

МАРКО В. МИЛОШЕВИЋ¹
ЈЕЛЕНА ЂАЛИЋ
МИЛЕНА ПАНИЋ

КЛИЗИШТА У КВАРТАРНИМ СЕДИМЕНТИМА БЕЛИЦЕ²

Извод: У раду је анализиран значај квартарних седимената као литолошке средине за развој клизишта. Регистрована клизишта на терасним одсесима Ибра код Краљева и Матарушке бање као и у алувијалној равни Јужне Мораве и Белице указују да алувијални седименти могу имати и својство квазистатичне топографске површине. Стога је циљ овога рада да се утврде одређене литолошко-структурне и морфоскулптурне детерминанте развоја клизишта у квартарним седиментима. Анализиран је случај клизишта развијених у алувијалним седиментима Белице и њене притоке Слатинског потока.

Кључне речи: клизиште, алувијални седименти, рововска корита, елементарна непогода, Белица

Увод

Анализа односа између клизишта и квартарних седимената може се одвијати у два правца. Први анализира клизишта која могу бити генетски фактор квартарних седимената. Наиме седименти плавина (пролувијум) могу водити порекло од клизишта (колувијалних седимената) које се налазе узводно од истог. Као последица одвијања овог колувијалног процеса може доћи до делимичног или потпуног засипања речног корита. Ерозиони рад речног тока или презасићена клизна маса позиционирана у речном кориту могу иницирати повећање концентрације суспендованог и вученог наноса. У зони где нагло опада кинетичка енергија речног тока долази до формирања одређених акумулативно пролувијалних облика. Бројне анализе и резултате овог приступа налазимо у радовима Keefer-a (1999), Когур-а (2004, 2005), Комас и Zorn (2007, 2008).

Други правац би подразумевао пре свега анализу квартарних седимената као литолошког услова за развој овог колувијалног процеса. У досадашњим радовима домаћих аутора (Лазаревић, Р. 2000, Драгићевић, С. 2007, 2008, Милошевић, М.В. и сар. 2006) применом метода елиминације *a priori* су алувијални седименти као литолошки члан квартарних седимената елиминисани из било какве даље анализе развоја клизишта због одсуства одређених морфометријских карактеристика (нагиба). Други их анализирају као литолошку структуру која има улогу изолатора односно „тампон зоне” између ножице клизишта и речног тока чиме се процес клизања

¹ мр Марко В. Милошевић, истраживач сарадник, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Ђуре Јакшића 9/3 Београд, m.milosevic@gi.sanu.ac.rs

мр Јелена Ђалић, истраживач сарадник, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Ђуре Јакшића 9/3 Београд

мр Милена Панић, истраживач сарадник, Географски институт „Јован Цвијић” САНУ, Ђуре Јакшића 9/3 Београд

² Рад представља резултате истраживања пројекта 146011, који финансира Министарство за науку и технолошки развој.

зауоставља (Милошевић, В. М. 2008, Степић, М. 1990). Заједнички именитељ за ова два приступа био би да алувијални седименти имају својство статичне литолошке структуре.

Регистрована клизишта на терасним одсецима Ибра код Краљева и Матарушке бање као и у алувијалној равни Јужне Мораве (Лазић, М. 1991) и Белице (Милошевић, М. В. 2008) указују да алувијални седименти могу имати и својство квазистатичне топографске површине. Циљ овога рада је утврђивање литолошко-структурних и морфоскулптурних детерминанти развоја клизишта у квартарним седиментима. Анализираћемо случај клизишта развијених у алувијалним седиментима Белице и њене притоке Слатинском потоку.

Методологија истраживања

Први корак при испитивању значаја квартарних литолошких структура на развој клизишта намеће потребу дефинисања методолошког концепта. Индуктивно аналитичка операционализација, сходно генези и еволуцији клизишта, заснива се на утврђивању каузалности између савремених водотокова, хидрографске мреже и овог колувијалног процеса. У том контексту у раду се анализирају следеће карактеристике:

- палеогеографски услови настанка хидрографске мреже;
- етапе развоја и дубине ерозионих усецања;
- однос оријентације литолошких структура према речном кориту;
- морфолошких аномалија (долинска асиметрија, рововска корита, лактаста и лучна скретања водених токова, итд.).

Да би се сагледале предходно споменуте карактеристике, један од првих корака је геоморфолошко рекогносцирање терена. Сам процес се састоји у прикупљању основних података *in situ* који су неопходни за даље усмеравање истраживања механизма клизања. Прикупљени подаци презентовани су у виду скица на којима су представљене литолошке, морфолошке, хидрогеолошке и тектонске карактеристике терена. Инструменталне методе коришћене су за прикупљање просторних квантитативних и квалитативних података. Позиционирање и ареално снимање клизишта реализовано је коришћењем GPS пријемника *Trimble Juno* (пропагације до ± 8 m). За одређивање дубине рововских корита коришћен је даљиномер марке *Leica DISTO A5*. Рељеф за физичкогеографску карту слива Белице, генерисан је из дигиталног елевационог модела SRTM, са резолуцијом од 90 m.

Студија случаја

Река Белица је лева притока Велике Мораве, дужине 42 km (Живковић, Н. 2008). Слив је позициониран између две позитивне морфоструктуре: Јагодинског Црног Врха на северу и обронака Јухора на југоистоку. Генерални правац пада слива је запад-североисток, где се Белица морфолошки везује за Горњовеликоморавску котлину.

Асиметрија речне мреже је једна од препознатљивих карактеристика слива Белице (Јовановић, В. 1986). Као што је истакнуто у претходним истраживањима (Милошевић, М.В 2008, Милошевић, М.В. и др. 2008) у сливу Белице постоје зоне са појединачном и са системском појавом клизишта. Зоне са појединачно развијеним клизиштима су планински обод Црног врха и алувијална раван Белице и Слатинског потока. Системска појава клизишта карактеристична је за делове слива изграђене од неогених седимената.

