

ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ИСТРАЖИВАЊУ ФЛУВИО-ДЕНУДАЦИОНОГ ПРОЦЕСА

Славољуб Драгићевић¹, Марко Ланговић², Новица Ловрић³,
Ивица Милевски⁴, Радислав Тошић⁵

Абстракт: Савремена истраживања флувио-денудационог процеса одржавају корак са бројним технолошким иновацијама које омогућавају прецизна теренска истраживања и поуздану квантификацију интензитета различитих природних процеса. Захваљујући поузданим мерењима и анализама физички географи поседују могућност одређивања интензитета денудације, утврђивања промене морфологије речног корита и насталих последица, батиметријских снимања, одређивања биланса речног наноса, итд. Претходних 15-ак година, развојем лако доступних беспилотних система за снимање из ваздуха, реализована су бројна прецизна аерофотограметријска снимања Земљине површине која су унапредила квантификацију интензитета геоморфолошких процеса и олакшала теренска истраживања у области физичке географије. На основу тога дошло се до довољно егзактних чињеница, на основу којих су остварени потпуно нови резултати и научни искораци о узроцима и интензитету различитих природних процеса, али и моделовање и сценарији будућих стања. Резултати савремених геоморфолошких истраживања налазе примену у свим сегментима савременог друштва и представљају веома значајан и незаобилазан еталон за комплексну анализу рецентних природних услова, планирање и уређење простора, а посебно у области заштите и очувања земљишних и водних ресурса. Кроз неколико различитих примера из праксе којима су обухваћени сливови Колубаре и Јужне Мораве у Србији, Куклица у Северној Македонији, реке Босне и акумулације Дренова у Републици Српској, приказане су најновије технике геоморфолошких истраживања, као и добијени резултати.

Кључне речи: флувиоденудациони процес, савремене технологије, беспилотни системи, аерофотограметрија, ГИС.

УВОД

У савременим геоморфолошким истраживањима, осим топографских карата новијег датума, интензивно се користе сателитски и аерофотоснимци. Последњих 20-так година, постојање овако прецизних снимака нашло је примену у детаљном картирању Земљине површине, изради ДМТ-а (дигитални модел терена) високе резолуције, идентификацији и картирању ерозионих подручја, клизишта, утврђивању промена морфологије речних корита, батиметријским снимањима, итд. Примена савремене УАВ методологије истраживања која се употпуњује ГИС технологијом, омогућава објективније и веродостојније резултате истраживања, а њихова основна карактеристика је димензионираност и проверљивост у пракси.

Убрзани напредак различитих техника дигиталне обраде снимака доводи до револуције у геоморфолошкој анализи терена. Рецентни геоморфолошки процеси, попут денудације и ерозије речних обала, просторно и временски су изразито варијабилни, а њихов мониторинг

¹ Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/III, Београд, Србија, slavoljub.dragicevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1417-5405

² Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/III, Београд, Србија, marko.langovic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4614-7265

³ Универзитет у Бањој Луци – Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, novica.lovric@pmf.unibl.org, ORCID: 0009-0006-0838-4370

⁴ Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ у Скопљу, Природно-математички факултет, Скопље, Северна Македонија, ivicamilovski@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9275-9174

⁵ Универзитет у Бањој Луци – Природно-математички факултет, Бања Лука, Република Српска, Босна и Херцеговина, radislav.tosic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0002-3994-125X

захтева честу и веома прецизну квантификацију процеса. Стога, напредак у фотограметрији и доступност лаких беспилотних летелица (УАВ) обезбеђују потенцијално јефтину алтернативу у циљу снимања и израде 3Д модела топографске површине са високом временском и просторном резолуцијом (Westoby et al., 2012; Long et al., 2016). Нови УАВ уређаји имају своју примарну примену у малим и средњим морфолошким карактеристикама рељефа које се брзо мењају, у распону од неколико центиметара до неколико стотина метара, а налазе примену у различитим геоморфолошким процесима. На основу тога, долази се до довољно егзактних чињеница на основу којих се могу остварити потпуно јасни закључци о узроцима, интензитету и последицама различитих геоморфолошких процеса, али и предвидети нека будућа стања.

У циљу утврђивања интензитета денудације, употребом беспилотних летелица и облака тачака добијених помоћу iPhone 14 pro LiDAR примењене су различите методе и технике снимања геолокације „Куклица“ у близини града Кратова, у Северној Македонији. Различита резолуција снимака омогућила је критички осврт на прецизност добијених резултата и извођење закључка о репрезентативности спроведене квантификације интензитета процеса (Милевски, 2000). У сливу акумулације Дренова у Републици Српској, извршено је прецизно батиметријско снимање применом ехо-сондера у циљу утврђивања акумулације ерозионог наноса и засипања дна акумулације (Tošić et al., 2013).

Развојем лако доступних беспилотних аерофотограметријских система за снимање из ваздуха, реализована су прецизна позиционирања речних обала у сливу Колубаре и Јужне Мораве на територији Србије (Драгићевић и др. 2015; Dragičević et al., 2017; Langović, 2020; Langović et al., 2021, 2024), а која су унапредила квантификацију интензитета процеса флувијалне ерозије и олакшала теренска истраживања. Анализом серије ортофотоснимака различите резолуције из 2001., 2006., 2008. и 2013. године, добијена је временска серија геореференцираних података која је помогла да се утврди динамика интензитета флувијалне ерозије у доњем току реке Босне, у Републици Српској (Tošić et al., 2014; Lovrić & Tošić, 2016).

