

## ИНОВИРАЊЕ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОЕФИЦИЈЕНТА ЕРОЗИЈЕ (Z)

РАДИСЛАВ ТОШИЋ\*<sup>1</sup>, СЛАВОЉУБ ДРАГИЋЕВИЋ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Бањој Луци- ПМФ, М. Стојановића 2, 78000 Бања Лука, Република Српска.

<sup>2</sup>Универзитет у Београду - Географски факултет, Студентски трг 3/3, 11000 Београд, Србија

**Сажетак:** Истраживања и картирања интензитета механичке водне ерозије започета емпиријском методологијом С. Гавриловића средином прошлог вијека, трају различитим интензитетом све до данашњег времена. Деценијски рад на истраживању ове проблематике указао је на неке недостатке постојеће методологије, а самим тим и на потребу за њеном иновацијом. У том смислу, Р. Лазаревић је извршио одређене корекције емпиријске методологије С. Гавриловића кроз измену табела за одређивање коефицијената  $F$ ,  $X$ ,  $i$   $Y$ , односно табеле за одређивање средње вриједности коефицијента ерозије ( $Z$ ). Основни циљ овог рада је иновирање постојеће методологије одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) емпиријском методологијом С. Гавриловића и изменама и допунама које је дао Р. Лазаревић (1985), али са бољом прилагођеношћу информационом технологијама и потребама савременог друштва. Предложени поступак, тј. модел одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) у овом раду, настао је као резултат десетогодишњег научно-истраживачког и пројектног рада у области картирања интензитета механичке водне ерозије и њеног моделовања примјеном различитих ерозионих модела на територији Републике Српске и Србије. Анализирајући корелативност резултата добијених регресионим моделима и резултата који су добијени у току картирања ерозије на територији Републике Српске, утврђен је висок степен повезаности ( $R^2 = 0,9963$ ), што у суштини представља добру оцјену добијених модела.

**Кључне речи:** ерозија земљишта, картирање ерозије, коефицијент ерозије ( $Z$ ), коефицијент вида ерозије ( $F$ ), регресиони модели.

### Увод

Последњих неколико деценија развијен је велики број различитих ерозионих модела са различитом просторном и временском основом која представља њихову концептуалну базу, а све у циљу бољег разумијевања законитости ерозионог процеса и транспорта наноса. Акцент већине истраживања био је на унапређењу три главне групе модела: емпиријских, концептуалних, али и модела базираних на физичким законитостима. Међутим, још увек није развијен јединствен ерозиони модел који би се могао примјенити на нивоу било ког слива, а да при томе даје прихватљиве излазне резултате. Потешкоће у дефинисању једног свеобухватног ерозионог модела произилазе из сложености природе ерозионог процеса, његове просторне хетерогености, али најчешће и недостатка адекватних мјерења у циљу добијања релевантних улазних података који се користе у ерозионим моделима (Костадинов, 1985; Mitasova et al., 1996; de Vente i dr., 2005, 2006; Тошић, 2006, 2007, 2008; Тошић i dr.,

---

\* E-mail: rtosic@blic.net

Рад представља резултате истраживања пројеката: Д-10-422/04 Министарства Пољопривреде, шумарства и водопривреде Републике Српске и пројекта Б-19/6-020/961-68/10 Министарства науке и технологије Републике Српске.

2011; Драгићевић, 2002, 2007, Драгићевић и др., 2007а, 2009). Улазни подаци су основа ерозионих модела и зато је развој и коришћење доступних модела нераскидиво повезано са реално расположивим подацима.

Током последњих деценија постигнут је значајан напредак у правилном разумијевању и моделовању ерозионог процеса и транспорта наноса, а нагласак је био на релативно малим просторним јединицама и на процесу у различитим просторним димензијама и временским скалама (посебно у оквирима ерозионих модела базираних на физичким законитостима). Међутим, и поред тога нису одбачени емпиријски ерозиони модели који се и даље примичењују за моделовање ерозије на нивоу слива. С тога, и даље постоји изражена потреба за наставак истраживања у овој области и то у циљу избора најприхватљивијих ерозионих модела за одређивање продукције и транспорта наноса у оквирима нашег поднебља.

У развоју савремене науке о ерозији и бујицама на нашим геопросторима, пионирску улогу су имали инжењери шумарства који су поставили темеље даљих истраживања у овој области. Осим њих, значајан допринос пружили су и геоморфолози, најприје др Раденко Лазаревић који је отворио пут даљим геоморфолошким истраживањима интензитета механичке водне ерозије, а затим и његови ученици и сљедбеници.

Основни циљ овог рада је иновирање постојеће методологије др Раденка Лазаревића која се односи на "Нови поступак за одређивање коефицијента ерозије" (Лазаревић, 1985). Предложени поступак, тј. модел одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) у овом раду, настао је као резултат десетогодишњег научно-истраживачког и пројектног рада у области картирања интензитета механичке водне ерозије (Карта ерозије слива Укрине – Тошић, 2006; и Колубаре – Драгићевић, 2007; Карта ерозије Републике Српске – Тошић и др., 2006 – 2011), и ерозионог моделовања примјеном различитих ерозионих модела на територији Републике Српске и Србије (USLE – Tosić et al., 2011, CORINE).

## Методологија истраживања

### *1. Методологија Р. Лазаревића за одређивање коефицијента ерозије $Z$*

Хронолошки изложити досадашњи рад на истраживању интензитета механичке водне ерозије и картирању ерозије, готово је немогуће у оквирима овог рада. Наравно, то и није намјера, али је значајно напоменути да је он започео педесетих година прошлог вијека емпиријском методологијом С. Гавриловића и траје различитим интензитетом све до данашњег времена. Емпиријска методологија С. Гавриловића постала је окосница ерозионог проучавања и пажње бројних колега у чијем је фокусу била наука о ерозији и бујицама.

Рад на истраживању интензитета водне ерозије, а посебно њеном картирању, указао је на неке недостатке емпиријске методологије С. Гавриловића (1962), а самим тим и потребу за њеном надоградњом. У том смислу, Р. Лазаревић (1969) је извршио одређене корекције емпиријске методологије С. Гавриловића и то кроз измјене табела за одређивање коефицијената  $\Phi$ ,  $X$ , и  $Y$ , односно табеле за одређивање средње вриједности коефицијента ерозије ( $Z$ ). Коришћењем наведене методологије урађена је Карта ерозије Србије (1966-1971), а истом методологијом са нешто другачијим приступом у одређивању коефицијента ерозије  $Z$  и Карта ерозије Босне и Херцеговине (1980-1985) (Лазаревић, 1971, 1985).