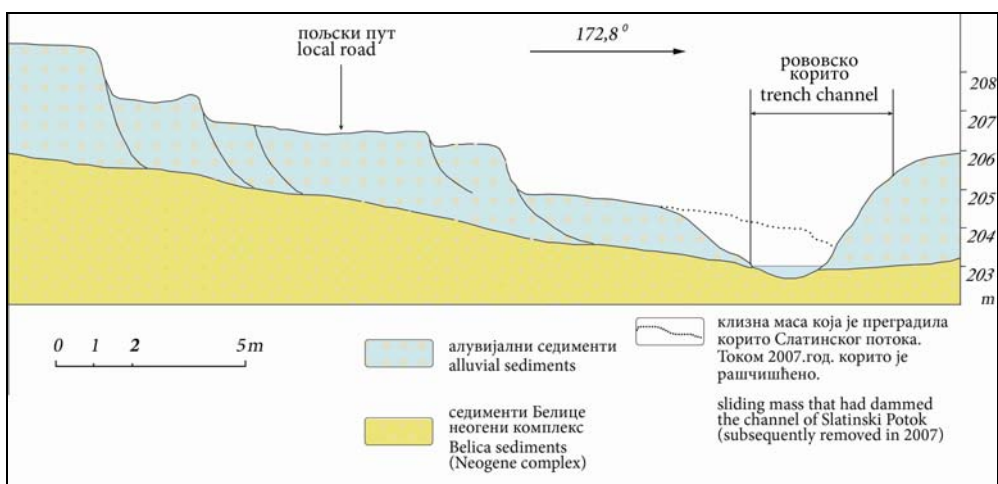
Шуљковачко клизиште налази се на десној страни алувијалне равни Белице, у насељу Шуљковац локалитет Доња Мала. Током марта 2006. године дошло је до

активирања овог клизишта. У првој фази развоја, клизиште се простирало до трупа локалног пута Шуљковац – Шантаровац. Како се процес клизања перманентно одвијао и током 2007. и 2008. године, дошло је до развоја клизишта уз падину (делапсивно клизиште). Површина иницијалног клизишта износила је $5.102,4 \text{ m}^2$, да би се током пролећа 2008. године проширила за додатних $2.025,3 \text{ m}^2$. Брзина кретања клизне масе³ кретала се у распону од $5 \times 10^{-6} \text{ m/h}$ (у првој фази) до $5 \times 10^{-8} \text{ m/h}$ (2007, 2008. год.), што ово клизиште дефинише као спор колувијалан процес (Cruden and Varnes, 1996). Као последица кретања Шуљковачког клизишта дошло је до рушења или оштећења стамбених и привредних објеката у шест домаћинстава. Константована је потпуна техничка неисправност на три стамбена објекта, тако да је грађевинска инспекција забранила даље животне и привредне активности у истим.

Табела 1. Карактеристике рекогносцираних клизишта

Клизиште	Позиција	Релативна висинна (m)	Површина (m^2)	Запремина (m^3)	Последице
Шуљковачко клизиште	X 7515858,48 Y 4863669,86 Z 153,6	5,5	7.127	35.635	Угрожено 6 домаћинстава.
Клизиште КОСИЦА	X 7509756,86 Y 4865358,25 Z 209	3	262	655	Уништен пољски пут

Клизиште Косица (слика 1) позиционирано је на левој страни алувијалне равни Слатинског потока у насељу Врба (Горња Врба). Почетком марта 2006. године у року од 2 часа маса запремине 655 m^3 засула је речно корито Слатинског потока. Просечна брзина кретања ове клизне масе износила је $5 \times 10^{-4} \text{ m/h}$ што је својство умерено брзих клизишта (Cruden and Varnes, 1996). Процес обнове клизања није утврђен. Поред преграђивања речног корита клизиште Косица имало је за последицу и разарање локалног пољског пута.



Слика 1. Клизиште Косица. Слатински поток

³ Брзина кретања клизне масе реконструисана је на основу исказа мештана које је најалост погодила ова елементарна непогода. Период осматрања овог клизишта започет је априла 2006. а завршен маја 2008. године.

Просторна дистрибуција квартарних седимената у сливу Белице

Квартарни седименти у сливу Белице представљени су следећим литогенетским врстама: пролувијалним и алувијалним наносима, седиментима речних тераса и језерским седиментима. Алувијални седименти распрострањени су у долини Белице (асиметрична дистрибуција), Штипљанске реке, Јошанице, Вољевачког и Лозовичког потока. Литолошки, алувијалне седименте сачињавају несортирани шљункови, пескови и пелити. Дебљина алувијалних седимената креће се од 7 m у долини Белице до 2 m у долинама њених притока. На целој територији слива Белице алувијални седименти леже у повлати неогених седимената. У долинама притока Белице – Јелици, Слатинском потоку, Бешњаји (Доњи Мишевић), Јошаници, јавља се мешовити литогенетски тип седимената где су алувијални седименти измешани са пролувијумом (седименти плавина). Овакве алувијално-пролувијалне појаве су дисконтинуираног простирања и везују се само за зоне где претходно наведене долине примају мале бујичне токове. Положај појединих фракција унутар овог литолошког комплекса је хетероген, слабо сложеног и измешаног састава (Јлазић, М. 1991).



Слика 2. Алувијална равна Јелице. Алувијално-пролувијални седименти.

Језерски седименти квартара простиру се дуж широких развоја и слабо вертикално рашчлањених терена у сливу Белице. Литолошки су представљени хетерогено ситнозрним до крупнозрним шљунковима који садрже прослојке песка а ређе песковите и шљунковите глине (Тумач за ОГК, лист Парафин). Структуре језерских седимената су непоремећене, при чему налажу дискордантно на неогене седименте (Зеремски, М. 1984). У овом литолошком комплексу нису утврђени морфолошки индикатори који би указивали на развој колувијалног процеса.

Клизиште Косица је изграђено у алувијалним седиментима Слатинског потока. Литолошки ови седименти су представљени слабо сложеним песковима, прослојцима ситног шљунка и песковитим глинама обзиром да се цео слив Слатинског потока простире на неогеним „седиментима Белице“. Моћност алувијалних седимената у зони клизања терена износи од 2,5 m до 3 m. Шуљковачко клизиште је такође развијено у алувијалним седиментима с том разликом да су на овом локалитету у погледу литологије констатовани моћнији прослојци и крупнији

комади шљунка. Како леве притоке Белице доносе материјал са Црног врха, који је литолошки представљен кристаластим шкриљцима подложним распадању, шљункови су знатно заглињени. Дебљина алувијалних седимента у зони овог клизишта креће око 5,4 m.

Морфоскулптурни елементи генезе клизишта у квартарним седиментима

Палеогеографска анализа подразумева праћење морфолошке и морфометријске еволуције рељефа током које долази до сукцесивних квантитативних промена чиме се ствара предуслов за развој клизишта. Код сваког речног тока постоје три етапе развоја. Ламакин В. В. (1950: цитирано у Рокић, Љ. 1996) их је означио као инстративну, перстративну и констративну етапу развоја.

Инстративна фаза одговара изворишним деловима водених токова, где преовлађује неотектонско издизање и доминантна вертикална ерозивна компонента.

Морфолошки, ови облици рељефа су долине „V” профила чија особина је да немају развијено долинско дно. Елементи ове фазе карактеристични су за горње токове притока Белице: Јошаницу, Лозовички и Штипљански поток.

Перстративна фаза карактеристична је за проширене делове средњих и доњих токова река уз истовремену акумулацију и ерозију са подједнако израженом и бочном и вертикалном ерозивном компонентом. Морфолошки ове долине у попречном профилу представљене су обрнутим трапезом и са развијеним долинским дном.