Циљ овог рада је да се прикажу резултати спроведених истраживања која су унапредила квантификацију интензитета денудације и флувијалне ерозије и олакшала теренска истраживања. Осим тога, идеја је да се превазиђе инертност истраживача која постоји у примени савремених технологија за анализу геоморфолошких процеса и укаже на неопходност оваквих истраживања. Савремене технологије се могу применити на велики број физичкогеографских појава и процеса, а не само у геоморфологији.

Примена савремене методологије истраживања која се употпуњује ГИС технологијом, омогућава објективније и веродостојније резултате истраживања, а њихова основна карактеристика је димензионираност и проверљивост у пракси. Резултати савремених геоморфолошких истраживања налазе примену у бројним потребама друштва и представљају основу за комплексну анализу рецентних природних услова, планирање и уређење простора, а посебно у области заштите и очувања животне средине.

ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОДРЕЂИВАЊУ ИНТЕНЗИТЕТА ФЛУВИОДЕНУДАЦИОНОГ ПРОЦЕСА

Флувиоденудациони процес представља један од најраспрострањенијих и најважнијих геоморфолошких процеса на Земљиној површини. Интензитет овог процеса и морфолошка еволуција флувиоденудационог рељефа могу се веома прецизно реконструисати, али и предвидети будућа стања на терену. Дакле, иако су предвидиви, ови облици су веома просторно-временски динамични и њихова морфолошка еволуција се може прецизно детерминисати помоћу различитих техника.

Током последњих 20 година, велики технолошки искорак је направљен у припреми података за израду Карте ерозије и картирању интензитета водне ерозије (Tošić et al., 2013; Milevski et al., 2007, 2017). Методологија израде Карте ерозије доживела је одређени ниво квалитативне надоградње у делу технике прикупљања, обраде, и визуелизације података. Надоградња се у првом плану односила на примену савремених технолошких достигнућа из области ГИС-а и даљинске детекције и то кроз: примену савремених технолошких достигнућа у припреми подлога и података за теренско рекогносцирање (даљинска детекција и ГИС), коришћење савремених технологија у прикупљању података на терену, обраду и геопроцесирање података прикупљених кабинетским и теренским радом, као и у процесу визуелизације података и излазних резултата.

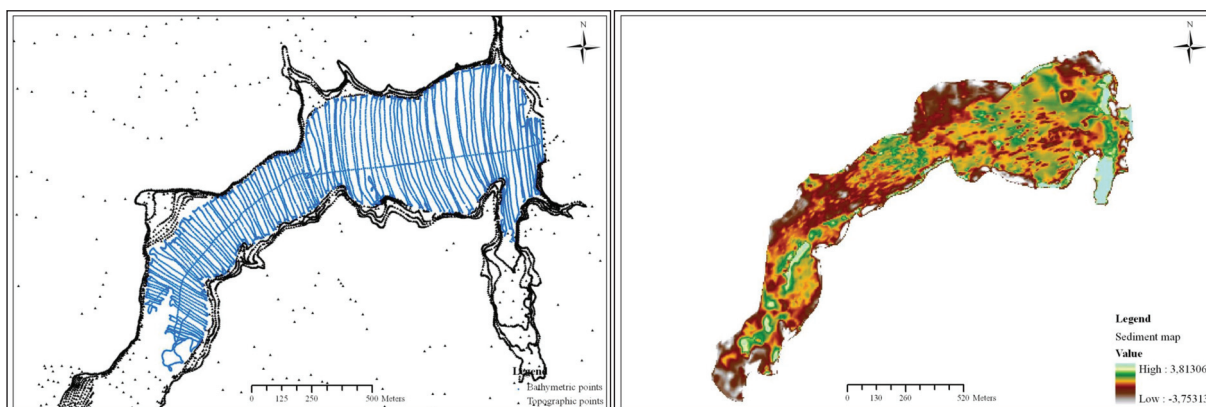
Међутим, онолико колико су савремене технологије олакшале картирање интензитета ерозије земљишта, толико су довеле до упитности добијених резултата? Сходно технолошком напретку и лакшем прикупљању неопходних улазних података за израду Карте ерозије неког простора ушли смо у технолошку замку која нас је довела до симплификоване израде карте ерозије која често не одговара реалном стању интензитета ерозивног процеса на терену. Дакле, уместо да доведе до олакшања прикупљања улазних података и израде карте ерозије што и јесте суштина примене савремених технологија, упали смо у замку потпуне комјутеризације израде карте ерозије, без теренских опсервација и провере добијеног коефицијената и интензитета процеса. Све ово је детаљно разматрано, критички анализирано и публиковано током претходног периода (Тошић & Драгићевић, 2024).

Одступања од јасних методолошких поступака Методе потенцијала ерозије, посебно у делу неизоставног теренског рекогносцирања (које је дуготрајно и захтевно млађим генерацијама), те широка примена сателитских и информатичких технологија (ГИС), које су постале широко доступне, довела је до појаве бројних карата ерозије које су урађене Методом потенцијала ерозије, а чија је поузданост благо речено – упитна (Тошић & Драгићевић, 2024).