Сложеност аналитичког поступка одређивања коефицијента ерозије за сваку ерозиону парцелу (а посебно чињеница да се параметри  $Y$ ,  $X$  и  $\Phi$  одређују визуелно, а средњи пад  $I_{sr}$  са топографске карте), указала је према Р. Лазаревићу на чињеницу да

је једино средњи пад најпоузданији параметар, те да се сходно томе коефицијент ерозије ( $Z$ ) "не одређује по аналитичком обрасцу, који у извјесним случајевима доводи до деформација које су последица структуре чланова који улазе у образац за прорачун коефицијента ерозије, јер неки од њих показују стање ерозије  $\Phi$  и  $X$ , а други потенцијалне услове за ерозију - еродибилност  $Y$ ,  $I_{sr}$  и  $X$ " (Лазаревић, 1985). Управо из ових разлога, постојала је оправдана потреба да се елиминишу поједини параметри када  $Z$  више показује еродибилност, а не ерозију, па је према Р. Лазаревићу "елиминација појединих параметара и свођење коефицијента ерозије  $Z$  на вид ерозије  $\Phi$ , нужна у свим случајевима где постоји могућност да  $Z$  постане коефицијент еродибилности, уместо коефицијент ерозије" (Лазаревић, 1985).

У току израде Карте ерозије Србије, наведени проблеми на које је указао Р. Лазаревић, указали су на оправдану потребу разрађивања новог приступа у одређивању коефицијента ерозије  $Z$ . "Нови поступак одређивања коефицијента ерозије  $Z$ , базиран је на виду ерозије  $\Phi$ , који је одређен на терену и то као заједнички садржатељ свих параметара који улазе у састав обрасца за коефицијент ерозије и средњег пада, који је најобјективнији параметар наведеног обрасца" (Лазаревић, 1985). Према томе, вид ерозије  $\Phi$ , чију суштину чини начин коришћења земљишта, а у функцији средњег пада, даје према овом поступку коефицијент ерозије  $Z$ . Према Р. Лазаревићу "овај поступак боље диференцира вриједности за  $Z$  и то у читавом распону за поједине категорије и поткатеорије него аналитички образац. Истовремено, искључује потребу за елиминацијом појединих параметара, у случајевима када би  $Z$  показивао еродибилност, а не ерозију. Осим тога, овај поступак убрзава обраду и повећава објективност коефицијента ерозије" (Лазаревић, 1985).

Међутим, аналитички образац за одређивање коефицијента ерозије није елиминисан у цјелости, он се препоручује код картирања мањих сливова или подсливова и то у случају када је могуће објективно одредити вриједности коефицијента за начин кориштења земљишта и отпорности земљишта од ерозије.

Исцрпан рад на картирању ерозије, те огромно искуство стечено у току теренског и кабинетског рада на изради Карте ерозије Босне и Херцеговине (више од 40000 ерозионих парцела) омогућили су Р. Лазаревићу креирање "таблице за одређивање коефицијента ерозије" (Лазаревић, 1985). У току креирања "монтаже" таблице, полазиште су били сљедећи принципи: "распони пет категорија, преузети су од С. Гавриловића у циљу да се уједначе вриједности између вида и коефицијента ерозије, категорије и поткатеорије обухватају све вриједности за  $Z$  у њиховом распону. Изузетак чине категорија  $V_2$ , где се јављају само вриједности од 0,04 до 0,10 пошто су вриједности испод 0,04 мање од егзактно утврђених вриједности за хемијску ерозију, вриједности  $Z$  за све категорије почињу од нагиба 6%, а завршавају се нагибом од 50%, изузетак је у  $I_1$  категорији која има вриједности за  $Z$  до 70% и  $V_2$  која има вриједности до 5%, код категорија слабије ерозије, чију базу чине коефицијент вида ерозије  $\Phi$  0,4, 0,3, 0,2 и 0,1, коефицијент ерозије  $Z$  достиже те вриједности са порастом нагиба, док код категорија јаче ерозије, чију базу чине коефицијент вида ерозије  $\Phi$  1,5, 1,3 и 1,1 коефицијент ерозије почиње тим вриједностима, а затим расте са повећањем нагиба" (Лазаревић, 1985). Дакле, при разради новог поступка за одређивање коефицијента ерозије  $Z$ , сачувана је према аутору суштину и унутрашња структура емпиријског метода С. Гавриловића.

Нови поступак за одређивање коефицијента ерозије ( $Z$ ) Р. Лазаревића (1985) представљао је важан помак у правцу методолошког приступа у картирању ерозије. Међутим, и након 30 година од када је Р. Лазаревић креирао таблицу за одређивање коефицијента ерозије ( $Z$ ), добар дио стручне јавности није суштински сагледао њене добре стране, па је развој нове методологије одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) базиран на овом приступу једини пут да се суштински иновира овај поступак и

прилагоди новим информационо-технолошким захтјевима времена у којем живимо, али и олакша рад на изради Карте ерозије неког простора (Лазаревић, 1985, 1985а; Тошић, 2007, 2008; Тошић и др., 2011).

## 2. Нови методолошки поступак одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ )

Током картирања интензитета ерозије у неколико сливова на територији Републике Српске и Србије, у потпуности смо били упознати са постојећим методолошким приступом Р. Лазаревића. Међутим, у припремама за израду Карте ерозије Републике Српске, било је нужно и критички се осврнути на предложену таблицу за одређивање коефицијента ерозије ( $Z$ ), како би се рјешиле одређене недоумице. **Прво**, таблица коју је креирао Р. Лазаревић (1985, стр. 58) прилично је компликована за коришћење. Уколико, примјера ради, при одређивању имамо вриједност пада између  $11,30^\circ$  и  $12^\circ$ , нејасно је који се  $Z$  додељује, мањи или већи. **Друго**, проблем јасно недефинисаних интервала води ка недоследности одређивања коефицијента  $Z$  и један исти обрађивач није увек сигуран да ће у сваком случају задржати униформни принцип, а ако постоји више обрађивача недоследност је готово уобичајена појава. **Треће**, податке који су добијени веома је тешко контролисати, а то имплицира различите грешке које са собом носе и одређени ниво непоузданости излазних података у смислу одређивања средњег коефицијента ерозије, а тиме продукције и транспорта наноса. **Четврто**, коришћење наведене таблице у одређивању коефицијента ерозије, односно уписивање података у атри-бутну табелу често успорава рад, а то се у времену савремених информационих технологија не може прихватити.

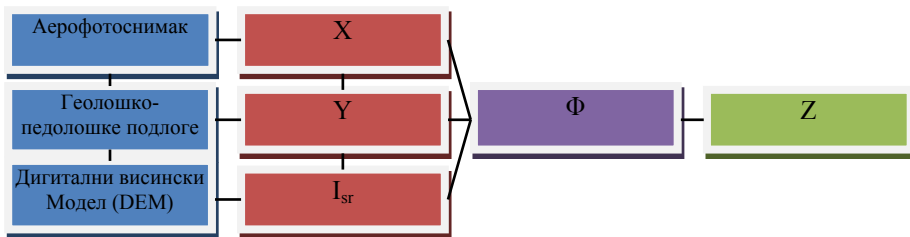
Дакле, наведени разлози су указали на оправдану потребу креирања новог приступа, тј. нове методологије у одређивању коефицијента ерозије ( $Z$ ) која ће се и даље темељити на емпиријској методологији С. Гавриловића и измјенама и допунама које је дао Р. Лазаревић, али ће бити прилагођена савременим информационим технологијама и потребама савременог друштва.

