživanja uvjetovano je s aplikacijom viših doza vapnenih materijala.

Prema djelovanju korištenih materijala u četverogodišnjem razdoblju može se zaključiti da su pojedini materijali utjecali na sadržaj mobilnog aluminija u tlu u skladu s njihovim kemijskim i fizikalnim značajkama. Hidratizirano vapno, saturacijski mulj, mljeveni meki litotamnijski vapnenac, tvrdi vapnenac i dolomit dobro su djelovali već prve godine istraživanja, a pozitivan učinak njihove primjene zadržao se kroz cijelo razdoblje istraživanja. Nemljeveni meki vapnenac djelovao je na sadržaj mobilnog aluminija nešto slabije od materijala unutar navedene skupine. Fosfogips je također uvjetovao smanjenje sadržaja mobilnog aluminija u tlu, premda znatno slabije od ostalih materijala, a isto vrijedi i za specijalni prirodni supstrat. Kako su mehanizmi djelovanja ovih materijala u neutralizaciji mobilnog aluminija različiti, pri usporedbi s klasičnim vapnenim materijalima, treba ih promatrati izdvojeno, napose ako se ima na umu činjenica da je fosfogips otpadni materijal, te da su aplicirane doze specijalnog

prirodnog supstrata višestruko manje od količina ostalih korištenih materijala.

Na temelju usporedbe sadržaja mobilnog aluminija u kontrolne varijante i varijante standardne mineralne gnojidbe, kao i usporedbe varijanata s hidratiziranim vapnom, te onih s mineralnom gnojidbom i hidratiziranim vapnom, moglo bi se ustvrditi da primjena mineralnih gnojiva u četverogodišnjem razdoblju nije primjetno utjecala na sadržaj mobilnog aluminija. Ipak, u kontrolne varijante prisutna je tendencija smanjena sadržaja mobilnog aluminija, što ukazuje na pretpostavku da se tlo bez primjene mineralnih gnojiva do određene mjere samo "oporavlja" u smislu neutralizacije mobilnog aluminija.

Stanje adsorpcijskog kompleksa najbolje opisuje upravo stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama (tab. 7). Vrijednosti prije osnivanja pokusa ukazuju na minimalni sadržaj baza u adsorpcijskom kompleksu - stupanj zasićenosti bazama u prosjeku je manji od 20%. Već ovaj podatak govori o efektivnoj plodnosti tla, koja je u stvari na samoj granici korištenja u intenzivnoj ratarskoj proizvodnji. Poslije primjene različitih materijala stanje se u varijanata s apliciranim materijalima znatno promijenilo. Prve su godine najbolje djelovali materijali dobre fizikalne kakvoće primijenjeni u višim dozama - hidratizirano vapno, mljeveni meki

Tablica 7. Stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama
Table 7. Base saturation level

Broj Number	Varijanta pokusa - Trial treatment	V % Godina - Year				
		1989.	1990.	1991.	1992.	1993.
1.	∅ (Kontrola -Check)	18,6	20,9	25,5	17,7	25,0
2.	NPK	18,1	11,9	24,6	17,0	17,4
3.	Ca ₁ - Hidratizirano vapno - Ca ₁ - Hydrated lime	19,4	38,0	34,8	24,3	24,6
4.	Ca ₂ - Hidratizirano vapno - Ca ₂ - Hydrated lime	19,1	71,0	48,3	45,0	44,1
5.	NPK + Ca ₁ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₁ - Hydrated lime	19,9	34,4	33,7	27,9	32,4
6.	NPK + Ca ₂ - Hidratizirano vapno - NPK + Ca ₂ - Hydrated lime	19,9	67,9	43,9	33,6	41,3
7.	NPK + Ca ₁ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₁ - Sugar factory waste lime	19,4	38,2	38,6	28,8	29,2
8.	NPK + Ca ₂ - Saturacijski mulj - NPK + Ca ₂ - Sugar factory waste lime	19,6	60,6	73,6	46,8	43,0
9.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – not ground	18,1	25,6	39,5	23,5	25,5
10.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – nemljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – not ground	19,1	33,9	42,5	28,5	30,3
11.	NPK + Ca ₁ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₁ - Soft lithothamnium limestone – ground	18,4	27,7	26,9	26,4	26,1
12.	NPK + Ca ₂ - Meki litotamnijski vapnenac – mljeveni NPK + Ca ₂ - Soft lithothamnium limestone – ground	19,9	69,3	56,6	43,3	41,5
13.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₁ - Hard limestone (calcite)	18,4	35,7	34,9	29,3	29,2
14.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac (kalcit) - NPK + Ca ₂ - Hard limestone (calcite)	18,4	70,3	51,5	48,1	38,8
15.	NPK + Ca ₁ - Dolomit - NPK + Ca ₁ - Dolomite	18,6	29,9	33,3	26,1	32,8
16.	NPK + Ca ₂ - Dolomit - NPK + Ca ₂ - Dolomite	18,4	46,3	48,3	41,7	27,5
17.	NPK + Ca ₁ - Fosfogips - NPK + Ca ₁ - Phosphogypsum	18,4	21,4	26,2	20,1	21,7
18.	NPK + Ca ₂ - Fosfogips - NPK + Ca ₂ - Phosphogypsum	18,1	41,4	38,9	24,0	24,2
19.	NPK + Ca ₁ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₁ - Hard limestone + SNS-01	18,8	15,8	26,5	26,1	18,9
20.	NPK + Ca ₂ - Tvrdi vapnenac + SPS-01 - NPK + Ca ₂ - Hard limestone + SNS 01	18,4	15,0	25,7	27,8	18,8

litotamnijski vapnenac i tvrdi vapnenac. Primjena nižih doza materijala uvjetovala je prve godine istraživanja vrijednosti stupnja zasićenosti bazama između 20 i 40%, što je, međutim, još uvijek nedovoljno za potrebe intenzivnog ratarenja. Najbolji učinak u nižoj dozi imali su hidratizirano vapno, saturacijski mulj i tvrdi vapnenac. Druge godine istraživanja situacija se u određenoj mjeri mijenja. Temeljne razlike uvjetovane su činjenicom da se materijali sitnije meljave brže tope, te da brže reagiraju s adsorpcijskim kompleksom tla, za razliku od onih krupnije meljave, te onih apliciranih u prirodnom stanju.

Najveća vrijednost stupnja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama u 1991. godini ostvarena je nakon primjene više doze saturacijskog mulja (V = 74%), što je ujedno i najveća vrijednost zabilježena u razdoblju istraživanja. Porast vrijednosti ovog pokazatelja kiselosti tla javlja se i u slučaju primijenjene više doze nemljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, te u određenoj mjeri dolomita, kao i specijalnog prirodnog supstrata, dok je kod svih ostalih materijala zabilježen pad stupnja zasićenosti tla bazama. Slično je i kod primjene nižih doza materijala, samo na nižoj razini.

Treće i četvrte godine izražen je trend smanjenja vrijednosti stupnja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama. Već treće godine od primjene materijala ni u jednom slučaju aplicirane više doze

nije zabilježena vrijednost V veća od 50, a četvrte godine od 45%. Kod primjene nižih doza materijala u trećoj i četvrtoj godini dolazi do određene stabilizacije vrijednosti V koja se kreće od 25 - 30%. Najmanji stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama u četverogodišnjem razdoblju uvjetovala je primjena specijalnog prirodnog supstrata, te fosfogipsa.

U kontrolne varijante, varijante standardne mineralne gnojidbe, te u varijanata s hidratiziranim vapnom, sa ili bez mineralnih gnojiva, ne postoje pravilnosti koje bi mogle ukazati na izraženi negativan utjecaj mineralnih gnojiva na stupanj zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama, barem ne u ovako kratkom razdoblju istraživanja.