Констративну фазу карактерише акумулација различите моћности у широким алувијалним равнинама. Она настаје при спуштању долинског дна и издизању речног корита, при чему је акумулациони циклус једне фазе прекривен новим наслагама друге, уз стално повећање моћности. По правилу ова фаза је карактеристична за доње токове река. Међутим у сливу Белице нису констатовани елементи ове фазе. У доњем току, од линије Соларис-Ђурђево брдо (југозападни део града Јагодине), Белица своје корито усеца у алувијалне седimente Велике Мораве. Процењена дебљина алувиона Велике Мораве у овој зони износи 10 -14 m (Добричић, Д. 1978).

Шуљковачко клизиште и клизиште Косица, позиционирана су у долинама које имају елементе перстративне фазе развоја. У почетку настанка и ови делови долина су имале облик „V” долине у попречном пресеку али се са временом интезитет вертикалне ерозивне компоненте мењао. То је условило преузимање примата бочне ерозивне компоненте од вертикалне, што је резултирало стварањем алувијалне равни и довело до уназадног померања долинских страна чиме су ове долине у попречном профилу задобиле обрнут трапезни облик. Овакав морфолошки облик данас имају притоке Белице Слатински поток, Вољевачки поток и Јелица. Поред овог морфолошког облика, за перстративну фазу је карактеристична и долинска асиметрија која је утврђена у долини Белице (Ршумовић, Р. 1971, Зеремски, М. 1984). Ова морфолошка аномалија условљена је неотектонским покретима, који су иницирали издизање Црног врха. То је временом довело до исхеаравања и бочног потискивања корита реке Белице према југу, чиме је у попречном профилу ова долина задобила асиметричан изглед. До засипања ових долина алувијалним материјалом дошло је током плеистоцена. Према Марковићу (1967) акумулативне заравни у Панонском басену и перипанонским крајевима датирају из вирма (вирм III). То је створило моћне наслаге песка, шљунка и глине чија се дебљина креће од 7 m у долини Белице до 2 m у долинама њених притока као што су Штипљанска река, Јошаница, Лозовички поток, Слатински и Таборишки поток. Како смо предходно утврдили да је долина Белице асиметрична, за очекивати је да је распрострањеност алувијалне равни једнострана.

Међутим елементи овог акумулативног облика утврђени су и на десној долинској страни Белице што је Зеремски (1984) образложио смиривањем

неотектонских процеса. На сектору између насеља Шантаровац и Шуљковац утврђена је изразита асиметрија алувијалне равни Белице. Лева страна алувијалне равни има просечну ширину од 450 m, док десна на којој је позиционирано Шуљковачко клизиште износи 140 m. Изван овог сектора алувијална раван Белице је углавном симетрична.

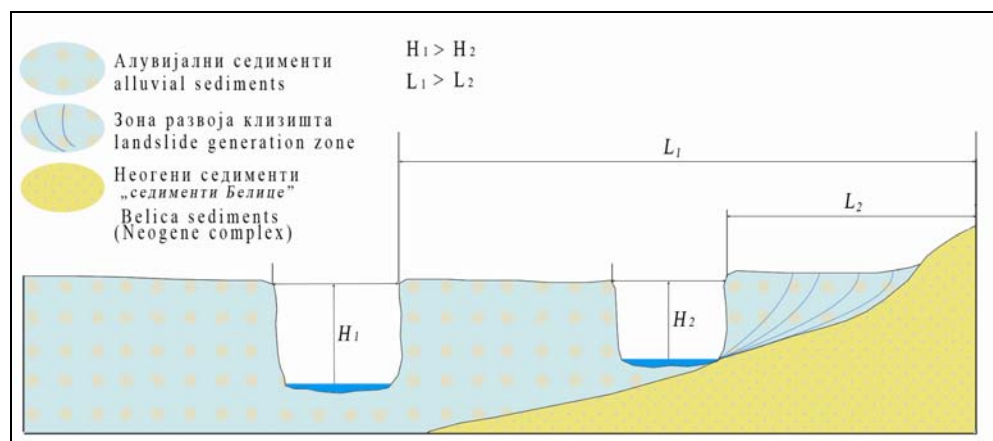
Морфолошки индикатори утврђени у алувијалној равни који указују на рецентну неотектонску активност а тиме и оживљавање вертикалне ерозивне компоненте на овом простору су *рововска речна корита* (Ршумовић, Р. 1986). Ове ерозивне морфоскулптуре у сливу Белице представљене су усецима у алувиону дубине од 2 m до 6,9 m у којима теку речни токови.

Рововска корита су утврђена у долинама Белице, Штипљанске реке, Јошанице, Лозовичког, Слатинског и Таборског потока и Јелице (види слику 4).

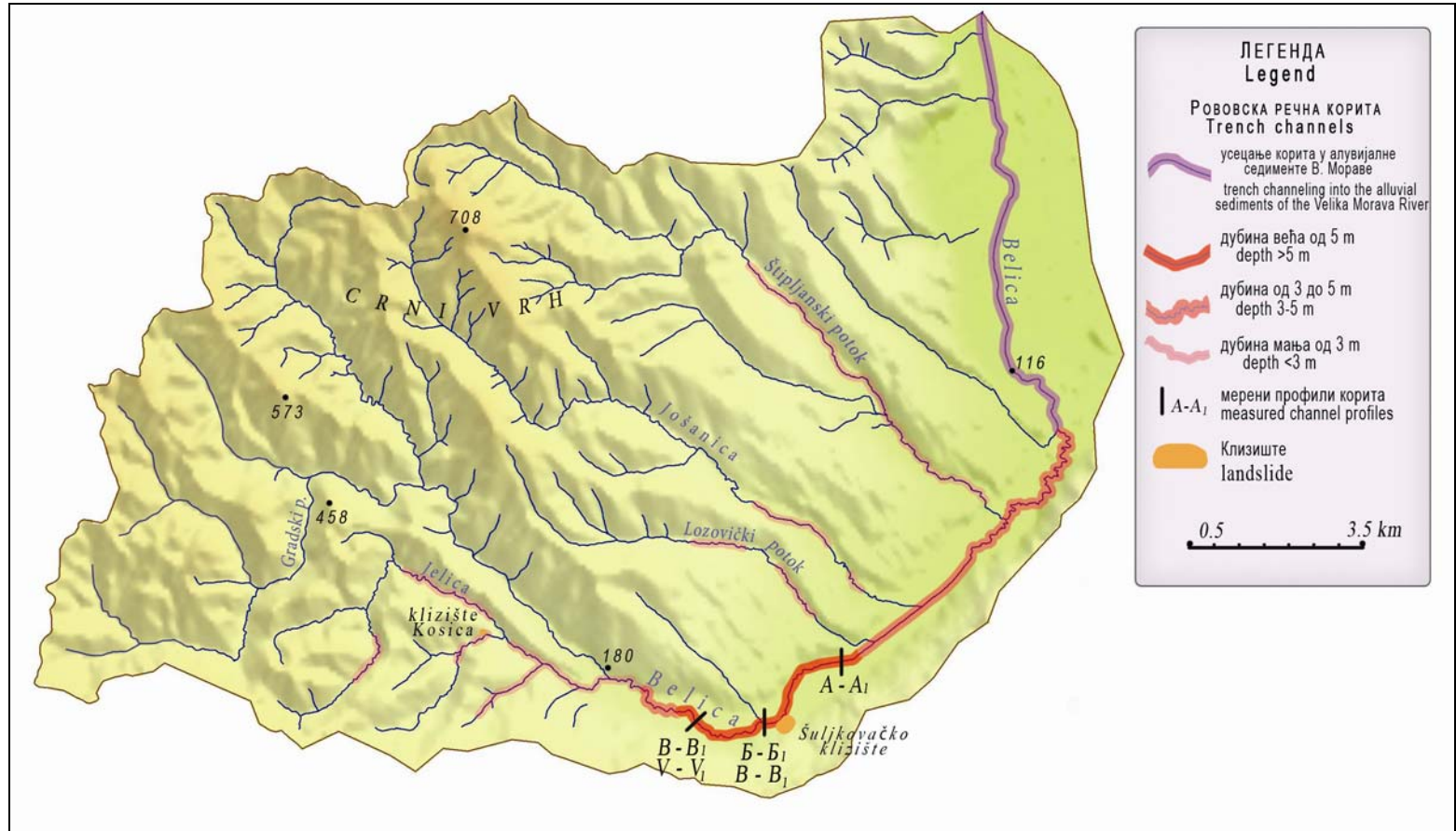
У овој еволутивној фази се налази и део долине Белице дуж чије се десне долинске стране простире Белички клизни појас (Милошевић, М.В. и др. 2008). У иницијалној (инстартивној) фази у овом делу долине биле су изражене и вертикална компонента као последица усаглашавања уздужног профила и бочна као последица издизања Црног врха. То је резултирало асиметричним обликом долине чиме су се стекле квантитативне предиспозиције (нагиб) за развој клизишта дуж стрмије стране.

