

КЛИЗИШТА ВЕЛИКЕ МАГНИТУДЕ У МЕАНДРИМА ДУНАВА, САВЕ И РЕКЕ ПЕК – ИСТРАЖИВАЊА, МОНИТОРИНГ И САНАЦИЈЕ

LARGE-MAGNITUDE LANDSLIDES IN THE MEANDERS OF THE DANUBE, SAVA AND PEK RIVERS – INVESTIGATIONS, MONITORING AND REMEDIATION

Бранко Јелисавец

Прегледни рад
10.5937/IASPN25031J

Апстракт: У Србији су највећа и најсложенија клизишта велике магнитуде регистрована дуж меандара Дунава и Саве у оквиру неогених и квартарних седимената. Узроци настанка и развоја ових клизишта приписују се морфологији терена, геолошкој грађи, одводњености и ерозионим процеси-ма. У раду се даје приказ тих клизишта са описом резултата истраживања, мониторинга и мера санације. Ефикасност санације клизишта зависи од квалитета инжењерско-геолошких и геотехничких истраживања, тј. тачности „дијагнозе“, у противном су обим и врста санације потцењени или прецењени.

Кључне речи: меандар, клизишта велике магнитуде, истраживања, санација

Abstract: In Serbia, the largest and most complex large-magnitude landslides have been recorded along the meanders of the Danube and Sava rivers, within Neogene and Quaternary sediments. The causes of the formation and development of these landslides are attributed to terrain morphology, geological structure, groundwater conditions, and erosion processes. This paper presents an overview of these landslides, including the results of investigations, monitoring, and remediation measures. The effectiveness of landslide remediation depends on the quality of engineering-geological and geotechnical investigations—that is, on the accuracy of the “diagnosis”; otherwise, the scope and type of remediation are either underestimated or overestimated.

Key Words: meander, large-magnitude landslides, investigations, remediation

УВОД

На територији Србије је регистровано више десетина хиљада клизишта, која угрожавају знатна материјална добра. Ово је нарочито изражено на путевима и насељима лоцираним на падинама речних долина, изграђених од неогених и квартарних седимената. Највећа и најсложенија клизишта велике магнитуде су регистрована у зони речних меандара, дуж десне обале Дунава и Саве. Под великом магнитудом подразумевају се клизишта запремине веће од милион кубних метара и дубине преко 10 m. Узрок настанка и развоја клизишта приписује се сложеној морфологији терена, геолошкој грађи, оводњености терена, еволуцији речног тока и ерозионим процесима.

У савременим условима, настанак нових или реактивирање старих клизишта, све је чешће резултат човекове градитељске делатности. У циљу санације клизишта неопходно је спровести одговарајућа инжењерско-геолошка и геотехничка истраживања којима се утврђују механизам и својства клизишта и околног терена (у залеђу и подини), раде анализе и врши избор санационих мера. Ефикасност санације зависи од тачности улазних података, тј. „дијагнозе“ својстава и узрока клижења терена, у противном су обим и врста санационих мера – потцењени или прецењени.

Из тих се разлога при изучавању геометрије, механизма и динамике клизишта, поред класичних истраживања, све чешће примењују разноврсне методе геотехничког мониторинга. На највећим клизиштима у Србији систематском мониторингу се приступило 1991. године. Набављена је савремена мерна опрема за одређивање померања тела клизишта по дубини. Након набавке опреме, обучен је кадар и стечена су драгоцене искуства.

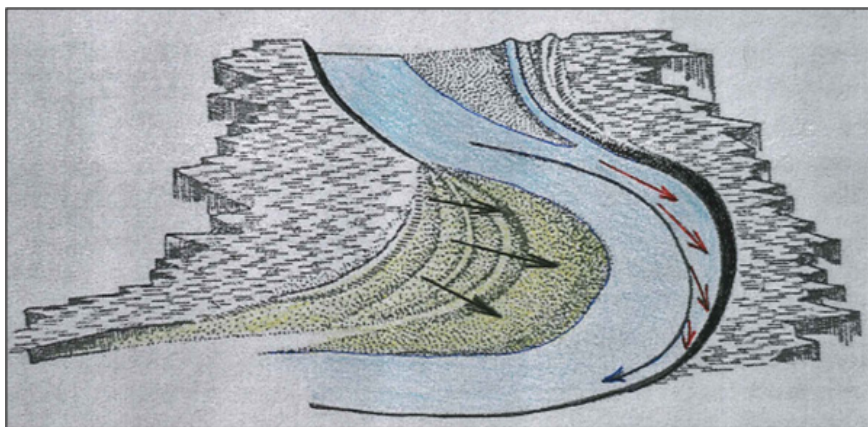
РЕЧНИ МЕАНДРИ И МЕХАНИЗАМ НАСТАЈАЊА И ЕВОЛУЦИЈЕ КЛИЗИШТА

Речно корито представља основни елемент флувијалног процеса, који својом кинетичком енергијом сталног водотока обликује морфологију терена: ерозијом, транспортом и акумулацијом материјала. На попречном профилу речног корита јасно се могу разграничити хоризонтални и вертикални облици ерозије. Хоризонтална речна ерозија по правилу је заступљена код равничарских токова, јер имају мањи подужни нагиб.

