

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

Никола Ђ. Живановић

**ОТПОРНОСТ ЗЕМЉИШТА КАО ИНДИКАТОР  
МЕХАНИЗМА НАСТАНКА ЕРОЗИОНОГ  
ПРОЦЕСА**

докторска дисертација

Београд, 2020

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF FORESTRY

Nikola Đ. Živanović

**SOIL RESISTANCE AS AN INDICATOR OF  
THE MECHANISM OF EROSION PROCESS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020



**Ментори:**

**др Ратко Ристић**, редовни професор  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

**др Гроздана Гајић**, редовни професор  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

**Комисија:**

**др Ратко Ристић**, редовни професор  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

**др Нада Драговић**, редовни професор  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

**др Владимир Чебашек**, ванредни професор  
Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет

**др Милан Медаревић**, редовни професор (у пензији)  
Универзитет у Београду Шумарски факултет

**др Тијана Вулевић**, доцент  
Универзитет у Београду Шумарски факултет.

**Датум одбране:**

---

## ЗАХВАЛНИЦА

Рад на докторској дисертацији представља дуготрајан процес прибављања доказног материјала (података) - истраживањима, експериментима, анализом теорије, а све у сврху доказивање (оповргавања) постављене хипотезе критичком анализом добијених података. Да би се процес макар за тренутак зауставио, евентуалне грешке исправиле а резултати правилно тумачили неопходно је присуство ментора. Овим путем се захваљујем менторима др Гроздани Гајић, ред. проф. и др Ратку Ристићу, ред. проф. на стручним саветима, сугестијама и подршци.

Захваљујем се члановима комисије др Владимиру Чебашеку, ванр. проф., др Нади Драговић, ред. проф., др Милану Медаревићу, ред. проф. и др Тијани Вулевић, доц., на сугестијама и пруженој подршци током израде ове дисертације.

Велику захвалност дугујем колегама: маст. инж. шум. Вукашину Рончевићу, на помоћи око теренског и експерименталног рада, др Борису Радићу, ванр. проф. на разговорима који су утицали на важне одлуке приликом пријаве дисертације, маст. инж. шум. Синиши Половини и маст. инж. пејз. арх. Марини Газдић на помоћи при техничком сређивању графика и слика, инж. шум. Борку Шкорићу на помоћи око техничке припреме симулатора кише.

Велику захвалност дугујем Живану Максимовићу и његовој породици, на пружању логистичке подршке при извршењу захтевних испитивања на терену. Захваљујем се дипл. екон. Владану Димитријевићу на пажљиво прочитаном тексту дисертације и датим сугестујама. Такође дугујем захвалност колективу ШУ „Липовица“ на сарадњи и пруженој помоћи на терену.

Део истраживања ове дисертације је подржан и финансиран у оквиру пројекта НПТР 33044 „Мониторинг и адаптивно управљање ризицима у површинској експлоатацији минералних сировина“ који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

*Оцу Ђури, мајци Јели, сестрама Драгани и Марини*

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИОНА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број (РБ):	
Идентификациони број (ИБР):	
Тип документа (ТД):	Монографска публикација
Тип записа (ТЗ):	Текстуални штампани документ
Врста рада (ВР):	Докторска дисертација
Аутор (АУ):	Никола Живановић, маг.инж.шум. за еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса
Ментор / Ко-ментор (МН):	др Ратко Ристић, редовни професор др Гроздана Гајић, редовни професор
Наслов рада (НР):	Отпорност земљишта као индикатор механизма настанка ерозионог процеса
Језик публикације (ЈЗ):	Српски / ћирилица
Језик извода (ЈИ):	Српски / енглески
Земља публикавања (ЗП):	Србија
Година (ГО):	2020
Издавач (ИЗ):	Ауторски репринт
Место и адреса (МА):	11030 Београд, Кнеза Вишеслава 1
Физички опис рада (бр. погл./стр./лит.навода/таб./сл./граф./прил.):	7 поглавља, 173 стране, 370 литературних навода, 86 табела, 39 слика, 16 графикана
Научна област (НО):	Биотехничке науке
Ужа научна област:	Ерозија и конзервација земљишта и вода
Предметна одредница / кључне речи (ПО):	ерозија земљишта, механизам настанка, физичко-механички параметри земљишта, симулатор кише, јаруга, унутрашња линијска ерозија
УДК:	624.131.37:630*116(043.3)
Чува се (ЧУ):	Библиотека Шумарског факултета, Кнеза Вишеслава 1, 11030 Београд, Србија
Важна напомена (ВН):	Нема
Датум прихватања теме од стране НН:	24.06.2020.
Датум одбране (ДО):	
Чланови комисије (КО):	др Ратко Ристић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет др Нада Драговић, редовни професор Универзитет у Београду, Шумарски факултет др Владимир Чебашек, ванредни професор Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет др Милан Медаревић, редовни професор (у пензији) Универзитет у Београду, Шумарски факултет др Тијана Вулевић, доцент Универзитет у Београду, Шумарски факултет

## РЕЗИМЕ

Земљиште је есенцијални природни ресурс у обезбеђивању основних људских потреба. Ерозија земљишта представља један од најзаступљенијих облика физичке деградације земљишта како у свету тако и у Србији. С обзиром да на настанак и развој ерозионог процеса утиче значајан број фактора као и њихови међусобни односи, проучавање ерозионих процеса представља комплексан, дуготрајан и често скуп процес. Ово је условило недовољну изученост ерозионих процеса, нарочито у областима под шумом. Отпорност земљишта на ерозионе процесе се дефинише физичко-механичким параметрима земљишта. Одређивање механизма настанка ерозионог процеса је од кључног значаја за разумевање праваца даљег развоја, интензитета ерозионог процеса као и за одабир одговарајућег решења за санацију.

Примарни циљ дисертације односи се на детерминисање елемената механизма настанка ерозионих процеса на земљиштима истраживаног подручја, анализом физичких и механичких параметара земљишта. Секундарни циљ је утврђивање промена механичких параметара земљишта са променом влажности симулираном кишом.

Истраживано подручје налази се у јужном брдовитом делу Београда, у шумском подручју са заступљеном деградираним шумом *Quercetum frainetto – cerris*. Подручје је захваћено интензивним ерозионим процесима јаружања и клизања земљаних маса, а такође је уочен и процес унутрашње линијске ерозије.

Према успостављеном критеријуму, заснованом на заступљености и степену развоја ерозионог процеса, извршено је испитивање физичко-механичких параметара земљишта. Специјално конструисаним и калибрисаним теренским симулатором кише и примењеним одговарајућим поступком експеримента, спроведен је низ опита, са циљем посматрања ефеката промене влажности земљишта на промену механичких параметара земљишта, као и формирање површинског отицаја и еродирање земљишта. Узимање узорака и лабораторијска мерења физичких параметара, обављена су према стандарду о геотехничким испитивањима (SRPS.U.B1). Механички параметри, односно одређивање чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) вршено је коришћењем цепне крилне сонде, а отпор при продору игле ( $R$ ) помоћу цепног (ручног) статичког пенетрометра.

Добијени резултати су указали да се механизам настанка ерозионих процеса на истраживаном подручју активира унутрашњом линијском ерозијом, после чега следи појава површинских бразди, чијим продубљивањем настају јаруге и клизишта. Физичко-механички параметри земљишта, могу се користити као индикатори могућности покретања механизма ерозионих процеса. На основу вредности физичко-механичких параметара земљишта, успостављени су јасни критеријуми за утврђивање настанка ерозионих процеса на истраживаном подручју. Успостављен је регресиони модел који најбоље описује зависност између параметара тренутне влажности земљишта и чврстоће земљишта на смицање, са високим коефицијентом корелације  $r = -0,85$  и коефицијентом детерминације  $r^2 = 0,72$ . Такође издвојен је модел који показује повезаност параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле, са високом корелационом зависношћу  $r = -0,81$  и коефицијентом детерминације  $r^2 = 0,65$ . На основу добијених статистичких зависности може се закључити да са порастом тренутне влажности опадају вредности механичких параметара земљишта. Преносиви апарати за мерење механичких параметара земљишта показали су се као веома практични у условима тешко проходних терена, са задовољавајућом прецизношћу мерења. Резултати дисертације могу имати широку практичну примену у оквиру шумарства. У оквиру дисертације предложена је методологија за коришћење параметара којима се детерминишу физичко-механичка својства земљишта у процесу идентификације ерозионих подручја.



**КЉУЧНЕ РЕЧИ:** ерозија земљишта, механизам настанка, физичко-механички параметри земљишта, симулатор кише, јаруга, унутрашња линијска ерозија

**Научна област:** Биотехника

**Ужа научна област:** Ерозија и конзервација земљишта и вода

**УДК:** 624.131.37:630\*116(043.3)

## KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number (ANO):	
Identification number (INO):	
Document type (DT):	Monograph documentation
Type of record (TR):	Textual printed document
Contens code (CC):	Doctoral dissertation
Author (AU):	Nikola Živanović, MSc in ecological engineering for soil and water resources protection
Menthor (MN):	PhD Ratko Ristić, full professor PhD Grozdana Gajić, full professor
Title (TI):	Soil resistance as an indicator of the mechanism of erosion process
Language of text (LT):	Serbian (Cyrillic)
Language of abstract (LA):	Serbian (Cyrillic) / English
Country of publication (3II):	Serbia
Publication year (PY):	2020
Publisher (PU):	The authors reprint
Publication place (PP):	11030 Belgrade, Kneza Višeslava 1
Physical description (PD):	7 chapters, 173 pages, 370 references, 86 tables, 39 illustrations, 16 graphics
Scientific field (SF):	Biotechnical Sciences
Scientific discipline (SD):	Erosion and soil and water conservation
Subject / Key words (SKW):	erosion, occurrence mechanism, physical and mechanical soil parameters, rain simulator, gully, piping-erosion
UC:	624.131.37:630*116(043.3)
Holding data (HD):	Library of the Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade
Note (N):	None
Accepted by Scientific Board on (ACB):	06.24.2020.
Defended on (DE):	
Thesis Defend Board (DB)	PhD Ratko Ristić, Full Professor University of Belgrade, Faculty of Forestry PhD Nada Dragović, Full Professor University of Belgrade, Faculty of Forestry PhD Vladimir Čebašek, Associate Professor University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology PhD Milan Medarević, Full Professor (retired) University of Belgrade, Faculty of Forestry PhD Tijana Vulević, Assistant Professor, University of Belgrade, Faculty of Forestry

## ABSTRACT

Soil is an essential natural resource which is necessary for providing a majority of basic human needs. Soil erosion is one of the most widely distributed forms of physical land degradation, both globally and in the Republic of Serbia. Having in mind that a number of factors, as well as their respective inter-relations affect the occurrence and development of the process of soil erosion, its research can be complex, long lasting, and often very expensive. All of this has caused an overall insufficient amount of information possessed about it, especially in forested areas. Soil's resistance to erosion can be defined by its physical and mechanical parameters. Determining the erosion process's mechanism of occurrence is essential for understanding its further development, intensity and decision making of appropriate remediation methods.

The main goal of this dissertation is to determine the elements which cause the erosion processes within the investigated area, by analysing the physical and mechanical parameters of its soil. A partial goal is determination of mechanical parameters changes that occur with the changes in soil moisture content achieved by rain simulation.

The investigated area is located in the southern, hilly part of Belgrade, in a degraded forest area vegetated by Hungarian and Turkey oak (*Quercetum frainetto – cerris*). This area is affected by intensive landslide and gully erosion processes, and piping-erosion processes have also been reported.

Having the criteria that were set based on the abundance and the level of erosion processes in mind, determination of soil's physical and mechanical parameters has been performed. By using a field rain simulator and methodology constructed and calibrated particularly for the purpose of this research, a series of experiments were performed in order to observe the effect of changes of soil moisture content on mechanical soil parameters, and formation of runoff and soil erosion. Soil sampling and laboratory testing were done in accordance with SRPS.U.B1 geotechnical testing standards. Soil's mechanical, shear strength parameters ( $\tau$ ) were determined by using a pocket vane tester, whereas penetration resistance ( $R$ ) was determined by a manual (pocket) penetrometer.

The results that were obtained have pointed that the mechanism of development of erosion processes at the investigated area is initiated by piping-erosion, after which surface gullying, and, finally, landslides take place. Physical and mechanical soil parameters can be used as indicators of the possibility of occurrence of erosion processes. Based on them, a clear criteria for determination of occurrence of erosion processes for the investigated area were set. A regression model with high correlation dependence ( $r = -0.85$ ) and determination coefficient ( $r^2 = 0.72$ ) which best shows the dependence of actual moisture content and soil's shear strength, was adopted. Other than that, a model which shows the connections between the actual moisture content and penetration resistance was utilized, and it has also proven to possess a high correlation dependence ( $r = -0.81$ ) and determination coefficient ( $r^2 = 0.65$ ). Based on the statistical dependencies that were obtained, it is to be concluded that soil's mechanical parameters values decrease with increasing the moisture content. The portable equipment that was used has proven itself to be very practical in terrains that are difficult to reach, and has shown a satisfactory precision in measuring. The results of this dissertation could be widely applied in forestry. A methodology on using the parameters for determining physical and mechanical soil properties in identifying erosion prone areas was also encompassed within this dissertation.

**Key words:** erosion, occurrence mechanism, physical and mechanical soil parameters, rain simulator, gully, piping-erosion

**Scientific field (SF):** Biotechnical Sciences

**Scientific discipline (SD):** Erosion and soil and water conservation

**UC:** 624.131.37:630\*116(043.3)



# САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА.....	1
1.2. ЦИЉ И ХИПОТЕЗЕ .....	4
1.3. ОПШТИ МЕТОД ИСТРАЖИВАЊА.....	5
2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ .....	6
2.1. МЕХАНИЗАМ НАСТАНКА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА .....	6
2.2. УНУТРАШЊИ ЕРОЗИОНИ ПРОЦЕСИ .....	7
2.3. УНУТРАШЊА ЛИНИЈСКА ЕРОЗИЈА .....	8
2.4. ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ ЗЕМЉИШТА .....	11
2.5. СИМУЛАТОРИ КИШЕ .....	14
3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА .....	16
3.1. МАТЕРИЈАЛ .....	16
3.1.1. Подручје истраживања .....	16
3.1.2. Рекогносцирање терена .....	23
3.2. МЕТОД РАДА .....	28
3.2.1. Формирање узорка.....	28
3.2.2. Методе лабораторијских испитивања .....	30
3.2.3. Методе одређивања механичких особина земљишта теренским испитивањима ...	33
3.2.4. Експериментална испитивања.....	35
3.2.5. Методе статистичке обраде.....	46
4. РЕЗУЛТАТИ.....	48
4.1. ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА ФИЗИЧКИХ СВОЈСТАВА ЗЕМЉИШТА .....	48
4.1.1. Запреминске тежине земљишта .....	48
4.1.2. Гранулометријска анализа.....	56
4.1.3. Конзистентна стања земљишта .....	64
4.1.4. Индекс активности глина .....	72
4.2. МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ ЗЕМЉИШТА .....	75
4.2.1. Механички параметри узорака прве зоне .....	75
4.2.2. Механички параметри узорака друге зоне .....	79
4.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА .....	83
4.3.1. Експериментално испитивање у јаругама .....	83
4.3.2. Експериментално испитивање на обалама .....	85
4.4. СТАТИСТИЧКЕ ЗАВИСНОСТИ ПАРАМЕТАРА.....	88
4.4.1. Компазија физичких параметара земљишта .....	88
4.4.2. Компазија механичких параметара земљишта.....	93

4.4.3. Компарација физичких параметара узорака прве и друге зоне .....	94
4.4.4. Компарација механичких параметара узорака прве зоне и узорака друге зоне.....	98
4.4.5. Компарација експериментално добијених параметара .....	99
4.4.6. Статистичке зависности .....	99
5. ДИСКУСИЈА.....	124
5.1. ФИЗИЧКИ ПАРАМЕТРИ .....	124
5.1.1. Запреминске тежине .....	124
5.1.2. Гранулација.....	126
5.1.3. Конзистентна стања земљишта .....	128
5.1.4. Индекс активности глина .....	129
5.1.5. Тренутна влажност земљишта .....	130
5.2. МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ.....	131
5.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА СИМУЛИРАНОМ КИШОМ.....	133
5.3.1. Испуњеност критеријума за коришћење конструисаног симулатора кише .....	133
5.3.2. Симулација.....	134
5.4. СТАТИСТИЧКЕ ЗАВИСНОСТИ .....	137
5.5. МЕХАНИЗАМ НАСТАНКА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА.....	142
5.6. ОСВРТ НА МОГУЋУ ПРИМЕНУ ИНДИКАТОРА ОТПОРНОСТИ ЗЕМЉИШТА У ОКВИРУ ШУМАРСТВА .....	144
5.7. ПРЕДЛОГ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА КОЈИМА СЕ ДЕТЕРМИНИШУ ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА У ПРОЦЕСУ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ЕРОЗИОНИХ ПОДРУЧЈА.....	146
6. ЗАКЉУЧЦИ .....	149
7. ЛИТЕРАТУРА.....	153

# 1. УВОД

## 1.1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА

*„У природи не постоји последица без узрока; разуми узрок и нећеш имати потребу за експериментом“ Leonardo da Vinci<sup>1</sup>.*

Ерозија земљишта (од латинског глагола erodere, erosi, erosum што значи изгристи, изглодати, разорити) је природни процес који се састоји од физичког и хемијског распадања земљишних агрегата, транспорта појединих честица или читаве масе земљишта под дејством силе гравитације, енергије воде или ветра и на крају, таложења по престанку деловања деструктивних сила.

Земљиште је живи покривач планете Земље (Amundson et al., 2015) и од суштинског значаја за живот на планети (Montanarella et al., 2016). Конгрес Сједињених Америчких Држава 2008. године је кроз резолуцију Сената прогласио да су земљишта „есенцијални“ природни ресурс, стављајући их на тај начин у ранг са водом и ваздухом (Congressional Record, 2008). Као есенцијални ресурс земљиште је ослонац за испуњење социјалних и еколошких потреба човека (Jones et al., 2018).

Земљиште као ресурс угрожено је природним процесима и антропогеном активношћу. Деградације земљишта је глобални проблем интензивирају климатским променама, порастом броја становника и развојем економије. Фактори који утичу на појаву деградационих процеса земљишта су, поред климатских фактора, неодговарајуће агротехничке мере, прекомерна сеча шума, неконтролисано пашарење, агресивна урбанизација и експлоатација минералних сировина (Ристић, 2019).

Montanarella (2003) и Karlen и Rice (2015), као облике деградације земљишта наводе: ерозију земљишта (водом и ветром); губитак органске материје (такође се односи и на губитак угљеника у земљишту); неравнотежу или недостатак хранљивих материја; смањење или губитак земљишног биодиверзитета; саланизацију; ацидификацију; површинско заптивање; збијање; забаривање.

Проблем деградације земљишта препознат је од стране Уједињених нација, које имају великог утицаја на решавање економских, социјалних и проблема животне средине у бројним земљама свих светских региона. Први план за борбу против дезертификације „Акциони план за борбу против дезертификације“ (PACD, Plan Action to Combat Desertification) усвојен је 1977. године на Конференцији Уједињених нација о дезертификацији (UNCOD). На конференцији Уједињених нација Рио+20 (1992. године) установљена је Конвенција Уједињених нација за борбу против дезертификације (UNCCD) (Rio + 20, 2012). Стратешки оквир UNCCD, за период 2018. до 2030. године фокусиран је на постизању Неутралне деградације земљишног простора (LDN), са циљем враћања продуктивности деградираних површина на глобалном нивоу (UNCCD 2017). Kust et al. (2017) дефинишу LDN као нову парадигму која се одражава кроз међусобну зависност захтева и циљева одрживог развоја

---

<sup>1</sup> Leonardo, da Vinci, 1452–1519 Notebooks / Leonardo da Vinci; selected by Irma A. Richter; edited with an introduction and notes by Thereza Wells; preface by Martin Kemp. First published 1952, First published in Oxford World's Classics 1980, New edition 2008.



земљишног простора. Ерозија земљишта је једна од осам претњи наведених у Тематској стратегији о земљишту, главном инструменту политике посвећеном заштити земљишта у Европској унији (Panagos et al., 2020).

Ерозија земљишта је идентификована као највећи проблем међу свим процесима деградације земљишта у свету (Lal 2003; Valentin et al., 2005; Konz et al., 2010; Panagos et al., 2015; Montanarella et al., 2016; Vaezi et al., 2017; Guerra et al., 2017; Zhang et al., 2019; Kaviani et al., 2020; Borrelli et al., 2020; Dragović, Vulević, 2020). Такође, ерозија земљишта је најзаступљенији облик физичке деградације земљишта у Србији.

Често су еколошки проблеми и проблеми заштите животне средине проузроковани ерозијом земљишта (Liu et al., 2016; Fernandez-Raga et al., 2017; Ouyang et al., 2018), што се манифестује у виду засипања ерозионим материјалом, загађивањем и учесталим поплавама (Morgan, 2005). Такође, манифестује се кроз смањење продуктивности екосистема, губитак станишта и биолошке разноврсности (Ристић, 2019). Антропогена активност, и са тим повезане промене начина коришћења земљишта, примарни су узрок убрзане ерозије земљишта, што има значајне импликације на процес кружења хранљивих материја и угљеника, продуктивност земљишта, са значајним последицама у социјално-економској сфери (Borrelli et al., 2017b). Amundson et al. (2015) истичу значај „здравог” земљишта као темељ пољопривреде и есенцијалног ресурса за обезбеђивање основних потреба човека у XXI веку, као што су храна, чиста вода и чист ваздух. Ерозија земљишта, према Pandey et al. (2016), представља озбиљну глобалну претњу за људску заједницу, због њеног неповољног утицаја на животну средину, производњу хране и квалитет живота.

Истраживачи који се баве механизмом настанка и последицама деловања ерозије земљишта, проучавају сложени систем са великим бројем променљивих, интеракција, повратних информација и стохастичких односа (Polyakov et al., 2018). Истраживање ерозионих процеса земљишта представља дуготрајан и често скуп процес (Voix-Fayos et al., 2006).

Ерозиони процеси се у највећој мери изучавају на пољопривредним површинама, док су земљишта шумских и планинских подручја недовољно истражена (Konz et al., 2010; Borrelli et al., 2017a; Roasen, 2018). Шума и шумска подручја представљају добра од општег значаја, и имају посебну функцију у заштити земљишта и воде као ресурса (Medarević, 1991; Miura, 2015). Међутим, поред заштитног значаја који је немерљив, и на овим подручјима долази до појаве ерозионих процеса. Лоше газдовање шумама као и крчење шума у прошлости ради добијања обрадивих површина, горива и остваривања профита, утицали су да је данас већи део шума у близини насељених места деградиран и да се углавном простиру у уском појасу око водотокова (Hughes, Thirgood, 1982; Томић, 2004; Agrawal et al., 2008; Крстић et al., 2012).

Шумско земљиште је суштински осетљивије на деградацију ерозионим процесима од већине обрадивих земљишта, ливада и пашњака (FAO, 2011). Ерозиони процеси у шумама значајно умањују или у потпуности нарушавају производни потенцијал шумског екосистема (Nieuwenhuis, 2000). Механизам настанка ерозионих процеса земљишта у шумама је специфичан, услед високог степена међузависности и повезаности ендогених и егзогених фактора (клима, геоморфологија, земљиште, вегетација, начин коришћења, микроорганизми, инсекти и друге животиње). Специфични услови настанка ерозионих процеса захтевају комплексну методологију проучавања. Проучавање параметара који дефинишу отпорност

земљишта на ерозионе процесе, од кључног је значаја за разумевање механизма настанка ерозионих процеса (Grabowski et al., 2011).

Способност земљишта да се супротстави ерозионим процесима првенствено зависи од отпорности земљишта која се дефинише физичко-механичким параметрима земљишта (Sun et al., 2016). Кохерентна земљишта свој отпор ерозионим силама пружају комплексним односом гранулометријског састава, структуре агрегата и минералošких својства глине. Отпорност земљишта на ерозионе процесе се може дефинисати преко чврстоће земљишта на смицање, која директно зависи од тренутне влажности и збијености земљишта (Jie et al., 2018). С обзиром на значај тренутне влажности земљишта за формирање отицаја и ерозије земљишта, разумевање односа тренутне влажности земљишта (која може значајно варирати за време и између кишних падавина) и критичног напона смицања, важно је за тачну процену интензитета ерозионих процеса (Singh, Thompson, 2016).

Деградиране површине шумских подручја, услед деловања ерозионих процеса, имају редукован капацитет за вршење екосистемских услуга и смањен производни потенцијал дрвне масе. Како би се дошло до одговарајућег решења за санацију, неопходно је дефинисати механизам настанка ерозионог процеса. Недовољна изученост отежава идентификацију ерозионог процеса, предвиђање даљег правца развоја и утврђивање интензитета. Такође, има великог утицаја на резултате прорачуна продукције ерозионог материјала, затим на процене угрожености земљишта од ерозионих процеса као и на одређивање приоритета за санирање.

Упркос обимној научној литератури, разумевање фактора који утичу на природне и антропогено индуковане процесе ерозије земљишта и даље је ограничено (Poesen, 2018; Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018). Потреба за истраживањем механизма ерозионих процеса земљишта има вишеструк значај. Према Toy et al. (2002) и Stroosnijder (2005) значај истраживања ерозионих процеса земљишта огледа се у: 1) Утврђивању утицаја ерозије земљишта и конзервационих мера на животну средину; 2) Научно-истраживачким активностима у домену ерозије земљишта; 3) Развоју технологија за контролу ерозије земљишта и њихове евалуације; 4) Развоју методологија за процену интензитета ерозије земљишта; 5) Расподели ресурса за конзервацију земљишта, развоју регулатива, политике и програма заштите. Прикупљање прецизних података о настанку и развоју ерозионих процеса од великог је значаја како у научном тако и у практичном смислу.

Како ће неко земљиште реаговати на утицај воде као *ероционе силе*<sup>2</sup>, најбоље могу показати експерименти, односно огледи који симулирају или директно посматрају одвијање процеса на терену. Не мање значајна су лабораторијска испитивања на карактеристичним узорцима земљишта. Упоредним анализама резултата, са терена и из лабораторије, може се повећати степен разумевања и знања о механизмима настанка ерозионих процеса.

---

<sup>2</sup> Под појмом ероционе силе у овој дисертацији се подразумевају деструктивне силе и то воде, ветра, леда, снега, животиња, биљака и човека, као агенса ерозије земљишта.

## 1.2. ЦИЉ И ХИПОТЕЗЕ

Примарни циљ докторске дисертације јесте детерминисање елемената механизма настанка ерозионих процеса на земљиштима истраживаног подручја, анализом физичких и механичких параметара земљишта. Секундарни циљ је да се утврди промена механичких параметара земљишта са променом влажности симулираном кишом.

Хипотеза од које се полази заснована је на чињеници о постојању узајамне повезаности механизма настанка ерозионог процеса земљишта и физичко-механичких својстава земљишта.

Постављене су две хипотезе:

**1. Постоји разлика између физичко-механичких параметара земљишта које је захваћено ерозионим процесима и земљишта на коме нема видљивих показатеља деловања ових процеса.**

**2. Промена тренутне влажности земљишта утиче на промену механичких параметара земљишта.**

Очекивани резултати:

- Успостављање критеријума за прогнозу развоја иницијалних облика ерозије на земљиштима истраживаног подручја.
- Утврђивање функционалних зависности између испитиваних физичко-механичких својстава земљишта и различитих вредности влажности земљишта, постигнутих применом вештачких киша, у временском интервалу од 24 часа.
- Предлог методологије за коришћење параметара који детерминишу физичко-механичка својства земљишта, у процесу идентификације ерозионих подручја.

### 1.3. ОПШТИ МЕТОД ИСТРАЖИВАЊА

*„Метода је потребна у сврху истраживања истине“ Rene Dekart<sup>3</sup>*

Пратећи постављену хипотезу успостављена је методологија истраживања која ће на бази теренских и лабораторијских испитивања дати одговор који је механизам настанка ерозионих процеса земљишта доминантан на истраживаном подручју.

Специфичност успостављене методологије за потребе ове дисертације огледа се у комплексној међузависности ендогених и егзогених фактора који директно утичу на отпорност земљишта на ерозионе процесе.

Одређивање предмета испитивања врши се применом методе посматрања (рекогносцирања) која за циљ има да идентификује ерозиони процес или процесе кохерентног земљишта на простору под шумском вегетацијом и да детерминише услове средине у којима се одвија/ју. Преглед владајућих ставова и схватања у научној литератури о уоченим облицима ерозије земљишта даће смернице за постављање одговарајуће методологије, као и избора одговарајућих техника.

Анализом и синтезом теоријских основа и ставова у литератури и детерминисаних облика ерозије земљишта, успостављене су премисе о механизму настанка ерозионог процеса, на основу којих су одређени критеријуми за одабир локације истраживања:

- Шумски екосистем;
- Заступљеност идентификованих ерозионих процеса;
- Удаљеност лабораторије од локације истраживања;
- Постојање приступног пута због транспорта опреме.

Имајући у виду комплексност истраживаног проблема методологија истраживања подељена је у два правца (квантитативна и експериментална):

- 1. Испитивања физичко-механичких параметара карактеристичних узорака земљишта дефинисаних на основу успостављеног критеријума према заступљености и степену развоја ерозионог процеса.**
- 2. Експериментално испитивање симулирањем кише, теренским симулатором, са циљем посматрања ефеката промене влажности земљишта на промену механичких параметара земљишта, као и формирање површинског отицаја и еродирање земљишта.**

---

<sup>3</sup> Rene Dekart: Pravila za usmeravanje duha; Rasprava i metodi pravilnog vodjenja svoga uma i istraživanje istine o naukama; Istraživanje istine prirodnim svjetlom uma. (str. 37) s latinskog i francuskog preveo i komentare sačinio Marko Višić.

## 2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

### 2.1. МЕХАНИЗАМ НАСТАНКА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА

Ерозија земљишта је природни процес који започиње откидањем честице земљишта из *земљишног матрикса*<sup>4</sup> и њеним транспортом, а под дејством ерозионе силе. Механизам ерозионих процеса земљишта може се поделити у три фазе: фаза откидање, фаза транспорта и фаза таложења (Gavrilović, 1972; Morgan, 1979; Bryan, 2000; Boardman, Poesen, 2006; Kostadinov, 2008; Sun et al., 2016; Vaezi et al., 2017). Узрочност или каузалитет (лат. *causalitas*) се може препознати у односу ерозионих процеса и облика терена (морфологија, микроморфологија). Ерозиони процес утиче на обликовање терена, док морфологија и микроморфологија терена условљавају појаву ерозионих процеса (Poesen et al., 1990; Cerda, Rodrigo-Comino, 2020). Под појмом ерозија подразумевају се промене на површинском слоју земљишног рељефа, које настају при прекорачењу граничних услова („прага“) између активних ерозионих сила и отпорности земљишта на ерозију, као реактивних сила (Heinzen, Arulanandan, 1977; Todorović, 1991; Arulanandan, 2003; Sidorchuk, 2005; Brunier-Coulin et al., 2016). Емпиријски се однос спољних сила (смичућих сила) и унутрашњег отпора (чврстоће на смицање) код кохерентних земљишта може представити Колумбовом једначином (Todorović, 1991; Bryan, 2000):

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

где је:

$\tau$  - смичући напон

$\varphi$  - угао унутрашњег трења

$c$  - напон кохезије

$\sigma$  - нормални напон

Ерозија кохерентних земљишта резултат је комплексне суперпозиције ерозионих сила које делују на површину земљишта и сила које се одупиру ерозији (Sidorchuk, 2005). Одвајање честица земљишта, услед течења воде по површини, настаје када величина напона смицања постане довољно велика да откине честицу земљишта (Owoputi, Stolte, 1995).

Ерозиона продукција земљишног материјала се може изразити конститутивним једначинама, названим „законом ерозије“ (Regazzoni, Marot, 2011). Овај закон, заснован на закону граничних услова (енг. *thresholds law*) (Winager, 1948; Feagin, 1984; Ostrovsky, 2001), представља однос између ерозионе силе и отпора земљишта, израженог линеарном зависношћу између продукције ерозије ( $E_r$ ) напона смицања ( $\tau$ ) и критичног напона смицања ( $\tau_c$ ) које земљиште може да издржи и изражава се једначином (Nearing et al., 1989; Owoputi, Stolte, 1995; Bonelli et al., 2006; Fox et al., 2007; Knapen et al., 2007; Fox, Wilson, 2010; Grabowski et al., 2011; Wilson, 2011; Sun et al., 2016; Singh, Thompson, 2016):

$$E_r = K_d (\tau - \tau_c)^a \quad (2)$$

где ( $K_d$ ) представља коефицијент еродибилности земљишта а ( $a$ ) емпиријску константу.

У литератури се ова формула најчешће користи за предикцију продукције наноса изазване концентрисаним током воде по површини земљишта (Leonard, Richard, 2004; Knapen et al., 2007; Knapen, Poesen, 2009; Wilson et al., 2017). Ова једначина се примењује и код унутрашњег линијског процеса (енг. *ripping-erosion*) (Bonelli et al., 2006; Fox, Wilson, 2010).

<sup>4</sup> Матрикс земљишта се у овом докторату користи у смислу просторног распореда свих елемената земљишта.

Кохерентна земљишта у Србији су углавном угрожена водном ерозијом која агресивно делује на земљиште својим током по површини, или кроз матрикс земљишта (унутрашња). Ерозионе процесе можемо поделити, према месту деловања, на површинске и унутрашње. Површински ерозиони процеси су готово увек лако уочљиви са својим препознатљивим облицима. Настанак и развој површинских ерозионих процеса на кохерентним земљиштима, када за то постоје услови, започиње ударом кишних капи које својом енергијом разарају агрегате земљишта (Bryan, 1974; Geißler et al., 2012; Mahmoodabadi, Sajjadi, 2016; Fernández-Raga et al., 2017; Hu et al., 2018; Zhang et al., 2020), затим долази до формирања површинског ламинарног течења који спира откинуте честице земљишта (Kilinc, Richardson, 1973; Watson, Laflen, 1985; Misra, Rose, 1995; Agassi, Bradford, 1999; Chaplot et al., 2007; Cao et al., 2015), када се ток воде концентрише и формира линијско отицање долази до образовања бразди (Ghebreiyessus et al., 1994; Nearing et al., 1997; Kašanin-Grubin, Bryan, 2007), даљим еродирањем повећавају своју дубину и/или ширину те прерастају у јаруге (Nachtergaele et al., 2002; Poesen et al., 2003; Liu et al., 2003; Valentin et al., 2005; Wu, Cheng, 2005; Sidorchuk, 2005), што може довести и до покретања земљишних маса (Korup et al., 2007; Highland, Bobrowski, 2008; Petrović et al., 2016; Guerra et al., 2017).

## 2.2. УНУТРАШЊИ ЕРОЗИОНИ ПРОЦЕСИ

Унутрашњи ерозиони процеси земљишта јављају се услед кретања воде кроз земљишни матрикс (профил), што доводи до премештања честица земљишта и груписања на местима престанка деловања, или слабљења силе. Унутрашњи ерозиони процеси могу се јавити код пескова у виду истицања пескова или избијања на површину („boiling”, односно, „врење“, према Terzaghi, 1922), затим код финозрних (кохерентних) земљишта, колапсибилних земљишних творевина (лес) и код дисперзних земљишта. Прва испитивања механизма настанка унутрашње ерозије започела су у првим годинама XX века, са оснивањем науке о механици тла, услед бројних случајева рушења земљаних брана (Terzaghi, 1943; Terzaghi, Peck, 1948; Goudie, 2004; Fleshman, Rice, 2014). Процеси унутрашње ерозије присутни су у природним земљишним творевинама (Ђокović, 2016). Унутрашњи ерозиони процеси, иако веома значајни, нису још довољно истражени (Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018).

Механизам унутрашњих ерозионих процеса који се јавља у насутим објектима може се поделити на концентрисану ерозију (формирање цеви и тунела), ретроградну/регресивну ерозију, контактну ерозију и суфозију (Bonelli, 2012; Richards, Reddy, 2012; Mercier, 2013; Fell, Fry, 2013; Fleshman, Rice, 2014; Ђокović, 2016). Bonelli, (2012); Fell, Fry, (2013); Ђокović, (2016) дефинишу ове процесе као:

- 1) Концентрисана ерозија настаје на местима где постоји пукотина, отвор или каверна, те је са тим предусловом омогућена концентрација тока воде, који својом хидродинамичком силом еродира зидове пукотина, чиме се оне шире формирајући ерозионе канале у виду цеви (цилиндра).
- 2) Ретроградна или регресивна ерозија јавља се на местима где под утицајем хидродинамичких сила долази до изношења честица земљишта на површину терена (низводне косине код насutih објеката, обале), одакле се даљи развој процеса шири ка унутрашњости објеката, односно у супротном смеру од деловања хидродинамичке силе;
- 3) Контактна ерозија јавља се услед течења воде по контактної површини између водопрпусног земљишта (крупнозрног) и слабопрпусног (финозрног) земљишта, када долази до еродирања финозрног земљишта на самом контакту;
- 4) Суфозија се јавља када ток воде еродира и износи fine честице из матрикса земљишта кроз поре формиране између крупнијих честица.

Наведени механизми настанка унутрашњих ерозионих процеса важе и за природне земљишне творевине. Генерално посматрано, у сваком земљишту се одвија процес суфозије док је за појаву остала три наведена процеса неопходна синергија фактора средине (микроморфологија, гранулометријски састав земљишта, структура, хидродинамичке силе).

На површини терена се облици настали унутрашњим ерозионим процесима манифестују појавом увала, улегнућа, клизишта, отварања рупа (услед рушења кровова цеви формираних линијским унутрашњим процесима), као и избијањем дубљих (подинских) слојева на површину терена. Облици унутрашњих ерозионих процеса постају видљиви на површини тек у поодмаклим фазама процеса (Faulkner, 2006), чија је иницијална фаза скривена испод површине земљишта. Развој унутрашњих ерозионих процеса доводи до настанка клизишта, тецишта, одрона, јаруга као и карстних појава (Гајић, 2000). Ђокović (2016) истиче сложеност механизма настанка унутрашњих ерозионих процеса (постојање више фактора) и важну улогу растворљивости и дисперзности земљишта, као значајних утицаја на појаву унутрашњих ерозионих процеса.

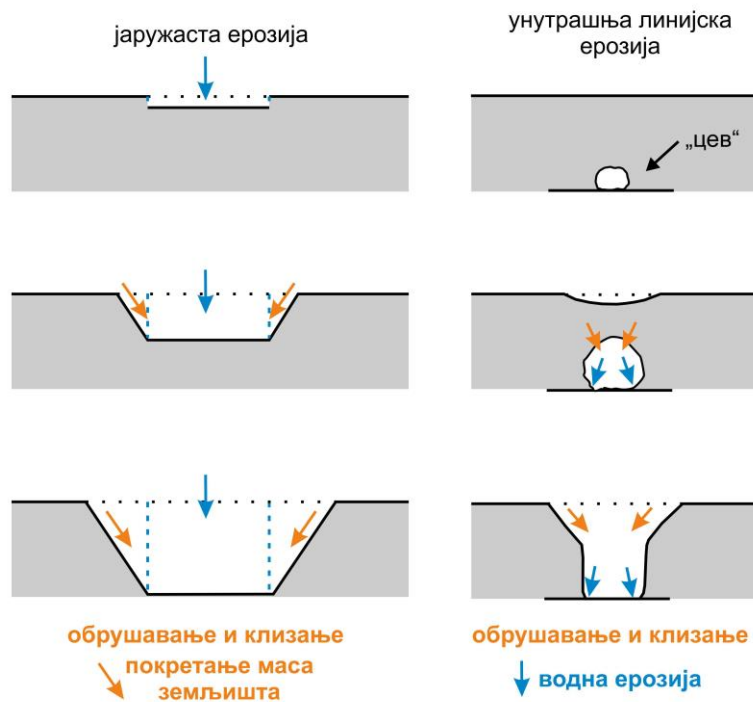
Постојећи модели за процену ерозије, као и модели за хидролошке прорачуне, често занемарују појаву подповршинског отицаја (Jones, 2010). Како наводе Bernatek-Jakiel и Poesen (2018) унутрашња линијска ерозија није разматрана ни у једном од постојећих модела који се баве водном ерозијом.

### **2.3. УНУТРАШЊА ЛИНИЈСКА ЕРОЗИЈА**

Појам „*ripping-erosion*” у домаћој литератури нема до сада адекватног превода. Термин цеваста ерозија, дословни превод енглеског термина *pipe erosion* – цев ерозија, није сасвим у духу нашег језика, мада описује форму (облик) ерозионог процеса насталу подповршинским линијским током воде. Ђокović (2016), у свом докторату овај процес у насутим земљаним објектима назива термином концентрисана ерозија, што је такође буквални превод термина са енглеског језика. Jones (2004) је дао јасну дефиницију термина „*ripping-erosion*” - цеваста ерозија, који се односи на линеарне просторе формиране концентрисаним током воде у земљишту или неконсолидованим седиментима, што може проузроковати урушавање површине земљишта и стварање дисконтинуираних бразди. Bernatek-Jakiel и Poesen (2018), у свом прегледном раду, су објаснили термин „*ripping-erosion*“ који се у литератури често назива различитим именима. Bernatek-Jakiel и Poesen (2018) су такође потврдили да се наведена дефиниција у литератури углавном користи за ерозиони процес у природним творевинама земљишта. Стога ће у овој докторској дисертацији за ерозиони процес познат у страниој литератури под називом „*ripping-erosion*” бити коришћен назив унутрашња линијска ерозија земљишта.

Унутрашња линијска ерозија се као процес у земљиштима у литератури, према Jones (1971), јавља средином шездесетих година XX века. До тог тренутка преовладавао је став о настанку површинских линијских ерозионих процеса механизмом који је објаснио Horton (1945), а који се базира на теорији критичне дужине ламинарног тока воде који је потребан за формирање површинског линијског тока.

Процес унутрашње линијске ерозије земљишта не настаје само под утицајем смичуће силе воде, већ је, слично јаружастој ерозији, повезан са покретима земљишта у виду обрушавања зидова и крова настале „цеве“ (Morgan, 1979; Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018). На слици 1 шематски је предстаљен механизам настанка унутрашње линијске ерозије и бразде, као комплексан геоморфолошки процес који је сачињен од узајамног деловања хидродинамичке силе и покрета земљишних маса.



Слика 1 – Шематски приказ механизма настанка унутрашњег линијског ерозионог процеса (према Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018)

Унутрашња линијска ерозија настаје услед деловања биотичких, физичких или физичко-хемијских фактора, који доводе до премештања земљишног материјала на микронивоу (Вуан, Јонес, 1997). Премештање честица унутар земљишног матрикса врши се кретањем воде кроз крупније пукотине и поре (макропоре). Настанак пукотина код финозрних глиновитих земљишта везан је за сушни период, односно запреминске промене глине (скупљање) у сушном периоду године. У шумским подручјима, поред наведеног, до настанка пукотина долази услед труљења кореновог система (Gaiser, 1952; Aubertin, 1971; Beven, Germann, 1982; Jones, 1987; Hardie, 2009; Butler, Hupp, 2013; Leslie, Heinse, 2013; Luo et al., 2019), активности животиња (кичмењака) (Butler et al., 2013a; Butler et al., 2013b; Poesen, 2018) и инсеката (Beven, Germann, 1982; Whitford, Eldridge, 2013) у подповршинском слоју. Овако формиране пукотине представљају подземне путеве у којима се концентрише вода која својом енергијом иницира настанак и развој унутрашње линијске ерозије. Шумска земљишта имају могућност брзог инфилтрирања кишних падавина, где вода може прећи значајне дистанце кроз развијени и повезани систем пукотина и макропора (Aubertin, 1971). Faulkner (2018) наводи да се развој макропора, погодних за развој унутрашње линијске ерозије, јавља услед урушавања површине земљишта изазване еродирањем, присуством кореновог система, затим код двослојних земљишта или генерално земљишта мале запреминске масе, услед обраде/прекопавања за потребе пољопривреде, грађевинарства или рударства. Jones (2010) наводи да је настанак и место формирања унутрашње линијске ерозије условљен типом земљишта и микроморфологијом. Fox et al. (2013) истичу сложеност настанка процеса линијске унутрашње ерозије. Vovi et al. (2020) су утврдили да је одлучујући фактор за настанак процеса унутрашње линијске ерозије присуство пропусног слоја који прекрива непропусни слој земљишта, на коме долази до појаве концентрисаног подповршинског течења. Faulkner (2018) истиче да је могућ развој унутрашње линијске ерозије и на подручјима са добро развијеном вегетацијом.

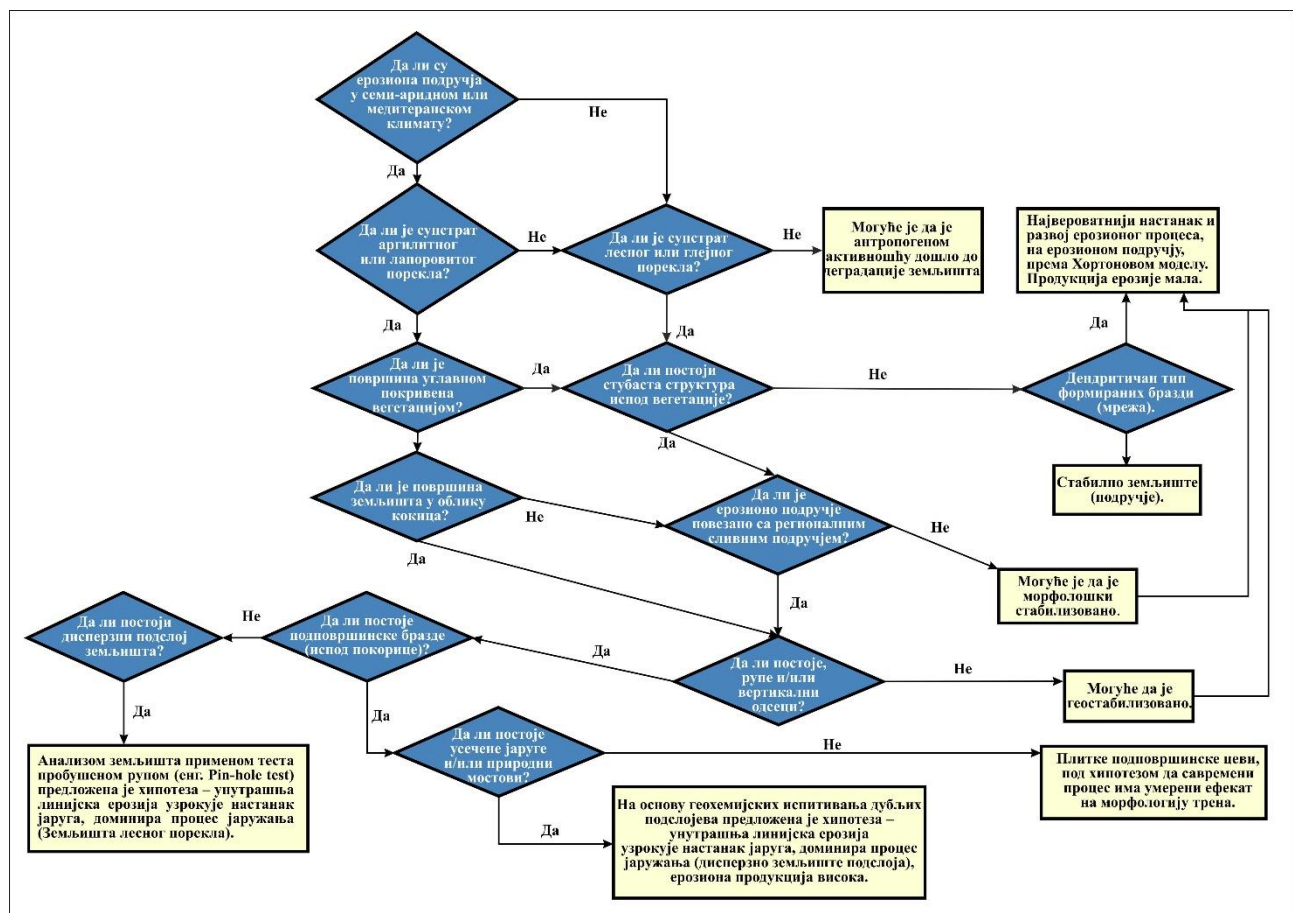


Fell и Fry (2013) су процес унутрашње линијске ерозије класификовали у четири фазе:

- 1) иницијација ерозионог процеса;
- 2) развој ерозионог процеса;
- 3) напредовање процеса у формирање цеви;
- 4) настанак лома (отварање крова цеви).

Fox et al. (2013), као још једну могућу фазу наводе зачепљење унутрашњих линијских токова воде услед постојања различитих ограничења кретања воде са наносом.

У поређењу са површинском водном ерозијом земљишта, унутрашња линијска ерозија је углавном мање проучена и знатно се теже квантификује (Verachtert et al., 2011a). Појава процеса унутрашње линијске ерозије у природним земљишним творевинама је много шира него што се некада мислило (Bernatek-Jakiel et al., 2016; Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018; Faulkner, 2018; Vovi et al., 2020). Овај процес могућ је у готово свим климатима, на органским и минералним земљиштима, пољопривредним или природним непромењеним земљиштима, код земљаних насutih објеката или код неконсолидованих природних земљишта (Bryan, Jones, 1997). На природним земљишним творевинама, према Faulkner (2006) и Verachtert et al. (2010), постоје три карактеристичне зоне у оквиру којих је могућ настанак унутрашње линијске ерозије у Европи: глејна земљишта и органски тресети (histosols), уобичајени у планинским пределима северне Европе; колапсибилни лесени појас северне и централне копнене Европе (luvisols); и у дисперзивним содичним лапорцима Јужне Европе. На слици 2 приказан је алгоритам за теренску идентификацију механизма ерозионих процеса, коју је на основу својих дугогодишњих истраживања предложила и приказала у раду Faulkner (2013).



Слика 2 – Алгоритам за теренску идентификацију ерозионих процеса (преузето од Faulkner, 2013)

Jones (1987) је у својим истраживањима утврдио да унутрашња линијска ерозија може учествовати са 49% у укупном отицају на сливном подручју. Такође, спроведеним испитивањима је дошао до закључка да се унутрашња линијска ерозија јавља током кишних епизода великог повратног периода. Међутим, Torri и Bryan (1997) су појаву унутрашње линијске ерозије довели у везу са кишама дужег трајања, мањег интензитета. Farifteh и Soeters (1999) истичу да је киша променљивог и јаког интензитета најважнији климатски фактор, често навођен у научној литератури.

Чест је случај да управо унутрашњи ерозиони процеси претходе појави површинских ерозионих процеса. У периоду од 1980. до 1992. године извршена је значајна ревизија улоге унутрашње линијске ерозије у настанку и развоју јаруга (Faulkner, 2013). На простору Европе готово 60 % постојећих јаруга иницирано је унутрашњом линијском ерозијом (Воссо 1991; Wilson et al., 2008; Zhang et al., 2018). Wilson et al. (2017) наводе да константни развој процеса унутрашње линијске ерозије доводи до формирања јаруга, рушења брана, насипа и косина. Механизам настанка бразди и јаруга, развојем унутрашње линијске ерозије, прихваћен је као критично важан ерозиони процес распрострањен широм Европе (Faulkner, 2006).

Процес унутрашње линијске ерозије утиче на формирање јаруга и покрете земљаних маса, што представља значајне секундарне последице ширења цеви, чиме се изазивају велики губици земљишта (Jones, 1987; Bryan, Jones, 1997; Poesen et al., 2003; Faulkner, 2006; Verachtert et al., 2011b; Wilson, 2009; Faulkner, 2018). Директну везу, између унутрашњег линијског ерозионог процеса и настанка клизишта, утврдили су Pierson (1983), Brand et al. (1986), Ismail et al. (2008) и Verachtert et al. (2012). Torri et al. (1994; 2013) су спроведеним истраживањима и симулирањем кише, утврдили да се кроз „цеви“ настале унутрашњом линијском ерозијом продукује слична количина ерозионог наноса као код процеса браздасте ерозије. Количина наноса, која може да настане формирањем унутрашње линијске ерозије, често превазилази количине које се формирају површинским отицајем. Ова појава објашњава се тиме да течење воде кроз „цеви“ не продукује велике количине наноса, али у тренуцима обрушавања цеви или повећања попречног пресека, откидањем масе земљишта долази до продукције значајних количина наноса.

Димензије насталих канала цилиндричног облика могу бити од неколико центиметара (Verachtert et al., 2010; Verachtert et al., 2011), па до неколико метара, када се у литератури називају тунелима (енг. Tunnel erosion) (Zhu et al., 2002; Hardie et al., 2007; Zhu 2012).

Разумевање механизма настанка унутрашње линијске ерозије помаже не само анализама настанка и развоја процеса већ и у одабиру мера за превенцију и санацију процеса (Sun et al. 2016).

## **2.4. ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ ЗЕМЉИШТА**

Земљиште као природна творевина одликује се израженом нехомогеношћу. Матрикс земљишта сачињен је од чврстих честица различитог порекла и крупноће, уз присуство пора, воде и органске материје, са различитим распоредом саставних елемената. С обзиром на изражену нехомогеност, земљиште под дејством спољашње силе (ерозионе) кореспондира различитом деформацијом. Макроскопско понашање (деформације) земљишног матрикса, под дејством ерозионих сила, зависи од унутрашње конституције земљишта. Отпорност земљишта на ерозију представља способност земљишта да се супротстави ерозионим процесима. Отпорност земљишта на ерозионе процесе у многомe зависи од параметара физичких и механичких својстава земљишта (Bryan, 2000; Newesely et al., 2015; Гајић et al., 2016; Живановић, Гајић, 2017; Jie et al., 2018).

Промене физичко-механичких параметара земљишта условљене су променом влажности (Todorović et al., 1985; Gajić, 1994 и 2000; Живановић, 2014; Jie et al., 2018), збијености (Materchera, Mloza-Banda, 1997; Unger, Jones, 1998), присуством или одсуством кореновог система (Todorović, Gajić, 1993; Wu, Sidle, 1995; Zimbone et al., 1996; Wu, Watson, 1998; Mamo, Bubenzer, 2001; Gajić et al., 2001, 2013; Torri et al., 2013; Wu, 2013; Guo et al. 2019), као и садржаја и минералошких својстава глине (Rorke, 2000; Robrecht et al., 2004; Kašanin-Grubin, Bryan, 2007; Kašanin-Grubin, 2013).

Кнарен и Poesen (2009) наводе као важне параметре за процену отпорности земљишта на ерозију: тренутну влажност земљишта; суву запреминску масу; отпорност земљишта на смицање у засићеном стању; суву запреминску масу органског материјала (који укључује и корење и остатке усева у горњих 10 cm земљишта); и процентуалну покривност земљишта маховином и алгата. Wan и Fell (2004) истичу да еродибилност земљишта зависи од садржаја глина и финих честица, пластичности, дисперзности, садржаја воде, суве запреминске масе, степена засићености, минералогije глина и присуства везивних материјала. Гранулометријски састав, порозност и сува запреминска маса су показатељи стања земљишта који имају директну везу са развојем унутрашње линијске ерозије (Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018; Pereyra et al., 2020). У новијим објављеним истраживањима, познавање својстава земљишта добија све већу улогу у разумевању механизма настанка и еволуције простора са интензивним ерозионим процесима (Kašanin-Grubin et al., 2018).

Запреминске масе односно тежине (специфична, сува, природно влажна) земљишта могу се користити као индикатор тренутног стања земљишта. Значај ових параметара као индикатора стања земљишта истакло је више аутора (Assouline, 2011; Gajić, 2010; Dong et al., 2012; Pirastru et al., 2013; Гајић et al., 2013; Martínez-Hernández et al., 2017; Deng et al., 2017; Xia et al., 2019; Pereyra et al., 2020; Klik, Rosner, 2020). Такође, потврђен је значај суве запреминске масе као индикатора отпорности земљишта на ерозионе процесе (Hanson, Robinson, 1993; Ghebreyessus et al., 1994; Gajić, 2000; Zhang et al., 2001; Zhang et al., 2009; Grabowski et al., 2011; Wang et al., 2019; Guo et al., 2019). Hosseinalizadeh et al. (2019) су указали да је сува запреминска маса земљишта најбољи индикатор појаве унутрашње линијске ерозије. Li et al. (2020) су препознали коришћење запреминске масе земљишта као индикативан параметар за брзо и апликативно праћење ерозије земљишта.

