

Čakmak D., Sikirić B., Beloica J., Belanović Simić S., Perović V., Mrvić V., Saljnikov E. 2014. *Soil acidification as a limiting factor to agricultural production in the Municipality of Ljubovija*. Bulletin of the Faculty of Forestry 109: 49-62.

Драган Чакмак
Биљана Сикирић
Јелена Белоица
Снежана Белановић Симић
Вељко Перовић
Весна Мрвић
Елмира Саљников

UDK: 631.415.2+631.45(497.11 Ljubovija)
Оригинални научни рад
DOI: 10.2298/GSF1409049C

АЦИДИФИКАЦИЈА ЗЕМЉИШТА КАО ЛИМИТИРАЈУЋИ ФАКТОР ПОЉОПРИВРЕДНЕ ПРОИЗВОДЊЕ ОПШТИНЕ ЉУБОВИЈА

Извод: Процес ацидификације земљишта подразумева, пре свега, смањење рН вредности земљишног раствора. Може бити резултат спорих дугогодишњих, природних процеса или знатно убрзан, као резултат комбинације природних процеса и антропогеног утицаја. Ацидификација представља веома значајан фактор трајне деградације плодности земљишта, као најважнијег и тешко обновљивог природног ресурса.

Проучавања осетљивости земљишта на процес ацидификације су вршена на подручју Општине Љубовија, применом три метода. Дефинисање степена осетљивости земљишта на процес ацидификације омогућава правовремене активности у смањењу опште киселости земљишта. Управљање пољопривредним земљишним простором, на издвојеним површинама, потребно је усмерити на избалансирану примену ђубрива као и агротехнике, уз адекватан избор засада/усева ради постизања оптималног коришћења потенцијала земљишта и одрживе плодности.

Кључне речи: ацидификација земљишта, степен осетљивости, пољопривредно земљиште, Општина Љубовија

др Драган Чакмак, виши научни сарадник, Институт за земљиште, Београд

др Биљана Сикирић, научни сарадник, Институт за земљиште, Београд

дипл.инж. Јелена Белоица, асистент, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

др Снежана Белановић Симић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београд

мр Вељко Перовић, истраживач сарадник, Институт за земљиште, Београд

др Весна Мрвић, виши научни сарадник, Институт за земљиште, Београд

др Елмира Саљников, виши научни сарадник, Институт за земљиште, Београд

SOIL ACIDIFICATION AS A LIMITING FACTOR TO AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE MUNICIPALITY OF LJUBOVIJA

Abstract: The process of soil acidification means, above all, a reduction of soil solution pH. It can be the result of slow, years-long natural process or considerably accelerated due to a combination of natural processes and anthropogenic influences. Acidification is a very important factor in the permanent degradation of the fertility of soil, as the most important and hardly renewable natural resource. Studies on soil susceptibility to the process of acidification were carried out in the Municipality of Ljubovija, using three methods. Defining of the degree of soil susceptibility to the process of acidification allows timely activities aimed at the reduction of overall soil acidity. Management of agricultural land, in isolated areas, must be focused on a balanced use of fertilizers and agrotechnical measures, using proper planting /crops to achieve the optimum use of resources and sustainable soil fertility.

Key words: soil acidification, the degree of susceptibility, agricultural land, the Municipality Ljubovija

1. УВОД

Процес ацидификације може се сматрати основним узрочником смањене продуктивности пољопривредних земљишта (Mrvić, 2012), који је у претходном периоду знатно убрзан антропогеним факторима пре свега повећаним емисијама и депозицијама киселих полутаната и неадекватном употребом минералних ђубрива (Spraks, 2002). Степен осетљивости земљишта на процес ацидификације дефинисан је пуферним капацитетом земљишта, односно његовим физичким и хемијским својствима.

Ацидификација земљишта је процес који доводи до поремећаја пуферних способности земљишта (Feigenbaum *et al.*, 1981; Tributh *et al.*, 1987), пре свега путем измештања и испирања јона калцијума и магнезијума. При израженој ацидификацији повећава се мобилност алуминијума који у високим концентрацијама постаје токсичан за биљке (Haines, 1984; Kingaide, 1991). У условима повећане киселости земљишта фосфор, као један од најзначајнијих макроелемената, везивањем у оклудоване облике са Al и Fe постаје тешко приступачан за биљке (Barber, 1995). С друге стране повећана растворљивост неких микроелемената (нпр. Zn) при ниским рН вредностима земљишног раствора може условити њихово убрзано испирање из зоне кореновог система и тиме узроковати недостатак ханљивих материја за биљке. Штетни микроелементи у условима повећане концентрације H^+ јона прелазе у лакоприступачне облике (Sauerbeck and Lubben, 1991).