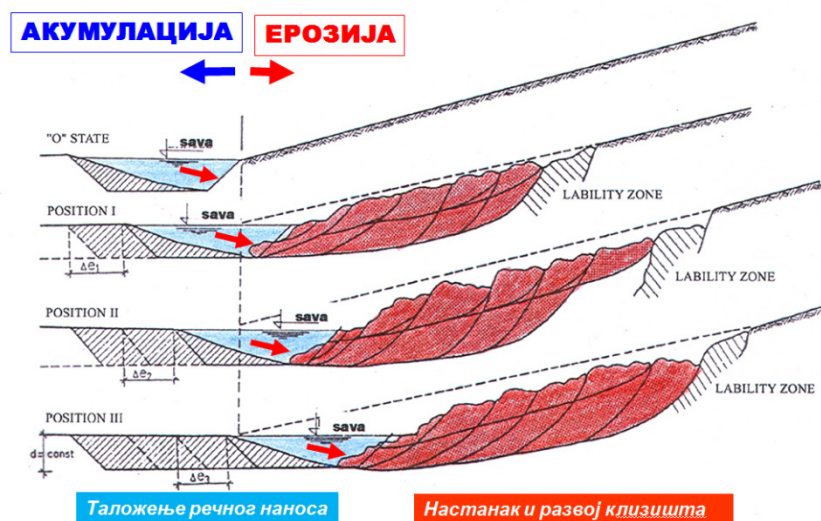
Меандарска корита су изувијана у облику латиничног слова „S“, а име су добили по реци Меандер у Турској. До закривљења водотока долази због скретања матице реке према једној од обала (Слика 1). Ударом речне матице у обалу долази до појачане ерозије и подлокавања, што даље

због геолошке грађе, нагиба терена и велике водозасићености доводи до клижења терена (Слика 2). Касније се процес клижења постепено и сукцесивно шири уз падину.

С временом се теме меандра све више закривљује, док се на супротној обали материјал таложи јер је брзина тока у том појасу мања (Слика 2).



Слика 1: Шематски приказ постанка речног меандра, [7]



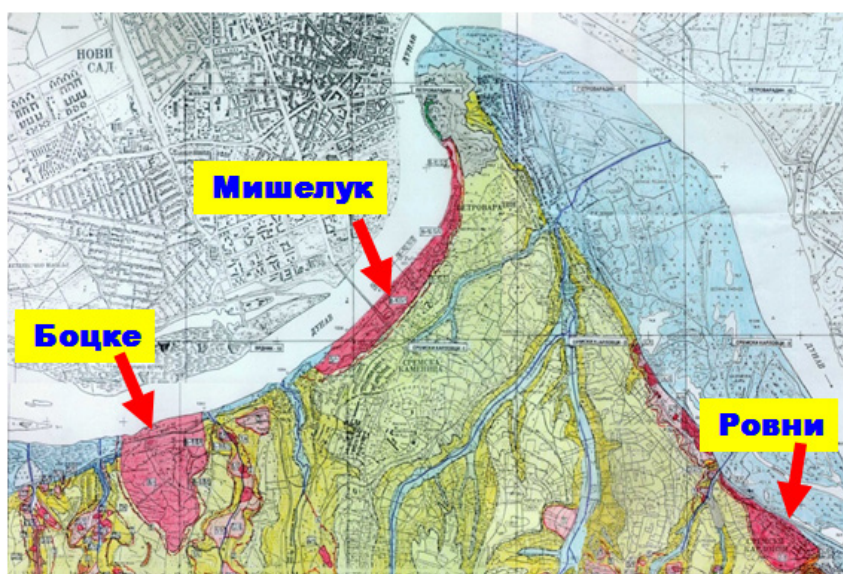
Слика 2: Најредовање речне ерозије у њему меандра и развој процеса клижења

Клизишта у меандрима наших река по правилу су формирана дуж десних обала. То потврђује теорију настанка клизишта на северној географској ширини, где сви водотоци скрећу удесно, а на јужној ширини улево, због различите брзине ротације земље и дејства Кориолисових сила (1835).

ДУНАВСКИ ТИП КЛИЗИШТА ОД НЕШТИНА ДО СМЕДЕРЕВА

Дуж десне обале Дунава, на потезу од Нештина (граница с Хрватском) до Смедерева, формирано је више клизишта велике магнитуде, а која захватају неогене и квартарне седименте. На делу Дунава који протиче обронцима Фрушке Горе највећа су следећа клизишта: Баноштор, Боцке, Мишелук (мост Слободе, Рибњак и Транцамент), Ровни, Чортановци и Бешка. На потезу од Београда до Смедерева то су клизишта: Карабурма, Ритопек, Циганско брдо, Рујиште и Плавинци. Већина тих клизишта је у претходном периоду евидентирана и истраживана кроз израде Инжењерско-геолошких карата, катастар клизишта и детаљних истраживања, за потребе урбанизма и инфраструктуре (путеви, железничке пруге, гасоводи и др.).

Институт за путеве из Београда је 2002. године урадио „Инжењерско-геолошку карту с катастром клизишта и нестабилних падина, на делу територије Новог Сада – јужно од Дунава“, у размери 1:5.000. То је била прва фаза пројекта од Беочина до Сремских Карловца. На том простору су евидентирана три клизишта велике магнитуде: Боцке, Мишелук и клизиште Ровни (Слика 3). Узводни део од Беочина до Нештина није био обухваћен катастром, а на том потезу је регистровано клизиште велике магнитуде код села Баноштор.