У том смислу, креиран је потпуно другачији приступ у одређивању коефицијента ерозије ( $Z$ ), не само на терену, већ и у обради и креирању коначне ерозионе базе која ће представљати дигиталну тематску картографску подлогу, али са обиљем података и предностима у коришћењу.

Основа за израду требало би да буде аерофотоснимак, минималне резолуције  $d = 50$  cm, што уз кориштење алгорита за аутоматску детекцију начина коришћења земљишта (према табели за коефицијент  $X$ ) и издвајање пиксела, а потом и креирање полигона осигурава добро дефинисање површина истог начина коришћења земљишта. Добијеним полигонима се анализом тематских геолошких и педолошких подлога додељују коефицијенти отпора земљишта од ерозије ( $Y$ ), са акцентом да је за потребе неких пројеката урађена SOTER (soil and terrain database) база података, која садржи важне информације о матичном суспстрату и типовима земљишта који су се развили на њима.

Коришћењем дигиталног висинског модела (DEM) креира се тематски слој падова који се преклапа са полигонима начина кориштења земљишта, којима је додељен коефицијент  $X$  и  $Y$ , те кориштењем зоналне статистике сваком се постојећем полигону додељује средњи пад  $I_{sr}$ . Дакле, за потребе одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) за неку ерозиону парцелу неопходно је још одредити коефицијент вида ерозије  $\Phi$ , који указује на стање ерозионих процеса. Одређивање овог коефицијента захтјева узимање у обзир свих параметара, тако да на терену постоји могућност да се уз посматрање ерозионе парцеле одмах располаже подацима о коефицијентима  $X$  и  $Y$ ,

те да је у том оквиру за неку ерозиону парцелу могуће лакше дефинисати коефицијент вида ерозије  $\Phi$ .



Сл. 1. Схематски приказ процедура при одређивању коефицијента ерозије ( $Z$ ).

Најпрактичнији начин одговора на овај захтјев је кориштење PDA (Personal Digital Assistant) уређаја који има интегрисани GPS пријемник. Осим PDA уређаја, неопходно је имати и адекватан софтвер који подржава и омогућава интеграцију GPS-а и GIS-а. ArcPad је специјално дефинисан програмски пакет из групе ArcGIS пакета, намијењен интеграцији GPS-а и GIS-а, односно за употребу са PDA уређајима који примају „real-time“ GPS сигнал. ArcPad садржи базу података у форми слоја .shp формата, али и интегрисане TIFF подлоге - аерофотоснимке који су прошли процес компресије. Унутар базе података могуће је вршити преглед података, мијењати атрибуте на основу карактеристика појаве коју посматрамо, пратити путању према унапријед дефинисаној рути и др. PDA уређај омогућава оријентацију на терену, поређење реалне локације са дефинисаним векторским полигоном (ерозиона парцела) на .shp формату који смо унијели у PDA уређај, те снимање података на PDA уређај како би их послје извезли у GIS (desktop) окружење и урадили коначну картографску подлогу. PDA уређај је са претходно припремљеном векторском подлогом омогућио једноставно лоцирање полигона без нужног знања топографије које је потребно да се на топографској карти одреди положај одређеног полигона. Исто тако, омогућује уношење параметара у базу података на терену, а не на теренске карте, што захтјева да се два пута ради исти посао. Дакле, на овај начин најбоље се одређује  $Z$  за било коју ерозиону парцелу. Одређивање параметара на овај начин омогућило је и прорачун аналитичким путем, али како је већ наглашено постоји велики број случајева када  $Z$  показује еродибилност, а не ерозију. Из тога разлога, нужно је било тестирати резултате добијене аналитичким приступом одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) и резултате добијене према таблицама Р. Лазаревића.

У том смислу, извршена је регресиона анализа у циљу утврђивања везе између посматраних варијабли, односно активност у циљу добијања одговарајућег аналитичко-математичког израза, тј. регресионог модела. Основна сврха овако добијеног модела је објашњење повезаности посматраних појава, могућност предвиђања вриједности зависне варијабле за одређене вриједности једне или више независних варијабли. У нашем случају, имамо једну зависну варијаблу (коефицијент ерозије  $Z$ ), док су коефицијент вида ерозије ( $\Phi$ ) и средњи пад ерозионе парцеле ( $I_{sr}$ ) независне варијабли. У овом случају, реч је о вишеструкој регресионој анализи и то линеарног модела вишеструке регресије. Стандардни облик једначине модела вишеструке линеарне регресије са  $k$  независним варијаблама гласи:

$$\hat{Y} = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (1)$$

где је:  $a$  - константни члан или очекивана вриједност зависне варијабле ( $Y$ ) када је вриједност свих независних варијабли ( $X_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) нула;  $b_1$  - регресиони коефицијент који показује просјечну промјену зависне варијабле ( $Y$ ) када се одговарајућа

независна варијабла ( $X_i$ ) повећава за један (једну јединицу мјерења), а остале независне варијабле су непромјенљиве. Ако је коефицијент регресије  $b_1$  позитиван, однос између варијабле  $Y$  и  $X_i$  је управно пропорционалан (раст  $X_i$  узрокује раст  $Y$ ), а ако је  $b_1$  негативан, однос између варијабле  $Y$  и  $X_i$  је обрнуто пропорционалан (раст  $X_i$  узрокује пад  $Y$ ). Осим креирања једначине модела вишеструке линеарне регресије, одређен је и интерпретиран коефицијент мултипле корелације и детерминације, али и процјењена статистичка значајност модела, те статистичка значајност појединих регресионих коефицијената (регресионих варијабли). Наведене вриједности су дате у облику табела: summary output-regression statistics и Anova.

У разматрање за израду регресионих модела за поједине категорије ерозије узели смо двије ерозионе базе података. Прво, база података слива акумулације Дренова, која броји 3257 ерозионих парцела-полигона са дефинисаним атрибутима, а потом и базу података ерозије Републике Српске која броји 28249 ерозионих парцела-полигона, те на темељу њих креирали регресионе моделе за поједине категорије ерозије. У ерозионим базама креирана је колона вриједности коефицијента ерозије добијених на основу регресионих модела, а потом је извршена упоредна анализа-корелација вриједности добијених у току картирања примјеном аналитичког поступка одређивања коефицијента ерозије  $Z$  и поступка који је примијењиван у току израде Карте ерозије Републике Српске (према таблицама), са вриједностима коефицијената ерозије  $Z$  које су добијене на основу регресионих модела. Дакле, креирањем базе података са свим атрибутима, а потом примјене наведених једначина регресије-регресионих модела у GIS окружењу, веома лако и прецизно долазимо до коефицијента ерозије  $Z$  за сваку ерозиону парцелу којој смо одредили наведене атрибутне параметре. Према процедури која је описана у оквиру нове методологије, одређивање коефицијента  $\Phi$  за сваку ерозиону парцелу и потом његовим кориштењем и употребом средњег пада  $I_{sr}$ , те регресионих модела за сваку категорију ерозије, можемо на било којем дијелу територије урадити Карту ерозије, а тиме и прорачун продукције и транспорта наноса за одређени слив.