Степен осетљивости земљишта према ацидификацији, условљен је у првом реду геолошком подлогом, односно типом и стопом разлагања матичног супстрата (Bergholm, 2003), својствима земљишта (реакцијом земљишног раствора, zasiћеност базама (BS), капацитетом катјонске измене (CEC), текстуром земљишта, садржајем органске материје) и начином коришћења (Misson *et al.*, 2001).

У досадашњим истраживањима (Џакмак, 2013) утврђено је да су земљишта на подручју Општине Љубовија, због изражене киселости, у великој мери ограничених пољопривредних способности (58% површина чине јако кисела и кисела земљишта). Са еколошког аспекта, намеће се потреба деловања у правцу очувања постојеће плодности земљишта и благовременог спречавања даљег процеса закишељавања. У том циљу, било је неопходно дефинисати осетљивост тих земљишта на даљи процес ацидификације.

Циљ рада је да се утврди географска распрострањеност типова земљишта различитог степена осетљивости на ацидификацију у општини Љубовија применом различитих метода. Управљање пољопривредним земљишним простором на издвојеним површинама, треба усмерити на избалансирану примену ђубрива као и агротехнике, уз одабир засада/усева ради постизања оптималног коришћења земљишта и одрживе продуктивности.

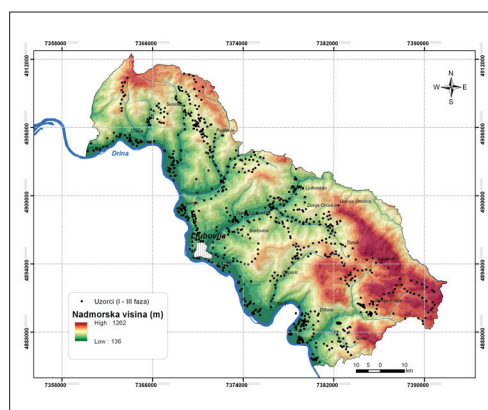
2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

2.1. Подручје проучавања

Подручје Општине Љубовија обухвата површину од око 356 km^2 , а укупна пољопривредна површина износи 20.890 ha (58,7%), шуме заузимају 12.220 ha (34,3%). Општина Љубовија спада у брдско-планинско подручје и делом равничарско у долинама река Дрине, Љубовије и Трешњице. Највеће површине заузимају оранице са кукурузом и дуваном на мањим надморским висинама, а на већим надморским висинама оранице са овсом и јечмом. Значајне површине су под засади-ма воћака: шљива, малина и купина, као и пашњацима.

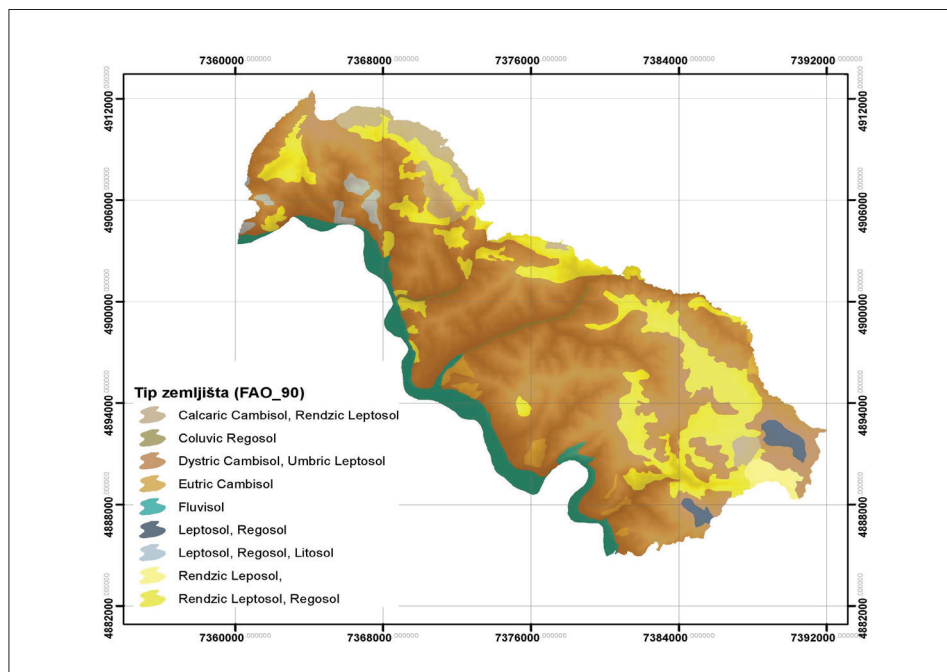
2.2. Проучавања земљишта

Узорци земљишта узети су током 2012. године, са подручја 19 катастарских општина. Узорковање је извршено са пољопривредног земљишта на 422 локације (Слика 1). На свакој локацији на дубини од 0-20 *cm* земљишта узето је по 10 појединачних узорака, од којих је формирано по три композитна узорака земљишта. Након узимања узорака земљиште је ваздушно сушено и уситњено до 2 *mm*.