Слика 3: Преједна инжењерско-геолошка карта с катастром клизишта Новог Сада, од Беочина до Сремских Карловаца (Институт за путеве, Београд, 2002)

Клизиште „Баноштор“

Клизиште је фронтално захватило неогене и квартарне седименте у подножју Фрушке горе дуж десне обале Дунава. Ширина клизишта је 2,5 km, дужина 550 m, површине око 80 ha и дубина 10–20 m. Клизиште је санирано крајем шездесетих година прошлог века. У чеоној зони клизишта изведени су хоризонтални дренажи, за снижавање нивоа подземне воде из залеђа. Ерозија речне обале је заустављена изградом камених напера, и то је довело до акумулације песка и формирања острва (Слика 4). Клизиште је неравномерно насељено (око стотину кућа), а преко њега прелази државни пут на коме има мањих „паразитских“ клизишта, које путари повремено санирају.



Слика 4: Клизиште „Баноштор“ с наперима у Дунаву

Клизиште „Боцке“

Клизиште Боцке је лоцирано између Лединаца и С. Карловаца (Слика 3). Формирано је у неогеним и квартарним седиментима и има облик лезе, површине око 120 ha. Узбрдна дужина је 1,5 km, а ширина ножице уз обалу Дунава је 1,14 km. Ово је једно од најдужих клизишта у Србији. Процењена дубина је 5–25 m. На клизишту је изграђено око 200 стамбених објеката и викендица. У ножици је изграђен масиван бедем, преко кога пролазе државни пут и индустријска пруга. Вршена су истраживања и инклинометарска осматрања, кретања су локална и врло спора.

Клизиште „Мишелук“

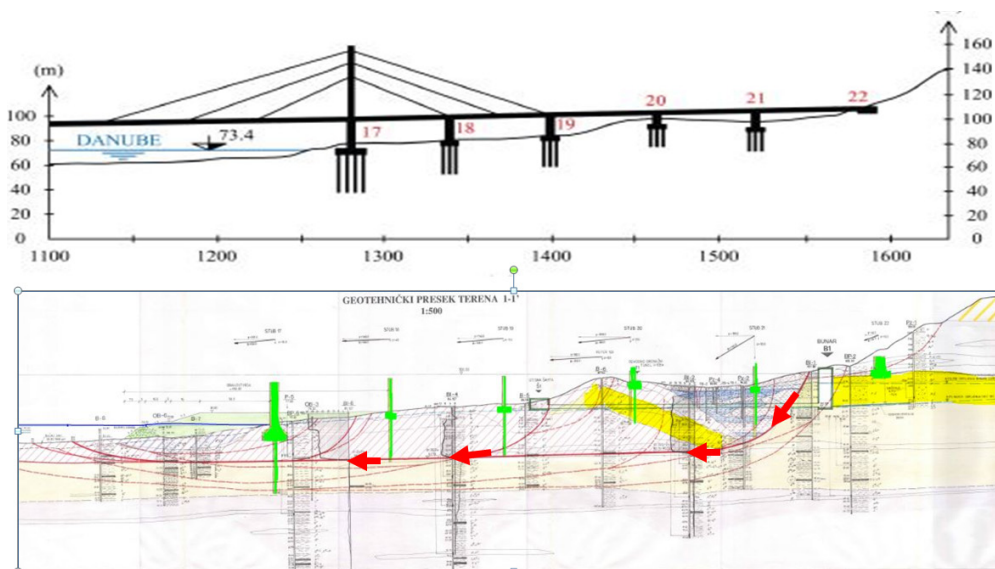
Клизиште је настало у меандру Дунава дуж десне долинске стране, од Дечјег села до Петроварадинске тврђаве, низбрдно од гребена Мишелук. Фронталног је облика, ширине уз обалу 4 km, дужине 300 m и површине око 120 ha. Клизиштем су обухваћени: Каменички парк, Мост слободе, насеље Рибњак и Транцамент (Слика 5). Мост слободе је пројектовао Никола Хајдин са сарадницима. Мост је од завршетка градње 1981. године до данас има проблема са стабилношћу стубова фундираних на десној обали Дунава. У протеклом периоду вршена су геотехничка истраживања, мониторинг и санације.

Клизиште „Мост слободе“

Истраживања и мониторинг су рађени у циљу санације клизишта које је угрозило стубове моста (Слика 5). У периоду 1992–1999. године осматрано је седам инклинометара (укупне дужине 350 m), 25 пијезометара и 80 геодетских репера, који су постављени на стубовима моста и на клизишту.

