

Гроздана Гајић ¹, Игор Миљановић ², Никола Живановић ¹, Мирјана Станишић ³, Милица Павловић ⁴, Весна Дамњановић ²

Упоредна анализа ефекта биолошког “армирања” и њихов утицај на унутрашњу ерозију

Comparative analysis of the effects of biological „reinforcement” and their ascendancy on internal erosion

¹ Универзитет у Београду Шумарски факултет,

² Универзитет у Београду Рударско геолошки факултете,

³ Maastricht School of Management, EP Maastricht The Netherlands,

⁴ Министарство пољопривреде шумарства и водопривреде - Републичка дирекција за воде

Извод

Упоредна анализа ефекта биолошког “армирања” у односу на референтно испитивано лесно земљиште извршена је да би се дефинисало: повећања вредности параметара отпорности на смицање и смањења вредности филтрационо струјних показатеља. Контрадикторност утицаја биолошког “армирања” на наведене параметре доводи до повећања укупне отпорности земљишта на настанак и развој свих облика унутрашње ерозије. Биолошки “армирано”, у односу на референтно лесно земљиште показује промене, како у физичко-механичким карактеристикама, тако и код филтрационо струјних показатеља унутрашње ерозије. У циљу комплекснијег сагледавања проблема унутрашње ерозије битно је анализирати и утицај присуства коренових система у земљишту на појаву и развој процеса унутрашње ерозије. Формирани математички модели и успостављене функционе везе између водног режима и отпорних карактеристика референтног и биолошки “армираног” земљишта, омогућили су упоредну анализу ефекта биолошког “армирања” на физичке и механичке особине земљишта, као и практичност примене ових резултата у пракси.

Кључне речи: физика земљишта, гео-статистика, филтрационо струјни показатељи, лес, биолошко “армирање”, ризици, унутрашња ерозија, упоредна анализа.

Abstract

The objective of the resented comparative analysis of the effect of biological „reinforcement” compared to reference loess soil was to define: the increase in the value of resistance parameters on shear and the decrease in the value of seepage stream parameters. The contradictory effect of biological „reinforcement” on the above parameters leads to the increase in the total soil resistance to the formation and development of all forms of internal erosion. Biologically „reinforced” soil, compared to reference loess soil shows the changes in both physical-mechanical characteristics and seepage stream indicators of internal erosion. Aiming at a more complex analysis of the problem of internal erosion, it is indispensable to analyse also the effect of the presence of roots in the soil on the occurrence and development of internal erosion. The comparative analysis of the effects of biological „reinforcement” on physical and mechanical characteristics of the soil, as well as the practical implementation of the results in practice have been made possible by the formed mathematical models and the established functional relations between water regime and resistance characteristics of the reference soil and biologically “reinforced” soil.

Key words: soil physics, geo-statistics, seepage stream parameters, loess soil, biological “reinforcement”, risk, internal erosion, comparative analysis.

Увод и циљ рада

Истраживања која су претходила анализи која ће бити приказани у овом раду урађена су на узорцима референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта са подручја познатог као „Стишка долина“. Гео статистичком обрадом резултата ових истраживања дефинисани су параметри од којих зависи интензитет унутрашњих ерозионих процеса. Показатељи настанка и интензитета унутрашњих ерозионих процеса код лесног земљишта су параметри отпорности на смицање, угао унутрашњег трења и кохезија у функцији влажности, и градијенти филтрације подземне воде у функцији сувих запреминских тежина, (И.Миљановић, Г.Гајић, 2011).

Присуство кореновог система, односно његов раст и развој у макропорозној зони леса утиче на промену првобитне структуре. Раст и развој кореновог система нарушава првобитну макропорозност, као и цевасту порозност и због повећане локалне збијености утиче на смањење порозности у зони кореновог система. Што указује на промене и осталих физичко-механичких параметара биолошки „армираног“ леса. Из тих разлога је извршено испитивање физичко-механичких карактеристика и филтрационих параметара код биолошки „армираног“ лесног земљишта, као и њихов утицај у погледу појаве и развоја процеса унутрашње ерозије, (Гајић Г., 2005).

Основни циљ истраживања је дефинисање физичко-механичких особина код референтног и код земљишта у ком је присутна биолошка компонента, односно у зони кореновог система. Поред испитивања физичко-механичких и филтрационих особина земљишта, испитани су и градијенти филтрације подземне воде, као показатељи настанка унутрашње ерозије и течења земљишта. Механизам настанка унутрашње ерозије условљен је различитим чиниоцима који делују на промену: напонског стања, физичко-механичких карактеристика и водног режима, ерозијом ангажованог земљишта, (Тодоровић, Г.; Гајић Г., 1997). У зависности од промена ових параметара, зависи степен и облик унутрашње ерозије код леса.