Слика 1. Распоред узорака на подручју Општине Љубовија

Figure 1. Distribution of samples in the Municipality of Ljubovija



Слика 2. Педолошка карта проучаваног подручја
Figure 2. Soil map of the study area

Адсорптивни комплекс земљишта (СЕС, ВS) одређен је методом по Капену. Хемијска реакција земљишта је одређена пехаметром из раствора 1:2,5 у води и у 1N KCl. Садржај CaCO₃ одређен је волуметријском методом помоћу калциметра (SRPS ISO 10693/2005), а садржај изменљивог Al екстракцијом у 1M KCl и мерењем на ICP-у.

Заступљеност појединих типова земљишта приказана је на слици 2 (Педолошка карта Р Србије 1:50.000). Дистрично смеђе земљиште је заступљено на 65,07% површина, рендзине на 24,28% површина, алувијално земљиште на 6,31% површина, ранкери на 2,4% површина, еутрично смеђе земљиште на 1,43% и колувијално земљиште на 0,51% површина (Слика 2).

2.3.Процена степена осетљивости земљишта према ацидификацији

2.3.1. Метод *Holowaychuk & Fessenden (1987)*

Процена осетљивости земљишта на ацидификацију, према методу *Holowaychuk & Fessenden (1987)*, као кључна својства земљишта укључује вредности капацитета катјонске измене (СЕС) и рН вредности у води. Комбинацијом

АЦИДИФИКАЦИЈА ЗЕМЉИШТА КАО ЛИМИТИРАЈУЋИ ФАКТОР...

вредности ова два својства земљишта настаје 16 комбинација за три категорије осетљивости земљишта: осетљивост на губитак база, осетљивост на процес ацидификације, осетљивост на растворљивост алуминијума. На основу ове три групе параметара осетљивости на крају се утврђује укупна осетљивост земљишта на процес ацидификације (табела 1).

Табела 1. Критеријум за одређивање осетљивости земљишта према ацидификацији према *Holowaychuk & Fessenden (1987)*

Table 1. The criterion for defining the susceptibility of the soil to acidification according to *Holowaychuk & Fessenden (1987)*

СЕС (meq·100g ⁻¹)	pH у H ₂ O	Осетљивост на / Susceptibility to:			Укупна осетљивост Overall susceptibility
		Губитак база Loss of bases	Ацидификацију Acidification	Растворљивост Al Solubility Al	
<6	<4.6	H	L	H	H
	4.6-5.0	H	L	H	H
	5.1-5.5	H	M	H	H
	5.6-6.0	H	H	M	H
	6.1-6.5	H	H	L	H
	>6.5	L	L	L	L
6-15	<4.6	H	L	H	H
	4.6-5.0	M	L	H	M
	5.1-5.5	M	L-M	M	M
	5.6-6.0	M	L-M	L-M	M
	>6.0	L	L	L	L
>15	<4.6	H	L	H	H
	4.6-5.0	M	L	H	M
	5.1-5.5	M	L	M	M
	5.6-6.0	L	L-M	L-M	L
	>6.0	L	L	L	L

Легенда / Legend: L-ниска, M-средња, H-висока / L-low, M-medium, H- high

2.3.2. Метода *Cinderby (1998)*

Метод *Cinderby (1998)* је метод глобалне процене статуса ацидификације. Капацитет неутрализације киселости (пуферски капацитет) у овом методу представљен је садржајем база и капацитетом катјонске измене. На основу репрезентативних вредности BS (засићеност базама) и СЕС (капацитет катјонске измене) за сваки тип земљишта дефинисане су класе осетљивости према типу земљишта. Дефинисање ових вредности извршено је након великог броја анализа узорака за сваки тип земљишта.

2.3.3. Метод *Kuylenstierna* (2001)

Kuylenstierna (2001) метод као критеријум осетљивости земљишта према ацидификацији укључује капацитет катјонске измене (СЕС) и засићеност базама (BS). На основу три категорије СЕС и 5 категорија BS дефинисано је 5 класа осетљивости земљишта на процес ацидификације, од I (веома осетљива) до V (слабо осетљива), (табела 2).