Jaka puferna sposobnost, te izraženi procesi debazifikacije ovog bazama već prirodno siromašnog tla temeljne su značajke kemijskih procesa koji uvjetuju jaku kiselost ovog supstrata. Ukoliko se zahtijeva brzo djelovanje u smislu korekcije kiselosti tla, u tom slučaju u prednosti su materijali velike usitnjenosti ili oni dobrog neutralizacijskog indeksa. Slabije topivi materijali djeluju sporije, ali temeljna značajka uvjetovana pufernom sposobnošću ovog tla je ta da se već druge godine poslije primjene viših doza u velikoj mjeri smanjuju pozitivni učinci svih apliciranih materijala u smislu zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama.

Prinosi test kultura

U pokusu je kao test kultura u prvoj i četvrtoj godini istraživanja korištena ozima pšenica, a u drugoj i trećoj godini kukuruz. Pokus je glede prinosa zrna ozime pšenice prve godine istraživanja signifikantan (tab. 8). Saturacijski mulj u prvoj je godini istraživanja prema visini prinosa ozime pšenice najdjelotvorniji materijal u pokusu. Između niže i više doze saturacijskog mulja gotovo da i nema razlike u visini prinosa. Duncanov test pokazuje da nema statistički opravdane razlike glede visine prinosa između varijanata sa saturacijskim muljem, mljevenim litotamnijskim vapnencem, dolomitom,

tvrdim vapnencem, hidratiziranim vapnom i specijalnim prirodnim supstratom, a sve u kombinaciji s mineralnom gnojibom. U ovih varijanata aplikacija različitih doza vapnenih materijala u kombinaciji s mineralnom gnojibom prve godine istraživanja nije uvjetovala signifikantne razlike u visini prinosa test kulture. U ovu skupinu ulazi još i varijanta s nižom dozom nemljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, te varijanta s hidratiziranim vapnom bez mineralne gnojidbe.

Pokus je signifikantan i 1991. godine kada je kao test kultura korišten kukuruz (tab. 9). Najviši prinos

Tablica 8. Prinos zrna ozime pšenice, 1990.

Table 8. Winter wheat grain yield, 1990.

Varijanta - Trial treatment	Prinos - Yield, dt/ha	DMRT
NPK + Ca ₂ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₂ (sugar factory waste lime)	66,5	a
NPK + Ca ₁ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₁ (sugar factory waste lime)	65,7	ab
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, ground)	64,5	ab
NPK + Ca ₁ (dolomit) - NPK + Ca ₁ (dolomite)	64,4	ab
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₂ (hard limestone)	63,7	abc
NPK + Ca ₂ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₂ (hydrated lime)	63,6	abc
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, ground)	63,4	abc
NPK + Ca ₂ (dolomit) - NPK + Ca ₂ (dolomite)	62,7	abc
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac + SPS 1,5) - NPK + Ca ₂ (hard limestone + SNS 1,5)	61,4	abc
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac + SPS 1,0) - NPK + Ca ₁ (hard limestone + SNS 1,0)	60,9	abcd
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₁ (hard limestone)	59,7	abcd
NPK + Ca ₁ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₁ (hydrated lime)	59,7	abcd
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, nemljeveni) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, not ground)	59,6	abcd
Ca ₂ (hidratizirano vapno) - Ca ₂ (hydrated lime)	59,5	abcd
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, nemljeveni) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, not ground)	59,0	bcd
NPK + Ca ₁ (fosfogips) - NPK + Ca ₁ (phosphogypsum)	56,9	cde
NPK + Ca ₂ (fosfogips) - NPK + Ca ₂ (phosphogypsum)	53,9	de
Ca ₁ (hidratizirano vapno) - Ca ₁ (hydrated lime)	51,6	e
NPK	51,3	e
∅ (Kontrola -Check)	35,6	f

Tablica 9. Prinos zrna kukuruza, 1991.

Table 9. Corn grain yield, 1991.

Varijanta - Trial treatment	Prinos - Yield, dt/ha	DMRT
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, ground)	74,7	a
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac + SPS 1,5) - NPK + Ca ₂ (hard limestone + SNS 1,5)	74,5	ab
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₂ (hard limestone)	72,3	ab
NPK + Ca ₂ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₂ (hydrated lime)	71,6	ab
NPK + Ca ₂ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₂ (sugar factory waste lime)	68,5	abc
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac + SPS 1,0) - NPK + Ca ₁ (hard limestone + SNS 1,0)	68,0	abc
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₁ (hard limestone)	66,7	abcd
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, ground)	66,1	abcd
NPK + Ca ₁ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₁ (sugar factory waste lime)	65,4	abcd
NPK + Ca ₂ (dolomit) - NPK + Ca ₂ (dolomite)	65,2	abcd
NPK + Ca ₁ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₁ (hydrated lime)	64,6	abcd
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, nemljeveni) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, not ground)	63,8	abcd
NPK + Ca ₁ (dolomit) - NPK + Ca ₁ (dolomite)	62,5	abcde
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, nemljeveni) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, not ground)	61,5	bcde
NPK + Ca ₂ (fosfogips) - NPK + Ca ₂ (phosphogypsum)	58,5	cdef
NPK	57,3	cdef
Ca ₂ (hidratizirano vapno) - Ca ₂ (hydrated lime)	54,3	def
NPK + Ca ₁ (fosfogips) - NPK + Ca ₁ (phosphogypsum)	53,8	def
Ca ₁ (hidratizirano vapno) - Ca ₁ (hydrated lime)	50,4	ef
∅ (Kontrola -Check)	46,1	f

Tablica 10. Prinos zrna kukuruza, 1992.
Table 10. Corn grain yield, 1992.

Varijanta - Trial treatment	Prinos - Yield, dt/ha	DMRT
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, ground)	48,5	a
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₂ (hard limestone)	46,3	ab
NPK + Ca ₂ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₂ (hydrated lime)	44,4	abc
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, nemijski) - NPK + Ca ₂ (soft lithotamnian limestone, not ground)	44,2	abc
NPK + Ca ₁ (hidratizirano vapno) - NPK + Ca ₁ (hydrated lime)	43,6	abc
NPK + Ca ₂ (dolomit) - NPK + Ca ₂ (dolomite)	42,5	abcd
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, ground)	42,4	abcd
NPK + Ca ₂ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₂ (sugar factory waste lime)	42,3	abcd
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac) - NPK + Ca ₁ (hard limestone)	41,8	abcd
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac + SPS 1,5) - NPK + Ca ₂ (hard limestone + SNS 1,5)	41,6	abcd
NPK + Ca ₁ (saturacijski mulj) - NPK + Ca ₁ (sugar factory waste lime)	40,7	bcde
NPK + Ca ₁ (dolomit) - NPK + Ca ₁ (dolomite)	40,6	bcde
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, nemijski) - NPK + Ca ₁ (soft lithotamnian limestone, not ground)	40,1	bcde
NPK + Ca ₂ (fosfogips) - NPK + Ca ₂ (phosphogypsum)	39,2	bcde
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac + SPS 1,0) - NPK + Ca ₁ (hard limestone + SNS 1,0)	38,8	bcde
NPK + Ca ₁ (fosfogips) - NPK + Ca ₁ (phosphogypsum)	38,0	cde
NPK	37,5	cde
Ca ₂ (hidratizirano vapno) - Ca ₂ (hydrated lime)	35,2	def
Ca ₁ (hidratizirano vapno) - Ca ₁ (hydrated lime)	33,6	ef
∅ (Kontrola -Check)	28,1	f

Tablica 11. Prinos zrna ozime pšenice, 1993.
Table 11. Winter wheat grain yield, 1993.

