

УТИЦАЈ БИОАРМИРАНОГ ЗЕМЉИШТА НА СТАБИЛНОСТ КЛИЗИШТА „РАКЉА“

Младен Марковић¹, Никола Живановић², Гроздана Гајић²

¹ЈП „Путеви Србије“ Београд, Србија; e-mail: mladen.markovic@putevi-srbije.rs

²Универзитет у Београду Шумарски факултет

АПСТРАКТ

Вегетација може повећати стабилност клизишта утицајем кореновог система, поправком физичко-механичких особина земљишта. Утицај корена приликом рачунања стабилности падина изражен је преко кохезије „био-армираног“ земљишта. У раду су приказане анализе стабилности клизишта „Ракља“, без и са утицајем био-армирања земљишта. Софтвер за геотехничко нумеричко моделирање-GeoStudio 2007 је коришћени за све анализе стабилности клизишта, методом Janbu-a. Утицаја кореновог система на стабилност клизишта је анализиран као ламела са појединачним анкерисаним „био-шипом“, који је дефинисан моделом за сваку одабрану биљну врсту. Модел биошипа је подељен у две зоне био-армирања и симулиран у конкретним условима средине. Анализом стабилности клизишта „Ракља“ изабране су три карактеристичне клизне равни, које не испуњавају услов стабилности $F_s \geq 1,5$. Након био-армирања земљишта коефицијент фактора сигурности повећан је код свих изабраних клизних равни. Клизне равни које садрже >55% био-армираног земљишта, у односу на целу клизну површину, испуњавају услов стабилности. Приказани резултати представљају допринос у проналажењу адекватних решења санације клизишта применом биолошких мера.

Кључне речи: клизиште, коренов систем, кохезија „био-армираног“ земљишта, анализа стабилности, вегетација

EFFECT OF BIO-REINFORCED SOIL ON STABILITY OF THE “RAKLJA” LANDSLIDE

ABSTRACT

Vegetation can increase stability of landslides by the influence of the root system, by improvement physical-mechanical properties of soil. The influence of root in calculating slope stability is expressed through root cohesion. In this paper are presented stability analysis of the „Raklja” landslide, before and after bio-reinforcement of soil. Software for geotechnical numerical modeling-GeoStudio 2007 was used for all landslide stability analyzes, by the Janbu method. The influence of root system on landslide stability was analyzed as a slice with a single anchored „bio-pile”, which is defined by the model for each selected tree/shrubs species. The biopile model is divided into two bio-reinforcement zones and simulated in real conditions. By analyzing stability of the “Raklja” landslides, three characteristic shear planes were selected, which do not fulfill stability condition $F_s \geq 1.5$. Shear plane containing >55% bio-reinforced soils, in relation to entire slip surface, fulfill the stability condition. After bio-reinforcement of

soil, coefficient of factor of safety of shear plane 1 was increased by 0,3, at shear plane 2 by 0,4 and shear plane 3 by 0,4. Results presented represent a contribution in finding adequate solutions to landslide rehabilitation using biological measures.

Key words: landslide, root system, root cohesion, stability analysis, vegetation

УВОД

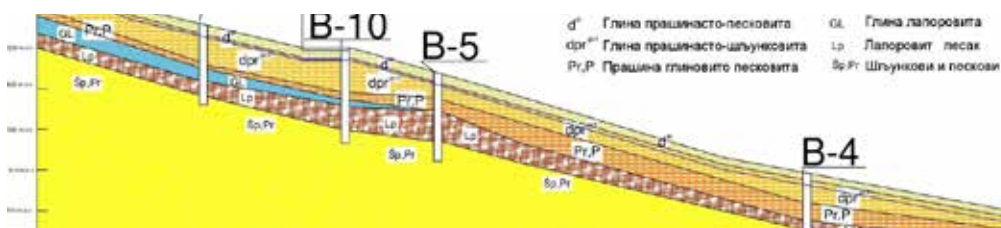
Клизишта настала утицајем природних или антропогених фактора, имају потенцијал стабилизације применом биолошких мера као решења. Присуство вегетације доприноси стабилности терена и спречавању настанка површинских и унутрашњих облика ерозионих процеса (спирања, бразде, јаруге, клизишта, одрони, улегнућа, суфозија и сл.) на нестабилним и условно стабилним теренима. Вегетација има вишеструки утицај на стабилност терена, који остварује својим површинским и подземним деловима. Коренов систем може да утиче на стабилност клизишта, поправком физичко-механичких особина земљишта на којем се развија (Wu 1976, Ziemer 1981). Тенденција корена да збија честице земљишта у једну монолитну масу доприноси повећању отпорности земљишта, пре свега кохезије, која се назив кохезија „био-армираног“ земљишта (c_r). Био-армирано земљиште у ножици клизишта може повећати стабилност за 10% (Stokes 2004). У шумама на падинама, примећено је да се плитка клизишта јављају на местима где није присутна вегетација или је извршена прореда шуме (Roering et al., 2003). Развијеност, положај и морфологија кореновог система одређују колико ефикасно корен делује на стабилност клизишта и отпорност на дестабилизујуће силе. Биљне врсте имају три главна облика кореновог система: тањираст, срцаст и израженом срчаницом (Köstler 1968). У санацији клизишта, користе се различите биљне врсте које морају бити прилагођене условима терена и типу санације.