Важност параметра тренутне влажности земљишта за настанак ерозионих процеса истакло је више аутора (Luk 1985; Govers et al., 1990; Vocco, 1991; Hanson, Robinson, 1993; Le Bissonnais et al., 1995; Fitzjohn et al., 1998; Castillo et al., 2003; Romano, 2014; Singh, Thompson, 2016; Sun et al. 2016; Sachs, Sarah, 2017; Alekseev et al., 2019; Wang et al., 2019; Kaviani et al., 2020). Улога почетног садржаја воде у земљишту веома је важна, нарочито на сливовима обрадим вегетацијом, где њено присуство утиче на стварање путева за формирање или спречавање отицања а чији просторни образац у великој мери зависи од тренутне влажности земљишта (Castillo et al., 2003). У моделима за предикцију ерозионе продукције занемарена је влажност земљишта и њен утицај на ерозиони процес (Owoputi, Stolte, 1995). Утицај промене тренутне влажности земљишта на чврстоћу земљишта на смицање требало би укључити у физички засноване моделе, са циљем побољшања могућности процене интензитета ерозије земљишта (Singh, Thompson, 2016). Hanson и Robinson (1993) су истакли потребу за проучавањем утицаја тренутне влажности на отпорност земљишта на ерозионе процесе.

Гранулометријски састав земљишта је један од есенцијалних фактора који утиче на структуру и функције земљишта, као и на отпорност на ерозионе процесе (Gyamfi et al., 2016; Martín et al. 2018; Tuo et al., 2018; Zhai et al., 2020). Процентуално учешће појединих фракција земљишта и њихова промена могу бити индикатори отпорности земљишта на ерозионе процесе (Romkens et al., 1995; Su et al., 2004; Benahmed, Bonelli, 2012; Zhao et al., 2016;

Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018; Guo et al., 2019; Pereyra et al., 2020). Bernatek-Jakiel и Poesen (2018) су истакли да су земљишта са високим садржајем прашине осетљивија на појаву унутрашње линијске ерозије.

Сматра се да престанак дејства молекуларних сила привлачења честица земљишта настаје на граници течења земљишта (Terzaghi, Peck, 1967; Najdanović, Obradović, 1981). Параметри конзистентног стања земљишта (Атербергове границе конзистенције) могу бити релевантан показатељ тренутног стања и отпорних карактеристика земљишта на ерозију (de Ploey, Mucher, 1981; Yalcin, 2007; Nadal-Romero et al., 2007; Stanchi et al., 2012; Stanchi et al., 2015; Deng et al., 2017; Xia et al. 2019). Такође, као индикатор се може користити индекс активности глина (Skempton, 1953; Reséndiz, 1977; Polidori, 2009; Özdemir, Gülser, 2017; Đomlija et al., 2019). Polidori (2009) истиче да засебно посматране Атербергове границе конзистентних стања земљишта, као ни процентуално учешће глине, нису довољни за карактеризацију, класификацију и предвиђање понашања финозрних (кохерентних) земљишта, али да је коришћење индекса активности глине веома значајно. Примена индикатора конзистентног стања земљишта, која су показатељ његовог физичког квалитета, има потенцијал за боље дефинисање и категорисање угрожености земљишта од ерозионих процеса на регионалном нивоу (Stanchi et al., 2015).

Утврђивање вредности чврстоће земљишта на смицање значајано је код дефинисања еродибилности кохерентних земљишта (Nearing, West, 1989; Morgan et al., 1998a; Gajić, 2000; Goudie, 2004). Fattet et al. (2011) су истакли да водна ерозија, као и појава плитких клизишта зависи од стабилности агрегата и чврстоће земљишта на смицање. Чврстоћа земљишта на смицање има јаку корелациону везу са критичним напоном смицања потребним за настанак ерозионог процеса (Crouch, Novruzli, 1989; Misra, Rose, 1995; Leonard, Richard, 2004; Fell et al., 2013). Значај параметра чврстоће земљишта на смицање, у погледу отпорности земљишта на ерозију, је у томе што представља физички параметар који обједињује ефекте физичких, хемијских и минералošких особина земљишта у један мерљив параметар (Agassi, Bradford, 1999). Heimsath и Whipple (2019) истичу да је познавање јачине веза у земљишту, што се може изразити чврстоћом на смицање (напоном смицања), предуслов за очување земљишта. У својим истраживањима привремених (краткотрајних) јаруга (енг. ephemeral gully) Wilson et al. (2019) су истакли да су мерења чврстоће земљишта на смицање и мерења отпора при продору игле, на самој површини земљишта, важна за детерминисање индикатора физичког квалитета земљишта. Утицај отпорности земљишта на смицање, на губитке земљишта браздастом ерозијом, у свом раду приказали су Crouch и Novruzli (1989). Agassi и Bradford (1999) наводе да је отпорност земљишта једини параметар, навођен у литератури, који има поуздану корелацију са продукцијом наноса проузрокованом ерозионим дејством кише. На вредности чврстоће земљишта на смицање значајно утичу промене тренутне влажности земљишта (Zimbone et al., 1996; Gajić, 2000; Bachmann et al., 2005; Живановић, 2014; Zhang et al., 2018).

Отпор при продору игле је значајан индикатор при утврђивању збијености земљишта. На основу изнетих закључака у прегледном раду Alaoui et al. (2018), повећање збијености земљишта има значајан утицај на формирање интензивнијег површинског отицаја и појаву поплава. Misra и Rose (1995) и Uusitalo et al. (2019) су истакли значај мерења отпорности земљишта преносивим уређајима (крилна сонда, цепни пенетрометар) у шумским подручјима, нарочито за одређивање збијености земљишта настале преласком тешке механизације. Такође, познавање овог параметра даје могућност процене потенцијала раста и развоја кореновог система (Unger, Kaspar, 1994; Materechera, Mloza-Banda, 1997; Gajić et al., 2005; Shah et al., 2017), што може бити од великог значаја при пошумљавању. Пошумљавање је препознато као

ефективна мера за борбу против ерозије и бујичних поплава у многим земљама (Morgan, 2005; Wiśniewski, Märker, 2019).

Watson и Laflen (1985), Brunori et al. (1989), Nearing и West (1989), Govers et al. (1990), Misra и Rose (1995), Bachmann et al. (2005), Nadal-Romero et al. (2007), Torri et al. (2013), Verachtert et al. (2013), Vahedifard et al. (2016), Ding и Loehr (2019) су користили ручну крилну сонду и/или цепни пенетрометар за анализу отпорности земљишта на ерозионе процесе. Brunori et al. (1989) сматрају да су апарати на принципу крилне сонде најприкладнији међу тестираним инструментима за мерење отпорности земљишта на ерозију. Govers et al. (1990) су указали на то да примена ручне крилне сонде за мерење чврстоће земљишта на смицање није увек поуздана, у погледу одређивања критичног прага за настанак ерозионог процеса, нарочито када се ради о растреситом или сувом земљишту. Ипак, ова мерења се могу користити за процену угрожености од настанка ерозионог процеса. Amacher и O'Neill (2004) су истакли да се коришћењем цепног пенетрометра обезбеђују квантитативни подаци о збијености земљишта. Watson, Laflen (1985) су открили да се теренска мерења отпорности земљишта могу користити за прибављање информација потребних за предвиђање ерозије земљишта.

С обзиром на значај садржаја тренутне влаге у земљишту у формирању отицаја и ерозије земљишта, разумевање односа влажности земљишта (која може значајно варирати за време и између олујних догађаја) и критичног напона смицања, важно је за тачност процене ерозије земљишта (Singh, Thompson, 2016).

Способност земљишта да се супротстави ерозионом процесу опада са учесталим кишним епизодама (Morgan, 1979; Ristić et al., 2012). Ерозија земљишта узрокује значајне промене физичких особина земљишта (Lal, 1976; Vaezi et al., 2017). Смањење физичко-механичких параметара земљишта може бити добар индикатор настанка ерозионих процеса (Morgan et al., 1997; Gajić 1994, 2000; Sun et al., 2016; Vaezi et al., 2017).

Како би се разумело понашање земљишта према ерозионим процесима, од критичног значаја је да се параметри земљишта адекватно дефинишу (Arulanandan, 2003). Познавање физичких особина земљишта омогућава бољу процену еродибилности земљишта (Ostovari, 2016; Zhang et al., 2019). Проучавање механизма настанка ерозионих процеса земљишта је од кључног значаја за исправан одабир и примену мера за контролу ерозије (Zachar, 1982; Guerra, et al., 2017).

За сада ни једно појединачно мерење физичко-механичких параметра земљишта не може да дефинише еродибилност, али неколико измерених параметра земљишта, одабраних на основу доминантног механизма настанка ерозионог процеса, могу бити веома ефикасни при одређивању еродибилности земљишта (Goudie, 2004). Теоријска разматрања показују да тренутне технике мерења и израчунавања ерозије земљишта остављају велики простор за неизвесност у интерпретацији резултата (Sidorchuk, 2005).

## **2.5. СИМУЛАТОРИ КИШЕ**

Експериментална испитивања постају све значајнија за разумевање процеса и механизма ерозије земљишта (Hudson, 1993; Guo et al., 2019). Симулирањем кише се знатно брже стиже до репрезентативних података, него обављањем опита у природним условима када се јављају кише јаког интензитета (Meyer, Harmon, 1979). Широки спектар могуће примене симулатора кише, за утврђивање механизма настанка ерозионих процеса земљишта, условљава специфичне конструктивне захтеве (Ries et al., 2013; Wilson et al., 2014; Lora et al., 2016).

Развој, конструисање и калибрисање симулатора кише и њихова примена, започета је почетком XX века (Cerdà, 1999; Newesely et al., 2015). Симулатори кише представљају широко распрострањен алат за истраживање хидролошких процеса, укључујући интеракцију кише и земљишта, појаву ерозије земљишта, генерисања површинског отицаја и инфилтрације. Ипак, истраживачи морају често да развијају уређаје за симулацију кише који одговарају специфичним условима истраживаних локалитета и очекиваним резултатима планираних експеримената (Agassi, Bradford, 1999; Lora et al., 2016; Fernández-Raga, et al., 2019).

У основи, симулатори кише се могу поделити на лабораторијске (Bryan, 1974; Misra, Rose, 1995; Lassu et al., 2015; Mhaske et al., 2019; Fernández-Raga et al., 2019; Kavian et al., 2020; Ma et al., 2020) и теренске (Grierson, Oades, 1977; Meyer, Harmon, 1979; Navas et al., 1990; Torri et al., 1994; Morgan et al., 1997; Cerda et al., 1997; Johansen et al., 2001; Holden, Burt, 2002; Arnaez et al., 2004; Clarke et al., 2007; Jordan, Martinez-Zavala, 2008; Abudi et al., 2012; Parsakhoo et al., 2012; Dong et al., 2012; Cao et al., 2015; Wilson et al., 2014; Newesely et al., 2015; Cao et al., 2015; Zemke, 2016; Polyakov et al., 2018; Kavian et al., 2019; Boulange et al., 2019; Zemke, et al., 2019).

Затим, могу се поделити према типу прскача:

1. Гравитациони (симулатори без притиска) - кишне капи се производе слободним падом кроз цевчице различитог пречника.
2. Млазнице под притиском:
  - Произведени млаз усмерен на горе - формирање капи гравитационим падањем.
  - Произведени млаз усмерен на доле - формирање капи прекидањем млаза.

Више аутора користило је симулаторе кише како би утврдили међузависност појединих особина земљишта и ерозионих процеса (Watson, Laflen, 1985; Navas et al., 1990; Touma, Albergel, 1992; Le Bissonnais et al., 1995; Misra, Rose, 1995; Romkens et al., 1995; Morgan et al., 1997; Voix-Fayos et al., 2006; Torri et al., 2013; Newesely et al., 2015; Almajmaie et al., 2016; Lora et al., 2016; Mahmoodabadi, Sajjadi, 2016; Tian et al., 2017; Vaezi et al., 2017; Vergni et al., 2018; Kavian et al., 2020).

Мали преносиви симулатори кише су есенцијални истраживачки алат на пољу испитивања динамичких процеса ерозије земљишта и површинске хидрологије (Iserloh et al., 2013; Ries et al., 2013; Comino et al., 2016; Vaezi et al., 2017; Cerda, Rodrigo-Comino, 2020). Симулатори кише служе за утврђивање веза између симулиране кише, инфилтрације, формирања отицаја и продукције наноса на експерименталним парцелама, што омогућава компарацију између различитих окружења (Nadal-Romero, García-Ruiz, 2018). Свакако, симулатори кише представљају вредан алат за истраживање процеса и екстремних појава, које би на други начин било тешко истраживати, због њихове релативно ретке појаве (Dunkerley, 2008). Даља унапређивања симулатора кише требало би да узму у обзир губитке воде, пречник кишне капи, просторну расподелу кише као и поновљивост теста, управљање и контролу свих услова током теста (Iserloh et al., 2013).

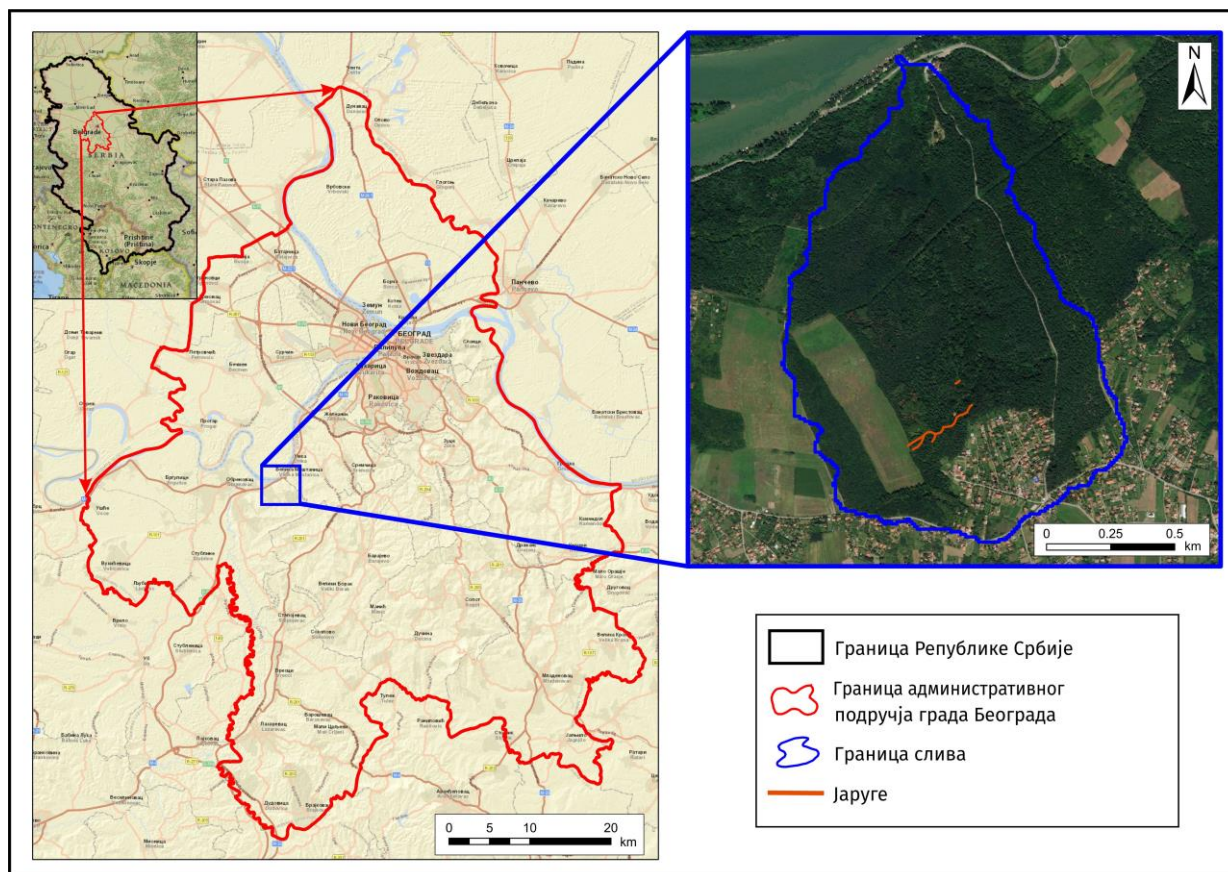
У Србији се до сада проблематиком ерозионих процеса постављањем експеримената са симулатором кише бавило неколико аутора (Gavrilović, 1972; Radić, 1981; Габрић, 2014), с тим да су то све били експерименти у лабораторијским условима. Теренско коришћење симулатора кише, у функцији испитивања ерозије земљишта, због сложености поставке експеримента не примењује се често, како код нас тако и у свету.

### 3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

#### 3.1. МАТЕРИЈАЛ

##### 3.1.1. Подручје истраживања

Подручје истраживања обухвата шуме јужних и југозападних брдовитих руралних делова Београда, градске општине Обреновац, катастарске општине Мала Моштаница, којима управља Јавно предузеће „Србијашуме“, припада Подунавско-посавском шумском подручју, Газдинској јединици „Кошутњачке шуме“ (слика 3).



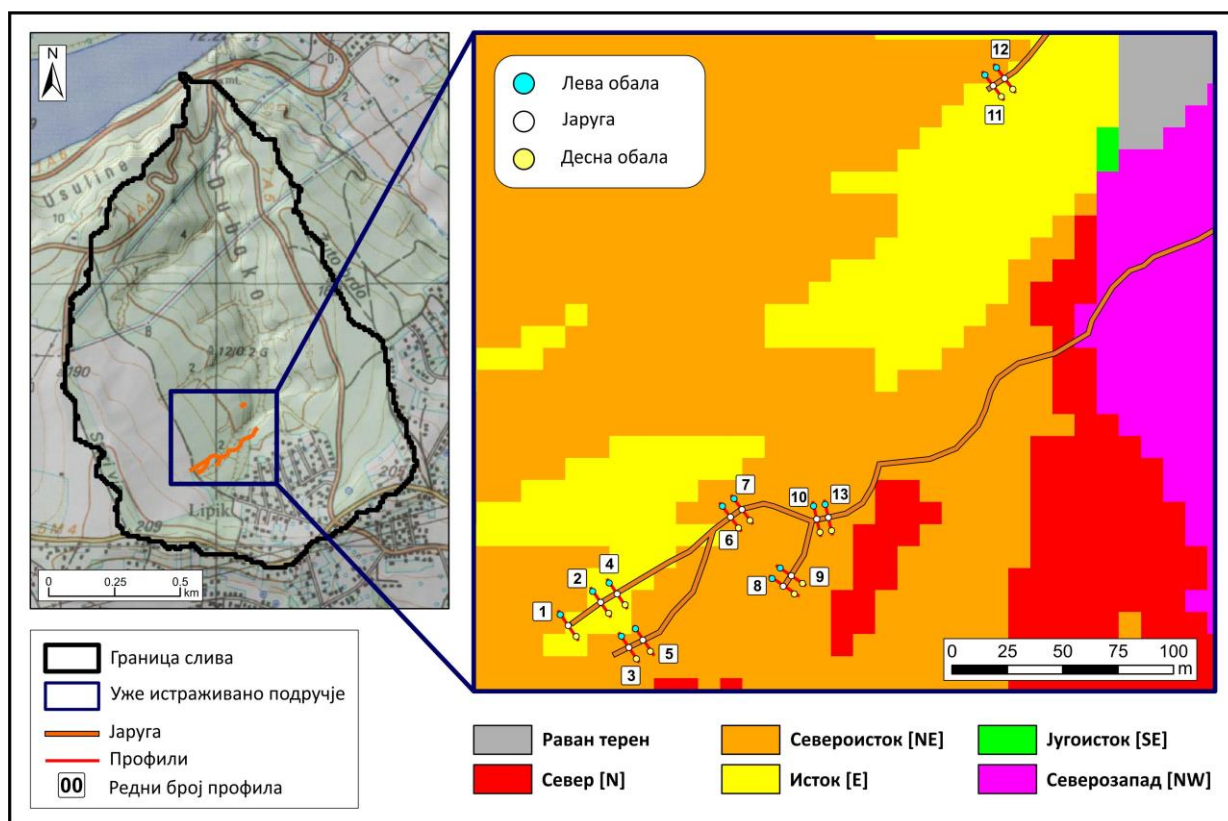
Слика 3 – Географски положај истраживаног подручја

Морфолошки посматрано, шире подручје се одликује брдовитим рељефом са малим апсолутним висинама (од 130,00 до 183,66 m над морем). Одликује се веома разгранатом мрежом долина и котлина. Испресецано је углавном повременим токовима, дубоко усеченим јаругама, које се директно уливају у Саву. Десна обала реке Саве од Обреновца до Београда окарактерисана је као зона велике нестабилности (Јевремовић et al., 2017). На ову појаву утицало је земљиште лоших физичко-механичких особина, морфологија терена као и флувијална ерозија у кориту реке Саве. Ово подручје захваћено је дубинским клизиштима Дубоко и Умка. Клизиште Дубоко, дубине око 30 метара, настало је у плеистоцену, а током каснијих геолошких активности је прекривено лесом. Реактивација ових клизишта углавном се јавља као последица интензивних ерозионих процеса, поткопавања ножице клизишта, или откопавањем (Јевремовић et al., 2017). На физичко-механичка својства земљишта, генералну стабилност терена, режим површинских и подземних вода, значајно су утицали геодинамички процеси, физичко-хемијско распадање и ерозија земљишта, са својим узајамним дејством (Mitrović, Jelisavac, 2006).

Екстремно високе падавине, које су се јавиле маја 2014. године, у западном и централном делу Србије, изазвале су појаву интензивних ерозионих процеса, између осталог, и у шумским подручјима. Обиласком терена подручја Кошутњачких шума, ради идентификације и класификације насталих процеса, примећено је да су велике површине земљишта покривене шумом захваћене различитим облицима и степеном развоја ерозионих процеса.

На подручју истраживања шуме обухватају углавном веће нагибе који гравитирају ка локалним водотоковима, повремениг карактера. Значајна површина земљишта под шумом угрожена је јаругама и секундарним клизиштима.

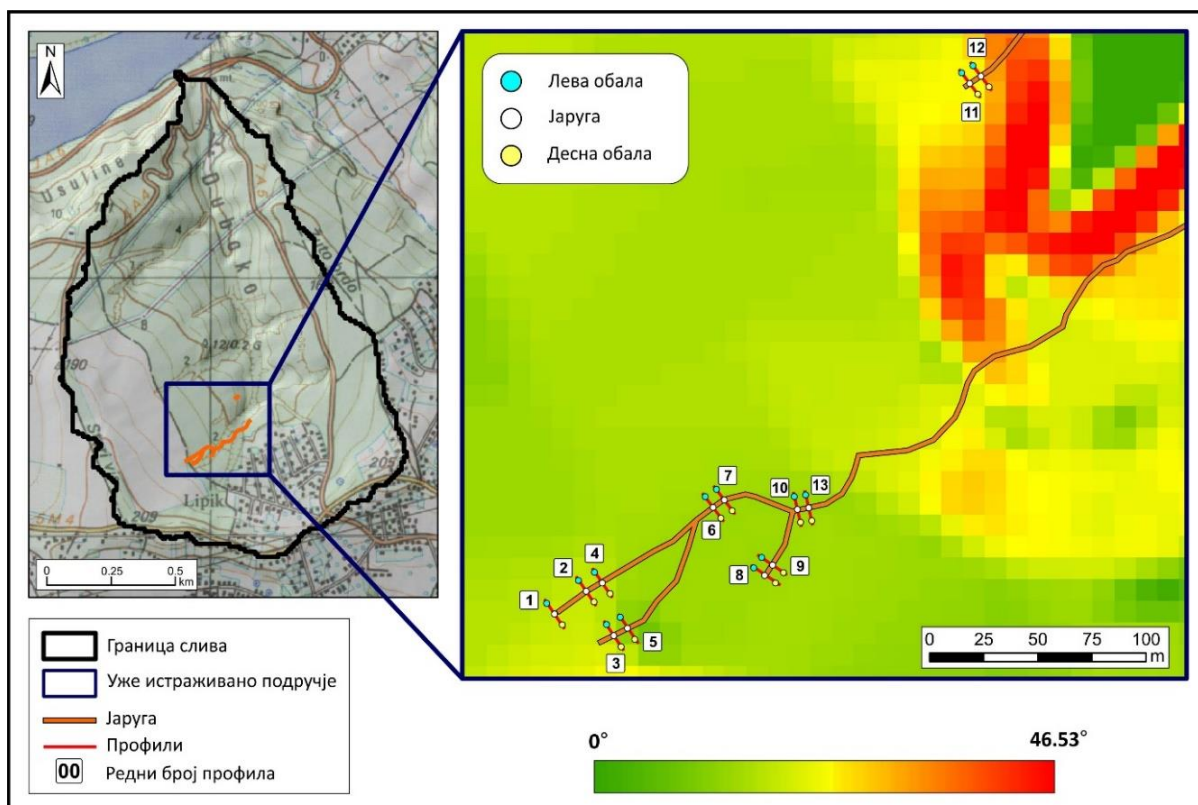
Уже подручје експерименталног локалитета се налази непосредно изнад великог чеоног одсека клизишта „Дубоко“. Експериментално истраживање вршено је у 47. одељењу, одсек д, Газдинске јединице „Кошутњачке шуме“, којом газдује Шумска управа „Липовица“. Одсек се налази на североисточним падинама Старог виса (209 m.n.m) (слика 4).



Слика 4 – Положај и експозиција терена истраживаног локалитета

Према Шумској основи (ОГШ за ГЈ „Кошутњачке шуме“) одсек се налази на стрмом терену нагиба од 11 до 15 степени. Хипсометријски виши делови одсека имају блажи нагиб (слика 5). Надморска висина се креће од 110 до 170 m над морем. Површину одсека пресеца неколико јаруга које се уливају у поврмени ток Дубоко, десну притоку реке Саве.

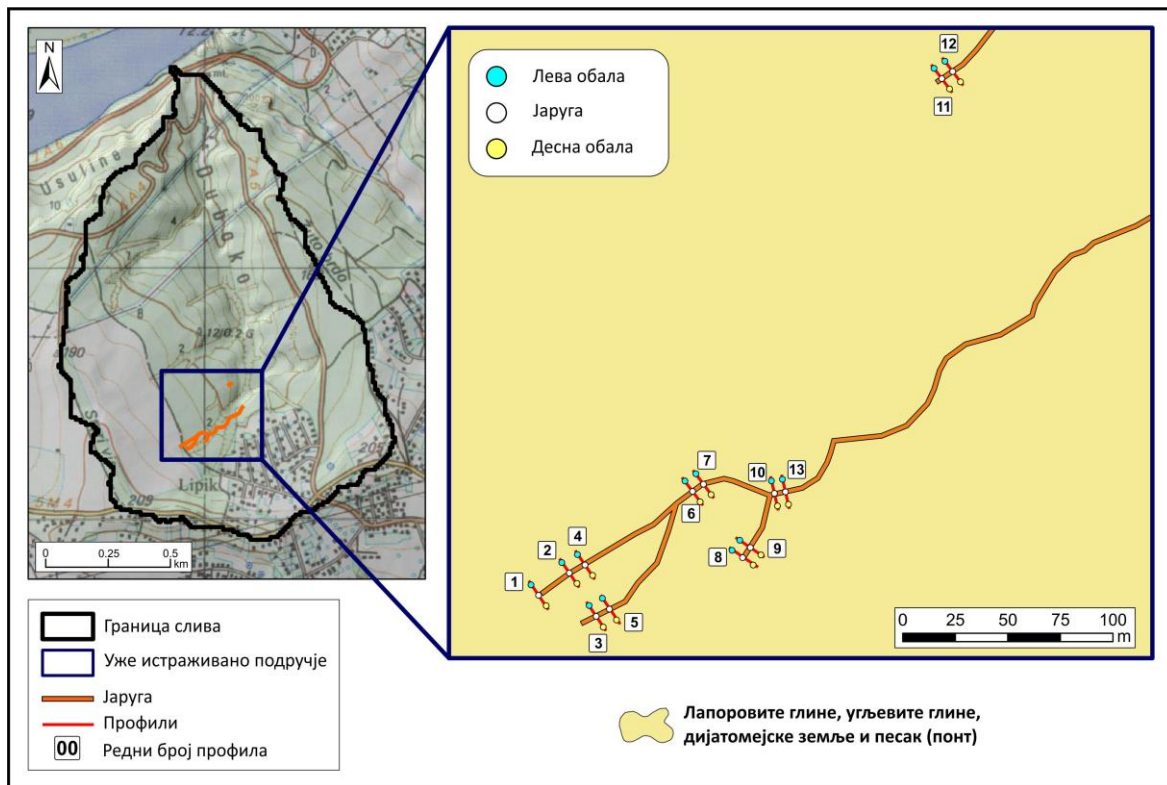




Слика 5 – Нагиб терена на истраживаном локалитету

### 3.1.1.1. Геолошка подлога

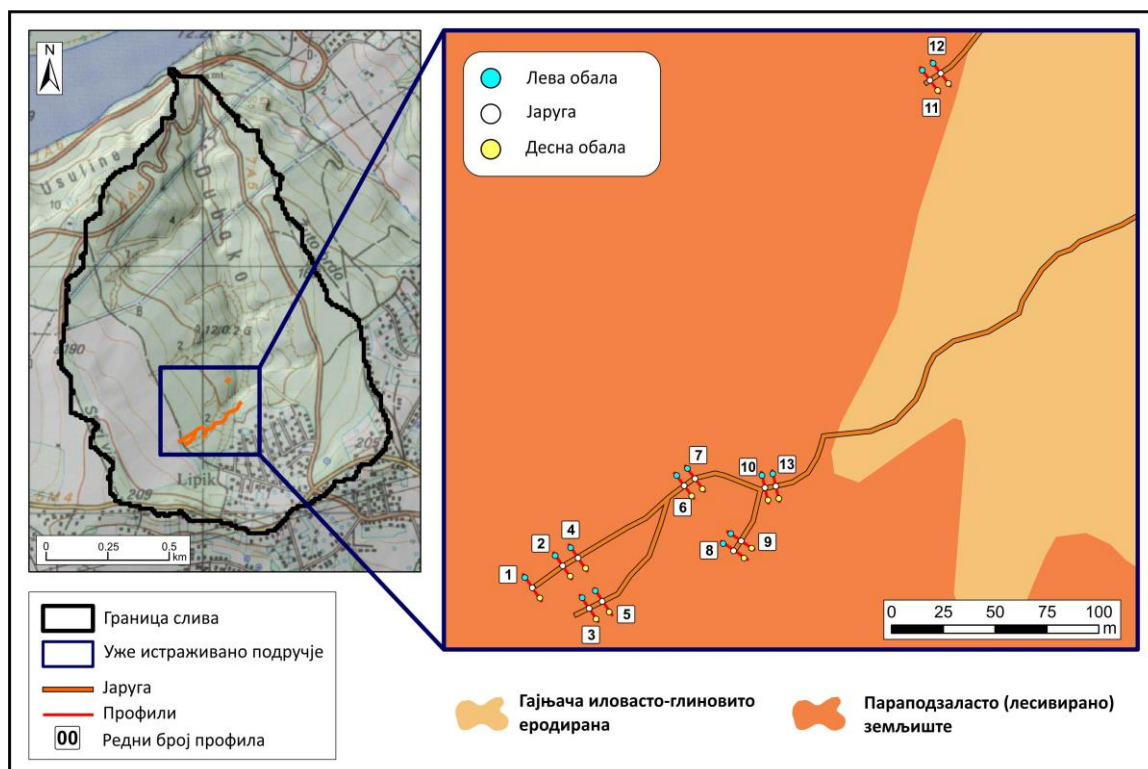
У геолошком смислу, истраживано подручје припада колубарском басену. Анализом Основне геолошке карте (Лист Обреновац Л 34-125 Р 1:100.000) и пратећег тумача (1980), утврђено је да предметну локацију сачињавају Панон ( $M_3^2$ ) и Доњи Плиоцен – Панон ( $P_1^1$ ). Испод квартарног покривача налазе се панонски глиновито-лапоровити и песковити седименти, дебљине до 500 m. Наслаге доњег плиоцена (понт,  $P_1^1$ ), на подручју локалитета Дубоко, конкордантно су распоређене преко панонских седимената, у виду сивих, жућкастих и плавичастих лапоровитих глина са прослојцима гвожђевитих глина (слика 6). Вис Преват изнад Дубоког изграђен је од сличних седимената. Услед свог литолошког састава (претежно глиновита фазија), врло су неповољне за формирање издани. Дебљина доњоплиоценских седимената, развијених на истраживаном подручју, износи око 350 m. Квартар представљају делувијално-пролувијални седименти (dpr). Формирају се на благим падинама у виду застора. Сачињени су од суглина са карбонатима и лимонитским конкрецијама. Често садрже шљунковити детритус, који је у хипсометријски нижим деловима ситнији и прерађен. Ово указује да је долазило до пролувијалног преталожавања, односно интензивног дејства ерозионих процеса. Од квартарних седимената значајно су заступљени лес и делувијална глина, који леже преко лапоровите глине.



Слика 6 – Геолошка подлога истраживаног подручја

### 3.1.1.2. Педолошка подлога

На основу карте и пратећег тумача, у публикацији „Земљишта подручја Београда јужно од Саве и Дунава“ (1978), на истраживаном подручју су заступљена три типа земљишта: гајњача иловасто-глиновита у лесивирању, гајњача иловасто-глиновита еродирана и параподзоласто (псеудоглеј) лесивирано (испрано) земљиште (слика 7).



Слика 7 – Приказ педолошке подлоге истраживаног подручја

Земљиште истраживаног подручја је средње дубоко до дубоко (од 80 до 120 cm). Стеља је присутна на истраживаном локалитету, у танком слоју од 2 - 5 cm, са видљивим знацима интензивне хумификације.

Земљишта која карактеришу истраживано подручје су настала деградацијом и еволуцијом гајњача. Према морфолошким карактеристикама, гајњача припада класи камбичних земљишта са грађом профила А – (В) – С. У Србији се ово земљиште везује за шумске површине и гајеве те отуд и народни назив, гајњача. На овим земљиштима се углавном јавља клима-зонална шума сладуна и цера *Quercetum farnetto-cerris*.

Процес лесивирања се одвија у две фазе. Прва фаза окарактерисана је испирањем катјона и смањењем концентрације соли у земљишном раствору, чиме започиње деградација структурних агрегата. До ове реакције долази када се површинске воде, закисељене шумским раствором, постепено инфилтрирају у земљиште. Прво се испирају карбонати (калцијум и магнезијум), а затим и базе. На овај начин расте киселост средине (pH = 5 - 6) а долази и до благог процеса редукције гвожђевитих једињења, чиме су створени услови за диспергирање структурних агрегата. Раздвојене честице (катјони, глинене минерали итд.) сада могу лакше да се транспортују. У зависности од групе глинене минерала у земљишту, долази до процеса диспергирања, брже или спорије. Према Antić et al. (2007), минерали монтморионитске<sup>5</sup> групе склони су већим запреминским променама (бубрење), а самим тим су и осетљивији на дисперговање, док овај процес код минерала каолинитске групе често изостаје.

Друга фаза процеса лесивирања јесте премештање диспергованих честица. Процес премештања глина врши се кретањем воде кроз крупније пукотине и поре у земљишту. Настанак пукотина код оваквих земљишта углавном се везује за сушни период, када долази до исушивања глина и њиховог скупљања. Више аутора је истакло значај постојања сушних периода који проузрукује стварање пукотина, које се сматрају главним путевима премештања глина (Schefer-Schachtschabel, 1966, преузето од Ćirić, 1991).

Иловасто-глиновита гајњача у лесивирању налази се на условно стабилним деловима истраживаног подручја. У морфолошком смислу грађа профила јасно се разликује од типичне гајњаче. Профил иловасто-глиновите гајњаче у лесивирању је А-Вt-С. Највећи број гајњача у лесивирању нема елувијални хоризонт Е, већ А хоризонт директно лежи на хоризонту Вt. Карактеристично је да се у првим фазама лесивирања јасно уочава промена боје, где браон (руда) боја гајњаче добија сивкасту нијансу. Истовремено, мења се и структура, а у дубљим деловима профила почиње нагомилавање испране глине.

На ужој локацији заступљени су типови земљишта гајњача иловасто-глиновита еродирани и параподзоласто лесивирано земљиште.

Гајњача иловасто-глиновита еродирани на истраживаном подручју заступљена је у зонама самих ерозионих процеса и у непосредној близини. Код овог типа земљишта изражен је недостатак хоризонта Е што се објашњава незавршеним процесом лесивирања, услед сталног трајања процеса површинске ерозије.

Параподзоласто (псеудоглеј) лесивирано земљиште образује се углавном на супстратима као што су лес или алувијални и језерски седименти. На истраживаном подручју захвата површине са малим нагибом и заравни. У генетичком смислу процес настанка овог типа земљишта је наставак процеса лесивирања (Antonić et al., 1978; Antić et al., 2007). Профил параподзоластог земљишта је А-Eg-Bg-C (Antonić et al., 1978; Rubinić et al., 2015). За настајање

---

<sup>5</sup> франц. montmorillonite, према месту Монтморилон у централно - западној Француској

овог земљишта, поред геолошке подлоге, веома је важна морфологија терена (благо заталасан), затим клима у којој се смењују влажни и сушни периоди. Блага заталасаност терена омогућава да се највећи део падавинске воде инфилтрира или испари. Такође, неопходно је постојање водонепропусног слоја (глиновитог, веома збијеног), на извесној дубини испод површине земљишта. До накупљања глине у непропусном слоју дошло је процесом лесивирања, односно испирањем глине из површинског у дубље слојеве. На овај начин формира се профил земљишта са јасном разликом између елувијалног и илувијалног хоризонта (Antić et al., 2007). Смена влажних и сушних периода има значајног утицаја на процес развоја овог земљишта. У току влажног периода (различитог трајања) долази до редуковања Fe и Mn, док у сувом периоду долази до оксидације и таложења Fe и Mn, као и до биодеградације органских једињења (Ćirić, 1991).

Земљишта заступљена на истраживаном подручју припадају III, IV и V бонитетној класи. У зависности од интензитета процеса лесивирања, његовог утицаја на морфологију активног слоја, као и од физичких и хемијских особина, земљишта се разврставају у једну од класа. Четвртој и петој бонитетној класи припадају земљишта која се одликују повећаном збијеношћу, slabим водо-ваздушним капацитетима, осиромашеним садржајем хранљивих материја и задржавањем воде на површини терена.

Садржај хранљивих материја у овим земљиштима директно је везан за брзину испирања и појаву ерозионих процеса. Процеси испирања су веома изражени, јер поред одношења честица глине, долази и до транспорта читавих микроагрегата (Vojinović, 1969), као и хранљиве материје (Antonić et al., 1978), док је сама брзина испирања везана за величину и повезаност система пора и пукотина (Vojinović, 1968, 1969). Плувијална ерозија, која често може бити неприметна и јавља се и на малим нагибима, веома је опасна у смислу одношења хранљивих материја са површине, чиме се умањује квалитет земљишта и смањује отпорност земљишта на ерозију.

Специфично за процес лесивирања, који карактерише сва заступљена земљишта на истраживаном подручју, је да висина воденог талоба превазилази могућност испаравања, те је могућа појава десцедентних (подповршинских) токова. Неадекватно коришћење овог подтипа земљишта може довести до интензивирања ерозионих процеса и одношења значајних количина материјала.

### 3.1.1.3. Клима

Истраживано подручје одликује се умерено континенталном климом (Unkašević, 1994). За анализу климе истраживаног подручја коришћени су подаци метеоролошке станице Београд-Опсерваторија, која се налази у Београду, на надморској висини од 132 m.

Подаци о средњим месечним температурама ваздуха, за климатолошку станицу Београд – Опсерваторија, за период од 1961-2018. године, представљени су у табели 1. Средња годишња температура ваздуха износи 12,47°C. Најхладнији месец је јануар са просечном температуром 1,13°C, док је најтоплији месец јул са просечном температуром ваздуха 22,3°C.

Табела 1 – Средње месечне температуре ваздуха, за период од 1961–2018. године (метеоролошка станица Београд – Опсерваторија)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средња вредност
1,13	3,17	7,63	12,91	17,76	20,94	22,73	22,44	18,01	12,8	7,45	2,55	12,47

Подаци о средњим месечним висинама падавина, за период од 1961–2018. године, за метеоролошку станицу Београд – Опсерваторија, представљени су у табели 2. Средња годишња висина падавина износи 691,89 mm. Јун је најкишовитији месец са средњим падавинама од 90,98 mm, док најмање падавина има у фебруару месецу, 43,93 mm. На територији Београда у вегетационом периоду (март–септембар) падне око 60,0% од годишњих падавина (Лазаревић et al., 2016). Током периода април – новембар, од 2016. до 2018. године, када су се изводили истражни радови и експерименти за потребе ове дисертације, излучује се око 70,0% годишњих падавина.

Табела 2 – Средње месечне висине падавина за период од 1961–2018 године (метеоролошка станица Београд – Опсерваторија)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средња вредност
48,48	43,93	49,76	55,55	70,64	90,98	66,84	53,24	56,06	47,32	52,57	56,51	691,89

Највећа регистрована висина кише, током екстремних падавина у мају 2014. године у Београду износила је 179,1 mm (Prohaska et al., 2014). Максимална кишна епизода забележене у јулу месецу 2014. године, на територији Београда, износила је 149,9 mm воденог талога, максималне 24–часовне кише имале су седамдесетогодишњи повратни период (103,9 mm) а 48–часовне стогодишњи повратни период (158,2 mm) (Prohaska et al., 2014).

Према истраживањима Милосављевић (1949) апсолутни максимални интензитет јаких киша (период 1925-1948, Београд-Опсерваторија) за период трајања од 6-15 минута износи  $1,67 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  у јулу месецу. Према истом истраживању утврђено је да је најчешћа појава пљускова у току године са трајањем од 6-15 минута. Јевтић (1988) за анализирани период 1925-1950 за кишомерну станицу Београд представио је сличне резултате. Radić и Pavlović (2015) су у свом раду, на основу података о јаким кишама кратког трајања за кишомерну станицу Београд-Врачар у периоду од 1946 – 2006. године, добили да је за повратни период од 100 година интензитет киша трајања 10 min износи око  $2,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , док за простор Србије средња максимална вредност јаких киша, трајања од 10 минута, износи око  $1,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### 3.1.1.4. Вегетација

Шумски покривач истраживаног подручја је термофилна лишћарска шума која чини зоналну вегетацију већег дела југоисточне Европе (Томић, 2004). Место експерименталног истраживања представљено је углавном изданачким шумама, сладуна и цера (*Quercetum frainetto - cerris*), која према намени има функцију заштите земљишта од ерозије (ОГШ за ГЈ „Кошутњачке шуме“, 2014-2023). Ове заједнице се јављају на нижим брежуљкастим теренима, на дубоким земљиштима, у појасу континенталне климе. Састојине су углавном изданачког порекла. Стабла су мањих висина, формирају средњи склоп, са богатим спратом жбуња и приземне вегетације (Томић, 2004). Спрат жбуња има веома густ склоп што спречава допирање довољне количине светлости до земље, те је флотистички састав у том спрату сиромашан (Новаковић-Вуковић, Перовић, 2014). Шума је веома деградирана, преовлађује спрат жбуња, док се тврди лишћари појављују у виду појединачних стабала. Дрвеће је лошег квалитета, слабо развијених крошања, кривих стабала, често трулих.

### 3.1.2. Рекогносцирање терена

Обилазак терена обухватио је више одељења Кошутњачких шума којима управља Шумска управа „Липовица“. У одељењима бр. 47, 49 и 50, Шумска управа је пријавила постојање ерозионих процеса у виду клизишта (на основу анкете коју је спровела проф. др Гајић Гроздана, 2014. година). Рекогносцирањем терена утврђено је да су најинтензивнији ерозиони процеси у шумама чија је основна намена заштита земљишта од ерозије.

Одсек изабран за експериментално огледно поље (47. одељењу, одсек д,) има веома деградирану шуму, стабла су слабо развијена, крива, трула, док у средњем спрату доминирају жбунасте врсте које формирају густу мрежу која онемогућава кретање (слика 8).



Слика 8 – Вегетација подручја истраживања (фото: Живановић, 2015)

На терену је уочено често присуство трулог корења дрвећа, различитог пречника, које представља предиспониране правце кретања воде кроз земљишни профил (слика 9).



Слика 9 – Труо коренов систем (фото: Живановић, 2018)

Површинско сливање је јасно изражено на читавој површини, док у локално најнижим тачкама терена прелази у линијско, концентрисано течење, често у браздама. Јаруге су у вршним деловима плитке, са обалама благог нагиба. Дубина јаруга, у овим деловима, не прелази 1,0 m док ширина варира, од 0,3 m до 4,0 m у зонама где се нагиб терена смањује. Благе обале, на којима нема трагова бочног ширења јаруге указују на доминантан дубински ерозиони процес (продубљивање јаруге). Низводније, нагиб терена се повећава, тако да су

ерозиони процеси интензивнији, што за последицу има димензије јаруге од више метара (слика 10).



Слика 10 - Јаруга (фото: Живановић, 2018)

У деловима где јаруга има дубину од неколико метара, на отвореним профилима видљиве су сиве, жућкасте и плавичасте лапоровите глине које се смењују у слојевима различите дебљине (слика 11). Ова врста земљишта је еродибилног карактера, посебно у условима водозасићења отвореног профила.



Слика 11 – Литолошки слојеви (фото: Живановић, 2014)

Обале јаруге су видно улегле, са појавом пукотина у земљишту које се простире паралелно у односу на обале јаруге, што указује на тенденцију бочног ширења јаруге. Изнад чела јаруга уочљиви су индикатори даљег развоја јаруге ка хипсометријски вишим деловима падине. Блага заталасаност терена, као и закошеност појединих стабала (нарочито у критичним зонама), указују на покрете земљишних маса у претходном периоду. Свако продубљивање јаруге више од 1,0 m, изазива бочна померања маса земљишта. Са повећањем дубине, ова покретања попримају облик клизишта (слика 12).



Слика 12 - Чеони ожилџак клизишта и покретање маса земљишта (фото: Живановић, 2016)

Наведени ерозиони процеси, поред продукције огромних количина ерозионог материјала, доводе и до кривљења и изваљивања стабала, што за последицу има интензивирање деградационог процеса. На слици 13 приказана су клизишта, формирана на обе падине, продубљавањем јаруге.



Слика 13 – Клизишта на падинама (фото: Живановић, 2018)



На више места уочена је појава избијања подслојева земљишта на површину, која се манифестује у виду наноса жуте, смеђе или сиве боје (слика 14).



Слика 14 - Избијања подслојева земљишта на површину (фото: Живановић, 2018)

У сушном периоду, на дну јаруга уочене су формиране хексагоналне пукотине. Обиласком јаруга, два дана након обилних падавина (02.08.2018.) када је на метеоролошкој станици „Београд-Опсерваторија“ забележено 21,9 mm падавина, уочена је појава комплексне мреже бразда на самом дну јаруга, као посебних праваца кретања воде (слика 15).



Слика 15 – Отворене бразде у дну јаруге (фото: Живановић, 2018)

Облик формираних бразда је цеваст, пречника од неколико до 10 cm. Мрежа бразди је у неким деловима привидно испрекидана, међутим, истражним радовима (отклањањем површинског слоја у јарузи), јасно је видљив даљи правац распрострања бразди, насталих подповршинским током воде (слика 15). Видљиве форме на површини терена су заправо отворене бразде настале урушавањем крова подповршинских „цеви“ (унутрашња линијска ерозија). На слици 16 представљен је хипсометријски највиши део јаруге, где је уочен овај процес.

Најзаступљенији ерозиони облик истраживаног подручја проузрокован је процесом јаружасте ерозије. Развој процеса јаружасте ерозије утиче на покретање маса земљишта и појаву локалних клизишта.



Слика 16 – Систем „цеви“ (фото: Живановић, 2018)

Описане појаве указују на постојање унутрашњих ерозионих процеса. Посматрање описаних ерозионих процеса, на истраживаном локалитету, довело је до формулисања става да доминантну улогу у механизму настанка површинског ерозионог процеса имају процеси који се одвијају испод површине терена. На основу карактеристика описаних процеса осмишљен је прикладан методолошки приступ, ради узимања узорака и извођења опита на терену.

## 3.2. МЕТОД РАДА

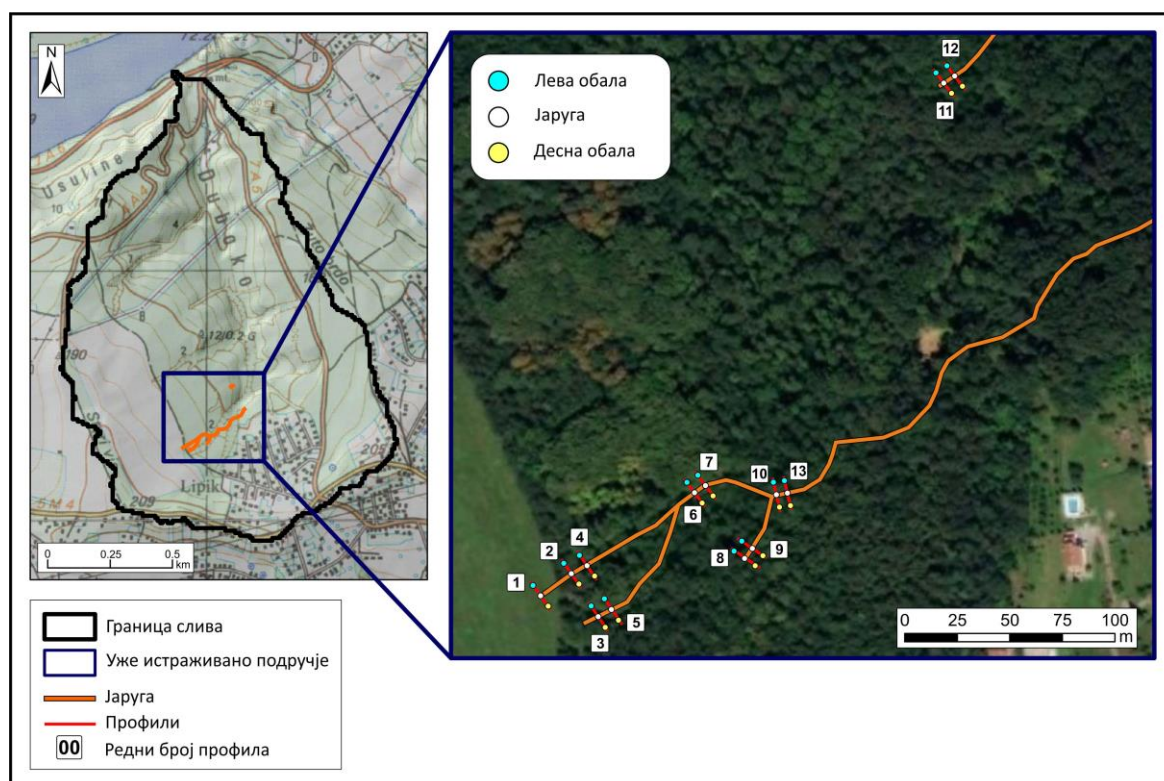
### 3.2.1. Формирање узорка

Узорковање земљишта ради испитивања физичко-механичких параметара дефинисано је на основу постављене хипотезе: „*Постоји разлика између физичко-механичких параметара земљишта које је захваћено ерозионим процесима и земљишта на коме нема видљивих показатеља деловања ових процеса*“.

Избор места за постављање попречних профила, на чијем су правцу одређене тачке за узимање узорака земљишта и теренско мерење параметара, вршено је применом методе систематичног узорковања на основу критеријума заступљености и степена развоја ерозионог процеса:

- Ерозиони процес је у фази настанка (дубина највише до 1 m);
- Процес је развијен у једном литолошком слоју земљишта;
- Нагиб терена је уједначен.

На основу успостављених критеријума постављено је тринаест профила (слика 17). Профили су постављени на три јаруге, које се налазе на истој падини, где су током генезе и развоја ерозионог процеса биле изложене релативно истим утицајима ендегених и егзогених фактора.

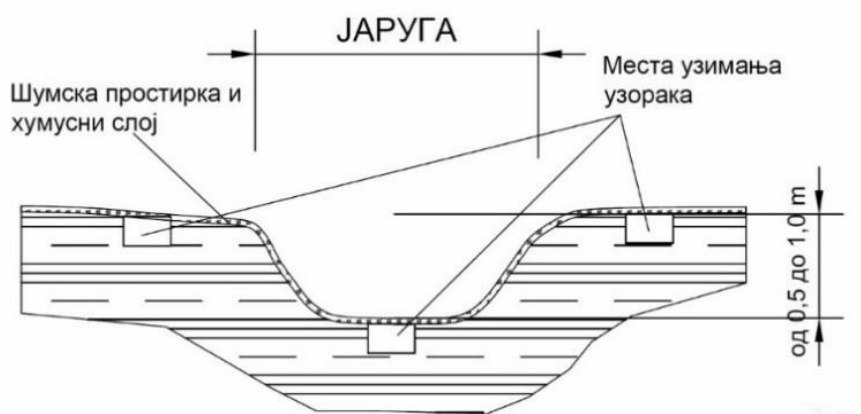


Слика 17 – Распоред профила на истраживаном подручју

Први профил постављен је непосредно изнад чела јаруге, на ободу шуме, у зони где су уочени геоморфолошки облици који указују на могућ даљи правац развоја јаруге ка хипсометријски вишим деловима падине. Осталих дванаест профила распоређено је дуж изабраних јаруга (слика 17).

Узимање поремећених и непоремећених узорака, као и теренска мерења параметара земљишта на постављеним профилима, вршени су на површини захваћеној ерозионим процесом и на површини без видљивих облика ерозионих процеса, у непосредној близини. На овај начин формиране су по три тачке, на сваком профилу, за узорковање и спровођење мерења (слика 18):

- **Јаруга** – Површина захваћена ерозионим процесом, узорковање се врши у дну корита јаруге.
- **Лева обала и Десна обала** – Представљају површину непосредно уз обале јаруге (гледано низводно), а без видљивих облика ерозионих процеса.

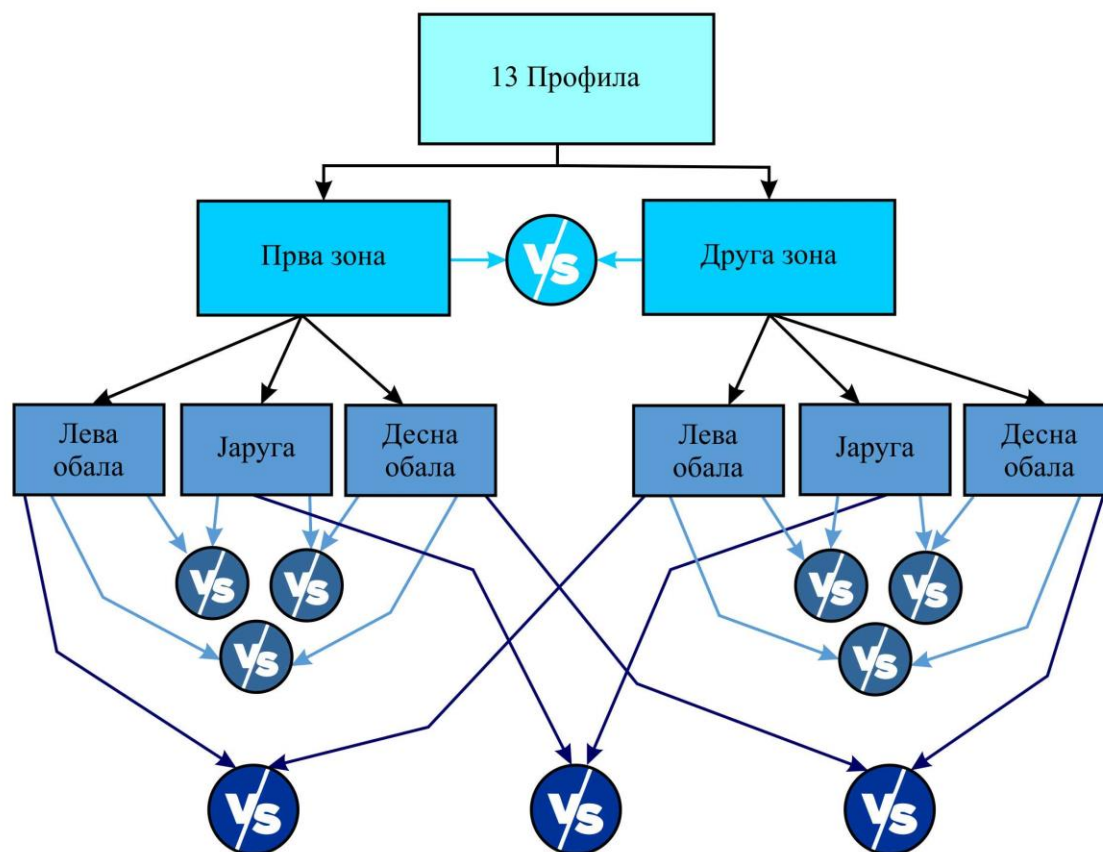


Слика 18 – Места узимања узорака на профилу

Узимање узорака и теренска мерења вршени су на свакој од одабраних тачака у две зоне:

- **прва зона** - на површини (после уклањања хумусног слоја); дубина узимања узорка земљишта 5 - 10 cm,
- **друга зона** – уклањање површинског слоја до дубине од 20 cm; узимање узорка земљишта на дубини од 20 - 25 cm. Дубина узорковања дефинисана је на основу истражних радова, када се уклања стеља и површински слој земљишта, до дубине на којој се јављају цеви формиране унутрашњом линијском ерозијом, углавном на дубини од 5 – 20 cm (слика 10).

