

# РЕЗУЛТАТИ ГЕОТЕХНИЧКИХ ИСТРАЖИВАЊА И ЈЕДНОГОДИШЊЕГ МОНИТОРИНГА КЛИЗИШТА „БЕГАЉИЧКО БРДО I“ НА АУТОПУТУ Е-75

Бранко Јелисавац, Светозар Миленковић, Срђан Живковић  
Институт за путеве А.Д., Београд, Србија

**Резиме:** На деоници аутопута Е-75 Врчин – Мали Пожаревац, код Бегаљичког брда деформације на коловозу су се појавиле након изградње пута, 1978. год. Геотехничким истраживањима 1978 – 81. год. је утврђено да је под утицајем подземних вода клизањем захваћен високи насип до подила а на бази чега је изведен дренажни систем дубине 5-7 м. Пошто се деформисање пута наставило, 1989-90. год., доунским истраживањима (истражно бушење и истражно окно) је утврђено да се зоне смицања налазе на знатно већим дубинама (око 17 м). Тада се није прислушало изради пројекта санације. У циљу разрешења опречних хипотеза о дубини клизишта, 2005-06. год. је урађена мрежа геодејских репера, инклинометара и пијезометара чијим једногодишњим осматрањима је потврђено да се ради о клизишту дубине око 20 м. У раду су презентирани резултати једногодишњих осматрања и даље геотехничке препоруке за даља истраживања и санацију овог, за сада, најдубље клизишта на аутопуту Е-75.

**Кључне речи:** аутопут, клизиште, геотехничка истраживања, мониторинг, санација

## RESULTS OF THE GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS OF ONE-YEAR MONITORING CARRIED OUT ON THE LANDSLIDE "BEGALJIČKO BRDO I" ON E-75 MOTORWAY

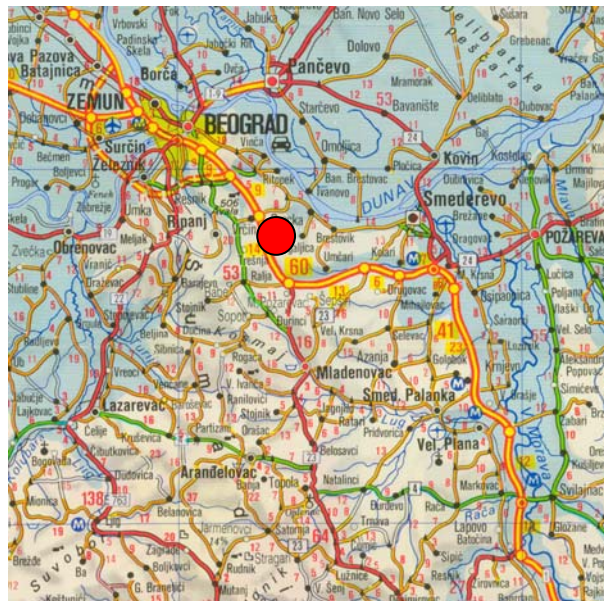
**Abstract:** On E-75 motorway section Vrčin – Mali Požarevac in the vicinity of the hill "Begaljičko Brdo I" the deformations developed immediately after the construction of motorway in 1978. Geotechnical investigations carried out in 1981 established that under the impact of ground waters the large embankment was taken by sliding process down to the subsoil and on which basis the drainage system was built down to the depth of 5–7 m. Since the road deformations continued to emerge, in the period 1989-1990 additional investigations (exploratory boring and exploratory well) established that the shearing action zones were much deeper at approximately 17 m. At that time one did not pursue to prepare the design of repairs. In order to resolve the adverse assumptions as regards the landslide depth, in the period 2005-06 the network of surveying bench marks, inclinometers and piezometers was installed and observations lasting one year were carried out whereby one was in a position to establish the landslide depth of approximately 20 m. The paper is revealing the aforementioned observations and providing for geotechnical recommendations for further investigations and repair of this, until nowadays, deepest landslide on E-75 motorway.

**Key words:** motorway, landslide, geotechnical investigations, monitoring, repair.

## 1. УВОД

Дуж аутопута Е-75 Београд–Ниш у протеклом периоду је активирано десетак клизишта од којих су најпознатија: Брачин, Ражањ, Колари (два клизишта) и Бегаљичко брдо (три клизишта). На деоници Врчин–Мали Пожаревац, око km 608+300, клизиште "Бегаљичко брдо I" је захватило обе коловозне траке аутопуту, Слика 1.

Процес је активиран 1978. год, убрзо после доградње друге аутопутске траке. Геотехничким истраживањима из 1978–81. год, ИМС–Београд, је утврђено да се ради о „плитком клизишту које захвата водозасићен насип и слабо збијено подтло“ на основу чега је изведен дренажни систем, који је снизио ниво подземне воде али није зауставио процес клижења. Из тих разлога Институт за путеве–Београда, 1989–90. год, је извео допунска геотехничка истраживања, којима је утврђено да се ради о клизишту знатно веће дубине, 16 – 18 m. До данас, осим локалних интервенција и поправки коловоза нису пројектовани и нити извођени допунски санациони радови.



