

КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЕФЕКАТА БИОЛОШКОГ „АРМИРАЊА” КОД ЛЕСНОГ ЗЕМЉИШТА

ГРОЗДАНА ГАЈИЋ¹

Извод: Компаративна анализа ефекта биолошког „армирања“ у односу на референтно испитивано лесно земљиште извршена је због дефинисања повећања вредности параметара отпорности на смицање и смањења вредности хидрогеомеханичких параметара. 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 хидро-гео-механичких показатеља унутрашње ерозије. У циљу комплекснijег 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 компаративну анализу ефекта биолошког „армирања“ на физичке и механичке особине земљишта, као и практичности примене ових резултата у пракси.

Кључне речи: физика земљишта, гео-статистика, хидро-гео-механички параметри, лес, биолошко "армирање", унутрашња ерозија, компаративна анализа.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF BIOLOGICAL „REINFORCEMENT“ IN LOESS SOILS

Abstract: The objective of the presented 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 smicanje and the decrease in the value of hydro-geo-mechanic 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 hydro-geo-mechanical 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, hydro-geo-mechanic parameters, loess soil, biological "reinforcement", internal erosion, comparative analysis.

¹ др Гроздана Гајић, редовни професор, Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

1. УВОД И ЦИЉ РАДА

Истраживања која су претходила анализи која ће бити приказана у овом раду урађена су на узорцима референтног и биолошки „армираног“, лесног земљишта. Геостатистичком обрадом резултата ових истраживања дефинисани су параметри од којих зависи интензитет унутрашњих ерозионих процеса. Показатељи настанка и интензитета унутрашњих ерозионих процеса код референтног лесног земљишта су параметри отпорности на смицање, угао унутрашњег трења и кохезија у функцији влажности, градијенти филтрације подземне воде у функцији сувих запримских тежина (Гајић, Г., 2005).

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. Смањење порозности указује на промене и осталих физичко-механичких параметара биолошки „армираног“ леса. Из тих разлога је извршено испитивање физичко-механичких карактеристика и хидро-гео-механичких параметара код биолошки „армираног“ лесног земљишта, као и њихов утицај на појаву и развој процеса унутрашње ерозије.

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, Т., Гајић, Г., 1997). У зависности од промена ових параметара, зависи степен и облик унутрашње ерозије код леса. Кроз компаративну анализу ефеката био „армирања“ изанализирани су утицаји присуства жилног система у геоерзионом моделу на параметре отпорности на смицање и хидрогеоерзионе параметре.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДА РАДА

2.1. Порекло материјала

Лесно земљиште које је испитивано и анализирано у овом раду је са подручја познатог под називом „земунски лесни плато“. Земунски лесни плато има благо заталасану површину чије се апсолутне коте крећу од 75÷114 м. Доминантни облици ерозионе деградације земљишта на овом простору су унутрашњи ерозиони процеси.

Са овог подручја је узето 48 непоремећених узорака референтног и исто толико биолошки „армираног“, лесног земљишта. Узорци су испитани у лабораторијским условима према прописаним стандардима из групације СРПС - УБ1. 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 садрже 10÷20 % периферних делова кореновог система, да би се прилагодили геометрији апарати из групације СРПС - У.Б1.

2.2. Метод рада

Метод истраживања референтног и биолошки "армираног" лесног земљишта у овом раду је да се кроз анализу добијених резултата дође до квантитативних показатеља утицаја кореновог система на промене физичко-механичких и хидро-гео-механичких параметара земљишта, а самим тим и настанка унутрашње ерозије и течења земљишта. 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.