У бројним случајевима поставља се питање оправданости и исправности коришћења одређених емпиријских методологија, па и ЕПМ метода, као и образаца за прорачун наноса који доспева до неког речног профила или акумулације. У циљу утврђивања тачности примењиване ЕПМ методологије најчешће се врше батиметријска снимања акумулација и то са циљем одређивања запремине наноса у акумулацији како би се утврдила поузданост резултата који су добијени коришћењем емпиријске методологије и њених образаца. У циљу провере добијених резултата применом Методе потенцијала ерозије, приступило се квантификацији засипања акумулације ерозионим наносом. У ту сврху, коришћене су савремене технике батиметријског снимања дна акумулације Дренова. Засипање акумулација има директан утицај на животну средину и економију, међутим, засипање акумулација пружа и јасну слику о стању ерозије и транспорта наноса у сливу (Тошић, 2012) .

Слив акумулације Дренова смештен је на северу западног дела Републике Српске, у контактної зони са Панонском низијом и административно-територијалном саставу општине Прњавор. Површина слива акумулације Дренова је 68,34 km², слив је део слива реке Вијакe највеће десне притоке реке Украине, који се протеже на површини од 316,09 km².

Геодетско-батиметријска (хидрографска) снимања акумулација интегрисаним системом ГПС-а и ехо-сондера (echo-sounder) један су од начина одређивања дубина и снимања подводних наслага наноса, тј. седимента. На терену, база ГПС-РТК уређаја постављена је на познату геодетску тачку (тригонометарску тачку), док је ровер (Алегро) био постављен и причвршћен за десну – предњу страну чамца. На ровер је причвршћена сонда, а њено постављање у вертикали са ГПС-РТК антеном избегнуто је увођење латралног офсета у рачунању положаја сонде. На тај начин измерена дубина положајно је одговарала координатама добивеним ГПС – ом, те их је било потребно редуцирати само за вертикалну удаљеност између фазног центра ГПС антене и сонде (26 cm). На терену, база ГПС-РТК уређаја постављена је на познату геодетску тачку (тригонометарску тачку), док је ровер (Алегро) био постављен и причвршћен за десну – предњу страну чамца. На ровер је причвршћена сонда, а њено постављање у вертикали са ГПС-РТК антеном избегнуто је увођење латралног офсета у рачунању положаја сонде. На тај начин измерена дубина положајно је одговарала координатама добивеним ГПС – ом, те их је било потребно редуцирати само за вертикалну удаљеност између фазног центра ГПС антене и сонде (26 cm).



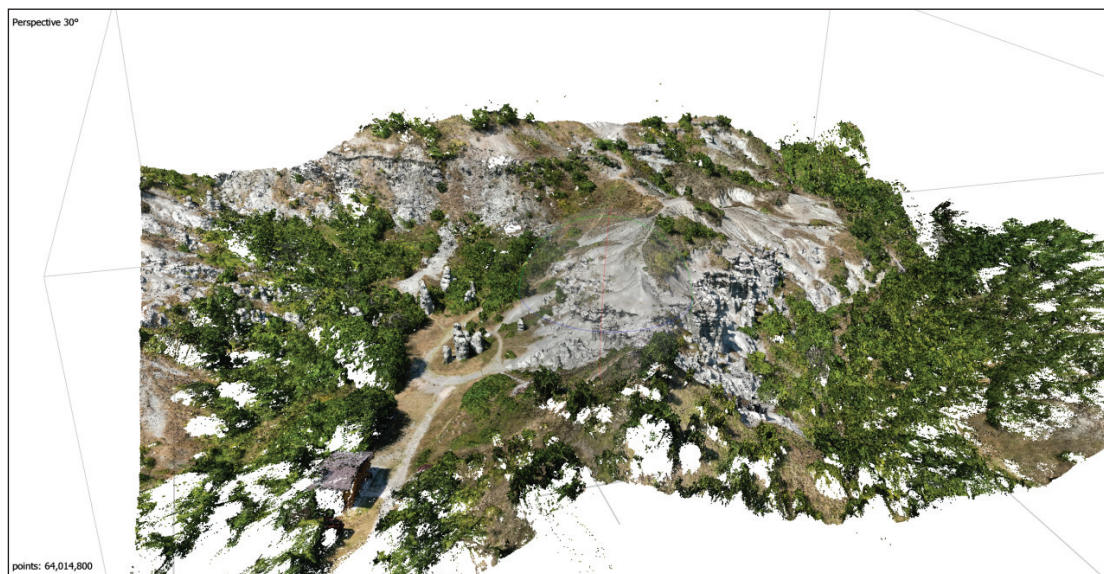
Сл. 1. Локација батиметријских и топографских премера у акумулацији Дренова и дигитални модел акумулације седимената према стању из 2011. године

У одређивању запремине наслага седимента (наносних наслага), након израде модела и дефинисању попречних профила, кориштен је метод профила и метод одређивања запремине на основу поређења (одузимања) два дигитална модела терена ("нулто" и "савремено стање") исказано кроз дигиталне моделе терена – акумулације и непосредног окружења акумулације Дренова.