У овом раду приказане су анализе промене стабилности на подручју истраживања клизишта „Ракља“, пре и након био-армирања земљишта. Циљ рада је да се размотри могућност примене биолошких мера у санацији клизишта као превентивних и стабилизационих мера или у комбинацији са техничким мерама.

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД

Подручје истраживања

На државним путу II А број 207 деоница Александровац-Јошаничка Бања, код села Ракља, током зиме и пролећа 2006. године, идентификовани су процеси нестабилности на терену. Клижење је обухватило труп пута и околни терен изнад и испод пута на површини око 1 ха. Запремина покренутог материјала је реда величине око 30.000 m³. Деформације на клизишту су у хоризонталном правцу до 2 m, а у вертикалном око 1 m. Клизна површина се формира на дубини 3-4 m од површине терена, нагиб клизишта је 18°. Деформације су најизраженије на природној падини испод пута, у виду улегнућа, заталасаност терена и пукотина (Милић и др. 2007). На слици 1 приказан је геотехнички пресек терена. Геотехнички модел терена је дефинисан на основу одговарајућих теренских истраживања и лабораторијских испитивања (табела 1). До активирања клизишта „Ракља“ дошло је услед водозасићења терена, које је изазвано великом количином падавина, наглим топљењем снега и великим приливом подземних вода из залеђа.



Слика 1: Геотехнички пресек клизишта „Ракља“ (извор: Институт за путеве)

Терен у коме је формирано клизиште „Ракља“, изграђен је у површинском делу од глиновитих прашинастих-пескова и глиновитих прашинастих-шљункова, делувилалног и делувилално-пролувилалног порекла, дубине од 3 до 5 m. Основу терена, до дубине око 15 m, изграђује врло хетероген комплекс језерских седимената, у горењем слоју представљен лапоровитим глинама и прашинастим глиновитим-песковима (GL;Pr,P), а у дубљим слојевима лапоровитим песковима и шљунковима и песковима (Lp;Šp,Pr).

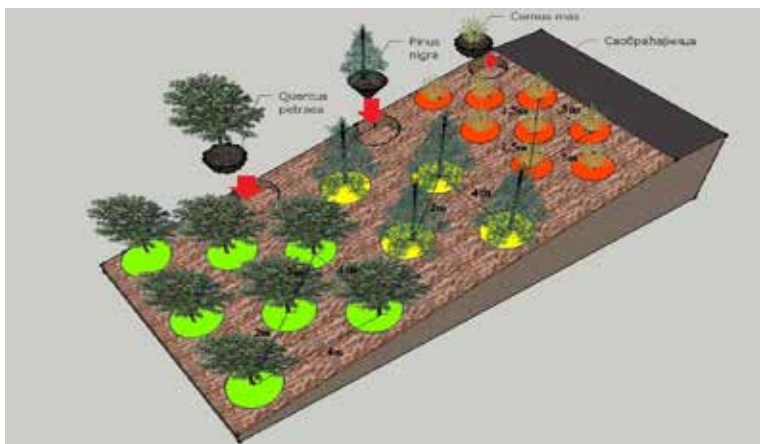
Табела 1: Физичко-механичке вредности земљишта клизишта „Ракља“

Слојеви земљишта	Запреминска тежина (γ)	Угао унутрашњег трења (ϕ)	Кохезија (c)
Глина прашинасто-песковита	19 kN/m ³	17°	10 kPa
Глина прашинасто-шљунковита	19 kN/m ³	19°	9 kPa
Прашина глиновита псковита	19 kN/m ³	17°	10 kPa
Глина лапоровита	19 kN/m ³	15°	13 kPa
Лапоровит песак	20 kN/m ³	21°	10 kPa