На наведени начин, из скупа узорака од 13 профила, могуће је стратификовати два подскупа: узорци **прве зоне** и узорци **друге зоне**; где сваки од подскупова има по три групе узорака: **јаруга**, **лева обала** и **десна обала** (слика 19).



Слика 19 – Шема категоризације узорака

Узорковање и теренско мерење параметара земљишта обављани су у више наврата (7 пута), у периоду април, мај, јун 2018. године и априла 2019. године.

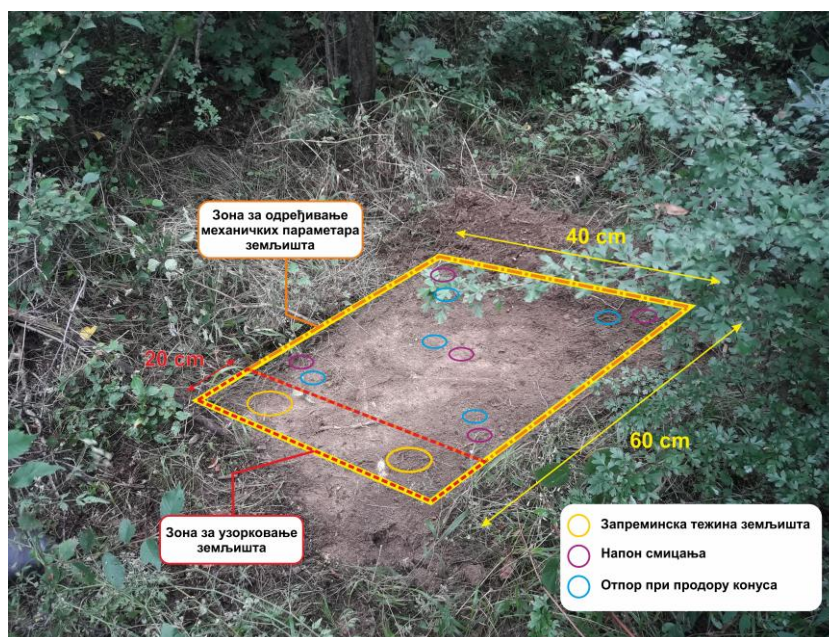
### 3.2.2. Методе лабораторијских испитивања

За потребе утврђивања физичких особина земљишта са подручја истраживања прикупљено је укупно 77 узорака земљишта (поремећених и непоремећених). Обављена су лабораторијска испитивања на 39 узорака из прве зоне и 38 узорака из друге зоне.

Лабораторијска мерења, обављена на репрезентативним узорцима кохерентног земљишта, извршена су коришћењем одговарајућих метода и техника дефинисаних стандардом о геотехничким испитивањима (SRPS.U.B1). У оквиру лабораторијских испитивања одређене су физичке особине испитиваног земљишта: природна (тренутна) влажност, гранулометријски састава, Атербергове границе конзистенције, запреминске тежине (природно влажна, сува, специфична). Такође извршене су одговарајуће класификације земљишта на основу добијених резултата лабораторијских испитивања.

### 3.2.2.1. Узимање узорака тла

Прикупљање узорака земљишта (поремећених и непоремећених) извршено је према стандарду за геомеханичка испитивања SRPS U.B1.010, према шеми приказаној на слици 20.



Слика 20 – Шема узимања узорака

### 3.2.2.2. Одређивање влажности узорка тла

Влажност земљишта се дефинише као однос између масе воде у узорку и масе сувог узорка, изражена у процентима. Одређивање влажности узорака тла вршено је према стандарду за геомеханичка испитивања SRPS.U.B1.012., сушењем на 105°C до постизања стабилне вредности масе. Тренутна влажност земљишта ( $W$ ) представља влажност земљишта у тренутку узорковања.

### 3.2.2.3. Одређивање запреминске масе тла са порама

Одређивање запреминске масе тла са порама вршено је применом стандарда SRPS.U.B1.013, методом са цилиндром познате запремине. Коришћен је цилиндар пречника  $R = 5,4 \text{ cm}$  и висине  $h = 4,4 \text{ cm}$  запремине  $V = 100 \text{ cm}^3$ . Запреминска маса материјала тла, са порама у природно влажном стању ( $\gamma$ ) представља однос његове масе према његовој запремини са порама и шупљинама са влажношћу у тренутку узимања узорка. Запреминска маса материјала тла, са порама у сувом стању ( $\gamma_d$ ), добија се из односа масе сувог узорка и запремине цилиндра.

### 3.2.2.4. Одређивање запреминске масе материјала тла без пора

Запреминска маса материјала тла без пора ( $\gamma_s$ ) је однос масе чврстих честица, без пора и шупљина, према његовој запремини. Одређивање је вршено према геомеханичком стандарду SRPS.U.B1.014, пикнометарском методом.

### 3.2.2.5. Одређивање запреминске тежине тла (земљишта)

Запреминска тежина земљишта [сува ( $\gamma_d$ ), природно влажна ( $\gamma$ ), специфична( $\gamma_s$ )] одређена је рачунским путем множењем добијене запреминске масе земљишта и гравитационог убрзања  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

### 3.2.2.6. Одређивање порозности и коефицијента порозности

Порозност представља процентуално учешће пора у укупној маси узорка земљишта, и израчунава се помоћу обрасца:

$$n = \frac{\gamma_s \cdot \gamma_d}{\gamma_s} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Где је:

$n$  – порозност земљишта [%]

$\gamma_s$  – специфична запреминска тежина земљишта [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\gamma_d$  – запреминска тежина сувог земљишта [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

Коефицијент порозности представља однос између запремине пора и запремине чврстих честица земљишта (без шупљина и пора). Израчунава се према обрасцу:

$$e = \frac{\gamma_s \cdot \gamma_d}{\gamma_d} \quad (4)$$

Где је:

$e$  – коефицијент порозности

$\gamma_s$  – специфична запреминска тежина земљишта [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

$\gamma_d$  – запреминска тежина сувог земљишта [ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]

### 3.2.2.7. Одређивање гранулометријског састава

Одређивање гранулометријског састава узорака материјала тла дефинисана је стандардом SRPS.U.B1.018. Коришћена је метода седиментације са малим сејањем (сита пречника 2,0; 1,0; 0,6; 0,212; 0,1). Класификација ситнозрног земљишта извршена је на основу троугаоног дијаграма (Гајић, 2010).

### 3.2.2.8. Одређивање конзистенције тла – Атербергове границе

Одређивање конзистенције тла вршено је према стандарду за геомеханичка испитивања SRPS.U.B1.020.

Граница течења ( $w_L$ ) – Представља садржај воде при коме кохерентна земљишта прелазе из пластичног у течно конзистентно стање. Одређена је методом Казаграндеовог (Casagrande) апарата.

Граница пластичности ( $w_p$ ) – Представља садржај воде при коме кохерентна земљишта прелазе из пластичног у тврдо стање.

Израчунавања индикатора конзистенције гла:

▪ Индекс пластичности  $I_p = w_L - w_p$  (5)

▪ Индекс конзистенције  $I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p}$  (6)

▪ Индекс течења  $I_L = \frac{w - w_p}{I_L}$  (7)

### 3.2.2.9. Одређивање активности глина

Садржај глине у кохерентним (финозрним) земљиштима утиче на тренутно конзистентно стање, посебно способношћу глиновитих честица да бубре или се скупљају са променом садржаја воде. Податак о вредности индекса пластичности ( $I_p$ ), заједно са информацијом о процентуалном учешћу глине у земљишту, омогућује детерминисање индекса активности глине. Индекс активности глине, према Skempton, (1984), добија се формулом:

$$AI = \frac{I_p}{c} \quad (8)$$

Где је:

$AI$  – индекс активности глина

$I_p$  – индекс пластичности

$C$  – процентуални садржај честица глине у земљишту

Подела на основу активности:

неактивне глине —  $AI < 0,75$

нормалне глине —  $AI$  од 0,75 до 1,25

активне глине —  $AI > 1,25$

### 3.2.3. Методе одређивања механичких особина земљишта теренским испитивањима

#### 3.2.3.1. Одређивање чврстоће земљишта на смицање

Одређивање чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) вршено је коришћењем цепне крилне сонде (Rocket vane tester – Eijkelkamp модел M1.14.10.E), која је дизајнирана за брзо одређивање чврстоћа земљишта на смицање, како на терену тако и у лабораторијским условима (слика 21). Овај модел поседује три крила различитог пречника, са одређеним опсегом могућности мерења:

- CL101: 0 – 0,2 kg·cm<sup>-2</sup>
- CL100: 0 – 1,0 kg·cm<sup>-2</sup>
- CL102: 0 – 2,5 kg·cm<sup>-2</sup>

Опсег читавања на бројчанику износи од 0,0-10,0 подеока. Најмања подела на бројчанику је 0,05 kg·cm<sup>-2</sup> што дозвољава визуелну интерпретацију читавања прецизности од 0,01 kg·m<sup>-2</sup>.



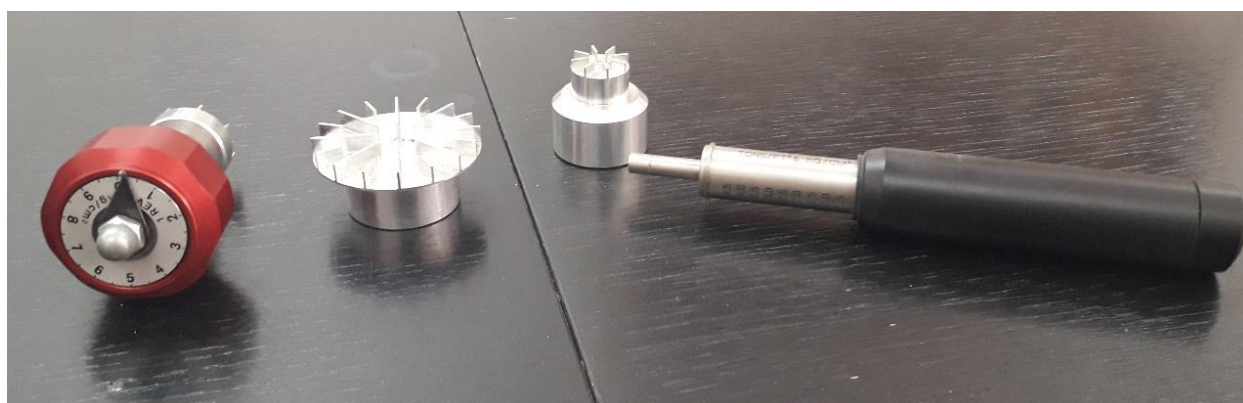
Испитивање тренутне чврстоће на смицање на терену вршено је према упутствима произвођача и утврђеном методологијом (Liu et al., 2003) на следећи начин:

- Одабрана површина за мерење мора бити релативно равна без присуства корена или остатака вегетације.
- Цепна крилна сонда се убада у земљиште, док крила сонде не уђу цела у земљиште.
- Апарат се окреће удесно, равномерним покретом, до слома структуре земљишта. Уколико вредности очитане на апарату приликом лома прелазе 8,0 користи се мањи пречник крила, а ако су вредности испод 2,0, користи се већи пречник крила.
- Вршено је по пет опита на свакој тачки испитивања - како у првој зони, тако и у другој зони узорковања.
- Очитане вредности множе се са датим коефицијентима (које је дефинисао произвођач), за сваку од крилних сонди. Прорачунава се аритметичка средина вредности добијених свим мерењима, која се усваја као чврстоћа земљишта на смицање за свако место испитивања.

### 3.2.3.2. Одређивање отпора при продору игле

Отпор при продору (цилиндра) игле ( $R$ ) испитиваног тла, мерен је помоћу цепног (ручног) статичког пенетрометра (произвођача Eijkelkamp модел M1.06.03.E) (слика 21). Опит је вршен према упутствима произвођача и утврђеним поступком (Amacher, O'Neill, 2004; Yang et al., 2013), на следећи начин:

- Одабрана површина за мерење мора бити релативно равна, без присуства корена или остатака вегетације.
- Игла ручног цепног пенетрометра утискује се у земљу до назначене линије на игли.
- Очитава се максимална вредност означена гуменим прстеном.
- Врши се по пет продора иглом за свако место испитивања.
- На свакој предметној локацији, вршено је по пет продора игле пенетрометра, да би се за усвојену вредност отпора земљишта, при продору игле, узимала аритметичка средина добијених вредности.



Слика 21 – Апаратура за одређивање маханичких особина земљишта (фото: Живановић, 2018)

### 3.2.4. Експериментална испитивања

Конструисању теренског симулатора кише, за експериментална испитивања, претходило је детаљно рекогносцирање терена (утврђивање доминантног ерозионог процеса), утврђивање интензитета киша, као и дефинисање циља експеримента.

Експериментално испитивање симулирањем кише, теренским симулатором, има за циљ посматрање ефеката промене влажности земљишта на промену механичких параметара земљишта, као и осматрање могућих промена на површини терена. Праћење промене механичких параметара земљишта, услед дејства симулиране кише на терену, омогућило је сагледавање услова и узрочника настанка ерозионог процеса.

Пратећи методологију и критеријуме за формирања узорака, експериментална испитивања вршена су симулирањем кишних епизода на површини захваћеној ерозионим процесом и на површини без показатеља постојања ерозионог процеса.

Конструисање и калибрисање теренског симулатора кише вршено је према критеријуму:

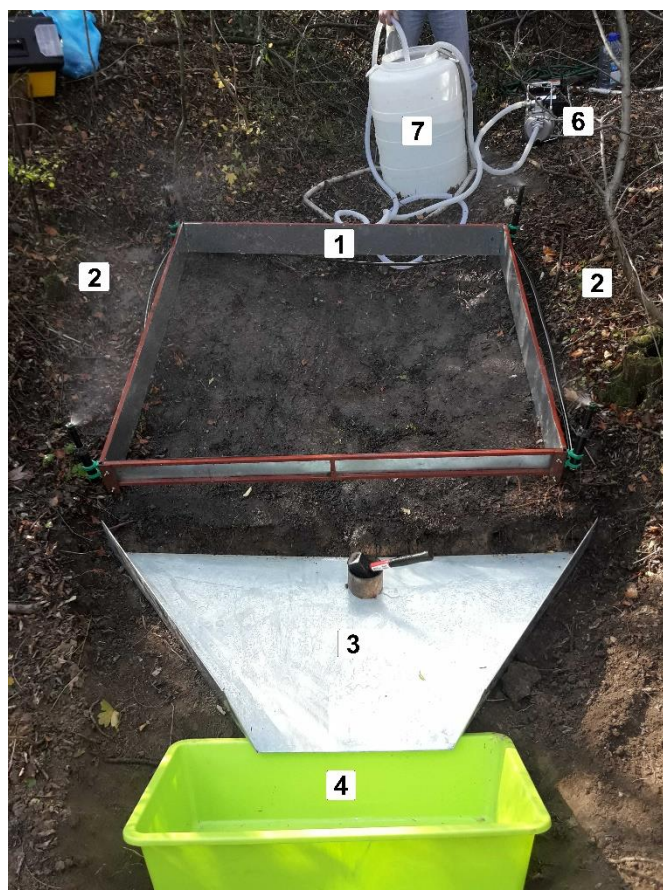
- Лако преносив;
- Једноставан за руковање;
- Ефикасан у погледу потрошње воде;
- Уједначен интензитет и распоред симулиране кише током трајања опита;
- Интензитет падавина (карактеристичан за пљусковите кише испитиваног подручја);
- Поновљивост опита под истим условима.

Током експеримента прикупљени су подаци о параметрима тренутне влажности земљишта, чврстоћи земљишта на смицање и отпорима при продору игле.

#### 3.2.4.1. Конструкција симулатора кише

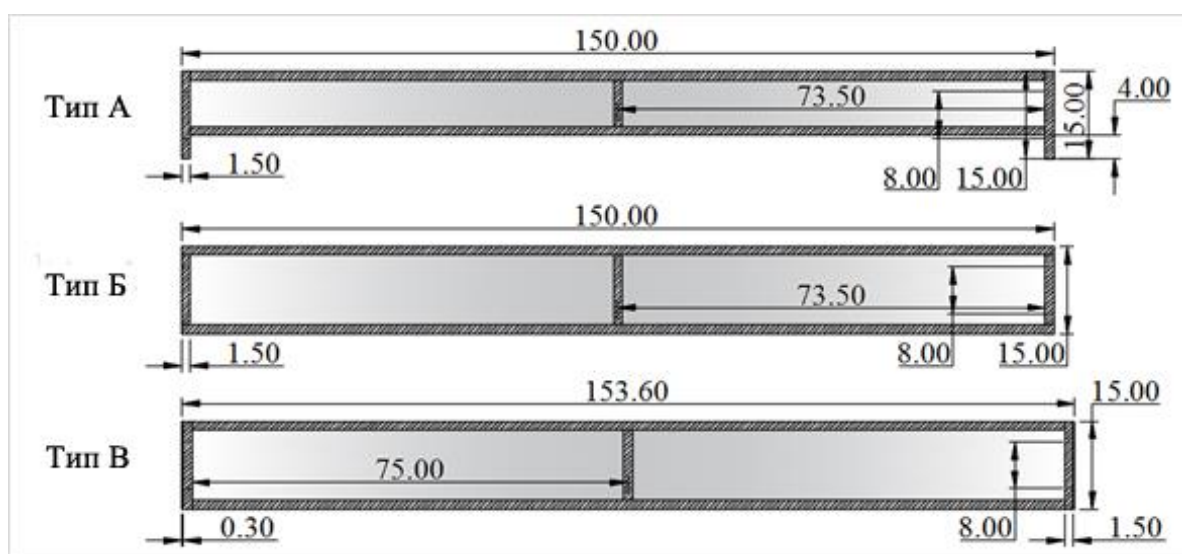
За потребе ове дисертације конструисан је и калибрисан преносиви симулатор кише према задатим критеријумима. Симулатор кише представљен је на слици 22 и састоји се од:

- металног рама (1);
- прскача (са одговарајућим дизама) (2);
- металног прихватача наноса (3);
- колектора за нанос (4);
- гумених црева за воду са манометром, вентилима, редуцирима, адаптерима и наставцима (5);
- пумпе за воду (6);
- резервоара за воду (7).



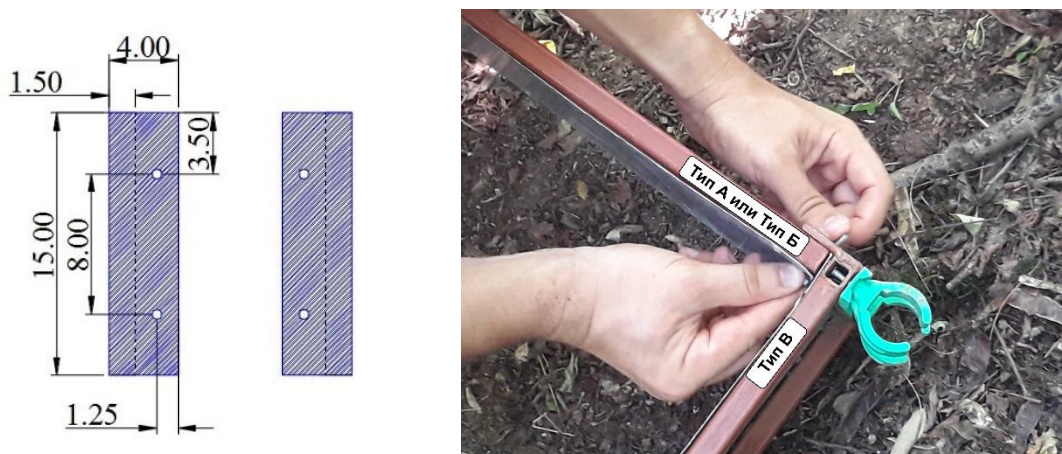
Слике 22 - Конструкција симулатора кише постављена на терену (фото: Живановић, 2019)

(1) **Метални рам** је конструисан тако да омогућава постављање прскача у одговарајући положај и уједно ограничи површину земљишта за испитивање (слика 22). Састоји се од 4 елемента, 8 држача за прскалице и 12 шrafoва и матица. Елементи су сачињени од међусобно заварених металних профила, димензија 1,5 x 1,5 cm. На слици 23 представљени су елементи са назначеним димензијама.



Слика 23 - Димензије елемената металног рама типа А, Б и В (вредности димензија су дате у cm)

С обзиром да се елементи разликују можемо издвојити три типа елемената рама: тип А који се поставља на низводну страну, на којој се прикупља вода и нанос; тип Б који се поставља на узводној страни; два елемента типа В који се постављају као бочне стране металног рама. Елементи се спајају један за други, са по четири завртња и навртка, а кроз заварене плочице (слика 24), за елементе типа В. Сви елементи су обложени поцинкованим лимом са унутрашње стране, чинећи на тај начин стабилну конструкцију (слика 22), са унутрашњом површином од 2,25 m<sup>2</sup>. Оба елемента типа В на својим крајевима поседују још и перфорације неопходне за фиксирање по два пластична држача за прскаче (слика 24).



Слика 24 - Димензије металних плочица за спајање елемената и начин спајања

**(2) Прскачи и дизне** су одабрани на основу већ утврђених захтева испитивања, анализом спецификација појединих типова (датих на сајту [www.hunterindustries.com](http://www.hunterindustries.com) и [www.rainbird.com](http://www.rainbird.com)) и калибрацијом. Прскачи се постављају у пластичне држаче на угловима, тако да сва кућишта прскача буду фиксирана на истој висини. Одабрани прскачи, Rain Bird рор уп прскачи тип US400, искачу 10 центиметара из кућишта при притиску од око 1,5 bar-а при чему отпочиње прскање воде из дизни које су усмерене ка горе, тако да се капи симулиране кише формирају гравитационим падањем. Дизне које су издвојене за симулатор су Rain Bird тип 6 Series VAN (V6) и 8 Series HE-VAN (HV8), као и дизна тип Hunter 10A. Прскач и дизне омогућавају подешавање угла прскања у распону од 0 до 360°. За потребе овог симулатора угао прскања сва четири прскача износи 90°, тако да симулиране падавине буду усмерене ка испитиваном подручју.

**(3) Метални прихватач наноса** је израђен од лима дебљине 3,0 mm, трапезастог је облика, са дужом ивицом базе 152,0 cm, краћом од 60,0 cm и висином од 40,0 cm. Са стране поседује граничнике висине 20,0 cm. Има задатак да воду и нанос приспеле са истраживане површине прихвати и спроведе ниже до колектора за нанос и воду. Поставља се непосредно испод металног рама и неопходно га је укопати у подлогу и утиснути у формирану одсек испод металног рама, како би се избегли губици дотеклог наноса и воде.

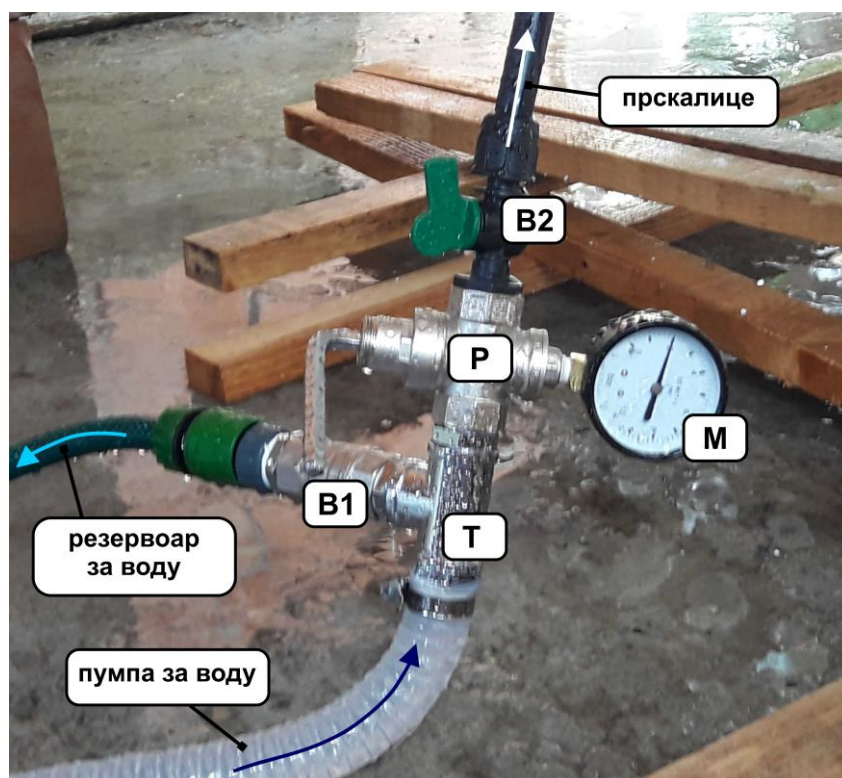
**(4) Колектор наноса и воде** представља пластични суд одговарајућих димензија и служи за прихватање и задржавање воде и наноса, доспелих са металног прихватача. Колектор је такође неопходно укопати у подлогу како би се успоставило течење низ нагиб. Након завршетка опита, садржај колектора се пребацује у посуде са затварачима и транспортује на даље лабораторијско испитивање.

(5) **Гумена црева за воду и пратећи елементи система** служе за транспорт воде од резервоара за воду пумпом, даље до прскача са дизнама. Коришћена су гумена армирана црева пречника 2,54 cm и гумена црева 1,27 cm, филтер са усисном главом, „Т“ спојница, манометар са редуциром притиска, конектори са вентилима, одговарајућим подесницама (фитинзи) и обујмицама (шелнама) (слика 25).

(6) **Пумпа за воду** изабрана за потребе испитивања је бензинска пумпа WP 8 P Villager са бензинским четворотактним мотором, једноцилиндрична, са ваздушним хлађењем, радне запремине 97,7 cm<sup>3</sup>, снаге 1,0 kW. Према датој спецификацији, максималне вредности протицаја и притиска воде за одабрану пумпу износе 8,0 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup> и 2,0 bar-а.

(7) **Резервоар за воду** може бити различите запремине, зависно од постојеће логистичке подршке и доступности воде на локацији на којој се експеримент спроводи, али због неопходне количине воде потребне за извођење опита и специфичности испитивања, резервоар не сме бити запремине мање од 120,0 l. Треба водити рачуна да вода у резервоару буде чиста и заштићена од контаминације лишћем, гранчицама и другим нечистоћама, које би могле угрозити рад моторне пумпе за воду и довести до зачепљења филтера у прскачима.

**Функционисање система** - Вода се до прскача доводи из резервоара путем система гумених црева и наставка. У резервоару се, на почетку црева кроз које се вода извлачи, налази филтер са усисном главом који спречава улазак крупних нечистоћа у систем. Моторна пумпа, помоћу гуменог армираног црева пречника 2,54 cm, црпи воду из резервоара и шаље је даље до „Т“ спојница, такође гуменим армираним цревом пречника 2,54 cm. На „Т“ спојници (Т) су даље на једном излазу, закачени редуцир притиска (Р) са манометром (М), а на другом конектор са вентилом (В1). Од вентила (В1) се цревом пречника 2,54 cm одводи вишак воде назад у резервоар. На редуцир притиска се даље наставља конектор са вентилом (В2), од којег полази гумено црево пречника 1,27 cm и спроводи воду директно до прскача, повезаних на црево подесницама, типа Rain Bird SBE-050 и SB-TEE. Црево које доводи воду од редуцира до прскача је у облику слова „П“ чиме се обезбеђује приближно исти притисак воде у сваком прскачу (слика 25).



Слика 25 - Гумена црева за воду са манометром, вентилима и наставцима

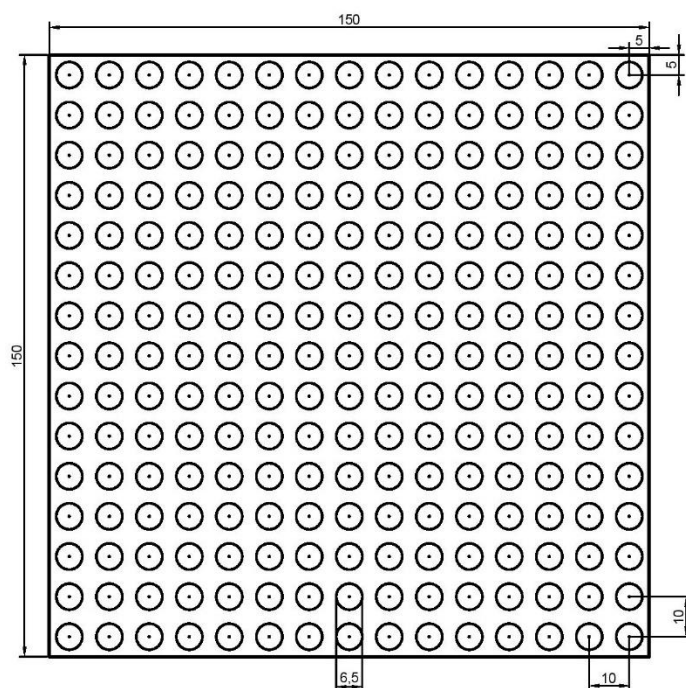
Постављањем конектора са вентилом (В2) омогућава се да прскање почне готово моментално након покретања пумпе и отварања вентила. Применом конектора са вентилом (В1) омогућено је подешавање притиска воде под којим прскачи раде и чувају систем од оштећења, услед наглих промена притиска у систему, враћајући вишак воде у резервоар. Армирана гумена црева су на пумпу и Т наставак причвршћена обујмицама (шелнама), док су конектори са вентилима и подесница (фитинг) прилагођени за повезивање са гуменим цревима. Систем је заптивен на спојевима помоћу тefлон траке. Притисак је могуће контролисати, поред вентила, и регулацијом интензитета рада пумпе. Целокупни систем црева и прскача је такође расклопив.

### 3.2.4.2. Калибрација

Након повезивања свих елемената у функционалан систем, извршена је калибрација конструисаног симулатора кише, кроз утврђивање интензитета симулираних падавина, губитака воде, просторне уједначености количине падавина, величине кишних капи. Калибрација је спроведена у затвореној просторији како би се избегао утицај ветра.

#### 3.2.4.2.1. Одређивање интензитета симулиране кише, просторне уједначености количине падавина, губитака воде

За одређивање интензитета симулиране кише, просторне уједначености количине падавина и губитака воде, примењен је плувиометријски метод (Sangüesa et al., 2010; Parsakhoo et al., 2012; Iserloh et al., 2013; Mhaske et al., 2019), постављањем 225 плувиометара у виду пластичних чаша. Плувиометри су постављени у кружне отворе специјално направљеног држача од плоча стиропора, димензија 1,5 x 1,5 m и дебљине 3,0 cm. Кружни отвори су распоређени у редове (слика 26) тако да су њихови центри у редовима удаљени једни од других по 10,0 cm, док су центри последњих кружних отвора у реду удаљени по 5,0 cm од ивице металног рама.



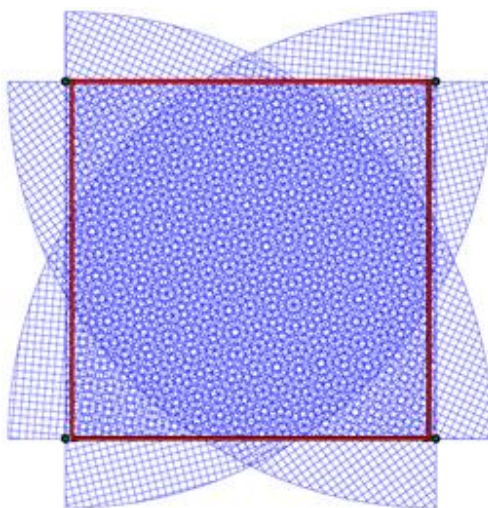
Слика 26 – Распоред кишомера

С обзиром да пречник отвора пластичних чаша износи 6,5 cm, укупна површина свих отвора пластичних чаша заједно износи приближно  $0,75 \text{ m}^2$ , што захвата 33,18% од укупне испитиване површине ( $2,25 \text{ m}^2$ ). Израђен држач је постављен тако да површина отвора плувиометара буде у равни са доњом ивицом металног рама, односно у нивоу терена (слика 27).



Слика 27 – Калибрација симулатора (фото: Живановић, 2018)

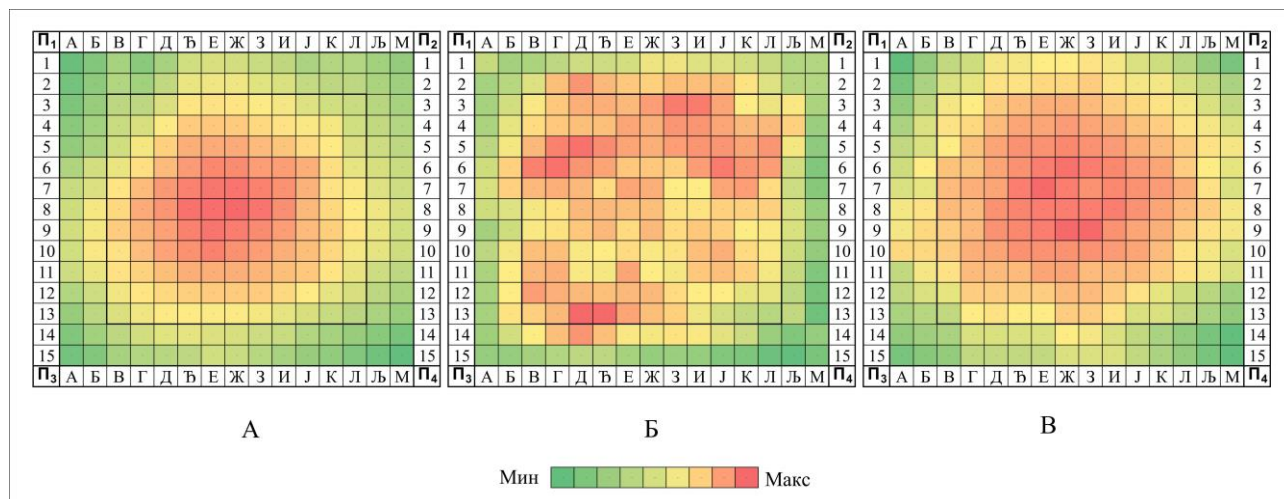
С обзиром да, при усвојеном притиску ( $2,0 \text{ bar-a}$ ), вредност радијуса прскања значајно превазилази димензије испитиване површине приликом примене сваког од три типа дизни, радијус је редукован, затезањем шрафа на дизни (према назначеном опису дизни из каталога, могуће је редуковати радијус прскања подешавањем шрафа на дизнама до 25%). На слици 28 шематски је представљено преклапање млазева са постигнутим полупречником од 1,8 m за дизну 8HV.



Слика 28 – Шема преклапања млазева

Симулација кише вршена је у трајању од 10 минута, за сва три различита типа дизни, при нагибу од  $0^\circ$ . Симулација кише је извршена по три пута, за сваки од три типа дизни. Помоћу баждарене мензуре одређена је количина сакупљене воде у сваком од 225 плувиометара. Након сваког опита утврђена је количина укупно потрошене воде на основу промене нивоа воде у резервоару познатих димензија.

Резултати мерења промене нивоа воде у резервоару су показали да је током опита, у трајању од 10 минута, применом 6V, 8HV и 10А дизни, редом потрошено 60,3 l; 48,0 l и 134,0 l воде (слика 29). Међутим, на основу мерења количине воде доспеле у чаше, утврђено је да количина воде која је пала на испитивану површину износи редом 57,4 l; 37,4 l и 38,0 l. С обзиром да је утврђено да у самом систему нема губитака воде, такви резултати указују на то да прскачи извесну количину воде избацују ван ивица металног рама. Губици воде остварени на овај начин износе редом 4,81%, 22,08% и 71,64%.



Слика 29 - Просторна расподела симулираних кишних падавина уз примену дизни типа (А) 6V, (Б) 8HV и (В) А10, при нагибу од 0° (размера за свако од поља је засебна)

Униформност падавина на испитиваној површини изражена је Christiansen коефицијентом униформности (Cu) (Christiansen, 1942, Sangüesa et al., 2010; Parsakhoo et al., 2012; Iserloh et al., 2013; Mhaske et al., 2019), који се добија применом једначине:

$$CU = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n |R_t - M|}{n \cdot M} \quad (9)$$

где је:

- CU – Christiansen коефицијент униформности,
- $R_t$  – количина воде у свакој посуди,
- M – средња количина воде у свим посудама,
- n – број посуда.

Што је вредност коефицијента униформности CU ближа вредности од 100%, то је униформност симулираних падавина боља (Abudi et al., 2012; Boulange et al., 2019).

Вредности униформности падавина представљене су у табели 3, за све три дизне. За целу испитивану површину најбољу вредност CU показала је дизна типа 10А, затим 8HV а најмању вредност коефицијента униформности дизна типа 6V.

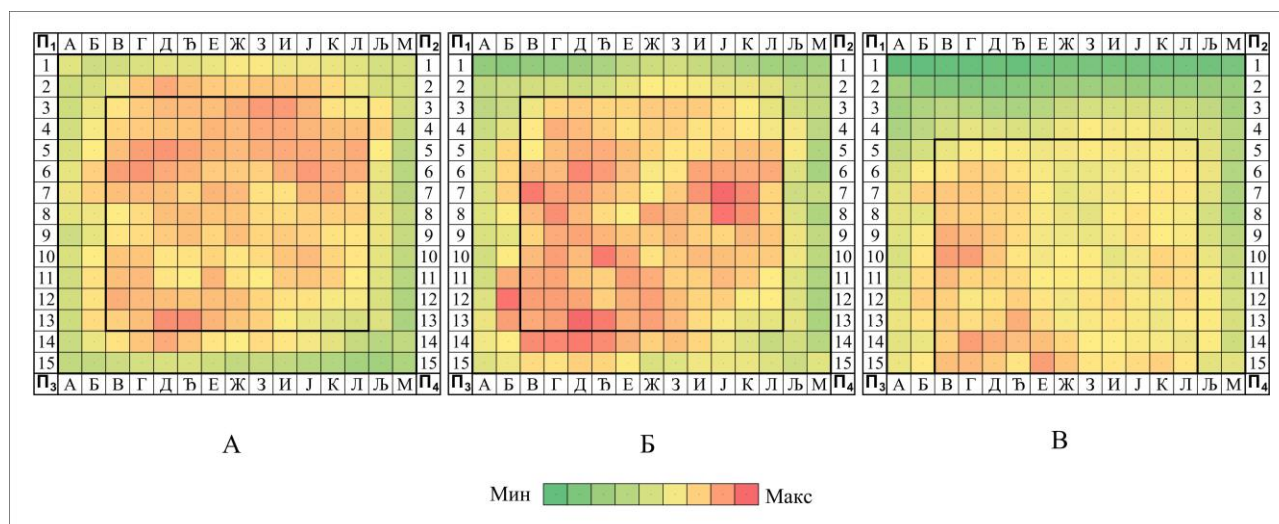


Табела 3 – Вредности коефицијента униформности

Тип дизни	6V	A10		8HV	
Нагиб симулатора	0°	0°	0°	7°	15°
CU <sub>2,25</sub> [%]	72,98	91,06	83,01	79,65	73,93
CU <sub>1,21</sub> [%]	82,19	94,65	93,7	92,23	92,87

Узевши у обзир вредности утрошене воде, губитака воде и просторне униформности падавина на испитиваној површини, даља калибрација симулатора кише је спроведена са дизном типа 8HV. Током даљег испитивања извршена је симулација при нагибима симулатора од 7° и 15°, у трајању од 10 минута, са по три понављања. Средња измерена вредност утрошене воде, током симулације са два нагиба, износи 47,0 l, а губици воде за нагиб од 7° износе 20,43% док за нагиб од 15° износе 32,13%.

На слици 30 представљена је просторна расподела симулираних киша на основу мерења количине воде у плувиометрима са дизном типа 8HV, за различите нагибе. На слици је назначена зона за узимање узорака, која је детерминисана на основу доступности (несметан приступ ради узимања репрезентативног узорка) и да је коефицијент просторне униформности падавина изнад 90%. Зона је димензија 1,1 x 1,1 m (1,21 m<sup>2</sup>), одвојена од свих ивица рама за по 0,2 m при нагибима од 0° и 7°, док се при нагибу од 15° налази уз елемент тип А металног рама. Коефицијент CU за издвојену зону уз примену дизне типа 8HV износи од 92,23% до 93,70%. Зона је издвојена како би се омогућило узимање узорака при што уједначенијим условима у земљишту. Такође зоне су издвојене тако да омогуће несметано узимање довољног броја узорака.



Слика 30 - Просторна расподела симулираних кишних падавина на целокупној испитиваној површини и на издвојеној централној зони, уз примену дизне 8HV, при нагибу од 0°(А), 7°(Б) и 15°(В) (размера је идентична за сва три поља).

Измерени интензитет (I) симулираних падавина на површини унутар рама представљен је у табели 4. Вредности интензитета варирају од 1,4 до 1,9 mm·min<sup>-1</sup>, у зависности од нагиба под којим стоји симулатор као и посматране површине. За издвојену зону за узимање узорака интензитет варира од 1,7 до 1,9 mm·min<sup>-1</sup>.

Табела 4 – Интензитет симулиране кише

Нагиб симулатора	0°	7°	15°
I <sub>2,25</sub> [mm·min <sup>-1</sup> ]	1,7	1,7	1,4
I <sub>1,21</sub> [mm·min <sup>-1</sup> ]	1,9	1,9	1,7

Због захтева испитивања у погледу интензитета падавина, за изабрани тип прскача и дизни, усвојен је радни притисак воде од 2,0 бар-а, који се читава и прати на барометру.

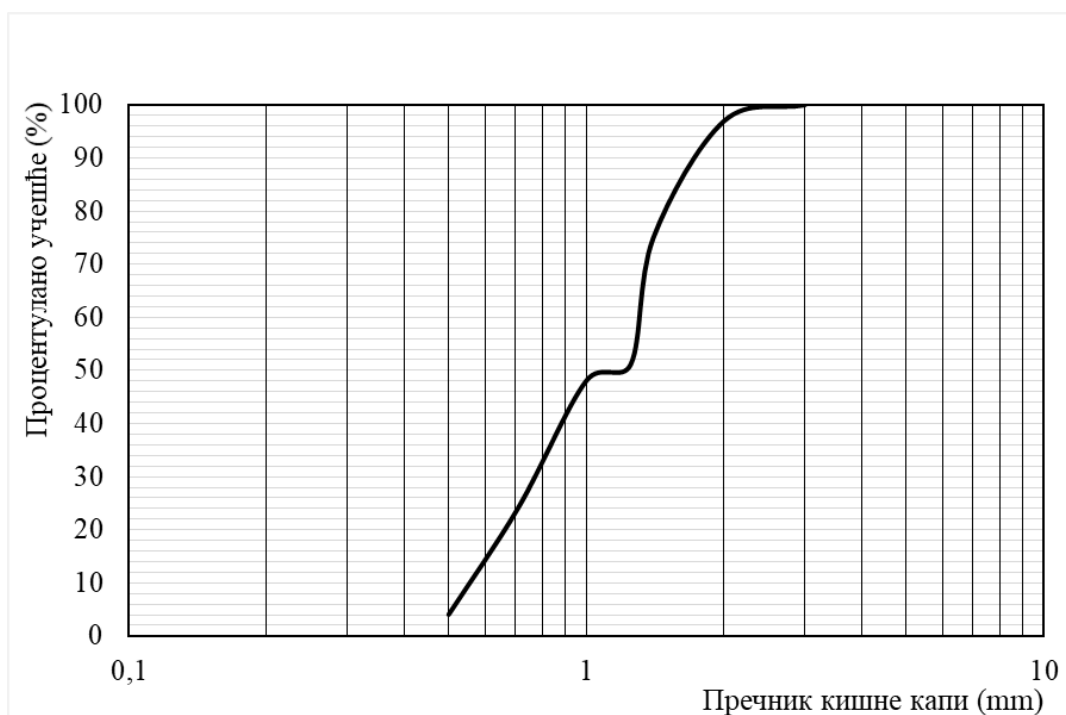
### 3.2.4.2.2. Одређивање пречника кишне капи

Испитивање величине кишне капи је извршено методом брашна коју је предложио Bentley 1904. године (Navas et al., 1990; Herngren et al., 2004; Kathiravelu et al., 2016; Mhaske et al., 2019). На издвојену испитивану површину постављено је пет посуда, округлих, пречника 23,0 cm са одговарајућим поклопцима. Брашно се у посуди поравнава са ивицом посуде, чиме је постигнут слој дебљине од 2,0 cm. Након постављања посуда са брашном, укључује се симулатор кише и скидају се поклопци те се брашно излаже киши на 2-3 секунде, након чега се посуде покривају поклопцима. Брашно се суши у сушници 24 h на температури од 105°C, а након тога се сеје кроз серију сита димензија 3,0; 2,0; 1,4; 1,25; 1,0; 0,71 и 0,5 mm. На основу добијених масених односа добијена је крива пречника кишних капи. Опит је изведен са два понављања. Слика 31 представља изглед кишних капи добијених примењеном методом.



Слика 31 – Пречник кишних капи (брашно) (фото: Живановић, 2018)

На слици 32 представљена је гранулометријска крива кишних капи. Величина кишних капи варира од најкрупнијих нешто преко 2,0 mm до 0,5 mm. Највећи број кишних капи налази се у опсегу од 1,0 до 1,3 mm. Резултати испитивања су показали да средњи пречник кишне капи  $D_{50}$  износи 1,20 mm. У свих пет посуда био је сличан однос величина кишних капи, у оба понављања.



Слика 32 - Гранулометријска крива кишних капи

### 3.2.4.2.3. Одређивање кинетичке енергије удара кишне капи

Одређивање кинетичке енергије удара кишне капи ( $Ke$ ) извршено је на основу једначине предложене од стране Wischmeier and Smith 1958 (Carter et al., 1974; Gilley, Finkner, 1984; Morgan, 2005; Meshesha et al., 2018):

$$K_e = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ [J]} \quad (10)$$

где је:

$$m - \text{маса кишне капи, } m = \frac{\pi d^3}{6} \text{ [kg],}$$

$d$  - пречник кишне капи [m];

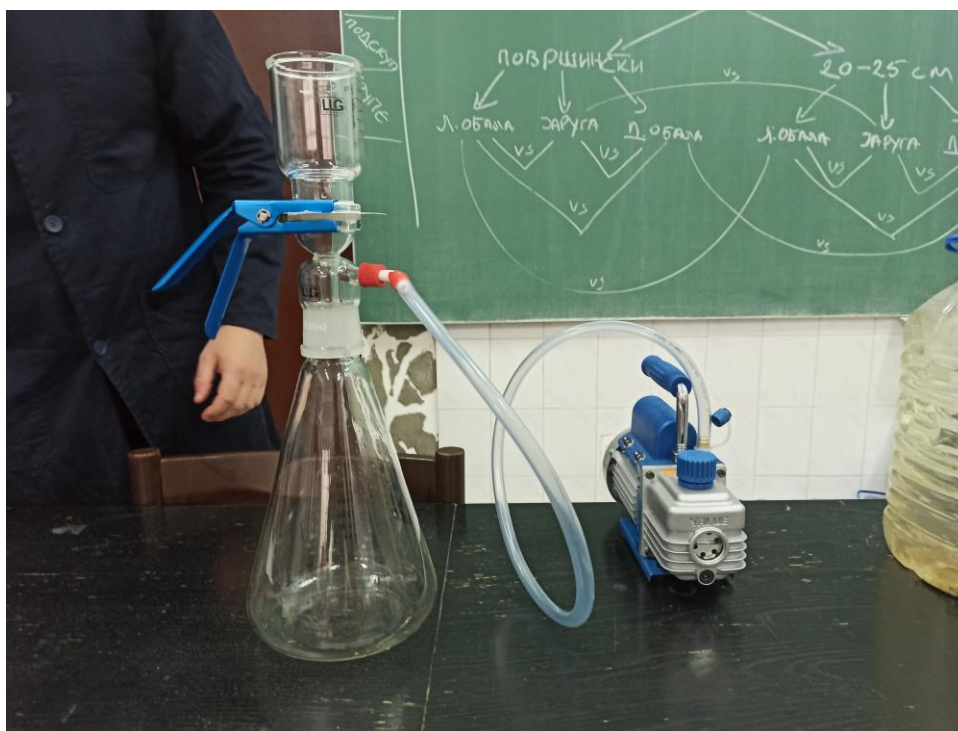
$v$  - брзина падања кишне капи [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Прорачун кинетичке енергије спроведен је за интензитет падавина  $I = 1,9 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$  и средњи пречник кишне капи  $D_{50} = 1,20 \text{ mm}$ . Брзина падања кишне капи добијена је на основу нумеричког модела предложеног од стране Van Boxel (1998). Према наведеном моделу, за одговарајући пречник кишне капи и за усвојену висину падања кишне капи  $h = 0,5 \text{ m}$ , брзина падања износи  $2,50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Енергија једне кишне капи износи  $Ke = 2,82 \cdot 10^{-6} \text{ J}$ . Укупна кинетичка енергија кишних капи изражена по висини падавина (1 mm),  $Ke_{mm} = 3,12 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$ . Укупна кинетичка енергија кишних капи изражена по часу износи  $Ke_h = 355,35 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , односно за трајање опита од 10 минута износи  $Ke_{10min} = 59,23 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 10 \text{ min}^{-1}$ .

#### 3.2.4.2.4. Одређивање концентрације наноса у дотеклој води

Прикупљена дотекла вода у колектору, пресипа се у пластичне посуде капацитета 5 l, које се допремају у лабораторију. У лабораторији је за филтрирање коришћен систем (слика 33) сачињен од: боце сисалке капацитета 2,0 l; посуде за сипање узорка, капацитета 250 ml; носача филтера са конектором за црево (пречник црева 8,0 mm); филтер постоља пречника 47 mm; клеме; ротационе уљане вакуум пумпе, произвођача „Value” (модел VH 115N) снаге 149 W, протока  $42,48 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , максималног вакуума 150  $\mu\text{m}$ . После завршене филтрације узорака вршено је сушење филтер папира до константне масе, у сушници на  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ . Количина наноса изражена је у грамима (g). Мерење количине дотекле воде (l) обављено је помоћу баждарене мензуре. Концентрација наноса у води изражена је у  $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ . Сличну методологију применили су Vaezi et al. (2017).



Слика 33 – Систем за филтрацију (фото: Рончевић, 2019)

#### 3.2.4.4. Поступак експеримента

Пратећи критеријум за одабир локације испитивања, конструисана и калибрисана апаратура поставља се на површини захваћеној ерозионим процесом (јаруга) и на условно стабилној површини непосредно уз јаругу (обала). Самом експерименту претходи допремање довољне количине воде на локацију испитивања, припрема терена у виду просецања прилаза, односно крчења шибља до изабране локације, копање рупе за колектор наноса, уклањање површинског слоја земљишта.

Поступак при спровођењу експеримента може се поделити у пет фаза:

- 1) Симулирање кишне епизоде у трајању од 10 минута;
- 2) Оцеђивање у трајању од једног часа;
- 3) Кишна епизода у трајању од 10 минута;
- 4) Оцеђивање у трајању од 23 часа;
- 5) Понављање прве три фазе.

Мерење параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле вршено је пре и после сваке кишне епизоде. Такође, вршено је и узимање узорака земљишта са дубине од 0-20 mm за потребе мерења тренутне влажности, на издвојеној специфичној површини, према наведеној методологији.

Експериментално испитивање симулирањем кише на терену спроведено је у два периода, према утврђеној методологији. Испитивање је извршено на две локације у јарузи и две на обали. Прва серија огледа (од 23.07. до 25.07.2019.) обухватила је јаругу (J – 1), нагиба дна 4°, и обале (O-1), са нагибом терена 13°. Друга серија огледа (од 21.11. до 22.11.2019.) обухватила је јаругу (J – 2), нагиба дна 9°, и обале (O-2), са нагибом терена 15°. Мерење нагиба терена вршено је помоћу инклинометра. Одређивање параметара тренутне влажности земљишта, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле вршени су у складу са утврђеном методологијом, на издвојеној површини од 1,1 x 1,1 m.

### 3.2.5. Методе статистичке обраде

Анализирану популацију представљају сви узорци земљишта, које је угрожено ерозионим процесом. Из популације је издвојено 13 попречних профила који представљају скуп узорака. Скуп се стратификује на два подскупа и то: узорци прве зоне и узорци друге зоне. Сваки подскуп има по три групе узорака: јаруга, лева обала и десна обала. Свака од група узорака има по 13 чланова. За сваки од чланова одређени су сви планирани физичко-механички параметри предвиђени методологијом. Такође издвојене су и две групе узорака добијених при експерименталном испитивању у јаругама и обалама.

Метод дескриптивне статистике примењен је на све издвојене групе података. Одређене су вредности максимума и минимума, затим мере централне тенденције (средња вредност и медијана) и мера дисперзије узорка (стандардна девијација и коефицијент варијације). Обрада података је спроведена у програму Microsoft Excel.

Хомогеност у групи узорака одређивана је на основу коефицијента варијације. Сматра се да је појава хомогена уколико је коефицијент варијације мањи од 30% (Macura, 2019). Milić и Bosančić (2012) истичу да коефицијент варијације испод 5% и преко 30% морају бити накнадно проверени, односно уколико је резултат испод 5% резултати су „сувише добри“, а преко 30% указују на систематски утицај неопажених фактора на поједине статистичке јединице посматраног скупа.

Компарација, односно утврђивање значајности разлике између узорака, спроведена је за сваки од физичко-механичких параметара земљишта према шеми приказаној на слици 19. Постојања значајане статистичке разлике утврђивано је компарацијом између узорака са леве обале и узорака из јаруге (**Лева обала vs Јаруга**), као и између узорака са десне обале и узорака из јаруге (**Десна обала vs Јаруга**). Да би се утврдило постојање статистички значајних разлика између узорака са леве обале и узорака из десне обале извршена је компарација **Лева обала vs Десна обала**. Ради утврђивања постојања статистички значајне разлике између подскупова узорака прве зоне и друге зоне, спроведена је компарација између издвојених група узорака **лева обала, јаруга, десна обала** као и за укупан број узорака, **укупно ( $\Sigma$  Прва зона vs  $\Sigma$  Друга зона)**. Такође, спроведена је и компаративна анализа између параметара добијених експериментом за издвојене групе, опит у јаругама и опит на обалама, **Јаруга vs Обала**.

Компарација је извршена помоћу три теста:

- **t** – тест средњих вредности. Тест значајности разлике две средине заснива се на поређењу две аритметичке средине из два узорка (независни или зависни) (Mutavdžić, Nikolić Đorić, 2018).
- **F** – тест стандардних девијација. Фишера или F расподела коришћена је за тестирање разлике између варијанси два узорка (Koprivica, 2015).
- **W** или **U** (Mann-Whitney; Wilcoxon) – тест медијана. W тест се користи за утврђивање значајности разлике медијана два узорка (Shier, 2004). W тест даје најпрецизније процене значајности, нарочито код малих узорака (Smalheiser, 2017).

Тестирање хипотезе вршено је са прагом значајности  $p$  од 95,0%. Тестирање је спроведено у програму за статистичку анализу Statgraphics centurion XVIII (StatPoint Technologies, Inc. 2019) постављањем следеће хипотезе:

- Нулта хипотеза: физичко-механички параметри земљишта се не разликују у зависности од места узорковања. Нема значајне статистичке разлике.
- Алтернативна хипотеза: физичко-механички параметри земљишта разликују се у зависности од места узорковања. Постоји значајна статистичка разлика.

Утврђивано је постојање статистичких зависности између параметара тренутне влажности, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле. Спроведена је регресиона анализа између параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, затим отпора при продору игле и тренутне влажности, као и између чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле. Утврђивање функционалних веза између анализираних параметара вршено је на следећи начин, у програму Statgraphics centurion XVIII (StatPoint Technologies, Inc. 2019):

- Постављање линеарног регресионог модела;
- Утврђивање постојања везе између променљивих на основу коефицијента корелације (табела 5);
- Уколико је коефицијент корелације већи од 0,5 спровођен је одабир нелинеарног регресионог модела који најбоље описује зависност између променљивих. Уколико је коефицијент корелације мањи од 0,5 с обзиром да представља незнатну везу између променљивих није био предмет даљих анализа у овом раду.
- На основу дијаграма растурања вршено је одбацавање до 10% вредности које очигледно одступају од карактеристичне слике.
- Оцена јачине статистичке зависности вршена је према емпиријском правилу приказаним у табели 5.