Материјал и метод рада

Порекло материјала

Лесно земљиште које је анализирано у овом раду је са подручја Пожа-ревца и Костолца, познатог под називом „Стишка долина“. Лесни плато у овом подручју сачињава саме обале и широке речне терасе реке Дунава и Млаве, има благо заталасану површину чије се апсолутне коте крећу од 70м.н.м. на обалама Дунава и Млаве, до 170м.н.м. на Лештару. Доминантни облици ерозије земљишта на заравнима речних тераса су унутрашњи ерозиони процеси, док су на падинама Лештара присутни и интензивни површински облици ерозије. Поред описаних на овим просторима су карактеристични и облици деградације речних обала и косина површинских ископа који су такође настали и/или формирану у лесу. Стабилност, и обала и косина такође су условљени физичко-механичким променама при водозасићењу и деловању филтрационих сила у лесној срадини, (Vujić S. et.al 2011).

Са овог подручја је узет 41 непоремећени узорак референтног и исто толико биолошки „армираног“ лесног земљишта. Узорци су испитани у лабораторијским условима према прописаним стандардима из групације СРПС - У.Б1. Референтни лес су узорци леса без присуства кореновог система, док је биолошки „армирани“ лес термин за узорке узете из зоне кореновог система. Узорци биолошки „армираног“ леса у својој маси су садржали 10÷ 20% периферних делова кореновог система, да би се прилагодили апаратима из групације СРПС - У.Б1.

Метод рада

Методе рада при изучавању референтног и биолошки “армираног” лесног земљишта су теренски истражни радови и лабораторијско испитивање. Теренски истражни радови су обухватили узимање непоремећених узорака. Лабораторијским испитивањима узетих непоремећених узорака су одређени физичко-механички и филтрациони параметри. Метод који је примењен има за циљ да се кроз анализу добијених резултата дође до квантитативних показатеља утицаја кореновог система на промене физичко-механичких и филтрационих параметара земљишта, а самим тим, и настанка унутрашње ерозије, (Г.Гајић, 2000). Анализирање унутрашње ерозионе стабилности извршиће се упоредном анализом, градијената филтрације подземне воде, сувих запреминских тежина, влажности и параметара отпорности на смицање код референтног и биолошки “армираног” лесног земљишта.

Утицај биолошке компоненте на настанак унутрашњих ерозионих процеса, који се приказује у овом раду, односи се на утицај кореновог система у гео-ерозионом моделу терена. Формирање кореновог система, већа или мања маса главних, скелетних, секундарних, и фиброзних жила зависи у великој мери од земљишних услова (дубина, механички састав, аерација, плодност, влажност и сл.). Посматрано са друге стране, раст и развој кореновог система нарушава структуру земљишта, а самим тим мења физичко-механичке особине земљишта. Све ово доводи до закључка да су коренов систем и гео-ерозиони модел терена у узрочно последичној функцији у погледу настанка и развоја унутрашњих ерозионих процеса.

Тип испитивања и резултати испитиваних параметара земљишта

Испитивања и одређивања вредности физичко-механичких параметара и филтрационих показатеља код референтног и биолошки “армираног” лесног земљишта, извршено је на свим узетим узорцима, (укупно 82). Утицај биолошке компоненте је регистрован код следећих параметара: порозности, запреминских тежина, водопропустљивости и параметара отпорности на смицање. За потребе компаративне анализе резултата у оквиру овог рада биће приказане само карактеристике где су регистроване промене због присуства кореновог система, (Гајић Г., 2005).

Садржај воде у земљишту - у моменту узимања узорака, макропорозне зоне леса се креће у границама од $6,5\% \div 35,3\%$ (22,5). Испитиване вредности садржаја воде код биолошки “армираног” лесног земљишта су $12,2 \div 26,24\%$ (19,1).