Како је десна долинска страна Белице омеђена раседима на северу и на југу, у овој зони је дошло до ослобађања примарног напона, декомпресије и земљотреса, што је иницијало развој овог колувијалног процеса и довело до стварања Беличког клизног појаса (Милошевић, М.В. и др. 2008). Како је већ истакнуто, у позном плеистоцену долази до засипања долине Белице (перстративна фаза), чиме су се клизне ножице Беличког клизног појаса стабилизовале и зауставиле од даљег развоја овог процеса (слика 5).

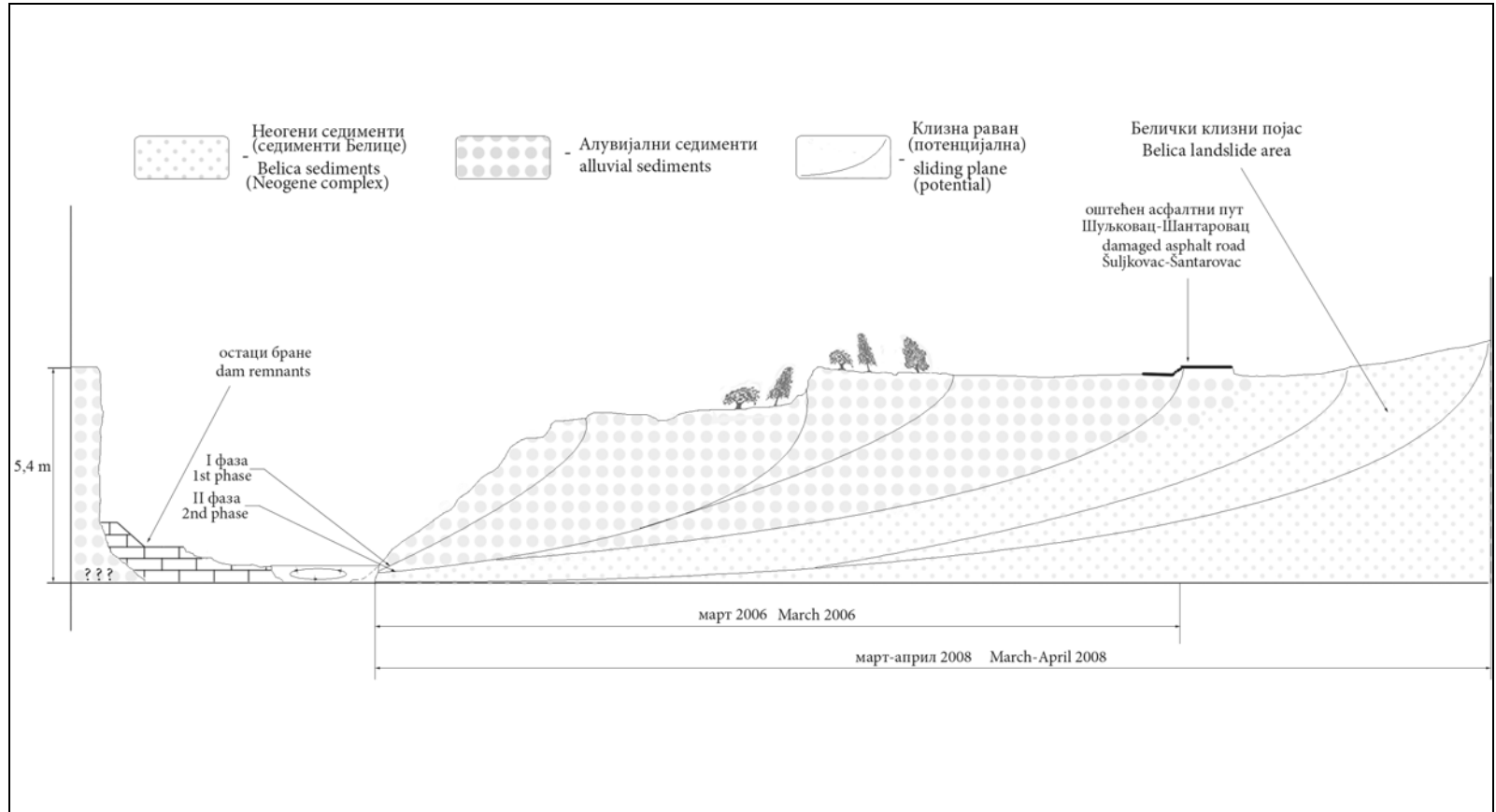
Као последица рецентне тектонске активности дошло је до издизања терена, што је резултирало спуштањем речног корита у односу на алувијалну раван Белице, при чему је формирано рововско корито дубине од 4,5 до 6,9 m. У одређеним секторима рововска корита су просекла алувијалан нанос. Као последица прилагођавања топографске површине новонасталим условима дошло је до започињања процеса клизања терена (Шуљковачко клизиште и Косица).



Слика 3. Однос рововских корита према литолошкој структури, у зависности од ширине алувијалне равни.



Слика 4. Просторна дистрибуција рововских корита у сливу Белице.



Слика 5. Профил Шуљковачког клизишта.