Слика 1. Географски положај истражног простора

Пошто су у питању била две различите хипотезе о узроцима и дубини клизишта, крајем 2001. год, Институт за путеве је у сарадњи са Републичком дирекцијом за путеве, урадио „Програм допунских геотехничких истраживања и мониторинга клизишта Бегаљичко Брдо I“, којим је требало решити питање стварне дубине и механизма клижења. До реализације Програм долази крајем 2005. год, изведени су теренски радови, уграђена опрема за осматрање (инклинометари и геодетски репери).

## 2. ИЗВЕДЕНА ИСТРАЖИВАЊА

Током новембра–децембра 2005. год. су изведени геодетски и геолошки теренски радови, лабораторијска испитивања, уграђена мерна опрема и након једногодишњих осматрања и обраде података, почетком 2007. год. је урађен Завршни извештај.

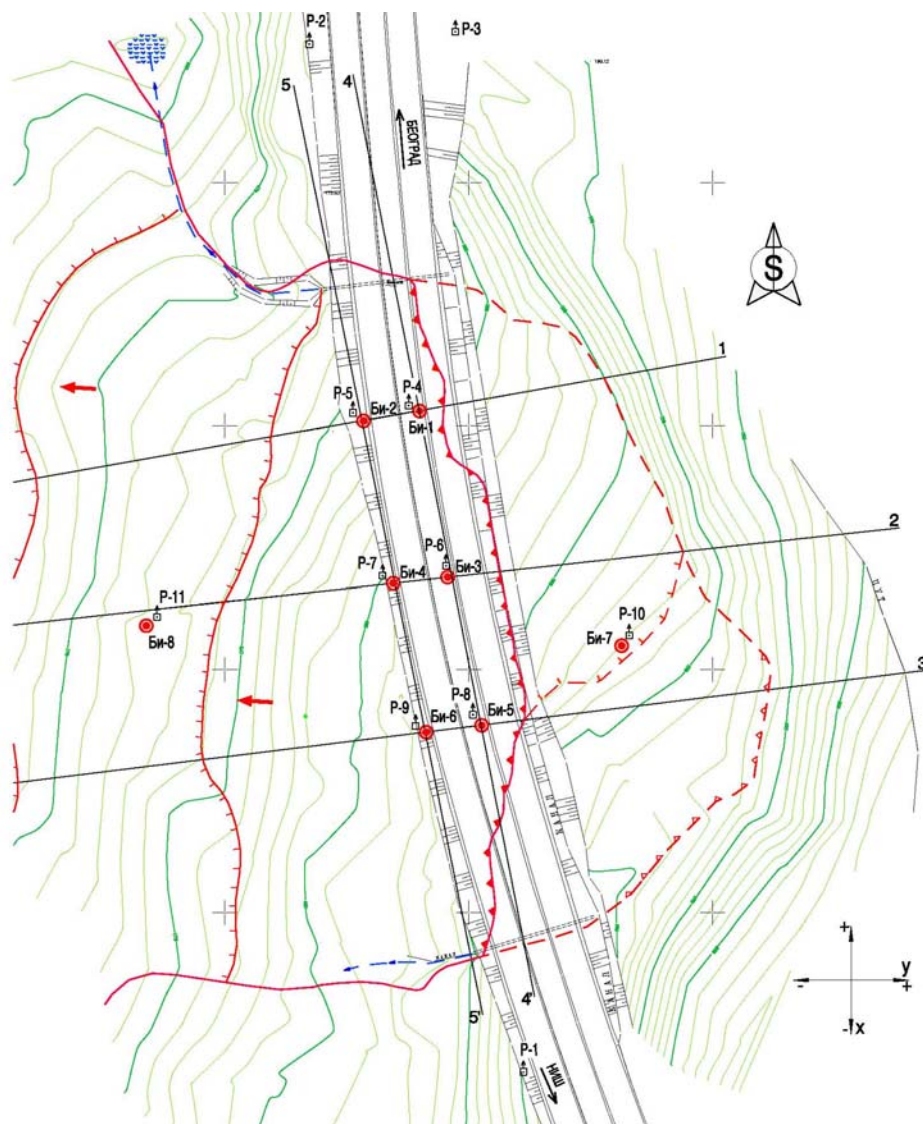
Геодетски је снимљен истражни простор површине 18 ha, са израдом дигиталне подлоге 1:500. Детаљним геолошким картирањем су евидентирани: пукотине и деформације на коловозу и околном терену, пропустима, каналетама и дренажама.

Дуж три геотехничка профила, је изведено осам бушотина, дубине 24,50–27,0 m (укупно 210 m), шест на путу и по једна са узбрдне и низбрдне стране, Слика 2. Језгро бушотина је фотографисано, картирано и узорковано за лабораторијска испитивања.