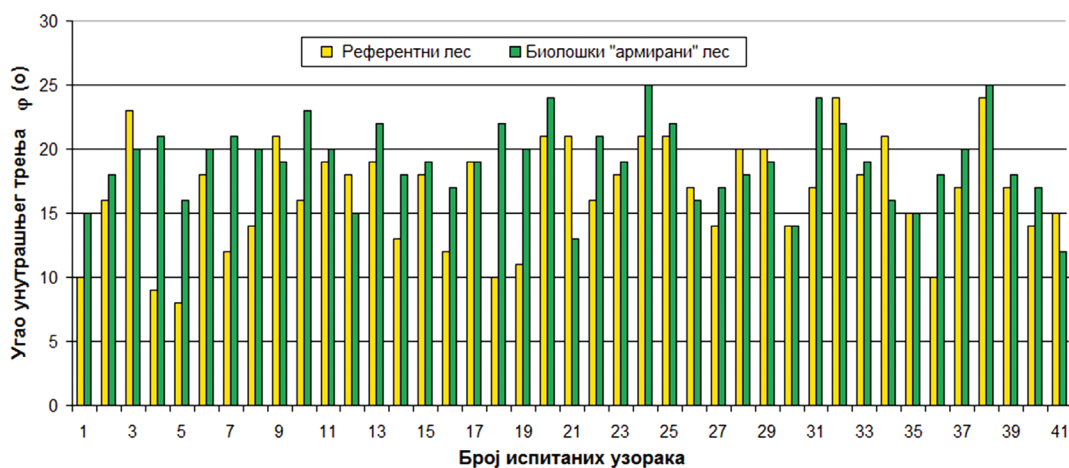
Запреминске тежине - код лесног земљишта битан показатељ промене физичких особина су запреминске тежине. Вредности запреминских тежина, код референтног лесног земљишта су у распону од $\gamma = 15,8 \div 21,0 \text{ kN/m}^3$ (18,5), односно $\gamma_d = 11,8 \div 16,2 \text{ kN/m}^3$ (14,14). Биолошки “армирани” лес, у односу на референтни, је показао веће вредности запреминске тежине природно влажног узорка које су у распону од $\gamma = 16,8 \div 21,5 \text{ kN/m}^3$ (19,7), односно, сувог $\gamma_d = 13,2 \div 17,5 \text{ kN/m}^3$ (15,74).

Порозност - Укупна порозност испитиваног леса се креће у границама од $36\% \div 53,3\%$ (45,1), док је коефицијент порозности $0,50 \div 1,05$ (0,80). Присуство кореновог система, односно његов раст и развој, у површинској зони леса утиче на промену првобитне структуре. Испитивана укупна порозност код биолошки “армираног” лесног земљишта је $32,6 \div 50,6\%$ (42,31), са коефицијентом порозности од $0,41 \div 0,9$.

Водопропустљивост - лесног земљишта, у директној је зависности од сопствених физичких карактеристика, вискозитета течности и других хидрофизичких показатеља.

С обзиром на већ приказане промене порозности и запреминских тежина референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта, логично је очекивати и промене у водопропустливости. Одређивање водопропустливости код узорак са присутним деловима кореновог система урађени су лабораторијским поступком као и за референтно земљиште. Добијени су коефицијенти филтрације код референтног леса $K_f = 1,9 \cdot 10^{-6} \div 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ ($2,23 \cdot 10^{-4}$), односно код биолошки „армираног“ $2,0 \cdot 10^{-5} \div 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$, док је средња вредност $3,14 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$.

Отпорне карактеристике - један од најважнијих механичких параметара земљишта је чврстоћа на смицање. Елементи унутрашњег отпора земљишта, су угао унутрашњег трења и кохезија. На вредности параметра отпорности на смицање, код лесног земљишта, утичу хетерогеност састава, садржај глине и прашине, порозност и збијеност, као и садржај воде. Обзиром да се у условима повећане влажности и водозасићења могу очекивати промене у наведеним физичким особинама, долази и до промене параметара отпорности на смицање, а поготово у условима водозасићења и деловања филтрационог струјног тока. Код референтног леса су добијене вредности угла унутрашњег трења $\varphi = 8^\circ \div 24^\circ$ (17), и кохезије $c = 9,0 \div 26,1 \text{ kN/m}^2$ (16,53). Биолошки „армирано“ лесно земљиште је карактеристично по мањој порозности, већим запреминским тежинама и повећаној збијености, у односу