Ако се анализирају профили речног корита Белице у сектору где су дубине ровова веће од 5 m (слика 4), може се констатовати да до просецања алувијалног наноса није дошло у зони где је и највећа дубина рововског корита. На профилу А–А₁ измерена је максимална дубина од 6,9 m, док је Шуљковачко клизиште позиционирано у зони где је дубина корита 5,3 m. Овиме би се могло претпоставити да дубина рововског корита сама по себи није од великог генетског значаја.

Хоризонталном анализом алувијалне равни у сектору А–А₁ утврђена је симетрична раван за разлику од Шуљковачког клизишта које је позиционирано у зони изразите алувијалне асиметрије. Тиме можемо претпоставити (слика 3), да су у зони уже стране равни алувијални седименти мање дебљине, па тиме и ровови који би просекли ове наносе мање дубине. На основу ове опсервације можемо претпоставити да су пресецања алувијалних наноса у долини Белице дисконтинуирана појава.

Табела 2. Дубина рововског корита у долини Белице

Профил	А – А ₁	Б – Б ₁	В – В ₁
Дубина (m)	6,9	5,3	5,6

Један од разлога алувијалне асиметрије у зони Шуљковачког клизишта је лучно скретање Белице из правца NW-SE ка SW-NE. То је детерминисало положај клизишта на конкавној страни обале, чиме је додатно интензивирао процес подкопавања алувијалних седимената. Како смо већ истакли код Шуљковачког клизишта утврђени су елементи делапсивног клизања. Овај процес се огледао најпре у клизању ивичних (I фаза) а потом и ободних делова (II фаза) алувијалне равни са приметним ножичним карактером смицања. Клизна раван (детерминисана неогеним седиментима) је почела сукцесивно да се премешта у ниво новоформираног базиса, која је дубља у односу на предходно стање. На модификовање интензитета овог процеса утицао је и човек изградњом бране у нивоу реактивираних клизишта. То је најпре изазвало флукуацију вертикалне ерозивне компоненте, која се огледа у повећаном ерозивном капацитету реке низводно од бране што је изазвало продубљивање речног корита. Током деведесетих година уследило је разарање бране при чему је лево крило овог објекта остало и тиме усмерило матицу речног тока на додатно бочно поткопавање десне конкавне обале. Овај процес до данас није саниран. Динамика Шуљковачког клизишта континуирано се прати од марта 2006. године до данас и том приликом је утврђено сукцесивно ширење овог колувијалног процеса према Горњој Мали (део насеља Шуљковца). У будућности, динамика овог клизишта ће зависити од количине покренуте клизне масе у ножици испод површине воде на дну Белице, и расположиве кинетичке енергије речне воде, способне да „очисти” дно од тих маса.

Клизиште Косица у алувиону Слатинског потока имало је сличну генезу. Ово клизиште са елементима пароксизма настало је као последица просецања алувијалних седимената дебљине 2,5-3 m у чијој подини су се нашли неогени седименти као хидроизолатори (слика 1). Од 2006. године нису утврђени елементи реактивирања процеса.

Дискусија и закључак

У почетним фазама истраживања клизишта, један од првих методолошких корака је примена метода елиминације (Лазаревић, Р. 2000, Драгићевић, С. 2007, 2008, Милошевић, М.В. и сар. 2006). Референтни критеријуми елиминације су геолошке, морфогенетске и морфометријске карактеристике, које између осталог подразумевају и одсуство овог колувијалног процеса у алувијалним равнима. Резултати овог рада нам указују да *a priori* примена овог метода може бити неоснована.

Шуљковачко клизиште и клизиште Косица која су позиционирана у алувијалној равни у одређеној мери дисквалификује примену овог метода.

Појава клизишта у алувијалним седиментима Белице детерминисана је са два услова:

- појавом рововских корита
- просеченом литолошком структуром која има хидроколекторско својство у односу на своју подину.

На основу утврђених генетских фактора као противклизна мера може се препоручити метод тзв. попречних грађевина (Вучићевић, Д. 1995). Овај метод се заснива на подизању бране у речном кориту у овом случају Белице и то на 10 m низводно од остатака постојеће бране (слика 5). Ова попречна грађевина би требало да иницира засипање у узводној зони речног корита где долази до клизања терена.

Депоновани нанос који би се том приликом акумулирао имао би за циљ да издигне корито Белице изнад неогених седимената (Беличког клизног појаса), као клизне равни, и на тај начин подупре Шуљковачко клизиште. Овим поступком би се процес делапсивног клизања терена зауставио у будућности.

Литература

- Cruden, D.M. and Varnes, D.J. (1996). Landslide Types and Processes. In: Landslide: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board. National Research Council. Special Report 247. National Academy Press, Washington. Chap. 3, 84-75
- Grupa autora (1979). *Osnovna geološka karta i tumač za list Lapovo*. Beograd: Savezni geološki zavod
- Grupa autora (1981). *Osnovna geološka karta i tumač za list Paraćin*. Beograd: Savezni geološki zavod
- Keefler, D. K. (1999). Earthquake-induced landslides and their effects on alluvial fans. *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, no. 1, 84-104
- Komac, B. and Zorn, M. (2007). *Pobočni procesi in človek*. Ljubljana: Geografski inštitut Antona Melika ZRS SAZU. Geografija Slovenije 15
- Komac, B. and Zorn, M. (2008). *Zemeljski plazovi v Sloveniji*. Ljubljana: Geografski inštitut Antona Melika ZRS SAZU. Georitem, 8.
- Korup, O. (2005). Large landslides and their effect on sediment flux in South Westland, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 305-323
- Korup, O., McSaveney, M. J. and Davies, T. R.H. (2004): Sediment generation and delivery from large historic landslides in the Southern Alps, New Zealand. *Geomorphology* 61, 189-207
- Вучићевић, Д. (1995). *Уређење бујичних токова – приручник за бујичаре*. Београд: Друштво бујичара Југославије
- Добричић, Д. (1978). Алувијални седименти. У: Коматина, М. *Геологија Србије VIII-2-инжењерска геологија*. Београд: Завод за регионалну геологију и палеонтологију Рударско-геолошког факултета, стр.6-13
- Драгићевић, С. (2007). *Доминантни ерозивни процеси у сливу Колубаре*. Београд: Географски факултет
- Драгићевић, С., Степић, М. и Карић, И. (2008). *Природни потенцијали и деградирани површине општине Обреновац*. Београд: Јантар група
- Зеремски, М. (1984). Левачко-беличка котлина. Морфолошки преглед неотектонских процеса. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 36, 3-22.
- Јовановић, В. (1986). Водни ресурси Шумадије и њихов значај за водопривреду. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 38, 83-106.
- Ламакин, В.В. (1950). *О динамическој класификацији речних отложениј*. Землевед. Т. (42), Москва.
- Лазаревић, Р. (2000). *Клизишта*. Београд: Друштво бујичара Југославије
- Лазић, М. (1991). *Геолошке законитости настанка и развоја процеса клижења на територији Србије (без покрајина)*. Београд: Рударско геолошко факултет, магистарска теза
- Марковић, Ј.Ђ. (1967). Горњовеликоморавска котлина. Геоморфолошка проматрања. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 21, 195-234.
- Милошевић, М.В. (2008). *Генеза, модификатори и последице клизишта на територији општине Јагодина*. Београд: Географски факултет, магистарска теза
- Милошевић, М.В. и Милановић, А. (2008). Сеизмизам као генетски фактор клизишта у сливу Белице. *Гласник Српског географског друштва*, 88 (1), 43-52
- Милошевић, М.В., Миливојевић, М. и Ћалић, Ј. (2006). Активна клизишта на простору општине Љиг. *Гласник Српског географског друштва*, 84 (1), 25-34.
- Рокић, Љ. (1996). Генеза клизишта на десној обали Дунава код Новог Сада. XI Југословенски симпозијум о хидрогеологији и инжењерској геологији, књ. 2 инжењерска геологија. Ур. Сунарић Д., Божовић, Б. Београд, стр 215-229.
- Ршумовић, Р. (1971). Млади тектонски покрети у сливу Лугомира и Белице. *Гласник Српског географског друштва*, 51 (2), 57-64.
- Ршумовић, Р. (1986). Ерозивно-денудациони процеси Шумадије. Рововска корита – индикатори савремених тектонских покрета. *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“ САНУ*, 38, 7-30.
- Степић, М. (1990). Антропогени утицаји на интензивирање урвинских процеса у београдској Посавини. *Екологија и географија у решавању проблема животне средине, Посебна издања, књ. 69, Српско географско друштво, Београд.*