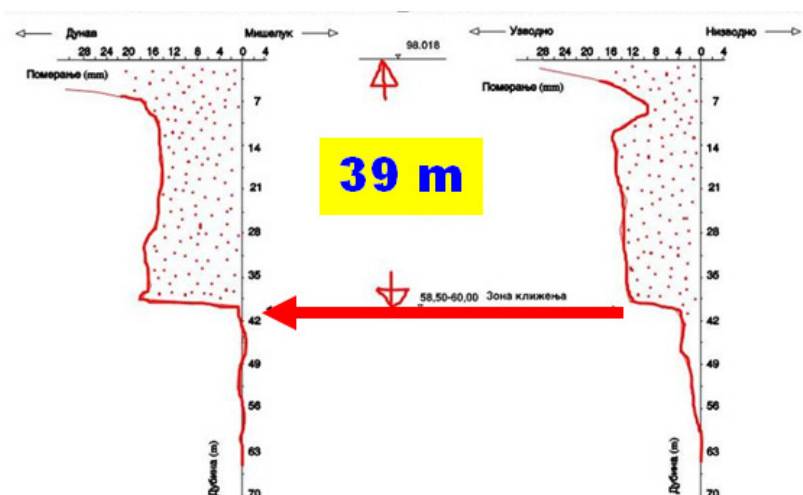


Слика 5: Клизиште „Мишелук“ и блок дијаграм Моста слободе



Слика 6: Конструкција моста на десној обали Дунава
и геотехнички пресек клизишта

Анализом резултата мониторинга изведени су докази да је клизиште ножично и да су померања врло спора, 1–2 cm годишње, по клизној површи регистрованој у танком слоју, високо пластичне угљевите глине, на дубинама 24–39 m (Слике 6 и 7). Дубина клизишта од 39 m је уједно и највећа досад измерена у Србији. Извршене су корелације свих померања и осцилација спољних и унутрашњих вода и добијен је врло висок корелативни фактор.

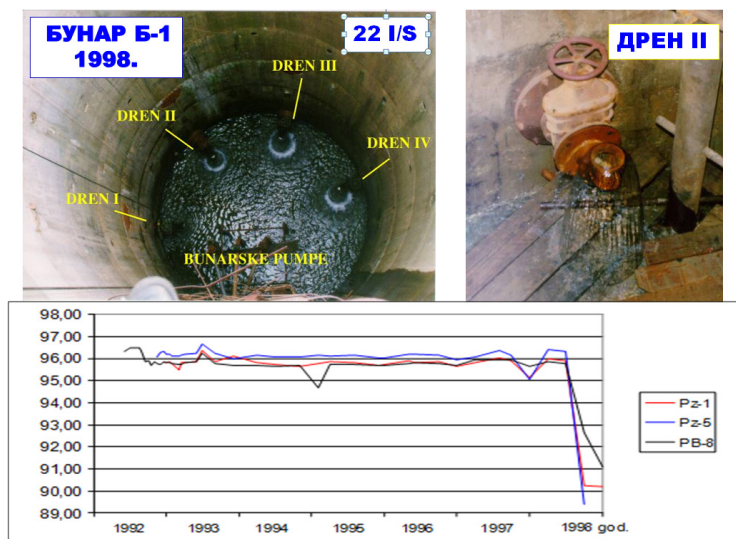


Слика 7: Инклинометар Vi-7, дубина активної клизишта до 39 m

Главни пројекат санације је урадио Институт за путеве 1995. године (Слика 8). До сада је изведен један прве фазе санације (Мостоградња, Београд): два дренажна бунара ($L=23\text{ m}$, $R=7,5\text{ m}$) са по четири хоризонтална дрена ($L=50\text{ m}$, $R=0,50\text{ m}$) и један одводни тунел ($L=140\text{ m}$, $R=1,8\text{ m}$) (Слика 9). Мост је срушен у НАТО бомбардовањима, 3. 4. 1999, а потом обновљен.



Слика 8: Диспозиција санационих мере на клизишту Мост слободе, према пројекту Института за путеве, Београд, 1995.



Слика 9: Дренажни бунар Б-1, са четири дрена и дијаграмима нивоа воде пре и након уградње дренажа

У дренажном бунару Б-1 је каптирано 22 l/s, а вода се гравитационо одводи тунелом дужине 140 m и даље каналом до Дунава. Ниво подземне воде је оборен за 7 m, а што је регистровано у пијезометрима (Слика 9). Мост је обновљен на старим темељима стубова који „лебде“ у телу клизишта, а санација клизишта није завршена.

Клизиште „Ровни“

Клизиште је Фронталног облика, дужине 580 m, ширине 1,6 km и површине око 60 ha (Слика 10). Дубина клизишта је 10–22 m. На низбрдном делу падине изграђено је око 120 кућа.



Слика 10: Клизиште „Ровни“ код Сремских Карловаца

Клизиште се стабилизovalo по престанку речне ерозије и таложења алувијалног наноса. Током 2018. године рађена су истраживања за израду урбанистичког плана. Уграђена су 4 инклинометра и 4 пијезометра. За ову површину клизишта број мерних места није довољан, а осматрања су вршена само годину дана.

Клизиште „Чортановци“

Ово је једно од највећих старих клизишта велике магнитуде у Србији, а које је формирано у великом меандру Дунава. Фронталног је облика, ширине у ножици је око 8 km, дужина 500–870 m и захвата површину од око 250 ha. Дубина клизишта је 10–25 m (Слика 11). Детаљна геотехничка истраживања радио је Саобраћајни институт – СІР из Београда, за потребе пројектовања и изградње нове железничке пруге Стара Пазова–Нови Сад.