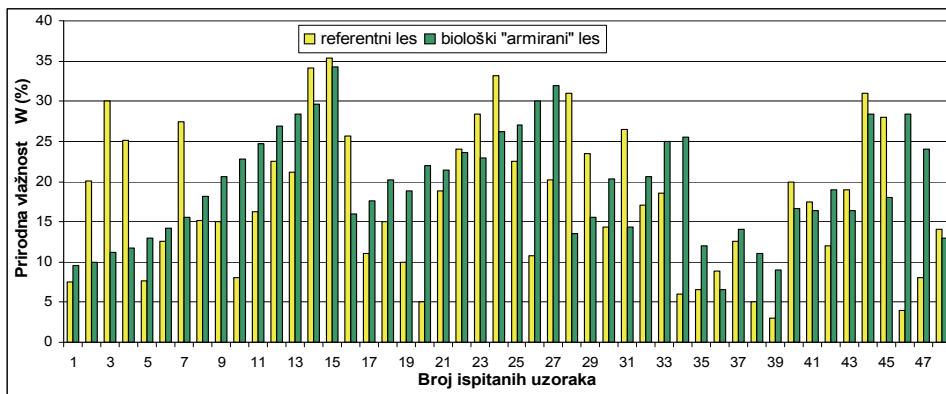
Утицај биолошке компоненте на настанак унутрашњих ерозионих процеса, који се приказује у овом раду, односи се на утицај кореновог система у георозионом моделу терена. У циљу тачнијих и свеобухватнијих анализа квантитативних показатеља кореновог система на побољшање георозионих карактеристика земљишта, неопходно је уважавање морфолошких и физичких особина коренових система. 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.). Све ово доводи до закључка да су коренов систем и георозиони модел терена у узрочно-последичној функцији у погледу настанка и развоја унутрашњих ерозионих процеса.

2.3. Тип испитивања и резултати испитиваних параметара земљишта

Испитивања и одређивања вредности физичко-механичких параметара и хидро-геомеханичких показатеља код референтног и биолошки "армираног" лесног земљишта, извршено је на свим узетим узорцима, (укупно 96). Утицај биолошке компоненте је регистрован код следећих параметара: порозности, запреминских тежина, водопропустиљивости и параметара отпорности на смицање. Код наведених физичко-механичких карактеристика добијени су повољнији резултати, тј. регистрована је смањена порозност и водопропустиљивост, а повећане су вредности запреминских тежина и параметара отпорности на смицање. За потребе компартивне анализе резултата у оквиру овог рада биће приказане само физичко-механичке карактеристике, где су регистроване промене због присуства кореновог система.

Садржај воде у земљишту

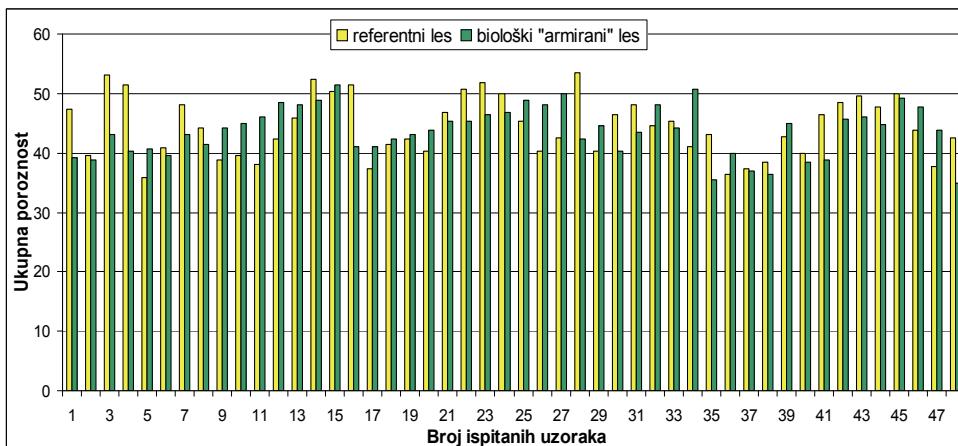
Садржај воде у земљишту у моменту узимања узорака макропорозне зоне леса креће се у границама од 9,7% до 37,1% (22,3). Испитивање вредности садржаја воде у моменту узимања узорака код биолошки „армираног“ лесног земљишта су 15,5 до 20,4% (17,85). Промене укупног садржаја воде код референтног и биолошки „армираног“, леса приказане су на слици 1.



Слика 1. Промене садржаја воде код референтног и биолошки „армираног” леса
 Figure 1. Changes in water contents in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