MARKO V. MILOŠEVIĆ¹
JELENA ČALIĆ
MILENA PANIĆ

LANDSLIDES IN QUATERNARY SEDIMENTS OF THE BELICA RIVER

Abstract: The importance of Quaternary sediments as a lithological setting for landslide development is analysed in the paper. Landslides on the terraces of the Ibar River, close to Kraljevo and Mataruška Banja, as well as in the alluvial plain of the rivers Južna Morava and Belica, show that alluvial sediments can have a characteristic of a quasi-static topographical surface. The aim of this paper is to detect the lithological-structural and morphosculptural determinants of landslide development in Quaternary sediments. The case study of landslides in the alluvial sediments of the Belica River and its tributary Slatinski Potok is presented.

Key words: landslide, alluvial sediments, trench channel, natural hazards, Belica River

Introduction

The analysis of the relation between landslides and Quaternary sediments can be carried out in two directions. The first approach is the analysis of landslides as a genetic factor of Quaternary sediments lithologically presented with proluvium (alluvial fans). The possible result of the development of this colluvial process is partial or complete sediment-filling of the river channel. The erosive work of the river flow or super-saturation of sliding mass positioned in the channel can initiate the increase in suspended load and bedload concentration. In the zone where the kinetic energy of the river flow abruptly decreases, some aggradational proluvial forms have developed. Numerous analyses and results of this approach can be found in the studies of Keefer (1999), Korup (2004, 2005), Komac and Zorn (2007, 2008).

The second approach would primarily assume the analysis of Quaternary sediments as lithologic conditions for the development of landslides. In the recent studies of Serbian authors (Lazarević, R. 2000; Dragičević, S. 2007, 2008; Milošević, M.V. et al. 2006), applying the elimination method, the alluvial sediments, as a lithologic component of the Quaternary sediments, were *a priori* eliminated from any analysis of landslide development due to the absence of inclination. The others analyze them as a lithologic structure which has an isolating role (a kind of a “tampon zone”) between the landslide foot and the river flow, which stops the sliding process (Milošević, V. M. 2008, Stepić, M. 1990). The common denominator for these two approaches would be the fact that alluvial sediments have characteristics of static lithologic structure.

The registered landslides on the terrace slopes of the Ibar River near Kraljevo and the spa Mataruška Banja, as well as in the alluvial plain of the rivers Južna Morava (Lazić, M. 1991) and Belica (Milošević, M.V. 2008), indicate that the alluvial sediments can have characteristics of the quasi-static topographic surface. Therefore, the objective of this paper is to establish certain lithologic-structural and morpho-sculptural determinants of landslide development in Quaternary sediments. We will analyze the case of the landslides developed in the alluvial sediments of the Belica River and its tributary, the stream Slatinski Potok.

¹ Marko V. Milošević, Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Đure Jakšića 9/3, m.milosevic@gi.sanu.ac.rs
Jelena Čalić, Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Đure Jakšića 9/3
Milena Panić, Geographical Institute “Jovan Cvijić” SASA, Đure Jakšića 9/3

Methodology

The first step in studying the impact of Quaternary lithological structures on landslide development imposes the need for defining the methodological concept. Inductive analytical operationalization, in accordance with genesis and evolution of a landslide, is based on establishing the causality between the present water flows, hydrographic network and the sliding process. In this context, the following characteristics are analyzed in this paper:

- Paleogeographic conditions of hydrographic network formation;
- Phases of development and depth of erosional incision,
- Relation of lithological structures to the orientation of river channels;
- Morphologic anomalies (valley asymmetry, trench channels, sharp and rounded bends of water flows, etc).

In order to elaborate the mentioned characteristics, the first step is to carry out the geomorphological field prospection. The necessary information is collected *in situ* and presented through a series of sketches showing lithological, morphological, hydrogeological and tectonic characteristics of the studied area. Instrumental methods were applied in collection of quantitative data. Precise positioning was carried out using the hand-held GPS receiver *Trimble Juno* (propagation up to ± 8 m). Depths of trench channels have been measured using the laser meter *Leica Disto A5*. Physio-geographic map of the Belica basin (Fig. 4) has been generated using the SRTM DEM.

The case study

The Belica River is a 42 km long left tributary of the Velika Morava (Živković N. 2008). Its drainage basin is located between two positive morphostructures: Crni Vrh on the north and Juhor on the southeast. The general direction of the drainage basin inclination is west-northeast, where the Belica River feeds into the Velika Morava in the basin called Gornjovelikomoravska Kotlina.

The asymmetry of the river network is one of the recognizable characteristics of the Belica drainage basin (Jovanović, V. 1986). As it was emphasized in the previous studies (Milošević M.V. 2008, Milošević, M.V et al. 2008), there are zones with individual and systematic occurrence of landslides in the drainage basin of the Belica River. The zones with individually developed landslides are the mountain rim of Crni vrh and alluvial plains of the Belica River and the stream Slatinski Potok. Systematic occurrence of landslides is characteristic for the parts of the drainage basin built in the Neogene sediments.

