

ПРИСУСТВО КОРЕНОВОГ СИСТЕМА У ЗЕМЉИШТУ И ЊЕГОВ УТИЦАЈ НА НАСТАНАК УНУТРАШЊИХ ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА КОД ПРАШИНАСТО ПЕСКОВИТОГ ЗЕМЉИШТА

ГРОЗДАНА ГАЈИЋ¹

Извод: Истраживања која су приказана у овом раду извршена су због дефинисања критеријума за настанак унутрашње ерозије код биолошки "армираних" интергрануларно порозних средина. Анализирање унутрашње ерозионе стабилности код овог земљишта извршиће се, као и код референтних прашинастих пескова, на основу његових физичко-механичких и хидро-гео-механичких карактеристика. У раду је помоћу формираних математичких модела, на основу експериментално добијених резултата физичких карактеристика земљишта и хидро-гео-механичких параметара, приказана успостављена функциона зависност између појединих параметара биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта. На бази приказаних геотехничких резултата испитивања, математичких модела и успостављене функционе везе између водног режима и отпорних карактеристика биолошки "армираног" земљишта, дефинисани су показатељи настанка иницијалне унутрашње ерозије и сагледани су ефекти практичне примене добијених резултата.

Кључне речи: прашинасти пескови, биолошко „армирање“, физика земљишта, хидро-гео-механички параметри, математичко моделирање, гео-статистика, показатељи настанка унутрашњих ерозионих процеса.

ROOT PRESENCE IN THE SOIL AND ITS IMPACT ON THE GENERATION OF INTERNAL EROSION PROCESS IN DUSTY-SANDY SOILS

Abstract: The study was aimed at the defining of the criteria for the occurrence of internal erosion in biologically reinforced intergranular porous soils. The analysis of internal erosion stability in this soil was performed based on the same physical-mechanical and hydro-geo-mechanical characters as in reference dusty sands. The established functional dependence between individual parameters of biologically reinforced dusty-sandy soil was presented by the developed mathematical models, based on experimental results on the soil physical characters and hydro-geo-mechanical parameters. Based on the presented geotechnical results, mathematical models and the established functional relationship between water regime and resistance properties of biologically reinforced soils, the indicators of initial internal erosion were defined and the effects of practical implementation of the study results were evaluated.

Key words: dusty sands, biological reinforcement, soil physics, hydro-geo-mechanical parameters, mathematical modelling, geo-statistics, indicators of internal erosion process.

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

1. УВОД И ЦИЉ РАДА

Процеси који настају у земљишту испод површине терена изазвани кретањем подземне воде су унутрашњи ерозиони процеси. Унутрашњи ерозиони процеси проузрокују слом првобитне структуре земљишта, покретање и прегруписавање честица које чине састав земљишта. ИНТЕНЗИТЕТ унутрашње ерозије зависи од хидродинамичких сила воде (као агенса) и укупне отпорности земљишта на ерозију (као предмета ерозије), односно, критеријум настанка унутрашњих ерозионих процеса условљен је овим параметрима (Гај и Ђ, Г., 1994). Параметри који су дефинисали настанак унутрашњих ерозионих процеса су физичко механичке и отпорне карактеристике земљишта и његови хидро-гео-механички показатељи. Настанак унутрашњих ерозионих процеса код интергрануларно порозних средина условљен је коефицијентом унутрашње ерозије, углом унутрашњег трења, кохезијом и градијентима при филтрацији подземне воде.

Простори који су најчешће угрожени унутрашњим ерозионим процесима су алувијалне терасе које су састављене од прашинасто песковитог земљишта и по правилу се налазе у зони интензивне осцилације нивоа подземне воде, која је у директној вези са нивоом воде у реци. У зависности од морфологије алувијалне терасе, унутрашњи ерозиони процеси ће на површини терена проузроковати формирање увала, тецишта па чак и настанак клизања самих речних обала. Ови процеси када настану, у функцији времена, имају прогресивни напредак, како у хоризонталном, тако и у вертикалном правцу и сами од себе не престају. У пракси су бројни примери повезаности унутрашњих и површинских облика ерозионих процеса који наносе велике штете и доводе захваћени простор у категорију деградираниности. Досадашња пракса је показала да пошумљавање ових простора, са пажљивим избором шумских врста доприноси стабилизацији ерозионих процеса.

Пошумљавањем се најуспешније регулишу ерозионе појаве, а тиме и омогућава почетак комплексних процеса мелиорације земљишта (Крстић, М., 2008). Избор шумских врста за пошумљавање ерозијом угрожених и (или) еродираних површина заснива се на њиховим особинама и то: морфолошким карактеристикама, адаптабилности земљишним и климатским условима и економским вредностима. Посебан мелиоративан ефекат ових врста произилази из њихове способности да производе шушањ (Исајевић, В. *et al.*, 2010). Редослед карактеристика које се вреднују при избору одговарајуће шумске врсте, за антиерозиону као примарну, а економску као секундарну особину, су следећи (Ђоровић, М. *et al.*, 2003):

- добро преживљавање и брз пораст у сиромашним условима;
- способност да производи велику количину шушња;
- јак и разгранат коренов систем са особиним развијања значајне масе фиброзних коренчића;
- лака садња и лако одржавање;
- способност да формирају густу круну, да задржава лишће у току године или бар у току кишне сезоне;
- отпорност на инсекте, болести и брст дивљачи, стоке и сл.;
- побољшање земљишта азотофиксационом функцијом (као легуминозе преко нитрификационих бактерија);
- економска вредност.