Varijanta - Trial treatment	Prinos - Yield, dt/ha	DMRT
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni - soft lithotamnian limestone, ground)	46,4	a
NPK + Ca ₂ (dolomit - dolomite)	45,3	ab
NPK + Ca ₂ (saturacijski mulj - sugar factory waste lime)	42,8	abc
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac - hard limestone)	42,4	abc
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, mljeveni - soft lithotamnian limestone, ground)	41,8	abc
NPK + Ca ₁ (saturacijski mulj - sugar factory waste lime)	41,4	abc
NPK + Ca ₂ (hidratizirano vapno - hydrated lime)	41,0	abc
NPK + Ca ₁ (hidratizirano vapno - hydrated lime)	38,5	abcd
NPK + Ca ₁ (dolomit - dolomite)	36,9	bcd
NPK + Ca ₂ (tvrdi vapnenac + SPS 1,5 - hard limestone + SNS 1,5)	36,0	cd
NPK + Ca ₂ (meki litotamnijski vapnenac, nemijski) - soft lithotamnian limestone, not ground)	36,0	cd
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac - hard limestone)	35,6	cd
NPK + Ca ₁ (tvrdi vapnenac + SPS 1,0 - hard limestone + SNS 1,0)	35,3	cd
NPK + Ca ₁ (meki litotamnijski vapnenac, nemijski) - soft lithotamnian limestone, not ground)	32,0	de
NPK + Ca ₂ (fosfogips - phosphogypsum)	26,8	ef
NPK + Ca ₁ (fosfogips - phosphogypsum)	23,1	f
Ca ₂ (hidratizirano vapno - hydrated lime)	22,6	f
NPK	18,8	fg
Ca ₁ (hidratizirano vapno - hydrated lime)	13,9	g
∅ (Kontrola -Check)	13,4	g

ostvaren je u varijante s višom dozom mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca. U istom rangu nalaze se prinosi ostvareni u gotovo svih varijanata s različitim materijalima za kalcifikaciju, uz izuzetak varijanata s nižom dozom nemijskog mekog litotamnijskog vapnenca i s nižom dozom fosfogipsa, u kojih su prinosi značajno manji. Statistički opravdano manji prinos od najbolje varijante u pokusu ostvaren je još i u varijante same mineralne gnojidbe, u varijanata sa samom višom i nižom

dozom hidratiziranog vapna, te u kontrolne varijante.

Treće godine istraživanja kao test kultura ponovno je korišten kukuruz. Premda je suša u ljetnim mjesecima presudno utjecala na visinu prinosa zrna kukuruza pokus je bio značajan, a razlike u visini prinosa ukazuju na intenzitet djelovanja pojedinih materijala (tab. 10). I ove je godine najviši prinos kukuruza ostvaren u varijante s višom dozom mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca. U isti

rang sigifikantnosti prema visini prinosa ulaze varijante s višom dozom tvrdog vapnenca, hidratiziranog vapna, nemljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, dolomita, saturacijskog mulja i specijalnog prirodnog supstrata, te varijante s nižom dozom hidratiziranog vapna, mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca i tvrdog vapnenca. U cjelini gledano, usprkos negativnom djelovanju suše na prinos kukuruza treće godine istraživanja, razlike u visini prinosa između pojedinih varijanata ukazuju na učinkovitost korištenih materijala.

Četvrte godine istraživanja, kad je kao test kultura ponovno korištena ozima pšenica, stanje se glede učinkovitosti materijala promijenilo u znatnoj mjeri. Premda je razina prinosa ozime pšenice relativno niska, zahvaljujući na prvom mjestu nepovoljnim vremenskim prilikama, razlike u visini prinosa između pojedinih varijanata vrlo su znakovite (tab. 11). Najbolje varijante između kojih nema statistički opravdane razlike su varijante s mljevenim mekim litotamnijskim vapnencem, dolomitom, saturacijskim muljem i tvrdim vapnencem u višoj dozi, mljevenim mekim litotamnijskim vapnencem i saturacijskim muljem u nižoj dozi, te hidratiziranim vapnom u obje doze. Sve ove varijante uključuju mineralnu gnojidbu. Najniži prinos ostvaren je u kontrolne varijante. Između prinosa ostvarenog u kontrole, te prinosa u varijante samog hidratiziranog vapna u nižoj dozi, kao i varijante same mineralne gnojidbe nema statistički opravdane razlike. Istovremeno, u isti rang s prinosom ostvarenim u varijante same mineralne gnojidbe ulaze i prinosi u varijante više doze samog hidratiziranog vapna, te varijante s obje doze fosfogipsa.

RASPRAVA

Kemijske značajke tla kretale su se različito prema varijantama pokusa, u skladu s brzinom aktivacije pojedinog materijala, ali i apliciranoj dozi. U pravilu, s višim dozama korištenih materijala ostvareni su bolji rezultati u detoksikaciji suvišne kiselosti tla.

Hidratizirano vapno utjecalo je na promjenu pH vrijednosti već prve godine nakon primjene. Prema vrijednostima hidrolitskog aciditeta, a zatim i sadržaja mobilnog aluminijskog kompleksa, te stupnja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa aluminijem, melioracijski učinak ovog materijala bio je izuzetno dobar. Fizikalne i kemijske značajke hidratiziranog vapna uvjetuju njegovu brzu aktivaciju, koja često može biti brža od aktivacije drugih vapnenih materijala (Hoyert i Axley, 1952, Kac-Kacas i Lisowa, 1964), premda postoje rezultati koji ukazuju na podjednaku učinkovitost ovog, pri usporedbi s drugim vapnenim materijalima (Skvortsov, 1959).

Saturacijski mulj također je utjecao na korekciju suvišne kiselosti tla brzo, a prema svim parametrima kiselosti tla bio je jedan od najučinkovitijih materijala u istraživanju. Dobre rezultate s

primjenom ovog materijala navode razni autori (Stojkowska, 1958, Bergin, 1959, Yagodin, 1984, Gagro i sur., 1993). Izuzetno djelovanje ovog materijala treba povezati i s količinom organske tvari u njemu, koja u tlu može dodatno utjecati na detoksikaciju suvišne kiselosti. Organska tvar u tlu, između ostalog, utječe i na kapacitet za zamjenu baza (Donahue i sur., 1990), a može vezati i određenu količinu aluminijskih (Thomas i Hargrove, 1984, Tan i Binger, 1986, Hern i sur., 1988, Dahlgren i Ugolini, 1989).

Meki litotamnijski vapnenac u prirodnom stanju djelovao je u pravcu smanjenja aktivne i hidrolitske kiselosti tla sporije i slabije od mljevenog mekog vapnenca, posebno ako se usporede više doze ovih materijala. Premda su u pokusu korišteni meki litotamnijski vapnenci različitog podrijetla, riječ je, u stvari, o kemijski vrlo sličnim materijalima, koji se bitno razlikuju samo prema svojim fizikalnim značajkama. Brojni istraživači utvrdili su presudan utjecaj fizikalne kvalitete materijala na brzinu aktivacije u tlu (Morgan i Salter, 1923, Mayer i Volk, 1952, Beacher i sur., 1952, Elphick, 1955, Motto i Melsted, 1960, Jaakkola i Jokinen, 1980, Alley, 1981, Bertsch i Alley, 1981, Bašić i sur., 1990, Alcarde i sur., 1991). U većini slučajeva, bolje djelovanje materijala veće usitnjenosti uvjetovano je boljom homogenizacijom materijala i tla, te bržim otapanjem sitnijih čestica vapnenih materijala (Love i Whittaker, 1954, Swartzendruber i Barber, 1965, Barber, 1984, Stevens i Blanchar, 1992).

S primjenom tvrdog vapnenca također je ostvarena brza korekcija suvišne kiselosti tla. Premda su česti primjeri sporijeg djelovanja tvrdog vapnenca u detoksikaciji suvišne kiselosti tla u odnosu na hidratizirano vapno, ili meki vapnenac (Hoyert i Axley, 1952, Kac-Kacas i Lisowa, 1964), postoje i primjeri podjednakog djelovanja ovih materijala (Koppeloff, 1917, Pierre, 1930), što je izravno povezano s veličinom čestica tvrdog vapnenca.