The *Šuljakovac landslide* is located on the right side of the alluvial plain of the Belica River, in Šuljakovac settlement, Donja Mala locality. This landslide was activated in March 2006. In the first phase of development the landslide spread up to the local road Šljukovac-Šantarovac. As the process of sliding was permanently spreading even during the years 2007 and 2008, uphill landslide was developed (delapsive landslide). The area of the initial landslide was 5.102,4 m², and during the spring of 2008 it spread for additional 2.025,3 m². The velocity of the sliding mass² was in the range 5×10^{-6} m/h (in the first phase) to 5×10^{-8} m/h (2007, 2008), which defines this landslide as slow colluvial process (Cruden and Varnes, 1996). The movement of the Šuljakovac landslide resulted in collapsing or damaging of residential or economic facilities in six households. Total technical disorder on three

² The velocity of sliding was reconstructed on the basis of the statements of the local people who were regrettably stricken by this natural disaster. The monitoring period of this landslide started in April 2006 and it was completed in May 2008.

residential facilities was registered and civil engineering inspection has forbidden further living and economic activities in them.

Table 1. Characteristics of the studied landslides

Landslide	Position	Relative height (m)	Area (m ²)	Volume (m ³)	Consequences
ŠULJKOVAC	X 7515858,48 Y 4863669,86 Z 153,6	5,5	7.127	35.635	6 households endangered
KOSICA	X 7509756,86 Y 4865358,25 Z 209	3	262	655	Destroyed local road

The Kosica landslide (Fig. 1) is located on the left side of alluvial plain of the stream Slatinski Potok in Vrba settlement (Gornja Vrba). The volume of 785 m³ of mass filled the river channel of the stream Slatinski Potok in the beginning of March 2006. The average velocity of movement of this sliding mass was 5 x 10⁻⁴ m/h, which is a characteristic of moderately fast landslides (Cruden and Varnes, 1996). The process of restoration of sliding was not detected. Apart from damming the river channel, the result of the Kosica landslide was also the destruction of local field road.

Fig. 1. The Kosica landslide. The stream Slatinski Potok

Spatial distribution of Quaternary sediments in the Belica drainage basin

Quaternary sediments in the drainage basin of the Belica River are presented with the following litho-genetic types: proluvial and alluvial deposits, sediments of river terraces and lake sediments. Alluvial sediments are distributed in the valley of the Belica River (asymmetric distribution), the river Štipljanska Reka, and the streams Voljevački Potok and Lozovički Potok. Lithologically, alluvial sediments are composed of unsorted gravels, sands and pelites. The thickness of sediments ranges from 7m in the Belica valley to 2 m in the valleys of its tributaries. Alluvial sediments lie in the upper layer of the Neogene sediments on the whole territory of the Belica drainage basin. Mixed litho-genetic type of sediments where alluvial sediments are mixed with proluvial (alluvial fan deposits) occur in the valleys of the Belica tributaries – the Jelica River, the stream Slatinski Potok, the Bešnjaja River (Donji Mišević), the Jošanica River. These alluvial-proluvial occurrences are discontinuously spread and they are connected only with the zones in which the above mentioned valleys receive small torrential streams. The location of certain fractions inside this lithologic complex is heterogeneous, with poorly sorted and mixed structure (Lazić, M. 1991).

Fig. 2. Alluvial plain of the Jelica River. Alluvial-proluvial sediments.

Quaternary lake sediments spread along wide watersheds and slightly vertically dissected terrains in the Belica drainage basin. Lithologically, they are heterogeneous, with fine-grained and coarse-grained gravels which contain thin layers of sand and more rarely sandy and gravelly clays. (Explanation of the Basic Geological Map, sheet Paraćin). The structure of lake sediments is undisturbed, and they discordantly lean on the Neogene sediments (Zeremski, M. 1984). Morphological indicators which would point to the development of the colluvial process are not detected in this lithologic complex.

The landslide Kosica was formed in alluvial sediments of the stream Slatinski Potok. These sediments are lithologically represented with poorly sorted sands, thin layers

of gravels and sandy clays considering the fact that the whole drainage basin of the stream Slatinski Potok is spread on the Neogene “Belica sediments”. The thickness of alluvial sediments in the zone of sliding is 2.5 m to 3 m. The Šuljkovac landslide is also developed in alluvial sediments, but the difference in terms of lithology is that thicker layers and coarse-grained pieces of gravels are registered on this locality. As the left tributaries of the Belica River bring the material from Crni Vrh, which is lithologically represented with crystalline schists prone to decay, the gravels have considerable clay content. The depth of alluvial sediments in the region of Kosica landslide is about 5.4 m.

Morpho-sculptural elements of landslide genesis in Quaternary sediments

Paleogeographic analysis includes monitoring of morphologic and morphometric evolution of the relief, in which successive quantitative changes occur. This is one of the conditions for landslide development. Each river flow has three phases of development. Lamakin V.V. (1950; cited in Rokić Lj. 1996) marked them as instrative, perstrative and constrative phase of development.

Instrative phase corresponds to the conditions in upper (spring) parts of water flows, where neotectonic uplifting and dominant vertical erosive component prevail.

Morphologically, these relief forms are V-shaped valleys without developed valley bottom as their primary characteristic. The elements of this phase characterize the upper flows of the Belica tributaries: Jošanica River, Lozovički Potok and Štipljanski Potok.

Perstrative phase is characteristic for the broadened parts of middle and lower river flows, with simultaneous accumulation and erosion, and equally expressed lateral and vertical erosive component. Morphologically, these valleys in their cross-profiles are presented with inverse trapezoid and with developed valley bottom.

Constrative phase is characterized by more or less thick accumulation within spacious alluvial plains. This occurs due to valley bottom subsidence and river channel rising (as a consequence of sediment deposition). The accumulation cycle of one phase is covered by new deposits of the subsequent one, along with the permanent growth of thickness. As a rule, this phase is characteristic for the lower river flows. However, in the drainage basin of the Belica River none of the elements of this phase have been registered. In lower river flow, from the line Solaris-Đurđevo brdo (south-western part of the town Jagodina), the Belica River cuts its channel into alluvial sediments of the Velika Morava. The estimated thickness of the Velika Morava alluvium is 10-14 m in this zone (Dobričić, D. 1978).

The landslides Šuljkovac and Kosica are located in the valleys which have elements of perstrative phase of development. In the beginning of the formation, these parts of valleys were also V-shaped in the cross-section, but in time the intensity of vertical erosive component was changing. This conditioned the predominance of the lateral erosive component over the vertical erosive component, which then resulted in formation of alluvial plain and caused retreat of valley sides. As the result, the valleys obtained the form of inverse trapezoid in the cross section. The tributaries of the Belica River (the streams Slatinski Potok, Voljevački Potok and the Jelica River) have such a form today. Apart from this morphological form, perstrative phase is also characterized by valley asymmetry, which is detected in the Belica valley (Ršumović, R. 1971, Zeremski, M. 1984). This morphologic anomaly is conditioned by neotectonic movements, which initialized the uplifting of Crni Vrh. It gradually brought to regional inclination and lateral migration of the Belica River channel southward, which caused the asymmetric cross section. Infilling of these valleys with alluvial material occurred during the Pleistocene. According to Marković (1967), aggradational plains in the Pannonian basin and Peripannonian regions date from the Würmian period (Würm III). This created thick deposits of sand, gravel and clay whose

thickness ranges from 7 m in the Belica valley to 2 m in the valleys of its tributaries – Štipljanska Reka, Jošanica, Lozovički Potok, Slatinski Potok and Taboriški Potok. As we previously established that the Belica valley is asymmetrical, it can be expected for the distribution of alluvial plains to be one-sided.