Порозност

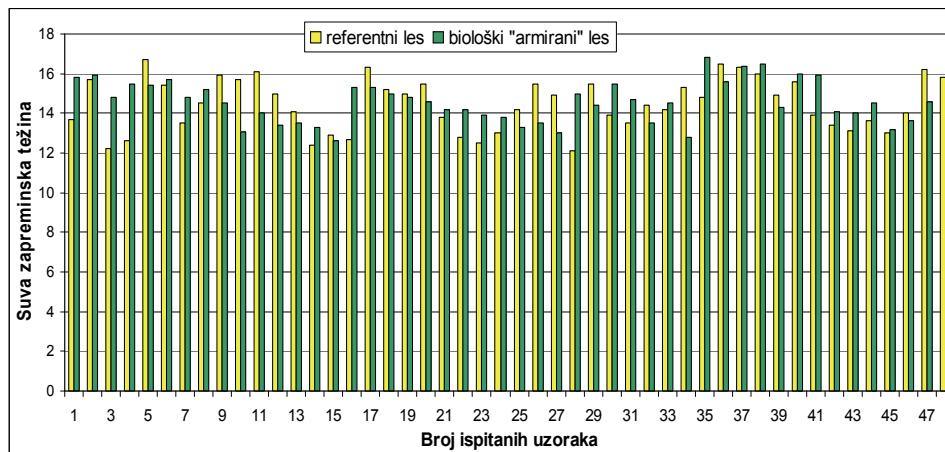
Укупна порозност испитиваног леса креће се у границама од 34% до 53% (46,96), док је коефицијент порозности 0,56 до 1,35, са средњом вредношти од 0,875. Присуство кореновог система, односно његов раст и развој, у површинској зони лесног земљишта утиче на промену првобитне структуре. Раст и развој кореновог система нарушава првобитну порозност и због повећане локалне збијености утиче и на смањење цевасте порозности и макропорозности. Испитивање вредности укупне порозности код биолошки „армираног” лесног земљишта су 30 до 43 % (41,71), са коефицијентом порозности од 0,46 до 1,1 (Гајић, Г., 2005). Промене укупне порозности код референтног и биолошки „армираног”, леса су приказане на слици 2.



Слика 2. Промене укупне порозности код референтног и биолошки „армираног” леса
 Figure 2. Changes in total porosity in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

Запреминске тежине

Како код референтног, тако и код биолошки „армираног” лесног земљишта, веома битан показатељ промене физичких особина су запреминске тежине. Вредности запреминских тежина код референтног лесног земљишта су у распону од $\gamma = 15,5 - 20,4 \text{ kN/m}^3$ (17,85), односно $\gamma_d = 12,5 \div 15,6 \text{ kN/m}^3$ (14,60). Испитивани биолошки „армирани” лес, у односу на референтни, показао је веће вредности запреминске тежине природно влажног взорка које су у распону од $\gamma = 16,5 \div 21,0 \text{ kN/m}^3$, односно сувог $\gamma_d = 13,3 \div 16,4 \text{ kN/m}^3$ (Гајић Г., 2005). Промене сувих запреминских тежина код референтног и биолошки „армираног”, леса приказане су на слици 3.



Слика 3. Промене сувих запреминских тежина код референтног и биолошки „армираног”, леса

Figure 3. Changes in dry densities in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