Dolomit je prema vrijednostima aktivne i hidrolitske kiselosti, ali i prema sadržaju mobilnog aluminijskog kompleksa, te prema stupnju zasićenosti adsorpcijskog kompleksa bazama bio nešto manje učinkovit od većine ostalih vapnenih materijala. Premda je i dolomit bio vrlo dobre fizikalne kakvoće, kemijski oblik ovog materijala presudno je utjecao na brzinu njegove aktivacije. Slične rezultate navode i drugi istraživači (Morgan i Salter, 1923, MacIntire i Shaw, 1925, Jaakkola i Jokinen, 1980), ali ima primjera jednakog djelovanja dolomita i drugih vapnenih materijala (Beacher i sur., 1952, Alcarde i sur., 1991). Primjena dolomita utjecala je povoljno na sadržaj magnezija u tlu, što je, s obzirom na kemijski sastav dolomita logično.

Fosfogips je na promjenu reakcije tla utjecao slabo, i to samo u slučaju primjene više doze ovog materijala. Djelovanje niže doze potpuno je izostalo. Hidrolitska kiselost također je smanjena samo s

višom dozom ovog materijala, ali je zato u obje varijante s fosfogipsom prisutno određeno smanjenje sadržaja mobilnog aluminija. Mehanizam djelovanja fosfogipsa temelji se na stvaranju manje toksičnog alumosulfatnog iona (AlSO_4^+), te smanjenju koncentracije aluminijevog iona (Al^{3+}) (Noble i sur., 1988, Alva i Sumner, 1989, Alva i sur., 1990, Rechcigl i sur., 1993). Prema nekim istraživanjima (Oates i Caldwell, 1985), nedostatak fosfogipsa je, osim nepovoljnih fizikalnih značajki, i taj što u tlu, uz smanjenje sadržaja aluminija, utječe i na smanjenje sadržaja drugih kationa, primjerice magnezija. Isto tako, može doći i do porasta sadržaja sumpora (Mullins i Mitchell, 1990).

Specijalni prirodni supstrat sa zeolitnim tufom apliciran je u višestruko manjim dozama pri usporedbi s ostalim korištenim materijalima. Reakcija tla u prve dvije godine nakon primjene ovog materijala nije se mijenjala, dok je ponovljena primjena treće godine istraživanja prouzročila slabo povećanje pH vrijednosti. Primjena specijalnog prirodnog supstrata nije uvjetovala značajnije promjene vrijednosti hidrolitskog aciditeta, ni stupnja zasićenosti adsorpcijskog kompleksa tla bazama, ali je nakon ponovljene primjene došlo do određenog smanjenja sadržaja mobilnog aluminija. Premda postoje primjeri pozitivnog djelovanja primjene zeolita na smanjenje aktivne kiselosti tla (Chevychelov, 1995), najčešće je pozitivan utjecaj zeolita vezan uz pojačanu ionsku izmjenu u tlu (MacKown i Tucker, 1985, Barbarick i sur., 1990, Butorac i sur., 1994, Butorac i sur., 1995).

Melioracijski učinak viših doza većine primijenjenih materijala prisutan je, prema pokazateljima kiselosti tla, u sve četiri godine istraživanja, što za niže doze vrijedi samo uvjetno. Zato bi se pitanje trajnosti kalcifikacije moglo postaviti u slučaju nižih doza materijala već sada, a u varijantama s višim dozama materijala u vrlo skoroj budućnosti. Brigu o sadržaju kalcija i magnezija u kulturnim tlima treba voditi uz uvažavanje svih relevantnih čimbenika koji utječu na dinamiku ovih elemenata u tlu (Gotlin, 1967, Murphy i Follet, 1979, Amberger i Schweiger, 1979, Schweiger i Amberger, 1979, Thomas i Hargrove, 1984, Yagodin, 1984, Megel i Kirkby, 1987, Ulrich, 1991, van Breemen, 1991).

Rezultati istraživanja s ozimom pšenicom kao test kulturom ukazuju na različitu djelotvornost apliciranih vapnenih materijala ovisno o vrsti i dozama, ali i godinama od njihove primjene. Prve je godine najviši prinos ozime pšenice ostvaren kombinacijom saturacijskog mulja i mineralne gnojidbe, pri čemu je već i niža doza saturacijskog mulja bila gotovo jednako djelotvorna kao i viša. Pozitivan utjecaj primjene ovog materijala na prinos ozime pšenice utvrdili su i drugi autori (Oldershaw, 1955, Yagodin, 1984, Gagro i sur., 1993), pa premda je riječ o materijalu kojem je nemoguće izraziti fizikalnu kvalitetu, njegove kemijske značajke vrlo su

dobre zahvaljujući dijelom i znatnom udjelu organske tvari, te u određenoj mjeri i relativno visokom sadržaju fosfora i kalija (Stojkowska, 1958).

Varijanta s mljevenim mekim litotamnijskim vapnencem u nižoj dozi, a također i odgovarajuća varijanta s dolomitom, obje u kombinaciji s mineralnom gnojidbom, prve su godine istraživanja s obzirom na visinu prinosa ozime pšenice neposredno iza varijanata sa saturacijskim muljem. Česti su primjeri sporijeg djelovanja dolomita u usporedbi s vapnencima koji se brže otapaju u tlu (Morgan i Salter, 1923, Beacher i sur., 1952, Mayer i Volk, 1952, Jaakola i Jokinen, 1980), ali ima i slučajeva u kojima je najsitnija frakcija dolomita djelovala bolje od odgovarajuće frakcije kalcita (Alcarde i sur., 1991), ili podjednako (Bertsch i Alley, 1981). Premda je dolomit u tlu slabije topiv od ostalih vapnenih materijala, za brzinu aktivacije ovog materijala presudna je upravo njegova usitnjenost (MacIntire i Shaw, 1925, Barber, 1984). Međutim, i krupnije čestice aktiviraju se s vremenom, tako da se s godinama smanjuje razlika između djelotvornosti različitih frakcija ovog materijala (Bašić i sur., 1990).

Naglašena reakcija ozime pšenice na kalcifikaciju s dolomitom fine usitnjenosti mogla bi se dovesti u vezu upravo s činjenicom da je u ovom istraživanju ozima pšenica bila prva test kultura sjetva koje je provedena neposredno poslije kalcifikacije. Ponekad primjena dolomita ima bolji učinak od primjene vapnenca (Lipman i sur. 1923), a ponekad je ta razlika neznatna (Beacher i sur. 1952, Skvortsov, 1959). Postoji stoga određena vjerojatnost slabije reakcije usjeva prve godine istraživanja upravo zbog intenzivnih kemijskih procesa u tlu izazvanih aplikacijom, posebice viših doza pojedinih vapnenih materijala. U prilog tome govori i redosljed najboljih varijanata prve godine istraživanja, barem kad je riječ o varijantama s mljevenim mekim litotamnijskim vapnencem i s dolomitom.

Kako u poljskom pokusu prve godine istraživanja skupinu najboljih, među kojima glede prinosa ozime pšenice nema signifikante razlike, čine sve varijante s kombinacijom mineralne gnojidbe i kalcifikacije u višoj i nižoj dozi, uz izuzetak varijante s višom dozom nemljevenog litotamnijskog vapnenca, te obje varijante s fosfogipsom, može se pretpostaviti da je prve godine ostvaren relativno slab kontakt čestica tla s česticama apliciranih materijala. Topivost čestica vapnenih materijala, osim o njihovoj veličini, ovisi i o njihovoj međusobnoj udaljenosti u tlu, te o kemijskom sastavu (Swartzendruber i Barber, 1965, Stevens i Blanchar, 1992). Reaktivnost čestice vapnenog materijala u velikoj je mjeri uvjetovana veličinom njezine vanjske površine (Love i Whittaker, 1954). Međusobna udaljenost čestica vapnenih materijala u tlu uvjetovana je, osim s fizikalnom garancijom materijala, i s kvalitetom

obrade tla u smislu homogenizacije mase tla i čestica apliciranog materijala (Barber, 1984).