Хипотеза од које се полази је да ће присуство кореновог система у геоерозионом моделу терена утицати на промене физичко-механичких карактеристика прашинасто песковитог земљишта, а самим тим и на промене хидро-гео-механичких показатеља настанка унутрашњих ерозионих процеса.

Анализа утицаја кореновог система шумских врста на промене геоерозионих карактеристика земљишта у директној су зависности од морфолошких и физичких особина кореновог система. Формирање кореновог система, већа или мања маса главних, скелетних, секундарних, фиброзних жила и коренових длачица, зависи у великој мери од земљишних услова (дубина и дебљина хранљивог слоја, механички састав, аерација, плодност, влажност и сл.). Међутим, код дрвенастих и жбунастих врста, на основу формирања главног корена, дефинисани су основни критеријуми морфолошке поделе кореновог система и то: плитки површински коренов систем, срцаст и дубока срчаница. Поштујући ову поделу извршена је и анализа утицаја кореновог система на настанак ерозионих процеса.

Основни циљ истраживања је дефинисање физичко-механичких особина код биолошки „армираног“ земљишта, односно у зони кореновог система. По дефинисању ових особина земљишта анализирани су критеријуми за настанак унутрашње ерозије код биолошки „армираног“ интергрануларно порозног земљишта. Поред испитивања физичко-механичких и филтрационих особина земљишта, испитани су и гранулометријски услови структурне композиције, зрна која чине костур и зрна која чине испуну у структури, као показатељи настанка унутрашње ерозије. Механизам настанка унутрашње ерозије условљен је различитим чиниоцима који делују на промену: напонског стања, физичко-механичких карактеристика и водног режима, ерозијом ангажованог земљишта (Т о д о р о в и ћ , Т., Гај и ћ , Г., 1997). У зависности од промена ових параметара, зависи степен и облик унутрашње ерозије код интергрануларно порозних средина. Потврда ових зависности код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта биће дефинисана кроз приказане резултате у овом раду.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ РАДА

2.1. Порекло материјала

Физичке карактеристике прашинасто песковитог земљишта анализирани су на основу узорака узетих са 22 истражна места биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, које чини алувијалну терасу реке Саве. Алувион од прашинастог песка, који је предмет истраживања, делом је обрастао дрвенастом и жбунастом шумском вегетацијом, што је и омогућавало узимање узорака земљишта, са присутним деловима жилних система (слика 1) ради утврђивања физичких и механичких особина биолошки „армираног“ земљишта.

2.2. Метод рада

Циљ истраживања биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта је да се кроз анализу добијених резултата дође до показатеља утицаја кореновог система на промене физичко-механичких и хидро-гео-механичких параметара земљишта, а самим тим и настанка унутрашње ерозије. Анализирање унутрашње



Слика 1. Биолошки „армираног“ прашинасто песковито земљиште
Figure 1. Biologically reinforced dusty-sandy soil

ерозионе стабилности извршиће се увођењем коефицијента композиције зрна као граничног гранулометријског услова, градијената, влажности и параметара отпорности на смицање код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта. Ради одређивања физичко-механичких карактеристика биолошки „армираних“ прашинастих пескова изведени су теренски истражни радови, у зони коренових система, од укупно 22 бушотине дубине 5-8m. Из свих истражних бушотина и свих слојева који су регистровани до дубине бушења узети су карактеристични непоремећени и поремећени узорци земљишта.

Испитивање физичко-механичких особина земљишта, са присуством кореновог система, због лабораторијских услова испитивања је ограничен на узорке земљишта у којима су присутни само секундарни и фиброзни делови кореновог система. За испитивање физичко-механичких карактеристика земљишта на узорцима са присутним кореновим системом, формиран су узорци који имају сплет кореновог система. Маса кореновог система у узорку, у односу на укупну масу узорка, у границама је 10-20%. Експериментално добијене вредности параметара на основу изложеног критеријума и њихов утицај на унутрашњу ерозију тестирали су кроз комплетну регресиону анализу. У овом раду приказани су резултати регресионе анализе и оцена практичности утицаја биолошке компоненте.