Резултати батиметријско-геодетских снимања акумулационог простора указују да је укупна количина наноса-акумулационог материјала 348 216,00 m³. Дакле, ова је вредност утврђена на основу геодетско-батиметријских снимања простора акумулације који је под водом и простора који је засут материјалом, а некада је био у зони нормалног успора (Тошић, 2012; Тошић et al., 2013).

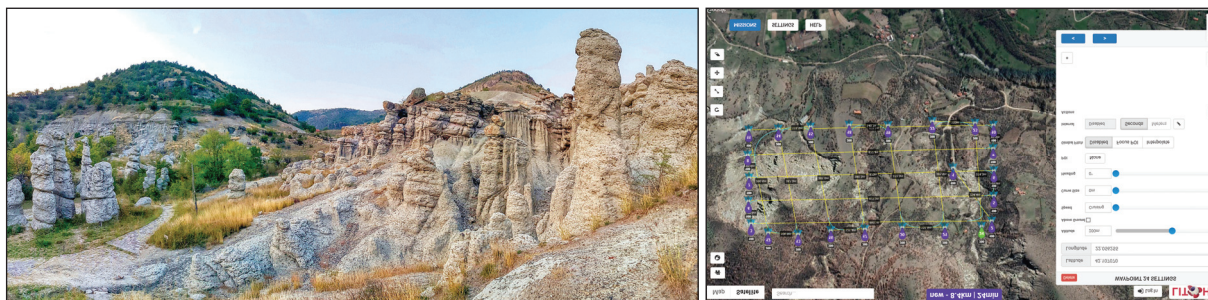
За утврђивање интензитета денудације користе се савремене технике снимања. Од бројних истраживања помоћу беспилотних летелица, у овом раду су приказане методе и технике снимања геолокације „Куклица“ у близини града Кратова, у Северној Македонији. Куклица је редак природни комплекс земљаних пирамида од изузетног научног, образовног, туристичког и културног значаја. У овој области било је репрезентативно проучавати интензитет геоморфолошких процеса на овом типу денудационих облика рељефа и различите нивое морфолошке еволуције, од почетних (стадијум младости) до скоро потпуне деструкције (стадијум старости). Због свог значаја, геолокација Куклица је 2008. године проглашена спомеником природе и законом заштићеним подручјем. Међутим, након проглашења, интересовање за посету овом локалитету убрзано расте, као и претње његове потенцијалне деградације. Због тога, антропогени утицај почиње да се испољава кроз бројне интервенције које су извршене на овом подручју последњих година (асфалтиране стазе, канали, инфо-кућа, тоалети итд.). Уз повећану опасност од деградације Куклице и уништавања појединачних облика рељефа, јавља се потреба за детаљним пописом и праћењем овог локалитета. С обзиром на малу величину локалитета (0,8 km²), бесплатно доступни сателитски снимци и дигитални модели надморске висине не дозвољавају његову свеобухватну анализу и праћење (мониторинг), посебно појединачних облика.

Широм света, за визуелна и 3Д истраживања или праћење сличних геолокација све више се користе нови алати, укључујући УАВ (беспилотна летелица) и LiDAR (облак тачака). С обзиром да је професионални LiDAR веома скуп и још увек тешко доступан, у овом истраживању је коришћен УАВ (дрон *Dji Mini Pro 3*). Прво је прецизно дефинисана путања лета и висина УАВ-а, као и земаљски маркери (контролне тачке). Користећи софтвер *Agisoft Metashape* урађен је дигитални модел елевације и ортофото снимак ултра-високе (поддециметарске) резолуције. Поступком је забележено више од 100 земљаних пирамида, висине од 1-2 до 8,4 m.



Сл. 2. УАВ-базирани 3Д ортофото модел геолокалитета Куклица са идентификацијом рељефне подлоге и вегетације

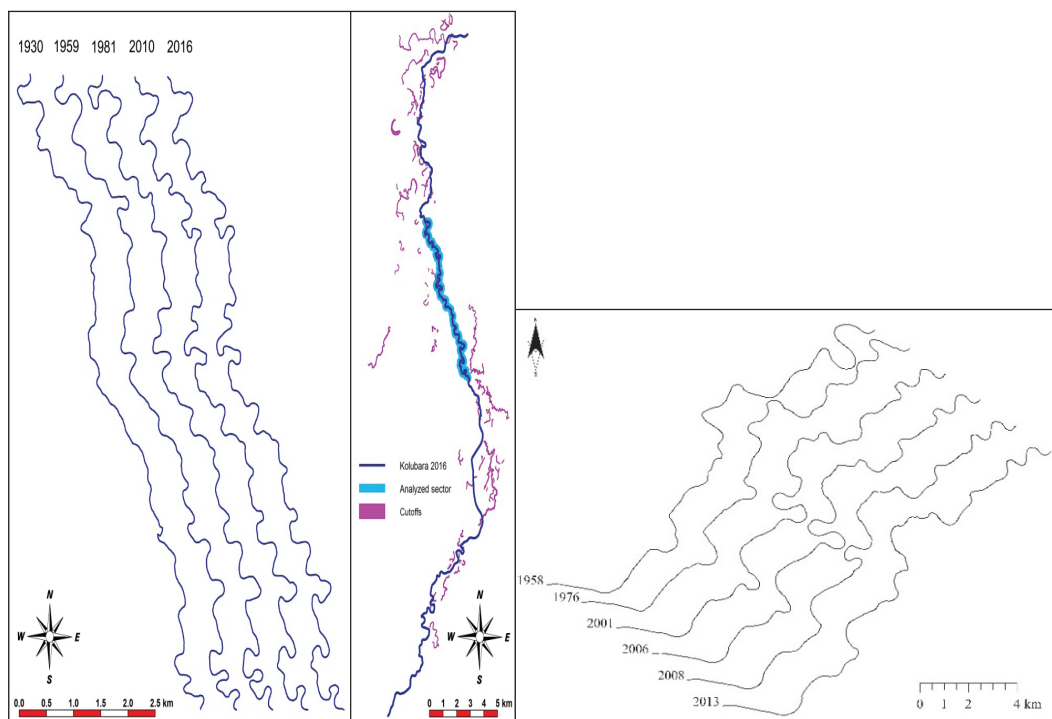
У овој фази истраживања реализован је веома тачан 3Д модел 5 највећих земљаних пирамида који је заснован на УАВ (тачност се проверава помоћу *iPhone 14* про *LiDAR* модула), а њихова морфометријска својства су израчуната и анализирана уз процену свих важних морфометријских параметара. Коначни циљ је праћење промена и минимизирање деградације јединственог пејзажа, чиме се геолокација и њене вредности много боље штите.