У све бушотине су уграђене инклинометарске цеви. Инклинометар чине конструкција (пластичне цеви) и прибор за мерење (мерна сонда, апарат за меморисање и баждарени кабал за пренос информација). На врху конструкције је постављена заштитна цев са поклопцем и бетонском коцком. Инклинометарске цеви су перфориране и умотане филцом, тако да у њих слободно улази подземна вода и имају функцију пијезометра. Цеви су стабилизиване шљунчаним засипом, гранулације 2–4 mm. Након "нултог" мерење, које представља пројекције цеви у две равни: управне и паралелне путу. Остала мерења су вршена у односу на "нулту вертикалу". Резултати су дати дијаграмима у две равни и векторима укупних померања.

У циљу праћења померања површинског дела терена постављена је мрежа од једанаест геодетских репера, три (P<sub>1-3</sub>) на стабилном терену и осам у зони клизишта (P<sub>4-11</sub>).

У периоду осматрања мерен је и ниво подземне воде на уграђеним конструкцијама и постојећем истражном окну.



Слика 2: Диспозиција клизишта са положајем геотехничких профила, инклинометарских конструкције (Би) и геодетских репера (Р)

### 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

#### 3.1. Инжењерскогеолошка и хидрогеолошка својства терена и издвојених средина

Истражни простор захвата десну долињску страну Врчинске реке (кота 157). Топографска вододелница (кота 225) се пружа у правцу север–југ. Дужина од реке до врха превоја је око 700 m. Старо клизиште, у облику амфитеатра, дужине 450 m и ширине у ножици 500 m, захвата две трећине благо заталасане падине, нагиба 6–10°. У зони аутопута постоје два пропуста који се уливају у плитке вододерине. Према сведочењу градитеља аутопута на самом клизишту, у зони трасе, је постојао мањи извор. Све површинске воде дифузно гравитирају ка Врчинској реци.

Терен изграђују панонски и квартарни седименти. Панонски, маринско–језерски седименти су представљени песковито–глиновитим ( $M_3^2PG$ ) и лапоровитим ( $M_3^2L$ ) наслагама. Квартарни седименти чине повлату терена, по саставу то су прашинасто–песковито–глиновити наноси, раличите генезе: колувијалне (ko), пролувијално–алувијалне (pr–al) и делувијалне (d).

Издвојене су две врсте насипа: у трупцу пута ( $n_1^{ps}$ ) и ван пута ( $n_2$ ). Насип ( $n_1^{ps}$ ), дебљине 1–6 m, чине прашинасто–песковита, жуто–смеђа глина, добро збијена и слабо водопрпустна. У насип вода дотиче са узбрдне стране и из тампона. Насип ( $n_2$ ), дебљине 0,5–2,5 m, је настао депоновањем материјала из усека и ископа старог пута. Чине га средње збијена прашинасто–песковите глине са дробиним асфалта и бетона.

Колувијалне наслаге активног и умиреног клизишта ( $ko_a, ko_u$ ) су настале гравитационим померањем низ падину: насипа, делувијалних прашинасто–песковито–хумузираних глина, песковито–лапоровито–глиновитих и локално лапора. Дебљина колувијума је 10–20 m. Маса је пукотински и међузрнски порозна и неуједначено водопрпустна и водооцедно. У клизишту је регистрована подземна вода на дубини 2–6 m.

Пролувијално–алувијални нанос ( $pr–al^{p,pr}$ ), дебљине 4–5 m, изграђује уску зараван Врчинске реке. Чине га нормално консолидоване и водозасићене, тамно сиве, сочивасте и локално муљевите наслаге песка и песковите–прашине.

Делувијалне глине прашинасто–песковито–хумузиране ( $d^{pgh}$ ), смеђе до потпуно црне боје, прекривају повлату терена слојем дебљине 1–1,5 m (испод насипа пута 0,5–1 m). Маса је прслински издељена, сезонски водозасићена и претежно високо пластична.

Песковито–лапоровито–глиновити седименти ( $M_3^2PG$ ), оксидисали, жуто–смеђе боје, су констатовани дуж усека пута и испод делувијума у слоју дебљине 10–15 m. Сочивасто и псеудослојевито се смењују: глина, ситнозрно–прашинаст песак и лапоровита глина. Неравномерна водопрпустност, деградираност, испуцалост и променљива физичко–механичка својства, су утицали на смањење чврстоће и настанак клизишта. Лабораторијски су утврђени следећи састав и својства: глина 5–15 %, прашина 50–80%, песак 10–30%,  $w_l=30–70$  %,  $w_p=16–32$  %,  $I_p=15–40$  %,  $I_c=0,66–0,95$ ,  $\gamma=18,3–20,4$  kN/m<sup>3</sup>,  $w=23–36$  %, отпорности на смицање у маси  $\phi=18–30^\circ$  и  $c=5–50$  kPa,  $\phi_r=17–26^\circ$  и  $c_r=8–13$  kPa а на контакту са лапорима  $\phi_r=7–10^\circ$ ,  $c_r=0–20$  kPa.