### Резултати истраживања

Према приказаној методологији истраживања, а на основу података који су резултат израде Карте ерозије Републике Српске, предочени су резултати регресионе анализе, те регресиони ерозиони модели за поједине категорије ерозије.

**Таб. 1. Излазна табела регресионе анализе и регресиони модел за I категорију ерозије**

Regression Statistics						
Multiple R	0,996289848					
R Square	0,992593461					
Adjusted R Square	0,992586434					
Standard Error	0,013742785					
Observations	2111					
ANOVA						
	df	SS	MS	F	Significance F	
Regression	2	53,35513049	26,6775652	141252,68	0	
Residual	2108	0,398125597	0,00018886			
Total	2110	53,75325609				
	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-0,080046403	0,00255248	-31,360242	1,639E-177	-0,085052046	-0,075040759
$I_{\text{средње}}$	0,006299662	4,26313E-05	147,770709	0	0,006216058	0,006383266
$\Phi$	1,00561776	0,001952831	514,953699	0	1,001788082	1,009447438

$$Z - I_{\text{категорија}} = -0,080046403 + 0,006299662 \cdot I_{sr} + 1,00561776 \cdot \Phi$$

**Таб. 2. Излазна табела регресионе анализе и регресиони модел за II категорију ерозије**

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0,99626888					
R Square	0,992551682					
Adjusted R Square	0,992086162					
Standard Error	0,008033576					
Observations	35					
<i>ANOVA</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	2	0,275209059	0,13760453	2132,13586	8,97288E-35	
Residual	32	0,002065227	6,4538E-05			
Total	34	0,277274286				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,177338418	0,044449942	-3,9896209	0,0003606	-0,267879987	-0,086796849
I_srednje	0,006622856	0,000348576	18,999752	5,4397E-19	0,00591283	0,007332882
Φ	1,108752634	0,057860949	19,1623653	4,2308E-19	0,990893739	1,226611529

$$Z - II_{\text{kategorija}} = -0,177338418 + 0,006622856 \cdot I_{sr} + 1,108752634 \cdot \Phi$$

**Таб. 3. Излазна табела регресионе анализе и регресиони модел за III категорију ерозије**

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0,96036222					
R Square	0,922295593					
Adjusted R Square	0,922250284					
Standard Error	0,013669612					
Observations	3433					
<i>ANOVA</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	2	7,607308116	3,80365406	20355,8202	0	
Residual	3430	0,640923985	0,00018686			
Total	3432	8,2482321				
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,181986117	0,004113523	-44,24094	0	-0,19005132	-0,173920914
I_srednje	0,005410777	3,49609E-05	154,766607	0	0,005342231	0,005479323
Φ	1,197246035	0,007902312	151,505799	0	1,181752321	1,212739748

$$Z - III_{\text{kategorija}} = -0,181986117 + 0,005410777 \cdot I_{sr} + 1,197246035 \cdot \Phi$$

**Таб. 4. Излазна табела регресионе анализе и регресиони модел за IV категорију ерозије**

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0,978759821					
R Square	0,957970788					
Adjusted R Square	0,95796564					
Standard Error	0,006224397					
Observations	16331					
<i>ANOVA</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	2	14,41878055	7,20939028	186081,85	0	
Residual	16328	0,632597561	3,8743E-05			
Total	16330	15,05137812				
	<i>Standard</i>					
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,093539408	0,000747486	-125,13869	0	-0,095004562	-0,092074254
I_srednje	0,003491455	7,77703E-06	448,944805	0	0,003476211	0,003506699
Φ	0,99151371	0,002433308	407,475699	0	0,986744161	0,996283259

$$Z - IV_{\text{kategoriја}} = -0,093539408 + 0,003491455 \cdot I_{sr} + 0,99151371 \cdot \Phi$$

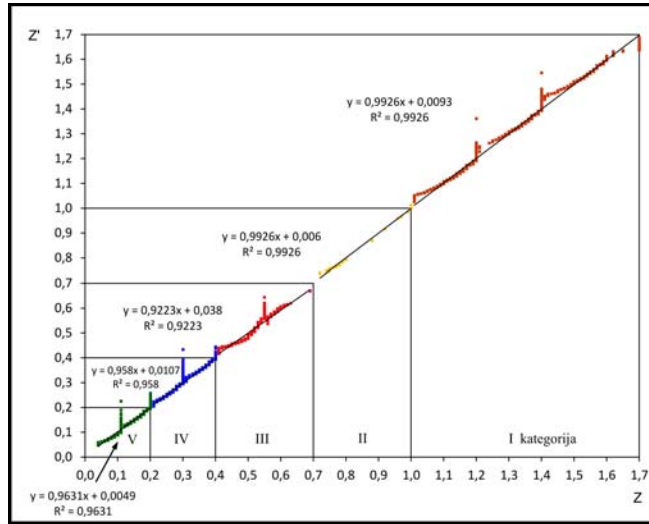
**Табела 5. Излазна табела регресионе анализе и регресиони модел за V категорију ерозије**

<i>Regression Statistics</i>						
Multiple R	0,981380292					
R Square	0,963107278					
Adjusted R Square	0,963095633					
Standard Error	0,006897019					
Observations	6339					
<i>ANOVA</i>						
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	
Regression	2	7,868137895	3,93406895	82702,596	0	
Residual	6336	0,301396353	4,7569E-05			
Total	6338	8,169534248				
	<i>Standard</i>					
	<i>Coefficients</i>	<i>Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,006655927	0,000401851	-16,563188	2,3553E-60	-0,00744369	-0,005868164
I_srednje	0,003560336	1,28267E-05	277,571822	0	0,003535191	0,003585481
Φ	0,545752771	0,002150287	253,804648	0	0,541537481	0,549968061

$$Z - V_{\text{kategoriја}} = -0,006655927 + 0,003560336 \cdot I_{sr} + 0,545752771 \cdot \Phi$$

У целини, анализирајући све излазне табеле регресионе анализе, могуће је закључити да постоји јака повезаност између коефицијента ерозије (Z), као зависне варијабле и средњег пада  $I_{sr}$  и вриједности коефицијента вида ерозије  $\Phi$  као независних варијабли. Осим тога, анализирана статистичка значајност регресионог модела уз ниво ризика од 1% (или 5%) указује да барем једна од регресионих варијабли статистички значајно утиче на вриједност коефицијента ерозије Z, док је потврђена и статистичка значајност појединих регресионих коефицијената, што значи да уз ниво ризика од 1% (или 5%) обе регресионе варијабле статистички значајно утичу на варијаблу Z, тј. коефицијент ерозије.