Табела 2. Критеријум за одређивање осетљивости земљишта према ацидификацији према *Kuylenstiern методу (2001)*

Table 2. The criterion for defining the susceptibility of the soil to acidification according to the *Kuylenstiern method (2001)*

		СЕС (cmol/kg)		
		<10	10-25	>25
BS (%)	0-20	I	I	II
	20-40	I	II	III
	40-60	II	III	IV
	60-80	III	IV	V
	80-100	V	V	V

2.3.4. Геостатистичке анализе

Картографска обрада података обављена је употребом ГИС програма Arc View 8.3. Геопросторна дистрибуција својстава земљишта вршена је применом обичног кригинга (Ordinary Kriging) као интерполацијске методе.

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Хемијска својства проучаваних земљишта

Хемијска својства проучаваних земљишта приказана су у табели 3.

Класа јако киселих земљишта (pH до 4,5 у 1N KCl-у) која нису повољна за гајење већине пољопривредних култура, заступљена је на 9,81% површина, углавном на најраспрострањенијем типу земљишта – дистричном смеђем земљишту на киселим стенама (гранитима, шкриљцима и пешчарима). Земљишта киселе реакције (pH 4,5-5,5) заступљена су на 47,92% површина, а земљишта слабо киселе реакције (5,5-6,5) на 34,82% површина. Земљишта неутралне и слабо алкалне реакције заступљена су на 7,45% површина углавном на еутричним смеђим земљиштима, или алувијалним земљиштима, која најчешће садрже CaCO₃.

Кисела земљишта се јављају углавном у централним деловима проучаваног подручја, на 17.066 ha. Земљишта слабо киселе до неутралне реакције су повољна за већину пољопривредних култура и заступљена се углавном на ободним деловима општине (15.056,6 ha).

Табела 3. Општи статистички показатељи испитиваних параметара земљишта
Table 3. General statistical indicators of the studied soil parameters

Статистички параметри / Statistical parameters	pH (у H ₂ O)	pH (у KCl)	BS (%)	CEC (cmol·kg ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	измен. Al exchangeable Al (mg·100g ⁻¹)
Мин / Min	3.91	3.30	0.44	7.9	0	0
Мах / Max	8.54	7.60	100	100	12.22	43.89
Ст. Девиијација / Standard deviation	1.14	1.12	31.14	26.88	1.96	4.54
Просек / Average	6.20	5.30	28.0	35.48	0.96	1.32

Садржај мобилног алуминијума у проучаваним земљиштима креће се од 0-43,89 mg·100g⁻¹ (табела 4). На подручју Општине Љубовија, на 5,4% проучаваних земљишта садржај мобилног Al већи од 5 mg/100g.

Табела 4. Садржај мобилног Al у земљишту
Table 4. Mobile Al content in the soil

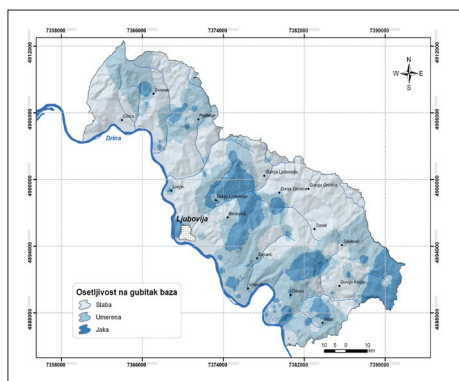
Al (mg·100g ⁻¹)	ha	%
до 5	33.693,79	94,60
5-10	1.545,71	4,34
10-34	377,91	1,06
	35.617,41	100,00

3.2. Осетљивост земљишта према процесу ацидификације

Користећи напред поменуте критеријуме за оцену укупне осетљивости земљишта на процес ацидификације, просторно су дефинисане површине са означеним категоријама осетљивости према анализираним методама.

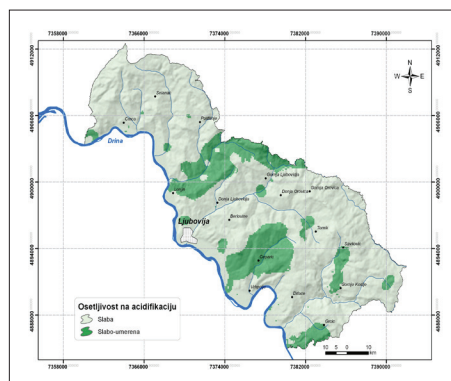
Према *Holowaychuk & Fessenden* методи (1987), укупна осетљивост на ацидификацију дефинисана је на основу три категорије осетљивости: осетљивост земљишта на губитак база, осетљивост на процес ацидификације, осетљивост на растворљивост алуминијума.