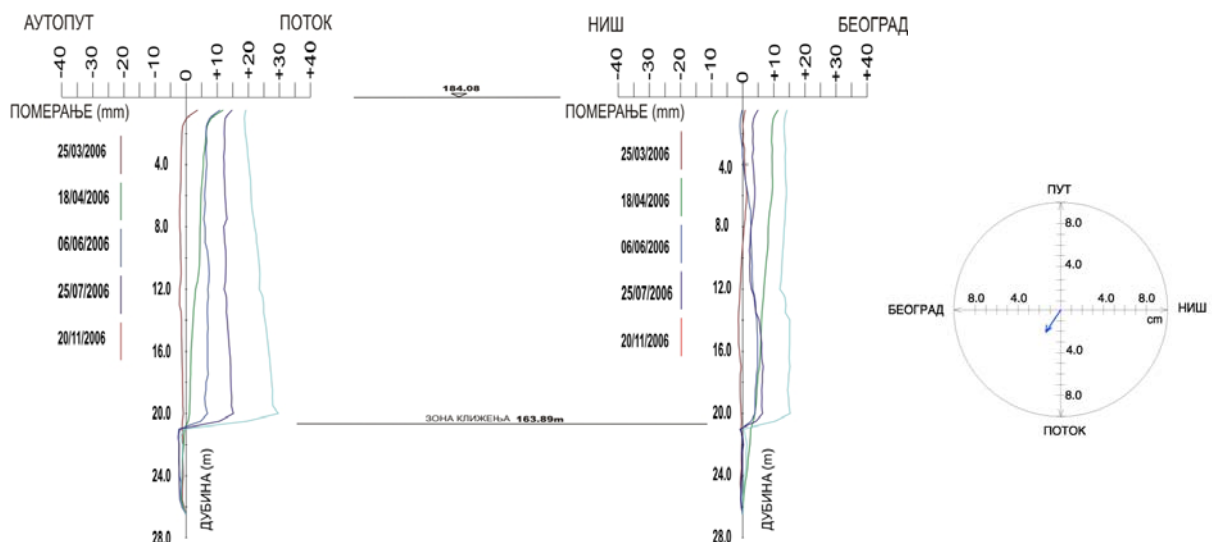
Лапоровити седименти ( $M_3^2L$ ) су констатовани у свим бушотинама на дубини 8–18 m. Лапори су тамно сиви, свежи, тврди и кртог лома, водонепропусни, локално прослојени безводним песковима cm дебљине. У зони контакта са  $M_3^2PG$  у лапорима има пукотина смицања, хаотично распоређених у маси, а што је последица су блоковског кретања тела клизишта. Вредности физичко–механичких параметара су: глина 9–12 %, прашина 60–80 %, песак 7–15 (лок. 25%),  $w_l=44–62$ %,  $w_p=28–37$ %,  $I_p=20–28$ %,  $I_c=0,92–1,37$ ,  $\gamma=18,2–18,9$  kN/m<sup>3</sup>,  $w=26–5$ %, отпорности на смицање у маси:  $\phi=29–33^\circ$ ,  $c=18–75$  kPa,  $\phi_r=12–21^\circ$ ,  $c_r=8–20$  kPa, а узони клизне равни, при граници течења  $w_l=72$ %, су добијени:  $\phi_r=7–10^\circ$ ,  $c_r=0–20$  kPa.

### 3.2. Инклинометрска осматрања

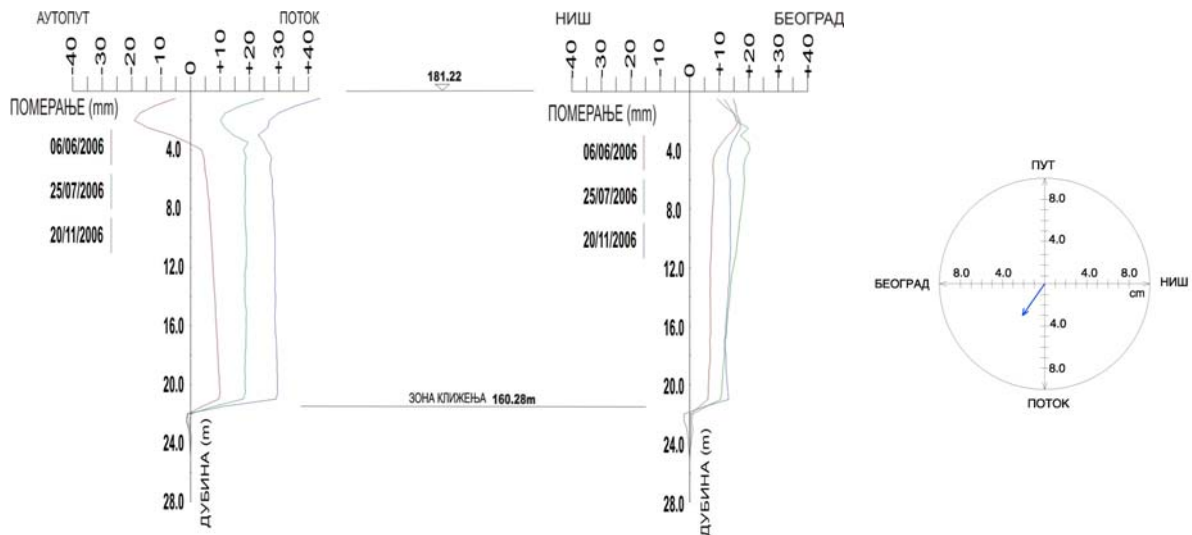
Дуж три геотехничка профила, на осам уграђених инклинометара, осматрања су вршена од децембар 2005 до новембра 2006. год, Слика 2 и Табели 1. Величина и облик померања клизишта је дат дијаграмима у две ортогоналне равни и векторски, Сlike 3, 4 и 5. На дијаграмима у–оса представља дубину бушотине (m) и нулту вертикалу, а х–оса хоризонтална померања (mm) у две равни: у правцу аутопут–поток, и у правцу Ниш–Београд. Линије померања су бојом везане за датум мерење.