(извор: Институт за путеве)

Модел биошипа

Са аспекта утицаја вегетације на стабилност клизишта, анализирана је коренов систем као ламела са појединачним шипом, односно анкерисаним „био-шипом“. Био-шипови су постављени на најугроженијем делу клизишта, на падини испод пута. Плани и распоред садње је приказан на слици 2. Ерозивни процеси могу се појавити код великих размака између садница (Brang et al., 2006, Brett and Klinka 1998), шахматским распоредом садње могу се спречити ови процеси. У ламелама са биошипом повећана је кохезија због утицаја кореновог система. Облик и димензије кореновог система усвојене су на основу морфологије одабраних биљних врста (Kokutse et al. 2006.) *Cornus mas*, *Pinus nigra*, *Quercus petraea*, који су дефинисани моделом биошипа (слика 3). У циљу добијања што веродостојнијих резултата, модел је подељен у две зоне био-армирања и симулиран у конкретним условима средине.



Слика 2: План и распоред садње на клизишту „Ракља“ (извор: аутор)

Вредности затезне чврстоће корена (t_r) се мере опитима директног смицањем (Turmanina 1965, Burroughs and Thomas 1976, Gray 1978). Применом полуемпириске једначине, затезну чврстоћу корена претварамо у кохезију „био-армираног“ земљишта (c_r) (Hausmann 1978, Wu 1984).

$$c_r = t_r(\cos\theta \tan\phi + \sin\theta)$$

c_r - кохезију „био-армираног“ земљишта, t_r - средња вредности затезне чврстоће корена по јединици површине земљишта, θ - угао пресецања корена и зоне смицања, ϕ - угао унутрашњег трења

Истраживањем Coppins and Richards (1990) вредности кохезију „био-армираног“ земљишта су од 1,0 до 17,5 kPa. За анализе стабилности падине под утицајем кореновог система Holsworth (2014) је користио вредност $c_r = 10$ kPa за све изабране биљне врсте. Вредности c_r опадају са порастом дубине „био-армираног“ земљишта (Mao et al., 2012). За потребе овог рада усвојене су вредности „био-армираног“ земљишта c_r , Зона 1=15 kPa и Зона 2=5 kPa. Canadell et al. (1996) су утврдили, да 80-90% главна биомасе корена се налази на дубини од 0,9 m. Зону 1 чини главна биомаса кореновог система на дубини од 0 m до 0,9 m. Био-армирањем земљишта повећава се стабилност код клизишта дубине 2-3 m, код дубљих клизишта која се налазе ван зоне кореновог система, утицај био-армирања је занемарљив (Norris et al., 2008). У Зони 2 коренов систем је мање присутан на дубини од 0,9 m до 2-3 m, зависно од биљне врсте.



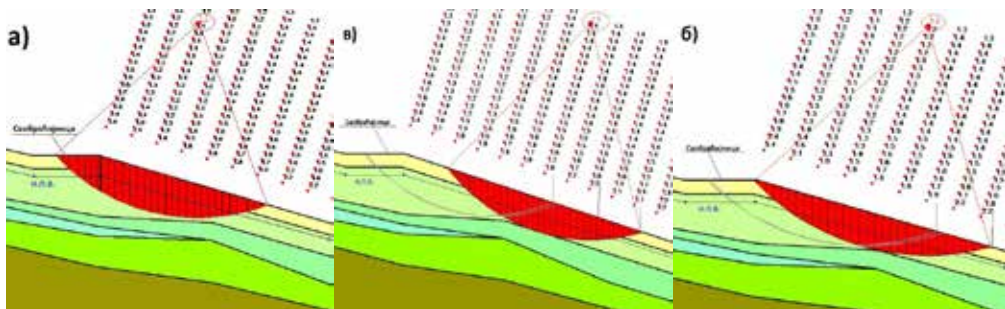
Слика 3: Модел биошипа за *Cornus mas* (извор: аутор)

Софтвер за геотехничко нумеричко моделирање-GeoStudio 2007 је коришћени за све анализе стабилности клизишта, методом Janbu-a. Метода представља аналитичко решење методе ламела за површине клизања произвољног облика. Метода Janbu има ширу и значајну примену при испитивању падина у погледу промене равнотежног стања и постојеће равнотежне стања падине. На тај начин може се пратити однос у степену побољшања, односно погоршавања услова стабилности. За сваки слој у датом моделу уносе се параметри отпорности земљишта на смицање, запреминске тежине (природне, засићене, потоњене), док је ниво подземне воде усвојен на дубини од 2 m од површине терена. Софтвер разматра више потенцијалних клизних равни у задатом моделу и даје критичну клизну раван са најмањим фактором сигурности.