Осетљивост на губитак база подразумева осетљивост на испирање базних катјона, пре свега Ca²⁺, Mg²⁺ и K⁺ јонима H⁺. Повећање киселости земљишта утиче на смањење концентрације базних катјона (Ca, Mg, K) и микроелемената (Zn, Mo). На слици 3, приказана је осетљивост на губитак база из земљишта Општине Љубовија, где се види да постоје значајне површине у централном, јужном и југоисточном делу општине са јаком или умереном осетљивошћу на губитак база.



Слика 3. Осетљивост земљишта на губитак база

Figure 3. Susceptibility of the soil to the loss of bases



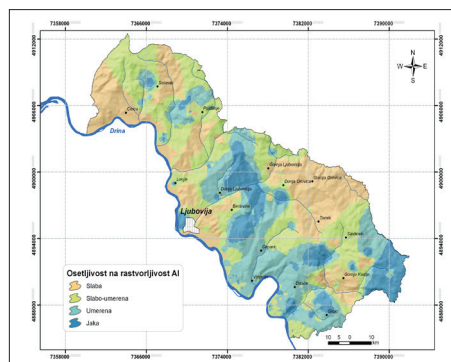
Слика 4. Степен осетљивости земљишта на процес ацидификације

Figure 4. Degree of susceptibility of the soil to acidification

Осетљивост према ацидификацији (као други параметар укупне осетљивости земљишта) на подручју Општине Љубовија није посебно изражена (слика 4). Установљене су само две категорије: слаба и слабо-умерена ацидификација, међу којима доминира слаба осетљивост.

Осетљивост на растворљивост алуминијума је врло важан параметар за одређивање укупне осетљивости на ацидификацију. На основу приказаних површина (слика 5), може се констатовати да је на проучаваном подручју највише изражена јака и умерена осетљивост земљишта на појаву растворљивог алуминијума.

Укупна осетљивост земљишта према ацидификацији према *Holowaychuk & Fessenden* методи (1987) је углавном слаба и слабо-умерена (сачињава 64% територије), а остали део територије су површине са умереном (25%) и јаком (10,8%) осетљивошћу (табела 5, слика 6). У зони слабо и слабо-умерене осетљивости су распрострањена еутрична и карбонатна смеђа земљишта, рендзине, флувијална и делом дистрична смеђа земљишта. Зоне умерене осетљивости на ацидификацију издвајају се у оквиру земљишта типа дистрично смеђе земљиште на већим надморским висинама, док се зоне јаке осетљивости јављају на земљиштима типа ранкер и сирозем.



Слика 5. Осетљивост земљишта на растворљивост алуминијума

Figure 5. Susceptibility of the soil to Al solubility

Применом метода *Cinderby* (1998) издвојене су 4 класе осетљивости (слика 7). Највеће површине заузимају земљишта типа дистрично смеђе земљиште (*Dystric Cambisol*) који су сврстани у II класу осетљивости (осетљива земљишта). По ободу изучаваног подручја (општине) распоређена су земљишта типа рендина, алувијално земљиште и еутрична и карбонатна смеђа земљишта која припадају IV и V класи осетљивости (слабо осетљива и веома слабо осетљива) на процес ацидификације. Местимично, на сверозападу и југоистоку, распоређена су земљишта типа ранкер и сирозем, који се сврставају у I класу осетљивости на процес ацидификације.

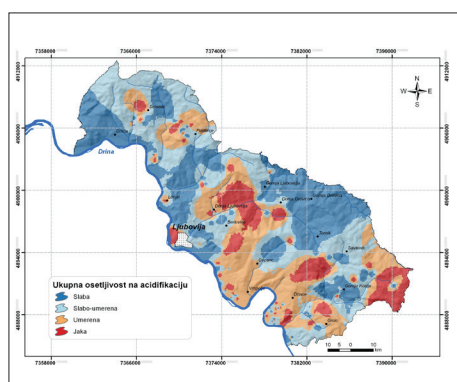
Према *Kuylenstierna* методи (2001), најзаступљенија су земљишта са слабим и слабоумереном укупном осетљивошћу на ацидификацију (84% територије), знатно мање је земљишта са умереном осетљивошћу (15,67%) и веома мало са јаком осетљивошћу на процес ацидификације (0,26%), табела 6, слика 8.

Зоне слабо и слабо-умерене осетљивости се јављају на еутричном, карбонатном и дистричном смеђем земљишту, рендини и алувијалном земљишту. Зоне умерене и јаке осетљивости на ацидификацију издвајају у оквиру типа дистричних смеђих земљишта, ранкера и сирозема.