2.3. Тип испитивања и меродавни распони испитиваних параметара земљишта

Тип испитивања и одређивања вредности физичко-механичких параметара и хидро-гео-механичких показатеља код биолошки „армираног“ прашинасто пе-

сковитог земљишта, поштујући описану методологију, извршено је истим поступком као код референтног (без присуства кореновог система), прашинасто песковитог земљишта. У лабораторијским условима извршено је испитивање влажно-сти земљишта, запреминских тежина, специфичне тежине, гранулометријског састава, водопропустљивости, параметара отпорности на смицање, односно угла унутрашњег трења и кохезије. Сва лабораторијска испитивања су урађена по стандардизованим методама за одређивање физичко-механичких особина земљишта из групације СРПС УБ1.

С обзиром на то да су вредности физичко-механичких карактеристика референтних прашинастих пескова већ приказане (Гај и Ђ, Г., 2005), у оквиру овог рада приказане се само физичко-механичке карактеристике где су регистроване промене због присуства кореновог система.

Запреминске тежине

Како код референтног, тако и код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, веома битан показатељ промене физичких особина су запреминске тежине. Испитивано биолошки „армирано“ земљиште, у односу на референтно земљиште, показало је нешто веће запреминске тежине природно влажно земљишта које су у распону од $\gamma = 18,9 \div 19,8 \text{ kN/m}^3$, односно, сувог земљишта $\gamma_d = 16,6 \div 17,3 \text{ kN/m}^3$.

Порозност

Укупна порозност референтног прашинасто песковитог земљишта се креће у границама 30% - 40%. Присуство кореновог система, односно његов раст и развој, у површинској зони прашинасто песковитог земљишта утиче на промену првобитне структуре. Раст и развој кореновог система нарушава првобитну порозност и због повећане локалне збијености утиче и на смањење интергрануларне порозности. Испитиване вредности порозности код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта су 25-34 %, при релативној збијености од 0,43-0,62.

Водопропустљивост

Водопропустљивост прашинастих пескова 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 интергрануларно порозним прашинасто песковитим земљиштима су: порозност, збијеност и гранулометријски састав са степеном неравномерности. С обзиром на већ приказане промене порозности и запреминских тежина референтног и биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, логично је очекивати и промене у водопропустљивости код биолошки „армираног“ у односу на референтно земљиште. Одређивање водопропустљивости код узорак са присутним деловима кореновог система урађени су лабораторијским поступком као и за референтно земљиште. Добијени су коефицијенти филтрације $6,9^{-06} \div 1,5^{-04} \text{ cm/s}$, док је средња вредност коефицијента филтрације $1,0^{-05} \text{ cm/s}$.

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 интергрануларно порозних прашинастих пескова, утичу хетерогеност састава, присуство или одсуство глине и садржај прашине, порозност и збијеност, као и његов садржај влажности. 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 прашинасто песковитог земљишта. Биолошки „армирано“ прашинасто песковито 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: $\varphi_B = 20^\circ \div 28^\circ$ и $c_B = 4,0 \div 8,1 \text{ kN/m}^2$.

Утицај кореновог система на промену физичко-механичких карактеристика земљишта јасно је уочљив код вредности порозности, запреминских тежина, водопропустљивости и параметара отпорности на смицање. Односно, код наведених физичко-механичких карактеристика добијени су повољнији резултати, тј. регистрована је смањена порозност и водопропустљивост, а повећане су вредности запреминских тежина и параметара отпорности на смицање.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ЊИХОВА АНАЛИЗА

Експериментална испитивања физичко-механичких показатеља биолошки „армираног“ интергрануларно порозног прашинасто песковитог земљишта извршена су на 22 узорача. Поред физичких карактеристика, сувих запреминских тежина, порозности и влажности, испитивани су и параметри отпорности на смицање, угао унутрашњег трења и кохезија и то у условима различитог садржаја воде у земљишту. Циљ ових испитивања је одређивање опште отпорности биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта на унутрашњу ерозију у условима повећане влажности и водозасићења. Резултати ових испитивања су приказани у табели 1.

На узорцима биолошки „армираног“ интергрануларно порозног прашинасто песковитог земљишта извршена су мерења почетне - иницијалне унутрашње ерозије и преласка у течење у моменту слома услед прекорачења граничних услова отпорности земљишта при деловању филтрационо струјног тока, односно, критични градијент J_{ue} почетне унутрашње ерозије и критични градијент J_m течења земљишта. Резултати ових испитивања приказани су у табели 2.

Табела 1. Експериментално добијене вредности отпорних карактеристика биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта

Table 1. Experimental values of resistance properties of biologically reinforced dusty-sandy soil

H°	w _B	φ _B	c _B	H°	w _B	φ _B	c _B	H°	w _B	φ _B	c _B
	(%)	(°)	(kN/m ²)		(%)	(°)	(kN/m ²)		(%)	(°)	(kN/m ²)
1	6,0	28	4,7	9	22,0	21	4,6	17	20,6	21	4,3
2	8,0	27	5,8	10	12,8	26	7,5	18	6,5	26	5,7
3	11,6	26	6,9	11	10,2	26	6,0	19	25,0	20	4,1
4	9,8	27	6,6	12	12,0	25	6,4	20	13,0	23	5,5
5	13,2	25	7,0	13	17,6	23	6,3	21	11,2	28	8,1
6	14,7	24	6,9	14	20,0	22	5,5	22	26,0	20	4,0
7	16,4	23	6,3	15	17,4	22	5,7				
8	18,7	22	5,4	16	23,2	21	4,8				

Легенда уз Табелу 1:

w_B - садржај воде у земљишту (%);

φ_B - угао унутрашњег трења (°);

c_B - кохезија (kN/m²).