Сл. 2. Корелација  $Z'$  добијеног регресионим моделима и  $Z$  добијеног картирањем ерозије емпиријском методологијом С. Гавриловића и Р. Лазаревића.

Примјена добијених регресионих модела за поједине категорије ерозије у оквиру базе података ерозије Републике Српске, и корелација са вриједностима добијеним аналитичким и поступком одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ) према таблицама Р. Лазаревића, указала је на високу корелативност резултата који су добијени примјеном регресионих модела.

### Закључак

Добијени резултати указују на оправданост коришћења регресионих модела у поступку одређивања коефицијента ерозије ( $Z$ ), а у суштини представљају замјену за таблице које је креирао Р. Лазаревић у оквиру "Новог поступка за одређивање коефицијента ерозије  $Z$ " (Лазаревић, 1985). Анализирајући корелативност резултата добијених регресионим моделима и резултата који су добијени у току картирања ерозије на територији Републике Српске, утврђен је коефицијент детерминације  $R^2 = 0,9963$  ( $y = 0,9963x + 0,0012$ ), што у суштини представља добру оцјену добијених модела. Наравно, ова анализа и израда регресионих модела укључила је само оне варијабле које је анализирао Р. Лазаревић у свом поступку одређивања коефицијента ерозије  $Z$ , а није укључивала варијаблу  $X$  и  $Y$  јер је она већ садржана у коефицијенту вида ерозије  $\Phi$ , односно он је одређен на бази података претходне две варијабле.

Извршено иновирање постојеће методологије умногоме ће допринијети лакшем и бржем одређивању коефицијента ерозије ( $Z$ ), а добијени резултати су у потпуности квантификовани, чиме су избјегнуте субјективне грешке које настају као резултат квалитативних оцјена и анализа.

### Захвалност

Аутори овог рада изражавају посебну захвалност др Раденку Лазаревићу за све године које је провео у несребичном преношењу знања и искуства. Резултати који су презентовани у овом раду одраз су његовог менторског рада и огромног искуства које је пренио на своје ученике.

## Литература

- De Vente, J., Poesen, J., (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews* 71 (1-2), 95-125.
- De Vente, J., Poasen, J., Bazzofi, P., Van Rompaey, A. and Verstraeten, G. (2006). Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins. *Earth Surface Processes and Landforms* 31: 1017-1034. DOI: 10.1002/esp.105 Proceedings Seminar Erosion, Torrents, and sediments: p. 85-100.
- Драгићевић, С. и Степић, М. (2006). Промене интензитета ерозије у сливу Љига – утицај антропогеног фактора. *Гласник српског географског друштва*, 86 (2), 37-44.
- Драгићевић, С. (2007). *Доминантни ерозионни процеси у сливу Колубаре*. Београд: Географски факултет, Београд: Јантар група.
- Драгићевић, С., Манојловић, П., Николић, Ј. (2007). Методолошка грешка утврђивања концентрације суспендованог наноса на нашим рекама. *Гласник српског географског друштва*, 87 (1), 15-22.
- Драгићевић, С., Новковић, И., Милутиновић, М. (2009). Промене интензитета ерозије на територији општине Зајечар. *Гласник српског географског друштва*, 89 (4), 3-10.
- Dragicevic, S., Tosic, R., Milevski, I., (2009). Recent changes of the erosion intensity caused by anthropogenic influence on the territory of Serbia, Republic of Srpska and Macedonia, *International Scientific Symposium "Geography and Sustainable Development" Ohrid*, p. 159-168.
- Гавриловић, С. (1962). Прорачун средње годишње количине наноса према потенцијалу ерозије. *Гласник шумарског факултета*, 26.
- Гавриловић, С. (1972). *Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији*. Београд: Изградња.
- Костадинов, С. (1985). *Истраживање режима наноса у бујичним токовима Западне и Југоисточне Србије*. Београд: Шумарски факултет, докторска дисертација.
- Лазаревић, Р. (1969). Ерозија у сливу Гвоздачке реке - прилог методици за израду карте ерозије. *Гласник српског географског друштва*, 49 (2).
- Лазаревић, Р. (1971). Методика истраживања интензитета водне ерозије. *Зборник радова Института за шумарство и дрвну индустрију*, књ. 10.
- Lazarević, R. (1985). Novi postupak za određivanje koeficijenta erozije (Z). *Erozija – stručno-informativni bilten*, 13, 53-61.
- Lazarević, R. (1985a). Karta erozije SR Bosne i Hercegovine, Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Institut za šumarstvo i drvenu industriju Beograd, str. 2-43.
- Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., and Iverson, L.R. (1996). Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographical Information Science* 10 (5), 629-641.
- Тошић, Р. (2006). *Ерозија у сливу ријеке Укрине*. Бања Лука: Географско друштво Републике Српске.
- Tošić, R. (2007). Kartiranje erozije zemljišta u funkciji zaštite površinskih voda. *Zbornik radova "Prvi međunarodni kongres Ekologija, zdravlje, rad, sport"*. Banja Luka, 61-65.
- Tošić R. (2007a). Problem erozije i upravljanje nanosom u Republici Srpskoj. *Međunarodni naučni skup "Srbija i Republika Srpska u regionalnim i globalnim procesima"*, Trebinje, 221-228.
- Tošić, R. (2007b). Geomorfološka baza podataka i njena primjena u kartiranju erozije, *Međunarodni naučni skup "Srbija i Republika Srpska u regionalnim i globalnim procesima"*, Trebinje. 661-670 .
- Tošić, R. (2008). Riječni nanos-resurs Republike Srpske. *Glasnik Geografskog društva Republike Srpske*, 12, 161-176.
- Tošić, R. (2008). Geomorfološko kartiranje primjenom savremenih tehnologija. *Glasnik Geografskog društva Republike Srpske*, 12, 109-119 .
- Tošić, R. (2008). Erozija u Republici Srpskoj i Bosni i Hercegovini. *Glasnik Geografskog društva Republike Srpske*, 12, 23-36.
- Tošić, R., Blagojević, B. (2008). Savremene tehnologije u istraživanju erozionih procesa. *Zbornik radova "Drugi međunarodni kongres Ekologija, zdravlje, rad, sport"*, Banja Luka, 323-329.
- Tošić, R. (2008). Savremeni pristup upravljanju rizicima od bujičnih poplava. *Zbornik radova sa naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem "Savremene tehnologije za održivi razvoj gradova"*, Institut zaštite, ekologije i informatike, Banja Luka, 451-460.
- Tošić, R., Hrkalović, D. (2009). Inovacija Karte erozije Republike Srpske. *Časopis agencije za vodno područje rijeke Save "Voda i mi"*, Sarajevo, 54-66.
- Tošić, R., Lazarević R., Hrkalović, D. (2006-2011). "Inovacija Karte erozije Republike Srpske", Zavod za Vodoprivredu Bijeljina, Republička direkcija za vode Republike Srpske, Bijeljina, Agencija za vode oblasnog riječnog sliva Save, Bijeljina, Agencija za vode oblasnog riječnog sliva Trebišnjice, Trebinje.
- Tošić, R., Dragičević, S., Kostadinov, S., Dragović, N. (2011): Assessment of soil erosion potential by the USLE method: Case study: Republic of Srpska – BiH. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20 (8), 1910-1917.
- Živić, M., Lovrić, M., Pavličić, D. (1996). *Metodi statističke analize*. Београд: Економски факултет, стр. 545.