Табела 1. Преглед резултата померања инклинометара

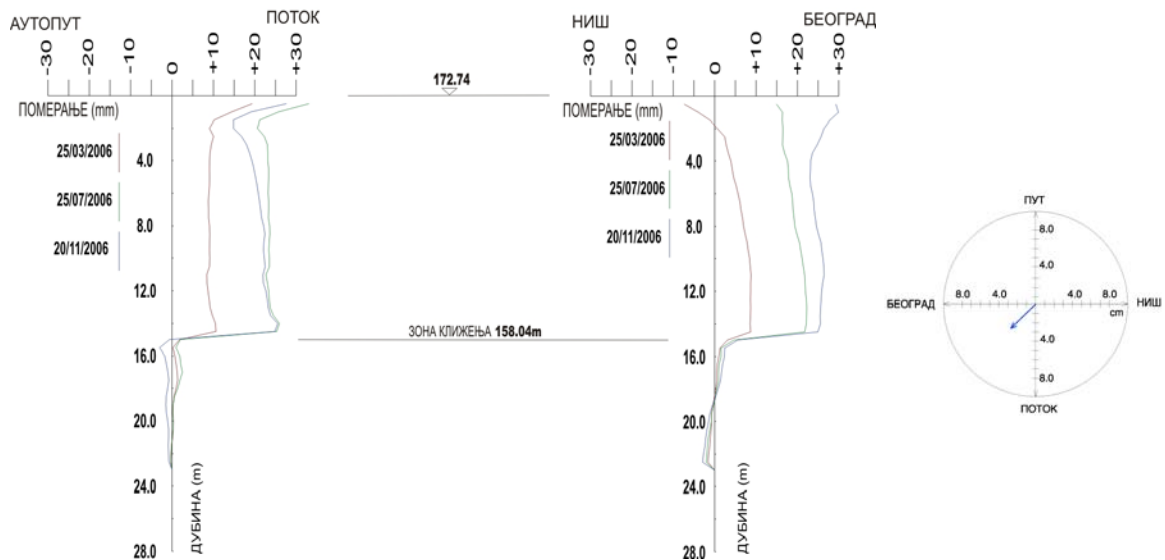
Ознака и број инклинометра (бр. профила)	Дубина конструкције (m)	Дубина до клизне равни (m)	Укупна померања (cm)	Облик померања
Би-1 (1–1)	27,0	14,5	3,3	транслаторан
Би-2 (1–1)	24,3	20,5	2,6	транслаторан
Би-3 (2–2)	26,4	20,5	3,2	транслаторан
Би-4 (2–2)	24,7	21,5	3,7	транслаторан
Би-5 (3–3)	25,4	15,0	2,5	транслаторан
Би-6 (3–3)	26,7	21,5	3,5	транслаторан
Би-7 (2–2)	24,0	–	–	нема померања
Би-8 (2–2)	22,7	14,75	3,8	транслаторан



Слика 3: Инклинометар Би–3 дијаграми и вектор укупних померања



Слика 4: Инклинометар Би-4 дијаграми и вектор укупних померања



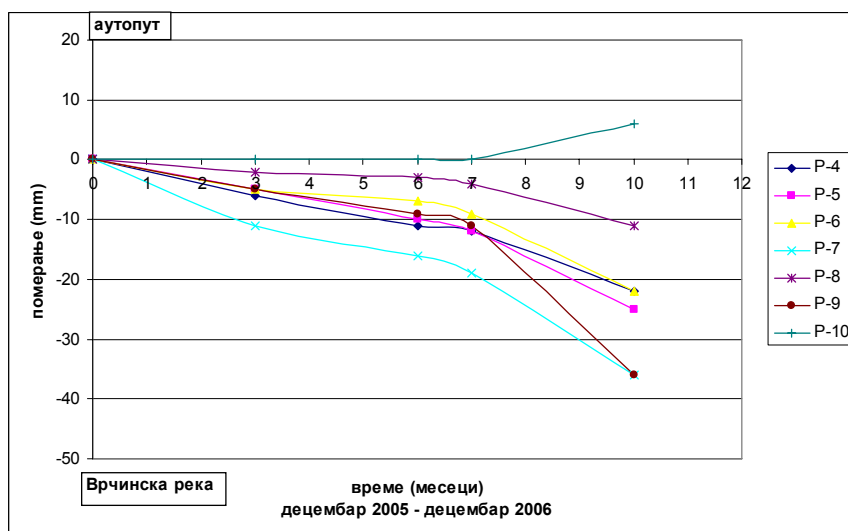
Слика 5: Инклинометар Би-8 дијаграми и вектор укупних померања