Табела 5 – Емпиријско правила за оцену јачине везе (Vujić, Ivić 1991)

Коефицијент корелације	Оцена везе
До 0,5	Незнатна веза између променљивих, несигурност је значајна
0,5 – 0,7	Показује значајну везу, несигурност је мања
0,7 – 0,8	Показује јачу везу, може имати практичну важност
0,8 – 0,9	Показује јаку везу, има практичну важност
0,9 – 1,0	Показује врло јаку везу, има високу практичну важност

## 4. РЕЗУЛТАТИ

### 4.1. ЛАБОРАТОРИЈСКА ИСПИТИВАЊА ФИЗИЧКИХ СВОЈСТАВА ЗЕМЉИШТА

#### 4.1.1. Запреминске тежине земљишта

##### 4.1.1.1. Узорци земљишта прве зоне

Распони вредности запреминских тежина (природно влажна –  $\gamma$ , сува -  $\gamma_d$ , специфична  $\gamma_s$ ), порозности ( $n$ ) и коефицијента порозности ( $e$ ) свих узорака **прве зоне** земљишта, са припадајућим вредностима централне тенденције и дисперзије узорака представљени су у табели 6. Највећи распон вредности, код узорака **прве зоне**, имају запреминске тежине природно влажног земљишта. Вредности суве запреминске тежине као и специфичне запреминске тежине земљишта релативно су ниске  $\gamma_d=14,4-10,1 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  и  $\gamma_s=26,2-22,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ . Порозност и коефицијент порозности варирају у нешто ширем опсегу.

Табела 6 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака земљишта прве зоне

		Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности
		$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	$n$	$e$
		[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]
Распон	÷	18,1 - 12,4	14,4 - 10,1	26,2 - 22,0	61,5 - 36,9	1,60 - 0,584
Средња вредност	$\bar{X}$	15,33	12,17	24,04	49,22	0,99
Медијана	$M_e$	15,24	12,14	23,87	49,96	1,00
Стандардна девијација	$\sigma$	1,56	1,14	1,32	4,74	0,191
Коефицијент варијације	$K_v$	10,17	9,32	5,48	9,63	19,37

У табели 7 представљене су запреминска тежина, порозност и коефицијент порозности узорака **прве зоне из јаруга**. Запреминска тежина природно влажних узорака варира од минималне  $\gamma=13,15 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 8J) до максималне вредности  $\gamma=17,56 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 3J). Вредности суве запреминске тежине варирају од  $\gamma_d=10,06 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 8J), што представља најнижу вредност скупа испитиваних узорака, до максималне  $\gamma_d=14,36 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (Узорак 1J). Специфичне запреминске тежине имају распон вредности од минималне  $\gamma_s=21,96 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 6J), што је најнижа вредност свих испитиваних узорака, до максималне  $\gamma_s=26,24 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 9J), што је највиша вредност свих испитиваних узорака. Порозност варира у распону од  $n=36,85\%$  (узорак 3J) до  $n=61,52\%$  (узорак 8J), што представља највећу добијену вредност порозности целог скупа узорака. Коефицијент порозности варира од  $e=0,58$  (узорак 3J) до  $e=1,60$  (узорак 8J). Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 7 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака **прве зоне из јаруга**

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	n	e	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1J	17,19	14,36	25,87	44,51	0,80	
2J	14,96	11,44	22,38	49,03	0,96	
3J	17,56	13,95	22,09	36,85	0,58	
4J	14,77	10,63	22,26	52,23	1,09	
5J	16,53	12,24	22,59	45,83	0,85	
6J	15,90	11,57	21,96	47,32	0,90	
7J	15,31	12,31	24,61	49,97	1,00	
8J	13,15	10,06	24,68	61,52	1,60	
9J	17,28	12,95	26,24	50,63	1,03	
10J	17,09	13,20	25,17	47,58	0,91	
11J	15,05	11,43	23,04	50,40	1,02	
12J	17,41	13,90	24,12	42,37	0,74	
13J	16,09	12,62	25,52	50,54	1,02	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>16,02</b>	<b>12,36</b>	<b>23,89</b>	<b>48,37</b>	<b>0,96</b>
Медијана	$M_e$	<b>16,09</b>	<b>12,31</b>	<b>24,12</b>	<b>49,03</b>	<b>0,96</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,33</b>	<b>1,31</b>	<b>1,56</b>	<b>5,75</b>	<b>0,24</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>8,27</b>	<b>10,61</b>	<b>6,54</b>	<b>11,89</b>	<b>24,71</b>



У табели 8 су представљени резултати испитивања запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака **леве обале, прве зоне**. Распон вредности запреминске тежине природно влажних узорака варира од  $\gamma=12,41 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 7Л) до  $\gamma=18,06 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 1Л), односно, ове вредности представљају минимум и максимум код свих испитиваних узорака **прве зоне**. Суве запреминске тежине варирају од минималне  $\gamma_d=10,25 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 2Л) до максималне вредности  $\gamma_d=14,35 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 1Л). Вредности специфичних запреминских тежина узорака имају распон од  $\gamma_s=22,56 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 11Л) до  $\gamma_s=26,08 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 9Л). Порозност варира од  $n=41,79\%$  (узорак 12Л) до  $n=58,47\%$  (узорак 7Л), док коефицијент порозности варира од  $e=0,72$  до  $e=1,41$ . Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 8 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности површинских узорака леве обале

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	$n$	$e$	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1Л	18,06	14,35	25,91	44,59	0,80	
2Л	12,46	10,25	23,19	55,80	1,26	
3Л	13,63	11,64	23,49	50,46	1,02	
4Л	14,06	11,98	23,14	48,22	0,93	
5Л	12,55	11,05	22,84	51,62	1,07	
6Л	15,16	11,94	23,87	49,96	1,00	
7Л	12,41	10,25	24,68	58,47	1,41	
8Л	14,63	11,29	25,61	55,92	1,27	
9Л	17,23	12,97	26,08	50,27	1,01	
10Л	16,05	12,95	25,79	49,78	0,99	
11Л	15,62	12,45	22,56	44,83	0,81	
12Л	17,53	13,85	23,80	41,79	0,72	
13Л	15,24	12,24	25,19	51,44	1,06	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>14,97</b>	<b>12,09</b>	<b>24,32</b>	<b>50,24</b>	<b>1,03</b>
Медијана	$M_e$	<b>15,16</b>	<b>11,98</b>	<b>23,87</b>	<b>50,27</b>	<b>1,01</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,92</b>	<b>1,25</b>	<b>1,27</b>	<b>4,76</b>	<b>0,20</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>12,84</b>	<b>10,31</b>	<b>5,24</b>	<b>9,46</b>	<b>19,17</b>

Вредности запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности узорака земљишта **прве зоне са десне обале** представљене су у табели 9. Запреминска тежина природно влажних узорака варира у распону од  $\gamma=13,70 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 4Д) до  $\gamma=17,22 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 13Д). Суве запреминске тежине варирају од  $\gamma_d=11,28 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 5Д) до  $\gamma_d=14,27 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 1Д). Вредности специфичних запреминских тежина узорака имају распон од  $\gamma_s=22,29 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 11Д) до  $\gamma_s=25,76 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорци 9Д и 10Д). Вредности порозности крећу се у распону од  $n=39,80\%$  (узорак 1Д) до  $n=53,37\%$  (узорак 9Д) а коефицијента порозности од  $e=0,66$  до  $e=1,14$ . Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 9 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака прве зоне са десне обале

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	n	e	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1Д	16,87	14,27	23,70	39,80	0,66	
2Д	13,99	11,93	24,39	51,09	1,04	
3Д	14,00	11,35	24,26	53,20	1,14	
4Д	13,70	11,44	22,96	50,20	1,01	
5Д	13,73	11,28	22,71	50,33	1,01	
6Д	14,20	11,33	23,56	48,65	0,95	
7Д	14,18	12,28	22,72	45,96	0,85	
8Д	16,18	12,74	25,23	49,51	0,98	
9Д	15,83	11,50	25,76	53,37	1,14	
10Д	15,56	12,14	25,76	52,88	1,12	
11Д	14,67	11,39	22,29	48,92	0,96	
12Д	14,81	12,34	23,43	47,35	0,90	
13Д	17,22	12,91	24,09	46,43	0,87	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>15,00</b>	<b>12,07</b>	<b>23,91</b>	<b>49,05</b>	<b>0,97</b>
Медијана	$M_e$	<b>14,67</b>	<b>11,93</b>	<b>23,70</b>	<b>49,51</b>	<b>0,98</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,21</b>	<b>0,87</b>	<b>1,15</b>	<b>3,68</b>	<b>0,13</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>8,08</b>	<b>7,18</b>	<b>4,79</b>	<b>7,51</b>	<b>13,73</b>

#### 4.1.1.2. Узорци земљишта друге зоне

У табели 10 приказани су распони вредности запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности, са припадајућим мерама централне тенденције и мера дисперзије узорка **друге зоне**. Највећи распон вредности, код узорака **друге зоне**, имају запреминске тежине природно влажног земљишта. Вредности суве запреминске тежине као и специфичне запреминске тежине релативно су ниске, са распонем  $\gamma_d=12,10-15,35 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  и  $\gamma_s=22,52-26,09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ . Порозност и коефицијент порозности варирају у нешто ширем опсегу.

Табела 10 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака друге зоне

		Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности
		$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	n	e
		[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]
Распон	÷	14,25 – 18,82	12,10 – 15,35	22,52 – 26,09	32,35 – 53,64	0,48 – 1,16
Средња вредност	$\bar{X}$	17,26	14,1	24,43	42,17	0,74
Медијана	$M_e$	17,73	14,41	24,23	42,61	0,74
Стандардна девијација	$\sigma$	1,21	0,92	1,23	4,83	0,15
Коефицијент варијације	$K_v$	7,01	6,51	5,05	11,46	20,39

У табели 11 приказане су вредности запреминских тежина, порозности коефицијената порозности узорака земљишта **друге зоне** из **јаруга**. Запреминска тежина природно влажних узорака варира од  $\gamma=14,25 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 7J), што представља најнижу вредност измерену код подскупа узорака **друге зоне**, до  $\gamma=18,78 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 9J). Код сувих запреминских тежина најнижа вредност од  $\gamma_d=12,10 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 6J) такође представља и најнижу вредност код свих вредности подскупа узорака **друге зоне**, док највиша вредност износи  $\gamma_d=15,14 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 2J). Вредности специфичних запреминских тежина узорака варирају у распону од  $\gamma_s=22,53 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 4J) до  $\gamma_s=26,09 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 6J). Вредности параметра порозности имају распон од  $n=36,93\%$  (узорак 2J) до  $n=53,64\%$  (узорак 6J) а коефицијента порозности од  $e=0,59$  до  $e=1,16$ . Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 11 – Вредности запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности узорака из јаруга друге зоне

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	n	e	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1J	17,60	14,77	25,93	43,04	0,76	
2J	18,49	15,14	24,00	36,93	0,59	
3J	16,64	13,63	24,65	44,71	0,81	
4J	17,50	14,14	22,53	37,23	0,59	
5J	17,93	14,61	23,86	38,78	0,63	
6J	15,94	12,10	26,09	53,64	1,16	
7J	14,25	12,42	22,66	45,16	0,82	
8J	16,19	12,82	26,03	50,76	1,03	
9J	18,78	15,08	25,91	41,79	0,72	
10J	18,03	14,16	26,03	45,60	0,84	
11J	16,59	13,58	23,63	42,52	0,74	
12J	18,09	14,75	23,63	37,59	0,60	
13J	18,48	14,80	25,92	42,91	0,75	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>17,27</b>	<b>14,00</b>	<b>24,68</b>	<b>43,13</b>	<b>0,77</b>
Медијана	$M_e$	<b>17,60</b>	<b>14,16</b>	<b>24,65</b>	<b>42,91</b>	<b>0,75</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,29</b>	<b>1,02</b>	<b>1,36</b>	<b>5,05</b>	<b>0,17</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>7,48</b>	<b>7,28</b>	<b>5,52</b>	<b>11,72</b>	<b>21,88</b>

Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорака **друге зоне** из **леве обале** приказане су у табели 12. Распон вредности запреминске тежине природно влажних узорака варира од  $\gamma=14,84 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 7Л) до  $\gamma=18,82 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 12Л), суве запреминске тежине од  $\gamma_d=12,54 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 8Л) до  $\gamma_d=15,35 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 12Л) и специфичне запреминске тежине од  $\gamma_s=22,52 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 5Л) до  $\gamma_s=25,97 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 8Л). Вредности порозности варирају од  $n=32,35\%$  (узорак 5Л) до  $n=51,70\%$  (узорак 8Л) а коефицијента порозности од  $e=0,48$  до  $e=1,07$ . Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 12 – Вредности запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности узорака из леве обале, друге зоне

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	n	e	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1Л	18,37	14,63	/	/	/	
2Л	17,36	14,55	24,31	40,16	0,67	
3Л	16,70	14,19	23,19	38,79	0,63	
4Л	16,16	13,35	24,15	44,72	0,81	
5Л	18,40	15,23	22,52	32,35	0,48	
6Л	17,52	13,87	25,72	46,08	0,85	
7Л	14,84	13,09	22,84	42,69	0,74	
8Л	15,55	12,54	25,97	51,70	1,07	
9Л	18,44	14,76	25,23	41,51	0,71	
10Л	18,28	14,85	25,68	42,17	0,73	
11Л	18,29	14,81	23,85	37,90	0,61	
12Л	18,82	15,35	23,89	35,77	0,56	
13Л	17,93	14,41	25,60	43,69	0,78	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>17,44</b>	<b>14,28</b>	<b>24,41</b>	<b>41,46</b>	<b>0,72</b>
Медијана	$M_e$	<b>17,93</b>	<b>14,55</b>	<b>24,23</b>	<b>41,84</b>	<b>0,72</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,25</b>	<b>0,85</b>	<b>1,21</b>	<b>5,05</b>	<b>0,15</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>7,20</b>	<b>5,92</b>	<b>4,95</b>	<b>12,19</b>	<b>21,33</b>

У табели 13 су приказане вредности запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности узорак из десне обале друге зоне. Распон вредности запреминске тежине природно влажних узорак варира од  $\gamma=15,14 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 5Д) до  $\gamma=18,24 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 13Д). Суве запреминске тежине варирају од минималне  $\gamma_d=12,19 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 6Д) до максималне вредности  $\gamma_d=15,05 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 2Д). Вредности специфичних тежина узорак имају распон од  $\gamma_s=22,70 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 6Д) до  $\gamma_s=25,87 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (узорак 8Д). Вредности порозности варирају од  $n=34,93\%$  (узорак 4Д) до  $n=48,82\%$  (узорак 8Д), док вредности коефицијента порозности варирају од  $e=0,54$  до  $e=0,95$ , што представља најниже вредности скупа испитиваних узорак земљишта. Вредности коефицијента варијације указују на варијацију параметара у дозвољеним границама.

Табела 13 – Вредности запреминских тежина, порозности и коефицијента порозности узорак из десне обале, друге зоне

Ознака узорка	Запреминска тежина			Порозност	Коефицијент порозности	
	$\gamma$	$\gamma_d$	$\gamma_s$	$n$	$e$	
	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ]	[%]	[/]	
1Д	17,73	14,98	23,64	36,65	0,58	
2Д	17,87	15,05	24,76	39,20	0,64	
3Д	15,73	13,43	22,72	40,90	0,69	
4Д	17,83	14,98	23,02	34,93	0,54	
5Д	15,14	12,77	23,63	45,94	0,85	
6Д	15,29	12,19	22,70	46,32	0,86	
7Д	16,06	13,92	24,44	43,04	0,76	
8Д	16,65	13,24	25,87	48,82	0,95	
9Д	17,94	13,89	25,70	45,97	0,85	
10Д	17,38	13,88	25,63	45,87	0,85	
11Д	18,24	14,75	23,70	37,75	0,61	
12Д	18,00	14,94	23,27	35,78	0,56	
13Д	18,24	14,41	25,37	43,19	0,76	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>17,09</b>	<b>14,03</b>	<b>24,19</b>	<b>41,87</b>	<b>0,73</b>
Медијана	$M_e$	<b>17,73</b>	<b>13,92</b>	<b>23,70</b>	<b>43,04</b>	<b>0,76</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>1,15</b>	<b>0,93</b>	<b>1,17</b>	<b>4,64</b>	<b>0,14</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>6,75</b>	<b>6,62</b>	<b>4,83</b>	<b>11,07</b>	<b>18,74</b>

## 4.1.2. Гранулометријска анализа

### 4.1.2.1. Узорци земљишта прве зоне

Распони вредности процентуалног садржаја фракција земљишта узорака **прве зоне** представљени су у табели 14. На основу троугаоног дијаграма за класификацију ситнозрног земљишта, утврђено је да девет узорака припада лакој прашинастој глини (ЛПГ), пет узорака песковитој иловачи (ПИ), четири глиновитој иловачи (ГИ) и један узорак прашинасто глиновитој иловачи (ПГИ).

Табела 14 – Гранулометријски састав земљишта узорака прве зоне

		Глина	Прашина	Песак			
				Прашинаст	Ситан	Средњи	Крупан
				<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,1 mm	0,1 - 0,2 mm
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Распон	÷	16,5 - 31,5	28,5 - 40,00	25,3 - 40,0	13,7 - 0,2	/	/
Средња вредност	$\bar{X}$	24,70	34,80	33,80	6,60	/	/
Медијана	$M_e$	24,60	34,50	34,50	6,50	/	/
Стандардна девијација	$\sigma$	4,30	2,51	3,99	3,79	/	/
Коефицијент варијације	$K_v$	17,40	7,21	11,78	57,01	/	/

На основу обављене анализе узоракa земљишта **прве зоне** из **јаруга** (табела 15) је утврђено да садржај честица глине варира од 16,5% (узорак 4Ј) до 28,0% (узорак 12Ј). Процентуални садржај прашине варира од 31,3% (узорак 7Ј) до 38,8% (узорак 2Ј). Садржај прашинастог песка варира од 25,3% (узорак 1Ј) до 40,0% (узорак 2Ј). Садржај ситног песка варира у опсегу од 1,0% (узорак 2Ј) до 13,7% (узорак 1Ј). Распон процентуалног садржаја укупног песка у обрађеним узорцима је од 39,0% (узорак 1Ј) до 51,7% (узорак 7Ј). Према троугаоном дијаграму за класификацију ситнозрног земљишта, девет узоракa припада лакој прашинастој глини (ЛПГ), пет узоракa песковитој иловачи (ПИ), два узорка глиновитој иловачи (ГИ), један узорак прашинасто глиновитој иловачи (ПГИ) и један узорак песковитој иловачи (ШИ). Вредности коефицијента варијације указују да сви одређивани параметри имају варијацију у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 15 – Резултати гранулометријске анализе узоракa прве зоне из јаруга

Ознака узорка	Глина	Прашина	Песак			Текстурна класа		
			<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	Прашинаст		Укупно 0,02 - 0,2 mm	
					0,02 - 0,1 mm			0,1 - 0,2 mm
1Ј	22,70	38,30	25,30	13,70	39,00	ЛПГ		
2Ј	20,20	38,80	40,00	1,00	41,00	ПИ		
3Ј	19,00	33,30	39,50	8,20	47,70	ГИ		
4Ј	16,50	33,50	40,00	10,00	50,00	ПГИ		
5Ј	22,00	37,00	34,50	6,50	41,00	ЛПГ		
6Ј	22,00	35,00	36,00	7,00	43,00	ЛПГ		
7Ј	17,00	31,30	38,00	13,70	51,70	ГИ		
8Ј	24,50	35,30	29,70	10,50	40,20	ЛПГ		
9Ј	19,80	35,20	35,00	10,00	45,00	ЛПГ		
10Ј	24,10	35,30	32,80	7,80	40,60	ЛПГ		
11Ј	23,00	36,40	35,60	5,00	40,60	ЛПГ		
12Ј	28,00	33,00	28,00	11,00	39,00	ЛПГ		
13Ј	20,80	37,20	33,80	8,20	42,00	ЛПГ		
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>21,51</b>	<b>35,35</b>	<b>34,48</b>	<b>8,66</b>	<b>43,14</b>		
Медијана	$M_e$	<b>22,00</b>	<b>35,30</b>	<b>35,00</b>	<b>8,20</b>	<b>41,00</b>		
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>3,15</b>	<b>2,19</b>	<b>4,61</b>	<b>3,46</b>	<b>4,19</b>		
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>14,63</b>	<b>6,19</b>	<b>13,36</b>	<b>39,98</b>	<b>9,72</b>		



Узорци земљишта **прве зоне** из **леве обале** (табела 16) садрже фракције глине у распону од 18,2% (узорак 7Л) до 31,5% (узорак 13Л). Учешће садржаја прашине варира од 29,2% (узорак 3Л) до 40,0% (узорак 1Л). Прашинасти песак заступљен је у опсегу од 27,8% (узорак 13Л) до 38,3% (узорак 3Л). Учешће ситног песка, као највеће фракције у узорцима земљишта, варира од 0,2% (узорак 11Л) до 13,0% (узорак 7Л). Укупан садржај фракција песка у узорцима варира од 32,8% (узорак 13Л) до 50,0% (узорак 7Л). На основу троугаоног дијаграма за класификацију ситнозрног земљишта утврђено је да девет узорака припада лакој прашинастој глини (ЛПГ), три песковитој иловачи (ПИ) и један узорак глиновитој иловачи (ГИ). Вредности коефицијента варијације указују да сви одређивани параметри имају варијацију у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 16 – Резултати гранулометријске анализе узорака земљишта прве зоне из *леве обале*

Ознака узорка		Глина	Прашина	Песак			Текстурна класа		
				<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,1 mm		0,1 - 0,2 mm	Укупно 0,02 - 0,2 mm
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]			
1Л		22,00	40,00	37,00	1,00	38,00	ПИ		
2Л		27,20	33,80	34,00	5,00	39,00	ЛПГ		
3Л		28,30	29,20	38,30	4,20	42,50	ЛПГ		
4Л		28,60	32,40	34,00	5,00	39,00	ЛПГ		
5Л		24,00	34,00	36,20	5,80	42,00	ЛПГ		
6Л		21,00	34,50	33,50	11,00	44,50	ПИ		
7Л		18,20	31,80	37,00	13,00	50,00	ГИ		
8Л		28,70	34,20	29,10	8,00	37,10	ЛПГ		
9Л		27,00	35,00	30,00	8,00	38,00	ЛПГ		
10Л		24,60	38,40	31,00	6,00	37,00	ЛПГ		
11Л		26,00	37,00	36,80	0,20	37,00	ПИ		
12Л		30,50	36,00	29,50	4,00	33,50	ЛПГ		
13Л		31,50	35,70	27,80	5,00	32,80	ЛПГ		
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>25,97</b>	<b>34,77</b>	<b>33,4</b>	<b>5,86</b>	<b>39,26</b>			
Медијана	$M_e$	<b>27,00</b>	<b>34,50</b>	<b>34,00</b>	<b>5,00</b>	<b>38,00</b>			
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>3,87</b>	<b>2,82</b>	<b>3,56</b>	<b>3,54</b>	<b>4,6</b>			
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>14,92</b>	<b>8,11</b>	<b>10,67</b>	<b>60,45</b>	<b>11,72</b>			

У табели 17 су представљени резултати гранулометријске анализе узоракa земљишта **прве зоне из десне обале**. Учешће фракција глине варира у опсегу од 16,8% (узорак 9Д) до 31,0% (узорак 4Д). Учешће садржаја прашине у узорцима креће се у распону од 28,5% (узорак 4Д) до 38,1% (узорак 1Д). Садржај прашинастог песка заступљен је у распону од 27,2% (узорак 10Д) до 38,0% (узорак 9Д). Садржај ситног песка варира у распону од 1,0% (узорак 5Д) до 12,0% (узорак 9Д). Укупан садржај фракција песка износи, од минималног 32,2% (узорак 10Д), до максималног процентуалног учешћа од 50% (узорак 9Д). Према троугаоном дијаграму, за класификацију ситнозрног земљишта, утврђено је да једанаест узоракa припада лакој прашинастој глини (ЛПГ), један узорак песковитој иловачи (ПИ) и 1 узорак глиновитој иловачи (ГИ). Вредности коефицијента варијације указују да сви одређивани параметри имају варијацију у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 17 – Резултати гранулометријске анализе узоракa земљишта прве зоне из десне обале

Ознака узорка	Глина	Прашина	Песак			Текстурна класа		
			<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,1 mm		0,1 - 0,2 mm	Укупно 0,02 - 0,2 mm
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]			
1J	22,20	38,10	28,20	11,50	39,70	ЛПГ		
2J	28,70	34,30	31,00	6,00	37,00	ЛПГ		
3J	26,80	33,00	36,70	3,50	40,20	ЛПГ		
4J	31,00	28,50	36,50	4,00	40,50	ЛПГ		
5J	30,70	33,30	35,00	1,00	36,00	ЛПГ		
6J	27,90	33,10	31,00	8,00	39,00	ЛПГ		
7J	26,50	34,50	38,00	1,00	39,00	ЛПГ		
8J	25,30	33,70	34,00	7,00	41,00	ЛПГ		
9J	16,80	33,20	38,00	12,00	50,00	ГИ		
10J	30,00	37,80	27,20	5,00	32,20	ЛПГ		
11J	28,50	34,50	35,20	1,80	37,00	ЛПГ		
12J	30,00	33,50	28,50	8,00	36,50	ЛПГ		
13J	23,10	37,70	37,70	1,50	39,20	ПИ		
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>26,73</b>	<b>34,25</b>	<b>33,62</b>	<b>5,41</b>	<b>39,02</b>		
Медијана	$M_e$	<b>27,90</b>	<b>33,70</b>	<b>35,00</b>	<b>5,00</b>	<b>39,00</b>		
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,06</b>	<b>2,55</b>	<b>3,96</b>	<b>3,76</b>	<b>4,07</b>		
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>15,20</b>	<b>7,46</b>	<b>11,77</b>	<b>69,57</b>	<b>10,43</b>		

#### 4.1.2.2. Узорци земљишта друге зоне

Распони процентуалног учешћа фракција земљишта код узорака **друге зоне** представљени су у табели 18. Према троугаоном дијаграму за класификацију ситнозрног земљишта, утврђено је да тридесе три узорака припада лакој прашинастој глини (ЛПГ), три узорка глиновитој иловачи (ГИ), један песковитој иловачи (ПИ) и један прашинасто глиновитој иловачи (ПГИ).

Табела 18 – Гранулометријски састав земљишта узорака друге зоне

		Глина	Прашина	Песак			
				Прашинаст	Ситан	Средњи	Крупан
				<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	0,02 - 0,1 mm	0,1 - 0,2 mm
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
Распон	÷	15,9 – 37,9	28,0 – 40,0	25,4 – 44,0	0,2 – 13,0	/	/
Средња вредност	$\bar{X}$	27,00	35,20	32,30	5,60	/	/
Медијана	$M_e$	27,60	35,30	31,45	5,00	/	/
Стандардна девијација	$\sigma$	4,76	2,78	4,20	3,38	/	/
Коефицијент варијације	$K_v$	17,66	7,92	13,01	60,71	/	/

На основу анализе резултата испитивања гранулометријског састава узоракa земљишта **друге зоне из јаруга** (табела 19), утврђен је распон садржаја глине од 18,4% (узорак 7J) до 30,0%(узорак 8J). Садржај прашине варира од 28,0% (узорак 1J) до 38,7% (узорак 13J). Садржај прашинастог песка варира од 26,8% (узорак 9J) до 44,0% (узорак 7J). Садржај ситног песка варира у опсегу од 4,5% (узорак 8J) до 13% (узорак 13J). Садржај фракција укупног песка варира од 36,7% (узорак 12J) до 49,0% (узорак 3J). На основу троугаоног дијаграма за класификацију ситнозрног земљишта, утврђено је да једанаест узоракa припада лакој прашинастој глини (ЛПГ) и два узорка глиновитој иловачи (ГИ). Вредности коефицијента варијације одређиваних параметара крећу се у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 19 – Резултати гранулометријске анализа узоракa земљишта друге зоне из јаруга

Ознака узорка	Глина	Прашина	Песак			Текстурна класа
			Прашинаст	Ситан	Укупно	
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1J	25,00	28,00	36,00	11,00	47,00	ЛПГ
2J	22,50	37,50	33,60	6,40	40,00	ЛПГ
3J	19,90	31,10	36,00	13,00	49,00	ГИ
4J	21,00	38,00	36,00	5,00	41,00	ЛПГ
5J	25,00	34,50	31,50	9,00	40,50	ЛПГ
6J	21,70	32,70	36,20	9,40	45,60	ЛПГ
7J	18,40	32,60	44,00	5,00	49,00	ГИ
8J	30,00	33,00	32,50	4,50	37,00	ЛПГ
9J	23,60	38,60	26,80	11,00	37,80	ЛПГ
10J	25,20	35,80	29,00	10,00	39,00	ЛПГ
11J	28,50	33,50	33,00	5,00	38,00	ЛПГ
12J	27,80	35,50	29,20	7,50	36,70	ЛПГ
13J	23,80	38,70	30,50	7,00	37,50	ЛПГ
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>24,03</b>	<b>34,58</b>	<b>33,41</b>	<b>7,98</b>	<b>41,39</b>
Медијана	$M_e$	<b>23,80</b>	<b>34,50</b>	<b>33,00</b>	<b>7,50</b>	<b>40,00</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>3,40</b>	<b>3,19</b>	<b>4,42</b>	<b>2,78</b>	<b>4,60</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>14,16</b>	<b>9,23</b>	<b>13,22</b>	<b>34,87</b>	<b>11,12</b>

У табели 20 представљени су резултати гранулометријске анализе узоракa земљишта **друге зоне са леве обале**. Садржај фракције глине варира у распону од 18,0% (узорак 13Л) до 35,5% (узорак 2Л). Учешће прашине у узорцима варира од 31,9% (узорак 5Л) до 39,8% (узорак 13Л). Фракције прашинастог песка учествују у гранулометријском саставу узоракa у опсегу од 25,4% (узорак 2Л) до 38,0% (узорак 7Л). Садржај ситног песка варира од 1,6% (узорак 2Л) до 9,0% (узорак 6Л). Укупно учешће песка је у опсегу од 27,0% (узорак 2Л) до 42,2% (узорак 13Л). На основу класификације ситнозрног земљишта, према троугаоном дијаграму, утврђено је да једанаест узоракa припада лакој прашинастој глини (ЛПГ) а један узорак прашинасто глиновитој иловачи (ПГИ). Вредности коефицијента варијације указују да сви одређивани параметри имају варијацију у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 20 – Резултати гранулометријске анализе узоракa земљишта друге зоне из леве обале

Ознака узорка		Глина <0,002 mm [%]	Прашина 0,002 - 0,02 mm [%]	Песак			Текстурна класа
				Прашинаст 0,02 - 0,1 mm [%]	Ситан 0,1 - 0,2 mm [%]	Укупно 0,02 - 0,2 mm [%]	
1Л	/	/	/	/	/	/	
2Л		35,50	37,50	25,40	1,60	27,00	ЛПГ
3Л		26,50	35,50	36,20	1,80	38,00	ЛПГ
4Л		26,00	33,70	32,30	8,00	40,30	ЛПГ
5Л		32,00	31,90	31,10	5,00	36,10	ЛПГ
6Л		27,40	32,60	31,00	9,00	40,00	ЛПГ
7Л		27,40	32,60	38,00	2,00	40,00	ЛПГ
8Л		27,90	34,40	30,70	7,00	37,70	ЛПГ
9Л		26,50	38,50	30,50	4,50	35,00	ЛПГ
10Л		28,80	36,20	30,00	5,00	35,00	ЛПГ
11Л		29,50	38,50	29,50	2,50	32,00	ЛПГ
12Л		30,00	37,00	27,00	6,00	33,00	ЛПГ
13Л		18,00	39,80	36,20	6,00	42,20	ПГИ
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>27,96</b>	<b>35,68</b>	<b>31,49</b>	<b>4,87</b>	<b>36,36</b>	
Медијана	$M_e$	<b>27,65</b>	<b>35,85</b>	<b>30,85</b>	<b>5,00</b>	<b>36,90</b>	
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,14</b>	<b>2,65</b>	<b>3,73</b>	<b>2,49</b>	<b>4,29</b>	
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>14,80</b>	<b>7,42</b>	<b>11,84</b>	<b>51,12</b>	<b>11,79</b>	

У табели 21 представљени су резултати гранулометријске анализа узорак земљишта **друге зоне из десне обале**. Узорци се одликују садржајем честица глине у распону од 15,9% (узорак 9Д) до 37,9% (узорак 12Д). Процентуални садржај фракције прашине варира од 31,2% (узорак 3Д) до 40,0% (узорак 11Д). Прашинасти песак има учешће у гранулометријском саставу од 26,0% (узорак 2Д) до 39,3% (узорак 9Д). Садржај ситног песка варира у распону од 0,2% (узорак 13Д) до 11,0% (узорак 9Д). Укупан садржај песка варира од 28,0% (узорак 2Д) до 50,3% (узорак 9Д). Према троугаоном дијаграму за класификацију ситнозрног земљишта узорци друге зоне из десне обале припадају следећим групама: једанаест узорак лакој прашинастој глини (ЛПГ), један узорак песковитој иловачи (ПИ) и један узорак глиновитој иловачи (ГИ). Вредности коефицијента варијације указују да сви одређивани параметри имају варијацију у дозвољеним границама, сем код процентуалног учешћа ситног песка, где варијација превазилази 30%.

Табела 21 – Резултати гранулометријске анализа узорак земљишта друге зоне из десне обале

Ознака узорка		Глина	Прашина	Песак			Текстурна класа		
				<0,002 mm	0,002 - 0,02 mm	Прашинаст		Ситан	Укупно
						0,02 - 0,1 mm		0,1 - 0,2 mm	0,02 - 0,2 mm
		[%]	[%]	[%]	[%]	[%]			
1J		30,00	37,00	29,50	3,50	33,00	ЛПГ		
2J		37,90	34,10	26,00	2,00	28,00	ЛПГ		
3J		27,80	31,20	36,50	4,50	41,00	ЛПГ		
4J		29,80	32,30	33,50	4,40	37,90	ЛПГ		
5J		32,50	32,50	30,00	5,00	35,00	ЛПГ		
6J		28,00	36,90	34,10	1,00	35,10	ЛПГ		
7J		29,00	36,80	33,20	1,00	34,20	ЛПГ		
8J		32,50	35,10	31,40	1,00	32,40	ЛПГ		
9J		15,90	33,80	39,30	11,00	50,30	ГИ		
10J		26,10	38,10	26,00	9,80	35,80	ЛПГ		
11J		30,00	40,00	29,00	1,00	30,00	ЛПГ		
12J		33,50	33,70	27,80	5,00	32,80	ЛПГ		
13J		23,90	36,80	39,10	0,20	39,30	ПИ		
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>28,99</b>	<b>35,25</b>	<b>31,95</b>	<b>3,80</b>	<b>35,75</b>			
Медијана	$M_e$	<b>29,80</b>	<b>35,10</b>	<b>31,40</b>	<b>3,50</b>	<b>35,00</b>			
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>5,28</b>	<b>2,58</b>	<b>4,48</b>	<b>3,41</b>	<b>5,63</b>			
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>18,23</b>	<b>7,31</b>	<b>14,03</b>	<b>89,63</b>	<b>15,75</b>			

### 4.1.3. Конзистентна стања земљишта

#### 4.1.3.1. Узорци земљишта прве зоне

У табели 22 представљени су распони параметара конзистентних стања испитиваних узорака земљишта **прве зоне**. На основу класификације према Казаграндеовом дијаграму пластичности, узорци су подељени у три групе: групи неорганске глине средње пластичности (CI) припада 27 узорака, 7 узорака групи органске глине мале пластичности (CL) и 5 узорака групи неорганске глине високе пластичности (CH).

Табела 22 – Конзистентна стања земљишта узорака прве зоне

		Граница течења	Граница пластичности	Индекс течења	Индекс пластичности	Индекс конзистенције
		$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$
		[%]	[%]	[/]	[/]	[/]
Распон	÷	32,9 – 53,0	16,7 - 25,3	-0,486 – 0,683	10,50 – 32,85	0,3 – 1,5
Средња вредност	$\bar{X}$	42,49	20,84	0,21	21,67	0,79
Медијана	$M_e$	42,49	20,84	0,21	21,67	0,79
Стандардна девијација	$\sigma$	6,43	2,18	0,28	5,78	0,28
Коефицијент варијације	$K_v$	15,12	10,46	135,33	26,70	35,71

Вредности параметара конзистентних стања узорак земљишта **прве зоне** из **јаруга** представљени су у табели 23. Вредности границе течења варирају од 38,8% (узорак 12Ј) до 51,74% (узорак 4Ј). Граница пластичности је у опсегу од 16,74% (узорак 6Ј) до 25,31% (узорак 7Ј). Индекс течења варира од -0,092 (узорак 1Ј) до 0,683 (узорак 6Ј). Вредности индекса пластичности осцилирају између 18,50 (узорак 12Ј) до 30,26 (узорак 6Ј). Индекс конзистенције има опсег од 0,32 (узорак 6Ј) до 1,09 (узорак 1Ј). Према дијаграму пластичности, утврђено је да дванаест узорак припада групи неорганске глине средње пластичности (СИ) и један узорак неорганској глини високе пластичности (СН). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности указују да се налазе у дозвољеним границама.

Табела 23 – Конзистентна стања узорак земљишта прве зоне из јаруга

Ознака узорка	Граница течења		Граница пластичности		Индекс течења	Индекс пластичности	Индекс конзистенције	Групни симбол
	$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$			
	[%]	[%]	[/]	[/]	[/]			
1Ј	49,32	22,22	-0,09	27,10	1,09	СИ		
2Ј	45,08	23,31	0,36	21,77	0,64	СИ		
3Ј	40,01	21,33	0,26	18,69	0,75	СИ		
4Ј	51,74	23,49	0,55	28,25	0,46	СН		
5Ј	47,93	18,69	0,56	29,24	0,44	СИ		
6Ј	47,00	16,74	0,68	30,26	0,32	СИ		
7Ј	49,82	25,31	-0,03	24,51	1,03	СИ		
8Ј	47,61	25,18	0,60	22,43	0,40	СИ		
9Ј	45,55	18,65	0,55	26,91	0,45	СИ		
10Ј	48,17	23,49	0,24	24,68	0,76	СИ		
11Ј	43,82	22,90	0,42	20,93	0,58	СИ		
12Ј	38,80	20,31	0,27	18,50	0,73	СИ		
13Ј	47,58	20,31	0,26	27,28	0,74	СИ		
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>46,34</b>	<b>21,69</b>	<b>0,36</b>	<b>24,66</b>	<b>0,64</b>		
Медијана	$M_e$	<b>47,58</b>	<b>22,22</b>	<b>0,36</b>	<b>24,68</b>	<b>0,64</b>		
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>3,71</b>	<b>2,63</b>	<b>0,24</b>	<b>3,92</b>	<b>0,24</b>		
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>8,00</b>	<b>12,11</b>	<b>66,42</b>	<b>15,88</b>	<b>36,84</b>		



У табели 24 представљене су вредности параметра конзистентних стања узорка земљишта **прве зоне из леве обале**. Вредности границе течења варирају од 33,31% (узорак 5Л) до 52,86% (узорак 9Л). Граница пластичности варира од 17,77% (узорак 2л) до 24,65% (узорак 10л). Индекс течења варира од -0,41 (узорак 5Л) до 0,49 (узорак 6Л). Вредности индекса пластичности варирају од 14,12 (узорак 5Л) до 30,27 (узорак 13Л). Индекс конзистенције варира од 0,51 (узорак 6Л) до 1,41 (узорак 5Л). На основу дијаграма пластичности утврђено је да седам узорка припада групи неорганске глине средње пластичности (СI), три узорка групи органске глине мале пластичности (СL), три узорка неорганској глини високе пластичности (СН). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности се налазе у дозвољеним границама.

Табела 24 – Конзистентна стања узорка земљишта прве зоне из леве обале

Ознака узорка	Граница	Граница	Индекс	Индекс	Индекс	Групи симбол
	течења	пластичности	течења	пластичности	конзистенције	
	$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$	
	[%]	[%]	[/]	[/]	[/]	
1Л	44,91	19,05	0,26	25,86	0,74	СI
2Л	36,90	17,77	0,20	19,13	0,80	СI
3Л	34,75	20,03	-0,20	14,73	1,20	СL
4Л	34,88	19,26	-0,12	15,62	1,12	СL
5Л	33,31	19,19	-0,41	14,12	1,41	СL
6Л	36,06	18,21	0,49	17,84	0,51	СI
7Л	39,01	20,58	0,03	18,43	0,97	СI
8Л	40,31	19,96	0,47	20,35	0,53	СI
9Л	52,86	21,93	0,35	30,93	0,65	СН
10Л	50,32	24,65	-0,03	25,67	1,03	СН
11Л	40,53	19,57	0,28	20,96	0,72	СI
12Л	36,78	20,18	0,38	16,60	0,62	СI
13Л	52,07	21,80	0,09	30,27	0,91	СН
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>40,98</b>	<b>20,17</b>	<b>0,14</b>	<b>20,81</b>	<b>0,86</b>
Медијана	$M_e$	<b>39,01</b>	<b>19,96</b>	<b>0,20</b>	<b>19,13</b>	<b>0,80</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>6,86</b>	<b>1,80</b>	<b>0,27</b>	<b>5,66</b>	<b>0,27</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>16,74</b>	<b>8,95</b>	<b>198,50</b>	<b>27,22</b>	<b>31,90</b>

Вредности параметара конзистентних стања узорка земљишта **прве зоне** из **десне обале** представљене су у табели 25. Граница течења варира од 32,94% (узорак 2Д) до 53,04% (узорак 13Д). Вредности границе пластичности осцилирају од 17,62% (узорак 5Д) до 23,86% (узорак 10Д). Индекс течења варира од -0,49 (узорак 2Д) до 0,48 (узорак 11Д). Индекс пластичности варира од 10,51 (узорак 2Д) до 32,85 (узорак 13Д). Индекс конзистенције варира од 0,52 (узорак 11Д) до 1,49 (узорак 2Д). На основу дијаграма пластичности констатовано је да осам узорка припада групи неорганске глине средње пластичности (СI), четири узорка групи неорганске глине мале пластичности (СL) и један узорак групи неорганске глине високе пластичности (СН). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности се налазе у дозвољеним границама.

Табела 25 – Конзистентна стања узорка земљишта прве зоне из десне обале

Ознака узорка	Граница	Граница	Индекс	Индекс	Индекс	Групни симбол
	течења	пластичности	течења	пластичности	конзистенције	
	$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$	
	[%]	[%]	[/]	[/]	[/]	
1Д	47,22	19,05	-0,03	28,16	1,03	СI
2Д	32,94	22,43	-0,49	10,51	1,49	СL
3Д	34,01	18,48	0,32	15,53	0,68	СL
4Д	33,50	18,08	0,11	15,42	0,89	СL
5Д	35,75	17,62	0,23	18,13	0,77	СI
6Д	34,71	21,40	0,30	13,31	0,70	СL
7Д	38,62	21,31	-0,33	17,31	1,33	СI
8Д	39,81	20,08	0,35	19,73	0,65	СI
9Д	47,50	21,50	0,30	26,00	0,70	СI
10Д	48,68	23,86	0,17	24,82	0,83	СI
11Д	35,87	22,23	0,48	13,64	0,52	СI
12Д	40,51	22,00	-0,11	18,51	1,11	СI
13Д	53,04	20,55	0,39	32,85	0,61	СН
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>40,17</b>	<b>20,66</b>	<b>0,13</b>	<b>19,53</b>	<b>0,87</b>
Медијана	$M_e$	<b>38,62</b>	<b>21,31</b>	<b>0,23</b>	<b>18,13</b>	<b>0,77</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>6,75</b>	<b>1,89</b>	<b>0,29</b>	<b>6,57</b>	<b>0,29</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>16,80</b>	<b>9,15</b>	<b>222,99</b>	<b>33,62</b>	<b>33,64</b>

#### 4.1.3.2. Узорци земљишта друге зоне

Распони вредности параметара конзистентних стања узорака земљишта **друге зоне** приказани су у табели 26. На основу дијаграма пластичности анализирани узорци се могу класификовати у три групе: најзаступљенија је група неорганске глине средње пластичности (CI), којој припада тридесет два узорака; три узорка припадају групи неорганске глине мале пластичности (CL); три узорка припадају групи неорганске глине високе пластичности (CH).

Табела 26 – Конзистентна стања земљишта узорака друге зоне

		Граница течења	Граница пластичности	Индекс течења	Индекс пластичности	Индекс конзистенције
		w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>
		[%]	[%]	[/]	[/]	[/]
Распон	÷	32,3 – 57,3	13,8 – 24,6	-0,408 – 0,643	14,6 – 35,5	0,37 – 1,41
Средња вредност	$\bar{X}$	41,82	18,69	0,16	23,13	0,85
Медијана	M <sub>e</sub>	41,66	18,45	0,18	22,92	0,82
Стандардна девијација	σ	5,68	1,94	0,19	5,27	0,19
Коефицијент варијације	K <sub>v</sub>	13,58	10,38	123,59	22,77	22,67

У табели 27 су представљене вредности параметара конзистентног стања узорка земљишта **друге зоне** из **јаруга**. Граница течења варира од 32,30% (узорак 7J) до 47,83% (узорак 13J). Граница пластичности варира од 17,40% (узорак 9J) до 21,35% (узорак 8J). Вредности индекса течења варирају од -0,21 (узорак 7J) до 0,63 (узорак 6J). Индекс пластичности варира од 14,61 (узорак 7J) до 30,29 (узорак 9J). Индекс конзистенције варира од 0,37 (узорак 6J) до 1,21 (узорак 7J). На основу дијаграма пластичности, утврђено је да дванаест узорка припада групи неорганске глине средње пластичности (CI) и један узорак групи неорганске глине мале пластичности (CL). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности се налазе у дозвољеним границама.

Табела 27 – Конзистентна стања узорка земљишта друге зоне из јаруга

Ознака узорка		Граница	Граница	Индекс	Индекс	Индекс	Групни симбол
		течења	пластичности	течења	пластичности	конзистенције	
		$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$	
		[%]	[%]	[/]	[/]	[/]	
1J		44,69	20,64	-0,06	24,04	1,06	CI
2J		43,21	19,99	0,10	23,21	0,90	CI
3J		37,00	19,56	0,16	17,44	0,85	CI
4J		37,08	18,26	0,29	18,82	0,71	CI
5J		43,25	17,95	0,19	25,31	0,81	CI
6J		39,09	18,85	0,63	20,25	0,37	CI
7J		32,30	17,69	-0,21	14,61	1,21	CL
8J		44,31	21,35	0,22	22,96	0,78	CI
9J		47,69	17,40	0,24	30,29	0,77	CI
10J		43,29	20,00	0,32	23,29	0,68	CI
11J		42,23	20,36	0,08	21,87	0,92	CI
12J		40,25	18,43	0,19	21,83	0,81	CI
13J		47,83	20,62	0,16	27,22	0,84	CI
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>41,71</b>	<b>19,32</b>	<b>0,18</b>	<b>22,40</b>	<b>0,82</b>	
Медијана	$M_c$	<b>43,21</b>	<b>19,56</b>	<b>0,19</b>	<b>22,96</b>	<b>0,81</b>	
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,45</b>	<b>1,29</b>	<b>0,20</b>	<b>4,10</b>	<b>0,20</b>	
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>10,66</b>	<b>6,68</b>	<b>111,27</b>	<b>18,31</b>	<b>23,95</b>	

Вредности параметара конзистентних стања узорка земљишта **друге зоне** из **леве обале**, су приказани у табели 28. Граница течења варира од 34,35% (узорак 4Л) до 57,30% (узорак 13Л). Вредности границе течења варирају од 16,37% (узорак 3Л) до 24,62% (узорак 6Л). Индекс течења варира од -0,41 (узорак 7Л) до 0,36 (узорак 8Л). Индекс пластичности варира од 15,95 (узорак 6Л) до 35,54 (узорак 13Л). Индекс конзистенције варира од 0,64 (узорак 8Л) до 1,41 (узорак 7Л). На основу класификације земљишта према дијаграму пластичности, утврђено је да девет узорка припада групи неорганске глине средње пластичности (СI), два узорка групи неорганске глине високе пластичности (СН) и један узорак групи неорганске глине мале пластичности (СL). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности се налазе у дозвољеним границама.

Табела 28 – Конзистентна стања површинских узорка земљишта **друге зоне** из **леве обале**

Ознака узорка	Граница	Граница	Индекс	Индекс	Индекс	Групи симбол
	течења	пластичности	течења	пластичности	конзистенције	
	$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$	
	[%]	[%]	[/]	[/]	[/]	
1Л	/	/	/	/	/	/
2Л	54,56	19,15	0,01	35,40	0,99	СН
3Л	36,68	16,37	0,06	20,31	0,94	СI
4Л	34,35	16,94	0,24	17,41	0,76	СL
5Л	35,44	17,97	0,16	17,48	0,84	СI
6Л	40,57	24,62	0,11	15,95	0,89	СI
7Л	35,91	19,90	-0,41	16,02	1,41	СI
8Л	35,55	17,53	0,36	18,02	0,64	СI
9Л	47,17	18,71	0,22	28,46	0,78	СI
10Л	46,26	16,78	0,22	29,48	0,79	СI
11Л	42,45	18,18	0,22	24,27	0,78	СI
12Л	43,59	18,24	0,17	25,36	0,83	СI
13Л	57,30	21,76	0,07	35,54	0,93	СН
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>42,49</b>	<b>18,85</b>	<b>0,12</b>	<b>23,64</b>	<b>0,88</b>
Медијана	$M_e$	<b>41,51</b>	<b>18,21</b>	<b>0,17</b>	<b>22,29</b>	<b>0,83</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>7,67</b>	<b>2,34</b>	<b>0,19</b>	<b>7,24</b>	<b>0,19</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>18,05</b>	<b>12,43</b>	<b>160,68</b>	<b>30,64</b>	<b>21,75</b>

У табели 29 приказане су вредности параметара конзистентних стања узорка земљишта **друге зоне из десне обале**. Вредности границе течења варирају од 33,80% (узорак 6Д) до 54,00% (узорак 13Д). Граница пластичности варира од 13,75% (узорак 12Д) до 20,61% (узорак 13Д). Индекс течења варира од -0,16 (узорак 7Д) до 0,48 (узорак 6Д). Вредности индекса пластичности варирају од 16,09 (узорак 6Д) до 33,40 (узорак 13Д). Индекс конзистенције варира од 0,52 (узорак 6Д) до 1,16 (узора 7Д). На основу дијаграма пластичности утврђено је да једанаест узорка припада групи неорганске глине средње пластичности (CI), један узорак групи неорганске глине мале пластичности (CL) и један узорак групи неорганске глине високе пластичности (CH). Вредности коефицијената варијације параметара граница течења и граница пластичности се налазе у дозвољеним границама.

Табела 29 – Конзистентна стања узорка земљишта друге зоне из десне обале

Ознака узорка	Граница		Индекс	Индекс	Индекс	Групни симбол
	течења	пластичности	течења	пластичности	конзистенције	
	$w_L$	$w_p$	$I_L$	$I_p$	$I_c$	
	[%]	[%]	[/]	[/]	[/]	
1Д	43,37	18,14	-0,03	25,23	1,03	CI
2Д	44,53	16,17	0,10	28,36	0,90	CI
3Д	36,40	19,05	-0,13	17,34	1,13	CI
4Д	39,26	15,69	0,14	23,57	0,86	CI
5Д	39,02	16,46	0,09	22,56	0,91	CI
6Д	33,80	17,71	0,48	16,09	0,52	CL
7Д	39,80	18,75	-0,16	21,06	1,16	CI
8Д	39,29	18,33	0,36	20,97	0,64	CI
9Д	42,25	19,38	0,43	22,87	0,57	CI
10Д	45,62	20,44	0,19	25,18	0,81	CI
11Д	41,09	18,46	0,23	22,63	0,77	CI
12Д	38,52	13,75	0,27	24,77	0,73	CI
13Д	54,00	20,61	0,18	33,40	0,82	CH
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>41,30</b>	<b>17,92</b>	<b>0,17</b>	<b>23,39</b>	<b>0,83</b>
Медијана	$M_e$	<b>39,80</b>	<b>18,33</b>	<b>0,18</b>	<b>22,87</b>	<b>0,82</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,99</b>	<b>1,95</b>	<b>0,20</b>	<b>4,44</b>	<b>0,20</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>12,09</b>	<b>10,90</b>	<b>118,61</b>	<b>18,97</b>	<b>23,59</b>

#### 4.1.4. Индекс активности глина

##### 4.1.4.1. Узорци земљишта прве зоне

У табели 30 представљене су вредности индекса активности глина узорака **прве зоне** група **лева обала**, **јаруга** и **десна обала**. Анализа је извршена на основу табела 10, 11, 12, 18, 19 и 20. Код узорка **леве обале** вредности индекса активности глина се крећу у опсегу од  $A=0,52$  (узорак 3Л) до  $A=1,18$  (узорак 1Л). Вредности индекса активности глина код узорака из **јаруга** крећу се у опсегу  $A=0,66$  (узорак 12Ј) до  $A=1,71$  (узорак 4Ј). Код узорака **десне обале** вредности индекса активности глина варирају од  $A=0,37$  (узорак 2Д) до  $A=1,55$  (узорак 9Д).

Табела 30 – Вредности индекса активности глина узорака прве зоне

Број профила		Лева обала	Јаруга	Десна обала
		[/]	[/]	[/]
1		1,18	1,19	1,27
2		0,70	1,08	0,37
3		0,52	0,98	0,58
4		0,55	1,71	0,50
5		0,59	1,33	0,59
6		0,85	1,38	0,48
7		1,01	1,44	0,65
8		0,71	0,92	0,78
9		1,15	1,36	1,55
10		1,04	1,02	0,83
11		0,81	0,91	0,48
12		0,54	0,66	0,62
13		0,96	1,31	1,42
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>0,82</b>	<b>1,18</b>	<b>0,78</b>
Медијана	$M_e$	<b>0,81</b>	<b>1,19</b>	<b>0,62</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>0,23</b>	<b>0,28</b>	<b>0,39</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>28,76</b>	<b>23,88</b>	<b>49,75</b>

Вредности коефицијента варијације параметра индекс активности глина (табела 30), указује да је код узорака из **леве обале** и узорака из **јаруга** варијација у дозвољеним границама. Док је код групе узорака из **десне обале** коефицијент варијације преко 30% што указује на систематски утицај неопаженог фактора.

#### 4.1.4.2. Узорци земљишта друге зоне

У табели 31 представљене су вредности индекса активности глина узорака **друге зоне** група **лева обала**, **јаруга** и **десна обала**. Анализа је извршена на основу табела 14, 15, 16, 22, 23 и 24. Вредности индекса активности глина узорака са **леве обале** варирају од  $A=0,55$  (узорак 5Л) до  $A=1,97$  (узорак 13Л). Група узорака земљишта из **јаруга** имају вредност индекса активности глине који варира од  $A=0,77$  (узорак 8Ј) до  $A=1,28$  (узорак 9Ј). Вредности индекса активности глина узорака са **десне обале** варирају од  $A=0,57$  (узорак 6Д) до  $A=1,44$  (узорак 9Д).

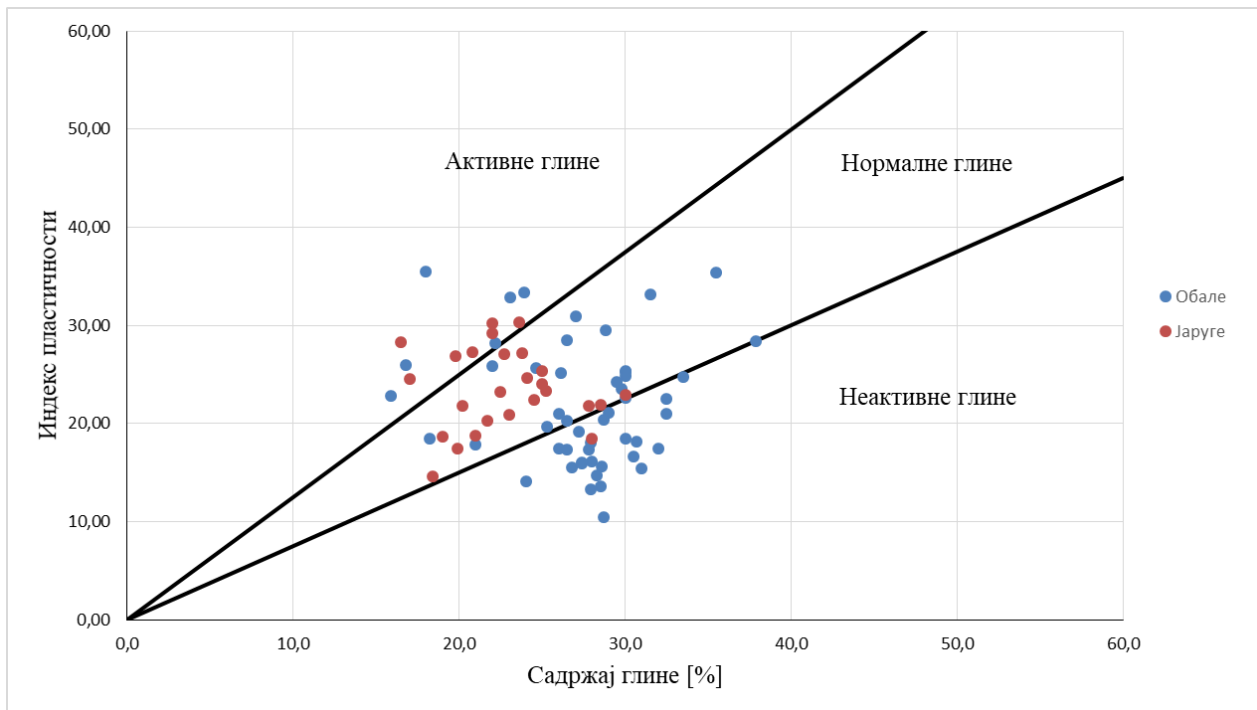
Табела 31 – Вредности индекса активности глина узорака друге зоне

Број профила	Лева обала			Јаруга			Десна обала		
		[/]			[/]			[/]	
1		/			0,96			0,84	
2		1,00			1,03			0,75	
3		0,77			0,88			0,62	
4		0,67			0,90			0,79	
5		0,55			1,01			0,69	
6		0,58			0,93			0,57	
7		0,58			0,79			0,73	
8		0,65			0,77			0,65	
9		1,07			1,28			1,44	
10		1,02			0,92			0,96	
11		0,82			0,77			0,75	
12		0,85			0,79			0,74	
13		1,97			1,14			1,40	
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>0,88</b>			<b>0,94</b>			<b>0,84</b>	
Медијана	$M_e$	<b>0,79</b>			<b>0,92</b>			<b>0,75</b>	
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>0,39</b>			<b>0,15</b>			<b>0,27</b>	
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>44,44</b>			<b>16,46</b>			<b>32,58</b>	

Код узорака **друге зоне** коефицијент варијације (табела 31), за вредности индекса активности глине, показује да су варијације у дозвољеним границама код групе узорака **јаруга**, а да групе узорака **лева обала** и **десна обала** имају коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај неопаженог фактора.