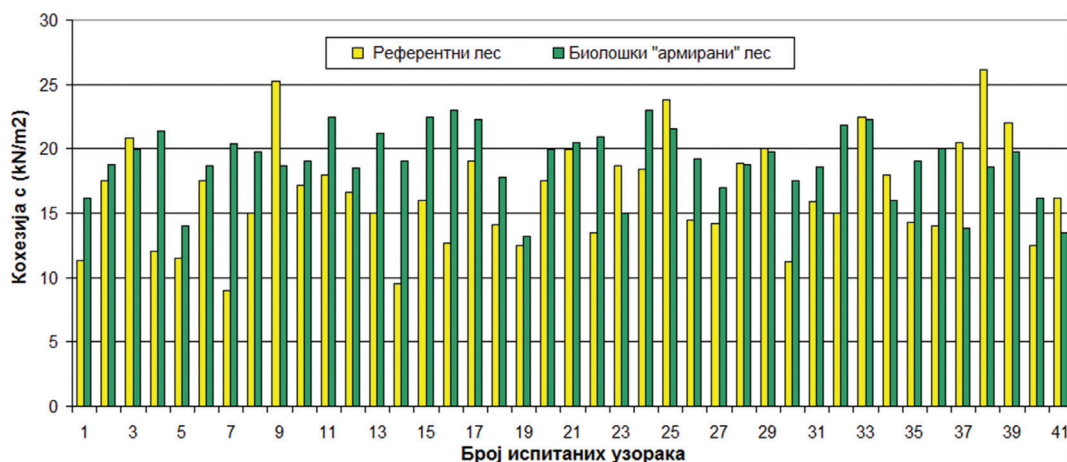
Слика 1 Промене угла унутрашњег трења код референ-тног и биолошки „армираног“ леса

Figure 1 Changes in the angle of internal friction in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

на референтно, што доводи и до већих вредности параметара отпорности на смицање. Добијени резултати се крећу у границама: $\varphi_B = 12^\circ \div 26^\circ$ (19°), и $c_B = 13,5 \div 23,0 \text{ kN/m}^2$ ($19,02$). Промене угла унутрашњег трења и кохезије код референтног и биолошки „армираног“ леса су приказане на слици 1 и 2.

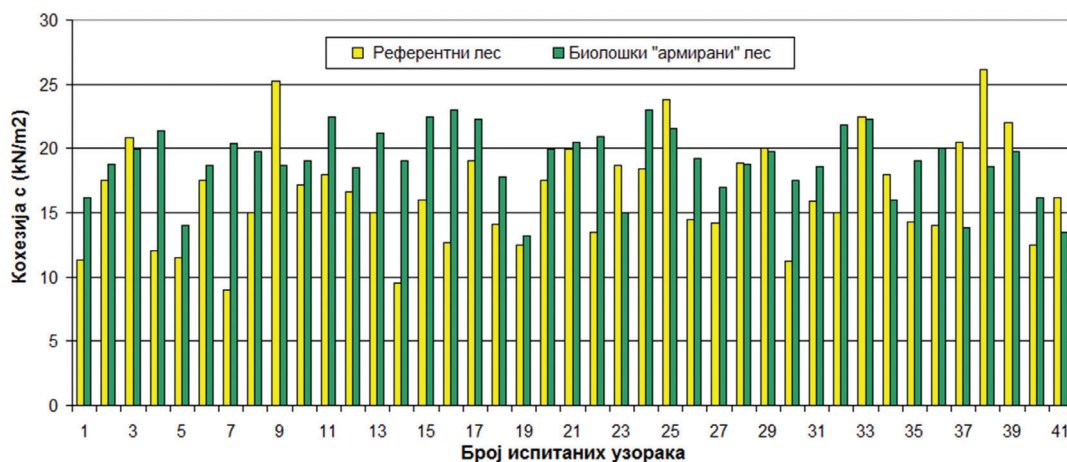
Упоредо са одређивањем физичких и механичких карактеристика лесног земљишта, на 41-ом узорак референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта извршена су мерења почетне - иницијалне унутрашње ерозије и преласка у стање течења. Ова мерења су испитивана до момента слома услед прекорачења граничних услова отпорности земљишта

при деловању филтрационо струјног тока. Параметри који су на овај начин добијени јесу критични градијент J_{ue} у моменту почетка померања честица - унутрашње ерозије, и критични градијент J_t при пластичном течењу референтног лесног земљишта, односно J_{ue_B} и J_{t_B} , код биолошки „армираног“ леса. Упоредни приказ вредности градијента унутрашње ерозије код референтног и биолошки „армираног“ леса се може пратити на слици 3, док су промене вредности градијената течења приказане на слици 4.