Табела 2 Експериментално добијене вредности показатеља унутрашње ерозије код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта

Table 2. Experimental values of indicators of internal erosion in biologically reinforced dusty-sandy soil

H°	Гранулометријски састав						K _{ueB}	K _{fB}	I _{ueB}	V _{ueB}	I _{tB}	V _{tB}
	глина	Пра.	песак			шљ.						
	< 0.002	0.002 ÷ 0.06	0.06 ÷ 0.2	0.2 ÷ 0.6	0.6 ÷ 2.0	2.0 ÷ 6.0						
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)						
1	5	70	12	18	/	/	11.27	4.84 ⁻⁰⁵	2.75	0.115	4.90	0.205
2	/	65	22	18	/	/	9.18	3.26 ⁻⁰⁵	3.50	0.098	5.70	0.160
3	/	47	22	16	14	1	15.0	1.0 ⁻⁰⁴	2.10	0.18	4.0	0.35
4	6	52	19	15	8	/	20.63	1.0 ⁻⁰⁵	1.60	0.014	3.25	0.028
5	/	50	23	22	/	/	11.24	1.12 ⁻⁰⁴	2.20	0.21	4.05	0.392
6	2	60	18	13	7	/	16.27	3.62 ⁻⁰⁵	2.05	0.06	3.50	0.109
7	/	66	24	10	/	/	8.19	9.2 ⁻⁰⁵	4.22	0.33	6.25	0.497
8	7	63	14	8	8	/	23.15	6.91 ⁻⁰⁶	1.50	0.009	2.93	0.017
9	/	56	23	16	5	/	10.41	8.9 ⁻⁰⁵	2.62	0.20	5.50	0.423
10	/	58	33	9	/	/	5.44	1.23 ⁻⁰⁴	6.0	0.68	7.46	0.851
11	5	50	15	14	12	4	34.15	1.4 ⁻⁰⁵	1.25	0.015	2.65	0.032
12	/	50	19	13	18	/	23.33	5.29 ⁻⁰⁵	1.26	0.058	2.70	0.123
13	/	65	19	13	3	/	11.67	2.36 ⁻⁰⁵	2.20	0.045	4.60	0.094
14	10	50	15	14	11	/	37.20	1.0 ⁻⁰⁵	1.10	0.009	2.25	0.019

15	3	72	16	9	/	/	12.35	3.32 ⁻⁰⁵	2.65	0.076	3.86	0.111
16	/	64	13	10	13	/	27.69	1.14 ⁻⁰⁵	1.57	0.015	2.83	0.028
17	/	57	20	14	9	/	15.03	5.77 ⁻⁰⁵	1.95	0.097	3.80	0.189
18	/	50	25	25	/	/	10.0	5.27 ⁻⁰⁵	3.0	0.136	5.25	0.239
19	2	50	37	11	/	/	6.98	1.09 ⁻⁰⁴	4.50	0.425	6.67	0.628
20	/	60	30	10	/	/	6.98	7.65 ⁻⁰⁵	4.98	0.329	7.0	0.463
21	/	69	21	10	/	/	8.46	5.77 ⁻⁰⁵	3.60	0.179	5.85	0.292
22	/	48	22	16	14	/	13.57	1.55 ⁻⁰⁴	1.90	0.254	4.40	0.331

Легенда уз табелу 2:

K_{ueB} - коефицијент унутрашње ерозије (/);

Kf_B - коефицијент филтрације (cm/s);

I_{ueB} - критични хидраулички градијент при настанку унутрашње ерозије (/);

V_{ueB} - критична брзина филтрације подземне воде при настанку унутрашње ерозије (m/дан);

I_{tB} - критични хидраулички градијент при настанку пластичног течења земљишта, (/);

V_{tB} - критична брзина филтрације подземне воде при настанку пластичног течења (m/дан).

На основу резултата приказаних у табелама 1 и 2, може се закључити да су вредности физичко-механичких параметара земљишта, које дефинишу настанак унутрашњих ерозионих процеса, веће скоро код свих узорака биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта у односу на исто земљиште без присуства жилних система (референтно).