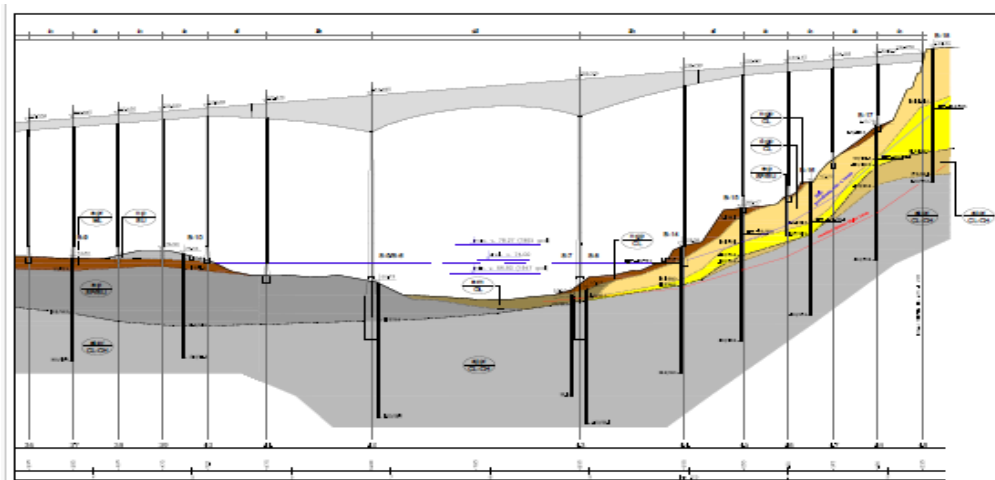
Због велике опасности и ризика од реактивирања клизишта, предузете су опсежне мере санације терена и заштите објеката. Изведене су дренаже, потпорне конструкције и шипови. У зони клизишта су изграђени железнички тунел и дупли вијадукт. На клизишту и објектима успостављен је мониторинг, и досад нису регистрована хоризонтална и вертикална померања.



Слика 11: Клизиште „Чортановци“ са изграђеном железничком пругом и Мостом Бешка, у десном крилу клизишта

Клизиште „Мост Бешка“

Код моста Бешка на Дунаву, аутопут Е-75, у току пројектовања и изградње моста близанца, у зони старог клизишта на десној долинској страни рађена су истраживања и мониторинг (2007–2011; Слика 12). Осматрачку мрежу су чинили: 11 инклинометара (дубине 30–40 m), 4 пијезометра (дубине до 35 m) и 80 геодетских репера. У истражним окнима клизна површ је евидентирана на дубини 23 m. У циљу санације изведене су две завесе са 65 АБ шипова, ($L=27$ m, $R=1,20$ m), укупне дужине 1755 m. Током четворогодишњих осматрања нису регистрована хоризонтална и вертикална померања терена и стубова моста. Урађен је Програм дугогачког мониторинга терена и моста, до реализације није дошло, а мост је пуштен у саобраћај крајем 2011. године.



Слика 12: Геотехнички пресек Моста Бешка

Дунавски тип клизишта од Београда до Смедерева

На потезу од Београда до Смедерева су, кроз израду Катастра клизишта и других истраживања, евидентирана следећа клизишта велике магнитуде, настала у меандрима Дунава: Карабурма, Винча, Ритопек, Стрњике, Циганско брдо, Рујиште и Плавинци. Клизишта су различитог степена активности, претежно дубине преко 10 m, а захватају велике површине и запремине. Она су формирана у врло хетерогеним, неогеним и квартарним седиментима. Све су то врло стара клизишта чије се насељавање интензивирало након Другог светског рата. По правилу, ишла је урбанизација без канализације, тако да је и антропогени фактор негативно утицао на обнављање процеса. Осим тога, након изградње Ђердапа дошло је до промене режима површинских и подземних вода и речне ерозије. Генерално је порастао ниво подземних вода и додатно водозаситио приобаље. На овим клизиштима су изграђени инфраструктура и више хиљада објеката различите намене. То додатно компликује легализацију и осигурање свих тих објеката, изграђених с грађевинском дозволом или или без ње. Санација тако великих и дубоких клизишта је врло скупа и комплексна. У пракси се најчешће санирају само мањи локалитети.

Клизиште „Ритопек“ је фронталног облика, ширине у ножици око 4,5 km, дужине 0,85–1,35 km и површине око 400 ha (Слика 13). Село Ритопек се налази у ножици падине. Мештани памте да су се највећа померања клизишта дешавала 1914, 1941, 1978. и 1985. године. Пре Другог светског рата је планирано расељавање села према Болечу, међутим рат је то одложио.



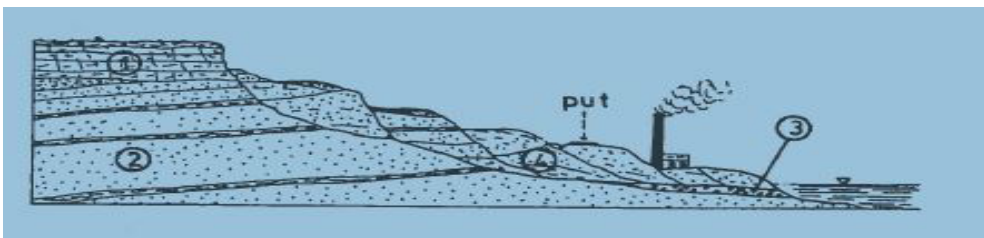
Слика 13: Просјор клизишта „Ритопек“

Клизиште „Плавинци“ код Смедерева је фронталног облика, ширине 3,7 km, дужине 530–750 m, површине око 200 ha и дубине 10–25 m (Слика 13). Клизиште је добрим делом насељено и има развијену инфраструктуру. Процесом су захваћени лес и неогени пескови с прослојцима глине.

На сложеност дунавског типа клизишта подсећа шематски геолошки профил, код старе железаре (Слика 15), проф. М. Т. Луковић: „Важнији типови наших клизишта и могућност њихове санације“, Геолошки весник, 1951.