Табела 5. Укупна осетљивост земљишта на ацидификацију

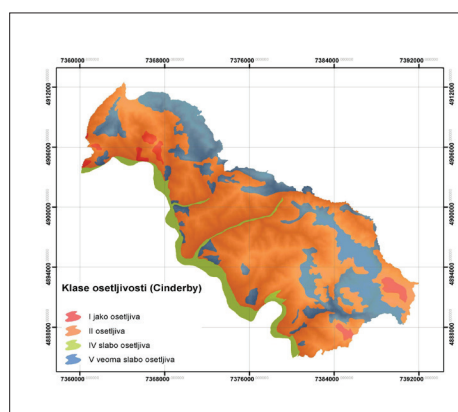
Table 5. Overall soil susceptibility to acidification

Категорије Categories	ha	%
Слаба Low	11.478,91	32,23
Слабо – умерена Low - moderate	11.326,45	31,80
Умерена Moderate	8.955,06	25,14
Јака High	3.857,00	10,83
	35.617,41	100,00



Слика 6. Укупна осетљивост земљишта на процес ацидификације

Figure 6. Overall susceptibility of the soil to acidification according to the *Holo- waychuk & Fessenden (1987)* model



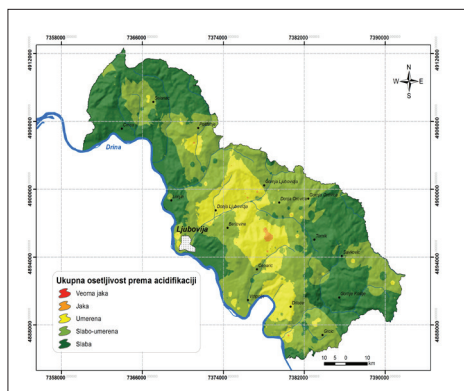
Слика 7. Класе осетљивости земљишта на процес ацидификације (*Cinderby 1998*)

Figure 7. Soil susceptibility classes according to *Cinderby (1998)*

Табела 6. Укупна осетљивост земљишта на ацидификацију
Table 6. Overall susceptibility of the soil to acidification

Категорије Categories	ha	%
Веома јака Very high	0,68	0,00
Јака High	92,38	0,26
Умерена Moderate	5.583,00	15,67
Слабо – умерена Low - moderate	15.126,73	42,47
Слаба Low	14.814,61	41,59
	35.617,41	100,00

мљишту утврђена је негативна и висока линеарна корелација, $R=-0,795$ (Sikić *et al.*, 2009). У киселим земљиштима садржај укупног алуминијума у земљишном раствору, пре свега, мономерног облика алуминијума, има мање штетан ефекат на коренов систем, уколико се ова земљишта одликују већим капацитетом катјонске измене и садржајем база (Mrvic *et al.*, 2012).



Слика 8. Осетљивост земљишта на процес ацидификације (Kuylenstierna 2001)

Figure 8. Susceptibility of the soil to acidification according to the *Kuylenstierna (2001)* model

4. ДИСКУСИЈА

Повећање киселости земљишта утиче на смањење концентрације базних катјона (Ca, Mg) и микроелемената (Zn, Mo), а на повећање садржаја мобилног Al, Fe и Mn. Са смањењем рН испод 4,5 значајно се повећава садржај измењивог Al, а према Huang-у (1988), при рН вредности испод 4 доминира мономерни Al^{3+} облик, који је најштетнији за биљке. Foу (1988) наводи да смањење киселости за само 0,1 рН јединицу, може да удвостручи концентрацију измењивог Al^{3+} у зони кореновог система. Према Clark-у (1981) земљишта са $pH < 5$, представља лимитирајући фактор раста за многе биљке. Између рН вредности и садржаја мобилног алуминијума у зе-

проценом осетљивости према процесу ацидификације проучаваних земљишта применом методе *Holowaychuk & Fessenden (1987)*, уочава се веза између осетљивости на губитак база и растворљивости алуминијума са укупном осетљивошћу на ацидификацију. Површине означене са јаком, односно умереном, осетљивошћу на губитак база и растворљивост алуминијума, скоросудентичне површинама са јаком (односно умереном) осетљивошћу на ацидификацију.

Највећа осетљивост земљишта је установљена у пределима већих надморских висина, где су земљишта плитка, лаког текстурног састава, настала на гранитима и имају низак капацитет

адсорпције катјона, погодан за лако испирање база, а што значајно утиче на укупну осетљивост на ацидификацију.

Утврђено је да земљишта на 5,5% територије Општине Љубовија садрже више од $5 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ земљишта изменљивог алуминијума. Концентрације изменљивог алуминијума веће од $6\text{-}10 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ могу имати штетно дејство на биљке (Dugalić, 1997). Према томе, у зависности од тенденције даљег закисељавања, постоји потенцијална могућност ослобађања изменљивог алуминијума, а тај процес би могао бити ограничавајући фактор пољопривредне производње биљних култура.