Сл. 3. Геолокација Куклица и припрема планског снимања

Морфолошка еволуција и интензитет латералне компоненте флувијалног процеса током последњих 20-так година анализирана је сагледавањем просторне и временске променљивости флувијалне ерозије за главне водотоке на територији Србије. Осим топографских карата које представљају базну основу за израду уздужних речних профила и одређивање морфометријских карактеристика флувијалног рељефа, данас се користе и бројне савремене технике. Савремене технике пружају могућност за анализу флувијалних облика рељефа широм света помоћу различитих серија сателитских снимака и Google Earth-а. Због постојања могућности коришћења софтвера *Google Earth* и његове технике „*Historical Imagery*” омогућено је врло детаљно истраживање промена флувијалног рељефа. Примена ових техника је омогућила лакшу визуелизацију и квантификацију насталих промена, али и разумевање интензитета флувијалног геоморфолошког процеса и повезаних облика рељефа помоћу виртуелно вођеног флувијалног обилажења локација. Виртуелне могућности анализе интензитета процеса флувијалне ерозије представљају основу за теренска истраживања, која обухватају снимање терена помоћу беспилотних летелица (дронов) и правилан избор локација за успостављање мониторинга обала.

Прве реконструкције промена морфологије речних корита коришћењем геотопографског материјала, Google Earth-а и серије снимака различите размене и резолуције извршена су у доњем току реке Колубаре (Драгићевић и др., 2008, 2012, 2013; Roksandić et al., 2011, Dragičević et al., 2017 a,b).



Сл. 4. Промена морфологије речних корита Колубаре и Босне током анализираних периода

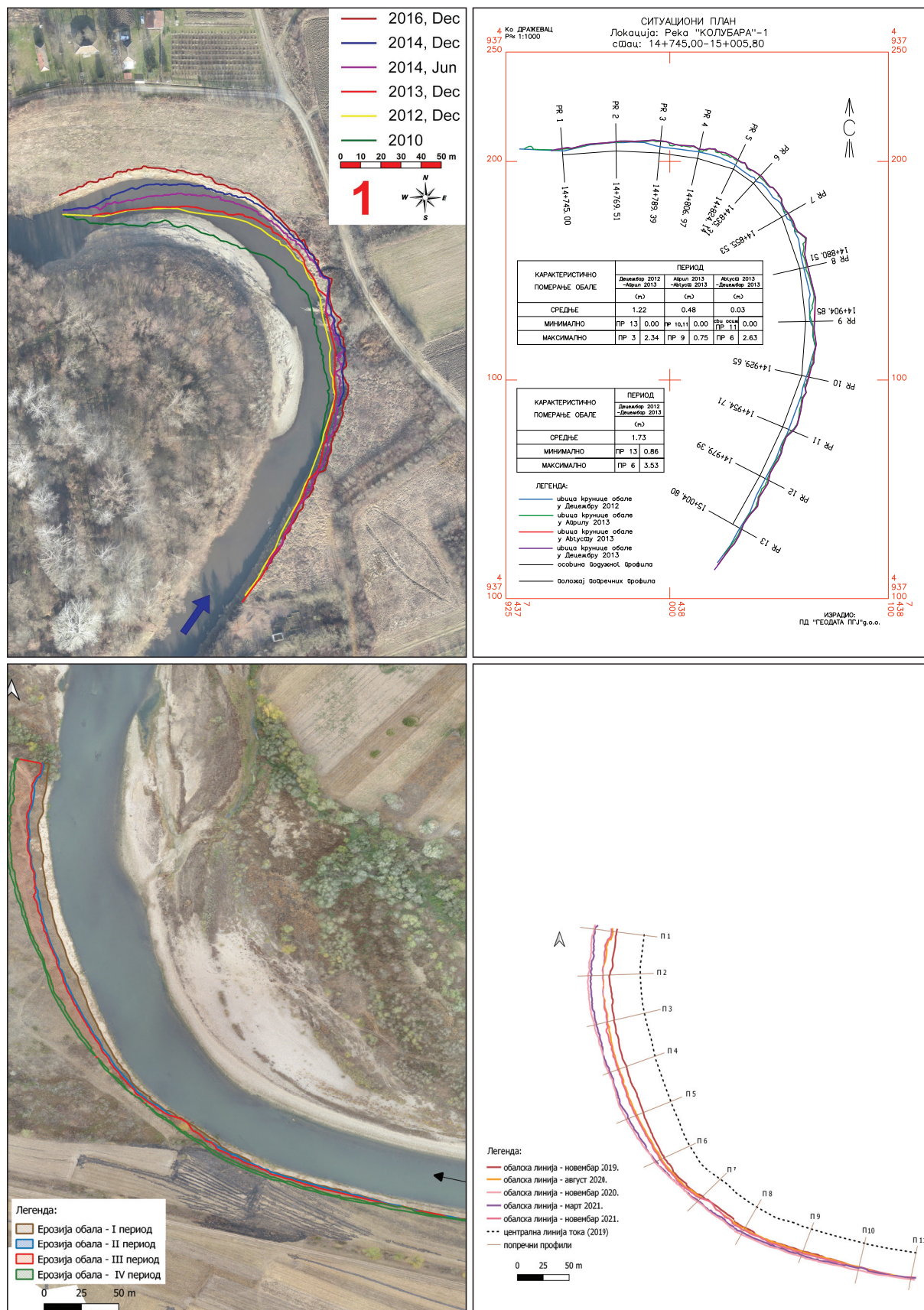
Након прелиминарних истраживања, успостављања и верификације методологије, настављена су истраживања и у другим сливовима на територији Србије, где је доминантан процес ерозије речних обала и промене морфологије речних корита (Langović et al., 2021).