### 3.3. Осматрање геодетских репера

Осам геодетских репера који су постављени на клизишту (Р-4 до Р11) су праћени са три стабилна репера, лоцирана ван клизишта (Р-1, 2 и 3). У периоду децембар 2005–новембар 2006. год, извршено је пет серија мерења. Резултати су дати дијаграмима померања кроз време (Слике 6) у координатном систему:

- $x$  - оса на правцу аутопута, а знак (+) има смер ка Београду и
- $y$  - оса приближно управна на аутопут, а знак (-) смер ка Врчинској реци,
- $z$  - оса има вертикалан правац, знак (-) има смер на доле

Упоредивањем координата тачака у текућој серији мерења са њиховим вредностима из "нулте" серије добија се увид у хоризонтална и вертикална померања осматраних тачака. Геодетски репер Р-11 је након нултог читања уништен.

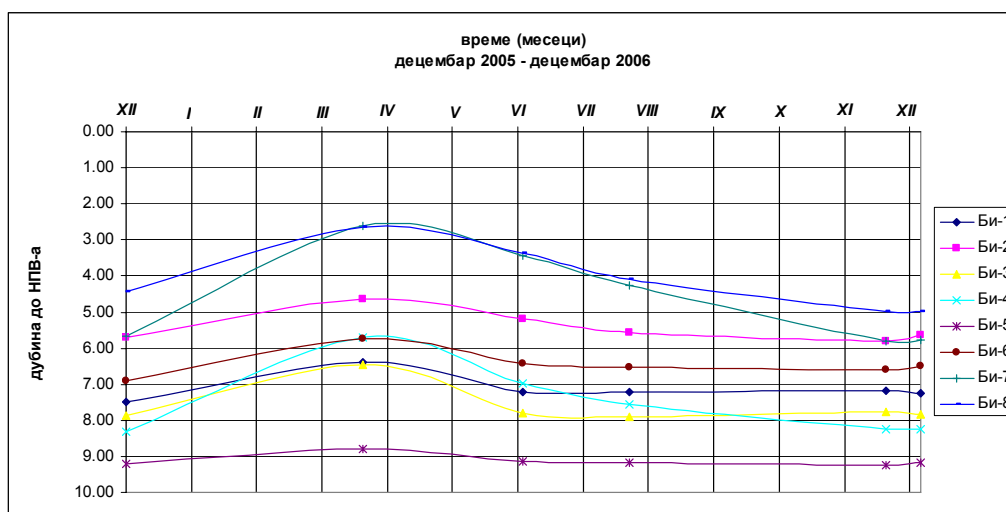


Слика 6: Померање рејера по у-оси

Анализа померања геодетских репера указује да су хоризонтални вектори померања генерално усмерени низ падину ка Врчинској реци, са помацама 1,2–3,8 cm. Максимална слегање репера су 2–3 cm. Осцилације у слегањима на крају осматрачког периода нису јасне и зато осматрања треба наставити. Важно је истаћи да су померања на инклинометрима и геодетским реперима корелативна и сагласна.

### 3.4. Осматрање нивоа подземне воде (НПВ)

Обављено је шест мерења нивоа подземне воде на осам мерних места а осцилације нивоа су приказане дијаграмима, Слика 7. У зони насипа аутопута максимално измерени нивои подземне воде су на дубини 4,5–6,5 m (коте 173,5–178). На мерене нивое има значајан утицај предходно изведена дренажа, дубине 6–7 m. Насупрот томе, са узбрдне и низбрдне стране аутопута, ниво подземне воде је по правилу висок, тј. на дубини око 2,5 m, мерна места Би–7 и Би–8.



Слика 7: Дијаграми осцилације НПВ – изражени дубином од површине терена

Годишње осцилације нивоа подземне воде су 1–2,5 m, са израженим максимумом током пролећа и минимумом крајем јесени. Измерени максимални нивои подземне воде, су назначени на геотехничким пресецима терена. Регистровани нивои, у дужем периоду, могу да буду и вишљи зато осматрања треба наставити, а због величине клизишта треба повећати број мерних места изградом допунских пијезометара. Сагледавање режима подземних вода у зони клизишта ће битно утицати на избор будућих мелиорационо–санационих решења.

#### 4. ГЕОМЕТРИЈА И МЕХАНИЗАМ КЛИЗИШТА

Клизиште захвата обе коловозне траке аутопуту Е–75 Београд–Ниш, на деоници Врчин–Мали Пожаревац (стационажа између два чвора km 3+830 – km 4+123), Слика 8. Клизиште има облик лепезе, дужине око 450 m (од чела до ножице) и променљиве ширине, у зони аутопута 290 m а у ножици 500 m. Површина терена захваћена клизиштем је 18 ha. Висинска разлика, чеони ожилјак – ножица је 35 m, са нагибом падине 6–9° и локалним одступањима у зони ожилјака.