Анализа стабилности падине извршена је за три карактеристичне клизне равни, са и без утицаја вегетације. Клизна раван 1 захвата конструкцију саобраћајнице и падину испод пута, клизна раван 2 захвата ивицу саобраћајнице и падину испод пута док је клизна раван 3 на самој косини испод пута. Клизање се одвија дуж контакта глиновито прашинастих-пескова до глиновито прашинастих-шљункова и лапоровитих седимената код све три клизне равни.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

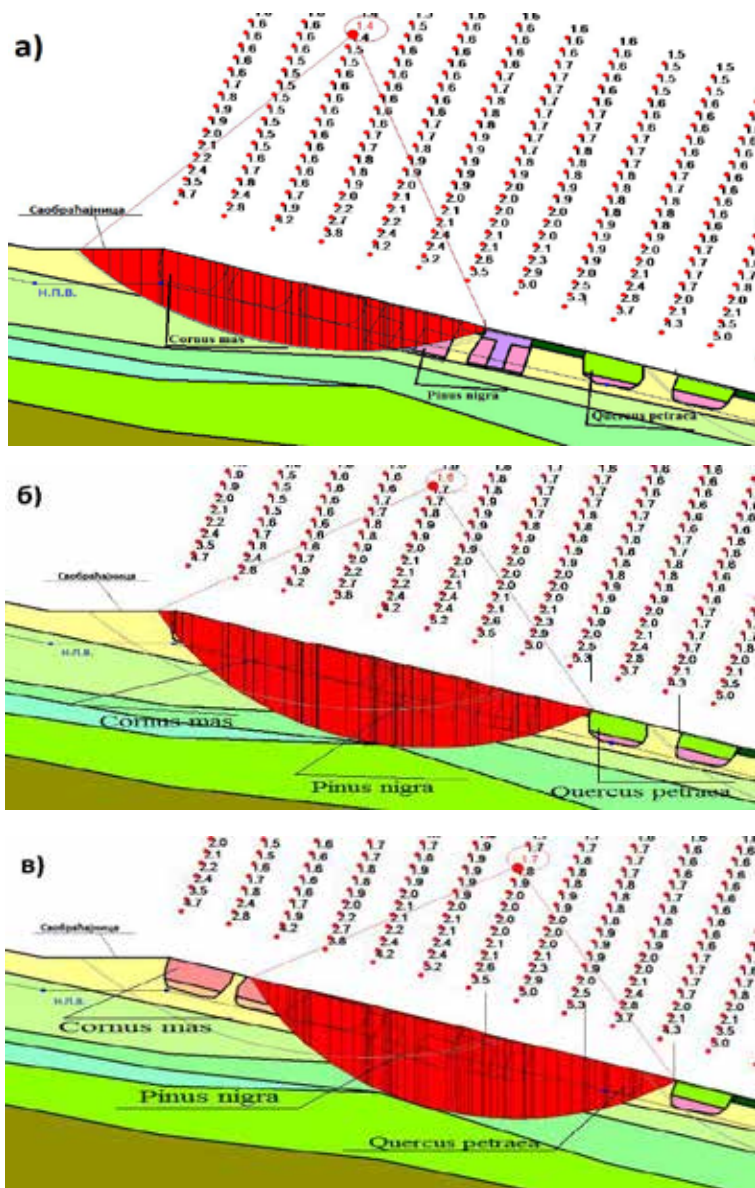
Анализом стабилности клизишта „Ракља“, за изабране три карактеристичне клизне равни, које обухватају пут, труп пута и површину испод пута, без утицаја вегетације установљено је да све три клизне равни не испуњавају услов стабилности $F_s \geq 1,5$. Фактор сигурности за клизну равна 1 износи $F_s=1,1$ (слика 3 а), клизну раван 2 $F_s=1,2$ (слика 3 б) и клизну раван 3 $F_s=1,3$ (слика 3 в). Најнижа вредност фактора сигурности добијана је за клизну раван 1.