Prve godine istraživanja aplikacija fosfogipsa nije uvjetovala signifikantno povećanje prinosa u odnosu na prinos ostvaren u varijante same mineralne gnojidbe. S nižom dozom ovog materijala ostvaren je niži prinos ozime pšenice nego s višom. Razlog za takvo djelovanje fosfogipsa prve godine istraživanja mogao bi se pronaći dijelom u njegovom kemijskom sastavu, a dijelom u kratkom vremenskom razdoblju od aplikacije tog materijala do sjetve ozime pšenice. Prema rezultatima nekih istraživanja (Alva i sur. 1990) melioracijski učinak fosfogipsa uvjetovan je i s elektrokemijskim značajkama dominantnih sekundarnih minerala tla. Premda se u literaturi navode primjeri pozitivnog djelovanja fosfogipsa na razvoj nekih kultura (Oates i Caldwell, 1985, Alva i Sumner, 1989, Beretka, 1990, Rechcigl i sur., 1993), spremni smo prikloniti se mišljenju da aplikaciju fosfogipsa treba kombinirati s primjenom kalcifikacije kemijski aktivnijim materijalima (Frenkel i sur. 1989, Bašić i sur., 1990).

Za potpunije razumijevanje učinkovitosti pojedinog materijala u poljskom pokusu, što implicira i aktivaciju materijala u tlu, važno je ukazati na značajke vremenskih prilika koje su u pojedinim godinama presudno utjecale na visinu prinosa test kultura. Prinos ozime pšenice u četvrtoj godini istraživanja znatno je niži od prinosa prve godine, zahvaljujući upravo vremenskim prilikama, koje su u prvoj godini bile povoljne, a u posljednoj godini istraživanja vrlo nepovoljne za ozimu pšenicu. Suša u vrijeme mliječne zriobe utjecala je na smanjenje prinosa pšenice u pokusu četvrte, ali su razlike među pojedinim varijantama bile jače izražene nego prve godine.

Ako se usporede svi aplicirani materijali i njihove različite doze, najbolji je rezultat u povećanju prinosa ozime pšenice ostvaren primjenom više doze mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca. Slijedi odgovarajuća doza saturacijskog mulja, te dolomita. Tu su, zatim, i niža doza saturacijskog mulja i mljevenog litotamnijskog vapnenca, koje su u prosjeku bolje od više doze tvrdog vapnenca, pa čak i hidratiziranog vapna.

Glede prinosa zrna kukuruza, druge i treće godine istraživanja situacija je znatno drukčija. Druge godine istraživanja, a prve s kukuruzom kao test kulturom, najbolji rezultati polučeni su primjenom viših doza nekih korištenih materijala. To su redom mljeveni meki litotamnijski vapnenac, specijalni prirodni supstrat, tvrdi vapnenac, hidratizirano vapno i saturacijski mulj. Djelovanje mekog litotamnijskog vapnenca treba promatrati kroz prizmu njegove fizikalne i kemijske kakvoće, premda bi, prema rezultatima nekih istraživanja (Bašić i sur., 1990), prinos kukuruza mogao bio veći da je aplicirana viša doza ovog materijala, što se, slijedom istog načina razmišljanja, može ustvrditi i za većinu

ostalih materijala. Puferna sposobnost tla često može uvjetovati slabo djelovanje visokih doza kemijski vrlo aktivnih vapnenih materijala (Butorac i sur., 1988).

Jako izraženo djelovanje specijalnog prirodnog supstrata, posebice njegove više doze, ukazuje na pretpostavku da je u drugoj godini istraživanja mehanizam djelovanja specijalnog prirodnog supstrata u potpunosti došao do izražaja, zahvaljujući dijelom i povoljnim vodozračnim prilikama u tlu. Zeolitna komponenta ima utjecaj na pristupačnost nekih kationa u otopini tla (MacKown i Tucker, 1985, Barbarick i sur., 1990), ponekad pozitivno utječe na smanjenje aktivne kiselosti (Chevychelov, 1995), a sam specijalni prirodni supstrat pozitivno djeluje na prinos kukuruza (Butorac i sur., 1992), ovisno o sadržaju zeolita.

Tvrđi vapnenac i hidratizirano vapno utjecali su na prinos kukuruza kao klasični materijali za kalcifikaciju, među kojima, kad je riječ o višoj dozi, nema značajnijih razlika. I viša doza saturacijskog mulja djelovala je veoma dobro, premda su u nekim istraživanjima ostvarena daljnja povećanja visine prinosa kukuruza s primjenom višestruko većih količina ovog materijala (Gagro, 1993).

Kako sama mineralna gnojidba nije statistički opravdano utjecala na povećanje prinosa u usporedbi s kontrolom, a isto vrijedi i za samo hidratizirano vapno u obje doze, za pretpostaviti je da je u drugoj godini istraživanja upravo kombinacija mineralne gnojidbe i viših doza svih vapnenih materijala, uz izuzetak fosfogipsa, ostvarila povoljne uvjete za signifikantno veći prinos kukuruza.

Nepovoljne vremenske prilike 1992. godine utjecale su na prinos kukuruza, tako da je on, u cjelini uzevši, bio nizak, ali su razlike prema varijantama pokusa jako izražene. Najbolji rezultati ostvareni su u varijantama s kombinacijom mineralne gnojidbe i viših doza mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, tvrdog vapnenca, hidratiziranog vapna, ali i nemljevenog mekog litotamnijskog vapnenca.

Varijante koje su prema visini prinosa u istom rangu statističke opravdanosti s najboljom, a isto tako su i statistički opravdano bolje od svih varijanata bez mineralne gnojidbe, su varijante s višom dozom dolomita, saturacijskog mulja i specijalnog prirodnog supstrata, te one s nižom dozom hidratiziranog vapna, mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca i tvrdog vapnenca. Treće godine istraživanja glede visine prinosa kukuruza signifikantno su slabije od najbolje samo varijante s nižim dozama vapnenih materijala, uz izuzetak fosfogipsa, koji je djelovao vrlo slabo bez obzira na dozu. Istovremeno, prinos kukuruza u svih je upravo navedenih varijanata veći od prinosa ostvarenog u varijante same mineralne gnojidbe, ali samo u relativnom smislu.

U uvjetima suše, u kojima je prošao znatan dio vegetacijskog razdoblja kukuruza treće godine

istraživanja, sama mineralna gnojidba utjecala je na realizaciju statistički opravdano većeg prinosa od onog u kontrolne varijante, što govori u prilog pretpostavci da je oslobađanje hraniva iz rezervi tla bilo vrlo slabo. Premda postoje primjeri pozitivnog djelovanje gnojidbe na prinos kukuruza u uvjetima suše (Gagro, 1974), postoje, isto tako, i primjeri potpunog izostanka učinka mineralnih gnojiva (Isfan, 1980, Postglione i Falco, 1984), pa i materijala za kalcifikaciju, što je svakako uvjetovano kompleksnim razlozima koji uključuju etapu organogeneze u kojoj je suša nastupila, količinu vode u tlu, temperature, sposobnost usjeva da koristi hraniva iz visokokonzentrirane otopine tla itd.

U dvogodišnjem prosjeku za kukuruz najbolje su bile varijante s višim dozama mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, tvrdog vapnenca, specijalnog prirodnog supstrata, hidratiziranog vapna i saturacijskog mulja.