Према методи *Hollowaychuk & Fessenden (1987)* површинама са јако киселом реакцијом (9,8%) скоро у потпуности одговарају површине са јаком (10,83%) до умереном укупном осетљивошћу на ацидификацију, док се површине са киселом реакцијом (47,92%) углавном поклапају са површинама које карактерише слабо-умерена (31,80%), слаба, а мање умерена укупна осетљивост на ацидификацију. У односу на метод *Hollowaychuk & Fessenden (1987)*, где је установљена одређена веза између рН и укупне осетљивости према ацидификацији, иста се не може констатовати у односу на *Kuylenstierna* метод (2001).

Између наведених метода постоје значајне разлике у вредностима укупне осетљивости на ацидификацију. Посебно су упадљиве разлике у површинама јаке осетљивости на ацидификацију (табеле 4 и 5), којих код *Kuylenstierna* методе (2001), скоро и нема (< од 1% територије). Земљишта са ниском рН и мањом засићеношћу базама, већ су значајно завршила свој процес ацидификације и тешко се могу даље закисељавати. Због тога је и *Kuylenstiern* метод (2001), који укључује СЕС и ВS као параметре, бољи и тачнији метод у дефинисању површина на укупну осетљивост према ацидификацији.

Издвојене класе према методи *Cinderby (1998)* показују слагање одређеног степена са остале две методе, односно јасно дефинисање осетљивих и неосетљивих, као и екстремно осетљивих земљишта на процес ацидификације. Може се уочити да се овом методом не издвајају земљишта умерено осетљива на процес ацидификације (III класа), која су применом друге две методе издвојена у оквиру типа дистрично смеђе земљиште.

5. ЗАКЉУЧАК

У циљу дефинисања подручја са израженом осетљивошћу према ацидификацији, одређена је осетљивост земљишта Општине Љубовија на процес ацидификације применом три модела (*Hollowaychuk & Fessenden* метод (1987), *Cinderby* (1998) и *Kuylenstiern* метод (2001)).

Према методи *Hollowaychuk & Fessenden (1987)*, уочава се веза између осетљивости на губитак база и растворљивости Al са укупном осетљивошћу на ацидификацију.

Метод Cinderby (SEI) се у оквиру глобалне процене остелљивости може сматрати погодним за геопросторно дефинисање екстремно осетљивих-осетљивих земљишта и земљишта великог пуферног капацитета, као први корак процене ризика.

У односу на *Holowaychuk & Fessenden*-метод (1987) метод *Kuylenstiern* (2001), који укључује СЕС и BS као параметре, бољи је и прецизнији у дефинисању површина на укупну осетљивост према ацидификацији.

Према *Kuylenstiern* методу (2001) јака укупна осетљивост на ацидификацију земљишта Општине Љубовија, заступљена је у 0,26% (92,38 ha), умерена у 15,67% (5.583 ha). Такође, применом методе Cinderby (1998) не издвајају се земљишта умерено осетљива на процес ацидификације (III класа), која су применом друге две методе издвојна у оквиру типа дистрично смеђе земљиште (Dystric Cambisol).

ЛИТЕРАТУРА

- Barber, S.A. (1995): *Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic approach*, Wiley, New York
- Bergholm J., D. Berggren, G. Alavi (2003): *Soil Acidification Induced by Ammonium Sulphate Addition in a Norway Spruce Forest in Southwest Sweden*, Water, Air and Soil Pollution 148 (1-4), (87-109)
- Čakmak Dragan (2013): *Studija za III fazu Projekta: Melioracije kiselih zemljišta na području Opštine Ljubovija u cilju proizvodnje visokovredne hrane*. Institut za zemljište, Beograd.
- Cinderby S, Cambridge HM, Herrera R, Hicks WK, Kuylenstierna JCI, Murray F and Olbrich K. (1998): *Global assessment of ecosystem sensitivity to acidic deposition*, Stockholm Environment Institute, Stockholm
- Clark, R.B. (1981): *Mineral Nutritional Factors Reducing Sorghum Yields: Micronutrients and Acidity*. Proceedings of the international Symposium on Sorghum, Patancheru, A.P., India. (179-188)
- Dugalić, G. (1997): *Karakteristike Kraljevačkog pseudogleja i iznalaženje mogućnosti za povećanje njegove produktivne sposobnosti*. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Feigenbaum, S., Edelstein, R.E. and Shainberg, J. (1981): *Release rate of potassium and structural cations from mica to ion exchangers in dilute solutions*. Soil Sci. Am. J. 45 (501-506)
- Foy, C.D. (1988): *Plant adaptation to acid, aluminium toxic soils*. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 19 (959-987)
- Haynes, R.J. (1984): *Effect of lime, silicate, and phosphate application on the concentrations of extractable aluminium and phosphate in a spodosol*. Soil. Sci. 138 (8-14)
- Holowaychuk, H. and Fessend, R.J. (1987): *Soil sensitivity to acid deposition. Earth Science report 87-1*. Alberta research council (1-17)
- Huang, P.M. (1988): *Ionic Factors Affecting aluminium Transformations and the Impact on Soil and Environmental Sciences*. Advances in Soil Science 8 (1-78)
- Johan C. I. Kuylenstierna, Henning Rodhe, Steve Cinderby, and Kevin Hicks (2001): *Acidification in Developing Countries: Ecosystem Sensitivity and the*