3.1. Промена параметара отпорности у функцији промене влажности земљишта

Како су угао унутрашњег трења и кохезија један од основних показатеља отпорности земљишта, извршена су експериментална испитивања промене ових параметара у функцији промене влажности код прашинасто песковитог земљишта. С обзиром на то да раст и развој кореновог система у прашинасто песковитом земљишту проузрокује нарушавање структуре и смањење порозности, односно повећање локалне збијености, логично је очекивати и промене параметара отпорности на смицање. Математичка обрада експериментално добијених резултата испитиваних биолошки „армираних“ прашинастих пескова, приказаних у табели 1, извршена је кроз анализе свих регресионих форми. Кроз ову анализу су утврђене функционе везе и промене параметара отпорности на смицање у зависности од промена влажности код биолошки „армираних“ прашинастих пескова, односно:

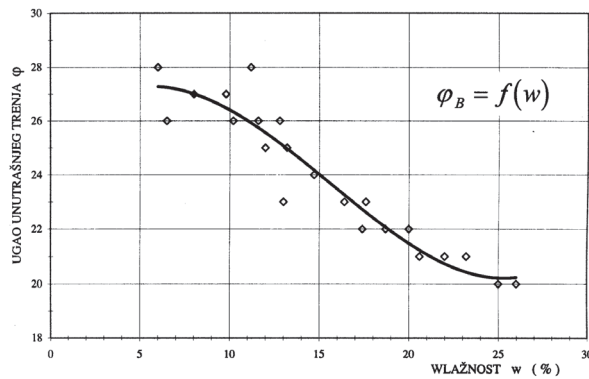
$$\varphi_B = f(w) \text{ и } c_B = f(w).$$

На основу анализе резултата функционе везе $\varphi_B = f(w)$, може се закључити да реални развој регресионе криве, са реалним вредностима минимума и максимума, даје полином III-степенa (графикон 1). Полином III-степенa који даје функциону везу има регресиону једначину:

$$\varphi_B = 25,16 + 0,081w - 0,087w^2 + 1,9^{-0,3}w^3,$$

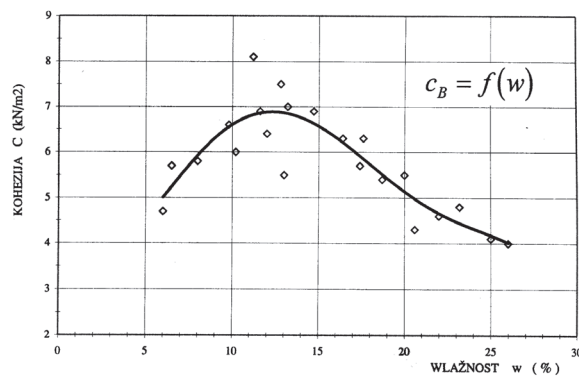
са показатељима:

Коефицијент корелације 0,950; Φ -тест 56,058;
 Коефицијент детерминације 0,903; Стандардна грешка процене 0,050.



Графикон 1. $\varphi_B = f(w)$

Diagram 1. $\varphi_B = f(w)$



Графикон 2. $c_B = f(w)$

Diagram 2. $c_B = f(w)$

Реални развој регресионе криве, као и оптималне вредности минимума и максимума, при одређивању везе кохезије и садржаја воде у земљишту, даје полином V - степена. Математички модел са регресионом кривом приказан је на графикону 2. Полином V-степенa који даје функциону везу $c_B = f(w)$ има регресиону једначину:

$$c_B = 7,12 - 1,98w + 0,45w^2 - 0,037w^3 + 1,2^{-0,3}w^4 - 1,6^{-0,5}w^5,$$

са показатељима:

Коефицијент корелације 0,879; Φ -тест 10,832;
 Коефицијент детерминације 0,772; Стандардна грешка процене 0,121.

На основу анализе добијених резултата, може се закључити да постављени математички модели показују јаку функциону зависност и висок коефицијент корелације. Према критеријуму за оцену везе ови резултати показују тесну везу и имају практичну до високо практичну важност.

Биолошки „армирано” прашинасто песковито земљиште, при садржају влажности од $w = 6-8\%$ достиже максималну вредност угла унутрашњег трења од $\varphi_B \approx 27^0$, док се минимална вредност угла унутрашњег трења од $\varphi_B \approx 20^0$ постиже при садржају влажности од $w = 24 \div 26\%$. Максимална вредност кохезије од $c_B = 6,8 \text{ kN/m}^2$ постиже се при влажности од $w = 12\%$. Минимална вредност кохезије од $c_B = 4,0 \text{ kN/m}^2$ је при садржају влажности од $w = 26\%$.

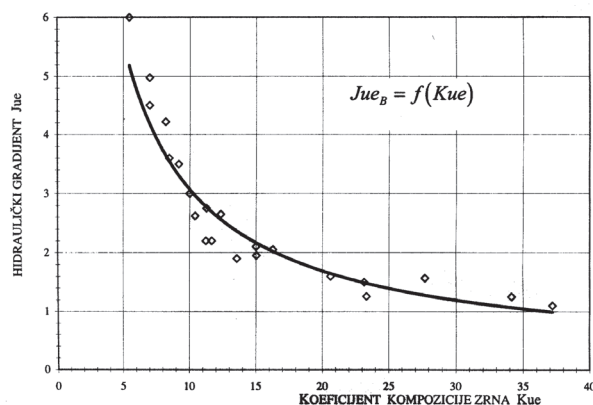
3.2. Промене коефицијента K_{ue} и хидро-гео-механичких параметара унутрашње ерозије код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта

Матеметичка обрада експериментално добијених резултата испитиваних биолошки „армираних” прашинастих пескова, приказаних у табели 2, извршена је кроз анализе свих регресионих форми. Кроз ову анализу су утврђене функционе везе и промене хидрогеомеханичких параметара иницијалне унутрашње ерозије и течења у зависности од промена коефицијента (K_{ue}) код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, односно:

$$J_{ueB} = f K_{ue} \quad \text{и} \quad J_{IB} = f K_{ue} ;$$

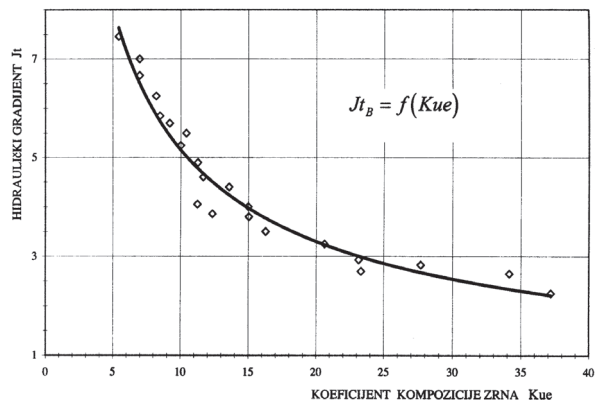
$$V_{ueB} = f K_{ue} \quad \text{и} \quad V_{IB} = f K_{ue} .$$

Реални развој регресионе криве, код тестирања везе коефицијента композиције зрна и градијента, при настанку унутрашње ерозије, са реалним вредностима минимума и максимума, даје геометријска регресија. Матеметички модел са регресионом кривом приказан је на графикону 3.



Графикон 3. $J_{ueB} = f K_{ue}$

Diagram 3. $J_{ueB} = f K_{ue}$



Графикон 4. $J_{tB} = f(K_{ue})$

Diagram 4. $J_{tB} = f(K_{ue})$

Геометријска регресија која даје функциону везу $J_{ueB} = f(K_{ue})$, има регресиону једначину:

$$J_{ueB} = 22,26 K_{ue}^{-0,86},$$

са показатељима:

Коефицијент корелације 0,961; Ф-тест 239,96;

Коефицијент детерминације 0,923; Стандардна грешка процене 0,039.

Анализа резултата функционе везе $J_{tB} = f(K_{ue})$ показује да реални развој регресионе криве, као и оптималне вредности минимума и максимума, даје геометријска регресија. Математички модел са регресионом кривом приказан је на графикону 4. Геометријска регресија која даје функциону везу има једначину:

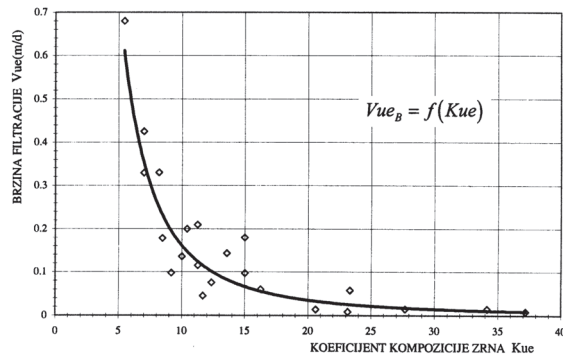
$$J_{tB} = 22,739 K_{ue}^{-0,64},$$

са показатељима:

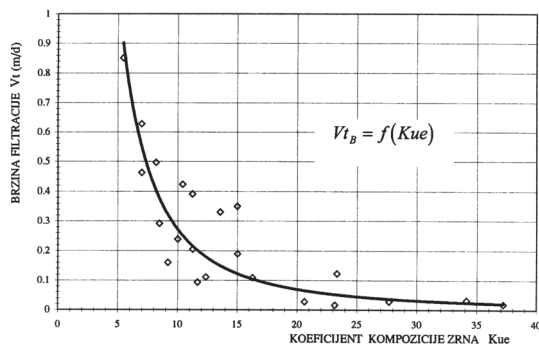
Коефицијент корелације 0,977; Ф-тест 427,45;

Коефицијент детерминације 0,955; Стандардна грешка процене 0,023.

У току испитивања градијената при настанку унутрашњих ерозионих процеса и течења земљишта, мерене су и брзине филтрације подземне воде. На основу тих резултата, такође су формирани математички модели и тестирана је функциона веза брзина филтрације и коефицијента композиције зрна. Анализа резултата функционе везе $V_{ueB} = f(K_{ue})$ показује да реални развој регресионе криве, као и оптималне вредности минимума и максимума, даје геометријска регресија. Математички модел са регресионом кривом приказан је на графикону 5.