ZAKLJUČCI

Temeljem rezultata istraživanja može se zaključiti:

1. Primjena različitih vapnenih materijala uvjetovala je promjene u kemijskom kompleksu tla, ovisno o vrsti i količini, te mehanizmima djelovanja pojedinog materijala. Hidratizirano vapno, saturacijski mulj, tvrdi vapnenac i mljeveni meki litotamnijski vapnenac djelovali su u pravcu korekcije suvišne kiselosti tla brzo. Dolomit je, pri usporedbi s ostalim materijalima utjecao na kiselost tla nešto slabije, ali još uvijek bolje od mekog litotamnijskog vapnenca apliciranog u prirodnom stanju. Fosfogips je, u cjelini gledano, na kiselost tla djelovao vrlo slabo. Specijalni prirodni supstat imao je određenog utjecaja u pravcu korekcije suvišne kiselosti tla tek poslije ponovljene primjene, ali je taj utjecaj bio razmjerno mali i kratkotrajan.
2. Primjena nižih doza svih materijala uvjetovala je pozitivne promjene u kemijskom kompleksu tla, ali, u cjelini gledano, niže doze nisu dovoljne za zadovoljavajuću neutralizaciju suvišne kiselosti tla. Tek su više doze, promatrano kroz cijelo razdoblje istraživanja, uvjetovala značajnije promjene pokazatelja kiselosti tla, ali uz odgovarajuće razlike prema brzini aktivacije pojedinog materijala.
3. Prema visini prinosa test kultura pokus je bio signifikantan u svim godinama istraživanja. Prve godine istraživanja najviši prinos ozime pšenice polučen je s primjenom saturacijskog mulja. Najviši prinos kukuruza druge i treće godine istraživanja ostvaren je u varijante više doze mljevenog mekog vapnenca. Četvrte godine istraživanja, kad je kao test kultura ponovno uzgajana ozima pšenica naizraženiji pozitivan utjecaj na prinos zabilježen je također u varijante s višom dozom mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca.

4. Prema učinkovitosti korištenih materijala u pokusu najbolji rezultati u četverogodišnjem razdoblju istraživanja ostvareni su s primjenom viših doza saturacijskog mulja, mljevenog mekog litotamnijskog vapnenca, hidratiziranog vapna, tvrdog vapnenca i dolomita. Premda je djelovanje ovih materijala bilo različito prema visini prinosa test kultura i prema promjenama u kemijskom kompleksu tla, razlike su u cjelini gledano male, pa se svi ovi materijali mogu vrlo uspješno koristiti za kalcifikaciju. Utjecaj specijalnog prirodnog supstrata u višoj dozi bio je, s obzirom na primjenjenu količinu izuzetan za kukuruz, a pozitivan, ali promjenjiv za ozimu pšenicu. Od svih korištenih materijala fosfogips je djelovao najslabije, kako na promjenu kemijskog kompleksa tla, tako i na prinos uzgajanih test kultura. Meki litotamnijski vapnenac u prirodnom stanju djelovao je znatno slabije od mljevenog mekog vapnenca. S obzirom na učinkovitost korištenih materijala rezultati ovih istraživanja daju nedvojbeno prednost primjeni viših doza kvalitetnih vapnenih materijala u kombinaciji s mineralnom gnojibom.

LITERATURA

- Adams, F. (1984). Crop response to lime in the Southern United States. p. 212-259. Iz F. Adams (ed.) Soil acidity and liming. Agron. Monogr. 12, 2nd ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Alcarde, J.C., Paulino, V.T., Dearnardin, J.S. (1989). Avaliacao da reatividade de corretivos da acidez do solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo., Vol. 13, 387-392.
- Alley, M.M. (1981). Short-term chemical and crop yield responses to limestone applications, *Agronomy Journal*. 73: 687-689.
- Alva, A.K., Sumner, M.E. (1989). Alleviation of aluminum toxicity to soybeans by phosphogypsum or calcium sulfate in dilute nutrient solutions. *Soil sci.* 147: 278-285.
- Alva, A.K., Sumner, M.E., Miller, W.P. (1990). Reactions of Gypsum or Phosphogypsum in highly weathered acid subsoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 993-998.
- Amberger, A., Schweiger, P. (1995). Ca-Bilanz und Ca-Auswachtung in einem langjährigen Lysimeterversuch. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 148:393-402.
- Andronikashvili, T.G., Kardava, M.A., Gamisonia, M.K. (1995). Effect of natural zeolites on microbe landscape of some soils in Georgia, Sofia Zeolite Meeting, June 18-25 1995., Abstracts, p. 95., Sofia, Bulgaria.
- Barbarick, K.A., Lai, T.M., Eberl, D.D. (1990). Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 54:911-916.
- Bartlet, R.J., Riego, D.C. (1972). Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Sci.* 114:194-200.
- Bartlet, R.J., Riego, D.C. (1972). Effect of chelation on the toxicity of aluminum. *Plant and Soil* 37:419-423.