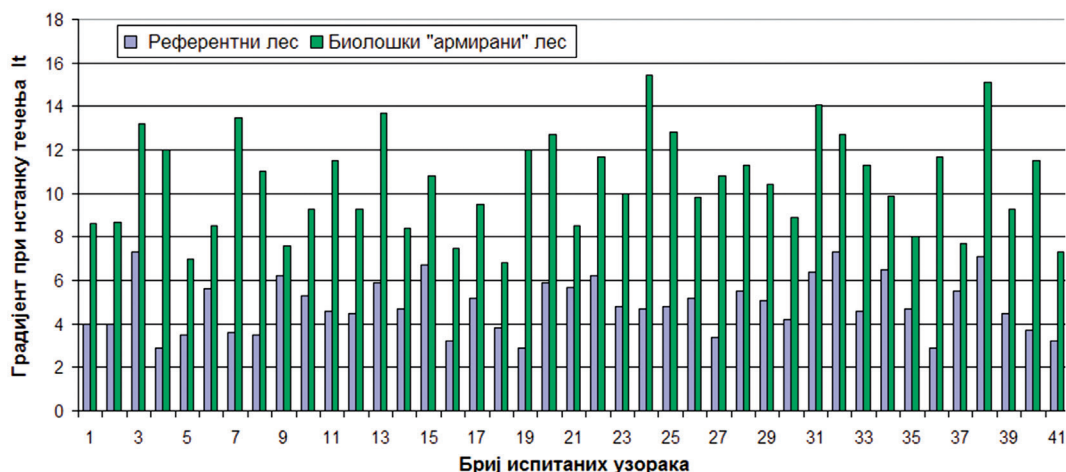
Слика 2 Промене кохезије код референтног и биолошки „армираног“ леса

Figure 2 Changes in cohesion in reference soil and biologically „reinforced” loess soil



Слика 3 Промене вредности градијента унутрашње ерозије код референтног и биолошки „армираног“ леса

Figure 3 Changes in the gradient value of internal erosion in reference soil and biologically „reinforced” loess soil



Слика 4 Промене вредности градијента течења код референтног и биолошки „армираног“ леса

Figure 4 Changes in the value of gradient flow in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil

Компаративна анализа ефекта биолошког “армирања”

Промена параметара отпорности у функцији промене влажности

Како су угао унутрашњег трења и кохезија један од основних показатеља отпорности земљишта извршена су експериментална испитивања промене ових параметара у функцији промене влажности. Испитано је укупно 41 узорак, а резултати су приказани у слици 1 и 2. На основу добијених резултата формирани су математички модели и утврђена је функција веза $\varphi = f(w)$ и $\varphi_B = f(w)$, као и $c_R = f(w)$ и $c_B = f(w)$. Регресионе једначине полинома и који дају функциону везу угла унутрашњег трења, кохезије и садржаја воде у земљишту, како код референтног тако и код биолошки “армираног” земљишта, имају следећи израз:

Референтни лес

- Угао унутрашњег трења: $\varphi = 12,2 + 2,40w - 0,24w^2 + 0,013w^3 - 2,3 \cdot 10^{-4}w^4 + 2,5 \cdot 10^{-6}w^5$

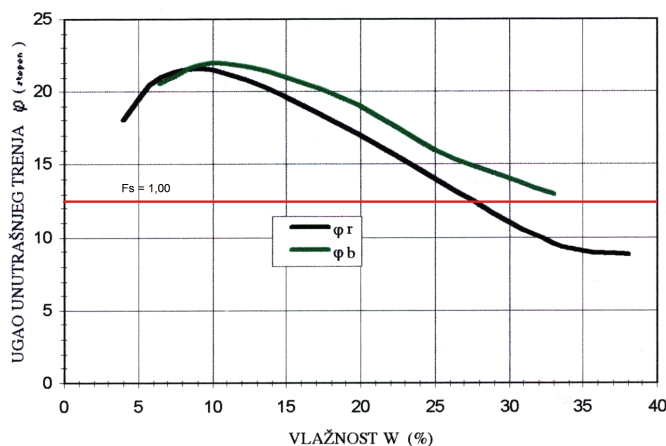
- Кохезија: $c = 17,3 + 0,4w - 0,02w^2 + 23 \cdot 10^{-3}w^3 - 3,1 \cdot 10^{-4}w^4 + 1,2 \cdot 10^{-5}w^5 - 1,4 \cdot 10^{-7}w^6$

Биолошки “армирани” лес

- Угао унутрашњег трења: $\varphi_B = 247 + 0,2w - 0,05w^2 + 1,8 \cdot 10^{-3}w^3 + 1,1 \cdot 10^{-5}w^4 - 3,5 \cdot 10^{-6}w^5 + 6,5 \cdot 10^{-8}w^6$