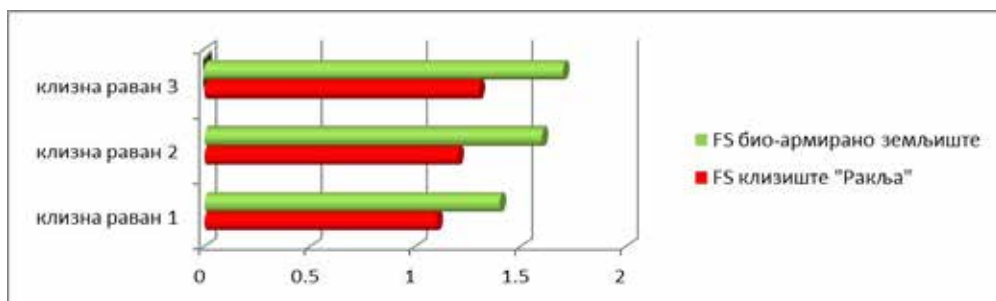
Слика 4: Анализа стабилности клизишта „Ракља“: а) Клизна равна 1, б) Клизна раван 2, в) Клизна равна 3 (извор: аутор)

Увођењем био-шипова у модел терена и извршеном анализом стабилности добијане су вредности фактора сигурности за клизну равна 1 $F_s=1,4$ (слика 4 а), клизну раван 2 $F_s=1,6$ (слика 4 б) и клизну раван 3 $F_s=1,7$ (слика 4 в). Упоредном анализом фактора сигурности, без утицај и са утицајем вегетације, фактори сигурности су повећани код свих изабраних клизних равни (слика 5). Фактор сигурности клизне равни 1 је повећан за 0,3, код клизне равни 2 и 3 за вредност 0,4. Повећање фактора сигурности код клизних равни 2 и 3 је довољно за постизање стабилности падине, док код клизне равни 1 то није случај. Процентуални садржај био-армираног земљишта у односу на целу клизну површину,

најмањи је код клизне равни 1 и износи 41,88%, док код клизне равни 2 и 3 износи >55%. Клизна раван 1 поред најмање процентуалне заступљености био-армираног земљишта, у зони највећих напона смицања клизног тела, нема утицај био-армираног земљишта, те стога има најмање повећање фактора сигурности. Приказани резултати фактора сигурности указују да је распоред садње на условно стабилним и нестабилним падинама од великог значаја за постизање пуног ефекта био-армираног земљишта на стабилност падина.



Слика 5: Анализа стабилности клизишта „Ракља“ након био-армирања земљишта:
а) Клизна раван 1, б) Клизна раван 2, в) Клизна раван 3 (извор: аутор)



Слика 6: Упоредна анализа фактора сигурности пре и након био-армирања земљишта (извор: аутор)

Вегетација представља живи систем који се развија у времену и простору. У првим годинама, вегетација на нестабилним теренима неће дати потпун ефекат повећавања стабилности. На дугорочном нивоу треба рачунати на повећање стабилност падине, ако се биљке одржавају и неометано развијају. Примена биолошких мера санације клизишта је најбоље резултате показала као превентивна мера, пре настанка клижења и формирања клизишта (Lewis 2000). На нестабилним теренима могу се применити одговарајуће техничке мере које обезбеђују стабилност у комбинацији са биолошким мерама санације. У највећем броју случајева у почетној фази главну улогу имају техничке мере. Након одређеног временског периода успостављен систем вегетације постаје примаран и може се рачунати на смањење ризика од поновног клизања. Примена биолошке компоненте у санацији клизишта, које временом остварују већу функцију у стабилизацији падине, омогућавају да се димензионисање техничких објеката може вршити са применом мањих фактора сигурности, чиме се постиже рационализација.

ЗАКЉУЧАК

На државним путу II А број 207 деоница Александровац-Јошаничка Бања, код села Ракља, идентификовани су процеси нестабилности на терену. Клижење је обухватило труп пута и терен испод пута. Анализом стабилности клизишта „Ракља“ изабране су три карактеристичне клизне равни. Фактор сигурности за клизну равна 1 је $F_s=1,1$, клизну равна 2 $F_s=1,2$ и клизну равна 3 $F_s=1,3$. Може се закључити да ниједна клизна равна не испуњава услов стабилности $F_s \geq 1,5$.

Увођењем био-армираног земљишта у анализу стабилности падине, добијене су вредности фактора сигурности за клизну равна 1 $F_s=1,4$, клизну равна 2 $F_s=1,6$ и клизну равна 3 $F_s=1,7$. Упоредном анализом фактора сигурности, након био-армирања земљишта фактор сигурности клизне равни 1 је повећан за 0,3, код клизне равни 2 за 0,4 и клизне равни 3 за 0,4.