У зависности од доступности података, коришћени су различити скупови података временских серија како би се одредиле максималне вредности латералног померања речних корита. Поређењем података из различитих периода дефинисана је еволуција положаја речног корита у различитим временским серијама и одређене стопе миграције речних обала и корита. Дефинисани период за три реке, Велику Мораву, Западну Мораву и Јужну Мораву износио је око 100 година, у којима су промене речних обала биле веома значајне (највећа удаљеност померања обала за Велику Мораву – 608,5 m за период 1923-2019.). Вредности најдуже просечног померања обале показују да су средње стопе миграције обала реке 6,3 m/god (Велика Морава), 4,5 m/god (Јужна Морава) и 3,4 m/god (Западна Морава). У случају реке Колубаре, анализиран је период од 90 година (1930-2019) који је дао максималну просечну ерозију обале од 2,8 m/god. Подаци из другог дела периода (1968-2019) показују да је највећа просечна удаљеност померања обала 3,1 m/god, што указује на повећану динамику речних обала у последњих 50 година. Сличан случај је идентификован на два сектора на Западној Морави (3,6 m/god) и Јужној Морави (4,6 m/god), за период 1969-2019. Што се тиче осталих река, проучавани временски период је краћи (око 50 година) и забележена миграција обала се креће од 1,6 m/god за реку Млаву до 12 m/god за реку Дрину. Река Дрина представља веома значајан пример меандрирања реке због високе вредности најдуже удаљености померања обале (529 m), великог броја пресечених меандара и напуштених речних канала (Langović et al., 2021).

Истраживањима која су реализована помоћу даљинске детекције и ГИС-а у доњем току реке Босне у Републици Српској, реконструисане су настале промене, чиме је утврђено да су се облик и положај реке променили током периода 1958–2013. Максимално померање корита реке Босне износило је 132,4 m, а просечно је 2,5 m годишње (Lovrić & Tošić, 2016).

Теренским истраживања је утврђено да краткорочно гледано (short term), ерозија обала и миграција речних канала су под великим утицајем екстремних климатских услова и варијабилности речног протока. Стога, временске серије сателитских и ортоснимака нису биле у могућности да обезбеде брзе информације о променама речних обала, па се приступило примени УАВ (беспилотна летелица) система. Примена ових система омогућила је квантификовање насталих промена након проласка поплавних таласа, односно екстремних климатско-хидролошких дешавања. Примера ради, екстремна ерозија обала догодила се у Србији 2014. године, након што је поплавни талас прошао. У сливу реке Колубаре током четвородневног проласка поплавног таласа дошло је до стопе ерозије обала од 7,1 m, што је износило 30,3% губитка земљишта за четири године посматрања (2010–2014) (Dragičević et al., 2017a).

До сада, снимања обала Колубаре и Јужне Мораве (сл. 5) вршена су помоћу беспилотних летелица различитих техничких могућности, различитих оптичких и летних могућности. Прва снимања обала реке Колубаре су извршена помоћу беспилотне летелице SenseFly eBee, а затим коришћењем дрона Phantom 4 pro, Parrot ANAFI Work, DJI Air 2 и DJI Mini Pro 4. Снимања су вршена са висине од 45 m по претходно испланирај рути, односно коришћен је плански поступак употребе дрона (коришћењем апликације Pix4D capture). Извршеним снимањима добијен је велики број фотографија које су касније софтверски обрађене чиме су добијени комплетни ортофото снимци четири истраживачка сектора. Резолуција обрађених ортофото снимака износила је 4 cm/pixel. На исти начин израђени су и дигитални модели рељефа истражног простора, који су касније коришћени у детаљнијој анализи висина обалског појаса и вегетационог покривача. На основу добијених података приступило се анализи основних морфометријских показатеља, односно индекса синусоидности и разуђености, као и геометријских елемената меандарских кривина, итд.