- Bašić, F., Butorac, A., Vajnberger, A., Malbašić, D. (1987). Komparativna istraživanja efikasnosti različitih materijala u kalcifikaciji kiselih tala, *Poljoprivredne aktualnosti*, vol. 28, br.1-2, 153-170.
- Bašić, F., Butorac, A., Vajnberger, A., Malbašić, D., Bertić, B., Mesić, M. (1990). Effects of liming on the yield of some crops and the chemical properties of the soil, 10th World Fertilizer Congress of CIEC, Nicosia.
- Beacher, R.L., Longnecker, D., Merkle, F.G. (1952). Influence of form, fineness, and amount of limestone on plant development and certain soil characteristics. *Soil Sci.* 73:75-82.
- Beretka, J., (1990). The current state of utilisation of phosphogypsum in Australia, *Proceedings of the third international symposium on phosphogypsum*, p. 394-401, Florida Institute of phosphate research, Bartow, Florida, USA.
- Bergin, P., (1959). Observation for eleven years on a liming trial. *Soils and fertilizers* Vol. 23, No. 2, 779.
- Bertsch, P.M., Alley, M.M. (1981). Conventional and suspension limestone influence on soil chemical properties and corn and soybean yields, *Agronomy Journal*. 75: 71-75.
- Boekel, P., (1959). The amelioration of the structure of clay soils by liming. *Soils and fertilizers* Vol. 22, No. 5, 2346.
- Bogunović, M. (1976). Semiglejna tla Slavonije, Magistarski rad, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Butorac, A., (1967). Agrotehnička malioracija pseudogleja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj s aspekta uvođenja lucerne. Disertacija. Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
- Butorac, A., (1974). Utjecaj molibdena i kalcifikacije na prinos lucerne, *Agronomski glasnik*, br. 1-2, 17-42.
- Butorac, A., Bašić, F., Redžepović, S., Vasilj, Đ. (1988). Istraživanje mogućnosti uzgoja lucerne (*Medicago sativa* L.) na lesiviranim akričnim tlima niskog pokrivenog krša, *Poljoprivredna znanstvena smotra*, Vol. 53., br.1-2, 5-21, Zagreb.
- Butorac, A., Bašić, F., Filipan, T., Mesić, M. (1991). Istraživanje fertilizacijske vrijednosti specijalnih prirodnih supstrata (Agrarvitala) na bazi zeolitnog tufa. *Rukopis*, p. 50, Fakultet poljoprivrednih znanosti i IRMO, Zagreb.
- Butorac, A., Filipan, T., Bašić, F., Mesić, M., Benc, S. (1992). Istraživanje fertilizacijske vrijednosti specijalnih prirodnih supstrata (Agrarvitala) na bazi zeolitnog tufa. *Rukopis*, p. 54, Fakultet poljoprivrednih znanosti i IRMO, Zagreb.
- Butorac, A., Filipan, T., Bašić, F., Mesić, M. (1994). Untersuchungen hinsichtlich des düngungswertes der speziellen natürlichen substrate (Agrarvital) auf des basis von zeolith-tuff. *Rukopis*, p. 79, Fakultet poljoprivrednih znanosti i IRMO, Zagreb.
- Butorac, A., Filipan, T., Bašić, F., Mesić, M., Butorac, J., Kisić, I. (1995). Response of sugar beet to Agrarvital and waste water fertilizing I. Root and sugar yield and macronutrient content in root and leaf. *Poljoprivredna znanstvena smotra*, Vol. 60, br. 1, 69-80.
- Butorac, A., Filipan, T., Bašić, F., Mesić, M., Butorac, J., Kisić, I. (1995). Response of sugar beet to Agrarvital and waste water fertilizing. II. Heavy metals, toxic elements and boron content in sugar beet root and leaf. *Poljoprivredna znanstvena smotra*, Vol. 60, br. 1, 81-94.
- Butorac, A., Filipan, T., Cerjan-Stefanović, Š., Butorac, J. (1995). Antitoxische wirkung spezieller natürlicher substrate (Agrarvital) auf kontaminiertem boden. *Poljoprivredna znanstvena smotra*, Vol. 60, br. 2, 221-236.
- Butorac, A. (1999). *Opća agronomija*. Udžbenik. Školska knjiga Zagreb, str. 648.
- Chakalov, K., Dimitrov, K., Popova, T. (1995). Organoclinoptilolite composts as substrate and soil conditioners for growing ecologically clean vegetables. *Sofia Zeolite Meeting, June 18-25 1995.*, Abstracts, p. 100., Sofia, Bulgaria.
- Chevychelov, A.P. (1995). The experience of making use of the Yakut zeolites during migration of soils and creation of poured grounds. *Sofia Zeolite Meeting, June 18-25 1995.*, Abstracts, p. 101., Sofia, Bulgaria.
- Dahlgren, R.A., Ugolini, F.C. (1989). Aluminum fractionation of soil solutions from unperturbed and tephra-treated spodosols, cascade range, Washington, USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:559-566.
- Davis, F.L. (1951). Effect of fineness of agricultural lime upon crop response. *Agron. J.* 43:251-225.
- De Gennaro, M., Langella, A., Colella, C., Coppola, E., Buondonno, A. (1995). Italian zeolitized tuffs as soil conditioners. Recent research advances. *Sofia Zeolite Meeting, June 18-25 1995.*, Abstracts, p. 103., Sofia, Bulgaria.
- Donahue, R.L., Miller, R.W., Shickluna, J.C. (1990). Soils and introduction to soils and plant growth, Prentice hall of India, Private limited, New Delhi.
- Duncan, D.B., (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Eire Dept. of Agriculture, (1953). The value of different liming materials. *Soils and fertilizers* Vol. 17, No. 1, 204.
- Elphick, B.L. (1954). Studies in use of agricultural limestone. I. Chemical and physical properties of South Island (N.Z.) agricultural limestones. *Soils and fertilizers* Vol. 18, No. 1, 273.
- Farina, M.P.W., Channon, P. (1991). A field comparison of lime requirement indices for maize, *Plant and Soil*. 134:127-135.
- Fleming, A.L., Foy, C.D. (1968). Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agron. J.* 60:172-176.
- Fox, R.H. (1979). Soil pH, aluminum saturation, and corn grain yield, *Soil Sci.* 127: 330-334.
- Fox, R.L., Hue, N.V., Jones, R.C., Yost, R.S. (1991). Plant-soil interactions associated with acid, weathered soils, *Plant and Soil*. 134:65-72.
- Foy, C.D. (1984). Physiological effects of Hydrogen, Aluminium, and Manganese toxicities in acid soil. p. 57-86. u F. Adams (ed.) *Soil acidity and liming*. Agron. Monogr. 12, 2nd ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.

- Foy, C.D., Fleming, A.L., Schwartz, J.W. (1973). Opposite aluminum and manganese tolerances in two wheat varieties. *Agron. J.* 65:123-126.
- Frenkel, H., Fey, M.V., Noble, A.D. (1989). Some factors limiting the dissolution rate of phosphogypsum in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:958-961.
- Friesen, D.K., Juo, J.W., Miller, M.H. (1983). Residual value of lime and leaching of calcium in a kaolinitic ultisol in the high rainfall tropics, *Soils and fertilizers*, vol. 46, No. 5., 4361.
- Gagro, M. (1994). Utjecaj primjene rastućih količina dušika i gustoće sklopa na prinos zrna kukuruza, *Poljoprivredna znanstvena smotra*, 32(42), 135-144.
- Gagro, M., Bašić, F., Jurić, A. (1993). Effect of waste lime application on yield and production economy of some arable crops., 9th International Farm Management Congress, 11 - 17 July, Budapest, Godollo, Hungary.
- Gotlin, J. (1967). *Suvremena proizvodnja kukuruza, Agronomski glasnik - posebno izdanje*, Zagreb.
- Gotlin, J., Pucarić, A. (1970). *Specijalno ratarstvo I dio*, Zagreb.
- Gračanin, M. (1947). "Kalcifikacija tala", *Poljoprivredni nakladni zavod*, Zagreb.
- Grgić, D. (1991). Naknadni efekti kalcizacije i fosfatizacije u proizvodnji kukuruza na pseudoglejnom tlu u području Valpova. *Magistarski rad. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu*.
- Hargrove, W.L., Thomas, G.W. (1982). Titration properties of Al-organic matter. *Soil Sci.* 134:216-225.
- Haynes, R.J. (1984). Lime and phosphate in the soil-plant system, *Advances in Agronomy*. 37:249-303.
- Haynes, R.J. (1984). Effect of lime, silicate, and phosphate applications on the concentrations of extractable aluminum and phosphate in a spodosol. *Soil Sci.* 138:8-14.
- Hoyert, J.H., Axley, J.H. (1952). Influence of liming materials on pH values of six Maryland soils. *Soil Sci.* 73:61-69.
- Hutchinson, F.E., Hunter, A.S. (1970). Exchangeable aluminum levels in two soils as related to lime treatment and growth of six crop species. *Agronomy Journal*, 62:702-704.
- Ioneva, J., (1995). Zeolite components for non traditional soil conditioners. *Sofia Zeolite Meeting*, June 18-25 1995., Abstracts, p. 106., Sofia, Bulgaria.
- Isfan, D. (1980). Predicting the most probable nitrogen dose for corn from winter precipitations, *Soils and fertilizers* Vol. 43, No. 2, 1352.
- Jaakkola, A., Jokinen, R. (1980). Comparison of fine and coarse limestones in pot and field experiments. *Annales Agriculturae Fenniae*, Vol. 19, 108-124.
- Jones, L.H. (1961). Aluminum uptake and toxicity in plants. *Plant and Soil*, 13:292-310.
- Jurić, I., Žugec, I., Buljan, V. (1986). Utjecaj kalcizacije i fosfatizacije na kemijske promjene tla i prinos kukuruza. *Zemljište i biljka* 35:165-177.
- Jurić, I., Žugec, I., Kovačević, V., Komljenović, I. (1988). Kalcizacija i fosfatizacija kao mjere povećanja plodnosti tla istočne Hrvatske. *Zemljište i biljka*, 37:191-201.
- Kac-Kacas, M., Lisova, K. (1964). Investigations on the chemical activity of lime amendments. *Soils and fertilizers* Vol. 28, No. 3, 1875.
- Kamprath, E.J. (1984). Crop response to lime on soils in the Tropics. p. 349-366. u F. Adams (ed.) *Soil acidity and liming*. *Agron. Monogr.* 12, 2nd ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Kopeloff, N. (1917). The influence of fineness of division of pulverized limestone on crop yields as well as the chemical and bacteriological factors in soil fertility. *Soil Sci.* 4:19-67.
- Kovačević, V., Bertić, B., Grgić, D. (1993). Response of maize, barley, wheat and soybean to liming on acid soils. *Rostl. Vyr.* 39:41-52.
- Lipman, J.G., Blair, A.W., McLean, H.C., Prince, A.L. (1923). A comparison of magnesian and non-magnesian limestone in some 5-year rotations. *Soil Sci.* 15:307-328.
- Lončar, A., (1988). Utjecaj podrivanja i kalcizacije na komponente prinosa ozime pšenice i kukuruza na melioriranom pseudogleju. *Disertacija. Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu*.
- Love, K.S., Whittaker, C.W. (1954). Surface area and reactivity of typical limestones. *Soils and fertilizers* Vol. 18, No. 2, 843.
- MacIntire, W.H., Shaw, W.M. (1925). The disintegration of limestone and dolomite separates as influenced by zone of incorporation. *Soil Sci.* 20:403-416.
- MacKown, C.T., Tucker, T.C. (1985). Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:235-238.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. (1987). *Principles of plant nutrition*, International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- Mesić, M. (1992). Utjecaj kalcifikacije i gnojidbe organskim i mineralnim gnojivima na prinos kukuruza u agroekološkim uvjetima Korduna, *Magistarski rad, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*.
- Mesić, M., Butorac, A., Bašić, F., Redžepović, S., Sikora, S. (1994). Liming, manuring and fertilization of maize for better productivity and low environmental impact. 15th World Congress of Soil Science, Vol. 7b, 159-161, Acapulco.
- Meyer, T.A., Volk, G.W. (1952). Effect of particle size of limestones on soil reaction, exchangeable cations, and plant growth. *Soil Sci.* 73:37-52.
- Mihalić, V. (1985). *Opća proizvodnja bilja, Školska knjiga*, Zgreb.
- Morgan, M.F. (1930). Factors affecting the estimation of lime requirement from pH values. *Soil Sci.* 29:163-180.
- Morgan, M.F., Salter, R.M. (1923). Solubility of limestones as related to their physical properties. *Soil Sci.* 15:293-305.
- Noble, A.D., Fey, M.V., Sumner, M.E. (1988). Calcium-aluminum balance and the growth of soybean roots in nutrient solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1651-1656.
- Noble, A.D., Sumner, M.E., Alva, A.K. (1988). The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1398-1402.