## METHODOLOGY UPDATE FOR DETERMINATION OF THE EROSION COEFFICIENT (Z)

RADISLAV TOŠIĆ \*<sup>1</sup>, SLAVOLJUB DRAGIĆEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Faculty of Natural Sciences, M. Stojanovica 2, Banja Luka, Republic of Srpska*  
<sup>2</sup>*University of Belgrade- Faculty of Geography, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia*

**Abstract:** The research and mapping the intensity of mechanical water erosion that have begun with the empirical methodology of S. Gavrilović during the mid-twentieth century last, by various intensity, until the present time. A many decades work on the research of these issues pointed to some shortcomings of the existing methodology, and thus the need for its innovation. In this sense, R. Lazarević made certain adjustments of the empirical methodology of S. Gavrilović by changing the tables for determination of the coefficients  $\Phi$ , X and Y, that is, the tables for determining the mean erosion coefficient (Z). The main objective of this paper is to update the existing methodology for determining the erosion coefficient (Z) with the empirical methodology of S. Gavrilović and amendments made by R. Lazarević (1985), but also with better adjustments to the information technologies and the needs of modern society. The proposed procedure, that is, the model to determine the erosion coefficient (Z) in this paper is the result of ten years of scientific research and project work in mapping the intensity of mechanical water erosion and its modeling using various models of erosion in the Republic of Srpska and Serbia. By analysing the correlation of results obtained by regression models and results obtained during the mapping of erosion on the territory of the Republic of Srpska, a high degree of correlation ( $R^2 = 0.9963$ ) was established, which is essentially a good assessment of the proposed models.

**Keywords:** soil erosion, erosion mapping, erosion coefficient (Z), type of erosion coefficient ( $\Phi$ ), regression models.

### Introduction

In the last few decades a number of different erosion models with a different spatial and temporal basis have been developed, which is their conceptual base, and all in order to understand better the rightness of the erosion process and sediment transport. The focus of most studies was to improve the three main groups of models: empirical, conceptual, but also the models based on physical principles. However, a unique erosion model that could be applied to any level of the basin, while giving the reasonable output results, has not been yet developed. The difficulties in defining a comprehensive model of erosion result from the complexity of erosion processes of nature, its spatial heterogeneity, but most often the lack of adequate measurements in order to obtain the relevant input data which are used in erosion models (Kostadinov, 1985; de Vente et al., 2006; Tošić, 2006, 2007, 2008, Tošić et al., 2011; Dragićević, 2002, 2007, Dragićević et al., 2007a, 2009). The input data are the basis of erosion models and therefore the development and use of available models is inextricably linked with the real data available.

Over recent decades there has been a significant progress in the proper understanding and modeling of the erosion process and sediment transport, and the emphasis was on relatively small spatial units and the process in different spatial dimensions and time scales (especially in terms of erosion models based on physical principles). However, besides this, the empirical erosion models have not been rejected and are still applied for the erosion modeling on the basin level. Therefore, there still remains a strong need for continuation of the research in this area and in order to select the most appropriate erosion models for determination of the sediment production and transport within our region.

In the development of modern science of erosion and floods in our geospace, the pioneering role was played by the forest engineers who laid the foundations for further research in this area. Apart from them, a significant contribution was provided by the geomorphologists, firstly by Dr. Radenko Lazarević who paved the way for further geomorphological researches of the mechanical water erosion intensity, and then followed his disciples and followers.

The main objective of this paper is to update the existing methodology of Dr. Radenko Lazarević which relates to "New procedure for determining the coefficient of erosion" (Lazarević, 1985). The proposed procedure, that is, the model to determine the erosion coefficient (Z) in this paper is the result of ten years of scientific research and

project work in mapping the intensity of mechanical water erosion (Erosion map of the Ukrina basin - Tošić, 2006; and Kolubara - Dragičević, 2007; Erosion map of the Republic of Srpska – Tošić et al., 2006 - 2011), and the erosion modeling using various models of erosion on the territory of the Republic of Srpska and Serbia (USLE - Tošić et al., 2011, CORINE).

### **Research Methodology**

#### *1. Methodology of R. Lazarević for determination of the erosion coefficient Z*

A chronological display of our work so far to research the intensity of mechanical water erosion and erosion mapping, is almost impossible within the framework of this paper. Of course, this is not the intention, but it is important to note that it has started in the fifties of the last century with the empirical methodology of S. Gavrilović and it lasts, by different intensity, until the present time. The empirical methodology of S. Gavrilović has become the backbone of the erosion study and called for attention of many colleagues whose focus was the study of erosion and floods.

Work on the research of water erosion intensity, and in particular its mapping, pointed to some shortcomings of the empirical methodology of S. Gavrilović (1962), and therefore the need for its updating. In this sense, R. Lazarević (1969) made certain adjustments of the empirical methodology of S. Gavrilović through changes of the tables for determination of the coefficients  $\Phi$ , X and Y, that is, the tables for determining the mean value of the erosion coefficient (Z). By the use of the above mentioned methodology, the Erosion map of Serbia was made (1966-1971), and by the same methodology with a slightly different approach in determining the erosion coefficient Z, the Erosion map of Bosnia and Herzegovina was made (1980-1985) (Lazarević, 1971, 1985).

The complexity of the analytical method for determination of the coefficient of erosion for each erosion parcel (especially the fact that the parameters Y, X and  $\Phi$  are set visually, and the average slope  $I_{av}$  with topographic maps), indicated by R. Lazarević the fact that only the mean drop is the most reliable parameter, and that consequently the erosion coefficient (Z) "is not determined by the analytical form, which in some cases leads to distortions that are the result of the structure of terms which are included in the form for calculating the coefficient of erosion because some of them show the state of erosion  $\Phi$  and X, and other potential conditions for erosion - erodibility Y,  $I_{av}$  and X" (Lazarević, 1985). For these reasons, there is a justified need to eliminate some of the parameters when Z more shows erodibility, instead of erosion, and by R. Lazarević "elimination of certain parameters and reduction of the erosion coefficient Z to the type of erosion  $\Phi$ , are necessary in all cases where there is a possibility that Z becomes the erodibility coefficient, instead of the erosion coefficient" (Lazarević, 1985).