Сл. 5. Резултати снимања обала Колубаре и Јужне Мораве вршена помоћу беспилотних летелица

ЗАКЉУЧАК

Приказани резултати геоморфолошких истраживања током последњих 20-так година у потпуности су у складу са светским трендовима и савременим технолошким токовима. Ова истраживања су у тесној вези са осталим физичкогеографским дисциплинама, пре свега хидрологијом и биогеографијом, јер су наведени процеси директно детерминисани или модификовани количином воде и карактеристикама вегетације. Осим у геоморфологији, ове технике се могу користити и у анализи плавних зона, карактеристика вегетационог покривача, итд.

Употреба савремених техника за потребе проучавања годишње, сезонске и рецентне динамике интензитета флувиоденудационог процеса све више добија на значају. Повећање интензитета и фреквенције екстремних метеоролошких и хидролошких догађаја (поплава и суша) као последица климатских промена, али и све интензивнији директни утицаји човека на различите елементе природне средине захтевају већи број истраживања ове тематике и осавремењивање техника и метода које се користе у физичкогеографским истраживањима.

Широм света, за визуелна и 3Д истраживања или мониторинг значајних геолокалитета све више се користе нови алати, укључујући УАВ (беспилотна летелица) и LiDAR (облак тачака). С обзиром да је професионални LiDAR још увек веома скуп и тешко доступан, на нашим просторима све чешће се користе мали и лако преносни УАВ (дронов), у задње време опремљени моћним камерама и допунским сензорима (инфрацрвеним, мултиспектралним и сл.). Ортофото снимци и дигитални модели добијени помоћу њих, могу имати (по потреби) суб-дециметарску тачност што омогућује регистровање, мерење и анализу чак и сасвим малих просторних и морфолошких промена. Свакако, за сада, највећи је проблем добијања ДТМ-а са дронских ортофото снимака (посебно уклањање вегетационог покривача), али и напретком софтвера и вештачке интелигенције, као и са комбинацијом радарских сателитских снимака, тај проблем ће се убрзо решити.

Наравно, и поред све доступније савремене технологије остаје велика улога људског фактора, његовог знања и припремљености да те технологије искористи на најбољи начин, али и да добијене резултате провери и потврди сопственим теренским опсервацијама и сазнањима. Сви приказани резултати савремених истраживања флувиоденудационог процеса у Србији и државама у окружењу имају велики практичан значај и примену у различитим сегментима друштва и привреде. Исти, представљају основу за комплексну анализу природних услова, планирање и уређење простора, изразу катастрофа и стратегија деградираних површина, док су посебно значајни и за секторе заштите животне средине и водопривреде.

ЛИТЕРАТУРА

- Драгићевић, С., Степић, М. & Карић, И. (2008). **Природни потенцијали и деградирани површине општине Обреновац**. Београд: Јантар група, 1-180.
- Dragicevic, S., Zivkovic, N., Roksandic, M., Kostadinov, S., Novkovic, I., Tomic, R., Stepic, M., Dragicevic, M. & Blagojevic, B. (2012). **Land Use Changes and Environmental Problems Caused by Bank Erosion: A Case Study of the Kolubara River Basin in Serbia**. *Environmental Land Use Planning*, Seth Appiah-Opoku (Ed.), ISBN: 978-953-51-0832-0, InTech, 3-20.
- Dragičević, S., Tošić, R., Stepić, M., Živković, N. & Novković, I. (2013). **Consequences of the River Bank Erosion in the Southern Part of the Pannonian Basin: Case Study – Serbia and the Republic of Srpska**. *Forum geografic*, 12(1), 5-15.
- Драгићевић С., Живковић Н., Роксандић М., Луковић Ј., Костадинов С. (2015). **Рецентно стање, интензитет и последице деградације обала Колубаре на територији општине Обреновац**. Географски факултет, Београд, стр. 1-266.
- Dragicevic, S., Stojanovic, Z., Manic, E., Roksandic, M., Stepic, M., Zivkovic, N., Zlatić, M. & Kostadinov, S. (2017a). **Economic consequences of bank erosion in the lower part of the Kolubara River Basin, Serbia**. *Environmental engineering and management journal*, 16(2), 381-390.
- Dragičević, S., Pripužić, M., Živković, N., Novković, I., Kostadinov, S., Langović, M., Milojković, B. & Čvorović, Z. (2017b). **Spatial and Temporal Variability of Bank Erosion during the Period 1930–2016: Case Study—Kolubara River Basin (Serbia)**. *Water*, 9(10), 748. doi:10.3390/w9100748
- Langović, M. (2020). **Investigation of the lateral channel migration: A case study of the South Morava River (Serbia)**. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 100(1), 1–21, doi: 10.2298/GSGD2001001L.
- Langović, M., Dragičević, S., Novković, I., Živković, N., Tošić, R., Milojković, B. & Čvorović, Z. (2021). **Assessment of the soil loss caused by riverbank erosion in Serbia**. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 101 (1), 31-47. DOI: 10.2298/GSGD2101031L