На слици 34 представљен је индекс активности глина свих анализираних узорака одвојен у две групе узорака **обале**, који чине скуп узорака са **леве обале** и **десне обале**, и **јаруга**. Анализа је извршена на основу података процентуалног садржаја глине представљених у табелама 15, 16, 17, 19, 20, 21 и вредности индекса пластичности из табела 23, 24, 25, 27, 28, 29.



Слика 34 – Вредности индекс активности глина

## 4.2. МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ ЗЕМЉИШТА

### 4.2.1. Механички параметри узорака прве зоне

Распони вредности тренутне влажности земљишта ( $W$ ), чврстоћа земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпора при продору игле ( $R$ ) узорака **прве зоне** представљени су у табели 32.

Табела 32 – Вредности тренутне влажности земљишта, чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака прве зоне

		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		$W$	$\tau$	$R$
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
Распон	÷	13,39 – 38,39	11,58 – 97,86	159,36 – 419,72
Средња вредност	$\bar{X}$	25,99	51,66	292,15
Медијана	$M_e$	25,85	48,26	283,39
Стандардна девијација	$\sigma$	6,41	19,12	68,00
Коефицијент варијације	$K_v$	24,66	37,01	23,28

У табели 33 представљени су параметри отпорних карактеристика земљишта, чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле са тренутном влажношћу узорака **прве зоне** из **јаруга**. Чврстоћа земљишта на смицање варира од  $\tau=30,03$  kN·m<sup>-2</sup> (узорак 8J) до  $\tau=96,25$  kN·m<sup>-2</sup>. Максимална вредност чврстоће земљишта на смицање забележена је при влажности од  $W=19,74\%$ , што представља најнижу вредност влажности (узорак 1J). Отпор при продору конуса има распон од минималне  $R=190,25$  kN·m<sup>-2</sup> (узорак 9J) до максималне вредности  $R=373,63$  kN·m<sup>-2</sup>, при највећој влажности забележеној у овој групи узорака (узорак 11J). Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док чврстоћа земљишта на смицање има коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај непаженог фактора.

Табела 33 – Вредности параметара отпорности земљишта узорака прве зоне из јаруге

Ознака узорка		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1J		19,74	96,25	343,23
2J		31,23	43,17	230,46
3J		26,09	55,05	239,04
4J		38,89	37,54	344,46
5J		35,06	52,91	208,39
6J		37,41	60,27	348,14
7J		24,63	58,45	300,33
8J		38,70	30,03	236,59
9J		33,41	41,11	190,25
10J		29,50	67,92	305,23
11J		31,73	42,90	373,63
12J		25,30	67,92	326,07
13J		27,48	72,93	272,62
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>30,71</b>	<b>55,88</b>	<b>286,03</b>
Медијана	$M_e$	<b>31,23</b>	<b>55,05</b>	<b>300,33</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>5,94</b>	<b>17,79</b>	<b>60,22</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>19,34</b>	<b>31,84</b>	<b>21,01</b>

Параметри чврстоће земљишта на смицање узорака **прве зоне** из **леве обале** приказани су у табели 34. Вредности чврстоће земљишта на смицање варирају од  $\tau=11,58 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $\tau=97,86 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Отпор земљишта при продору игле варира у распону од  $R=159,36 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $R=413,11 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Минимуми вредности чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле јављају се код истог узорка (8J), при тренутној влажности од  $W=29,61\%$ . Најнижа вредност чврстоћа земљишта на смицање у групи узорака представља и најнижу вредност у целом скупу измерених вредности. Максимална вредност чврстоће земљишта на смицање измерена је при тренутној влажности од  $W=25,85\%$  (узорак 1J), док је максимална вредност отпора при продору игле забележена при тренутној влажности од  $W=17,34\%$  (узорак 4J). Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док параметар чврстоћа земљишта на смицање има коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај неопаженог фактора.

Табела 34 – Вредности параметара отпорности земљишта узорака прве зоне из леве обале

Ознака узорка		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1Л		25,85	97,86	397,17
2Л		21,55	26,28	208,39
3Л		17,13	50,94	281,94
4Л		17,34	44,86	413,11
5Л		13,39	36,82	399,62
6Л		26,95	58,77	333,43
7Л		21,07	48,26	251,30
8Л		29,61	11,58	159,36
9Л		32,87	47,19	205,94
10Л		23,92	67,56	382,46
11Л		25,47	51,48	315,66
12Л		26,52	56,84	294,20
13Л		24,47	48,26	257,42
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>23,5</b>	<b>49,75</b>	<b>300</b>
Медијана	$M_e$	<b>24,47</b>	<b>48,26</b>	<b>294,2</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>5,38</b>	<b>20,37</b>	<b>82,61</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>22,84</b>	<b>40,94</b>	<b>27,54</b>

У табели 35 представљени су параметри отпорности земљишта узорака **прве зоне** са **десне обале**. Вредности чврстоћа земљишта на смицање варирају од  $\tau=25,38 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $\tau=97,06 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Вредности отпора при продору игле варирају од  $R=202,02 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $R=419,72 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Максималне вредности чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле измерене су при тренутној влажности од  $W=18,25\%$  (узорак 1Д). Минимална вредност чврстоће земљишта на смицање измерена је при влажности од  $W=19,78\%$  (узорак 4Д). Минимална вредност отпора при продору игле забележена је при тренутној влажности од  $W=17,33\%$  (узорак 2Д). Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док параметар чврстоће земљишта на смицање има коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај неопаженог фактора.

Табела 35 – Вредности параметара отпорности земљишта узорака прве зоне са десне обале

Ознака узорка		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1Д		18,25	97,06	419,72
2Д		17,33	32,60	202,02
3Д		23,50	36,46	279,49
4Д		19,78	25,38	283,39
5Д		21,74	29,31	220,65
6Д		25,42	55,77	299,10
7Д		15,55	48,26	280,72
8Д		26,99	37,54	272,62
9Д		29,23	47,37	207,17
10Д		28,17	75,07	364,07
11Д		28,83	41,83	306,46
12Д		19,97	61,13	367,75
13Д		33,47	53,62	272,13
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>23,70</b>	<b>49,34</b>	<b>290,41</b>
Медијана	$M_e$	<b>23,50</b>	<b>47,37</b>	<b>280,72</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>5,45</b>	<b>19,92</b>	<b>63,89</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>22,97</b>	<b>40,37</b>	<b>22,00</b>

#### 4.2.2. Механички параметри узорака друге зоне

У табели 36 представљени су распони вредности тренутне влажности земљишта, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне**.

Табела 36 – Вредности тренутне влажност, чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака друге зоне

		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
Распон	÷	13,37 – 31,69	13,51 – 172,49	215,75 – 441,30
Средња вредност	$\bar{X}$	22,41	66,1	324,6
Медијана	$M_e$	22,76	63,99	313,81
Стандардна девијација	$\sigma$	4,01	24,26	70,65
Коефицијент варијације	$K_v$	17,88	36,7	21,76

Параметри отпорности земљишта узорака **друге зоне** из **јаруга** представљени су у табели 37. Чврстоћа земљишта на смицање варира од  $\tau=56,13 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $\tau=172,49 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Минимална вредност чврстоће земљишта на смицање забележена је при влажности од  $W=22,76\%$  (узорак 5J), а максимална при влажности од  $W=19,18\%$  (узорак 1J). Вредности параметра отпора при продору игле варирају у распону од  $R=226,78 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $R=441,30 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Најнижа вредност измерена је при тренутној влажности од  $W=22,23\%$  (узорак 2J). Највиша вредност отпора при продору игле забележена је код узорка 1J, при тренутној влажности од  $W=19,18\%$ . Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док чврстоћа земљишта на смицање има коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај неопаженог фактора.

Табела 37 – Вредности параметара отпорности земљишта узорака друге зоне из јаруга

Ознака узорка		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1J		19,18	172,49	441,30
2J		22,23	61,99	226,78
3J		22,27	71,32	416,78
4J		23,75	68,10	378,54
5J		22,76	56,13	284,39
6J		31,69	74,00	406,98
7J		14,70	77,22	416,78
8J		26,31	59,70	326,56
9J		24,51	64,17	269,68
10J		27,39	64,70	275,81
11J		22,15	62,56	373,63
12J		22,67	71,14	370,20
13J		24,86	63,10	247,62
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>23,40</b>	<b>74,36</b>	<b>341,16</b>
Медијана	$M_e$	<b>22,76</b>	<b>64,70</b>	<b>370,20</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,03</b>	<b>30,08</b>	<b>72,88</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>17,22</b>	<b>40,46</b>	<b>21,36</b>

У табела 38 су представљени резултати мерења чврстоће земљишта на смицање и отпора, при продору игле узорака земљишта **друге зоне са леве обале**. Варијација вредности параметра чврстоће земљишта на смицање креће се у распону од  $\tau=14,58 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $\tau=86,51 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Вредности отпора при продору игле крећу се у распону од  $R=220,65 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $R=424,14 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Најнижа вредност чврстоће земљишта на смицање забележена је при тренутној влажности од  $W=24,06\%$  (узорак 8J), а отпора при продору игле при тренутној влажности од  $W=24,43\%$  (узорак 13J). Максималне вредности чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле забележене су код узорка 3J, при тренутној влажности  $W=17,65\%$ . Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле, указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док параметар чврстоћа земљишта на смицање има коефицијент варијације за само 0,37% преко 30%, што је горња дозвољена граница, указујући на систематски утицај неопаженог фактора.

Табела 38– Вредности параметара отпорности земљишта узорака друге зоне са леве обале

Ознака узорка		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
		W	$\tau$	R
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1Л		25,59	/	/
2Л		19,37	63,99	308,91
3Л		17,65	86,51	424,14
4Л		21,08	53,62	372,65
5Л		20,80	62,02	349,77
6Л		26,34	76,14	413,84
7Л		13,37	/	416,78
8Л		24,06	14,58	278,26
9Л		24,96	65,15	224,33
10Л		23,12	58,99	285,37
11Л		23,51	54,70	411,88
12Л		22,64	78,65	355,49
13Л		24,43	60,41	220,65
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>22,1</b>	<b>61,34</b>	<b>338,51</b>
Медијана	$M_e$	<b>23,12</b>	<b>62,02</b>	<b>352,63</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>3,62</b>	<b>18,63</b>	<b>74,07</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>16,39</b>	<b>30,37</b>	<b>21,88</b>

У табели 39 приказане су вредности параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне са десне обале**. Вредности чврстоће земљишта на смицање варирају од  $\tau=13,51 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $\tau=100,99 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Отпор при продору игле код ових узорака варира у распону од  $R=215,75 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  до  $R=397,17 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Минималне вредности параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле забележени су код узорка 8Д, при тренутној влажности од  $W=25,81\%$ . Највиша вредност забележена је код узорка 1Д, што представља и највећу вредност параметра чврстоћа земљишта на смицање укупне групе узорака, при влажности од  $W=17,48\%$ . Највиша вредност отпора продора игле забележена је код узорка 6Д, при влажности од  $W=25,48\%$ . Вредности коефицијената варијације параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле, указују да се вредности крећу у дозвољеним границама, док параметар чврстоћа земљишта на смицање има коефицијент варијације преко 30%, што указује на систематски утицај неопаженог фактора.



Табела 39 – Вредности параметара отпорности земљишта узорка друге зоне са десне обале

Ознака узорка	Тренутна влажност земљишта		Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле
	W		$\tau$	R
	[%]		[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]
1Д	17,48		100,99	/
2Д	18,92		63,27	281,12
3Д	16,85		61,84	270,66
4Д	18,99		41,11	303,03
5Д	18,55		44,51	245,17
6Д	25,48		69,71	397,17
7Д	15,31		78,83	375,10
8Д	25,81		13,51	215,75
9Д	29,23		52,73	233,40
10Д	25,31		68,99	278,51
11Д	23,65		58,99	318,72
12Д	20,49		80,08	/
13Д	26,55		69,71	269,84
Средња вредност	$\bar{X}$	<b>21,70</b>	<b>61,87</b>	<b>289,86</b>
Медијана	$M_e$	<b>20,49</b>	<b>63,27</b>	<b>278,51</b>
Стандардна девијација	$\sigma$	<b>4,44</b>	<b>21,39</b>	<b>56,07</b>
Коефицијент варијације	$K_v$	<b>20,44</b>	<b>34,57</b>	<b>19,34</b>

## 4.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА

### 4.3.1. Експериментално испитивање у јаругама

У табели 40 представљене су промене вредности параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, током симулираних кишних епизода у јаругама, за оба периода. Вредности тренутне влажности, пре опита, из два периода, разликују се за 12%. Пре првог опита (J - 1) није било могуће извршити мерења чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, при тренутној влажности  $W = 16,27\%$ . При наведеним условима није било могуће утиснути апарате (крилну сонду и цепни пенетроматар) у земљиште и извршити мерења. Највећа вредност чврстоће земљишта на смицање добијена је на природно влажном земљишту, у другом периоду, током извођења експеримента у јарузи (J - 2 пре опита), износила је  $\tau = 29,76 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  и са највећим отпором при продору игле од  $R = 238,30 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , при влажности од  $W = 28,27\%$ . Током спровођења експеримента, највеће вредности (чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле), у оба периода, забележене су након оцеђивања у трајању од 23 часа, при влажности од  $W = 32,39\%$  односно  $W = 34,37\%$ .

Такође, у табели 40 приказане су количине дотекле воде као и количине еродираниог земљишта. Током првог периода испитивања највише наноса у дотеклој води ( $0,540 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) јавило се након првог прскања другог дана. Највише дотекле воде забележено је приликом последњег прскања од 4,79 l. Током другог периода испитивања највећа концентрација наноса у дотеклој води од  $2,769 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  забележена је након првог прскања другог дана. Највише дотекле воде од 0,84 l забележено је првог дана након другог прскања.

На слици 35 приказано је експериментално испитивања спроведено у јаругама.



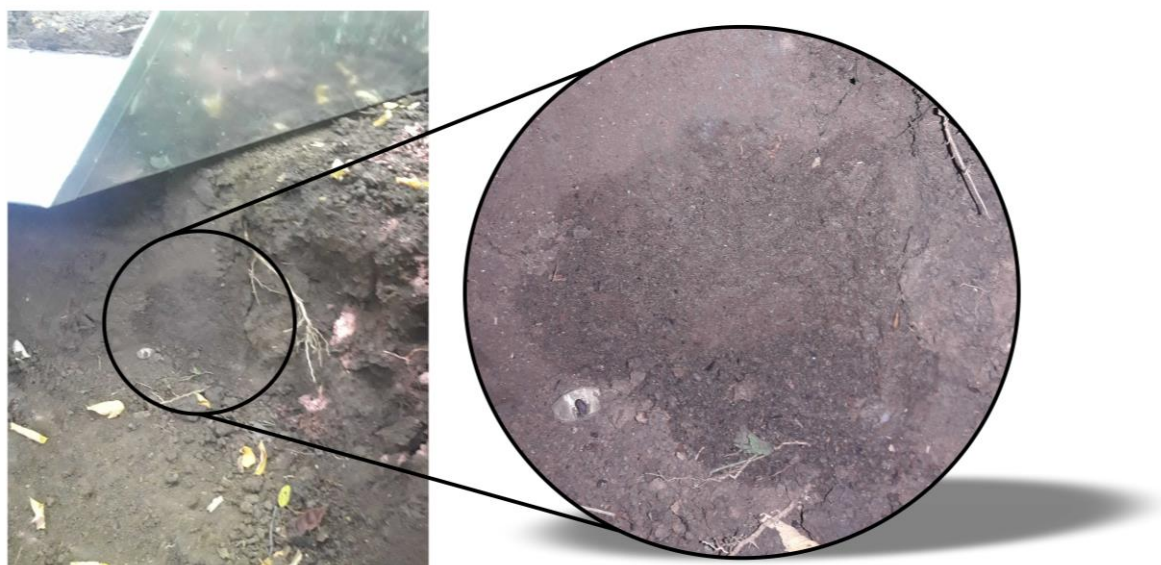
Слика 35 – Експериментална испитивања у јаругама (фото: Живановић, 2019)

Табела 40 – Резултати експеримената у јаругама

Фазе опита		Први период (J-1)					Други период (J-2)				
		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле	Концентрација наноса у води	Дотекла вода	Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле	Концентрација наноса у води	Дотекла вода
		W	$\tau$	R			W	$\tau$	R		
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[g·l <sup>-1</sup> ]	[l]	[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[g·l <sup>-1</sup> ]	[l]
Пре опита	00:00	16,27	/	/	/	/	28,27	<b>29,76</b>	238,30	/	/
Након прскања од 10 минута	00:10	23,94	6,72	98,07	0,237	1,910	42,20	9,58	152,00	0,561	0,780
Након оцеђивања од 1 часа	01:10	39,63	9,36	119,64	/	/	57,64	9,36	149,06	/	/
Након прскања од 10 минута	01:20	50,30	7,72	101,99	0,057	1,470	43,62	9,86	181,42	0,173	<b>0,840</b>
Након оцеђивања од 23 часа	1d 00:20	<b>32,39</b>	<b>11,11</b>	<b>152,00</b>	/	/	<b>34,37</b>	<b>14,36</b>	<b>234,38</b>	/	/
Након прскања од 10 минута	1d 00:30	42,68	9,65	80,41	<b>0,540</b>	1,425	51,87	10,00	177,50	<b>2,769</b>	0,710
Након оцеђивања од 1 часа	1d 01:30	40,90	10,00	83,36	/	/	47,05	10,47	143,18	/	/
Након прскања од 10 минута	1d 01:40	56,90	4,93	78,45	0,291	<b>4,790</b>	44,82	11,84	181,42	0,023	0,640
Средња вредност	$\bar{X}$	37,90	8,50	102,00	0,300	2,400	43,70	13,20	182,20	0,900	0,700
Медијана	$M_e$	40,30	9,40	98,10	0,300	1,700	44,20	10,20	179,50	0,400	0,700
Стандардна девијација	$\sigma$	13,32	2,15	26,44	0,200	1,610	9,27	6,91	36,70	1,280	0,090
Коефицијент варијације	$K_v$	35,18	25,26	25,93	70,900	67,080	21,19	52,52	20,15	145,050	11,660

\*Црвеном и плавом бојом назначени су екстрими, док су зеленом бојом означене критичне вредности

На слици 36 приказано је запажено провлажење испод експерименталне парцеле у јарузи (J-1) другог дана. Приказани облик провлажења указује на формирање потповршинског тока, односно на постојање цевасте порозности у потповршинском слоју.



Слика 36 – Провлажење испод огледног поља (фото: Живановић, 2019)

#### 4.3.2. Експериментално испитивање на обалама

У табели 41 представљене су експерименталне вредности, добијене на основу опита са симулираном кишом, на обалама, за оба периода испитивања. Влажност пре опита у оба периода се разликује за само 1,40 %. У првом периоду (О - 1) максимална вредност отпора при продору игле забележена је при условима пре опита,  $R = 245,17 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ , док је максимална вредност чврстоће земљишта на смицање забележена након прскања у трајању од 10 минута, при постигнутој влажности од  $W = 34,72\%$  и износила је  $\tau = 14,65 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Максимална вредност чврстоће земљишта на смицање забележена је током другог периода, пре опита, при влажности земљишта од  $W = 17,38\%$  и износила је  $\tau = 37,54 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Максимална вредност отпора при продору игле износила је  $R = 265,76 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  и измерена је после оцеђивања од 1 часа (О - 2). Највећа вредност чврстоће земљишта на смицање забележена је након 23 часа, при влажности од  $W = 34,65\%$  и износила је  $\tau = 12,65 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Вредности концентрације наноса у дотеклој води као и количина дотекле воде представљена је у табели 41. Највећа количина наноса у дотеклој води, за први период ( $1,003 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) и други период ( $0,263 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ ), забележен је након обављеног првог прскања. Такође, после првог прскања измерена је и највећа количина дотекле воде  $5,56 \text{ l}$ , за први период, односно,  $3,605 \text{ l}$  за други период. Издвојене максималне вредности представљају и максимуме за све серије испитивања.

Табела 41 – Резултати експеримената на обалама

Фазе опита		Први период (J-1)					Други период (J-2)				
		Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле	Концентрација наноса у води	Дотекла вода	Тренутна влажност земљишта	Чврстоћа земљишта на смицање	Отпор при продору игле	Концентрација наноса у води	Дотекла вода
		W	$\tau$	R			W	$\tau$	R		
		[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[g·l <sup>-1</sup> ]	[l]	[%]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[kN·m <sup>-2</sup> ]	[g·l <sup>-1</sup> ]	[l]
Пре опита	00:00	15,91	14,01	<b>245,17</b>	/	/	17,38	<b>37,54</b>	244,21	/	/
Након прскања од 10 минута	00:10	<b>34,72</b>	<b>14,65</b>	201,04	<b>1,003</b>	<b>5,560</b>	36,27	10,08	263,80	<b>0,263</b>	<b>3,605</b>
Након оцеђивања од 1 часа	01:10	38,14	11,72	196,13	/	/	39,00	10,13	<b>265,76</b>	/	/
Након прскања од 10 минута	01:20	51,43	9,65	158,87	0,144	4,500	41,88	9,59	260,86	0,098	3,345
Након оцеђивања од 23 часа	1d 00:20	32,94	13,22	178,48	/	/	<b>34,65</b>	<b>12,65</b>	186,33	/	/
Након прскања од 10 минута	1d 00:30	41,53	10,36	157,89	<b>0,139</b>	4,420	46,36	8,57	120,62	<b>0,186</b>	2,625
Након оцеђивања од 1 часа	1d 01:30	45,59	10,25	111,80	/	/	44,19	11,08	156,91	/	/
Након прскања од 10 минута	1d 01:40	54,66	12,36	105,91	0,078	3,750	50,04	9,91	179,46	0,099	2,020
Средња вредност	$\bar{X}$	39,40	12,00	169,40	0,300	4,600	38,70	13,70	209,70	0,200	2,900
Медијана	$M_e$	39,80	12,00	168,70	0,100	4,500	40,40	10,10	215,30	0,100	3,000
Стандардна девијација	$\sigma$	12,17	1,85	46,49	0,440	0,750	10,03	9,71	56,14	0,080	0,720
Коефицијент варијације	$K_v$	30,93	15,40	27,44	129,720	16,420	25,91	70,89	26,77	49,070	24,760

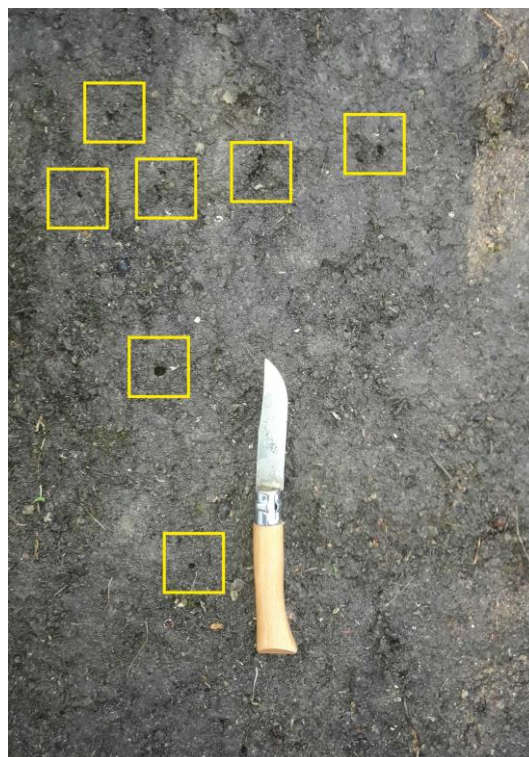
\*Црвеном и плавом бојом назначени су екстрими, док су зеленом бојом означене критичне вредности

На слици 37 приказано је спровођење експеримента на обали.



Слика 37 – Експеримент на обали (фото: Живановић, 2019)

На слици 38 је приказано отварање вертикалних макропора, које је детектовано на обали током другог периода, после другог прскања ван издвојене зоне.



Слика 38 – Отварање вертикалних макропора (фото: Живановић, 2019)

## 4.4. СТАТИСТИЧКЕ ЗАВИСНОСТИ ПАРАМЕТАРА

### 4.4.1. Компарација физичких параметара земљишта

#### 4.4.1.1. Запреминска тежина

##### 4.4.1.1.1. Узорци прве зоне

Компарација вредности запреминских тежина (влажне, суве, специфичне) узорака **прве зоне** спроведена на основу резултата приказаних у табелама 7, 8 и 9, представљена је у табели 42. Компарацијом **Лева обала vs Јаруга** наведених параметара утврђено је да нема значајне статистичке разлике ни према једном од спроведених тестова, на нивоу значајности од 95%. Компарацијом **Десна обала vs Јаруга** параметри теста средњих вредности и медијана влажних запреминских тежина указују да постоји значајна статистичка разлика, док тест стандардних девијација указује да не постоји значајна статистичка разлика, на нивоу поузданости од 95%. Компарацијом сувих и специфичних запреминских тежина утврђено је да не постоји значајна статистичка разлика. Код компаративне анализе групе узорака обала **Лева обала vs Десна обала**, сви статистички тестови указују да не постоји значајна статистичка разлика између узорака.

Табела 42 – Резултати компарације запреминских тежина узорака прве зоне<sup>6</sup>

Компарација	Запреминске тежине	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	$\gamma$	-1,623	0,118	112,000	0,166	2,107	0,211
vs	$\gamma_d$	-0,529	0,602	96,000	0,572	0,901	0,859
Јаруга	$\gamma_s$	0,774	0,447	65,500	0,343	0,665	0,491
Десна обала	$\gamma$	<b>-2,063</b>	<b>0,050</b>	<b>125,000</b>	<b>0,040</b>	0,836	0,761
vs	$\gamma_d$	-0,663	0,513	102,500	0,369	0,436	0,165
Јаруга	$\gamma_s$	0,047	0,963	81,000	0,878	0,539	0,298
Лева обала	$\gamma$	-0,038	0,970	2,520	0,123	85,000	1,000
vs	$\gamma_d$	0,057	0,955	81,000	0,878	2,064	0,224
Десна обала	$\gamma_s$	0,857	0,400	68,000	0,412	1,235	0,720

##### 4.4.1.1.2. Узорци друге зоне

У Табели 43 су представљени резултати статистичких тестова компарације вредности запреминских тежина (влажна, сува и специфична) узорака **друге зоне** на основу резултата представљених у табелама 11, 12 и 13. Спроведеном компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала**, утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака на нивоу поузданости од 95%.

<sup>6</sup> У табелама у којима су приказани резултати компаративне анализе, зеленом бојом је обележено код којих параметара је утврђена значајна статистичка разлика

Табела 43 – Резултати компарације запреминских тежина узорак друге зоне

Компарација	Запреминске тежине	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	$\gamma$	0,331	0,743	78,500	0,778	0,945	0,923
vs	$\gamma_d$	0,760	0,455	70,000	0,473	0,687	0,525
Јаруга	$\gamma_s$	-0,522	0,607	93,000	0,430	0,785	0,695
Десна обала	$\gamma$	-1,010	0,323	101,000	0,412	1,213	0,743
vs	$\gamma_d$	0,086	0,932	85,500	0,980	0,828	0,750
Јаруга	$\gamma_s$	-0,992	0,331	109,000	0,218	0,736	0,604
Лева обала	$\gamma$	0,208	0,837	80,000	0,837	0,663	0,488
vs	$\gamma_d$	0,707	0,487	75,500	0,663	0,829	0,751
Десна обала	$\gamma_s$	0,471	0,642	68,000	0,605	1,066	0,908

#### 4.4.1.2. Гранулометријска анализа

##### 4.4.1.2.1. Узорци прве зоне

У табели 44 представљени су резултати t, W и F теста за параметре гранулометријског састава код узорак **прве зоне**. За ову анализу коришћени су подаци из табела 15, 16 и 17. Извршеном компарацијом **Лева обала vs Јаруга**, као и **Десна обала vs Јаруга** утврђено је да параметри садржаја глине и садржаја песка, на основу t и W теста, указују на постојање значајне статистичке разлике на нивоу поузданости од 95%. Резултати сва три теста показују да параметар садржаја прашине нема значајну статистичку разлику на нивоу значајности од 95%. Спроведеном компарацијом између обала **Лева обала vs Десна обала**, утврђено је да нема значајних статистичких разлика ни у једном од спроведених тестова, на нивоу поузданости од 95%. Спроведеним тестом стандардних девијација није утврђена значајна разлика ни за један од анализираних параметара.

Табела 44 – Резултати компарације гранулометријског састава узорак прве зоне

Компарација	Процентуално учешће честица	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	Глина	<b>3,224</b>	<b>0,004</b>	<b>31</b>	<b>0,007</b>	1,516	0,482
vs	Прашина	-0,591	0,56	96	0,572	1,656	0,394
Јаруга	Песак	<b>-2,246</b>	<b>0,034</b>	<b>131</b>	<b>0,018</b>	1,204	0,753
Десна обала	Глина	<b>3,664</b>	<b>0,001</b>	<b>24</b>	<b>0,002</b>	1,669	0,388
vs	Прашина	-1,187	0,247	108,5	0,228	1,36	0,603
Јаруга	Песак	<b>-2,54</b>	<b>0,018</b>	<b>140</b>	<b>0,005</b>	0,942	0,92
Лева обала	Глина	-0,489	0,629	96,5	0,555	0,909	0,871
vs	Прашина	0,496	0,625	70	0,472	1,218	0,738
Десна обала	Песак	0,14	0,89	83,5	0,979	1,278	0,678



#### 4.4.1.2. Узорци друге зоне

У табели 45 представљени су резултати компаративне анализе гранулометријског састава узорака **друге зоне**. За анализу су коришћени подаци из табела 19, 20 и 21. Компарацијом **Лева обала vs Јаруга** као и **Десна обала vs Јаруга** утврђено је на основу резултата спроведених тестова средњих вредности и медијана, да постоје разлике на нивоу значајности од 95%, за вредности параметара садржај глине и садржај песка. Спроведеним тестом стандардних девијација није утврђена значајна разлика. Садржај прашине у сва три теста показује да нема значајних разлика на нивоу значајности од 95%. Компарацијом вредности параметара узорка са обала **Лева обала vs Десна обала**, није утврђена значајна разлика ни у једном од спроведених тестова на нивоу поузданости од 95%.

Табела 45 – Резултати компарације гранулометријског састава узорака друге зоне

Компарација	Процентуално учешће честица	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	Глина	<b>2,600</b>	<b>0,016</b>	<b>32,500</b>	<b>0,014</b>	1,478	0,512
	Прашина	0,939	0,358	67,000	0,567	0,688	0,543
	Песак	<b>-2,822</b>	<b>0,010</b>	<b>119,500</b>	<b>0,026</b>	0,867	0,821
Десна обала vs Јаруга	Глина	<b>2,846</b>	<b>0,009</b>	<b>29,500</b>	<b>0,005</b>	2,410	0,142
	Прашина	0,595	0,558	78,000	0,758	0,653	0,471
	Песак	<b>-2,795</b>	<b>0,010</b>	<b>137,500</b>	<b>0,007</b>	1,496	0,496
Лева обала vs Десна обала	Глина	-0,541	0,593	97,000	0,314	0,613	0,426
	Прашина	0,411	0,685	68,000	0,605	1,054	0,924
Десна обала	Песак	0,300	0,767	63,500	0,446	0,580	0,376

#### 4.4.1.3. Атербергове границе конзистенције

##### 4.4.1.3.1. Узорци прве зоне

У табели 46 представљени су резултати компаративне анализе параметара Атербергових граница конзистенције узорака **прве зоне** спроведене на основу резултата представљених у табелама 23, 24 и 25. Компарацијом вредности параметра граница течења између група узорака **Лева обала vs Јаруга** и **Десна обала vs Јаруга** добијени резултати показују да постоји значајна статистичка разлика на нивоу поузданости од 95% код сва три спроведена теста. Компарацијом вредности параметра границе пластичности истих група узорака утврђено је да не постоји значајна разлика, на нивоу поузданости од 95%. Резултати компарације вредности параметара границе течења и границе пластичности између група узорака обала **Лева обала vs Десна обала**, указују да не постоји значајна статистичка разлика на нивоу поузданости од 95%, према сва три теста.

Табела 46 – Резултати компарације Атербергових граница конзистенције узорака прве зоне

Компарација	Конзистенција	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	<b>-3,085</b>	<b>0,021</b>	<b>123,00</b>	<b>0,051</b>	<b>3,420</b>	<b>0,043</b>
Десна обала vs Јаруга	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	<b>-2,891</b>	<b>0,008</b>	<b>131,00</b>	<b>0,018</b>	<b>3,311</b>	<b>0,048</b>
Лева обала vs Десна обала	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	0,303	0,764	73,00	0,573	1,033	0,956
		-0,680	0,503	100,50	0,427	0,874	0,592

#### 4.4.1.3.2. Узорци друге зоне

У табеле 47 представљени су резултати спроведених статистичких тестова компарације вредности Атербергових граница конзистенције узорака **друге зоне**, добијених на основу резултата представљених у табелама 27, 28 и 29. Спроведеном компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала** утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака.

Табела 47 – Резултати компарације Атербергових граница конзистенције узорака друге зоне

Компарација	Конзистенција	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	0,313	0,757	83,00	0,807	2,974	0,074
Десна обала vs Јаруга	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	-0,628	0,536	102,00	0,201	3,301	0,051
Лева обала vs Десна обала	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	-0,219	0,829	95,00	0,608	1,261	0,695
		<b>-2,152</b>	<b>0,042</b>	118,00	0,091	2,294	0,165
Лева обала vs Десна обала	w <sub>L</sub> w <sub>p</sub>	0,460	0,65	74,00	0,849	2,359	0,156
		1,078	0,292	69,00	0,644	1,439	0,541

#### 4.4.1.4. Тренутна влажност земљишта

##### 4.4.1.4.1. Узорци прве зоне

У табели 48 представљени су резултати компарације вредности тренутне влажности земљишта узорака прве зоне на основу резултата представљених у табелама, 33, 34 и 35. Спроведеном компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга** и **Десна обала vs Јаруга** утврђено је да постоји статистички значајна разлика на нивоу поузданости од 95%, на основу резултата тестова средњих вредности и медијана. Компарацијом вредности параметара тренутне влажности земљишта код група узорака **Лева обала vs Десна обала** на основу сва три теста утврђено је да нема значајне статистичке разлике. На основу резултата стандардних девијација утврђено је да не постоји статистички значајна разлика између тестираних група на нивоу поузданости од 95%.

Табела 48 – Резултати компарације тренутне влажности узорака прве зоне

Компарација	t - тест		W - тест		F - тест	
	t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	<b>-3,221</b>	<b>0,004</b>	<b>137,00</b>	<b>0,008</b>	0,821	0,737
Десна обала vs Јаруга	<b>-3,131</b>	<b>0,005</b>	<b>134,00</b>	<b>0,012</b>	0,842	0,770
Лева обала vs Десна обала	-0,076	0,940	86,00	0,959	0,975	0,966

#### 4.4.1.4.2. Узорци друге зоне

У табели 49 представљени су резултати статистичких тестова компарације тренутне влажности узорака **друге зоне**, спроведених на основу резултата представљених у табелама 37, 38 и 39. Компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала** утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака на нивоу позданости од 95%.

Табела 49 – Резултати компарације тренутне влажности узорака друге зоне

Компарација	t - тест		W - тест		F - тест	
	t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	-0,898	0,378	96,00	0,573	0,805	0,713
Десна обала vs Јаруга	-1,010	0,323	101,00	0,412	1,213	0,743
Лева обала vs Десна обала	0,208	0,837	80,00	0,837	0,663	0,488

#### 4.4.1.5. Активност глина

##### 4.4.1.5.1. Узорци прве зоне

У табели 50 представљену су резултати статистичких тестова компарације вредности параметра индекса активности глина узорака **прве зоне**, спроведених на основу резултата представљених у табелама 30. Компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга** и **Десна обала vs Јаруга** утврђено је да постоји значајна статистичка разлика на нивоу поузданости од 95%, на основу тестова средњих вредности и медијана. Спроведеном компарацијом између група узорака **Лева обала vs Десна обала**, на основу сва три теста утврђено је да нема значајне статистичке разлике. Резултати F - теста стандардних девијација указују да не постоји статистички значајна разлика ни код једне извршене компарације.

Табела 50 – Резултати компарација индекса активности глина узорака прве зоне

Компарација	t - тест		W - тест		F - тест	
	t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	<b>-3,553</b>	<b>0,0016</b>	<b>141,00</b>	<b>0,004</b>	0,697	0,542
Десна обала vs Јаруга	<b>-3,011</b>	<b>0,006</b>	<b>137,00</b>	<b>0,008</b>	1,894	0,282
Лева обала vs Десна обала	0,307	0,762	67,00	0,383	0,368	0,096

#### 4.4.1.5.2. Узорци друге зоне

Резултати компарација вредности индекса активности глина узорака **друге зоне**, добијени на основу вредности приказаних у табели 31, представљени су у табели 51. Компарацијом између група узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала** утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака према усвојеном критеријуму.

Табела 51 – Резултати компарације индекса активности глина узорака друге зоне

Компарација	t - тест		W - тест		F - тест	
	t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	-0,504	0,619	104,00	0,165	<b>6,401</b>	<b>0,003</b>
Десна обала vs Јаруга	-1,090	0,287	<b>127,00</b>	<b>0,031</b>	3,162	0,057
Лева обала vs Десна обала	0,271	0,789	75,00	0,892	2,024	0,241

#### 4.4.2. Компарација механичких параметара земљишта

##### 4.4.2.1. Узорци прве зоне

У табели 52 представљени су резултати статистичких тестова компарације чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпора при продору игле (R) узорака **прве зоне** спроведене на основу резултата приказаних у табелама 33, 34 и 35. Компарацијом група узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала** утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака на нивоу значајности од 95%.

Табела 52 – Резултати компарације механичких параметара узорака прве зоне

Компарација	Механички параметри	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	$\tau$	-0,818	0,421	101,00	0,412	1,310	0,647
	R	0,493	0,627	75,50	0,663	1,882	0,287
Десна обала vs Јаруга	$\tau$	-0,883	0,386	105,50	0,293	1,253	0,702
	R	0,180	0,859	85,50	0,980	1,126	0,841
Лева обала vs Десна обала	$\tau$	0,052	0,959	77,00	0,719	1,046	0,94
	R	0,331	0,743	77,00	0,720	1,672	0,386

#### 4.4.2.2. Узорци друге зоне

У табели 53 представљени су резултати статистичких тестова компарације чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпора при продору игле (R) узорака **друге зоне**, спроведене на основу резултата приказаних у табелама 37, 38 и 39. Компарацијом групе узорака **Лева обала vs Јаруга**, **Десна обала vs Јаруга** и **Лева обала vs Десна обала** утврђено је да нема значајне статистичке разлике између узорака, према сва три спроведена теста на нивоу значајности од 95%.

Табела 53 – Резултати компарација механичких параметара узорака друге зоне

Компарација	Механички параметри	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	$\tau$	-1,245	0,226	90,00	0,297	0,384	0,139
	R	-0,090	0,929	80,00	0,935	1,033	0,950
Десна обала vs Јаруга	$\tau$	-1,220	0,234	101,00	0,412	0,505	0,251
	R	-1,904	0,070	100,00	0,105	0,592	0,414
Лева обала vs Десна обала	$\tau$	-0,064	0,950	72,50	0,977	0,759	0,671
	R	1,763	0,093	39,00	0,103	1,745	0,389

#### 4.4.3. Компарација физичких параметара узорака прве и друге зоне

##### 4.4.3.1. Запреминска тежина

У табели 54 приказани су резултати компарације вредности параметара запреминских тежина спроведене на основу представљених резултата у табелама 7, 8, 9, 11, 12, 13. Резултати тестова  $t$  и  $W$  за параметре  $\gamma$  и  $\gamma_d$  код свих група узорака указују на постојање значајне статистичке разлике, док резултати за параметар  $\gamma_s$  указују да не постоји значајна статистичка разлика на нивоу значајности од 95%. Спроведеним тестом стандардних девијација утврђено је да не постоји значајна статистичка разлика анализираних параметара.

Табела 54 – Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Запреминске тежине	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	$\gamma$	<b>-3,870</b>	<b>0,001</b>	<b>146,00</b>	<b>0,002</b>	2,348	0,153
	$\gamma_d$	<b>-5,237</b>	<b>0,000</b>	<b>159,00</b>	<b>0,000</b>	2,168	0,195
	$\gamma_s$	-0,188	0,853	82,00	0,849	1,112	0,867
Јаруга	$\gamma$	<b>-2,432</b>	<b>0,023</b>	<b>133,00</b>	<b>0,014</b>	1,053	0,930
	$\gamma_d$	<b>-3,561</b>	<b>0,002</b>	<b>142,00</b>	<b>0,003</b>	1,654	0,396
	$\gamma_s$	-1,384	0,179	113,00	0,151	1,312	0,645
Десна обала	$\gamma$	<b>-4,502</b>	<b>0,000</b>	<b>150,00</b>	<b>0,001</b>	1,101	0,871
	$\gamma_d$	<b>-5,575</b>	<b>0,000</b>	<b>157,00</b>	<b>0,000</b>	0,871	0,814
	$\gamma_s$	-0,608	0,549	96,00	0,572	0,960	0,945
Σ Прва зона vs	$\gamma$	<b>-6,118</b>	<b>0,000</b>	<b>1284,00</b>	<b>0,000</b>	1,659	0,123
	$\gamma_d$	<b>-8,260</b>	<b>0,000</b>	<b>1368,00</b>	<b>0,000</b>	1,528	0,196
Σ Друга зона	$\gamma_s$	-1,335	0,186	878,50	0,163	1,141	0,690

#### 4.4.3.2. Порозност и коефицијент порозности

У табели 55 представљени су резултати компарације параметара порозности ( $n$ ) и коефицијента порозности ( $e$ ), спроведене на основу резултата приказаних у табелама 7, 8, 9, 11, 12, 13. На основу добијених резултата спроведених тестова ( $t$  и  $W$ ) утврђено је да постоји значајна статистичка разлика између параметара, код свих анализираних група узорака. Резултати спроведеног теста стандардних девијација указују да не постоји значајна статистичка разлика код свих анализираних група на нивоу поузданости од 95%.

Табела 55 - Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Порозност и коефицијент порозности	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	n	<b>4,478</b>	<b>0,000</b>	<b>18,00</b>	<b>0,001</b>	0,886	0,834
	e	<b>4,318</b>	<b>0,000</b>	<b>18,00</b>	<b>0,001</b>	1,664	0,408
Јаруга	n	<b>2,468</b>	<b>0,021</b>	<b>43,00</b>	<b>0,036</b>	1,294	0,663
	e	<b>2,337</b>	<b>0,028</b>	<b>42,00</b>	<b>0,031</b>	1,957	0,259
Десна обала	n	<b>4,370</b>	<b>0,000</b>	<b>14,00</b>	<b>0,000</b>	0,631	0,437
	e	<b>4,553</b>	<b>0,000</b>	<b>14,00</b>	<b>0,000</b>	0,966	0,953
Σ Прва зона vs	n	<b>6,460</b>	<b>0,000</b>	<b>225,50</b>	<b>0,000</b>	0,962	0,905
	e	<b>6,228</b>	<b>0,000</b>	<b>222,50</b>	<b>0,000</b>	1,603	0,154

#### 4.4.3.3. Гранулометријска анализа

Резултати спроведених статистичких тестова компарације параметара гранулометријског састава земљишта (глина, прашина и песак), узорака **прве зоне** и узорака **друге зоне**, добијених на основу резултата приказаних у табелама 15, 16, 17, 19, 20, 21, представљени су у табели 56.

Анализом процентуалног садржаја честица земљишта није утврђена разлика у зависности од места узорковања (**прва зона vs друга зона**) код група узорака **лева обала, јаруга, десна обала**. Изузетак чини резултат теста медијана код групе узорака **десна обала** за параметар садржај песка, који указује на постојање статистички значајне разлике. Резултати добијени спроведеном компарацијом процентуалног садржаја честица земљишта, између свих узорака **прве зоне** и свих узорака **друге зоне** указују да постоји статистички значајна разлика код процентуалног садржаја глине ( $t$  – тест) и песка ( $t$  и  $W$  тест), на нивоу поузданости од 95%. Добијени резултати компарације параметра процентуалног садржаја песка указују да не постоји значајна статистичка разлика на нивоу значајности од 95%. Резултати теста стандардних девијација код свих спроведених компарација указују да не постоји статистички значајна разлика.

Табела 56 – Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Процентуално учешће честица	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	Глина	-1,241	0,227	100,50	0,231	0,876	0,820
	Прашина	-0,834	0,413	92,50	0,446	1,134	0,842
	Песак	1,628	0,117	55,00	0,220	1,151	0,823
Јаруга	Глина	-1,963	0,061	120,00	0,073	0,854	0,789
	Прашина	0,724	0,476	73,00	0,572	0,471	0,206
	Песак	1,011	0,322	54,00	0,123	0,829	0,751
Десна обала	Глина	-1,220	0,233	110,00	0,199	0,591	0,376
	Прашина	-1,000	0,327	99,00	0,473	0,981	0,974
	Песак	1,697	0,103	<b>44,50</b>	<b>0,043</b>	0,522	0,275
Σ Прва зона vs	Глина	<b>-2,159</b>	<b>0,034</b>	929,50	0,055	0,816	0,536
	Прашина	-0,610	0,544	784,00	0,665	0,812	0,525
Σ Друга зона	Песак	<b>2,275</b>	<b>0,026</b>	<b>500,00</b>	<b>0,014</b>	0,721	0,319

#### 4.4.3.4. Тренутна влажност земљишта

У табели 57 представљени су резултати компарације параметра тренутне влажности земљишта спроведне на основу приказаних резултата у табелама 33, 34, 35, 37, 38, 39. Резултати спроведених тестова ( $t$  и  $W$  тест) за групе узорака **јаруга** и **укупно (Σ Прва зона vs Σ Друга зона)** указују да постоји значајна статистичка разлика параметара тренутне влажности земљишта, док код групе узорака **лева обала** и **десна обала** указују да не постоји значајна статистичка разлика на нивоу значајности од 95%. Тест стандардних девијација указује да значајна статистичка разлика постоји само код групе узорака **укупно**.

Табела 57 – Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Влажност	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	w	0,822	0,419	64,00	0,305	2,209	0,184
Јаруга	w	<b>3,659</b>	<b>0,001</b>	<b>24,00</b>	<b>0,002</b>	2,166	0,195
Десна обала	w	1,011	0,322	66,50	0,369	1,503	0,491
Σ Прва зона vs Σ Друга зона	w	<b>2,957</b>	<b>0,004</b>	<b>490,50</b>	<b>0,007</b>	<b>2,558</b>	<b>0,005</b>

#### 4.4.3.5. Атербергове границе конзистенције

Резултати спроведених статистичких тестова ( $t$ ,  $W$ ,  $F$ ) компарације параметара Атербергових граница конзистенције ( $w_L$ ,  $w_p$ ), између узорака **прве зоне** и узорака **друге зоне**, добијених на основу резултата приказаних у табелама 23, 24, 25, 27, 28, 29, представљени су у табели 58. Код групе узорака **лева обала** утврђено је да не постоји статистички значајна разлика тестираних узорака, сем спроведеним  $W$ - тестом за параметар граница пластичности ( $w_p$ ). Спроведеним тестирањем ( $t$  и  $W$  тест) код групе узорака **јаруга**, код оба параметра, утврђено је да постоји значајна статистичка разлика. Резултати компарације код групе узорака **десна обала** за параметар  $w_L$ , указују да не постоји значајна статистичка разлика на нивоу од 95%. Код исте групе узорака резултати тестова  $t$  и  $W$  за параметар  $w_p$  указују на постојање значајне статистичке разлике. Резултати компарације групе узорака **укупно (Σ Прва зона vs Σ Друга зона)** указују на постојање статистички значајне разлике за вредности параметра  $w_p$  на основу тестова  $t$  и  $W$ , док резултати за вредности параметра  $w_L$  указују да не постоји значајна статистичка разлика. Спроведени  $F$  – тест указује да је једино код групе узорака **јаруга**, за тестирани параметар  $w_p$ , утврђена значајна статистичка разлика.

Табела 58 - Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Конзистенција	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	$w_L$	-0,520	0,608	87,00	0,644	0,800	0,705
	$w_p$	1,588	0,126	<b>37,00</b>	<b>0,028</b>	0,593	0,382
Јаруга	$w_L$	<b>2,883</b>	<b>0,008</b>	<b>33,00</b>	<b>0,009</b>	0,695	0,539
	$w_p$	<b>2,922</b>	<b>0,007</b>	<b>38,00</b>	<b>0,018</b>	<b>4,149</b>	<b>0,020</b>
Десна обала	$w_L$	-0,489	0,630	100,00	0,442	1,827	0,310
	$w_p$	<b>3,637</b>	<b>0,001</b>	<b>28,50</b>	<b>0,004</b>	0,937	0,912
Σ Прва зона vs Σ Друга зона	$w_L$	0,491	0,625	689,00	0,600	1,281	0,453
	$w_p$	4,576	<b>0,000</b>	<b>340,00</b>	<b>0,000</b>	1,261	0,482



#### 4.4.3.6. Активност глина

Резултати компарације између узорака **прве зоне** и узорака **друге зоне** за параметар активност глина (*AI*), спроведених на основу приказаних резултата у табелама 30 и 31, представљени су у табели 59. Резултати спроведених тестова указују да постоји значајна статистичка разлика само код групе узорака **јаруга**, док код осталих анализираних група не постоји значајна статистичка разлика на нивоу значајности од 95%.

Табела 59 - Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Индекс активности глине	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала	<i>AI</i>	-0,485	0,632	80,00	0,935	0,362	0,095
Јаруга	<i>AI</i>	<b>2,700</b>	<b>0,013</b>	<b>37,00</b>	<b>0,016</b>	<b>3,321</b>	<b>0,048</b>
Десна обала	<i>AI</i>	-0,488	0,630	110,00	0,200	1,990	0,248
Σ Прва зона vs Σ Друга зона	<i>AI</i>	0,521	0,604	708,00	0,741	1,555	0,182

#### 4.4.4. Компарација механичких параметара узорака прве зоне и узорака друге зоне

У табели 60 приказани су резултати компарације вредности параметара чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпора при продору игле ( $R$ ) на основу резултата приказаних у табелама 33, 34, 35, 37, 38, 39. Спроведена анализа код групе узорака **лева обала** дала је резултате који указују да само код спроведеног теста медијана, за параметар чврстоће земљишта на смицање, постоји значајна статистичка разлика. Код групе узорака **јаруга**, за параметар чврстоће земљишта на смицање, резултат теста медијана а за параметар отпора при продору игле, тест средњих вредности указују на постојање значајне статистичке разлике. Група узорака **укупно (Σ Прва зона vs Σ Друга зона)**, за параметар чврстоће земљишта на смицање, резултати спроведених тестова ( $t$  и  $W$ ) указују на постојање значајне статистичке разлике, док спроведена анализа за параметар отпора при продору игле указује на значајну статистичку разлику само код теста средњих вредности. Резултати спроведеног теста стандардних девијација указују да не постоји значајна статистичка разлика код свих анализираних група.

Табела 60 – Резултати компарација узорака прве зоне и узорака друге зоне

Компарација	Механички параметри	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Лева обала vs Јаруга	$\tau$	-1,444	0,163	<b>110,00</b>	<b>0,028</b>	1,195	0,789
	R	-1,223	0,234	102,00	0,201	1,244	0,725
Десна обала vs Јаруга	$\tau$	-1,906	0,069	<b>130,00</b>	<b>0,021</b>	0,350	0,081
	R	-2,102	0,046	122,50	0,054	0,683	0,519
Лева обала vs Десна обала	$\tau$	<b>-1,546</b>	<b>0,135</b>	121,00	0,065	0,867	0,809
	R	0,022	0,983	69,00	0,908	1,298	0,689
$\Sigma$ Прва зона vs $\Sigma$ Друга зона	$\tau$	<b>-2,891</b>	<b>0,005</b>	<b>1082,00</b>	<b>0,000</b>	0,621	0,150
	R	<b>-2,027</b>	<b>0,046</b>	876,50	0,065	0,926	0,815

#### 4.4.5. Компарација експериментално добијених параметара

У табели 61 представљени су резултати компарације параметара влажности ( $W$ ), чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпора при продору игле ( $R$ ), добијени током вршења експеримента на обалама и у јаругама (**Јаруга vs Обала**), на основу табела 40 и 41. Тренутна влажност и чврстоћа земљишта на смицање не показују значајну статистичку разлику ни за један од спроведених тестова. Компарација отпора при продору игле указује, тестом средњих вредности и тестом медијане, да постоје значајне статистичке разлике, док тестом стандардних девијација не показује значајне статистичке разлике.

Табела 61 – Резултати компарација вредности добијених спроведеним експериментом

Компарација	Експериментално добијене вредности	t - тест		W - тест		F - тест	
		t	p	W	p	F	p
Јаруге vs Обале	w	0,447	0,658	115,00	0,638	1,136	0,808
	$\tau$	-0,835	0,411	167,50	0,063	0,683	0,481
	R	<b>-2,356</b>	<b>0,025</b>	<b>182,00</b>	<b>0,015</b>	0,922	0,885

#### 4.4.6. Статистичке зависности

##### 4.4.6.1. Тестирање веза механичких параметара земљишта и тренутне влажности

###### 4.4.6.1.1. Узорци прве зоне

Извршено је тестирање везе између параметара тренутне влажност ( $W$ ) и чврстоће земљишта на смицање ( $\tau$ ), као и тренутне влажности ( $W$ ) и отпора при продору игле ( $R$ ). У табели 62 представљени су резултати спроведене линеарне регресије узорака **прве зоне** на основу резултата приказаних у табелама 33, 34 и 35.