- Critical Load Approach on a Global Scale*. AMBIO: A Journal of the Human Environment: February 2001, 30 (1) (20-28)
- Kinraide, T.B. (1991): *Identity of the rhizotoxic aluminium species*. Plant and Soil 134 (167-178)
- Misson L., Q. Ponette, F. André (2001): *Regional Scale Effects of Base Cation Fertilization on Norway Spruce and European Beech Stands Situated on Acid Brown Soils: Soil and Foliar Chemistry* Annals of Forest Science **58** (699–712)
- Mrvić V., Čakmak D., Sikirić B., Nikoloski M., Delić D., Belanović S., Beloica J. (2012): *Uticaj zakišeljavanja na sadržaj vodorastvornog aluminijuma u pseudoglejevima*. Ratarstvo i povrtarstvo 49 (3) (257-262)
- Sauerbeck, D., Lubben, S. (1991): *Effects of municipal disposals on soils, soil organisms and plants*. In: Berichte aus der ökologischen Forschung. Vol. 6, edited by Forschungszentrum Jülich, Jülich: Zentralbibliothek, (1-32)
- Sikirić, B. et al. (2009): *The Effects of Calcification, Urea and Al Salts on Fe, Mn and Al Contents in the Soil and Raspberry Leaves*. Agrochimica 53 (4) (250-259)
- Sparks, D. L. (2002): *Environmental Soil Chemistry*, Academic Press, San Diego, CA
- Tributh, H., Boguslawski, V.E., Liers, V.A., Steffens, S., Mengel, K. (1987): *Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals*, Soil Sci. 143 (404-409)

Dragan Čakmak
Biljana Sikirić
Jelena Beloica
Snežana Belanović Simić
Veljko Perović
Vesna Mrvić
Elmira Saljnikov

SOIL ACIDIFICATION AS A LIMITING FACTOR TO AGRICULTURAL PRODUCTION IN THE MUNICIPALITY OF LJUBOVIJA

Summary

The process of acidification can be considered the primary cause of a reduced productivity of agricultural land (Mrvić, 2012), which had previously been significantly accelerated by anthropogenic factors, especially increased emissions and deposition of acidic pollutants.

In previous studies (Čakmak, 2013) it was found that the land of the Municipality of Ljubovija has greatly limited agricultural capacity (58% of the area are very acid and acid soils) due to its strong acidity. From an environmental point of view, there is a need to act in order to preserve the existing soil fertility and timely prevent further acidification processes. For that purpose, it was necessary to define the susceptibility of the soils to the further process of acidification.

In order to define areas with high susceptibility to acidification, the susceptibility of the soil in the Municipality of Ljubovija was defined by using three models (the *Holowaychuk & Fessend-method* (1987), *Cinderby* (1998) and the *Kuylenskiern method* (2001)).

According to the *Holowaychuk & Fessend* (1987) method (1987), the overall susceptibility to acidification is generally weak and weak-moderate (constitutes 64% of the territory), and the

rest of the territory consists of areas with moderate (25%) and severe (10.8%) susceptibility (Table 6, Figure 7).

The classes defined according to the Cinderby method (1998) show a certain degree of agreement with the other two methods, i.e. a clear definition of susceptible and non-susceptible soils, as well as soils that are extremely sensitive to acidification processes. In those terms, the Cinderby method (SEI) can be considered useful in the global assessment of susceptibility, as the first step in the assessment of the risk of acidification.

According to the *Kuylenstiern method* (2001), a strong susceptibility to the acidification of soils in the Municipality of Ljubovija, is present in 0.26 % (92.38 *ha*) and moderate susceptibility in 15.67% (5583 *ha*) of the area. In addition, the soils that are moderately susceptible to acidification processes (class III) can not be defined using the Cinderby method (1998). These soils were defined using the other two methods within the dystric brown soil type (Dystric cambisol).

The highest susceptibility of the soil to acidification was found in the areas of higher altitudes, where the soil is shallow, built on granite substrates, characterized by a light textured structure and a low adsorptive complex suitable for an easy rinsing of bases. All these factors significantly affect the overall susceptibility to acidification.