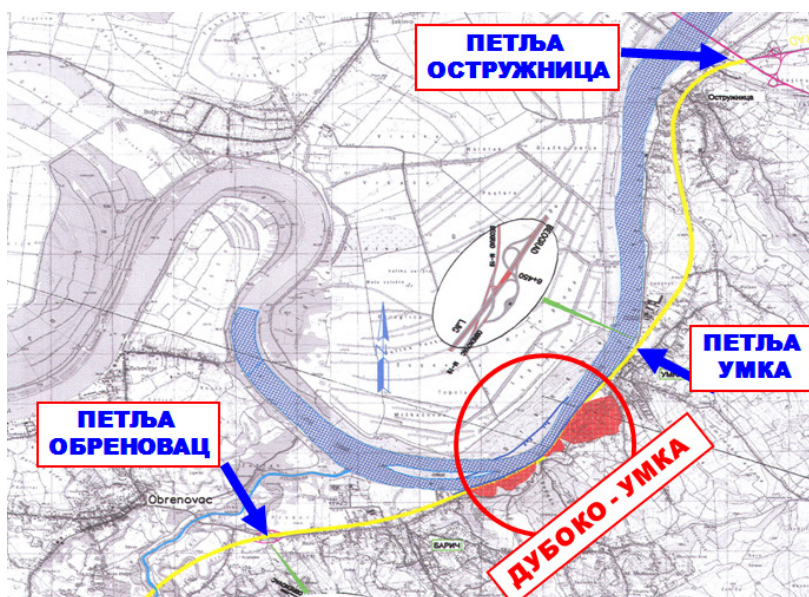
Слика 14: Клизиште „Плавинци“ код Смедерева



Слика 15: Клизишће код сѐаре железаре у Смедереву; 1 – лес са појређеном земљом, 2 – доњеконјеријски ђиновити ђесак и ђина, с ђрослојцима шљунка, 3 – реценђни дунавски шљунак, 4 – кређане сђенске масе

Клизишта Умка и Дубоко у меандру реке Саве

Клизишта Умка и Дубоко налазе се у темену меандра Саве, на потезу Умка–Барич (Слика 16). С проблемом нестабилности терена први су се суочили градитељи пруге Београд–Ужице после Првог светског рата. Захваљујући проф. М. Луковићу, клизишта су избегнута изградњом тунела у залеђу.



Слика 16: Клизишћа Дубоко и Умка у темену меандра Саве

У циљу провођења ауто-пута Е-763, од Умке до Барича дуж нестабилне десне обале Саве (Слика 16), у протеклих четрдесет пет година, геотехничка истраживања су вршена четири пута. Ширина клизишта је 3 km, дужина 300–900 m, површина око 180 ha, дубина 10–26 m и запремине је око 24

милиона кубних метара. Чеони ожиљци су висине 5–30 m. Процесом су захваћене деградиране лапотовите глине панона. Клизиште Умка је већим делом насељено (око 350 кућа), а клизиште Дубоко је обрасло шумом. Главни узрок настанка и обнављања процеса клижења јесте ерозија десне обале Саве. Река је зони клизишта ширине око 200 m и дубине до 25 m. Узводно и низводно од клизишта река је просечне ширине 400 m и дубине 6–8 m.

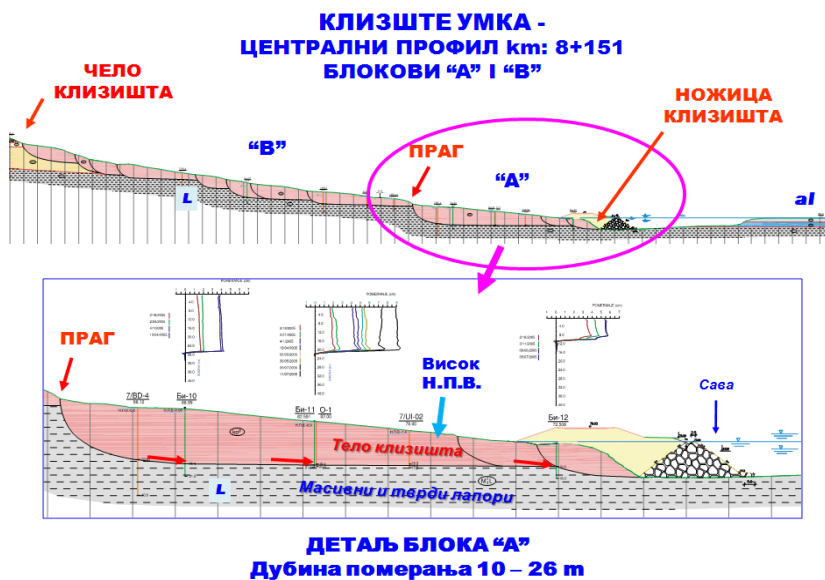
– 1979–1980. године вршена су прва истраживања клизишта Дубоко, и тада се сумњало да је клизиште подножично и дубине до 50 m. Умка је истраживана у оквиру израде Детаљног урбанистичког плана (ДУП).

– 1989–1994. године за идејно решење ауто-пута рађена су истраживања оба клизишта. Први пут су уграђени 10 инклинометра, четири истражна окна, 16 пијезометара и 60 репера. Вршена су хидролошка осматрања Саве и притока, праћене падавине и клима. Након трогодишњих осматрања утврђени су дубина и смер померања клизишта, урађене анализе узрочника, тј. утицаји промена нивоа Саве и подземне воде на померања клизишта. На основу резултата постављена је хипотеза о блоковско-степенастом механизму померања клизишта. У Институту „Јарослав Черни“ на великом моделу корита Саве симулиране су интервенције у кориту изградњом обалоутврде и проширењем водотока дуж леве обале.