- Ланговић, М. (2022). **Просторно-временска динамика ерозије обала Јужне Мораве**. Докторска дисертација. Универзитет у Београду, Географски факултет.
- Langović, M., Popović, S., Dragičević, S., Manić, E. & Stojanović, Ž. (2024). **The Economic consequences of riverbank erosion: Case study- the South Morava, Serbia**. *Water economics and policy*. <https://doi.org/10.1142/S2382624X24500036>.
- Long, N., Millescamp, B., Guillot, B., Pouget, F. & Bertin, X. (2016). **Monitoring the topography of a dynamic tidal inlet using UAV imagery**. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs8050387>.
- Lovric, N. & Tomic, R. (2016). **Assessment of Bank Erosion, Accretion and Channel Shifting Using Remote Sensing and GIS: Case Study – Lower Course of the Bosna River**. *Quaestiones Geographicae*, 35(1), 81-92. <https://doi.org/10.1515/quageo-2016-0008>.
- Милевски, И. (2000). **Земјани пирамиди во Куклица – Кратовско**. *Географски разгледи*, 35 Скопје, 13-28.
- Milevski, I., Dragičević, S. & Kostadinov, S. (2007). **Digital elevation model and satellite images and assessment of soil erosion potential in the Pcinja catchment**. *Bulletin of the Serbian Geographical Society*, 88(2).
- Milevski, I., Dragicevic, S. & Radevski, I. (2017). **GIS and Remote Sensing based natural hazard modelling of Kriva River catchment, Republic of Macedonia**. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 61(2), 213-228.
- Roksandic, M., Dragicevic, S., Zivkovic, N., Kostadinov, S., Zlatić, M. & Martinovic, M. (2011). **Bank erosion as a factor of soil loss and land use changes in the Kolubara river basin, Serbia**. *African journal of agricultural research*, 6(32): 6604-6608.
- Tošić, R. (2012). **Sliv akumulacije Drenova**. *Geografsko društvo Republike Srpske*. Banja Luka, 356.
- Tošić, R., Dragičević, S., Belanović, S., Brčeski, I. & Lovrić, N. (2013). **Considerations on reservoir sedimentation and heavy metals content within the Drenova Reservoir (B&H)**. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8(4), 175-184.
- Tošić, R., Lovrić, N. & Dragičević, S. (2014). **Land use changes caused by bank erosion along the lower part of the Bosna river from 2001 to 2013**. *Bulletin of the Serbian geographical society*, 94(4), 49-58. DOI: 10.2298/GSGD1404049T.
- Tošić, R. & Dragičević, S. (2024). **Hronološki razvoj Metode potencijala erozije**. *Srpsko geografsko društvo*, Banja Luka-Beograd, 1-189.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. & Reynolds, J. M. (2012). **"Structure-from-Motion" photogrammetry: A lowcost, effective tool for geoscience applications**. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.

THE USE OF NEW TECHNOLOGIES IN THE RESEARCH OF THE FLUVIO-DENUDATION PROCESS

Slavoljub Dragičević⁶, Marko Langović⁷, Novica Lovrić⁸, Ivica Milevski⁹, Radislav Tošić¹⁰

Abstract: Modern research of the fluvio-denudation process is keeping pace with numerous technological innovations that enable precise field research and reliable quantification of the intensity of various natural processes. Due to reliable measurements and analyses, physical geographers can determine the intensity of denudation, the change in the morphology of the riverbed and the resulting consequences, carry out bathymetric surveys, determine the sediment balance, etc. In the last 15 years, the development of easily accessible unmanned systems has enabled numerous precise aerial photogrammetry measurements of the earth's surface, which has improved the quantification of the intensity of natural processes and facilitated field research in physical geography. On this basis, enough accurate facts have been obtained to produce completely new results and scientific

⁶ University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, slavoljub.dragicevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-1417-5405

⁷ University of Belgrade - Faculty of Geography, Studentski trg 3/III, Belgrade, Serbia, marko.langovic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0000-0002-4614-7265

⁸ University of Banja Luka - Faculty of Science, Mladena Stojanovića 2, Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina, novica.lovric@pmf.unibl.org, ORCID: 0009-0006-0838-4370

⁹ University "St. Cyril and Methodius" in Skopje, Faculty of Science, Skopje, North Macedonia, ivicamilevski@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9275-9174

¹⁰ University of Banja Luka - Faculty of Science, Mladena Stojanovića 2, Banja Luka, Republika Srpska, Bosnia and Herzegovina, radislav.tomic@pmf.unibl.org, ORCID: 0000-0002-3994-125X

breakthroughs regarding the causes and intensity of various processes as well as modelling and scenarios of future conditions. The results of modern physical-geographical research are applied in all areas of modern society and represent a very important and indispensable standard for a complex analysis of recent natural conditions, spatial planning and especially in land and water resources protection and conservation. The latest research techniques and results will be presented using various practical examples, including the Kolubara and South Morava river basins in Serbia, Kuklica in North Macedonia and the Drenova reservoir in the Republic of Srpska.

Key words: new technologies, unmanned systems, aerial photogrammetry, fluvio-denudation process.