- Кохезија: $c_B = 0,19 + 4,51w - 0,34w^2 + 0,082w^3 - 5,9 \cdot 10^{-5}w^4$

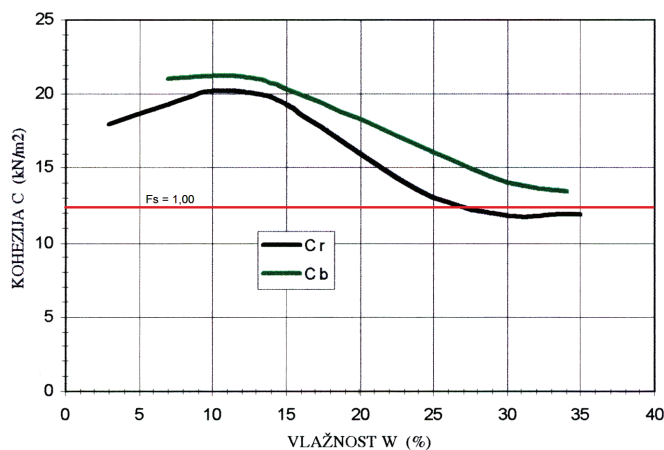
На основу математичке анализе и успостављене функционе везе између параметара отпорности на смицање и влажности, како код референтног, тако и код биолошки “армираног” лесног земљишта извршена је компаративна анализа и формирани упоредни дијаграми графика 1.



Графикон 1 Дијаграм упоредне анализе корелације $\varphi_R = f(w)$ и $\varphi_B = f(w)$, код референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта

Diagram 1 Comparative analysis of correlation $\varphi_R = f(w)$ and $\varphi_B = f(w)$ in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

Угао унутрашњег трења код референтног лесног земљишта има максималне вредности од $\varphi_R = 22^\circ$, при влажности $w = 9\%$, (вршна чврстоћа), док се резидуалне вредности од $\varphi_{Rrez} \approx 10^\circ$ постижу при влажности од $w \geq 30\%$. Угао унутрашњег трења код биолошки „армираног“ лесног земљишта свој максимум од $\varphi_B = 23^\circ$, достиже при влажности $w = 10\%$, (вршна чврстоћа), при влажности од $w \geq 30\%$, угао унутрашњег трења код биолошки „армираног“ леса има резидуалну вредност од $\varphi_{Brez} \approx 14^\circ$, графикон 1.



Графикон 2 Дијаграм упоредне анализе корелације $c_R = f(w)$ и $c_B = f(w)$, код референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта

Diagram 2 Comparative analysis of correlation $c_R = f(w)$ and $c_B = f(w)$ in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

Кохезија као параметар отпорности на смицање референтног у односу на биоло-шки армирано” лесно земљиште има мање вредности како у вршном, тако и у свом резидуалном подручју. Интересантно је да резидуалну вредност кохезија достиже на $w \geq 25\%$ влажности, док код биолошки “армираног” земљишта пад од вршне на резидуалну чврстоћу је тек на $w \geq 30\%$, влажности графикон 2.

Промена филтрационо струјних параметара унутрашње ерозије у функцији промене сувих запреминских тежина

Филтрационо струјни параметри иницијалне унутрашње ерозије анализирани у овом раду су вредности градијента при настанку унутрашње ерозије (J_{ue}) и вредности градијента при настанку течења земљишта (J_t) у функцији промене сувих запреминских тежина лесног земљишта (γ_d). Експериментално испитивање је извршено на 41. узорак лесног земљишта и добијене су вредности које су приказане на слици 3 и 4. На основу добијених резултата формиран су математички модели и утврђена је функциона веза $J_{ue_R} = f(\gamma_d)$; $J_{ue_B} = f(\gamma_d)$, као и $J_{t_R} = f(\gamma_d)$ и $J_{t_B} = f(\gamma_d)$. Регресионе једначине полинома и који дају функциону везу градијента при настанку унутрашње ерозије, градијената при настанку течења и сувих запреминских тежина, како код референтног тако и код биолошки “армираног” земљишта, имају следећи израз:

Референтни лес

Градијент при настанку унутрашње ерозије:

$$J_{ue} = 82,5 - 15,2 \gamma_d + 1,0 \gamma_d^2 - 0,025 \gamma_d^3$$

Градијент при настанку течења земљишта:

$$J_t = 58,07 - 10,23 \gamma_d + 0,62 \gamma_d^2 - 0,01 \gamma_d^3$$

Биолошки “армирани” лес

Градијент при настанку унутрашње ерозије:

$$J_{ue_B} = -751,3 + 144,7 \gamma_d - 15,43 \gamma_d^2 + 0,7 \gamma_d^3 - 0,05 \gamma_d^4 + 7,9^{-04} \gamma_d^5$$