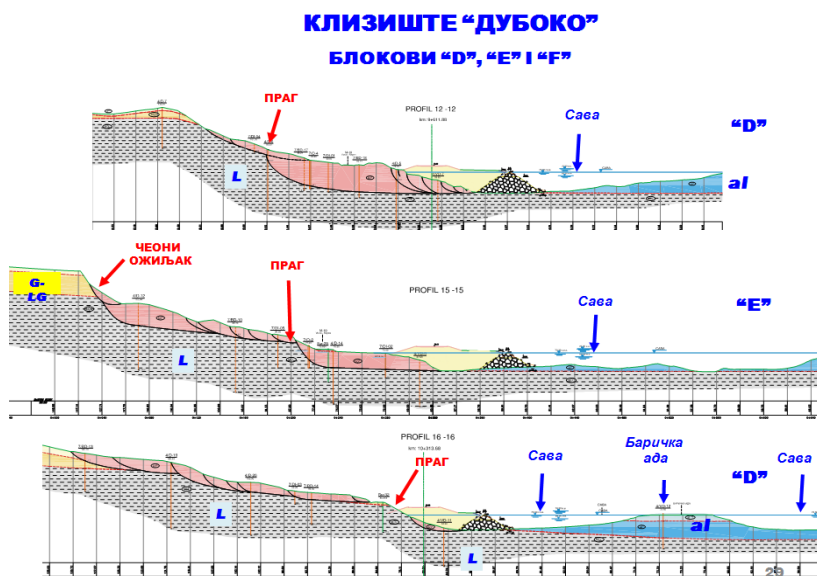
– 2005–2007. године за Идејни пројекат деонице ауто-пута Умка–Обреновац, дужине 7,65 km, рађена су истраживања и мониторинг клизишта. Дуж 15 профила уграђена су 33 инклинометра, укупно 770 m, осматране су осцилације подземне воде, нивоа Саве и падавина. Утврђен је положај клизних површи (на дубини 10–26 m) и потврђена хипотеза о блоковском и степенастом померању оба клизишта (Слике 17–19).



Слика 17: Диспозиција клизишта подељеног у шест блокова и распоредом инклинометара (2005–2007)

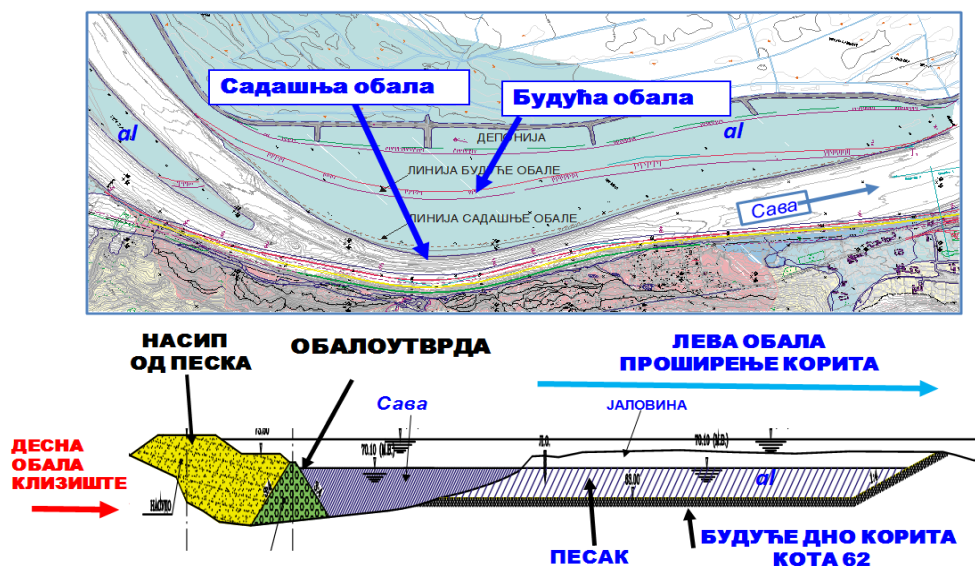


Слика 18: Клизииште Умка, централни пресек кроз блокове „А“ и „В“



Слика 19: Клизииште Дубоко, пресеци кроз блокове „D“, „E“ и „F“

Одлучено је да се санирање клизишта изврши проширењем корита реке на левој обали са 200 m на 450 m, а дуж десне обале уради обалоутврда од камена дужине око 4 km и да се труп ауто-пута постави иза обалоутврде, на насипу од рефулираног песка (Слика 20). Поред тога предвиђено је: дренарање, одводњавање, планирање и пошумљавање клизишта.



Слика 20: Диспозиција санације клизишта Умка и Дубоко: проширење корита леве обале Саве, изградња камене обалоутврде и насипа од рефулираног песка на десној обали, који ће бити широк будуће ауто-пута

– 2023. је одлучено да се пројектује брза саобраћајница Остружница–Обреновац, дужине 14 km. На клизиштима је уграђено 25 нових инклинометара, укупне дужине 550 m. На површини клизишта има промена у блоку „В“, али потврђен је механизам и дубина кретања. Због добијања локацијских услова од Министарства грађевине, завршетак пројекта касни.