Табела 62 – Резултати линеарне регресионе анализе параметара влажности, чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле код узорка прве зоне

Зависност	Чврстоћа земљишта на смицање			Отпор при продору игле		
	$\tau$			R		
	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	26	$\tau = a + b \cdot W$	0,056	26	$R = a + b \cdot W$	-0,327
Јаруга	<b>13</b>	<b><math>\tau = a + b \cdot W</math></b>	<b>-0,780</b>	13	$R = a + b \cdot W$	-0,170
$\Sigma$ Обала + $\Sigma$ Јаруга	39	$\tau = a + b \cdot W$	-0,097	39	$R = a + b \cdot W$	-0,268

#### 4.4.6.1.1.1. Јаруга

Према представљеним коефицијентима корелације постављених линеарних модела (табела 62), зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, узорака из **јаруге**, указује на постојање статистичке зависности. Стога је извршена регресиона анализа одређивања одговарајућег модела. Модел који најбоље описује променљиве има следећи математички облик:

$$\tau = -22,9498 + \frac{2280,15}{W} \quad (11)$$

зависна променљива:  $\tau$   
независна променљива:  $W$   
број узорака: 12

Статистички показатељи постављене зависности:

Коефицијент корелације = 0,88  
Коефицијент детерминације = 77,89%  
Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 75,58%  
Стандардна грешка процене = 9,14  
Средња апсолутна грешка = 7,27

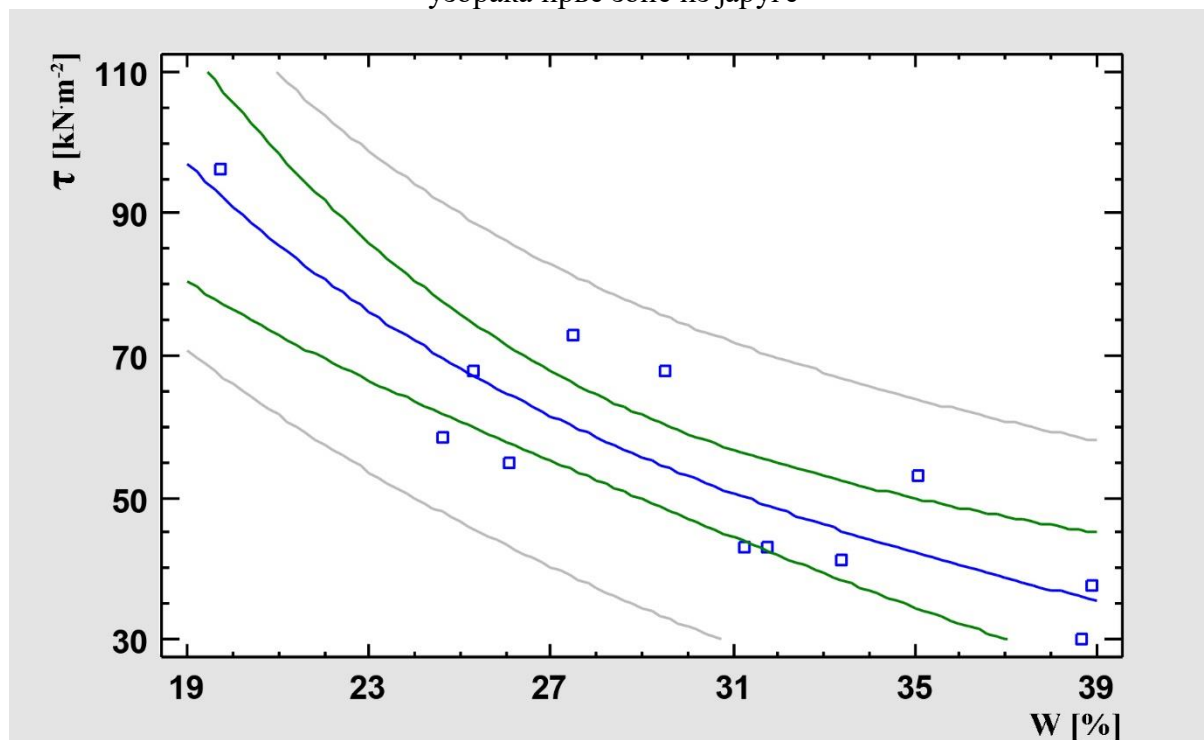
Резултати анализе варијансе представљени су у табели 63.

Табела 63 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	2942,35	1	35,23	0,0001

На графику 1 је представљена је статистичка зависност параметара тренутне влажности земљишта и чврстоћа земљишта на смицање, узорака **прве зоне** из **јаруге**.

График 1 – Статистичка зависност тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање, узорака прве зоне из јаруге



#### 4.4.6.1.2. Узорци друге зоне

У табели 64 представљени су резултати спроведене линеарне регресије на основу параметара тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање, као и тренутне влажности и отпора при продору игле узорака **друге зоне** приказаних у табелама 37, 38 и 39. Коефицијенти корелације постављених линеарних модела указују да не постоји значајна веза између посматраних параметара.

Табела 64 – Резултати регресионе анализе параметара влажности, чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, узорака друге зоне

Зависност	Чврстоћа земљишта на смицање			Отпор при продору игле		
	τ			R		
	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	24	$\tau = a + b \cdot W$	-0,305	23	$R = a + b \cdot W$	-0,363
Јаруга	13	$\tau = a + b \cdot W$	-0,348	13	$R = a + b \cdot W$	-0,289
Σ Обала + Σ Јаруга	37	$\tau = a + b \cdot W$	-0,263	36	$R = a + b \cdot W$	-0,295

#### 4.4.6.1.3. Укупан број вредности параметара узорака прве зоне и узорака друге зоне

У Табели 65 су представљени резултати спроведене линеарне регресије свих узорака **прве зоне** и узорака **друге зоне** на основу резултата приказаних у табелама 33, 34, 35, 37, 38 и 39. Приказани коефицијенти корелације указују да не постоји значајна веза између анализираних променљивих.

Табела 65 – Резултати регресионе анализе параметара влажности, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле

Зависност	Чврстоћа земљишта на смицање			Отпор при продору игле		
	$\tau$			R		
	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
$\Sigma$ Прва зона	76	$\tau = a + b \cdot W$	-0,239	75	$R = a + b \cdot W$	-0,321
+ $\Sigma$ Друга зона						

#### 4.4.6.1.4. Експериментално добијене вредности

Резултати спроведене регресионе анализе експериментално одређених вредности параметара тренутне влажности земљишта и параметра чврстоћа земљишта на смицање, као и влажности и отпора при продору игле, представљени су у табели 66. Анализа је извршена за узорке из оба периода експерименталног опита у јаругама (табела 40), и на обалама (табела 41) као и за укупан број узорака. За све променљиве постављена је линеарна корелација. Према добијеним вредностима коефицијента корелације, незнатну везу показали су узорци из опита у јаругама, како за однос тренутне влажности и параметра чврстоћа земљишта на смицање, тако и за однос тренутне влажности и отпора при продору игле. Такође, незнатну јачину везе показује и однос између променљивих тренутне влажности и отпора при продору игле, за укупан број вредности параметара добијених експериментом. Значајну везу показују вредности добијене код опита на обалама, као и код односа тренутне влажности и параметра чврстоћа земљишта на смицање укупне групе узорака.

Табела 66 – Резултати регресионе анализа експериментално добијених параметара

Зависност	Чврстоћа земљишта на смицање			Отпор при продору игле		
	$\tau$			R		
	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	15	$\tau = a + b \cdot W$	-0,349	15	$R = a + b \cdot W$	-0,122
Јаруге	<b>16</b>	<b><math>\tau = a + b \cdot W</math></b>	<b>-0,649</b>	<b>16</b>	<b><math>R = a + b \cdot W</math></b>	<b>-0,631</b>
$\Sigma$ Обале						
+ $\Sigma$ Јаруге	<b>31</b>	<b><math>\tau = a + b \cdot W</math></b>	<b>-0,526</b>	31	$R = a + b \cdot W$	-0,398

#### 4.4.6.1.4.1. Јаруге

На основу дијаграма расутости вредности представљених у табели 40, параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности земљишта, утврђено је постојање нелинеарне статистичке везе. Спроведеном нелинеарном регресијом утврђено је да полином другог степена најбоље описује зависност ова два параметра. Једначина модела има облик:

$$\tau = -9,046 + 0,939 \cdot W - 0,011 \cdot W^2 \quad (12)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $W$

број узорака: 13

Статистички показатељи постављене зависности:

Коефицијент детерминације = 50,76%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 40,91%

Стандардна грешка процене = 1,42

Средња апсолутна грешка = 1,01

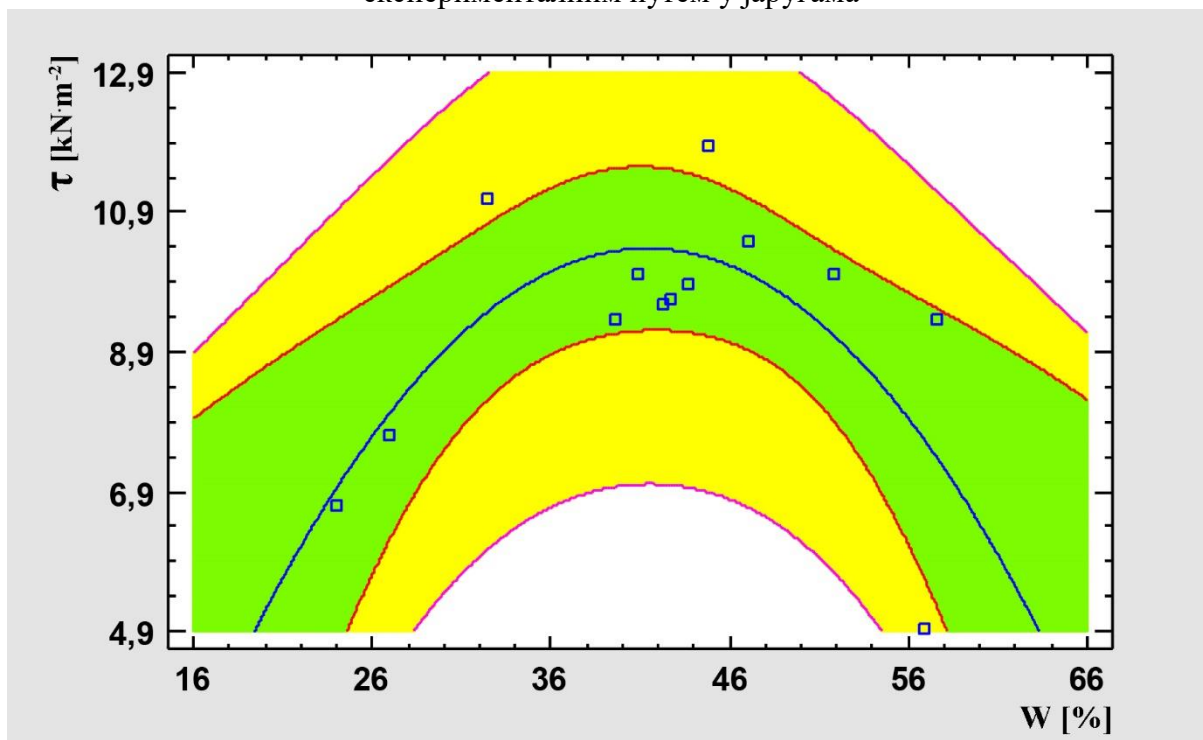
Резултати анализе варијансе представљени су у табели 67.

Табела 67 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	20,731	2	5,15	0,0289

На Графику 2 представљена је статистичка зависност анализираних параметра, добијених експерименталним путем у јаругама, коју најбоље описује полином другог степена.

График 2 – Статистичка зависност тренутне влажности и напона смицања, добијених експерименталним путем у јаругама



#### 4.4.6.1.4.2. Обале

Спроведеном анализом нелинеарне регресије, на основу експериментално добијених вредности на обалама, параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, представљених у табели 41, утврђено је да најбољу зависност ова два параметра даје следећа једначина:

$$\tau = \frac{1}{-0,076 + 0,0453 \cdot \ln W} \quad (13)$$

зависна променљива:  $\tau$   
 независна променљива:  $W$   
 број узорака: 16

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,75  
 Коефицијент детерминације = 56,17%  
 Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 53,04%  
 Стандардна грешка процене = 0,014  
 Средња апсолутна грешка = 0,011

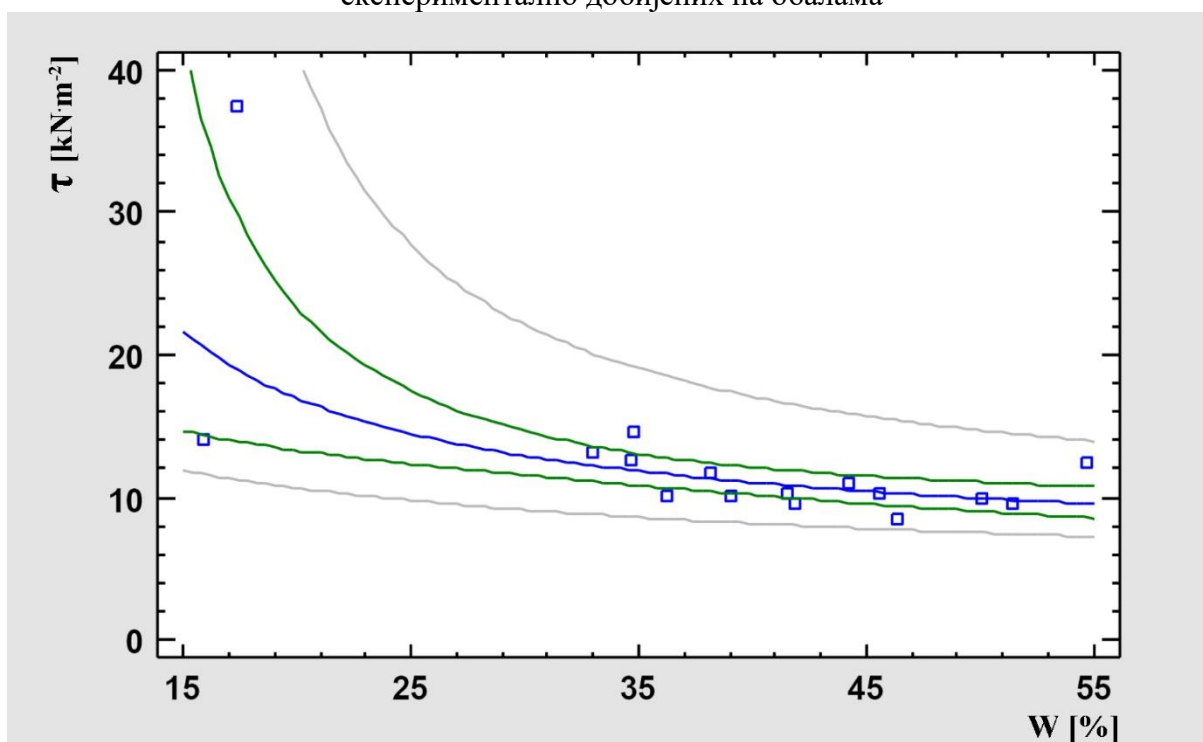
Резултати анализе варијансе представљени су у табели 68.

Табела 68 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	0,0037	1	17,94	0,0008

На графику 3 представљена је статистичка зависност експериментално добијених вредности на обалама, између зависно променљиве тренутне влажности и независно променљиве чврстоће земљишта на смицање.

График 3 – Статистичка зависност тренутне влажности чврстоће земљишта на смицање, експериментално добијених на обалама



Модел који најбоље описује статистичку зависност експериментално добијених вредности на обали, отпора при продору игле ( $R$ ) и тренутне влажности ( $W$ ), има следећи облик:

$$R = \frac{1}{0,0031 + 0,000002 \cdot W^2} \quad (14)$$

зависна променљива:  $R$   
 независна променљива:  $W$   
 број узорака: 16

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,68  
 Коефицијент детерминације = 46,80%  
 Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 43,00%  
 Стандардна грешка процене = 0,001  
 Средња апсолутна грешка = 0,001



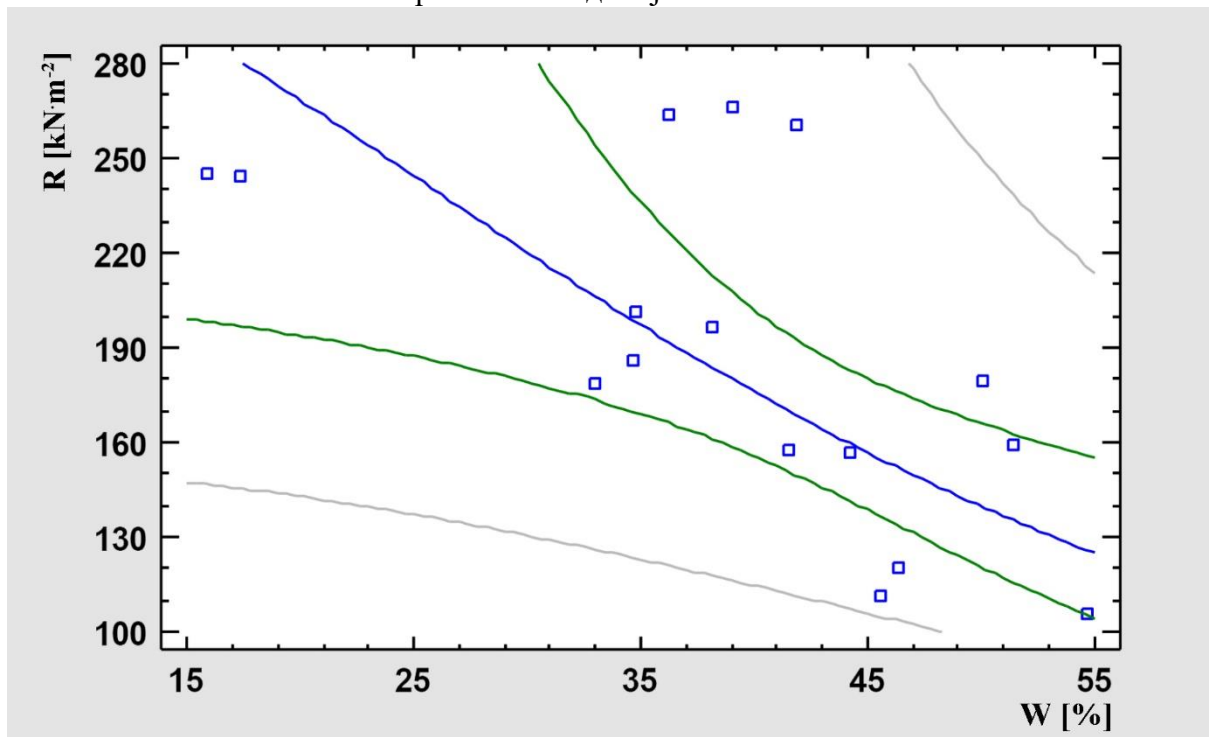
У табели 69 приказани су резултати анализе варијансе.

Табела 69 – Табела резултата анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	0,00002	1	12,32	0,0035

На графику 4 представљена је статистичка зависност зависно променљиве тренутне влажности и независно променљиве отпора при продору игле, добијених током експерименталног опита на обали.

График 4 – Статистичка зависност тренутне влажности и отпора при продору игле, експериментално добијених на обалама



#### 4.4.6.1.4.3. Укупно

Модел који најбоље описује статистичку зависност укупних вредности добијених експерименталним путем, између параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{-230,241 + \frac{14952,4}{W}} \quad (15)$$

зависна променљива:  $\tau$   
 независна променљива:  $W$   
 број узорака: 31

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације= 0,58

Коефицијент детерминације = 33,27%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 30,97%

Стандардна грешка процене = 224,605

Средња апсолутна грешка = 111,92

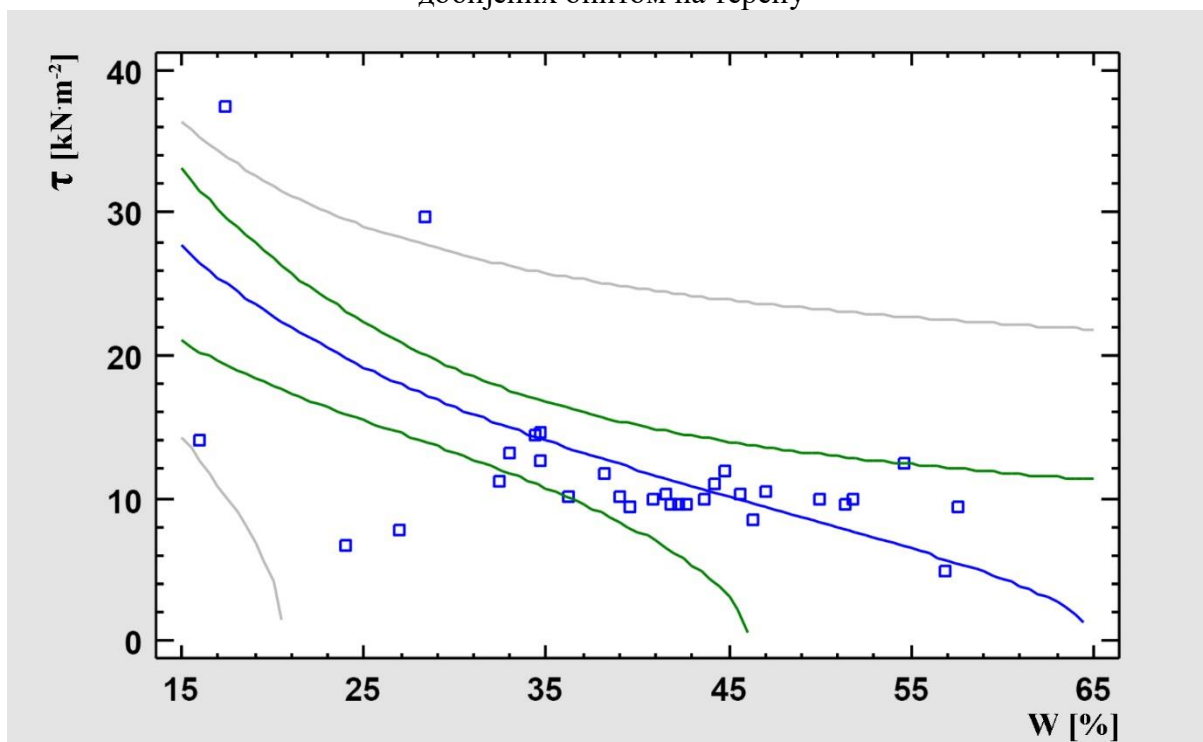
У табели 70 приказани су резултати анализе варијансе.

Табела 70 – Табела резултата анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	729527	1	14,46	0,0007

На графику 5 представљена је функционална зависност променљивих тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање, на основу вредности добијених опитом на терену.

График 5 – Статистичка зависност тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање, добијених опитом на терену



#### 4.4.6.1.5. Скуп 13 профила и експериментално добијене вредности

У табели 71 представљени су резултати примене модела линеарне регресије скупа узорака, **прве зоне**, **друге зоне** и добијених **експерименталним** путем на основу резултата приказаних у табелама 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40 и 41. Коефицијент корелације указује на постојање значајне везе између променљивих чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности као и код отпора при продору игле и тренутне влажности.

Табела 71 – Регресиона анализа скупа 13 профила и експериментално добијених вредности

Зависност	Чврстоћа земљишта на смицање			Отпор при продору игле		
	τ			R		
	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Σ Прва зона + Σ Друга зона + Σ Експеримент	<b>107</b>	<b>τ = a + b·W</b>	<b>-0,623</b>	<b>106</b>	<b>R = a + b·W</b>	<b>-0,651</b>

##### 4.4.6.1.5.1. Чврстоћа земљишта на смицање и тренутна влажност

Статистичку зависност чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену најбоље описује модел са следећим математичким обликом:

$$\tau = \frac{1}{-0,0042 + 0,00005 \cdot W^2} \quad (16)$$

зависна променљива: τ  
независна променљива: W  
број узорака: 98

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,85  
Коефицијент детерминације = 71,91%  
Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 71,62%  
Стандардна грешка процене = 0,02  
Средња апсолутна грешка = 0,015

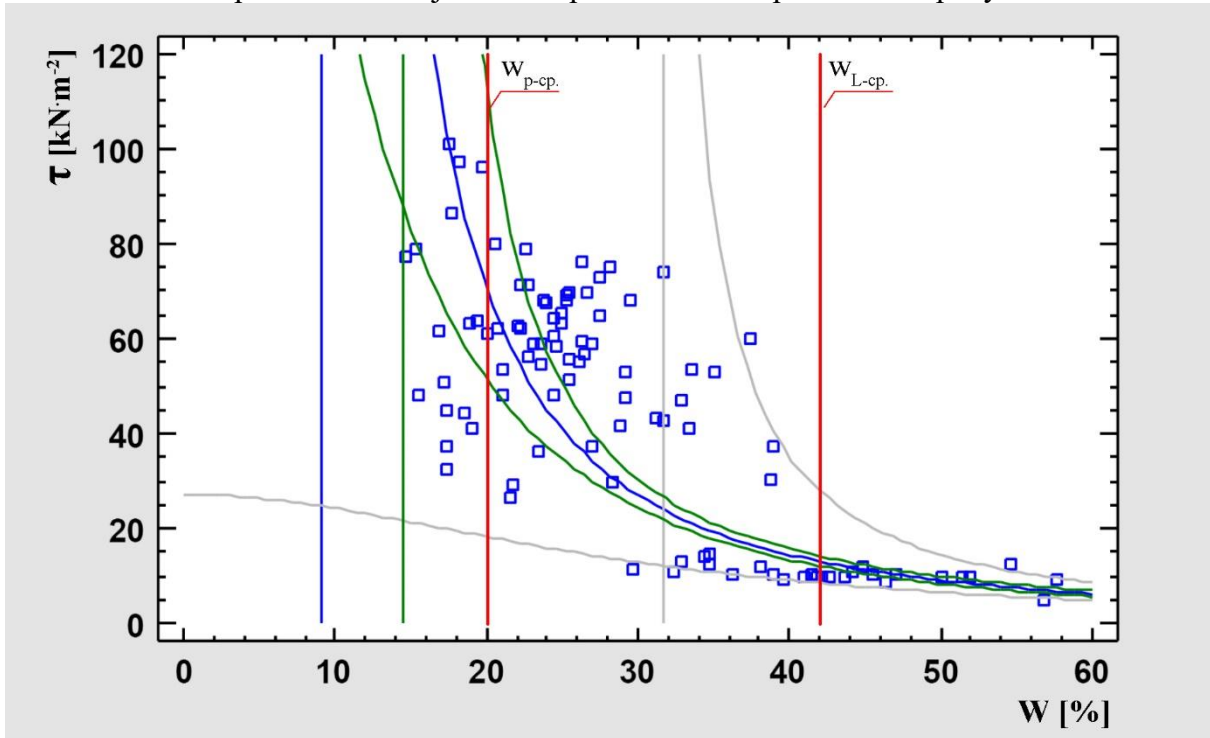
У табели 72 приказани су резултати спроведене анализе варијансе.

Табела 72 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	0,101616	1	245,80	0,0000

Графички приказ статистичке зависности чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену, представљен је на графику 6.

График 6 – Статистичка зависност чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену



#### 4.4.6.1.5.2. Отпор при продору игле и тренутна влажност

Модел који најбоље објашњава статистичку зависност између променљивих отпора при продору игле и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену, има следећи математички облик:

$$R = \frac{1}{0,0024 + 0,000002 \cdot W^2} \quad (17)$$

зависна променљива:  $R$   
 независна променљива:  $W$   
 број узорака: 96

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,81  
 Коефицијент детерминације = 65,16%  
 Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 64,78%  
 Стандардна грешка процене = 0,001  
 Средња апсолутна грешка = 0,0008

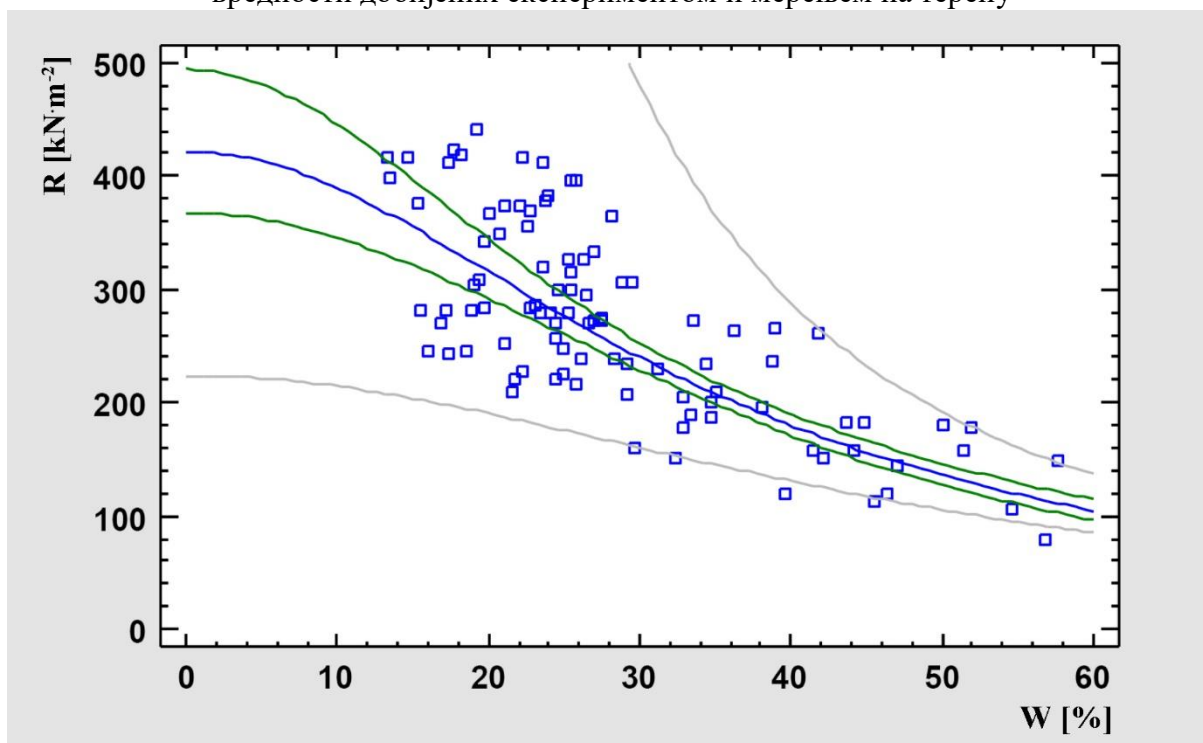
У табели 73 представљени су резултати извршене анализе варијансе.

Табела 73 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	$p$ вредност
Модел	0,0002	1	175,77	0,0000

Графички приказ функционалне зависности између променљивих отпора при продору игле и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену, представљен је на графику 7.

График 7 – Статистичка зависност отпора при продору игле и тренутне влажности, вредности добијених експериментом и мерењем на терену



#### 4.4.6.2. Статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле

##### 4.4.6.2.1. Узорци прве зоне

Регресиона анализа параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорка **прве зоне** спроведена је на основу резултата приказаних у табелама 33, 34 и 35. У табели 74 представљени су резултати линеарног корелационог модела. Приказани коефицијенати корелације указују на постојање значајне статистичке везе између променљивих код издвојених група узорака **обале (лева и десна)** и групе узорака **укупно (укупно обале и јаруга)**. Код групе узорака **јаруга** коефицијент корелације указују на малу зависност између променљивих.

Табела 74 – Линеарна корелациона анализа чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака прве зоне

Зависност	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	26	$\tau = a + b \cdot R$	0,696
Јаруга	13	$\tau = a + b \cdot R$	0,355
Обале + Јаруга	39	$\tau = a + b \cdot R$	0,586

#### 4.4.6.2.1.1. Обале

Регресиони модел који најбоље описује статистичку зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **прве зоне са обала** (табеле 34 и 35) има математички облик:

$$\tau = 11,965 + 0,00045 \cdot R^2 \quad (18)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 24

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,87

Коефицијент детерминације = 75,56%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 74,45%

Стандардна грешка процене = 10,30

Средња апсолутна грешка = 8,40

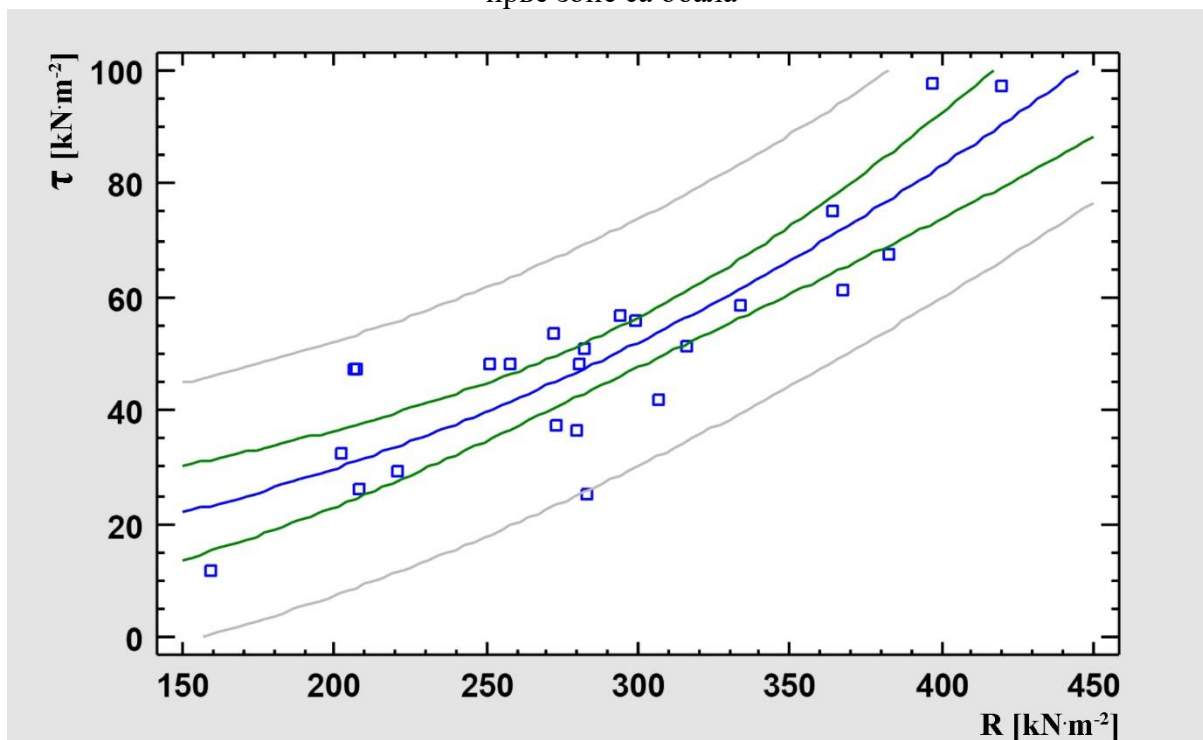
У табели 75 приказани су резултати спроведене анализе варијансе.

Табела 75 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	7210,08	1	68,01	0,0000

На графику 8 представљена је статистичка зависност између параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле код узорака **прве зоне са обала**.

График 8 – Веза између чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, узорака прве зоне са обала



#### 4.4.6.2.1.2. Укупно

Модел који најбоље описује однос параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле код узорака **прве зоне**, са одбачених 10% вредности парова података који јасно одступају од карактеристичне слике, има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{-629,176 + 0,0409 \cdot R^2} \quad (19)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 35

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,75

Коефицијент детерминације = 55,58%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 54,24%

Стандардна грешка процене = 1412,43

Средња апсолутна грешка = 1028,06

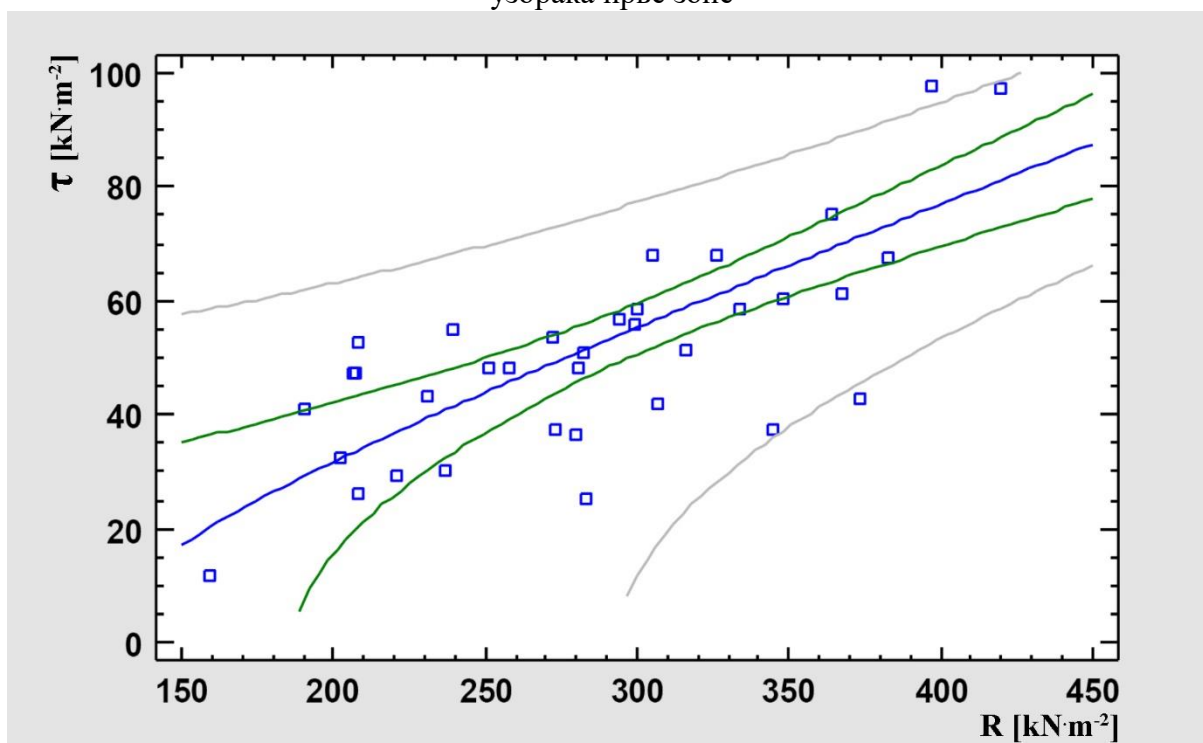
Анализа варијансе чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **прве зоне** приказана је у табели 76.

Табела 76 - Анализа варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	$8,238 \cdot 10^7$	1	41,29	0,0000

На графику 9 представљена је статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле код узорака **прве зоне**.

График 9 – Веза између чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле код узорака прве зоне



#### 4.4.6.2.2. Узорци друге зоне

Резултати корелационе анализе узорака **друге зоне** спроведене на основу резултата приказаних у табелама 37, 38 и 39, представљени су у табели 77. Вредности коефицијента корелације указују на постојање значајне везе између променљивих, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, свих издвојених група. Стога је спроведена даља регресиона анализа.

Табела 77 – Резултати линеарне корелационе анализа

Зависност	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	22	$\tau = a + b \cdot R$	0,51
Јаруга	13	$\tau = a + b \cdot R$	0,53
Обале + Јаруга	35	$\tau = a + b \cdot R$	0,54



#### 4.4.6.2.2.1. Обале

Модел који најбоље описује статистичку зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне**, групе узорака **обале**, на основу вредности представљених у табелама 38 и 39, има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{-348,48 + 13,821 \cdot R} \quad (20)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 21

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,57

Коефицијент детерминације = 32,11%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 28,54%

Стандардна грешка процене = 1409,75

Средња апсолутна грешка = 1109,25

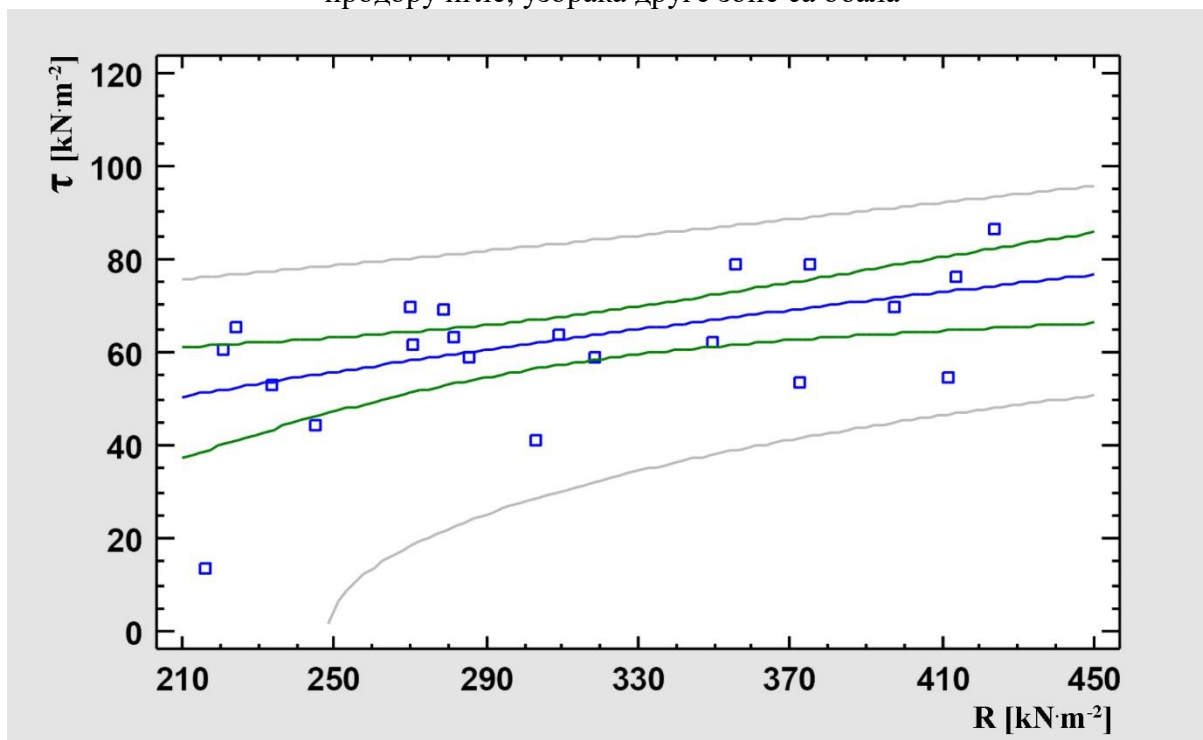
Резултати спроведене анализе варијансе приказани су у табели 78.

Табела 78 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	$1,786 \cdot 10^7$	1	8,99	0,0074

На графику 10 представљена је статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне** са **обала**.

График 10 – Статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, узорака друге зоне са обала



#### 4.4.6.2.2.2. Јаруга

Спроведеном нелинеарном регресионом анализом променљивих, чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, узорак **друге зоне** из **јаруге**, на основу резултата приказаних у табели 37, утврђен је модел који најбоље описује функционалну зависност и има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{2780,98 + 0,0142 \cdot R^2} \quad (21)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 12

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,77

Коефицијент детерминације = 59,86%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 55,85%

Стандардна грешка процене = 554,818

Средња апсолутна грешка = 448,542

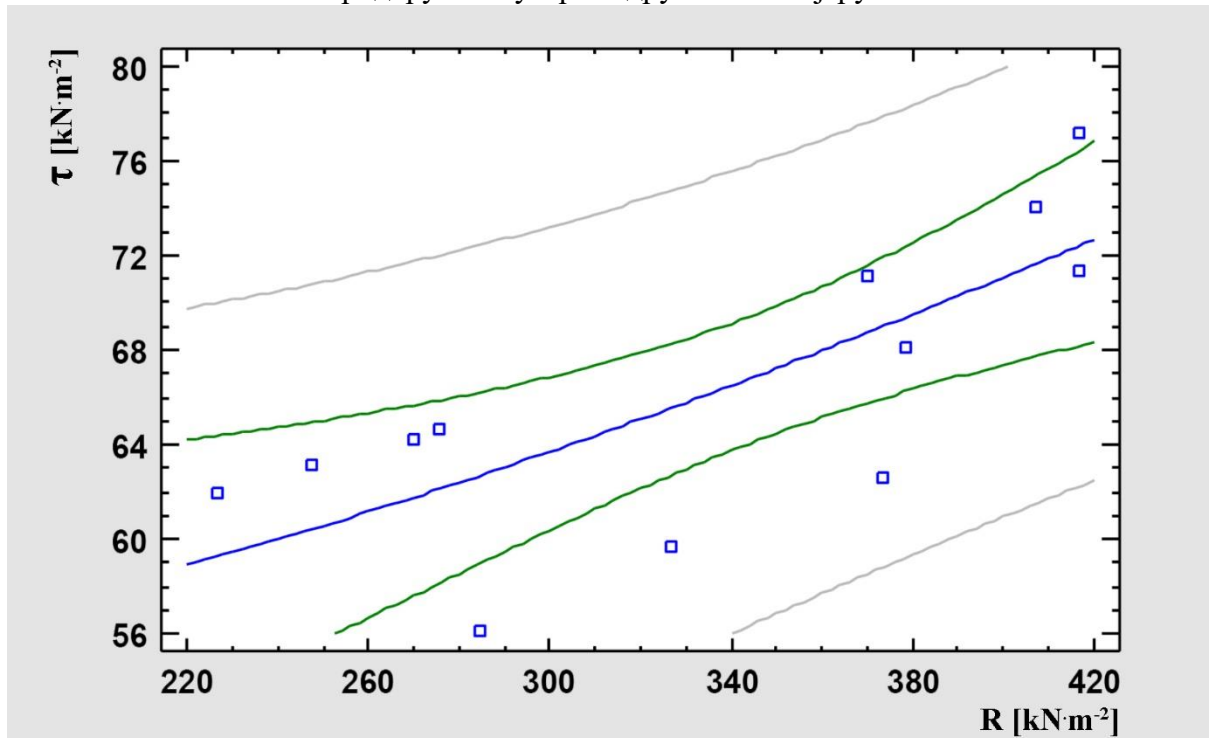
У табели 79 приказани су резултати спроведене анализе варијансе.

Табела 79 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	4,591·10 <sup>6</sup>	1	14,92	0,0031

На графику 12 представљена је статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне** из **јаруге**.

График 11 – Статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **друге зоне** из **јаруге**



#### 4.4.6.2.2.3. Укупно

Модел који најбоље објашњава статистичку зависност чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле свих узорака **друге зоне**, има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{2646,85 + 0,0155 \cdot R^2} \quad (22)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 31

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,58

Коефицијент детерминације = 33,34%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 31,06%

Стандардна грешка процене = 982,39

Средња апсолутна грешка = 739,49

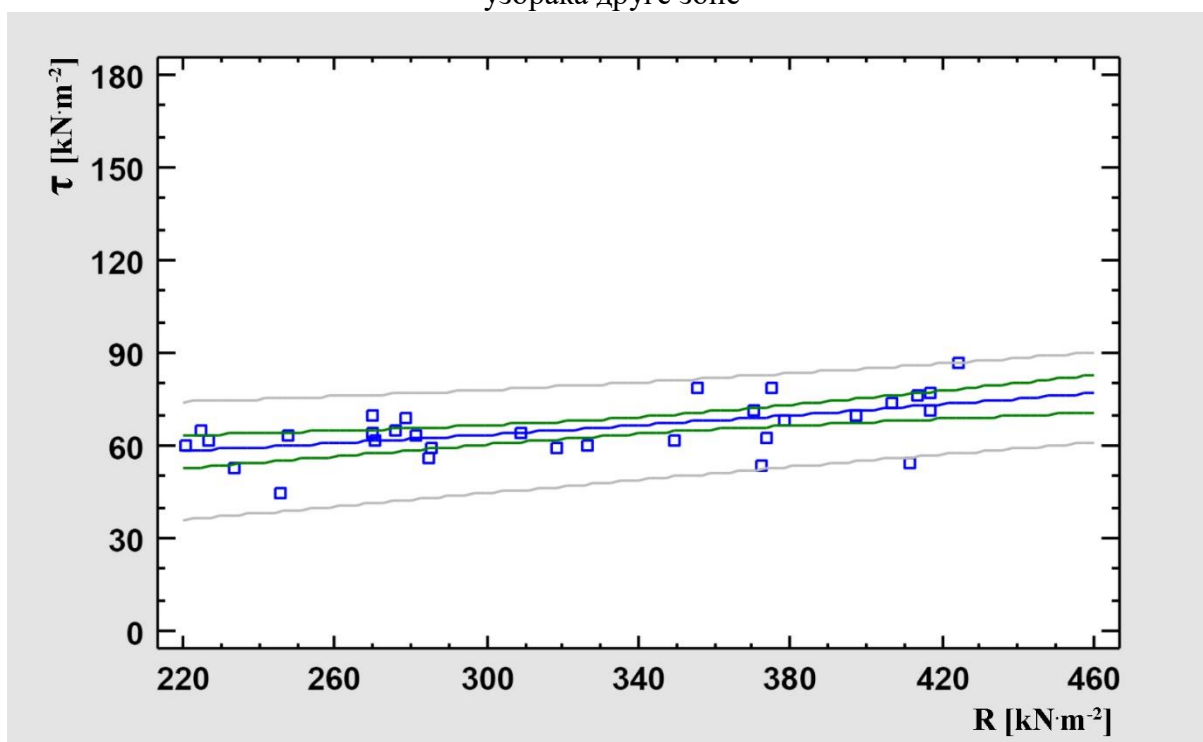
Резултати анализе варијансе представљени су у табели 80.

Табела 80 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	$4,591 \cdot 10^6$	1	14,92	0,0031

На графику 12 представљена је статистичка зависност променљивих чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле свих узорака **друге зоне**.

График 12 – Статистичка зависност чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору узорака друге зоне



#### 4.4.6.2.3. Експериментално добијене вредности

У табели 81 представљени су резултати примене линеарног корелационог модела за променљиве чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, које су екпериментално добијене на основу резултата из табела 40 и 41. Вредност коефицијента корелације указује на постојање јаке функционалне везе анализираних параметара, који су добијени помоћу експеримента на узорцима из јаруга. Вредност коефицијента корелације анализираних параметара, из опита на узорцима из обале, указује на слабу везу између променљивих, те се неће даље анализирати. Корелација укупних вредности, добијених експерименталним путем, даје коефицијент корелације од 0,48 што представља граничну вредност, која упућује на даље статистичке анализе и детерминацију модела који најбоље описује зависност.

Табела 81 – Резултати линеарне корелационе анализе експериментално добијених вредности

Зависност	Број узорака	Једначина	Коефицијент корелације
Обале	15	$\tau = a + b \cdot R$	0,72
Јаруга	16	$\tau = a + b \cdot R$	0,29
Обале + Јаруга	31	$\tau = a + b \cdot R$	0,48

#### 4.4.6.2.3.1. Јаруга

Спроведена нелинеарна регресиона анализа између променљивих чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, за **експериментално** добијене вредности у **јарузи**, дала је модел који најбоље описује функционалну зависност. Модел има следећи математички облик:

$$\tau = \sqrt{42,787 + 0,0026 \cdot R^2} \quad (23)$$

зависна променљива:  $\tau$   
 независна променљива:  $R$   
 број узорака: 14

Са статистичким показатељима:

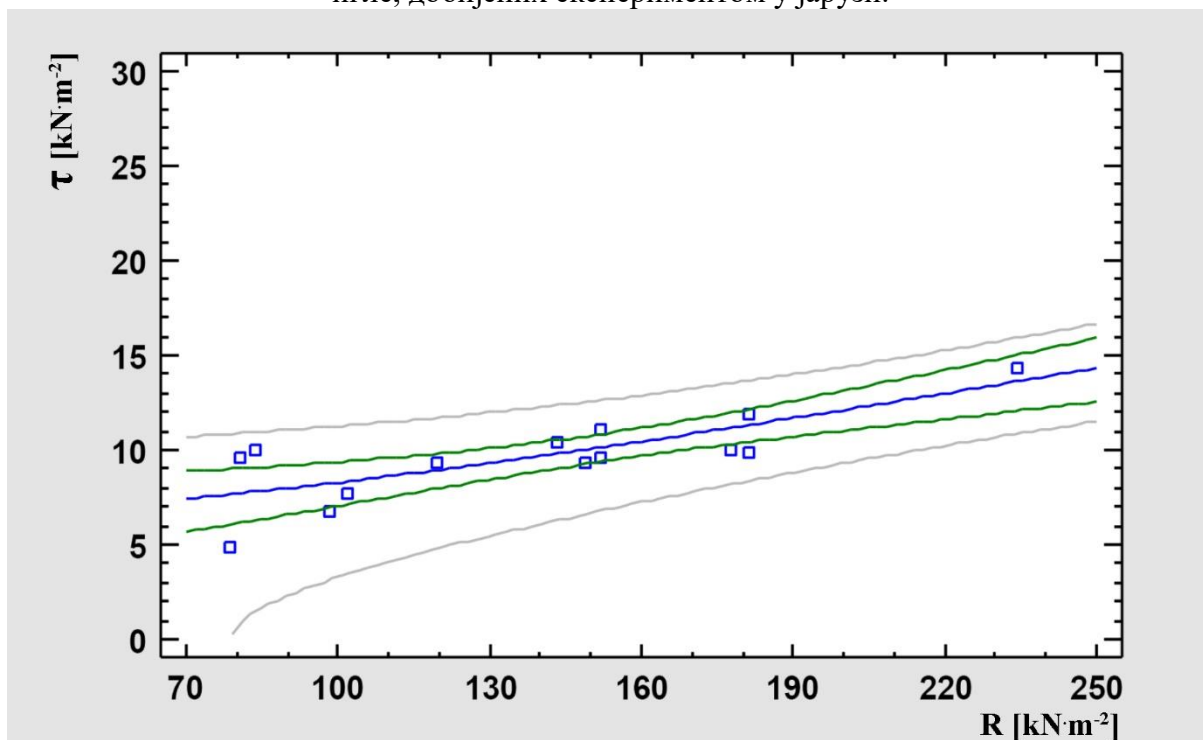
Коефицијент корелације = 0,83  
 Коефицијент детерминације = 68,82%  
 Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 66,23%  
 Стандардна грешка процене = 25,10  
 Средња апсолутна грешка = 21,00

У табели 82 приказани су резултати спроведене анализе варијансе.

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	$1,669 \cdot 10^6$	1	26,49	0,0002

На графику 13 представљена је статистичка зависност променљивих чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, добијених спроведеним **експериментом** у **јарузи**.

График 13 – Статистичка зависност чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, добијених експериментом у јарузи.



#### 4.4.6.2.3.2. Укупно

Модел који најбоље описује статистичку зависност променљивих чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле експериментално добијених вредности, има следећи математички облик:

$$\tau = \frac{1}{0,0571 + \frac{6,2555}{R}} \quad (24)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 29

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,62

Коефицијент детерминације = 38,52%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 36,24%

Стандардна грешка процене = 0,02

Средња апсолутна грешка = 0,015

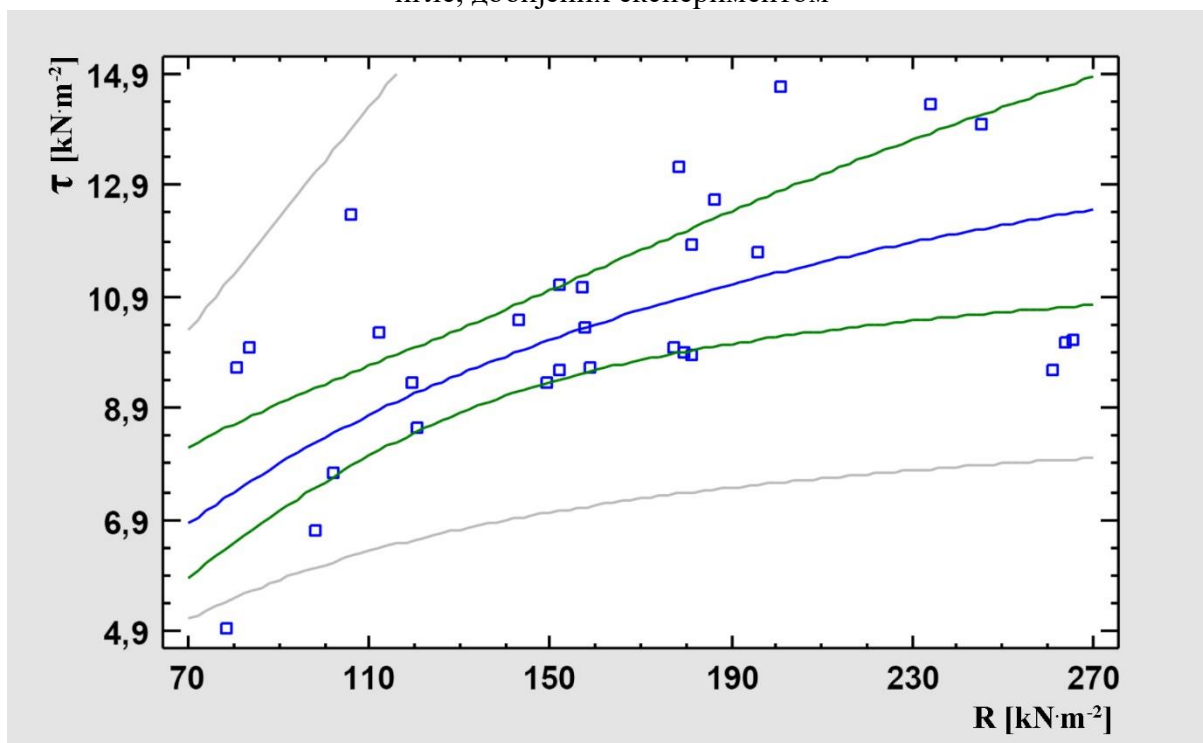
Резултати спроведене анализе варијансе приказани су у табели 83.

Табела 83 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободе	F расподела	p вредност
Модел	$7,357 \cdot 10^{-3}$	1	16,91	0,0003

На графику 14 представљена је статистичка зависност променљивих чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, на основу резултата добијених експериментом.

График 14 – Статистичка зависност чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле, добијених експериментом



#### 4.4.6.2.4. УКУПНО

У табели 84 представљени су резултати корелационе анализе параметара чврстоће земљишта на смицање и отпор при продору игле узорак **прве зоне, друге зоне** и **експериментално добијених вредности** приказаних у табелама 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41.