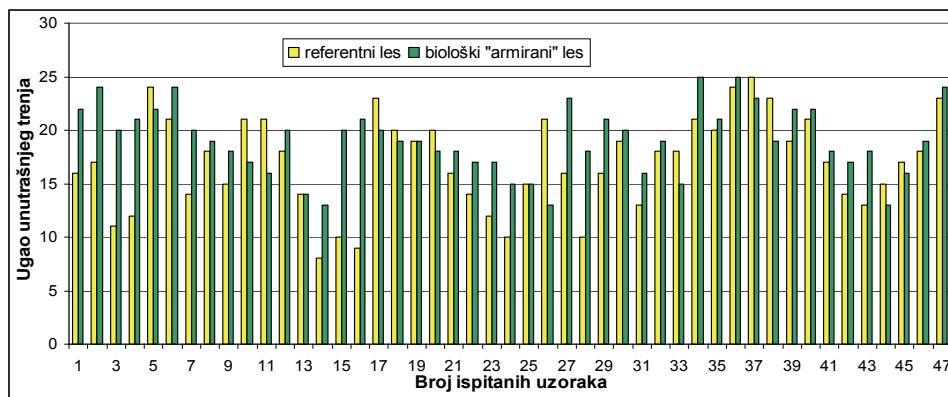
Водопропустљивост

Водопропустљивост лесног земљишта у директној је зависности од сопствених физичких карактеристика и од вискозитета течности и других хидрофизичких показатеља. Физичке карактеристике које условљавају, како количину, тако и тип и карактер водопропустљивости у лесним земљиштима су: порозност, збијеност и гранулометријски састав са степеном неравномерности. С обзиром на већ приказане промене порозности и запреминских тежина референтног и биолошки „армираног” лесног земљишта, логично је очекивати и промене у водопропустљивости код биолошки „армираног” у односу на референтно земљиште. Одређивање водопропустљивости, код узорака са присутним деловима кореновог система урађени су лабораторијским поступком као и за референтно земљиште. Добијени коефицијенти филтрације код референтног леса су $K_f = 1,7^{-06} \div 1,2^{-04} \text{ cm/sec}$ ($2,23^{-04}$), односно код биолошки „армираног”, $2,1^{-05} \div 4,9^{-03} \text{ cm/s}$, док је средња вредност коефицијента филтрације $3,68^{-03} \text{ cm/s}$. (Гајић Г., 2005).

Отпорне карактеристике

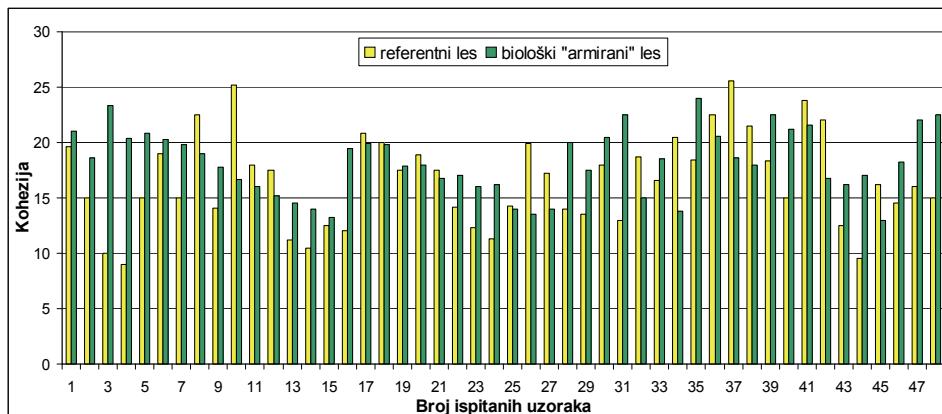
Један од најважнијих механичких параметара земљишта је чврстоћа на смицање. Елементи унутрашњег отпора земљишта, односно параметри отпорности на

смицање 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. С обзиром на то 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 филтрационо струјног тока. Код референтног леса су добијене вредности угла унутрашњег трења $\varphi = 8^\circ \div 26^\circ$ (18), и кохезије $c = 9,0 \div 25,6 kN/m^2$ (17,4). Биолошки „армирано“ лесно земљиште је карактеристично по мањој порозности, већим запреминским тежинама и повећаној збијености у односу на референтно, што доводи и до већих вредности параметара отпорности на смицање. Добијени резултати се крећу у границама $\varphi_B = 13^\circ \div 25^\circ$ (19°) и $c_B = 13,0 \div 24,0 kN/m^2$ (18,2) (Гај и Ћ., Г., 2005). Промене угла унутрашњег трења и кохезије код референтног и биолошки „армираног“, леса су приказане на сликама 4 и 5.



Слика 4. Промене угла унутрашњег трења код референтног и биолошки „армираног“, леса

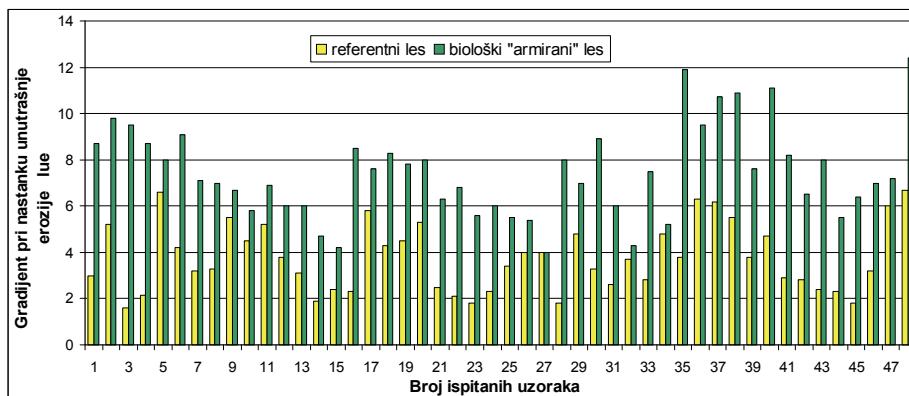
Figure 4. Changes in the angle of internal friction in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil



Слика 5. Промене кохезије код референтног и биолошки „армираног“, леса

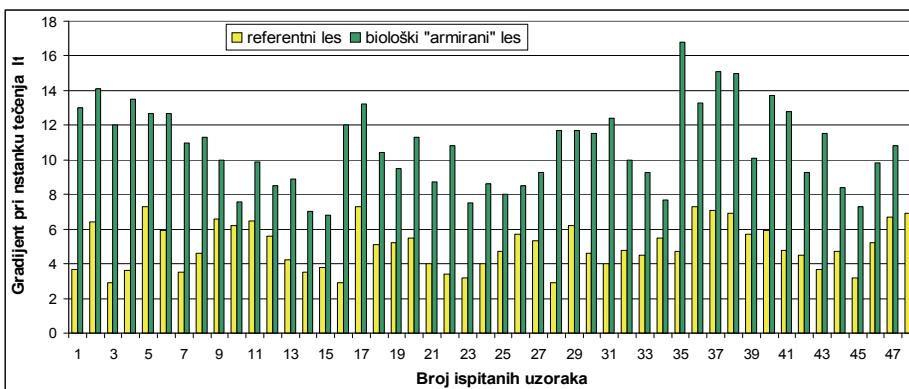
Figure 5. Changes in cohesion in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil

Упоредо са одређивањем физичких и механичких карактеристика лесног земљишта, на 48 узорака 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 6, док су промене вредности градијената течења приказане на слици 7.



Слика 6. Промене вредности градијента унутрашње ерозије код референтног и биолошки „армираног“ леса

Figure 6. Changes in the gradient value of internal erosion in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil



Слика 7. Промене вредности градијента течења код референтног и биолошки „армираног“ леса

Figure 7. Changes in the value of gradient flow in reference soil and biologically „reinforced“ loess soil

3. КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ЕФЕКАТА БИОЛОШКОГ „АРМИРАЊА“

3.1. 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 48 узорака, а резултати су приказани на сликама 4 и 5. На основу добијених резултата формирани су математички модели и утврђена је функциона веза $\varphi = f(w)$ и $\varphi_B = f(w)$, као и $c_R = f(w)$ и $c_B = f(w)$. Регресионе једначине полинома 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

$$\text{Угао унутрашњег трења: } \varphi = 126 + 2.47w - 0.25w^2 + 0.011w^3 - 2.5^{-4}w^4 + 2.4^{-6}w^5$$

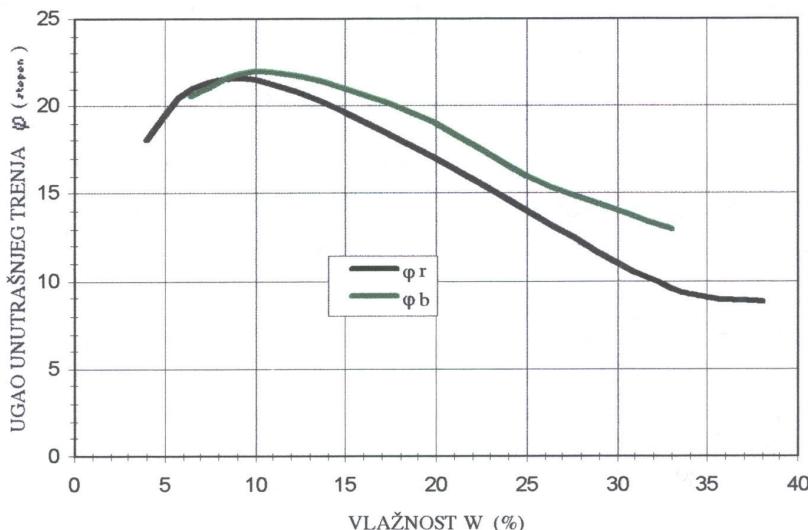
$$\text{Кохезија: } c = 175 + 0.3w - 0.01w^2 + 2.1^{-3}w^3 - 3.3^{-4}w^4 + 1.3^{-5}w^5 - 1.6^{-7}w^6$$

- Биолошки „армирани“ лес

$$\text{Угао унутрашњег трења: } \varphi_B = 269 - 0.3w - 0.03w^2 + 2.1^{-3}w^3 + 1.2^{-5}w^4 - 3.7^{-6}w^5 + 6.7^{-8}w^6$$

$$\text{Кохезија: } c_B = 0.17 + 4.21w - 0.28w^2 + 0.072w^3 - 6.4^{-5}$$

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 су упоредни дијаграми графика 1.