Графикон 5. $VueB = f(Kue)$
 Diagram 5. $VueB = f(Kue)$



Графикон 6. $VtB = f(Kue)$
 Diagram 6. $VtB = f(Kue)$

Геометријска регресија која даје функциону везу $VueB = f(Kue)$ има једначину:

$$VueB = 25,394 Kue^{-2,19},$$

са показатељима:

Коефицијент корелације 0,892; Φ -тест 78,31;

Коефицијент детерминације 0,796; Стандардна грешка процене 0,108.

Анализа резултата функционе везе $VtB = f(Kue)$ показује да реални развој регресионе криве као и оптималне вредности минимума и максимума, даје геометријска регресија. Математички модел са регресионом кривом приказан је на графикон 6. Геометријска регресија који даје функциону везу има једначину:

$$VtB = 65,383 Kue,$$

са показатељима:

Коефицијент корелације 0,861; Φ -тест 57,43;

Коефицијент детерминације 0,742; Стандардна грешка процене 0,139.

На основу анализе добијених резултата може се закључити да постављени математички модели показују јаку функциону зависност и висок коефицијент корелације. Према критеријуму за оцену везе ови резултати показују тесну везу и имају практичну до високо практичну важност. Код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, при коефицијенту композиције зрна од $K_{ue}=10$, потребне су вредност градијента од $J_{ueB} = 3,1$ и брзина филтрације од $V_{ueB} = 0,16 \text{ m/дан}$ за настанак унутрашњих ерозионих процеса, док су за вредности коефицијента композиције зрна од $K_{ue} = 35$ довољни градијенти од $J_{ueB} = 1$ и брзина филтрације од $V_{ueB} = 0,01 \text{ m/дан}$. За настанак течења код ових средина потребно је да се оствари градијент од $J_{tB} = 5,1$ и брзина филтрације од $V_{tB} = 0,27 \text{ m/дан}$, ако је коефицијент композиције зрна $K_{ue} = 10$, док је при вредностима од $K_{ue} = 35$ довољан градијент од $J_{tB} = 2,5$ и брзина филтрације од $V_{tB} = 0,02 \text{ m/дан}$, за настанак течења код биолошки „армираних“ прашинастих пескова.

4. ЗАКЉУЧАК

Физичко-механичке особине биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта су повољније у односу на исто референтно земљиште, односно, земљиште је отпорније у погледу осетљивости на настанак унутрашњих ерозионих процеса. Утицај раста и развоја кореновог система на промену физичко-механичких карактеристика је регистрован код вредности укупне порозности, запреминских тежина, водопропустљивости и параметара отпорности на смицање. Односно, код наведених физичко-механичких карактеристика добијени су повољнији резултати, тј. регистрована је смањена порозност и водопропустљивост, а повећане су вредности запреминских тежина и параметара отпорности на смицање. По дефинисању ових карактеристика земљишта анализирани су критеријуми за настанак унутрашње ерозије код биолошки „армираног“ интергрануларно порозног земљишта. Поред испитивања физичко-механичких и филтрационих особина земљишта, анализирани су и гранулометријски услови структурне композиције, зрна костура и испуне, као показатељи настанка унутрашње ерозије. Како код референтног, тако и код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта, у зависности од промена ових параметара, зависи степен и облик унутрашње ерозије.

Показатељи настанка унутрашњих ерозионих процеса су отпорне карактеристике земљишта и градијенти под којима се одвија филтрација подземних вода. Критеријуме ових показатеља за настанак ерозионих процеса, како код референтних, тако и код биолошки „армираних“ прашинастих пескова даје функциона зависност природне влажности и параметара отпорности на смицање $c_B = f(w)$ и $\varphi_B = f(w)$ и функциона зависност коефицијента унутрашње ерозије и градијената филтрације подземне воде $J_{ueB} = f(K_{ue})$ и $V_{tB} = f(K_{ue})$. На основу анализе добијених резултата може се закључити да постављени математички модели показују јаку функциону зависност, висок коефицијент корелације и имају практичну до високо практичну важност. Међусобном интеракцијом критеријума добијених из функционе зависности добиће се критеријум настанка унутрашњих ерозионих процеса за биолошки „армиране“ прашинасте пескове. Успостављене корелацио-

не зависности отпорних карактеристика и влажности, као и зависности хидрауличких градијената J_{ueV} и J_{tV} и коефицијента унутрашње ерозије, омогућавају рационалност у истраживању и испитивању унутрашње ерозије код биолошки „армираног“ прашинасто песковитог земљишта.

Анализом станишних одлика површина на којима ће се обављати пошумљавање, потребно је идентификовати одговарајуће чиниоце успеха садње и будућег развоја култура, што је полазна основа за прецизно дефинисање генетских, физиолошких и морфолошких особина садница које треба произвести у расаднику. Овим путем ће се прецизирати које су то пожељне специфичности садног материјала (Исајев, В. *et al.*, 2010). Резултати испитивања приказани у овом раду јасно указују на то да је, површине деградиране или осетљиве на настанак унутрашњих ерозионих процеса, потребно пошумљавати са врстама које ће задовољити и интензитетом и масом, при развоју кореновог система. Дубина до које је потребно да се развије коренов систем је специфичност сваке локације. Потребне за одређеном морфологијом и масом кореновог система биће у директној зависности од физичко-механичких особина земљишта и осцилације нивоа воде у реци, које ће условити и осцилацију нивоа подземне воде на алувијалним терасама.