During the preparation of the Erosion map of Serbia, the above mentioned problems which R. Lazarević showed, pointed to the legitimate need of elaborating a new approach in determining the erosion coefficient Z. "A new method of determining the erosion coefficient Z is based on the type of erosion  $\Phi$ , which is determined in the field and as a common denominator of all the parameters that are part of the form for the coefficient of erosion and mean drop, which is the most objective parameter of the specified form" (Lazarević, 1985). Therefore, the type of erosion  $\Phi$ , which essence makes the manner of the use of land, and in the function of the mean drop, according to this procedure gives the coefficient of erosion Z. According to R. Lazarević "this process better differentiate the value of Z for the entire range of specific categories and subcategories than the analytical form. At the same time, it excludes the need for elimination of certain parameters, in cases where Z would show erodibility, not erosion. In addition, this process speeds up processing and increases the objectivity of the coefficient of erosion" (Lazarević, 1985).

However, the analytical model for determining the coefficient of erosion is not eliminated completely; it is recommended for mapping the small basins or sub-basins and in cases where it is possible to determine objectively the values of the coefficients for the use of land and soil erosion resistance.

A comprehensive work on the mapping of erosion, with extensive experience in the field and cabinet work on making the Erosion map of Bosnia and Herzegovina (more than 40,000 erosion parcels) enabled R. Lazarević to create "tables for determining the coefficient of erosion" (Lazarević, 1985). During the designing of the "assembly" table, the starting point were the following principles: "spans of five categories were taken from S. Gavrilović in order to align the values between the type and the coefficient of erosion, categories and subcategories covering all values of  $Z$  in their range. Exception makes the category V2, where only values of 0.04 to 0.10 occur as the values below 0.04 are less than the exactly determined values for chemical erosion, the values of  $Z$  for all categories starting from 6% of the slope and end with the slope of 50 %, with the exception of I1 category that has values of  $Z$  up to 70% and V2, which has values up to 5%, for the categories of less erosion, which base consists of the type of erosion coefficient  $\Phi$  0.4, 0.3, 0.2 and 0, 1, the erosion coefficient  $Z$  reaches these values with an increase in the slope, while the categories of stronger erosion, which base consists of the type of erosion coefficient  $\Phi$  1.5, 1.3 and 1.1 coefficient of erosion starts with these values, and then increases with the slope increase" (Lazarević, 1985). Therefore, in developing a new procedure for determining the erosion coefficient  $Z$ , according to the author, the essence and the internal structure of the empirical method of S. Gavrilović are preserved.

A new procedure for determining the erosion coefficient ( $Z$ ) of R. Lazarević (1985) represented an important step forward towards a methodological approach in the erosion mapping. However, even after 30 years since R. Lazarević has created a table for determining the erosion coefficient ( $Z$ ), much of the professional community has not looked at its core strengths, so the development of a new methodology for determining the erosion coefficient ( $Z$ ) based on this approach is the only way to fundamentally innovate the process and adapt to new information and technological demands of the times we live in, but also to facilitate work on the Erosion map of an area (Lazarević, 1985, 1985a; Tošić, 2007, 2008, Tošić et al., 2011).

## *2. A new methodological approach for determining the erosion coefficient ( $Z$ )*

During mapping the intensity of erosion in several basins on the territory of the Republic of Srpska and Serbia, we were fully aware of the existing methodology approach of R. Lazarević. However, in preparations for making the Erosion map of the Republic of Srpska, it was necessary to critically review the proposed table for determining the erosion coefficient ( $Z$ ), in order to solve certain dilemmas. **First**, the table created by R. Lazarević (1985, p. 58) is rather complicated to use. If, for example, during determination we have values of the drop between  $11.30^\circ$  and  $12^\circ$ , it is unclear which  $Z$  is assigned, lower or higher. **Second**, the problem of clearly undefined intervals leads to inconsistent estimation of the coefficient  $Z$  and the one and the same processor is not always certain that in any case will keep a uniform principle, and if there are multiple processors, inconsistency is almost a common occurrence. **Third**, the data obtained are very difficult to control, and this implies different mistakes that carry a certain level of uncertainty in the output data in terms of determining the mean coefficient of erosion, and also the production and transport of sediments. **Fourth**, the use of the specified table in determination of the erosion coefficient, or entering data into the attribute table often slows down the work, and this can not be accepted in modern information technology.

*So, the above mentioned reasons indicated the legitimate need of creating a new approach, that is, a new methodology in determining the erosion coefficient (Z), which will continue to be based on the empirical methodology of S. Gavrilović and amendments made by R. Lazarević, but will be adapted to modern information technologies and the needs of modern society.*

In this sense, a completely different approach in determining the erosion coefficient (Z) is created, not only in the field, but also in the processing and creation of a final erosion base that will represent a digital thematic cartographic base, but with an abundance of data and advantages in using.

Basis of preparation should be an air photography, minimum resolution of  $d = 50$  cm, which by the use of an algorithm for automatic detection of land use (as per the table for the coefficient X) and the separation of pixels, and then also the creation of the polygons provides a good definition of the areas of the same use of land. Obtained polygons, by analysis of thematic geological and soil surface, are given the coefficients of the soil erosion resistance (Y), with emphasis to the need that for some projects the SOTER database was done (soil and terrain database), which contains important information about the geological setting and soil types developed on them.

**Figure I. Schematic representation of procedures for determining the erosion coefficient (Z).**

By the use of a digital height model (DEM), a thematic layer of drops is created that overlaps with the manner of the land use polygons, which is assigned the coefficient of X and Y, and using the zonal statistics, each existing polygon is given the average slope  $I_{av}$ . Therefore, for purposes of determining the erosion coefficient (Z) for a certain parcel of erosion is still necessary to determine the coefficient type of erosion  $\Phi$ , which indicates to a state of erosion processes. Determination of this coefficient requests taking into account all the parameters, so it is possible that during the observation of the erosion parcel in the field, the data on the coefficients X and Y are immediately available, and that in this framework it can be easier to define the coefficient of the type of erosion  $\Phi$  for a certain erosion parcel.