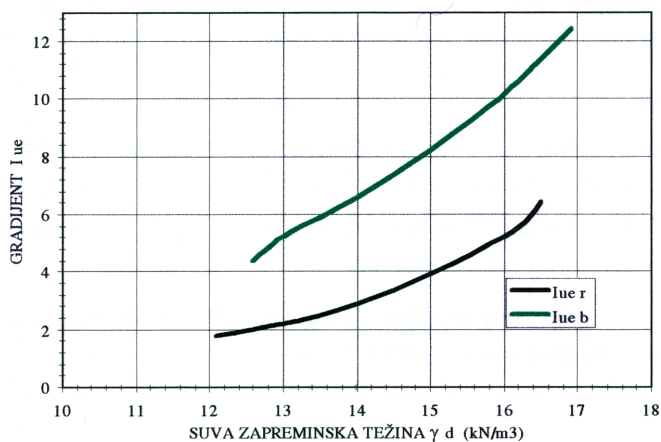
Градијент при настанку течења земљишта:

$$J_{t_B} = -574,2 + 142,1 \gamma_d - 13,78 \gamma_d^2 + 0,65 \gamma_d^3 - 0,02 \gamma_d^4 + 6,1^{-04} \gamma_d^5$$

Упоредни дијаграми референтног и биолошки “армираног” лесног земљишта, који дају функционе везе између критичног хидрауличног градијента при настанку иницијалне унутрашње ерозије и одговарајућих вредности сувих запреминских тежина приказани су на графикону 3.

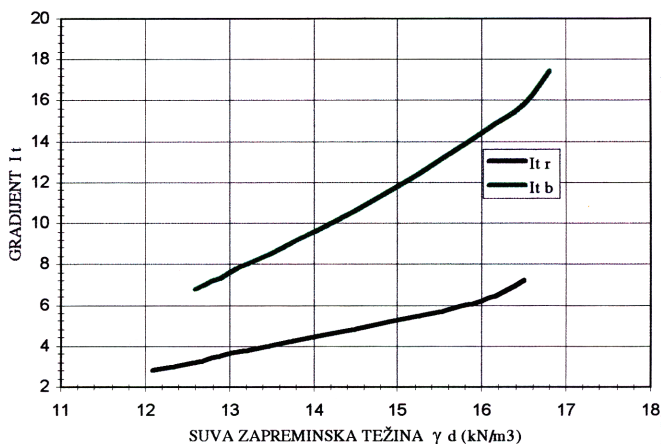
Анализом приказаног дијаграма може се закључити следеће:

Код биолошки “армираног” у односу на исти референтни лес за настанак почетне - иницијалне унутрашње ерозије земљишта потребни су знатно већи градијенти и излазне брзине филтрационог тока у односу на референтно земљиште. Ово се може објаснити утицајем биолошког “армирања” на структурно механичке промене унутар средине, у првом реду смањене водопропустљивости, што све заједно повећава укупну отпорност на унутрашњу ерозију у односу на референт-но земљиште. Због тога су потребни и знатно већи градијенти 2÷3 пута у односу на референтни лес при којима настаје почетна иницијална ерозија графикон 3.



Графикон 3 Дијаграм упоредне анализе корелације $J_{ue_r} = f(\gamma_d)$ и $J_{ue_b} = f(\gamma_d)$, код референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта

Diagram 3 Comparative analysis of correlation $J_{ue_r} = f(\gamma_d)$ and $J_{ue_b} = f(\gamma_d)$, in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil



Графикон 4 Дијаграм упоредне анализе корелације $J_{t_r} = f(\gamma_d)$ и $J_{t_b} = f(\gamma_d)$, код референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта

Diagram 4 Comparative analysis of correlation $J_{t_r} = f(\gamma_d)$ and $J_{t_b} = f(\gamma_d)$, in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil

Код критичних хидрауличких градијената при којима долази до течења земљишта, како референтног, тако и биолошки армираног леса, коментар би био скоро идентичан предходном, с тим што се однос између градијената знатно повећава са повећањем сувих запреминских тежина, и иде чак и преко 3 пута у корист градијента течења биолошки “армираног” лесног земљишта графикон 4.