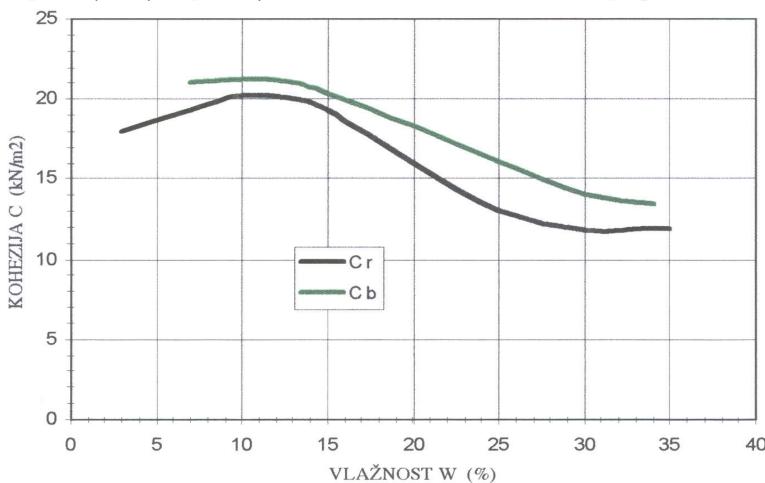
Графикон 1. Дијаграм упоредне анализе корелације $\varphi_R = f(w)$, и $\varphi_B = f(w)$, код референтног и биолошки „армираног“ лесног земљишта

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 $\varphi_R = 21^0$, при влажности $w = 10\%$ (вршна чврстоћа), док се резидуалне вредности од $\varphi_{Rrez.} \approx 10^0$ постижу при влажности од $w \geq 30\%$ (графикон 1).

Угао унутрашњег трења код биолошки „армираног” лесног земљишта свој максимум од $\varphi_B = 22^0$ достиже при влажности $w = 12\%$ (вршна чврстоћа). При влажности од $w \geq 30\%$, угао унутрашњег трења код биолошки „армираног” леса има резидуалну вредност од $\varphi_{Brez.} \approx 13^0$ (графикон 1).

Кохезија као параметар отпорности на смицање 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 је код биолошки „армираног” земљишта пад од вршне на резидуалну чврстоћу тек на $w \geq 30\%$ влажности (графикон 2).



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

3.2. Промена хидро-гео-механичких параметара унутрашње ерозије у функцији промене сувих запреминских маса

Хидро-гео-механички параметри иницијалне унутрашње ерозије анализирани у овом раду су вредности градијента при настанку унутрашње ерозије (Jue) и вредности градијента при настанку течења земљишта (Jt) у функцији промене сувих запреминских тежина лесног земљишта (γ_d). Експериментално испитивање извршено је на 48 узорака лесног земљишта и добијене су вредности које су приказане на Слици 2, 6 и 7. На основу добијених резултата формирани су матеметички модели и утврђена је функциона веза $Jue_R = f(\gamma_d)$ и $Jue_B = f(\gamma_d)$, као и $Jt_R = f(\gamma_d)$ и $Jt_B = f(\gamma_d)$. Регресионе једначине полинома 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: $Jue = 80.1 - 16.4\gamma_d + 1.1\gamma_d^2 - 0.022\gamma_d^3$

Градијент при настанку течења земљишта: $Jt = 61.97 - 12.71\gamma_d + 0.86\gamma_d^2 - 0.017\gamma_d^3$