However, the elements of the alluvial plain have also been detected on the right valley side of the Belica, which Zeremski (1984) explained by a decline of the neotectonic processes. Extreme asymmetry of the Belica alluvial plain was detected in the sector between the settlements Šantarovac and Šuljkovac. The left side of the alluvial plain has average width of 450 m, while the right side, where Šuljkovac landslide is positioned, is 140 m wide. Outside of this sector, alluvial plain of the Belica is mostly symmetric.

Morphological indicators detected in the alluvial plain, which indicate the recent neotectonic activity and restoring of the vertical erosive component in the region, are *trench river channels* (Ršumović, R. 1986). These erosional morphosculptures in the drainage basin of the Belica are incised in alluvium, with the depth range from 2 m to 6.9 m.

Trench channels have been detected in the valleys of the rivers Belica, Štipljanska Reka, Jošanica, Lozovički Potok, Slatinski Potok and Taborski Potok (see Fig. 4).

A part of the Belica valley is also in this evolutionary phase. Belica sliding zone spreads in the right valley side (Milošević, M. V et al. 2008). In the initial (instrative) phase, in this part of the valley, both vertical and lateral components were expressed: vertical as a consequence of harmonization of vertical profile and lateral as a consequence of Crni Vrh uplifting. It resulted in asymmetric shape of the valley, which fulfilled the quantitative predispositions (inclination) for the landslide development along steeper side.

As the right valley side is bordered with faults on north and south, primary pressure, decompression and earthquakes took place in this zone, which initiated the landslide development and caused the formation of Belica sliding zone (Milošević M.V. et al. 2008). As it was emphasized before, the sediment infilling of the Belica valley occurred in late Pleistocene (perstrative phase). Thus, the landslide foots of Belica sliding zone became stable and stopped the further development of this process (Fig. 4).

Recent tectonic activity resulted in regional uplift, which caused the further incision of the river channel in relation to the Belica alluvial plain. Thus, a trench channel was formed, with a depth range from 4.5 m to 6.9 m. In some sectors, the trench channels have cut through the alluvial sediments. As the result of adaptation of topographic surface to the new conditions, the sliding process has started (Šuljkovac and Kosice landslides).

The analysis of the Belica River channel cross sections in the sector where trench depths exceed 5m (Fig. 3), indicates that the complete through-cutting of alluvial deposits did not occur in the zone where the trench is deepest. On the A–A₁ profile, maximal trench depth of 6.9m was measured, and Šuljkovac landslide is positioned in the zone where trench channel depth is 5.3 m. It can be supposed that the depth of the trench channel itself is not of particular genetic importance.

Fig. 3. Relation between trench channels and lithological structure, depending on width of the alluvial plain

Fig. 4. Spatial distribution of trench channels in the Belica basin

Fig. 5. Cross section of the Šuljkovac landslide

The horizontal analysis of the alluvial plain in the sector A–A₁ showed a symmetrical plane, contrary to the Šuljkovac landslide which is positioned in the zone of extreme alluvial asymmetry. Accordingly, it can be supposed (Fig. 5) that alluvial sediments in the zone of narrower plain sides are thinner, and therefore, the trenches which cut these deposits are less deep. We can suppose that through-cutting of the alluvial deposits in the Belica valley is a discontinuous occurrence.

Table 2. The depths of trench channels in the Belica valley

Profile	A – A ₁	B – B ₁	B – B ₁
Depth (m)	6,9	5,3	5,6

One of the reasons of alluvial asymmetry in the zone of Šuljkovac landslide is a sharp bend of the Belica River from the direction NW-SE towards SW-NE. It determined the location of the landslide on the concave side of the bank, which additionally intensified the process of undercutting of alluvial sediments. As aforementioned, the elements of delapsive sliding were detected at Šuljkovac landslide. This process was reflected first in the sliding of the edge parts (the 1st phase) and then peripheral parts (the 2nd phase) of the alluvial plain, with noticeable foot character of sliding. Slide plane (determined by Neogene sediments) started to move successively into the level of newly formed basis, which was deeper in relation to the previous condition. Man also influenced modification of the intensity of this process by constructing a dam in the level of reactivated landslide. This primarily caused the fluctuation of vertical erosive component, which is reflected in increased erosive capacity of the river downstream from the dam, causing the deepening of the river channel. The destruction of the dam happened during the 1990s, but the left part of this object remained and therefore directed the river mainstream to the additional undercutting of the right concave bank. This process has not been repaired yet. The dynamics of Šuljkovac landslide has been continuously monitored since March 2006 till today, and during this period successive spreading of this colluvial process towards the location Gornja Mala (a part of the Šuljkovac settlement) has been detected. In future, the dynamics of this landslide will depend on the quantity of the moved sliding mass in the foot below the water surface on the bottom of the Belica River and the available kinetic energy of the river water, capable to “clean” the bottom of these masses.

The Kosica landslide in the alluvium of the stream Slatinski Potok had similar genesis. This landslide with the elements of paroxysm was formed as a result of undercutting of 2.5-3 m deep alluvial sediments. The underlying formation of Neogene sediments acted as an aquiclude (Fig. 1). The elements of the process reactivation have not been observed since 2006.

Discussion and conclusion

In the initial phases of a particular landslide research, one of the first methodological steps is application of the elimination method (Lazarević R. 2000, Dragičević, S. 2007, 2008, Milošević, M.V. et al. 2006). The reference criteria of elimination are geological, morphogenetic and morphometric characteristics, which mean, among other things, the absence of colluvial process in alluvial plains. The results of this paper indicate that *a priori* application of this method can be groundless.

The landslides Šuljkovac and Kosica, which are positioned in the alluvial plain, disqualify the application of this method in a certain degree.

The occurrence of landslides in alluvial sediments of the Belica River is determined by two conditions:

- The occurrence of trench channels
- The average lithological structure which acts as hydro-collector in relation to its underlying formation

According to the genetic factors, the method of so-called transversal constructions can be proposed as a measure against sliding (Vučićević, D. 1995). This method is based on the construction of a dam in the river channel. In the case of the Belica River, the dam should be positioned 10 m downstream from the remnants of the existing dam (Fig. 5). This

transversal construction should initiate sedimentation in the river channel in the upstream zone, where the sliding occurs.

Deposited sediments should be used for rising the Belica channel above the Neogene sediments (Belica sliding zone), and in that way the sediments would support the Šuljkovac landslide. The process of delapsive sliding would be stopped in the future by this procedure.

References

See References on page 27