Закључак

Компаративна анализа ефеката биолошког “армирања”, на ерозиону отпорност земљишта извршена је на основу формираних математичких модела и успостављених функционих веза, како код референтног тако и код биолошки „армираног“ лесног земљишта. На основу приказаних експерименталних испитивања физичко-механичких, а посебно отпорних карактеристика и филтрационо струјних параметара - иницијалне унутрашње ерозије и течења лесног земљишта, и њиховом обрадом математичким методама може се закључити да:

1. Угао унутрашњег трења код референтног лесног земљишта има максималне вредности од $\varphi_R = 22^\circ$, при влажности $w = 9\%$, (вршна чврстоћа), док се резидуалне вредности од $\varphi_{Rez} \approx 10^\circ$ постижу при влажности од $w \geq 30\%$.
2. Угао унутрашњег трења код биолошки “армираног” лесног земљишта свој максимум од $\varphi_B = 23^\circ$, достиже при влажности $w = 10\%$, (вршна чврстоћа), при влажности од $w \geq 30\%$, угао унутрашњег трења код биолошки “армираног” леса има резидуалну вредност од $\varphi_{Brez} \approx 13^\circ$.
3. Кохезија као параметар отпорности референтног у односу на биолошки “армирано” лесно земљиште има мање вредности како у вршном, тако и у свом резидуалном подручју. Интересантно је да резидуалну вредност кохезија достиже на $w \geq 25\%$, влажности, док код биолошки “армираног” земљишта пад од вршине на резидуалну чврстоћу је тек на $w \geq 30\%$ влажности.
4. Код биолошки “армираног” у односу на исти референтни лес за настанак иницијалне унутрашње ерозије земљишта потребни су знатано већи градијенти и излазне брзине филтрационог тока у односу на референтно земљиште. Ово се може објаснити утицајем биолошког “армирања” на структурно механичке промене унутар средине, у првом реду смањене водопропустљивости, што све заједно повећава укупну отпорност на унутрашњу ерозију у односу на референтно земљиште. Због тога су потребни и знатно већи градијенти 2 ÷ 3 пута у односу на референтни лес при којима настаје почетна иницијална ерозија.
5. Упоредном анализом може се констатовати да су ефекти биолошког “армирања” значајни, нарочито у условима повећане влажности што је од посебног интереса за примену биолошких мера у противерозионој заштити.

Захвалност

Истраживања која су послужила као основ за концепт изложен у овом раду резултат су пројекта НПТР 33044 „Мониторинг и адаптивно управљање ризицима у површинској експлоатацији минералних сировина“ који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, а који реализује тим стручњака Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, Факултета организационих наука Универзитета у Београду, Шумарског факултета Универзитета у Београду и Иновационог центра Машинског факултета Универзитета у Београду.

ЛИТЕРАТУРА:

¹ Гроздана Гајић (2000): “Утицај отпорности земљишта на степен активизације дубинске ерозије” докторска дисертација, Шумарски факултет у Београду

² Tiosav Todorović; Grozdana Gajić (1997): “Applications geotevhnical approach to structures on macr-oporous loess soil”, APCOM '97 - Symposium on computers applications and operations research in the mineral industries, 2nd Regional, Moscow state Mining University, Moscow, August 24-28.

³ Гроздана Гајић, (2005): “Иницијални показатељи настанка унутрашњих ерозионих процеса” “Шумарство”, Часопис за шумарство, прераду дрвета, пејзажну архитектуру и заштиту од ерозије, бр. 3, Београд 2005.г., YU ISSN 0350-1752, UDK 630*116.2, COBISS.SR-ID 39008263, стр. 117-129.

⁴ Гроздана Гајић, (2005): “Утицај кореновог система на настанак унутрашњих ерозионих процеса” “Шумарство”, Часопис за шумарство, прераду дрвета, пејзажну архитектуру и заштиту од ерозије, бр. 4, UDK 630*116.3, стр. 45-58.

⁵ Игор Миљановић, Гроздана Гајић, (2011): “Matematički modeli komparativne analize efekata biološkog armiranja zemljišta na unutrašnje erozione procese “ – SIMOPIS, 38. Simpozijum o operacionim istraživanjima,. ISBN 86-7352-132-8;

⁶ Slobodan Vujić, Vladimir Čebašek, Grozdana Gajić, Nebojša Gojković, Igor Miljanović, Aleksandar Petrovski, (2011): „Potential traps and risks in slope stability calculations at open pit mines“, 4th Balkan Mining Congress BALKANMINE, Ljubljana, Slovenia, ISBN 978-961-269-534-7pp. 527-530.