The most practical way of response to this request is to use a PDA (Personal Digital Assistant) device that has an integrated GPS receiver. In addition to PDA devices, it is necessary to have adequate software to support and facilitate the integration of GPS and GIS. ArcPad is a software package specifically defined from the group of ArcGIS packages, intended for integrating the GPS and GIS, or for use with the PDA devices that receive "real time" GPS signal. ArcPad contains a database in the form of layers of the .shp format, but also the integrated TIFF surface – air photography s which have passed the process of compression. Within the database it is possible to view data, change attributes based on the characteristics of phenomena that we observe, follow the path towards the pre-defined route and others. The PDA device allows the orientation in the field, comparison of real locations with defined vector polygon (erosion parcel) on the .shp format that we have entered the PDA device and write data to the PDA device to be exported later in a GIS (desktop) environment and do the final mapping base. The PDA device with a previously prepared vector base allows easy location of the polygon without the necessary knowledge of the topography that is needed to determine the position of a polygon on the topographic map. Also, it allows input of parameters into the database in the field, and not on the field maps which requires doing the same job twice. So, this is the best way to determine Z for any erosion parcel. Determination of parameters in this way has also enabled the calculation in the analytical way, but as already pointed out there are many cases where Z indicates erodibility, not erosion. For this reason, it was necessary to test the results obtained by the

analytical approach to determine the erosion coefficient ( $Z$ ) and the results obtained from the tables of R. Lazarević.

In this sense, a regression analysis was performed to determine the relationship between the observed variables, that is, the activity in order to obtain the corresponding analytical and mathematical expression, more exactly the regression model. The main purpose of the model obtained in this way is the explanation of the connection between the observed phenomena, the ability to predict the dependent variables for certain values of one or more independent variables. In our case, we have one dependent variable (coefficient of erosion  $Z$ ), while the coefficient of the type of erosion ( $\Phi$ ) and the average slope of the erosion parcel ( $I_{av}$ ) are independent variables. In this case, it is a multiple regression analysis and that of a multiple linear regression model. The standard form of the multiple linear regression model equation with  $k$  independent variables is as follows:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (1)$$

where:  $a$  – is a constant term or the expected value of the dependent variable ( $Y$ ) when the value of all independent variables ( $X_i$ ,  $i = 1, 2, 3 \dots k$ ) is zero;  $b_i$  – is a regression coefficient that shows the average change in the dependent variable ( $Y$ ) when the corresponding independent variable ( $X_i$ ) increases by one (one unit of measurement), and the other independent variables are fixed. If the regression coefficient  $b_i$  is positive, the relationship between the variables  $Y$  and  $X_i$  is directly proportional (growth of  $X_i$  causes the growth of  $Y$ ), if  $b_i$  is negative, the relationship between the variables  $Y$  and  $X_i$  is inversely proportional ( $X_i$  growth causes the average slope of  $Y$ ). In addition to creating the equation of a multiple linear regression model, the interpreted coefficient of multiple correlation and determination was defined, but also the statistical significance of the model and the statistical significance of individual regression coefficients (regression variables) were assessed. The values mentioned are given in tabular forms: summary output-regression statistics and Anova.

In consideration for the development of regression models for specific categories of erosion, we took two erosion databases. First, the database of the Drenova reservoir basin, which counts 3257 erosion parcels-polygons with defined attributes, and then the erosion database of the Republic of Srpska which counts 28 249 erosion parcels-polygons, from which we created the regression models for specific categories of erosion. In the erosion databases a column of the erosion coefficient values was created obtained from the regression models, followed by the comparative analysis-correlation of the values obtained during mapping by the use of the analytical procedure to determine the erosion coefficient  $Z$  and the procedure that was used in the preparation of the Map of erosion of the Republic of Srpska (according to tables), with values of the erosion coefficient  $Z$  that were obtained from the regression models. So, by creating a database with all the attributes, and then applying the above mentioned regression equations - regression models in a GIS environment, easily and accurately we come to the erosion coefficient  $Z$  for each erosion parcel where we determined the specified attribute parameters. According to the procedure described in the scope of the new methodology, the determination of the coefficient  $\Phi$  for each erosion parcel and then its use and the use of the average slope  $I_{av}$ , and also the regression models for each category of erosion, we can make a Map of erosion in any part of the territory, and also do the estimate of the sediment production and transport for a specific basin.

### **The result analysis**

According to the research methodology shown, based on data resulting from the making of the Map of erosion of the Republic of Srpska, the results of regression analysis are presented, and also the regression and erosion models for specific categories of erosion.

**Tab. 1. Regression analysis and regression model for the I category of erosion**

**Tab. 2. Regression analysis and regression model for the II category of erosion**

**Tab. 3. Regression analysis and regression model for the III category of erosion**

**Tab. 4. Regression analysis and regression model for the IV category of erosion**

**Tab. 5. Regression analysis and regression model for the V category of erosion**

In general, analysing all the output tables of the regression analysis, it is possible to conclude that there is a strong correlation between the erosion coefficient ( $Z$ ) as the dependent variable and the average slope  $I_{av}$  and the type of the erosion coefficient  $\Phi$  as independent variables. In addition, the analysed statistical significance of the regression model with the risk level of 1% (or 5%) indicates that at least one of the regression variables statistically significantly affect the value of the erosion coefficient  $Z$ , and the statistical significance of individual regression coefficients is confirmed, which means that by the level of risk of 1% (or 5%), both regression variables significantly affect the variable  $Z$ , that is, the coefficient of erosion.

**Figure 2. Correlation of  $Z$  'obtained by regression models and  $Z$  obtained by the empirical methodology of erosion mapping of S. Gavrilović and R. Lazarević.**

Application of the obtained regression models for specific categories of erosion within the erosion database of the Republic of Srpska, and the correlation with the values obtained by the analytical method of determining the erosion coefficient ( $Z$ ) according to the tables of R. Lazarević, revealed a high correlation of the results obtained using the regression models.

### **Conclusion**

The results show the justified use of the regression models in the process of determining the erosion coefficient ( $Z$ ), and are essentially a replacement for the tables created by R. Lazarević in the "New procedure for determining the erosion coefficient  $Z$ " (Lazarević, 1985). By analysing the correlation of the results obtained by the regression models and results obtained during the mapping of erosion in the Republic of Srpska, the coefficient of determination  $R^2 = 0.9963$  was determined ( $y = 0.9963x + 0.0012$ ), which is essentially a good assessment of the obtained models. Of course, this analysis and the development of regression models included only those variables that R. Lazarević analysed in his procedure for determining the erosion coefficient  $Z$ , and did not include variables  $X$  and  $Y$  because they were already contained in the coefficient of the erosion type  $\Phi$ , that is, it was determined on the basis of the previous two variables data.

Performed updating of the existing methodology will greatly contribute to easier and faster determination of the erosion coefficient ( $Z$ ), and the results obtained have been fully quantified, thus avoiding the subjective errors that arise as a result of qualitative assessment and analysis.

### **Acknowledgments**

The authors of this paper express their special gratitude to Dr. Radenko Lazarević for all the years he spent in selfless transfer of knowledge and experience. The results presented in this paper are a reflection of his mentoring work and a great experience he conveyed to his students.

### **References**

See references on page 20