- Oates, Kenneth M., Caldwell, A.G. (1985). Use of by-product gypsum to alleviate soil acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:915-918.
- Oldershaw, A.W. (1955). Sugar beet factory carbonate of lime. *Soils and fertilizers* Vol. 18, No. 3, 1289.
- Orovčanec, I. (1953). Results of tests with sugar-factory lime applied to red soils in the Skopje region and to black "smonitza" in the Kumanovo region. *Soils and fertilizers* Vol. 18, No 1, 272.
- Paterson, E., Goodman, B.A., Farmer, V.C. (1991). The chemistry of aluminium, iron and manganese oxides in acid soils. p. 97-124. Iz Ulrich, B., Sumner, M.E. (eds) *Soil acidity*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Pierre, W.H. (1930). Neutralizing values and rates of reaction with acid soils of different grades and kinds of liming materials. *Soil Sci.* 29:137-158.
- Pucarić, A. (1971). Utjecaj sklopa na lisnu površinu i njenu produktivnost, prinos i komponente prinosa hibrida kukuruza grupa 200, 500 i 600. Disertacija, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Pucarić, A., Gotlin, J. (1973). Promjenljivost nekih svojstava biljaka i prinosa hibrida kukuruza u zavisnosti od gustoće sklopa III Komponente prinosa zrna, Poljoprivredna znanstvena smotra, Vol. 30 (40), 665-684.
- Rechcigl, J.E., Mislevy, P., Alva, A.K. (1993). Influence of limestone and phosphogypsum on bahiagrass growth and development. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:96-102.
- Sabolić, M. (1984). Efekat kalcifikacije na neke ratarske kulture na pseudoglejnim tlima, Poljoprivredne aktualnosti, 1-2, Zagreb.
- Schweiger, P., Amberger, A. (1979). Mg-Auswaschung und Mg-Bilanz in einem langjährigen Lysimeterversuch. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 148:403-410.
- Skvortsov, V.F. (1959). Results of experiments on liming acid podzolic heavy loamy soils. *Soils and fertilizers* Vol. 25, No. 2, 1076.
- Stevens, J.J., Blanchar, R.W. (1992). Soil pH gradients near calcite and dolomite particles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:967-972.
- Stojkowska, A. (1958). Chemical properties of lime from the saturation process and its effects on soil nutrients. *Soils and fertilizers* Vol. 22, No 6, 2889.
- Sumner, M.E., Fey, M.V., Noble, A.D. (1991). Nutrient status and toxicity problems in acid soils. p. 149-182. Iz Ulrich, B., Sumner, M.E. (eds) *Soil acidity*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Thomas, G.W., Hargrove, W.L. (1984). The chemistry of soil acidity. p. 3-49. u F. Adams (ed.) *Soil acidity and liming*. Agron. Monogr. 12, 2nd ed. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin.
- Tsitsishvili, G.V., Andronikashvili, T.G. (1995). Natural zeolites in plant-growing of Georgia. Sofia Zeolite Meeting, June 18-25 1995., Abstracts, p. 119., Sofia, Bulgaria.
- Turšić, I., Lončar, A. (1982). Utjecaj kalcifikacije na prinos kukuruza, pšenice i jarog ječma na obronačnom pseudogleju u području Bjelovara. Poljoprivredne aktualnosti br. 2. Zagreb.
- Ulrich, B. (1991). An ecosystem approach to soil acidification. p. 28-79. Iz Ulrich, B., Sumner, M.E. (eds) *Soil acidity*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Van Breemen, N. (1991). Soil acidification and alkalization. p. 1-7. Iz Ulrich, B., Sumner, M.E. (eds) *Soil acidity*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany.
- Warfvinge, P., Sverdrup, H. (1989). Modeling limestone dissolution in soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 53:44-51.
- Wright, R.J., Baligar, V.C., Ahlich, J.L. (1989). The influence of extractable and soil solution aluminum on root growth of wheat seedlings, *Soil Sci.* 148:293-302.
- Yagodin, B.A. (1984). *Agricultural chemistry*. Mir Publishers, Moscow.

acs66_10

NAPOMENA

Izvod iz disertacije obranjene 06. ožujka 1996. godine na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu

- Članovi povjerenstva:
1. Prof. dr. sc. Ferdo Bašić, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
 2. Prof. dr. sc. Anđelko Butorac, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
 3. Prof. dr. sc. Aleksandar Pucarić, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
 4. Prof. dr. sc. Ivan Žugec, Poljoprivredni fakultet Sveučilišta u Osijeku
 5. Doc. dr. sc. Ljubica Đumija, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

ZAHVALA

Istraživanje koje je tema ovog rada provedeno je u razdoblju od 1989. do 1993. godine, na površinama poduzeća "Poljoprivreda Suhopolje" d.d. Laboratorijski dio istraživanja proveden je u Zavodu za opću proizvodnju bilja Agronomskog fakulteta u Zagrebu. Istraživanja je inicirao Prof. dr. sc. Anđelko Butorac kojem, osim zbog sugestija i savjeta u vrijeme trajanja istraživanja, dugujem iskrenu zahvalnost i zbog brojnih rasprava o mogućnostima korištenja različitih vapnenih materijala za korekciju suvišne kiselosti tla, kao i o mehanizmima djelovanja svakog od njih. Isto tako, zahvalnost dugujem i Prof. dr. sc. Ferdi Bašiću, za pomoć u svim fazama istraživanja. Zahvalnost dugujem i gospođi Ljubici Jelekovac, tehničkom suradniku u Zavodu za opću proizvodnju bilja, zbog nesebične pomoći u terenskom i laboratorijskom radu.

Iskrenu zahvalnost izražavam i djelatnicima poduzeća "Poljoprivreda Suhopolje" d.d., koji su u vrlo teškim uvjetima i s obzirom na radnu snagu i s obzirom na raspoloživu mehanizaciju održavali pokus u najboljem redu.