Истраживањима и осматрањем, део клизишта изнад аутопута, површине 2 ha, је окарактерисан као умирено а део од аутопута до потока као активно, површине 16 ha. Умирени део оконтурје лучни чеони ожилјак, висине 2–5 m. На овом делу нису евидентирани појаве деформација, међутим регистровани су трагови ранијих кретања на дубини око 10 m (бушотина Б–10 и инклинометар Би–7). Током једногодишњих осматрања инклинометра Би–7 и геодетског репера Р–10 нису регистрована померања.

Активни део клизишта почиње у зони узбрдне траке аутопута, чеоним ожилјком у виду отворене пукотине на коловозу, дужине 210 m. Повремене денивелације дуж ожилјка су 5–15 cm а на појединим местима до 30 cm. Деформације се појављују после сваког реконструисања коловоза. Ожилјак са узбрдне траке прелази на низбрдну, и клизиште се проширује и захвата око 285 m пута. Цевасти пропуст ка Београду је поломљен и спуштен за 0,60 m. Низбрдно од аутопута, лучни секундарни ожилјци клизишта су маскирани пољопривредним радовима али су уочљиви складови висине 1–2 m.

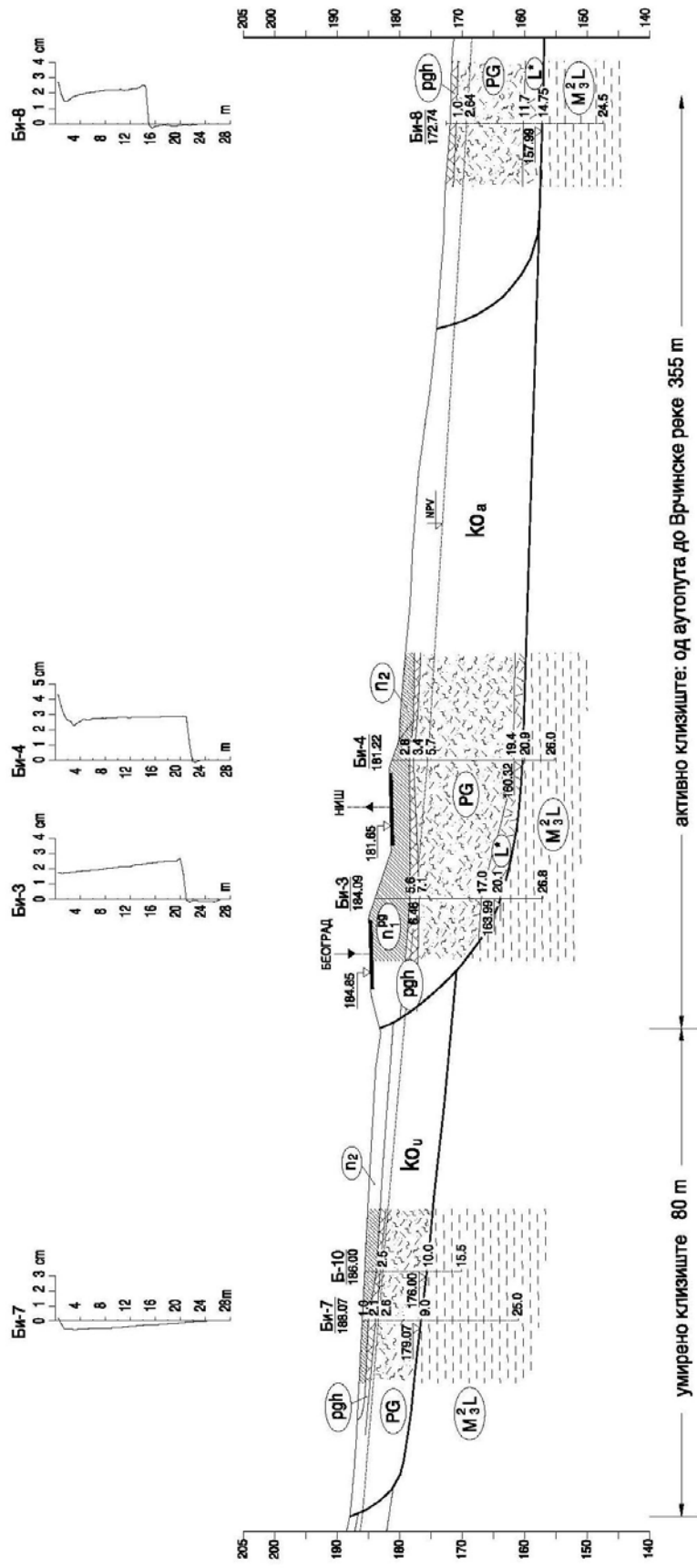
Мерења су показала да је дубина активног клизишта у зони аутопута 14,5–21,50 m (инклинометри Би–1 до Би–6) а са низбрдне стране око 15 m (инклинометар Би–8). Ножица клизишта благо исклињава у зони Врчинске реке. Нагиб клизне равни у зони аутопута је стрм а даље ка потоку, врло благ 3–5°.