Табела 84 – Резултати линеарне корелациона анализа

Зависност	Број узорак	Једначина	Коефицијент корелације
Прва зона + Друга зона	74	$\tau = a + b \cdot R$	0,59
Прва зона + Друга зона + Експериментално	105	$\tau = a + b \cdot R$	0,78

#### 4.4.6.2.4.1. Узорци прве и друге зоне

Модел који најбоље описује статистичку зависност између параметара чврстоће земљишта на смицање и отпор при продору игле узорака **прве** и **друге зоне** (табеле 33, 34, 35, 37, 38, 39), има следећи математички облик:

$$\tau = (10,682 - \frac{935,38}{R})^2 \quad (25)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 70

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,65

Коефицијент детерминације = 41,72%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободe) = 40,86%

Стандардна грешка процене = 0,94

Средња апсолутна грешка = 0,71

У табели 85 приказани су резултати анализе варијансе.

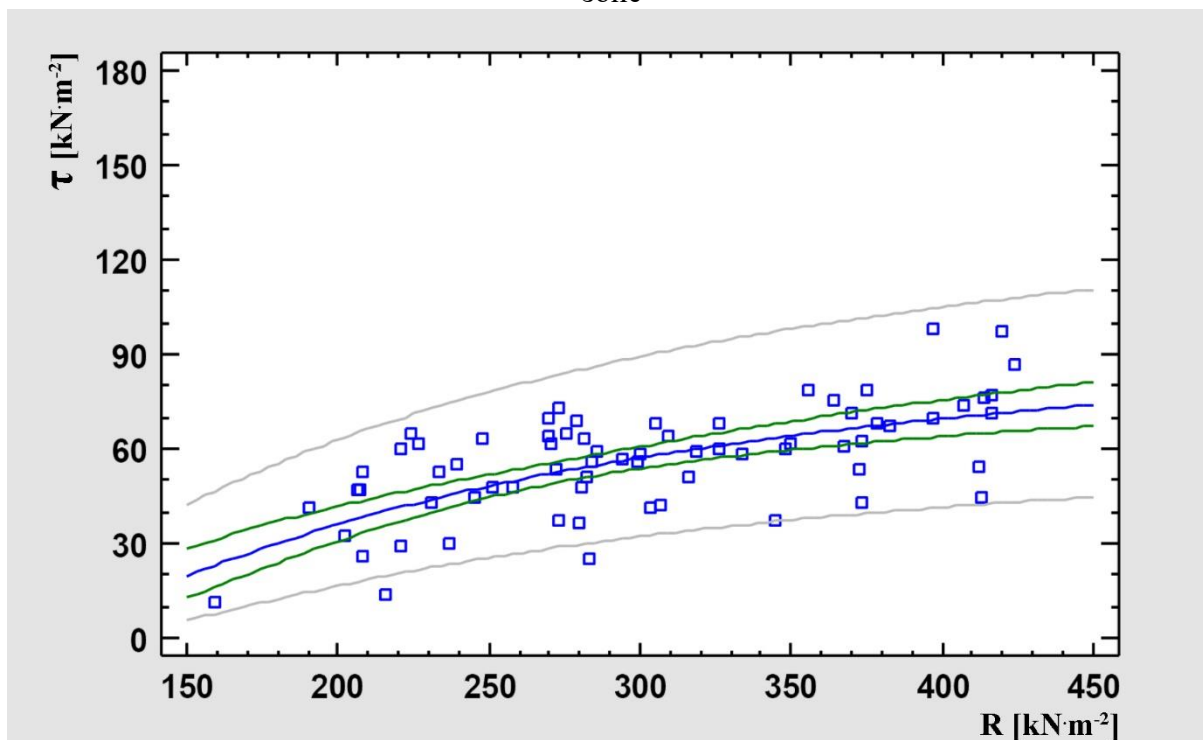
Табела 85 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	p вредност
Модел	42,781	1	48,68	0,000

На графику 15 представљена је статистичка зависност свих вредности параметара ( $\tau$  и  $R$ ) узорака **прве** и **друге зоне**.



График 15 – Статистичка зависност свих вредности параметара ( $\tau$  и  $R$ ) узорака прве и друге зоне



#### 4.4.6.2.4.2. Узорци прве зоне, друге зоне и експериментално добијене вредности

Модел који најбоље описује статистичку зависност између параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака **прве зоне, друге зоне и експериментално** добијене вредности (табеле 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41), има следећи математички облик:

$$\tau = e^{(-6,01738 + 1,73786 \cdot \ln R)} \quad (26)$$

зависна променљива:  $\tau$

независна променљива:  $R$

број узорака: 96

Са статистичким показатељима:

Коефицијент корелације = 0,87

Коефицијент детерминације = 76,32%

Коефицијент детерминације (коригован за степен слободе) = 76,07%

Стандардна грешка процене = 0,40

Средња апсолутна грешка = 0,32

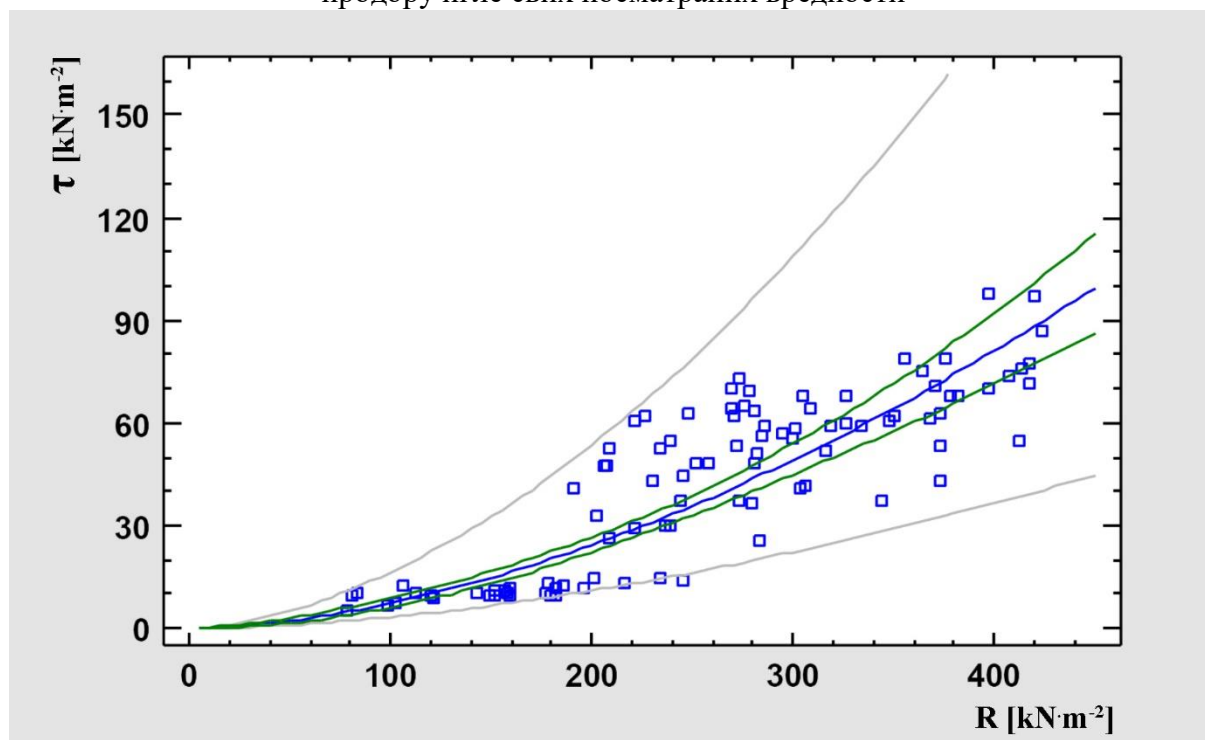
У табели 86 приказани су резултати спроведене анализе варијансе.

Табела 86 – Резултати анализе варијансе

Узорак	Сума квадрата	Степен слободe	F расподела	<i>p</i> вредност
Модел	47,590	1	302,95	0,000

На графику 16 представљена је статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле свих посматраних вредности.

График 16 – Статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле свих посматраних вредности



## 5. ДИСКУСИЈА

*„Пошто у сваком истраживању код кога постоје начела, узроци или елементи, знање или спознаја следе из познавања тога – јер верујемо да нешто знамо онда кад смо спознали прве узроке и прва начела, и кад смо дошли до елемената – очигледно је да и у случају науке о природи најпре треба покушати да се разграничи то што се тиче начела.“ Aristotel<sup>7</sup>*

### 5.1. ФИЗИЧКИ ПАРАМЕТРИ

#### 5.1.1. Запреминске тежине

Структуру земљишта карактерише просторни распоред чврстих честица (органског или минералног порекла) унутар укупне запремине, што се дефинише запреминским масама, односно тежинама. Овај распоред директно утиче на механичка (збијеност и отпорност), хидрауличка и топлотна својства земљишта (Assouline, 2011).

Анализирањем резултата параметара специфичне запреминске тежине представљених у табелама 7, 8, 9, 11, 12 и 13, уочено је да су вредности нешто ниже од очекиваних за анализирано земљиште. Вредности специфичне запреминске тежине  $\gamma_s$  варирају у опсегу од 22,0 до 26,2 kN·m<sup>-3</sup> што указује на веће присуство чврстих честица глиновитог и органског порекла, у односу на присуство тежих минералних честица. Специфична запреминска маса зависи од састава минералне и органске компоненте земљишта (Sollins et al., 2009). Код минералних земљишта специфична запреминска маса варира у опсегу од 2,4 до 2,9 g·cm<sup>-3</sup> док код органских компонената земљишта она зависи од интензитета распадања органске материје, тако да њене вредности варирају од 1,0 до 1,5 g·cm<sup>-3</sup> (Ruhulmann et al., 2005). Спроведеном компаративном анализом за вредности параметра специфична запреминска тежина није утврђена значајна статистичка разлика између издвојених група узорака (табела 42 и 43), као ни између зона (табела 54), што указује да су испитивана земљишта истог порекла.

Запреминска тежина природно влажног земљишта  $\gamma$  (табеле 7, 8, 9, 11, 12, 13) има велики распон вредности, од 12,4 до 18,82 kN·m<sup>-3</sup>, указујући на различит садржај влажности у тренутку узорковања, као и на различиту збијеност земљишта. Nadal-Romero et al. (2007) су утврдили велике разлике у вредностима запреминске тежине узорака земљишта који су узимани у различитим периодима године. На основу вредности мера централне тенденције (средње вредности и медијане), узорака прве и друге зоне приказаних у табелама 6 и 10, може се установити да узорци прве зоне имају мању запреминску тежину природно влажног земљишта, у односу на узорке друге зоне. Materechera и Molza-Banda (1997), Unger и Jones (1998), Nadal-Romero et al. (2007) и Bogunovic et al. (2018), су такође утврдили пораст запреминске тежине природно влажног земљишта са дубином. Спроведеном компаративном анализом, представљеном у табелама 42, 43 и 54, установљена је значајна статистичка разлика између узорака из прве и узорка из друге зоне. Код компарације између издвојених група узорака у обе зоне није утврђена значајна статистичка разлика. Посматрајући мере централне тенденције код узорака из прве зоне (табеле 7, 8 и 9), утврђено је да су вредности узорака из јаруга веће за око 1,0 kN·m<sup>-3</sup>, што чини разлику од 8,0%, у односу на узорке из обала. Код узорака из друге зоне ова појава није уочена. Према истраживањима Han et al. (2009), земљишта са иницијално већим запреминским тежинама су отпорнија на процес збијања механизацијом. Запреминска тежина природно влажног земљишта може се користити као индикатор тренутног стања земљишта, што је од велике важности за геотехничке прорачуне

<sup>7</sup> Aristotel (384. p.n.e. - 322. godina p.n.e.): Fizika. (str. 7) prevod, komentari i napomene Blagojević U. Slobodan. 1. izd. – Beograd: Paideia, 2006. ISBN 86-7448-323-2

стабилности земљишта. Такође, значајан су индикатор отпорних и деформабилних особина земљишта (Gajić, 2010).

Вредности суве запреминске тежине  $\gamma_d$  код свих узорака су релативно ниске и варирају у опсегу од 10,06 до 15,35  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$  (табеле 7, 8, 9, 11, 12, 13). Pereyra et al. (2020), у истраживањима седимената који су према механичким особинама указивали на лесно порекло, забележили су вредности суве запреминске масе у распону од 1,04  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  до 1,4  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Вредности суве запреминске тежине узорак прве зоне варирају у опсегу од 10,06 до 14,36  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , док код узорака друге зоне оне варирају од 12,10 до 15,53  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ . На основу резултата спроведене компаративне анализе између узорака са обала и узорака из јаруга, приказаних у табелама 42 и 43, утврђено је да не постоје статистички значајне разлике ни у једној зони. Узорци земљишта из друге зоне одликују се већим вредностима суве запреминске тежине у односу на узорке из прве зоне. То је потврђено резултатима спроведене компаративне анализе, приказане у табели 54, којима је утврђена значајна статистичка разлика између узорака прве и друге зоне. Вредности коефицијента варијације (табеле 6 и 10) указују на мању варијабилност у резултатима код узорака земљишта из друге зоне, у односу на узорке из прве зоне. Повећање суве запреминске тежине узорака, мерених од површине до дубине од 30 cm, утврдили су у својим истраживањима Klik и Rosner (2020). Тенденција пораста вредности суве запреминске тежине са дужином указује на већу збијеност подслојева. Такође може указивати на то да је земљиште друге зоне мање захваћено ерозионим процесом. У истраживањима Martínez-Hernández et al. (2017), на земљиштима захваћеним ерозионим процесима у почетној фази, вредности запреминских тежина биле су ниске, са распоним од 1,1 до 1,4  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (11,0–14,0  $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Вредности суве запреминске масе површинских слојева код колапсибилних јаруга у лесу, у Кини, имале су опсег од 1,27 до 1,33  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$  (Deng et al., 2017). Xia et al. (2019) су утврдили да површински слојеви имају најниже вредности суве запреминске масе, у опсегу од 1,25 до 1,43  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Pirastru et al. (2013) су утврдили да површински слој шумских земљишта има ниже вредности суве запреминске тежине од дубљих слојева, као и да су запреминске тежине сувог земљишта под шумом мање од запреминских тежина оближњих ливада.

Веће вредности суве запреминске масе земљишта имају ефекат на повећање критичног напона смицања који доводи до настанка ерозионог процеса (Benahmed, Bonelli, 2012). Wang et al. (2019) су утврдили високу негативну корелациону зависност између брзине еродирања и суве запреминске масе земљишта. Guo et al., (2019) су утврдили високу негативну корелациону зависност између количине еродираних земљишта и његове суве запреминске масе. Бројна истраживања су показала да су земљишта са нижим вредностима сувих запреминских тежина подложнија еродирању, односно, да је за иницирање ерозионог процеса потребна мања сила (Ghebreiyessus et al., 1994; Gajić, 2000; Zhang et al., 2001; Zhang et al., 2009; Grabowski et al., 2011; Dong et al., 2012). Утицај вредности суве запреминске тежине на настанак унутрашњих облика ерозионог процеса истакли су Gajić (2000) и Гајић et al. (2013). Sun et al. (2016) су утврдили високу негативну корелациону зависност између суве запреминске тежине и продукције ерозије, кроз истраживања настанка линијске унутрашње ерозије. Запреминска тежина сувог узорка је значајан индикатор стања земљишта, нарочито у погледу отпорних карактеристика земљишта (Gajić, 2010). Са повећањем суве запреминске масе земљишта смањује се еродибилност земљишта (Hanson, Robinson, 1993; Wang et al., 2019).

Варијација вредности запреминских тежина узорака земљишта (влажна, сува и специфична) већа је код узорака прве зоне у односу на узорке друге зоне, што указује на већу збијеност узорака из друге зоне, мању порозност као и мању присутност честица органског порекла.

Вредности параметара укупне порозности и коефицијента порозности зависе од запреминске тежине сувог земљишта и од специфичне тежине, што је условило високе распоне у вредностима порозности и коефицијента порозности (табеле 7, 8, 9, 11, 12, 13). Вредности укупне порозности нешто су више код узорака прве зоне, варирају од 36,9 до 61,5%, док код узорака из друге зоне вредности варирају од 32,35 до 53,64%, што испитивана земљишта сврстава у земљишта са високом и веома високом порозношћу, према класификацији FAO (2006). Xia et al. (2019) су утврдили да највећу порозност имају површински слојеви земљишта, због присуства кореновог система и активности микроба.

Порозност минералних земљишта креће се у распону од 0,4 до 0,6 (40-60%), док код органских земљишта може да иде и до 0,9 (90%) (Kutilek, 2011). Посматрајући узорке прве зоне забележене су веће вредности код обала, у односу на јаруге, док су код узорака друге зоне веће вредности забележене код узорака из јаруга, у односу на обале. Веће вредности порозности у обалама код површинских узорака указују на веће присуство органске материје, повољније услове стварања хумусног слоја, већу активност инсеката и микроорганизама, као и мању збијеност. Код земљишта у јаругама, услед формирања концентрисаног тока воде, процес хумификације и формирања структурних агрегата прекида се цикличним процесима еродирања. Већа укупна порозност земљишта у јаругама, код узорака друге зоне, у односу на порозност земљишта обала, може указивати на појаву унутрашњих ерозионих процеса. Такође, већа порозност узорака прве зоне указује на бржу инфилтрацију у дубље слојеве.

Коефицијент порозности код узорака прве зоне варира од 0,58 до 1,60 (табела 6), док код узорака друге зоне варира у распону од 0,48 до 1,16 (табела 10). Гајић et al. (2013) су утврдили да се код испитиваног лесног земљишта порозност кретала у границама од 36,0% до 53,3% а коефицијент порозности од 0,50 – 1,05. Вредности коефицијента варијације (табеле 6 и 10), код параметара порозност и коефицијент порозности, указују да не постоји већа разлика у варијацији резултата. Спроведеном компарацијом између узорака прве и узорка друге зоне, за параметре порозност и коефицијент порозности, установљено је да постоји значајна статистичка разлика (табела 54). Имајући у виду све наведено, истиче се значајност ових параметра у процени збијености земљишта, присуства ерозионог процеса, као и могућности инфилтрације воде у земљиште.

Da Silva et al. (2016) су установили да је познавање запреминске масе земљишта и њене просторне варијације на терену од есенцијалног значаја за правилно моделовање и интерпретацију пенетрационе отпорности земљишта. Гајић (2000) и Li et al. (2020) су истакли значај познавања суве запреминске тежине, као индикатора механизма настанка и развоја унутрашњих ерозионих процеса, док су Hosseinalizadeh et al. (2019) идентификовали суву запремниску масу као најбољи индикатор настанка унутрашње линијске ерозије.

### 5.1.2. Гранулација

Извршеном гранулометријском анализом свих прикупљених узорака, са резултатима приказаним у табелама 15, 16, 17, 19, 20 и 21, утврђена је заступљеност три групе фракција: глине, прашине и пескова. У оквиру групе фракције песак заступљени су прашинаст песак и ситан песак. Према троугаоном дијаграму, заступљене су четири текстурне класе и то лака прашинаста глина, глиновита иловача, песковита иловача и прашинасто глиновита иловача. Најзаступљенија текстурна класа је лака прашинаста глина. Гранулометријски састав земљишта је важан фактор који утиче на структуру, функције земљишта, механичка својства, као и на отпорност земљишта на ерозионе процесе (Martín et al., 2018; Zhai et al., 2020). Вредност коефицијента варијације указује да сви одређивани параметри имају варијацију у

дозвољеним границама од 5 - 30%, сем процентуалног учешћа ситног песка чија варијација износи преко 30%. Ово показује високу варијацију вредности процентуалног учешће фракција ситног песка у узорцима. Такође, уочена је мања варијација садржаја фракције ситног песка код групе узорака јаруга, у односу на групе узорака лева и десна обала. Оваква разлика у варијацији садржаја ситног песка присутна је код обе анализиране зоне.

На основу вредности резултата параметара средње вредности и медијане, приказаних у табелама 14 и 18, евидентно је да се узорци земљишта прве зоне одликују мањим садржајем глине а већим садржајем песка, у односу на узорке земљишта друге зоне. Tuo et al. (2018) су у својим истраживањима утврдили да је садржај глине значајно нижи у слоју од 0,0 - 5,0 cm дубине, у односу на слој од 10,0 – 20,0 cm, док за садржај песка и прашине нису утврдили постојање разлике.

Код узорака прве зоне запажено је да се земљишта из јаруга одликују нешто нижим вредностима садржаја глине, у односу на земљишта из леве и десне обале. Садржај прашине у свим издвојеним групама узорака (јаруга, лева и десна обала) је готово непромењен, на шта указују и веома ниске вредности коефицијента варијације. Генерално, садржај фракција прашине је доста заступљен у свим узорцима. Процентуално учешће честица прашине у свим узорцима варира од 28,0 до чак 40,0 %. Садржај прашине може помоћи у идентификацији осетљивости земљишта на унутрашњу линијску ерозију. Gyamfi et al. (2016) су утврдили значајну везу између садржаја прашине и осетљивости земљишта на ерозионе процесе. Земљишта са високим садржајем прашине су генерално осетљивија на појаву унутрашње линијске ерозије (Faulkner, 2006; Nadal-Romero et al., 2011; Bernatek-Jakiel, Poesen, 2018). Verachtert et al. (2013) су у својим истраживањима такође потврдили да су слојеви земљишта са већим садржајем прашине осетљивији на појаву унутрашње линијске ерозије.

Посматрајући подскуп узорака прве зоне, код групе узорака земљишта из јаруга детектован је мањи садржај глине а већи садржај честица песка, у односу на групу узорака земљишта обала. Резултати извршене компаративне анализе (табела 56), између прве и друге зоне а за издвојене групе узорака, указују на постојање значајне статистичке разлика за параметре садржај глине и садржај песка. Опажена појава се може објаснити површинским еродирањем или премештањем честица глине у дубље слојеве. За исте параметре, спроведеном компаративном анализом између узорака леве и десне обале, није утврђена значајна статистичка разлика, код обе зоне. Спроведеном компаративном анализом параметра процентуалног учешћа прашине такође није установљено постојање значајне статистичке разлике. Занимљиво је да компарацијом укупног броја узорака прве и друге зоне није утврђена значајна статистичка разлика ни једног од мерених параметара. Утврђена је статистички значајна разлика само за параметар садржај песка код укупног број узорака. До сличних запажања дошли су Zhao et al. (2016).

Skempton (1985) је указао да се према процентуалном учешћу глине у земљишту може дефинисати механизам покретања и понашања глиновитих честица у клизној маси земљишта. Према томе, уколико је учешће фракција глине у земљишту мање од 25%, глине се понашају као честице песка или прашине, са резидуалним углом отпорности на смицање типично већим од 20°. Механизам клизања код оваквих земљишта Skempton (1985) дефинише као котрљајући. Супротно томе, уколико је садржај глине око 50%, резидуална чврстоћа је готово у потпуности дефинисана трећем између минерала глине, а даље повећање садржаја глине има мали ефекат на промену механизма покретања који је дефинисан као транслаторно клизање. Уколико је присуство фракција глине у земљишту између 25% и 50%, постоји прелазни тип понашања, а резидуални отпор зависи од процентуалног учешћа честица глине, као и од минералошког типа и природе глине. Утицај садржаја глине и минералошког типа на резидуалну чврстоћу земљишта на смицање утврдили су и Collotta et al. (1989). С обзиром на средњи садржај глине

у узорцима, који износи од 16,5% до 37,9% (табеле 14 и 18), земљишта истраживаног подручја генерално имају прелазни тип понашања у погледу могућности формирања механизма клизања земљаних маса. Đomlija et al. (2019) су дошли до сличних резултата и истакли да се у оваквим земљиштима формирају релативно плитка клизишта, релативно кратког домета покренуте масе. Посматрано кроз групе узорака, узорци из јаруга (обе зоне) имају средње вредности садржаја глине (прва зона око 22%; друга зона око 24%), док код обала средња вредност садржаја глине прелази 25%. Имајући ово у виду покретање честица у јаругама има механизам сличан покретању прашинастих или песковитих честица док је код обала заступљен прелазни механизам покретања.

Запажено смањење садржај глине може бити индикатор настанка и присуства ерозионог процеса (Su et al., 2004; Zhao et al., 2016). Земљишта која имају већи садржај глине су мање осетљива на ерозионе процесе (Benahmed, Bonelli, 2012). Настале промене у гранулометријском саставу земљишта могу бити индикатор настанка ерозионог процеса (Guo et al., 2019). Такође, Romkens et al. (1995), су установили да је површински слој земљишта који има већи садржај органске материје стабилнији у погледу ерозије од подинског слоја који има мањи садржај органске материје а већи садржај глине. Имајући ово у виду, разлика у садржају глине може бити индикатор настанка унутрашњих ерозионих процеса.

### 5.1.3. Конзистентна стања земљишта

Посматрајући резултате конзистентних стања земљишта (граница течења и граница пластичности) приказаних у табелама 23, 24, 25, 27, 28 и 29, запажа се да код оба подскупа узорака (прва и друга зона), узорци земљишта из јаруга имају мању варијацију резултата у односу на узорке земљишта са обала. Ово се такође може уочити и на основу заступљености група, тако да је у јаругама најзаступљенија група CI – неорганска глина средње пластичности, са по једним изузетком код узорака прве и друге зоне. Nadal-Romero et al. (2007) наводе да су земљишта, која припадају групи неорганска глина средње пластичности, осетљива на појаву плитких клизишта. Плитка клизишта су на истраживаном подручју веома заступљена у зонама око јаруга.

Поређењем резултата средњих вредности, као и вредности медијана, приказаних у табелама 22 и 26, узорака прве и друге зоне, уочена је минимална разлика између вредности границе течења која износи нешто изнад 1,0% у корист узорака прве зоне. Код вредности параметра граница пластичности ова разлика је значајнија и износи нешто изнад 2,0%, у корист узорака прве зоне. Ово потврђују и резултати спроведене компарације (табела 58), који указују на постојање значајне статистичке разлике код параметра граница пластичности када се узме у обзир укупан број узорака. Stanchi et al. (2012) су утврдили да површински слојеви земљишта генерално имају бољу отпорност на ерозионе процесе, због боље пластичности, структуре и конзистенције у поређењу са дубљим слојевима који су имали лошије вредности показатеља конзистенције.

Посматрајући подскуп узорака прве зоне, запажа се да су вредности границе течења и границе пластичности веће код узорака из јаруге него код узорака са обала. Deng et al. (2017) су утврдили да су највеће вредности границе течења, границе пластичности код површинских слојева земљишта, у зони колапсибилних јаруга. Ипак, значајна статистичка разлика забележена је само за параметар граница течења (табела 46), док за параметар граница пластичности није утврђена значајна статистичка разлика. Код подскупа узорака друге зоне разлика између ових параметара готово и да не постоји, што потврђује и спроведена компаративна анализа (табела 47). Компарацијом између узорака прве и друге зоне (табела 58), значајна статистичка разлика утврђена је код групе узорак из јаруга, за параметре граница течења и граница пластичности. Детектоване су ниже вредности анализираних параметара код

узорака друге зоне. Ово може указивати на то да земљиште друге зоне у јарузи има мању отпорност на ерозионе процесе од земљишта прве зоне.

Касаграндеоова права, на дијаграмима за одређивање границе течења свих узорака, има веома благ нагиб, што указују да су ова земљишта подложна ерозионим процесима. Ову појаву уочили су de Ploey и Mucher (1981), утврђујући разлику између конзистентних стања код стабилних и нестабилних земљишта. Xia et al. (2019) су утврдили да ниже вредности границе течења и границе пластичности могу указивати на осетљивост земљишта на ерозионе процесе. С обзиром да је опсег вредности границе течења код свих узорака релативно низак ( $w_L = 32,3 - 57,3\%$  средња  $42\%$ ), испитивана земљишта могу се окарактерисати као осетљива на ерозионе процесе. Другим речима, потребна мања количина воде која ће довести до промене напонског стања између честица земљишта, чиме ће бити ослабљена његова отпорност на ерозионе процесе.

Узорци са обала, из обе зоне, на профилу 13, припадају групи СН – неорганских глина високе пластичности, са највишим вредностима границе течења и границе пластичности. Разлог томе је чињеница да се профил 13 налази хипсометријски најниже у односу на друге профиле, те је могуће да је радом јаружасте ерозије дошло до отварања дубљих литолошких слојева, или до таложења глиновитих честица еродираних са хипсометријски виших делова падине.

#### 5.1.4. Индекс активности глина

Резултати спроведене анализе активности глина узорака прве зоне, приказани у табели 30, указују да су вредности код групе узорака лева и десна обала ниже од вредности добијених код групе узорака из јаруга. Да постоји значајна статистичка разлика потврђују и резултати спроведене компаративне анализе представљени у табели 50. Код узорака друге зоне (табела 31) забележене су нешто веће вредности код групе узорака из јаруга у односу на групу узорака из обала. Спроведеном компаративном анализом (табела 51) није утврђена значајна статистичка разлика. Ово указује на то да узорци прве зоне имају већу варијацију у погледу активности глина у односу на узорке друге зоне.

Генерално посматрано, вредности индекса активности глина ( $AI$ ), приказани у табелама 30 и 31, осцилирају од 0,37 до 1,97. Skempton (1953) је предложио три класе према индексу активности глина: 1) неактивне  $AI < 0,75$ ; 2) нормалне  $AI = 0,75 - 1,25$ ; 3) и активне  $AI > 1,25$ . Према овој расподели, од укупног броја од 77 узорака, тринаест узорака спада у активне ( $AI > 1,25$ ) (дијаграм 1), од чега девет код узорака прве зоне (6 у јарузи) и четири код узорака друге зоне. У групу нормалних ( $AI = 0,75 - 1,25$ ) спада 15 узорака прве зоне (6 у јаругама и 9 у обалама). Двадесет три узорка друге зоне припада нормалној групи према активности глина ( $AI = 0,75 - 1,25$ ) (12 у јаругама и 11 у обалама). Четрнаест узорака прве зоне припада групи неактивних глина ( $AI < 0,75$ ), од чега је 13 са обала и један из јаруга. Једанаест узорака друге зоне припада групи неактивних глина ( $AI < 0,75$ ) и сви су са обала. Özdemir и Gülser (2017) су током истраживања могућности примене индекса активности глина, као индикатора еродибилности земљишта, добили вредности у распону  $AI = 0,16 - 0,78$ . Такође су установили да са повећањем вредности индекса активности глина расте и отпорност земљишта на ерозионе процесе.

Reséndiz (1977) је утврдио распон вредности индекса активности глина, када постоји изражен потенцијал за појаву унутрашњег линијског ерозионог процеса (енг. piping erosion), односно,  $AI = 0,3 - 1,0$ . Имајући ово у виду, 23 узорка прве зоне спада у осетљива земљишта на појаву унутрашње линијске ерозије, као и 28 узорака друге зоне. Генерално посматрано, код узорака прве зоне осетљивија су земљишта обала од земљишта јаруга, док се код узорака



друге зоне не уочава оваква разлика. Имајући у виду све наведено, као и вредности мера централне тенденције (средње вредности и медијане) представљених у табелама 30 и 31, може се закључити да је земљиште из друге зоне осетљивије на настанак унутрашње линијске ерозије у односу на земљиште прве зоне. Познавање активности глина омогућава одређивање критичних количина падавина потребних за настанак клизишта, механизма клизања, као и утврђивање угрожених зона и израду мапа ризика (Ђомлија et al., 2019).

### 5.1.5. Тренутна влажност земљишта

Различити временски пресеци, током којих су узимани узорци, произвели су широк спектар вредности влажности земљишта, у тренутку одређивања механичких параметара. Посматрајући распоне вредности природне влажности земљишта, приказаних у табелама 32 и 36, запажа се мањи распон код узорака друге зоне, у односу на узорке прве зоне. Коефицијент варијације је знатно нижи код узорака друге зоне у односу на узорке прве зоне, што указује на то да је тренутна влажност земљишта уједначенија код узорака друге зоне. Мере централне тенденције (средња вредност, медијана) указују да се узорци прве зоне одликују вишим вредностима тренутне влажности од узорака друге зоне. Постојање значајне статистичке разлике потврђена је спроведеном компаративном анализом између узорака прве и друге зоне, чији су резултати представљени у табели 57.

Просторна расподела влажности код испитиваних узорака прве зоне указује да постоји разлика у вредностима тренутне влажности земљишта између узорака са обала и узорака из јаруга. На основу средњих вредности и вредности медијана, представљених у табелама 33, 34 и 35, може се закључити да узорци из јаруга имају више вредности у односу на узорке из обала. Утврђена средња разлика износи око 7,0% у корист узорака земљишта из јаруга. Постојање статистички значајне разлике потврђено је спроведеном компаративном анализом чији су резултати представљени у табели 48. Постојање овакве разлике у вредностима тренутне влажности условљено је морфологијом терена, где се корито јаруга понаша као колектор падавина. На постојање разлика у просторној расподели тренутне влажности земљишта указали су Fitzjohn et al. (1998), испитујући тренутну влажност површинског слоја земљишта у сливу јаруге, која је износила до чак 16,0%. Генерално, веће вредности тренутне влажности код узорака прве зоне могу се објаснити присуством стеље (природни малч), која успорава процес евапотранспирације а такође и обезбеђује већи капацитет земљишта за задржавање влаге. До сличних закључака дошао је и Adams (1966).

Све ово указује да су узорци прве зоне изложени већим променама микроклиматских услова, присуству хетерогеног вегетационог покривача (појединачне групације дрвећа са стељом, жбуње, ливадске површине), неуједначеним вредностима показатеља физичких особина земљишта, услед чега и вредности тренутне влажности имају израженије варијације.

Вредности тренутне влажности земљишта узорака друге зоне приказане у табелама 37, 38 и 39, указују да не постоји већа разлике у вредностима између група узорака. Ово је потврђено резултатима спроведене компаративне анализе, приказане у табели 49.

С обзиром на значај садржаја тренутне влажности земљишта у формирању отицаја и појаве ерозије земљишта (Govers et al., 1990; Hanson, Robinson, 1993; Singh, Thompson, 2016; Sun et al., 2016; Sachs, Sarah, 2017; Wang et al., 2019; Wilson et al., 2020), разумевање промене влажност земљишта важно је за тачност процене могућности настанка ерозионог процеса. Тренутна влажност земљишта значајно варира у зависности од термина током којих су узимани узорци, као и од микроморфологије терена.

## 5.2. МЕХАНИЧКИ ПАРАМЕТРИ

Механички параметри земљишта одређивани на терену, чврстоћа земљишта на смицање ( $\tau$ ) и отпор при продору игле ( $R$ ), дали су увид у отпорне карактеристике земљишта анализiranог подручја. Резултати спроведених мерења приказани су у табелама 33, 34, 35, 37, 38 и 39. На основу распона и мера централне тенденције (средња вредност, медијана) представљених у табелама 32 и 36, запажа се да су вредности чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле ниже код узорака прве зоне у односу на узорке друге зоне. Hosseini et al. (2016) су утврдили да је чврстоћа земљишта на смицање мања у слоју дубине од 0 – 8 cm, него у слоју на дубини од 8 – 16 cm. Unger и Jones (1998) су утврдили да са порастом дубине пенетрациона отпорност земљишта на обрадивим површинама има тенденцију раста. Fattet et al. (2011) су утврдили да су вредности кохезије мање у површинском слоју од 0 - 15 cm, него у слоју од 15 - 60 cm, док је код вредности угла унутрашњег трења обрнута ситуације. Такође су утврдили постојање веће варијације у вредностима мерених параметара код површинског слоја. Wilson et al. (2019) су показали да чврстоћа земљишта на смицање расте од површине до дубине од 20,0 cm. Heimsath и Whipple (2019) су повећање чврстоће земљишта на смицање објаснили повећаним садржајем глине, што је запажено и у спроведеним истраживањима за потребе ове дисертације (потпоглавље 5.1.2.). Materechera и Molza-Banda (1997) су утврдили да су вредности пенетрационог отпора и запреминске масе веће у површинском слоју на дубини од 0 - 20 cm, него вредности измерене на дубини од 20 – 40 cm, на пољопривредном земљишту са два различита начина обраде. Vogunovic et al. (2018) су указали на повећање пенетрационог отпора земљишта са порастом дубине. Nan et al. (2009) су указали на повећање пенетрационог отпора земљишта са дубином (7,15 cm; 15,0 cm; 22,5 cm), на шумском земљишту. Генерално, забележене су веће вредности чврстоће земљишта на смицање добијене ручним (цепним) пенетрометром од вредности установљених ручном крилном сондом. Овакво запажање изнели су у свом раду и Zimbone et al. (1996) што су објаснили да се применом ручне крилне сонде на танки слој земљишта (висина крила) торзионо наноси сила смицања, док се код ручног пенетрометра наноси компресиона и смичућа сила истовремено. Zimbone et al. (1996) сматрају да се применом ручне крилне сонде на танки површински слој земљишта, који одговара висини крила (3-4 mm), отпорна сила земљишта манифестује током торзионог кретања крила, док се код ручног пенетрометра, дејством вертикалног притиска на подлогу, детектује компресиона и смичућа сила истовремено. Са аспекта показатеља збијености земљишта, уочено је да је збијеност већа у другој зони него у првој зони.

Misra и Rose (1995) утврдили су повећање вредности чврстоћа земљишта на смицање, мереним ручном крилном сондом, и вредности отпора при продору игле, мерене ручним пенетрометром, са повећањем збијености земљишта.

Резултати спроведене компаративне анализе између зона, приказани у табели 60, указују на постојање статистички значајне разлике само за параметар чврстоћа земљишта на смицање, посматрајући укупан број узорака. За параметар отпор при продору игле није утврђена значајна статистичка разлика. Materechera и Mloza-Banda (1997) су мерењем пенетрационог отпора дошли до сличних закључака. Fattet et al. (2011) такође нису утврдили статистички значајну разлику за параметре чврстоће земљишта на смицање (кохезија и угао унутрашњег трења) између анализираних земљишних слојева.

На основу вредности узорака прве зоне, приказаних у табелама 33, 34 и 35, уочава се да су више вредности код узорака из јаруга, у односу на узорке из обала. Ова тенденција уочена је и код узорака друге зоне, приказаних у табелама 37, 38 и 39. Ипак, резултати спроведене компаративне анализе, приказане у табелама 52 и 53, указују да не постоји статистички значајна разлика између група узорака. Ово се може објаснити утицајем више фактора на вредности чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле. У литератури се, као

фактори са највише утицаја, истичу тренутна влажност земљишта и запреминска маса (Mirreh, Ketcheson, 1972; Unger, Kaspar, 1994; Zimbone et al., 1996; Materechera, Mloza-Banda, 1997; Unger, Jones, 1998; Amacher, O'Neill, 2004; Knapen et al., 2007; Vanapalli, Oh, 2011; Da Silva et al., 2016; Paul et al., 2018; Jie et al., 2018).

Распони вредности чврстоћа земљишта на смицање су велики на шта указује и коефицијент варијације чије вредности прелазе 30% код узорака обе зоне. На овако велики распон утицали су различити временски термини током којих су узимани узорци што је условило различите вредности тренутне влажности земљишта. Zimbone et al. (1996) су у својим истраживањима дошли до сличних опажања.

Оно што се може приметити код групе узорака прве зоне јесте то да узорци групе јаруга имају мању варијацију вредности параметра чврстоћа земљишта на смицање, од узорака група лева и десна обала. Код узорака друге зоне имамо обрнуту ситуацију, где узорци групе јаруга имају већу варијацију у вредностима чврстоћа земљишта на смицање, у односу на узорке група лева и десна обала. Ово се може објаснити постојањем развијеног процеса унутрашње линијске ерозије у другој зони, у јаругама. Развој ерозионог процеса је утицао на промене у запреминској тежини, гранулометријском саставу и порозности, те је због тога забележена већа варијација у вредностима. Vaz et al. (2011) утврдили су да постоји значајан утицај гранулометријског састава, тренутне влажности и запреминске масе земљишта на вредности пенетрационог отпора земљишта.

Вредности чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору конуса код свих група узорака највеће су за профил 1. Ово се може објаснити положајем постављеног профила, који се налази непосредно изнад чела јаруге, на ободу шуме. Занимљиво је да, посматрајући издвојене групе узорака, код обе зоне, вредности узорака из јаруга имају ниже вредности од узорака са обала. Што потврђује претпоставку о даљем напредовању ерозионог процеса ка хипсометријски вишим деловима падине.

Чврстоћа земљишта на смицање мерена џепном крилном сондом показала се као осетљивија на утицај промене влажности, у односу на вредности отпора земљишта при продору игле, добијене пенетрометром. Watson и Laflen (1985) су утврдили да су подаци о чврстоћи земљишта на смицање, добијени мерењем помоћу ручне крилне сонде, имали већу употребљивост за предвиђање ерозије, него мерење отпора при продору игле (ручним пенетрометром). Добијање уједначенијих вредности џепним пенетрометром у поређењу са ручном крилном сондом, установили су Ding и Loehr (2019). Вредности коефицијента варијације за параметар отпор при продору игле, између зона, указују да узорци друге зоне показују мање варијације. До сличних запажања дошли су Materechera и Mloza-Banda (1997). Такође, резултати указују на велику разлику у вредностима између мерења са крилном сондом и мерења извршених са џепним пенетрометром, што су утврдили и Vahedifard et al. (2016).

Предности коришћења ручне крилне сонде и џепног пенетрометра, за утврђивање отпорности земљишта на смицање, огледа се у могућности примене на тешко приступачним теренима, затим код површинских слојева земљишта (који се тешко узоркују), као и кроз призму једноставности и брзине вршења мерења. Знатно је брже коришћење ручног пенетрометра, док се приликом коришћења ручне крилне сонде доста времена „губи“ на чишћење крила после сваког извршеног мерења (око 2 min), на шта су указали и Zimbone et al. (1996). Предности коришћења ових апарата у геотехници, у специфичним условима, истакао је и Sarsby (2013).

Повезивање механичких параметара, са могућношћу настанка ерозионих процеса, је у потпуности оправдано када се ради о испитивањима на узорцима мање величине (површине), што се постиже применом ручне крилне сонде и ручним пенетрометром (Misra, Rose, 1995). Чврстоћа земљишта на смицање је кључни параметар у формирању браздасте ерозије (Zimbone et al., 1996). Значај ручних апарата за мерење чврстоће земљишта на смицање и пенетрациону отпорност земљишта истакли су Bachmann et al. (2005) и Vaz et al. (2011).

## 5.3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА СИМУЛИРАНОМ КИШОМ

### 5.3.1. Испуњеност критеријума за коришћење конструисаног симулатора кише

Усвојена величина испитиване парцеле износи  $2,25 \text{ m}^2$  ( $1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ ), због ограничења која се јављају, с једне стране минималном површином земљишта неопходном за испитивање, а са друге стране максималном величином елемената металног рама, при којој је могуће њихово несметано преношење путничким аутомобилом. Парцела за теренско испитивање треба да буде квадратног облика са односом између дужине и ширине близу 1 (Agassi, Bradford, 1999).

Конструисаним симулатором кише постиже се интензитет од  $1,7 - 1,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  ( $102,0 - 114,0 \text{ mm h}^{-1}$ ) на издвојеној површини, која служи за узимање узорака, у зависности од нагиба под којим се налази симулатор (табела 4). Јевтић (1988) наводи да је за услове јужних региона Европе, на черноземима и супесковима, потребно од  $15 - 25 \text{ mm}$  кишног талога за формирање отицаја, што је могуће реализовати применом симулатора кише. Појава падавина са интензитетом већим од  $0,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , представља пљусак. Кратко трајање и наглашен интензитет су основне карактеристике пљускова, за разлику од обичних падавина које су дужег трајања и слабијег интензитета (Јевтић, 1978). Симулатор кише израђен је за интензитет падавина који одговара интензитету пљусковите кише, карактеристичне за истраживано подручје. Годишњи максимум интензитета кишних падавина, трајања 15 минута, на бројним метеоролошким станицама у Европи, за повратни период од једне године, варира од  $10 - 11 \text{ mm} \cdot (15 \text{ min})^{-1}$ , односно  $40 - 44 \text{ mm h}^{-1}$  (Rauch, Toffol, 2006). Dunkerley (2008) наводи да је симулирана киша, интензитета од  $60 - 100 \text{ mm h}^{-1}$ , најчешће коришћена у експериментима, и као таква навођена у референтним научним публикацијама.

С обзиром на постављену методологију истраживања, у неколико циклуса на истом месту, претпоставка ја да ће земљиште у површинском делу брзо доћи до високих вредности влажности. Имајући у виду ову претпоставку, ограничену количину воде на терену као и период трајања пљусковите кише, трајање сваког од опита ограничено је на 10 минута. Уколико је садржај воде у земљишту висок, близу 20 %, време потребно за симулацију падавина варира између 10 и 20 минута (Sangüesa et al., 2010). Aerts et al. (2006) су користили симулирану кишу максималног интензитета  $120,0 \text{ mm h}^{-1}$ , трајања 10 min, за испитивање површинског отицаја и могућности спирања семена. Kavian et al. (2020) су примењивали интензитет падавина од  $50,0 \text{ mm h}^{-1}$ , трајања 10 min, током испитивања погодности малча од сламе за заштиту земљишта од ерозије, у условима варијабилне тренутне влажности.

Велики број кишомера (225), који су покривали више од 30% укупне површине експерименталног поља, коришћен за калибрисање, за релативно малу површину од  $2,25 \text{ m}^2$ , омогућио је добијање прецизних резултата о интензитету и униформности падавина током опита. Конструисани симулатор, за потребе ове докторске дисертације, у издвојеној зони (слика 30), постиже интензитет од  $102 - 114 \text{ mm h}^{-1}$ , и јако висок Кристијансенев коефицијент  $C_u$ , који износи од 92,23 - 93,70% (табела 3).

Mhaske et al. (2019) су произвели кишу крупноће капи од 1,0 – 5,0 mm, интензитета 65 mm·h<sup>-1</sup>, 93 mm·h<sup>-1</sup>, 112 mm·h<sup>-1</sup> и 148 mm·h<sup>-1</sup>, у лабораторијским условима, са Криситјансеновим коефицијентом (Cu) од 81 - 88%, у зависности од интензитета. Sangüesa et al. (2010) су постигли максималну вредност Cu = 92%, на површини од 1 m<sup>2</sup>. У прегледном раду Iserloh et al. (2013), у коме је поређен рад и ефикасност тринаест малих преносивих симулатора кише, коефицијенти Cu варирају од 66,9% до 97,8%, при чему само три анализирана симулатора постижу већи Cu коефицијент од овде представљеног симулатора. Детерминисање експерименталне парцеле, односно, издвојене површине малих димензија, код оваквих симулатора је неопходно ради постизања задовољавајуће просторне дистрибуције вештачке кише (Vergni et al., 2018).

Резултати испитивања величине кишне капи показали су да средњи пречник кишне капи, формиране симулатором кише на D<sub>50</sub> износи 1,2 mm (слика 32). Формиране кишне капи одговарају пречнику природне кише (Kolić, 1988; Ристић, Малошевић, 2011). Iserloh et al. (2012) су постигли пречник симулиране кишне капи D<sub>50</sub> = 1,0 - 1,5 mm. Такође, Kavian et al. (2019) су постигли формирање кишних капи средњег пречника D<sub>50</sub> = 1,2 mm, са оптималним притиском у систему.

Кинетичка енергија кишних капи, за интензитет од 114,0 mm h<sup>-1</sup>, изражена по часу, износи  $Ke_h = 355,35 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , односно за трајање опита од 10 минута износи  $Ke_{10min} = 59,23 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot 10\text{min}^{-1}$ . Висина падања симулиране кише  $h \approx 0,5 \text{ m}$  није довољна за постизање терминалне брзине кишне капи, тако да је кинетичка енергија удара знатно мања од природне кише. Симулиране кишне капи имају мању брзину, при удару у површину терена, у односну на природну кишу (Cerda et al., 1997). Iserloh et al. (2013) су утврдили да је кинетичка енергија симулиране кише мања у поређењу са природном кишом, због углавном малих висина падања симулираних кишних капи. Torri et al. (1994) су током испитивања механизма настанак ерозионих процеса користили симулатор кише који производи интензитет падавина од 36 mm·h<sup>-1</sup>, односно, кинетичку енергију кишних капи од 550 J·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. Boulange et al. (2019) су за симулиране интензитета од 30; 50 и 70 mm·h<sup>-1</sup> постигли кинетичку енергију од 257,7; 760,1; и 1645,2 J·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>. На овај начин је могуће произвести вештачку кишу која испољава 78,0% - 86,5% енергије кишних капи, у односу на природну кишу интензитета 50 - 70 mm·h<sup>-1</sup>.

Кинетичка енергија удара кишне капи није од значаја за предметно испитивање, имајући у виду да се врши уклањање стеље и хумусног слоја. Шумска вегетација и шумска стеља значајно смањују кинетичку енергија удара кишне капи (Kolić, 1988; Neary et al., 2009; Cao et al., 2015).

Конструисани симулатор кише одговара у потпуности задатим критеријумима за спровођење експерименталног истраживања.

### 5.3.2. Симулација

Постављена методологија експерименталног испитивања симулирањем кише кроз дефинисане фазе, дала је могућност сагледавања понашања земљишта под дејством симулираних киша. Torri et al. (1994) су применили сличну методологију вршења опита кроз фазе симулирања кише у трајању од 14 минута, затим оцењивања у трајању од сат времена након чега је симулирање кише вршено у трајању од 9 минута. До ове методологије Torri et al. (1994) су дошли на основу спроведених осматрања кишних епизода предметног подручја, након којих је бележена велика продукција ерозионог наноса.

Представљени резултати, добијени коришћењем симулиране кише, омогућили су увид у промену механичких особина земљишта под дејством симулиране кише (табеле 40 и 41).

Приликом узимања узорака земљишта за мерење тренутне влажности установљено је да нема zasiћења дубљих слојева земљишта. Промена боје, као индикатор провлажавања земљишта, детектована је углавном до дубине од 0,5 до 1,0 cm. Тренутна влажност земљишта, праћена током серија опита (у оба периода и код обала и код јаруга), се нагло повећава са сваким понављањем. Wilson et al. (2020) су установили да се приликом прва три циклуса влажења/сушења тренутна влажност земљишта нагло повећава а после тога влажност постаје константна. Коefицијент варијације резултата постигнутих влажности земљишта, посматрано према периодима испитивања, указују на већу варијацију током првог периода испитивања у односу на други период. Посматрајући вредности тренутне влажности земљишта, после оцењивања у трајању од 23 часа, током првог периода, уочава се сличност у постигнутим вредностима, која у јарузи износи 32,39% а код опита на обали 32,94%. Оваква сличност уочена је и током другог периода испитивања, када је постигнута тренутна влажност у јарузи 34,37% а на обали 34,65%.

Уочено је да при тренутној влажност од 16,27%, у јарузи пре првог опита (J-1), није било могуће измерити чврстоћу земљишта на смицање и отпор при продору игле, док је на обали (O-1) при тренутној влажности од 15,91% могло да се изврши мерење. Ово се може објаснити тиме што је површински слој земљишта у јарузи изложенији утицају атмосферилја, док је земљиште обала заштићеније стељом. На тај начин, на површини земљишта у јарузи, долази до формирања покорице, што онемогућава мерења са наведеним апаратима.

Посматрајући вредности чврстоће земљишта на смицање, измерене после примене симулиране кише, може се утврдити да су вредности опита у јаругама генерално ниже, у односу на вредности добијене опитима на обалама. Такође, добијене су ниже вредности отпора при продору игле код опита у јаругама, у односу на опите на обалама. Ово наводи на закључак да је земљиште у јарузи осетљивије на промене влажности изазване кишним падавинама. Crouch и Novruzі (1989) су утврдили да земљиште веће чврстоће на смицање има мању ерозиону продукцију. Добијени коefицијенти варијације указују да мању варијацију у резултатима даје опит ручним пенетрометром, у односу на вредности добијене крилном сондом, при симулираним променама влажности. Сличне резултате дала су и мерења спроведена при различитим природним влажностима земљишта (поглавље 5.2.). Када се анализирају вредности параметара добијених експериментом, без почетних влажности (пре почетка првог прскања), коefицијенти варијације параметра чврстоће земљишта на смицање постају значајно ниже, док су код параметра отпора при продору игле готово непромењене. Wilson et al. (2020) су уочили да промена влажности земљишта утиче на вредности чврстоће на смицање и пенетрациони отпор земљишта.

Резултати спроведене компаративне анализе, између опита на обалама и јаругама, приказани у табели б1, указују на постојање статистичке разлике само код параметра отпор при продору игле. Док за параметре тренутна влажност и чврстоће земљишта на смицање није установљена значајна статистичка разлика. Резултати указују да се опит са ручним пенетрометром може користити за компарацију између земљишта захваћених видљивим облицима ерозије и земљишта без видљивих облика ерозије, као и за утврђивање збијености земљишта. Опит са крилном сондом даје резултате који одражавају промене тренутне влажности земљишта, као и на могуће промене на самој испитиваној површини, у виду појаве крупнијих честица или присуства кореновог система. Вредности добијене крилном сондом могу се користити за утврђивање отпорности земљишта на ерозионе процесе, у тренутку мерења. Испитивања крилном сондом обезбеђују валидне податке о тренутним варијацијама

чврстоће на смицање земљишта, нарочито под утицајем промене влажности, али је тешко успоставити директну везу ових податка са отпорношћу земљишта на плувијалну ерозију (Bryan, 2000). Ипак, Morgan et al. (1998b) наводе да је коришћење ових параметара за процену отпорности земљишта на ерозију најприхватљивије.

Отицање са испитиване површине у многоне зависи од нагиба, микроморфологије, односно постојања предиспонираних праваца кретања воде. Посматрајући количину дотекле воде, код опита у јаругама и на обали уочава се да је током другог периода испитивања бележена знатно мања количина дотекле воде. Такође, уочљиво је да су значајно веће количине дотекле воде забележене приликом опита на обалама, у односу на опите у јаругама. Ово се може објаснити већим нагибом земљишта код обала, тако да је формирање отицаја знатно брже, док је код јаруга (значајно мањи нагиб дна) доминантнији процес инфилтрације воде у земљиште. Количина дотекле воде код опита на обалама има тенденцију константног смањивања у оба периода, док код опита у јаругама оваква или другачија правилност није могла бити утврђена. Уколико се узме да је на експерименталну површину, током једног опита, у просеку излучивано око 17 литара воде, на излазни профил је дотицало од 3,76% до 32,71%. Тако је код опита у јаругама, током првог периода, дотекло од 8,38% до 28,17%, а током другог периода од 3,76% до 4,94% (табела 40). Код опита на обалама током првог периода, дотекло је 22,06% до 32,10%, а током другог периода од 11,88% до 21,21% (табела 41). Присуство пукотина и макропора утицало је на брзу инфилтрацију воде у земљиште, тако да су на излазном профилу измерене мале количине воде, што су утврдили и Torri et al. (1994).

Еродирање земљишта током опита запажено је у виду откидања читавих микроагрегата и њиховог транспорта путем микро-бразди до реципијента. На овакав начин премештања честица анализираног типа земљишта указала је Vojinović (1968 и 1969).

Највеће концентрације наноса у води, код опита у јаругама (табела 40), забележене су другог дана испитивања, након првог прскања а при почетној влажности од 32% (J-1) и 34% (J-2). При наведеним влажностима такође су забележене и највеће вредности чврстоће земљишта на смицање, и отпора при продору игле. После повећања влажности, поновним поступком симулирања кише, дошло је до наглог пада чврстоће земљишта на смицање, што је произвело интензивнију ерозију на експерименталним парцелама.

Концентрација наноса у води, током опита на обалама, има тенденцију смањивања са сваким наредним понављањем. Овај тренд запажен је и код опита у јаругама (оба периода), с тим да се током првог дана јавља опадања, а након оцеђивања од 23 часа, бележи нагли пораст концентрације ерозионог наноса, да би опет дошло до смањења после завршеног поступка симулирања кише. Смањивање концентрације наноса, у функцији времена, Arnaez et al. (2004) објашњавају као последицу покретања и одношења (спирања) честица, које учествују у грађи растреситог површинског слоја земљишта. Holden и Burt (2002) су утврдили смањење концентрације наноса током трајања експеримента, што су довели у везу са појавом бара у микро увалама, које умањују ерозивно дејство кише. До сличних запажања дошао је и Klove (1998). Sun et al. (2016) су утврдили високу негативну корелациону везу између почетне влажности земљишта и продукције ерозионог материјала (са повећањем почетне влажности смањује се ерозиона продукција), током истраживања процеса унутрашње линијске ерозије. Концентрација наноса у води варирала је од 78,0 до 1003,0  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , код опита у јаругама, и од 23,0 до 2769,0  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  код опита на обалама. Holden и Burt (2002) су измерили максималне концентрације наноса у води од 33,0 до 3852,0  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , док је средња концентрација наноса у води износила од 8,5 до 2377,48  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , за различите симулиране интензитета. Arnaez et al. (2004) су добили вредности 0,6  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , 0,9  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  и 5,1  $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , током истраживања концентрације наноса у води, симулираном кишом, на шумским путевима, усецима и насипима.