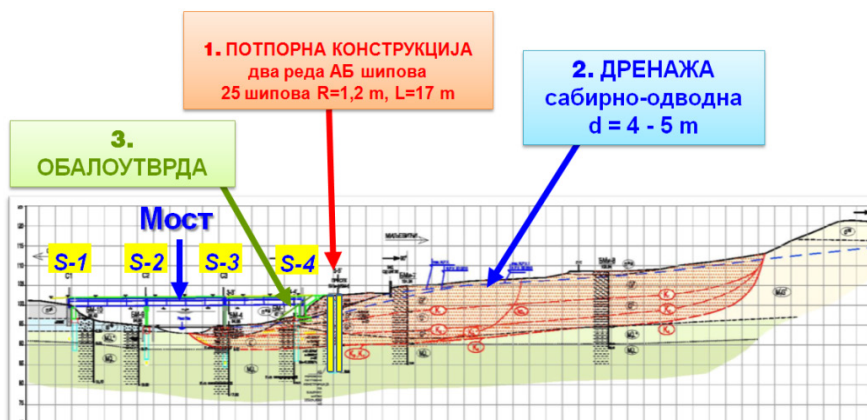


Слика 21: Меандар реке Пек с положајем клизишта и уgroженог моста

Клизиште „Миљевићи“ у меандру реке Пек

На регионалном путу Средњево–Миљевићи, након активирања старог клизишта велике магнитуде, дошло је до тешког оштећења челичног моста дужине 72 m, који је изграђен у темену меандра реке Пек (Слика 21).

Четири темеља су се померили за 0,50 m. Два речна стуба била су фундирана на бунарима дубине 5 m. Извршена су геотехничка истраживања у склопу којих су редовно осматрани четири инклинометра и више сесоских бунара. Осматрањима су установљена померања клизишта на дубини 8–14,5 m, дуж клизне површи која подножично исклињава у кориту реке (Слика 22).



Слика 22: Геотехнички пресек терена с примењеним мерама санације

Изведена је санација моста и клизишта, са изградом потпорне конструкције од два реда АБ шипова (25 шипова, $L=17\text{ m}$, $R=1,20\text{ m}$, укупно 425 m), дренаже (дубине 4–5 m) и камене обалутврде. Нови стубови моста су фундирани на шиповима у тврдим лапорима (Слика 23).



Слика 23: Мост на реци Пек, стуб С-3 раније фундиран на бунару, током санације срушен и фундиран на шиповима

ЗАКЉУЧАК

У меандрима наших река формирана су бројна клизишта велике магнитуде, чија је дубина преко 10 m, а запремина више милиона кубика. Заједничко им је да су померања по правилу спора. Истраживање и познавање ових природних феномена треба да служи при планирању и коришћењу ових простора. Познавањем процеса и узрока могу се анализирати санациона решења за смањење ризика. Пре свега треба зауставити ерозију речних обала, затим планирати одводњу површинских и подземних вода, пошумљавати и друго.

Описани примери изградње и санације три значајна моста, који су изграђени у меандрима река с нестабилним падинама, указују на то да нису увек добро истражени и у потпуности сагледани и уважени геолошки услови и ограничења терена. Из тих разлога, веома је важна примена свеобухватног мониторинга клизишта, јер се на тај начин објективно утврђују дубина и механизам клижења, режим подземних и површинских вода и сви други агенси који доводе до настанка и реактивирања процеса клижења.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. Jelisavac, V. Vujanić, R. Petrović, S. Milenković, M. Vasić, „Investigations, monitoring and repair of landslides of Danube river near the city of Novi Sad“, 12th Danube – European Conference Geotechnical Engineering, Passau, Austria, 2003.
- [2] B. Jelisavac, V. Vujanić, S. Milenković, M. Jotiћ, M. Veljović, „Monitoring of landslides on corridor 10 passing through Serbia on the stretch from Novi Sad to Niš“, 32nd IGC – Internat. geological congress, Florence, Italy, 2004.
- [3] B. Jelisavac, V. Vujanić, P. Mitrović, S. Milenković, „Geotechnical investigations and repair of the landslide Umka – Duboko on the route of motorway E-763 Belgrade – south Adriatic“, Prague Geotechnical days, Praha, Czech Republic, 2006.
- [4] Б. Јелисавец, П. Митровић, М. Јотић, „Геотехничка истраживања клизишта и мере заштите моста на реци Пек“, VIII Међународни научно-стручни скуп „Савремена теорија и пракса у грађевинарству“, Бања Лука, 2012.

- [5] С. Миленковић, Б. Аболмасов, Б. Јелисавац, В. Вујанић, „Клизиште Умка – први GNSS мониторинг пројекат у Србији“, VIII међународни научно-стручни скуп „Савремена теорија и пракса у градитељству“, Бања Лука, 2012.
- [6] М. Vasić, М. Đogo, В. Jelisavac, „Landslydes on the right bank of the Danube in area of Fruška gora“, Geotehnički aspekti građevinarstva, Šesto internacionalno savetovanje, Vršac 2015.
- [7] Ljubomir Rokić, „Fizička geologija“, Integraf, Sarajevo, 2011.

Рад број 3, категорија Прегледни рад

Бранко Јелисавац,
Институт за путеве ад,
Београд, Булевар Пека Дапчевића 45
branko.jelisavac@gmail.com,
ORCID: 0009-0006-4405-0589, стр. 31