Клижењем су поред високог насипа (n) и хумузираног покривача (pgh), потпуно захваћени деградирани миоцени песковито–лапоровито–глиновити седименти (PG) а само делимично деградирани лапори (L\*). Супстрат, тј. стабилну подлогу по којој клиза терен чине масивни, свежи, компактни и водонепропусни сиви лапори (M<sub>3</sub><sup>2</sup>L).

По хидрогеолошкој функцији и стању подземне воде у терену знатно се разликују водопрпусни делови терена захваћени процесом клижења од стабилне и водонепропусне подине. У телу клизишта је регистрован стални ниво подземне воде која се гравитационо и споро процеђује, међузрнски и прслинско – пукотински, са врха падине до Врчинске реке. Максимално измерени нивои подземне воде у зони аутопута су 4,5– 6,5 m а са узбрдне и низбрдне стране аутопута на око 2–2,5 m. Годишње осцилације нивоа су 1–2,5 m. Екстремни нивои су сезонски могући са низбрдне стране аутопута где се ниво, у зонама депресија, издиже до површине терена.

На основу досадашњих истраживања као и осматрања појава деформација у телу клизишта, констатовано је да је терен пре изградње аутопута представљао потенцијално нестабилну падину. До реактивирања процеса и појава деформација на обе коловозне траке долази након изградње аутопута. После тога су изведене дренаже које су успориле али нису зауставиле процес.





Слика 8: Геојехнички профил клизишта 2–2

С обзиром на дубину и динамику процеса клизања, осматрањима је констатовано да се тело клизишта споро деформише и транслаторно помера од аутопута до Врчинске реке. У току 2006. год, у седам инклинометара, укупна померања су била у распону 2,6–3,8 cm, просечно 3,3 cm. Вектори померања су усмерени низ падину ка Врчинској реци.

На основу досадашњих истраживања се може прогнозировать да ће клизиште и даље бити активно са претежно спорим померањима. На коловозу, дуж старих ожиљака ће се појављивати отворене и денivelисане пукотине. Могуће су појаве плићих откидања на косини између две коловозне траке. У прилог изнетој прогнози иде и то да је током прошле године дошло до опште ескалације процеса клижења у Србији а да је клизиште Бегаљичко Брдо имало мале и споре деформације. Међутим ово не искључује могућност појаве повремено већих померања у екстремним хидролошким условима. Из наведених разлога је неопходно наставити осматрања а због величине појаве извршити допуну осматрачке мреже.

## 5. ЗАКЉУЧАК СА ПРЕДЛОГОМ ДОПУНЕ И НАСТАВКА МОНИТОРИНГА

Резултати истраживања су оправдали улагања у мониторинг јер су дефинисани геометрија, механизам и динамика клижења. Потврђена је хипотеза да је старо клизиште реактивирано изградњом аутопута у високом насипу и да се процес одвија по раније формираним зонама клижења, дуж контакта деградираних песковито–лапоровито–глиновитих седимената и масивних, компактних лапора.

Активно клизиште, површине 16 ha и дубине 14,50–21,50 m, има спора транслаторна померања, од аутопута ка Врчинској реци, за годину дана око 3,3 cm. У терену је присутан висок ниво подземне воде, у појасу аутопута на око 5,5 m а са узбрдне и низбрдне стране на око 2 m.

Пошто су деформације споре и мале, сматрамо да за сада, осим редовног одржавања, није неопходно радити радикалне санационе мере. Визуелна и инструментална осматрање клизишта треба наставити због неопходности сталног познавања стања стабилности и алармирања служби за одржавање и безбедност саобраћаја. Мрежа осматрачких објеката већ постоји, а због важности објекта, величине и утврђене дубине клизишта, њу треба допунити са три инклинометра и три пијезометра. Један инклинометар уградити на аутопуту а два са низбрдне стране пута, дуж постојећих профила. Са низбрдне стране извести три пијезометра.

Мерења треба вршити тромесечно. У случају екстремних хидролошких услова и изненадних већих померања, радити ванредна мерења. Резултате треба достављати Инвеститору периодично и годишње. Извештаји треба да садрже препоруке за одржавање. У случају да се укаже потреба за извођењем трајне санације, ови резултати ће послужити као подлога за израду главног пројекта санације.

## РЕФЕРЕНЦЕ

1. Б.Јелисавац „*Прилог истраживању динамике померања активних клизишта у глинама*“ Други симпозијум о клизиштима, Г.Милановац, 1995.
2. Б.Јелисавац, С.Миленковић, С.Живковић „*Мониторинг и дојунска геотехничка истраживања клизишта Бегаљичко брдо I на аутопуту Е-75 Београд-Ниш, км 608+300 Завршни извештај*“, Институт за путеве, Београд, 2007.год.