ЛИТЕРАТУРА

- Гајић, Г. (1994): Утицај физичко-механичких карактеристика земљишта на појаву и развој процеса дубинске ерозије. Магистарски рад одбрањен 1994 године на Шумарском факултету у Београду.
- Гајић, Г. (2000): Утицај отпорности земљишта на степен активизације дубинске ерозије. Докторска дисертација одбрањена 2000 године на Шумарском факултету у Београду.
- Тодоровић, Т., Гајић, Г. (1996): Application of the method of erosion-control soil engineering in the study of the mechanism of landslides and sanation of terrain. First European Conference and Trade Exposition on Erosion Control, Barcelona, may 29-31.
- Тодоровић, Т., Гајић, Г. (1997): Applications geotechnical 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.
- Славјанов, В.Н., Фандеева, В.И. (1963): Инженерно геологическије процеси и јављења их значење дља строитеелства. Госстеојиздат, Москва.
- Влаховић, М. (1977): Прилог проучавању процеса филтрације и консолидацује нормално консолидованих гла. Докторска дисертација, одбрањена на Рударско Геолошком факултету 1977. год.
- Крстић, М. (2008): Научна разматрања категоризације и узгојних потреба у шумама посебне намене. „Шумарство“ 1-2, УШИТС, Београд.
- Исајев, В., Иветић, В., Ракоњац, Љ., Лучић, А. (2010): Значај производње садног материјала у процесима ревитализације ерозиујом угрожених површуна. „Шумарство“, Београд, бр. 3-4, стр. 83-99.
- Ђоровић, М., Исајев, В., Кадовић, Р. (2003): Системи антиерозионог пошумљавања и затрављивања. Шумарски факултет, Бања Лука, Република Српска.

Гајић, Г. (2005): Показатељи настанка унутрашњих ерозионих процеса прашиасто песковито земљишта. „Гласник Шумарског факултета“, Београд, бр. 92, стр. 15-29.

ROOT PRESENCE IN THE SOIL AND ITS IMPACT ON THE GENERATION OF INTERNAL EROSION PROCESS IN DUSTY-SANDY SOILS

Grozdana Gajić

Summary

As the intensity of internal erosion depends on water hydrodynamic forces (as the agent), and total soil resistance to erosion (as the subject of erosion), it can be concluded that the criterion of the occurrence internal erosion is conditioned by the above parameters. Taking into account that intergranular porous soils differ in structure, filtration and resistance properties, compared to loess, the initiation of internal erosion process was investigated in such soils. In addition to the investigation of physical-mechanical and filtration properties of the soil, we analysed also the particle-size conditions of the structural composition, the skeleton and the fill grains, as the indicators of internal erosion. The base for the analysis of the problem of internal erosion is the study of the soil physical characters and hydro-geo-mechanical parameters. The mechanism of internal erosion is conditioned by different factors which cause the change: stress notation, physical-mechanical characters and water regime of the erosion affected soil. The degree and the form of internal erosion in inter-granularly porous media depends on the changes in the above parameters.

The indicators of internal process are the resistance properties of the soil and the gradients of groundwater filtration. The criteria of these indicators of the beginning of erosion processes in dusty-sandy soils are in the functional dependence of natural moisture and the parameters of shearing resistance and in the functional dependence of the coefficient of internal erosion and gradients of ground water filtration. The criterion of initiation of internal erosion in dusty-sandy soils is determined based on the interaction of the criteria resulting from the functional dependence. In the conditions of increased moisture content and water saturation, resistance properties (angle of internal friction and cohesion) have decreased values, i. e. the drop to residual strength by about two times.

The results of experimental research on initial internal erosion and soil flow were functionally correlated with the coefficient of internal erosion with a high degree of correlation. The increased values of the coefficient of internal erosion require lower gradients and lower velocities to develop the filtration which initiates the structural failure. The correlation of the resistance properties and moisture content, as well as the dependence of hydraulic gradients J_{ueB} and J_{tB} and the coefficient of internal erosion, facilitate the rational research and testing of internal erosion in dusty-sandy soils.

The analysis of site qualities of the areas for afforestation should identify the factors of planting success and future plantation development, which is the base for precise definition of genetic, physiological and morphological characters of nursery seedlings. In this way, the target specificities of the planting stock will be precisely defined (Isajev, V. *et al.*, 2010). The study results indicate clearly that the degraded areas, or the areas susceptible to internal erosion, should be afforested with the species which will satisfy the root requirements both by intensity and by mass. The depth to which the plant roots should develop depends on the specific location. The root morphology and mass are directly dependent on the physical-mechanical properties of the soil and the oscillations in river water levels which have an effect on the oscillations in groundwater levels on the alluvial terraces.