- Биолошки „армирани” лес

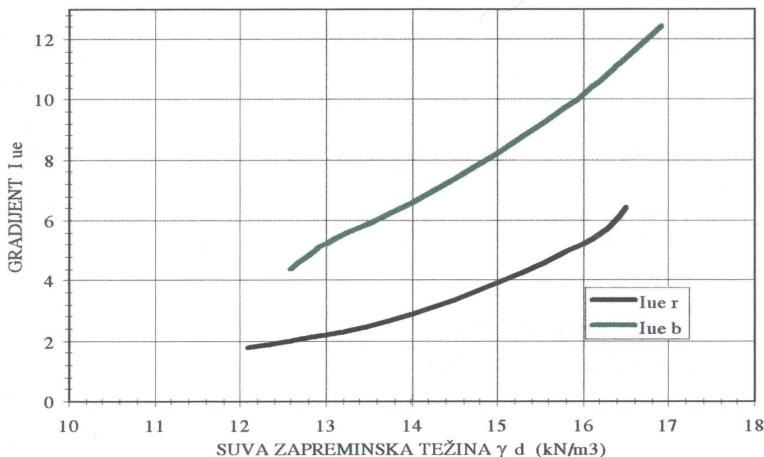
Градијент при настанку унутрашње ерозије:

$$Jue_B = -748.9 + 161.9\gamma_d - 14.59\gamma_d^2 + 0.87\gamma_d^3 - 0.036\gamma_d^4 + 7.4 \cdot 10^{-4}\gamma_d^5$$

Градијент при настанку течења земљишта:

$$Jt_B = -747.4 + 161.3\gamma_d - 14.46\gamma_d^2 + 0.84\gamma_d^3 - 0.036\gamma_d^4 + 7.5 \cdot 10^{-4}\gamma_d^5$$

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



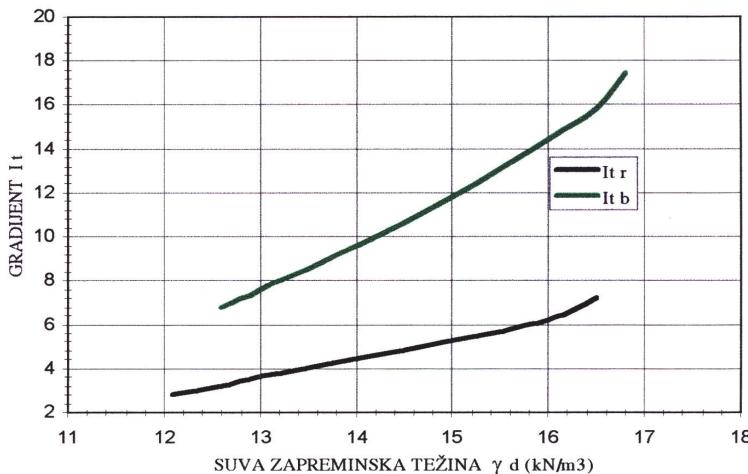
Графикон 3. Дијаграм упоредне анализе корелације $Jue_R = f(\gamma_d)$, и $Jue_B = f(\gamma_d)$, код референтног и биолошки „армираног” лесног земљишта

Diagram 3. Comparative analysis of correlation $Jue_R = f(\gamma_d)$, and $Jue_B = f(\gamma_d)$, in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

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 знатано већи градијенти и излазне брзине филтрационог тока у односу на референтно земљиште. Ово се може објаснити утицајем биолошког „армирана” 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÷2,5 пута у односу на референтни лес, при којима настаје почетна иницијална ерозија (графикон 3).

Код критичних хидрауличких градијената при којима долази до течења земљишта, како референтног, тако и биолошки армираног леса, коментар би био скоро идентичан претходном, 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).



Графикон 4. Дијаграм упоредне анализе корелације $Jt_R = f(\gamma_d)$, и $Jt_B = f(\gamma_d)$, код референтног и биолошки „армираног” лесног земљишта

Diagram 4. Comparative analysis of correlation $Jt_R = f(\gamma_d)$, and $Jt_B = f(\gamma_d)$, in reference soil and biologically „reinforced” loess soil

4. ЗАКЉУЧАК

Компаративна анализа ефекта биолошког „армирања”, на карактеристике ерозионе отпорности 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 карактеристика, а посебно отпорних карактеристика и хидро-гео-механичких параметара - иницијалне унутрашње ерозије и течења биолошки „армираног” лесног земљишта, и њиховом обрадом математичким методама геостатистике може се закључити да:

1. Угао унутрашњег трења код референтног лесног земљишта има максималне вредности од $\varphi_R = 21^0$, при влажности $w = 10\%$ (вршна чврстоћа), док се резидуалне вредности од $\varphi_{R_{rez.}} \approx 10^0$ постижу при влажности од $w \geq 30\%$.
2. Угао унутрашњег трења код биолошки „армираног” лесног земљишта свој максимум од $\varphi_B = 22^0$ достиже при влажности $w = 12\%$ (вршна чврстоћа), при влажности од $w \geq 30\%$ угао унутрашњег трења код биолошки „армираног” леса има резидуалну вредност од $\varphi_{B_{rez.}} \approx 13^0$.
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 вршне на резидуалну чврстоћу је тек на $w \geq 30\%$ влажности.
4. Код биолошки „армираног”, у односу на исти референтни лес, за настанак почетне иницијалне унутрашње ерозије земљишта потребни су знатано већи гредијенти и излазне брзине филтрационог тока у односу на референтно земљиште.

љиште. 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÷2.5 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 од унутрашње ерозије и у санацији клизишта и пластичног течења.

ЛИТЕРАТУРА

- Гајић, Г. (1994): Утицај физичко-механичких карактеристика земљишта на појаву и развој процеса дубинске ерозије. Магистарски рад одбрањен на Шумарском факултету у Београду.
- Гајић, Г. (2000): Утицај отпорности земљишта на степен активизације дубинске ерозије. Докторска дисертација одбрањена на Шумарском факултету у Београду.
- Tođorović, T., Gađić, G. (1997): Applications geotehnical approach to structures on macroporous loess soil. APCOM '97 - Symposium on computers applications and operations research in the mineral industries, 2nd Regional, Moscow state Mining University, Moscow, Russia, August 24-28.
- Гајић, Г. (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.
- Гајић, Г. (2005): Утицај кореновог система на настанак унутрашњих ерозионих процеса. „Шумарство”, Часопис за шумарство, прераду дрвета, пејзажну архитектуру и заштиту од ерозије, бр. 4, Београд 2005. год., YU ISSN 0350-1752, UDK 630*116.3, COBISS.SR-ID 39008263, стр. 45-58.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF BIOLOGICAL „REINFORCEMENT” IN LOESS SOILS

Grozdana Gajić

Summary

The objective of the presented 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 smicanje and the decrease in the value of hydro-geo-mechanic 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.

The susceptibility of loess soil to internal erosion increases with the increase in porosity, particularly macro porosity. The interaction of physical soil characteristics and hydro-geo-mechanical parameters is the base for further research of loess soil from the aspect of the initiation and development of internal erosion. Biologically „reinforced” soil, compared to reference loess soil shows the changes in both physical-mechanical characteristics and hydro-geo-mechanical 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.

Based on the presented experimental physical-mechanical characteristics, and particularly resistance characteristics and hydro-geo-mechanical parameters - initial internal erosion and the flow of biologically „reinforced” loess soil, and their calculation by geostatistical mathematical methods, it can be concluded as follows:

The maximal value of the angle of internal friction in reference loess soil is $\varphi_R = 21^0$, under moisture content $w = 10\%$, (peak shear strength), whereas residual values of $\varphi_{Rrez.} \approx 10^0$ are achieved under moisture content $w \geq 30\%$. The angle of internal friction in biologically „reinforced” loess soil reaches the maximum of $\varphi_B = 22^0$, under moisture content $w = 12\%$, (peak shear strength), under moisture content $w \geq 30\%$, the residual value of the angle of internal friction in biologically „reinforced” loess soil is $\varphi_{Brez.} \approx 13^0$.

The value of cohesion, as the parameter of resistance of the reference soil, compared to biologically „reinforced” loess soil, is lower both in the peak and in the residual strength. It is interesting that the residual value of cohesion reaches $w \geq 25\%$ moisture content, and in biologically „reinforced” soil, the drop from peak to residual strength occurs at $w \geq 30\%$ moisture content.

In biologically „reinforced” soil, compared to the same reference loess soil, the initiation of initial internal soil erosion requires considerably higher gradients and output velocities of filtration flow, compared to reference soil. This can be explained by the effect of biological „reinforcement” on structural mechanical changes, primarily reduced water permeability, which increases the total resistance to internal erosion compared to reference soil. For this reason, 2 - 2.5 times higher gradients are required, compared to reference loess soil.

Based on the comparative analysis, it can be concluded that the effects of biological „reinforcement” are significant, particularly in the conditions of higher moisture, which is of special interest for the implementation of biological measures in erosion control, protection from internal erosion, and recovery of landslides and plastic flow.