Процентуални садржај био-армираног земљишта код клизне равни 1 у односу на клизну површину је 41,88% и услов стабилност није испуњен. Клизне равни 2 и 3 садрже >55% био-армираног земљишта и испуњавају услов стабилности.

Може се закључити да примена био-армираног земљишта има утицаја на повећање

фактора сигурности и да у многоме зависи од распореда садње и процентуалног учешћа био-армираног земљишта у клизном телу.

Извршеним анализама утврђено је да би се применом вегетације, односно утицајем био-армираног земљишта на подручје истраживања клизишта „Ракља“, постигло у одређеном временском периоду потребном за развој кореновог система, повећање стабилности.

ЛИТЕРАТУРА

Wu TH, McKinnell WP, Swanston DN (1979): „*Strength of tree root and landslides on Prince of Wales Island*“, Alaska.

Ziemer, R. R., (1981): „*The role of vegetation in the stability of forested slopes*“, Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress. Japan. 297-308

Stokes A, Mickovski SB, Thomas BR (2004): „*Eco-engineering for the long-term protection of unstable slopes in Europe: developing management strategies for use in legislation*“, IX International Society of Landslides conference, 2004, Rio de Janeiro, Brazil.

Roering, J.J., Schmidt, K.M., Stock, J.D., Dietrich, W.E., Montgomery, D.R., (2003): „*Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon Coast Range*“. Can. Geotech. J. 40, 237–253.

Köstler JN, Brückner E, Bibelriether H (1968): „*Die Wurzeln der Waldbäume*“, Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlin.

Милић Ј., Јотић М., Јевтић М., Убипарип Б. (2007): „*Приказ клизишта формираних током 2005 и 2006 године на магистралној и регионалној путној мрежи Србије резултати и истраживања и санационе мере*“, Материјали и конструкције 50 (2007) 3 стр.41-46.

Brang, P., Schönenberger, W., Frehner, M., Schwitter, R., Thormann, J.J., Wasser, B., (2006): „*Management of protection forests in the European Alps: an overview*“, Forest Snow and Landscape Research. 80, 23–44.

Brett, R.B., Klinka, K., (1998): „*A transition from gap to tree-island regeneration patterns in the subalpine forest of south-coastal British Columbia*“. Can. J. For. Res. 28, 1825–1831

Kokutse N., Fourcaud T., Kokou K., Neglo K., Lac P. (2006): „*3D Numerical Modelling and Analysis of the Influence of Forest Structure on Hill*“, Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides, Slopes Stability 561-567.

Turmanina, V. I., (1965): „*The strength of tree roots*“, Bulletin of the Moscow Society of Naturalists Biological Section 70. 36-45.

Burroughs, E. P.; Thomas, R. R., (1976): „*Root strength of Douglas Fir as a factor in slope stability*“, USDA Forest Service Review, INT 1600-1612 .

Gray, D. H., (1978): „*Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilizing slopes*“, Symposium on Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques. Sydney, Australia. 253-306

Hausmann, M. R., (1978): „*Behavior and analysis of reinforced soil*”. Ph.D. Thesis. University of South Wales, Sydney, Australia.

Wu, T. H., (1984): „*Effect of vegetation on slope stability*”, Soil Reinforcement and Moisture Effects on Slope Stability. Transportation Research Record 965. 37-46

Coppins, N. J., and Richards, L.G. (1990): „*Use of Vegetation in Civil Engineering*“, Butterworths, London.

Holsworth L. (2014): „*Numerical analysis of vegetation effects on slope stability*“, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Wien, Austria.

Mao Z., Saint-Andréb L., Genetec M., Mined F.X, Jourdanb C., Reye H., Courbaudf B., Stokesa A. (2012): „*Engineering ecological protection against landslides in diverse mountain forests: Choosing cohesion models*“, Ecological Engineering 45 (2012) 55-69.

Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E., Schulze E.-D. (1996): „*Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale*“.

Norris JE, Stokes A, Mickovski SB, Cammeraat E, Beek R, Nicoll BC, Achim A. (2008): „*Slope stability and erosion control: Ecotechnological solution*“, Springer, The Netherlands.

Lewis L. (2000): „*Soil Bioengineering An Alternative for Roadside Management*“, San Dimas Technology & Development Center San Dimas, California.