Moreno-de las Heras et al. (2009) су установили да код свих анализираних парцела долази до смањења концентрације наноса у води, после симулирања кише на рекултивисаним рударским коповима, током марта, августа и октобра. Током првог периода истраживања за потребе ове дисертације, измерена је већа количина дотекле воде, са мањом концентрацијом наноса у води, у односу на други период испитивања. Код испитивања на обали оваква разлика није уочена.

Употреба малих симулатора кише за процену ерозионе продукције није оправдана због постојања ограничења у примењеној методологији, пре свега због величине парцеле и тешкоће да се добијени подаци екстраполирају на ниво слива. Подаци добијени симулацијама кише веома су корисни за поређења, процену угрожености земљишта од ерозије и продукцију наноса, што су закључили и Arnaez et al. (2004). Оправданост примене ручних (цепних) апарата нарочито се огледа у могућности једноставне примене на терену, на непоремећеним узорцима, као и кроз могућност праћења промена на локалитету, без нарушавања стања узорака земљишта, посебно код експеримената са применом симулиране кише.

## 5.4. СТАТИСТИЧКЕ ЗАВИСНОСТИ

У потпоглављу 4.4.6. приказани су резултати спроведених анализа статистичких зависности утицаја промене влажности на параметре чврстоће земљишта на смицање и отпор при продору игле. Такође, приказане су и статистичке зависности између параметра чврстоће земљишта на смицање и отпора при продору игле.

На основу резултата спроведених статистичких анализа група узорака прве и друге зоне, као и укупно, није установљена значајнија статистичка зависност између параметара тренутна влажност и чврстоћа земљишта на смицање, као ни за параметре тренутна влажност и отпор при продору игле (табеле 62, 64 и 65). Изузетак чини група узорака јаруга, из прве зоне, где је утврђена јака зависност између промене чврстоће земљишта на смицање и промене тренутне влажности (једначина 11). Добијен је висок коефицијент корелације  $r = -0,88$  који указује на постојање практичне важности успостављене зависности. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,78$  указује да је 77,89% варијансе једне променљиве проузрокован варијансом друге. С обзиром да је  $p$  - вредност у табели 63 мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза између променљивих на нивоу поузданости од 95%. На графику 1 може се уочити да се са повећањем тренутне влажности јавља смањење вредности чврстоће земљишта на смицање.

Код експериментално добијених вредности статистичке зависности успостављене су код опита обале, јаруге и укупно, а за променљиве тренутна влажност и чврстоћа земљишта на смицање (табела 66). Док је за променљиве тренутна влажност и отпор при продору игле установљена статистичка зависност само код опита обала.

Зависност параметара чврстоћа земљишта на смицање и тренутна влажност земљишта изражена је полиномном функцијом другог степена (једначина 12). Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,51$  показује да је 50,76% варијација две променљиве заједничко. С обзиром да је  $p$  - вредност у табели 67 мања од 0,05 постоји значајна статистичка веза између променљивих на нивоу значајности од 95%. График 2, на коме је представљена полиномна зависност другог степена, између чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, узорака из јаруге, указује на то да чврстоћа земљишта на смицање расте а затим опада, у условима сталног раста тренутне влажности земљишта. До сличних запажања дошли су Гајић (2000) и Је et al. (2018).



Статистичка зависност параметара чврстоће земљишта на смицање и тренутне влажности, чије су вредности добијене експериментом на обали, изражена је једначином 13. Коефицијент корелације  $r = 0,75$  указује на постојање јаке везе између променљивих, која може имати практичну важност. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,56$  указује да постављени модел објашњава више од 56,17% варијација вредности зависно променљиве чврстоће земљишта на смицање  $\tau$ , које су у релацији са вредностима независно променљиве тренутне влажности земљишта  $W$ . Утицај повећања вредности влажности на смањење вредности чврстоће земљишта на смицање, уочава се на графику 3. С обзиром да је  $p$  - вредност (табела 68) мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%.

Једначином 14 изражена је статистичка зависност експериментално добијених вредности на обали, отпора при продору игле ( $R$ ) и тренутне влажности ( $W$ ). Коефицијент корелације  $r = 0,68$  указује на постајање значајне везе. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,47$  указује да је 46,80% варијансе једне променљиве проузрокован варијансом друге. Према  $p$  - вредности (табела 69), с обзиром да је вредност мања од 0,05 постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%.

Статистичка зависност укупних вредности добијених експерименталним путем, између параметара чврстоћа земљишта на смицање и тренутне влажности, изражена је једначином 15. Коефицијент корелације  $r = 0,58$  указује на постојање значајне везе између променљивих. Коефицијент детерминације ( $r^2 = 0,33$ ) указује да постављени модел објашњава 33,27% варијабилитета у укупном варијабилитету зависне променљиве  $\tau$ . С обзиром да је  $p$  - вредност (табела 70) мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%.

Статистичка зависност укупног броја узорака између променљивих чврстоћа земљишта на смицање и тренутна влажност земљишта, представљена је регресионим моделом (једначина 16). Успостављена зависност има високу корелациону и практичну важност, са коефицијентом корелације од  $r = -0,85$ . Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,72$  указује да постављени модел објашњава 71,91% варијабилитета у укупном варијабилитету зависне променљиве  $\tau$ . С обзиром да је  $p$  - вредност (табела 72) мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%. На графику 6, који приказује зависност између променљивих чврстоћа земљишта на смицање и тренутна влажност земљишта, може се уочити опадање вредности чврстоћа земљишта на смицање са порастом влажности. Luk (1985) је утврдио да повећање променљиве тренутна влажност земљишта утиче на повећање отицаја али и на смањење променљиве чврстоћа земљишта на смицање. Nadal-Romero et al. (2007) су утврдили да са повећањем влажности опадају вредности чврстоћа земљишта на смицање. Такође, добили су јаке негативне линеарне корелационе зависности између тренутне влажности и механичког отпора земљишта. Al-Rubaiee и Jajjawi (2018) су утврдили да се вредности чврстоће земљишта на смицање повећавају са смањењем природног садржаја воде у земљишту. Bryan (2000) је представио везу између промене влажности и напона смицања, где се јасно уочава да са повећањем влажности долази до смањења напона смицања. Статистичку зависност између промене тренутне влажности и чврстоћа земљишта на смицање утврдили су Zimbone et al. (1996). Гајић (2000) је при анализи лесног земљишта добила високе статистичке зависности параметара отпорности земљишта на смицање (кохезија и угао унутрашњег трења), са променом тренутне влажности земљишта. Wang et al. (2019) су добили јаку негативну корелациону зависност између брзине еродирања земљишта и тренутне влажности земљишта.

Регресиони модел који објашњава статистичку зависност између променљивих отпора при продору игле и тренутне влажности, за вредности добијене експериментом и мерењем на терену, изражен је једначином 17. Коефицијент корелације указује на високу корелациону зависност  $r = -0,81$ , што говори да модел има практичну важност. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,65$  указује да је 65,16% варијансе једне променљиве проузрокован варијансом друге. Према  $p$  - вредности (табела 73), с обзиром да је вредност мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%. Zimbone et al. (1996) су утврдили да модел експоненцијалне регресионе зависности најбоље описује уочено смањење отпорности земљишта на смицање са порастом тренутне влажности земљишта. Materechera и Molza-Banda (1997) су утврдили значајну негативну корелациону везу између тренутне влажности и отпора на пенетрацију земљишта, са коефицијентом корелације  $r = -0,84$  за узорке из слоја од 0 – 20 cm, и  $r = -0,87$  за узорке са дубине од 20 - 40 cm. Unger и Jones (1998) су потврдили постојање високе статистичке зависности између пенетрационог отпора земљишта и тренутне влажности, са коефицијентима детерминације од  $r^2 = 0,365$  до чак  $r^2 = 0,942$ . Paul et al. (2018) су утврдили да са порастом влажности земљишта опада пенетрациони отпор. Постојање значајне статистичке везе између збијености земљишта и тренутне влажности утврдили су Tabari et al. (2019). Појава да се са повећањем влажности смањује отпор земљишта на продор игле, се јасно уочава и на графику 7, где је представљена регресиона крива променљивих отпор при продору игле и тренутна влажност земљишта.

На графику 6, где је представљена статистичка зависност између промене тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање, приказане су средње вредности свих узорака границе пластичности  $Pl_{cp} = 20\%$  и границе течења  $Wl_{cp} = 42\%$ . Уочава се да се пад вредности чврстоће земљишта на смицање догађа после повећања тренутне влажности преко 20%. После повећања влажности преко 42% јављају се релативне стагнације вредности чврстоће земљишта на смицање, које осцилирају у малом распону око вредности од  $10 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Singh и Thompson (2016) су утврдили, током испитивања утицаја промене влажности на критични напон смицања, да са порастом влажности до границе пластичности ( $w_p = 32\%$ ) земљишта, расте критични напон смицања, да би са влажношћу преко границе пластичности почеле да опадају вредности критичног напона смицања. Ова тенденција уочена је и код зависности између тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле, представљене на графику 8. Sash et al. (2017) истичу да су у случају високог садржаја воде у земљишту, вредности параметара отпорност земљишта на смицање и пенетрациони отпор ниске. Мерењима спроведеним од стране Kaviani et al. (2020) утврђено је да је тренутна влажност земљишта са нивоом од 30% имала највећи негативни ефекат изражен повећањем губитака земљишта ерозионим процесом. Nan et al. (2009) су утврдили да се при влажности око 30% јављају већа оштећења земљишта употребом механизације у шумарству. Torri et al. (2013) су установи да чврстоћа земљишта на смицање опада испод 1 kPa са влажношћу преко 30%.

Посматрајући добијене статистичке зависности увиђа се да је постигнута боља зависност између променљивих чврстоћа земљишта на смицање и тренутне влажности, него тренутне влажности и отпора при продору игле. Такође, увиђа се да су успостављене углавном реципрочне зависности, указујући да са порастом влажности опадају вредности чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле. Може се уочити да параметри чврстоћа земљишта на смицање и отпор при продору игле имају мању варијацију у вредностима како се влажност повећава. До сличних закључака дошли су и Da Silva et al. (2016) анализирајући утицај промене влажности и запреминске масе на пенетрациони отпор земљишта.

На основу линеарног корелационог модела, између променљивих чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле узорака прве зоне (табела 74), утврђено је постојање везе за групе узорака обале и укупно. Једначином 18 изражена је статистичка зависност наведених променљивих групе узорака обале. Добијени коефицијент корелације  $r = 0,87$  указује на постајање тесне везе између варијабли, а такође и на практичну важност постављене статистичке зависности. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,75$  указује да је 75,56% варијансе зависно променљиве чврстоћа земљишта на смицање  $\tau$  проузрокован варијансом независно променљиве отпор при продору игле  $R$ . На основу  $p$  - вредности (табела 75), с обзиром да је вредност мања од 0,05, постоји значајна статистичка веза на нивоу поузданости од 95%. Статистичка зависност групе узорака укупно (обале и јаруга, прве зоне) између параметара  $\tau$  и  $R$ , изражена је једначином 19. Коефицијент корелације од  $r = 0,75$  указује на постојање јаке везе између варијабли, а такође успостављена статистичка зависност може имати практичну важност. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,55$  указује да је 55,58% варијансе две променљиве заједничко. Вредност  $p$  (табела 76) има вредност мању од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих на нивоу поузданости од 95%.

Резултати спроведене регресионе анализе између параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, узорака друге зоне (табела 77), указује на постојање значајне везе код свих издвојених група. Успостављена статистичка зависност између анализираних параметара, посматрано групу узорака обала друге зоне, изражена је једначином 20. Вредност коефицијента корелације  $r = 0,57$  указује на постојање значајне везе између променљивих. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,32$  указује да је 32,11% варијансе једне променљиве проузроковано другом. Вредност  $p$  (табела 78) мања је од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих, на нивоу поузданости од 95%. Код групе узорака јаруга (друга зона) успостављена је статистичка зависност, изражена једначином 21. Добијени коефицијент корелације  $r = 0,77$  указује на постојање јаке везе између променљивих, а представљени модел статистичке зависности посматраних варијабли може имати практичну важност. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,59$  показује удео од 59,86% објашњеног варијабилитета у укупном варијабилитету зависне променљиве  $\tau$ . На основу резултата анализе варијансе (табела 79), вредност  $p$  мања је од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих на нивоу поузданости од 95%. Посматрајући укупан број узорака друге зоне, успостављена статистичка зависност између параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле изражена је једначином 22. Добијени коефицијент корелације од  $r = 0,58$  указује на постојање значајне везе између променљивих. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,33$  указује да је 33,34% варијансе две променљиве заједничко. Вредност  $p$  (табела 80) је мања од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих на нивоу поузданости од 95%.

Статистичка зависност успостављена је регресионом анализом између параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, укупног броја узорака прве и друге зоне, и изражена је једначином 25. Коефицијент корелације од  $r = 0,65$  указује на постојање значајне везе између варијабли. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,42$  указује да је 41,72% варијансе две променљиве заједничко. У табели 85 приказани показатељ  $p$  има вредност мању од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих, на нивоу поузданости од 95%.

Регресионом анализом експериментално добијених вредности, успостављена је статистичка веза између параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, на узорцима из опита у јаругама и укупно (опит обале + опит јаруге) (табела 81). Статистичка зависност посматраних параметара, код узорака из опита у јаругама, изражена је једначином 23. Коефицијент корелације  $r = 0,83$  указује на постојање јаке везе између променљивих. Успостављена статистичка веза има практичну важност. Коефицијент

детерминације  $r^2 = 0,69$  указује да је 68,82% варијансе зависно променљиве  $\tau$  проузроковано варијансом независно променљиве  $R$ . Вредност  $p$ , приказана у табели 82, је мања од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих, на нивоу поузданости од 95%. Модел који најбоље описује статистичку зависност параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, за групу узорака укупно (опит обале + опит јаруге), представљен је једначином 24. Вредност коефицијента корелације  $r = 0,62$  указује на постојање значајне везе између променљивих. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,39$  указује да је 38,52% варијансе једне променљиве проузроковано другом. Вредност  $p$  (табела 83) мања је од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих, на нивоу поузданости од 95%.

Статистичка зависност између параметара чврстоћа земљишта на смицање и отпора при продору игле, укупног броја узорка (прва зона + друга зона + експериментално), изражена је мултипликативним моделом (једначина 26). Успостављена је висока корелациона зависност  $r = 0,87$  који указује на тесну везу између променљивих. Статистичка зависност описана наведеним моделом има практичну важност. Коефицијент детерминације  $r^2 = 0,76$  указује да постављени модел објашњава 76,32% варијансе између зависно променљиве чврстоћа земљишта на смицање  $\tau$  и независно променљиве отпор при продору игле  $R$ . У табели 86, приказана вредност  $p$  је мања од 0,05, што указује на значајну статистичку везу између променљивих, на нивоу поузданости од 95%. *Vachmann et al.* (2005) су утврдили високе статистичке зависности изражене линеарним једначинама, између променљивих чврстоћа земљишта на смицање и пенетрационог отпора, са коефицијентом корелације од  $r = 0,570$  до чак  $r = 0,953$ , у зависности од типа земљишта.

Анализом статистичких зависности између параметара тренутне влажности и чврстоћа земљишта на смицање, као и тренутне влажности и отпора при продору игле, нису успостављене значајне статистичке зависности код узорака прве и друге зоне, као и укупно (прва зона + друга зона). Разлог овоме је вероватно нешто већа варијација у вредностима параметра чврстоћа земљишта на смицање. На већу варијацију су утицале промене тренутних услова на самој површини земљишта где је вршено узорковање. Слична је ситуација и са вредностима отпора при продору игле, с тим да су параметри коефицијента варијације нешто повољнији, него код вредности чврстоће земљишта на смицање. До сличних опажања дошли су и *Нан et al.* (2009). Високе варијације у вредностима параметара чврстоће земљишта на смицање, мерене различитим ручним апаратима, установили су и *Zimbone et al.* (1996).

Дефинисање утицаја промене тренутне влажности на промену чврстоће земљишта на смицање, од великог је значаја за дефинисање отпорности земљишта на ерозионе процесе и код других типова земљишта. Тако је утицај промене влажности на параметре чврстоће земљишта на смицање (кохезија и угао унутрашњег трења), делувијално глиновитих седимената, утврдио *Todorović* (1983, 1984). *Todorović et al.* (1985) су утврдили утицај промене влажности на параметре чврстоће земљишта на смицање код неогених глиновито-лапоровитих наслага. *Гајић* (2000) је потврдила постојање везе између промене тренутне влажности са променама параметра чврстоће земљишта на смицање, код макропорозног леса, песковито-шљунковитог земљишта и код прашинасто-песковитог земљишта. *Живановић* (2014) је успоставио статистичку зависност између тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање код песковитих земљишта Делиблатске пешчаре. *Zhang et al.* (2018) су такође утврдили јаку везу између чврстоће земљишта на смицање, површинских песковитих узорака и тренутне влажности земљишта, што су истакли као добар начин за предвиђање површинске отпорности земљишта на ерозију ветром.

Успостављене значајне везе између промена тренутне влажности и чврстоће земљишта на смицање и отпорности при продору игле, имају практичну важност у одређивању критичног прага за настанак ерозионих процеса на земљишту истраживаног подручја, као и других облика физичке/механичке деградације. Такође, добијени односи указује да је земљиште истраживаног подручја веома осетљиво на појаву ерозионих процеса, као и других облика физичке деградације. Singh и Thompson (2016) су истакли значај познавања утицаја промене тренутне влажности земљишта на параметар чврстоћа земљишта на смицање, као и потребу укључивања у физички засноване моделе, што би побољшало могућност процена ерозије земљишта.

## **5.5. МЕХАНИЗАМ НАСТАНКА ЕРОЗИОНИХ ПРОЦЕСА ИСТРАЖИВАНОГ ПОДРУЧЈА**

Успостављена методологија формирања узорака, постављањем попречних профила на јаругама, дала је могућност за правилно сагледавање и анализу добијених резултата испитиваних физичко-механичких параметара земљишта, у погледу отпорности земљишта на ерозионе процесе. Сличну методологију постављања попречних профила на јарузи, за узорковања земљишта ради утврђивања разлика хемијских особина земљишта као и везе са механизмом настанка ерозионог процеса, спровели су Faulkner et al. (2004).

Према алгоритму представљеном од стране Faulkner (2013), приказаном на слици 2, као и спроведеним детаљним рекогносцирањем терена, утврђено је да је на истраживаном подручју иницијални механизам настанка ерозионих процеса унутрашња линијска ерозија, а да пределом доминира процес јаружања, са високим интензитетом еродирања. Истражним радовима утврђено је постојање подповршинских канала (цеви), што је документовано фотографијама (слика 16). Појава линијских цилиндричних облика „цеви“ унутрашњег ерозионог процеса утврђена је на дубини између две зоне узорковања.

Настанак унутрашње линијске ерозије, на истраживаном подручју, условљен је узајамним деловањем фактора: земљиште, морфологија терена, климатски услови, вегетациони покривач, антропогена активност. Каузалитет наведених фактора створио је предуслове за настанак унутрашњег ерозионог процеса који започиње премештањем честица земљишта на микронивоу а својим даљим развојем доводи до формирања препознатљивих облика ерозионог процеса.

За сам процес инфилтрације воде у земљиште важне су крупне поре (у којима не делују капиларне силе), што омогућава брзу инфилтрацију као и концентрисање подповршинског тока воде. Главни предуслови за настанак унутрашње линијске ерозије везани су за велике запреминске промене земљишта (појава површинских пукотина), изражену дисперзност земљишта и постојање слабопропусног подинског слоја земљишта. Повећање чврстоће земљишта истраживаног подручја на смицање додавањем креча потврђено је у раду Spasić et al. (2018), што може указивати на дисперзност истраживаног земљишта. Утврђена је хексагонална испуцалост површинског слоја земљишта у јарузи, настала запреминским променама глиновитог земљишта, услед сушног периода. Imeson и Verstraten (1988) истичу важност скупљања и бубрења глине у процесу формирања макропора. Честа појава унутрашње линијске ерозије уочљива је код земљишта са пукотинама, које су настале исушивањем, код којих је мала отпорност земљишта на смицање, услед дејства воде (Bryan, Jones, 1997).

Шумска земљишта одликују су значајним присуством кореновог система, високом активношћу инсеката и других животиња. Труљење кореновог система и активност животиња утичу на формирање развијене мреже пукотина и макропора (Gaiser, 1952; Aubertin, 1971; Beven, Germann, 1982; Jones, 1987; Hardie, 2009; Butler, Hupp, 2013; Leslie, Heinse, 2013; Luo, et al., 2019; Butler et al., 2013a; Butler et al., 2013b; Whitford, Eldridge, 2013; Poesen, 2017). Leslie и Heinse (2013) кроз своја истраживања откопавањем „цеви“, насталих унутрашњом линијском ерозијом у шумском подручју, показали су да 96% свих детектованих „цеви“ настају труљењем корена дрвећа, а да више од 86% тако насталих „цеви“ садржи више од 25% коренове материје у распадању. Труљење кореновог система заступљено је у деградираним шумама истраживаног подручја, што је потврђено рекогносцирањем терена као и спроведеним истражним радовима (слика 9).

Формирање пукотина у земљишту, на један од наведених начина, односно макропора, које представљају предиспониране правце кретања воде, може довести до иницирања унутрашње линијске ерозије, што су потврдили и Jones (1987), Farifteh и Soeters (1999), Poesen (2017) и Faulkner (2018). Током експеримената на обалама утврђено је да после серија симулација кише долази до отварања вертикалних „цевчица“ односно пора што се може видети на слици 38. Такође, извршеним истраживањима утврђено је да су узорци друге зоне одликују већим вредностима запреминске тежине (поглавље 4.1.1. и 5.1.1.), већим присуством глиновитих честица (поглавље 4.1.2 и 5.1.2.), већом збијеношћу (поглавље 4.2.) и сувом запремником тежином (поглавље 4.1.1.), што указује на мању водопропусност од земљишта прве зоне. Восо (1991), Jones (2010), Verachtert et al. (2013) и Vovi et al. (2020) су истакли значај постојања водонепропусног подповршинског слоја у иницирању и развоју унутрашње линијске ерозије. Verachtert et al. (2010, 2011b) су указали да се унутрашња линијска ерозија често јавља непосредно изнад оваквих слојева. Aubertin (1971) и Jones (1987) су утврдили да кроз формиране макропоре, настале на један од наведених начина, могу протичати значајне количине воде током кишног периода. Велике количине воде се инфилтрирају у земљишта истраживаног подручја, што је потврђено спроведеним експериментима (поглавље 4.3.1. и 5.3.2.).

Концентрисање тока воде кроз макропоре (предиспониране правце кретања) доводи до еродирања зидова „цеви“, уз удружено деловање откидања честица хидрауличком силом и клизања маса земљишта под утицајем гравитације, што су истакли и Morgan (1979) и Bernatek-Jakiel и Poesen (2018). На истраживаном подручју, до обрушавања крова подповршинских „цеви“, насталих радом унутрашње линијске ерозије, дошло је почетком августа 2018. године, после појаве обилних падавина (слика 15). Farifteh и Soeters (1999) су такође запазили да се појава обрушавања кровова „цеви“ дешава углавном после неколико кишних дана, када земљишту опада отпорност на ерозионе процесе услед провлаживања. Када дође до обрушавања кровова „цеви“, до тада унутрашњи линијски облици ерозије постају видљиви на површини. Тада на површини доминира ерозиони процес течењем воде кроз предиспониране правце, односно површинска линијска ерозија - браздање. Ширење и продубљивање „цеви“, односно бразди, утиче на формирање јаруга као и покрете земљаних маса, што изазива велике губитке земљишта (Jones, 1987; Bryan, Jones, 1997; Poesen et al., 2003; Faulkner, 2006; Verachtert et al., 2011a; Wilson, 2009; Faulkner, 2013; Wilson et al., 2017; Faulkner, 2018). Даљи развој ерозионих процеса, иницираних унутрашњом линијском ерозијом, на истраживаном подручју може довести и до активирања клизишта. Рекогносцирањем терена утврђено је постојање више релативно плитких клизишта, вероватно иницираних узајамним радом унутрашње линијске ерозије као и јаружањем (слике 12 и 13). Иницирање клизишта унутрашњим линијским ерозионим процесом утврдили су Pierson (1983), Brand et al. (1986) и Verachtert et al. (2012). Mitrović и Jelisavac (2006) наводе да је настанак и развој пространих и дубоких клизишта (који се односи на шире истраживано подручје), последица савремених геодинамичких процеса у виду физичко-хемијског распадања стена и ерозије земљишта.

Сваки од одређиваних физичко-механичких параметара указао је на неко од својстава земљишта, које се може довести у везу са механизмом настанка ерозионих процеса, као и тренутног стања и осетљивости земљишта на ерозионе процесе (поглавља 5.1., 5.2. и 5.3.). Значај познавања физичко-механичких параметара земљишта у процесу утврђивања механизма настанка унутрашњег линијског ерозионог процеса истакли су Wan и Fell (2004), Knapen и Poesen (2009), Vaezi et al. (2017), Kašanin-Grubin et al. (2018), Bernatek-Jakiel и Poesen (2018) и Pereyra et al. (2020).

На истраживаном подручју чврстоћа земљишта на смицање има релативно ниске вредности (поглавља 4.2.1. и 5.2.). Ово је уочљиво нарочито у тренуцима водозасићења односно, тренутне влажности која има вредности веће од границе течења, што је и доказано експериментима (поглавља 4.3.1. и 5.3.2.). Отпорност на флуидно смицање (смицање изазвано ерозивним дејством текуће воде) има јаку корелациону везу са чврстоћом земљишта на смицање, што је истакло више аутора (Crouch, Novruzі, 1989; Misra, Rose, 1995; Leonard, Richard, 2004; Fell et al., 2013), а нарочито у тренутку водозасићења земљишта (Zimbone et al., 1996; Morgan et al., 1998a и 1998b).

Имајући у виду распрострањеност леса и земљишних творевина на лесу (измењени лес), морфологију терена, шумску вегетацију, утврђени механизам ерозионог процеса на истраживаном подручју је вероватно заступљен на значајно већој површини.

## **5.6. ОСВРТ НА МОГУЋУ ПРИМЕНУ ИНДИКАТОРА ОТПОРНОСТИ ЗЕМЉИШТА У ОКВИРУ ШУМАРСТВА**

Вођење премисом да у шумама нема ерозионих процеса, што је честа појава у научним изворима и стручној пракси у Србији, може довести до погрешних процена о угрожености земљишта ерозионим процесима. Спроведеним истраживањима за потребе ове дисертације установљено је да су ерозиони процеси заступљени у шумама истраживаног подручја. Шуме истраживаног подручја које имају функцију заштите земљишта од ерозије, веома су деградиране. Као такве, оне не пружају довољну заштиту земљишта од ерозионих процеса. Услед деградације шума јављају се еколошки проблеми укључујући ерозију земљишта, губитак биодиверзитета, као и појаву све чешћих природних непогода (Wenhua, 2004).

Шумска земљишта су у великој мери заштићена од директног удара кишних капи, шумском стељом и надземним деловима вегетације. Међутим, када интензитет и количина кише превазиђе интерцептивни капацитет, долази до формирања знатно већих кишних капи које падају са лишћа (Liu et al., 2016), чиме се повећава кинетичка енергија удара кишне капи (Nanko et al., 2004). Вегетација кинетичку енергију кишне капи умањује за 60%, а уколико дође до промена у покривности шумског земљишта енергија кишне капи се повећава за 1,8 пута, док се ефекат удара кишне капи и настале ерозије повећава и до 6,6 пута (Brandt, 1988). Geißler et al. (2012) су утврдили да је ерозиони потенцијал кишних капи у шуми већи за 2,59 пута него на отвореним површинама, због спајања кишних капи на лишћу, формирања већег пречника (веће масе) а тиме и веће кинетичке енергије. Neary et al. (2009) и Vaezi et al. (2017) су указали да шумска стеља знатно умањује енергију кише капи а такође омогућава лакшу инфилтрацију воде у земљиште. Већа инфилтрација воде у земљиште утиче на редукцију површинског отицаја. Ово може бити један од разлога појаве унутрашње линијске ерозије у шумским подручјима. Neary et al. (2009) су истакли да се појава површинског отицаја у шумама јавља само током интензивних кишних епизода. Земљишта деградираних шума, након спирања стеље, у многоме су подложнија ерозионим процесима, нарочито на нагибима. Charplot et al. (2007) су установили да су шумска земљишта изненађујуће осетљива на плувијалну ерозију,

објашњавајући ову појаву малим садржајем глине у површинском слоју, већом кинетичком енергијом кишних капи, као и последицама појаве шумских пожара. Vaezi et al. (2017) указују да су земљишта без вегетационог покривача изложенија деловању кинетичке енергије кишних капи, што доводи до збијања површинског слоја земљишта (повећањем запреминске масе земљишта), проузрокујући повећање површинског отицања. Zemke et al. (2019) су доказали да повећање збијености земљишта (детектовано повећањем запреминске масе земљишта) има утицај на смањење инфилтрације, са тенденцијом појаве интензивнијег површинског отицаја.

Утицај заштитне улоге шуме на степен активизације ерозионих процеса, у многоме зависи од квалитета шума, заступљених врста и начина газдовања. Шумарске активности могу значајно изменити хидролошки режим и интензивирати ерозионе процесе у сливу (Zemke, 2016). Утицај шумарских активности, изградња путева и сече, на активирања процеса површинског пластичног течења земљаних маса и лавина, представио је у свом раду Sidle (2005). Приликом изградње саобраћајница често долази до нарушавања стања равнотеже природних падина, што се може манифестовати настанком различитих савремених егзогенних процеса (Marković et al., 2019). Varol et al. (2019) су на основу резултата спроведених истраживања утврдили да се највећа количина еродираних материјала продукује са површине неасфалтираних шумских путева, затим на косинама изграђених насипа, а најмања продукција утврђена је на косинама усека. Шумски путеви утичу на повећање и концентрацију дотока воде у сливовима (Tague, Band, 2001; Grace, 2002), што за последицу има повећан ризик од бујичних поплава и интензивирање ерозионих процеса у сливу. Luce и Black (1999), Jordan и Martinez-Zavala (2008), Hacisalihoğlu et al. (2019) указали су на продукцију ерозионог наноса са шумских путева. Grace (2002, 2005) и Grace и Clinton (2007) наводе да је систем шумских путева један од главних извора ерозионог наноса са шумских површина, са негативним утицајем на квалитет воде шумских подручја.

Збијање шумских земљишта је често проузроковано употребом механизације при сечењу шуме, нарочито када је тренутна влажност земљишта висока (Han et al., 2009). Механизација која се користи у шумарству се у последњих двадесет година константно повећава маса (Uusitalo et al., 2019). На тај начин се знатно збија и оштећује површински слој земљишта. Horn et al. (1995) су истакли да збијање земљишта механизацијом утиче на деградацију како површинског, тако и подповршинског слоја земљишта. Kolka et al. (2012) су утврдили значајно повећање запреминске тежине површинских слојева земљишта после обављених сеча. Landsberg et al. (2003) су у својим истраживањима утицаја проредних сеча, на пенетрациону отпорност земљишта, утврдили да отпорност земљишта расте после обављених сеча. Misra и Rose (1995) су истакли значај мерења отпорности земљишта преносивим уређајима у шумским подручјима, нарочито за одређивање збијености земљишта настале преласком тешке механизације. Утицај тешке механизације на земљиште се може пратити ручним пенетрометром и ручном крилном сондом. Han et al. (2009) истичу пенетрациони отпор земљишта, запреминску тежину и тренутну влажност земљишта као добре индикаторе осетљивости земљишта на збијање. Lipes (2004) истиче да су мерења пенетрационог отпора релативно лака, и представљају брз начин за детектовање отпорности земљишта и његове структурне промене под утицајем механизације. Само повећање збијености земљишта, преласком механизације, значајно повећава механичку отпорност земљишта, чиме директно угрожава могућност развоја и раста младе вегетације, нарочито кореновог система (Mirreh, Ketcheson, 1972; Unger, Kaspar, 1994; Materechera, Mloza-Banda, 1997; Lipes, 2004; Gajić et al., 2005; Hosseini et al., 2016; Shah et al., 2017). Могућност корена вегетације да продре кроз земљиште значајно опада са повећањем чврстоће земљишта на смицање (Hamaza, Anderson, 2005).



Имајући у виду климатске промене, значајно ће се повећати број дана када су шумска земљишта осетљивија на појаву колотрага и збијање, под утицајем механизације (Uusitalo et al., 2019), што може довести до трајних облика деградације земљишта. Поред оштећења земљишта, чиме се угрожавају основне екосистемске услуге, долази и до повећања ризика од настанка ерозионих процеса, као и до могућности заглављивања, оштећења и споријег рада механизације. Стога је од круцијалног значаја спознаја односа између тренутне влажности земљишта и отпорности земљишта, како би се успоставио критеријум на основу кога се дозвољава, и под којим условима, употреба тешке механизације. Поред наведеног, познавање физичко-механичких параметара земљишта отвара могућност примене при пројектовању и изградњи шумских путева. Физичко-механички параметри земљишта, као индикатори тренутног стања и отпорности земљишта, могу се користити при: трасирању путева; проверама стабилности падина (подсецање падина, садња); пројектовању нагиба насипа и усека; детерминисању геотехничких услова изградње; одабиру материјала за изградњу; побољшању карактеристика постојећег земљишта; одабиру механизације; одређивању мера заштите од ерозионих процеса. Parsakho et al. (2008) су током истраживања утицаја физичких особина земљишта на машинско ископавање, приликом изградње шумских путева, утврдили да тренутна влажност земљишта, порозност и запреминске масе имају значајан утицај на запремину ископа багером. Pereira et al. (2018) су истакли значај познавања физичко-механичких параметара земљишта за стабилизацију шумских путева.

Потребно је створити услове у шумарству како би се обезбедио најбољи могући квалитет шумских екосистема, односно, да се применом мера газдовања учини најмања или никаква штета животној средини. Доношење одлуке о програму конзервације природних шума је од виталног значаја за одржавање еколошке улоге шумских екосистема (Wenhua, 2004). Неопходно је препознати и залагати се за боље управљање шумама, с обзиром на значај шума у задовољавању основних људских потреба, стављању на располагање ресурса за живот и развој, одржавање екосистема, биодиверзитета и решавање циљева ублажавања и прилагођавања климатским променама (Agrawal et al., 2008). Приступи обнављању шумских екосистема снажно зависе од нивоа деградације шума и земљишта, преостале вегетације, као и крајњих циљева обнављања (Chazdon, 2008).

## **5.7. ПРЕДЛОГ МЕТОДОЛОГИЈЕ ЗА КОРИШЋЕЊЕ ПАРАМЕТАРА КОЈИМА СЕ ДЕТЕРМИНИШУ ФИЗИЧКО-МЕХАНИЧКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА У ПРОЦЕСУ ИДЕНТИФИКАЦИЈЕ ЕРОЗИОНИХ ПОДРУЧЈА**

Специфичност и комплексност механизма настанка ерозионих процеса, која је условљена међусобним односима и спрегнутим деловањем физичких и биотичких фактора, изискује успостављање логичног следа радњи и квантификацију свих индикатора како би се дошло до исправних закључака.

На основу формиране методологије, за потребе ове дисертације, прегледа научне и стручне литературе, добијених резултата, успостављених статистичких зависности као и потврде могућности коришћења физичко-механичких параметара као индикатора механизма настанка ерозионих процеса, успостављен је предлог методологије „Коришћење параметара којима се детерминишу физичко-механичка својства земљишта, у процесу идентификације ерозионих подручја“.

Процес предложене методологије приказан је графички на слици 39, а сваки корак обележен је одговарајућим бројем.



Слика 39 – Графички приказ предложене методологије

[1] Дефинисање проблема истраживања. [2] Анализа постојеће документације требало би да обухвати резултате у доменима: геоморфологије терена; геолошких, геотехничких и хидрогеолошких својстава; климатских, педолошких и вегетационих карактеристика.

[3] Рекогносцирање терена, уз детаљан опис тренутног стања земљишта (са акцентом на ерозионе процесе), потенцијална угроженост од ерозионих процеса, као и других облика физичке деградације, дефинисање начина коришћења земљишта као и вегетационог покривача, су неопходни елементи за детерминисање целовитог, веродостојног увида о општем стању земљишта.

[4] На основу сазнања прикупљених анализом постојећег фонда документације и детаљног рекогносцирања стања земљишта и његове угрожености, врши се утврђивање локација за мерење механичких параметара земљишта, узимање узорака земљишта за лабораторијску анализу и одређивање физичко-механичких параметара земљишта. На основу детектованих ерозионих процеса, потребно је одредити број узорака, који треба да покрије сва карактеристична места и угрожене зоне истраживаног подручја. Земљиште се узоркује на локацијама које су захваћене ерозионим процесом и на стабилном делу где нису детектовани ерозиони процеси (у непосредној близини). Такође, на основу дубине захваћеног слоја земљишта ерозионим процесом, треба одредити број узорака по дубини профила.

[5] Према утврђеном плану извршити мерење (*in situ*) механичких параметра земљишта (ручна крилна сонда и ручни пенетрометар), узимање поремећених и непоремећених узорка земљишта.

[6] Лабораторијска испитивања на прикупљеним узорцима треба да обухвате идентификационо-класификациона испитивања, која су показала кроз израду ове дисертације, да се могу користити као индикатор механизма настанка ерозионог процеса, као и осетљивости земљишта на ерозионе процесе. Потребно је одредити: гранулометријски састав земљишта, запреминске тежине (масе) земљишта (природно влажне, суве, специфичне), порозност, тренутну влажност земљишта, Атербергове границе конзистенције и чврстоћу земљишта на смицање. Такође дефинисати садржај органске материје, утврдити дисперзност и водопропусност земљишта, што није био предмет истраживања ове дисертације, али је прегледом литературе утврђен значај ових параметара при идентификацији угрожености и механизма настанака ерозионих процеса. Сва испитивања треба извршити према важећим стандардима како би се обезбедила константност, тачност и упоредивост са другим испитивањима.

[7] Обрада резултата добијених теренским и лабораторијским мерењима треба да обухвати интерпретацију резултата физичко-механичких параметара земљишта, у смислу индикатора тренутног стања земљишта, угрожености од настанка ерозионих процеса и других облика физичке деградације, спровођења инжењерских прорачуна стабилности земљишта, утврђивања потребне силе за настанак ерозионих процеса и одређивања критеријума за прогнозу развоја иницијалних облика ерозије земљишта. Извршити квантификацију степена угрожености према методи „Потенцијала ерозије“ (Gavrilović, 1972) или неким од физички заснованих модела (Morgan et al., 1998a и 1998b; Pandey et al., 2016).

Влада Републике Србије је на основу члана 28. став 2. Закона о заштити земљишта („Службени гласник РС”, број 112/15) и члана 42. став 1. Закона о Влади („Службени гласник РС”, бр. 55/05, 71/05 – исправка, 101/07, 65/08, 16/11, 68/12 – УС, 72/12, 7/14 – УС, 44/14 и 30/18 – др. закон) донела Уредбу о систематском праћењу стања и квалитета земљишта (“Службени гласник РС”, број 88 од 22. јуна 2020.). За елементе за идентификацију области са ризиком од ерозије, наглашавајући да се испитивања врше према „Техничком упутству за прикупљање података за ерозију земљишта и података о органском угљенику у земљишту за Европу кроз EIONET мрежу“ наводе: тип земљишта; механички састав земљишта (текстура); густина сувог земљишта, густина чврсте фазе; водно-ваздушне особине земљишта; хидрауличка својства земљишта; топографија, укључујући градијент нагиба и дужину нагиба; покривност земљишта; начин коришћења земљишта и земљишног простора (укључујући управљање земљиштем, пољопривредне системе и шумарство); клима (укључујући дистрибуцију падавина и карактеристике ветра); хидролошки услови; агроколошка зона; доминантни фактори појаве ерозионих процеса; средња годишња вредност ерозионих губитака земљишта –  $A$  (према RUSLE моделу); квантитативни показатељ степена угрожености-коэффициент ерозије  $Z$  (према методи „Потенцијал ерозије”).

Методологија дефинисана Уредбом Владе Републике Србије не обухвата обавезу коришћења свих потребних квантитативних параметара физичко-механичких особина земљишта, тако да није довољна за утврђивање механизма настанка, као ни осетљивости и угрожености земљишта од ерозионих процеса. Предложеном методологијом, проистеклом из резултата ове докторске дисертације, даје се могућност свеобухватне анализе стања земљишта и његове угрожености од ерозионих процеса, на основу физичко-механичких параметара земљишта. На овај начин избегава се субјективна процена инжењера који се бави проблемима ерозионих процеса. Такође, омогућава се формирање базе података која ће објединити сва извршена мерења, чиме ће се омогућити континуирано праћење стања земљишта. Квантификовани подаци се могу даље користити као улазни параметри и код емпиријских и код физички заснованих модела, за процену угрожености од ерозије као и продукције ерозионог наноса. Поред утврђивања осетљивости земљишта на ерозионе процесе, предложеном методологијом се може утврдити осетљивост земљишта и на друге облике физичке деградације (збијање, формирање покорнице, заптивање земљишта).

Правилно постављена методологија и избор метода мерења су од кључног значаја за исправно тумачење резултата физичко-механичких параметара земљишта, као индикатора механизма настанка и угрожености земљишта од ерозионих процеса. Дефинисање механизма настанка ерозионог процеса омогућиће предвиђање даљег правца развоја и интензитета процеса, затим одређивање приоритета за санацију као и правилан избор метода.

## 6. ЗАКЉУЧЦИ

Полазећи од хипотезе, која је заснована на претпоставци о постојању узајамне повезаности механизма настанка ерозионог процеса и физичко-механичких својстава земљишта, успостављена је методологија за израду ове докторске дисертације. На основу рекогносцирања терена, анализе резултата лабораторијских и теренских мерења физичко-механичких параметара земљишта, изведених експеримената, успостављених статистичких зависности, као и поређењем са сазнањима и резултатима који су изложени у анализираној релевантној научној литератури, утврђено је да се механизам настанка ерозионих процеса на истраживаном подручју активира унутрашњом линијском ерозијом, после чега следи појава површинских бразди, чијим продубљивањем настају јаруге и клизишта.

На основу спроведених лабораторијских и теренских мерења физичко-механичких параметара земљишта може се закључити следеће:

- Специфичне запреминске тежине земљишта истраживаног подручја варирају у распону од  $\gamma_s = 22,0$  до  $26,2 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , што указује на веће присуство чврстих честица глиновитог и органског порекла. Није утврђена значајна статистичка разлика за параметар специфичне запреминске тежине између издвојених група узорака, као ни између зона, што показује да су испитивана земљишта истог порекла;
- Запреминске тежине природно влажног земљишта варирају у широком опсегу од  $\gamma = 12,4$  до  $18,82 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , што је проузроковано различитим садржајем влаге у тренутку узорковања, као и различитом збијеношћу. Спроведеном компаративном анализом утврђена је значајна статистичка разлика између узорака из прве и узорка из друге зоне, док компарацијом између издвојених група узорака, у обе зоне, није утврђена значајна статистичка разлика. Запреминска тежина природно влажног земљишта је значајан индикатор тренутног стања земљишта и показатељ отпорности земљишта на ерозију;
- Запреминске тежине сувог земљишта су релативно ниске и варирају у опсегу од  $\gamma_d = 10,06$  до  $15,35 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ . Није утврђена значајна статистичка разлика између издвојених група узорака ни у једној зони. Узорци земљишта из друге зоне одликују се већим вредностима суве запреминске тежине у односу на узорке из прве зоне. Разлика вредности параметра суве запреминске тежине између зона, показује статистичку значајност, указујући на већи степен отпорности земљишта друге зоне у односу на прву зону.
- Земљишта истраживаног подручја одликују се високом и веома високом порозношћу. Код узорака прве зоне забележене су веће вредности код обала, у односу на јаругу, док су код друге зоне веће вредности забележене код узорака из јаруге, у односу на обале. Спроведеном компарацијом између узорака прве и друге зоне, за параметре порозности и коефицијента порозности, установљено је да постоји значајна статистичка разлика. Параметри порозности и коефицијента порозности представљају значајне индикаторе збијености, присуства ерозионог процеса и могућности инфилтрације воде у земљиште;
- Уочене разлике вредности параметара запреминске тежине, порозности и коефицијента порозности, између зона узорковања, указују на већу збијеност узорака из друге зоне, мању порозност и мањи садржај органске материје. На основу наведеног може се закључити да су узорци прве зоне осетљивији на ерозионе процесе;

- Гранулометријском анализом земљишта истраживаног подручја утврђена је заступљеност три групе фракција, са четири текстурне класе, од којих је најзаступљенија лака прашинаста глина. Учешће фракција глине у узорцима износи од 16,5-37,9%. Висок садржај фракција прашине утврђен је у свим узорцима, од 28,0% до чак 40,0%. Статистички значајна разлика утврђена је за процентуално учешће фракција глине и песка, између група обе зоне, као и између зона. Утврђен је мањи садржај глине и већи садржај песка у узорцима из групе јаруга, у односу на узорке са обала, што је детектовано код обе зоне. Гранулометријски састав земљишта, као и његове промене између узорака, су индикативан показатељ за могућност покретања механизма ерозионог процеса, пре свега, унутрашњег линијског ерозионог процеса;
- Према Атерберговим границама конзистенције, земљишта истраживаног подручја припадају трима групама пластичности, од којих је најзаступљенија група неорганске глине средње пластичности (СI). Утврђене вредности граница пластичности износе  $w_p = 13,8 - 25,3\%$  (средња вредност 19,55%), што представља релативно ниске вредности. С обзиром да је и граница течења код свих узорака такође релативно ниска  $w_L = 32,3 - 57,3\%$  (средња вредност 42%), може се закључити да су испитивана земљишта осетљива на ерозионе процесе. Компарацијом између узорака прве и друге зоне, утврђена је значајна статистичка разлика код групе узорака из јаруге, за параметре границе течења и границе пластичности, односно, земљишта прве зоне у јарузи имају мању отпорност на ерозионе процесе од земљишта друге зоне. Земљишта истраживаног подручја предиспонирана су на настанак релативно плитких клизишта (до 2,0 m);
- Вредности индекса активности глина осцилирају у опсегу  $AI = 0,37 - 1,97$ . Највећи број узорака, према активности глина, припада групама нормалних и неактивних глина, односно, 51 узорак, од укупно 77, спада у групу осетљивих на појаву унутрашњег линијског ерозионог процеса. На основу утврђених разлика између зона може се закључити да је земљиште из друге зоне осетљивије на настанак унутрашње линијске ерозије, у односу на земљиште прве зоне;
- Измерене вредности тренутне влажности земљишта износиле су  $W = 13,37 - 38,39\%$ . Просторна расподела влажности, код испитиваних узорака прве зоне, указује на веће вредности тренутне влажности земљишта узорака из јаруге, у односу на узорке из обала. Код узорака друге зоне није утврђена разлика између издвојених група. Израженија варијација вредности тренутне влажности земљишта, код узорака прве зоне у односу на узорке друге зоне, указује да су узорци прве зоне изложени већим променама микроклиматских услова, имају хетероген вегетациони покривач, спорадичну појаву стеље и неуједначене вредности физичких особина. Варијације вредности тренутне влажности земљишта условљене су и стањем земљишта у тренутку узорковања (појава претходних падавина или сушни период), као и локалним микроморфолошким условима;
- Механички параметри мерени помоћу ручне крилне сонде и цепног пенетрометра имају опсег вредности чврстоће земљишта на смицање  $\tau = 11,58 - 172,42 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  и отпора при продору игле  $R = 159,36 - 441,30 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ . Утврђено је да су измерене вредности механичких параметара земљишта ниже код узорака прве зоне, у односу на узорке друге зоне, што указује на већи степен отпорност земљишта друге зоне, на ерозионе процесе. Такође, земљишта друге зоне се одликују већим степеном збијености. Утврђена је већа варијација вредности мерених параметара узорака прве зоне, у односу на узорке друге зоне. Повећање чврстоће земљишта на смицање и пенетрационог отпора, са дубином, условљено је порастом запреминских тежина и процентуалног учешћа глине. На основу добијених резултата вредности механичких параметара земљишта може се закључити да

су узорци земљишта из јаруга (обе зоне) показали већу отпорност од узорака са обала. Чврстоћа земљишта на смицање мерена џепном крилном сондом показала се као осетљивија на утицај промене влажности, у односу на вредности отпора земљишта, при продору игле помоћу пенетрометра.

На основу изнетих закључака потврђена је постављена хипотеза да **„Постоји разлика између физичко-механичких параметара земљишта које је захваћено ерозионим процесима и земљишта на коме нема видљивих показатеља деловања ових процеса“**. Отпорност земљишта на ерозионе процесе може се дефинисати на основу физичко-механичких параметара земљишта, као индикатора могућности покретања механизма ерозионих процеса.

Коришћењем симулатора кише установљене су ниже вредности отпорности земљишта на смицање и отпора при продору игле, код опита у јаругама, у односу на опите на обалама. Присуство пукотина и макропора утицало је на појаву брзе инфилтрације дела падавина у земљиште, што је резултирало малим количинама дотекле воде на излазном профилу (3,76-32,71% од укупне запремине кише). Површинска ерозија се јавља у виду откидања читавих микроагрегата и њиховог транспорта путем микро-бразди до излазног профила. Измерене концентрације наноса у води варирале су у распону од 78,0 - 1003,0 mg·l<sup>-1</sup>, код опита у јарузи, и од 23,0 - 2769,0 mg·l<sup>-1</sup>, код опита на обалама.

Постављена хипотеза да **„Промена тренутне влажности земљишта утиче на промену механичких параметара земљишта“** потврђена је кроз праћење промена механичких параметара током спровођења експеримената, као и успостављеним статистичким зависностима. Регресиони модел који најбоље описује зависност између параметара тренутне влажности земљишта и чврстоће земљишта на смицање, има висок коефицијент корелације  $r = -0,85$  са коефицијентом детерминације  $r^2 = 0,72$ . Издвојен је модел који показује повезаност параметара тренутне влажности земљишта и отпора при продору игле, са високом корелационом зависношћу  $r = -0,81$  и коефицијентом детерминације  $r^2 = 0,65$ . На основу добијених статистичких зависности може се закључити да са порастом тренутне влажности опадају вредности механичких параметара земљишта.

Значај коришћења ручних (џепних) апарата огледа се кроз могућност једноставне и брзе карактеризације стања земљишта и оцене отпорности на ерозионе процесе, што показује и добијена зависност између вредности добијених мерењима помоћу ручне крилне сонде и џепним пенетрометром, са коефицијентом корелације  $r = 0,87$  и коефицијентом детерминације  $r^2 = 0,76$ .

Земљишта истраживаног подручја су осетљива на ерозионе процесе када се налазе у стању ниске природне влажности, да би отпорност расла са порастом влажности до 20% (средња вредност границе пластичности). Порастом влажности преко 20% земљиште постаје осетљивије на ерозионе процесе и друге облике физичке деградације, а после пораста тренутне влажности преко 42% (средња вредност границе течења), земљиште се налази у засићеном стању када престаје деловање отпорних сила.

Предложеном методологијом коришћења параметара физичко-механичких својства земљишта унапредиће се процес идентификације ерозионог потенцијала истраживаног подручја, као и шумских подручја сличних карактеристика, кроз примену следећих прогнозних критеријума:

- ниске вредности запреминске тежине ( $\gamma_s < 25,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ;  $\gamma_d < 14,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ );
- садржај глине мањи од 30%;
- високо процентуално учешће прашине преко 30%;
- индекс активности глина  $AI < 1$  (неактивне или нормалне глине);
- ниске граница течења  $w_L < 40,0\%$  и граница пластичности  $w_p < 20\%$ ;
- ниске вредности параметара чврстоће земљишта на смицање, у стању водозасићења,  $\tau < 20,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$  и  $R < 200,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$ ;
- велика порозност површинског слоја  $e > 40\%$ ;
- постојање слабопропусног подинског слоја;
- деградиран вегетациони покривач;
- присуство мреже макропора (предиспонираних праваца кретања воде) насталих услед труљења кореновог система и/или активности инсеката и других животиња).

На основу свега изнетог може се донети закључак да се физичко-механички параметри земљишта, као индикатори тренутног стања и отпорности земљишта, могу користити у оквиру шумарства за потребе трасирања путева; проверавања стабилности падина (подсецања падина, садња), пројектовању нагиба насипа и усека, детерминисању геотехничких услова изградње, одабиру материјала за изградњу, побољшању карактеристика постојећег земљишта, одабиру механизације, одређивању мера заштите од ерозионих процеса. Применом физичко-механичких параметара земљишта за потребе одређивања угрожености земљишта деградационим процесима, биће обезбеђени услови за постизање најбољег могућег квалитета шумских екосистема, односно, да се кроз мере газдовања учини најмања или никаква штета земљишту, а самим тим и животној средини.

## 7. ЛИТЕРАТУРА

1. Abudi, I., Carmi, G., Berliner, P. (2012): Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*. Vol. 454-455 p. 76-81 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.056>
2. Adams, E.J. (1966): Influence of Mulches on Runoff, Erosion, and Soil Moisture Depletion. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 30; Issue 1; p. 110 - 114. <https://doi.org/10.2136/sssaj1966.03615995003000010036x>
3. Aerts R, Maes W, November E, Behailu M, Poesen J, Deckers J, Hermy M, Muys B. (2006): Surface runoff and seed trapping efficiency of shrubs in a regenerating semiarid woodland in northern Ethiopia. *Catena*. Vol. 65; p. 61 – 70. doi:10.1016/j.catena.2005.09.004
4. Agassi, M., Bradford, J.M. (1999): Methodologies for interrill soil erosion studies. *Soil & Tillage Research*; Vol. 49; p. 277 - 287
5. Agrawal, A., Chhatre, A., Hardin, R., (2008): Changing Governance of the World's Forests. *Science*. Vol 320; p. 1460 – 1462; DOI: 10.1126/science.1155369
6. Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S., and Blöschl, G. (2018): Does soil compaction increase floods? A review. *Journal of Hydrology*, Vol. 557; p. 631 – 642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.052>
7. Alekseev, V.V., Aleksandrov, R.I., Vasiliev, S.A., and Chuchkalov, S.I. (2019): Study of the relation between soil erodibility and hydrological characteristics. *Conference on Innovations in Agricultural and Rural development; IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 341 012110; doi:10.1088/1755-1315/341/1/012110
8. Almajmaie, A., Hardie, M., Doyle, R., Biech, C., Acuna, T. (2016): Influence of soil properties on the aggregate stability of cultivated sandy clay loams. *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 17; p. 800 – 809
9. Al-Rubaiee, A.K., Jajjawi, N.H. (2018): Undrained Shear Strength of Selected Soils in Hilla City Using Torvane Device. *Iraqi Geological Journal* Vol. 51; No. 1 p. 60 – 82
10. Amacher, M.C., O'Neill, K.P., (2004): Assessing Soil Compaction on Forest Inventory & Analysis Phase 3 Field Plots Using a Pocket Penetrometer, *Research Paper RMRS-RP-46WWW*. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 7
11. Amundson, R. Berhe, A.A., Hopmans, J.W., Olson, C., Sztein, A.E., Sparks, D.L. (2015): Soil and human security in the 21st century. *Science*. Vol. 348; p. 1261071-1–1261071-6. DOI:10.1126/science.1261071
12. Antić, M., Jović, N., Avdalović, V. (2007): *Pedologija*. Univerzitet u beogradu Šumarski fakultet. Reprint izdanja iz 1982. godine. ISBN: 978-86-7299-133-8
13. Aristotel (384. p.n.e. - 322. godina p.n.e.): *Fizika*. Prevod, komentari i napomene Blagojević U. Slobodan. 1. izd. – Beograd: Paideia, 2006. ISBN 86-7448-323-2
14. Arnaez, J., Larrea, V., Ortigosa, L. (2004): Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*. Vol. 57; p. 1 – 14, doi:10.1016/j.catena.2003.09.002
15. Arulanandan K. (2003): *SOIL STRUCTURE: In Situ Properties and Behavior*. Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis ISBN 978-0-615-18983-3
16. Assouline, S. (2011): Bulk Density of Soils and Impact on Their Hydraulic Properties, in *Encyclopedia of Agrophysics*, edited by Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. Published by Springer ISBN: 978-90-481-3584-4
17. Aubertin, G.M., (1971): *Nature and Extent of Macropores in Forest Soils and Their Influence on Subsurface Water Movement*. U.S.D.A. Forest Service Research Paper Ne-192; Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, Pa. Forest Service, U. S. Department Of Agriculture.
18. Bachmann, J., Contreras, K., Hartge, K.H., MacDonald, R. (2005): Comparison of soil strength data obtained in situ with penetrometer and with vane shear test. *Soil & Tillage Research* Vol. 87; p. 112 – 118; doi:10.1016/j.still.2005.03.001



19. Benahmed, N., Bonelli, S. (2012): Investigating concentrated leak erosion behavior of cohesive soils by performing hole erosion tests. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. Vol. 16; Issue 1; p. 43 – 58; <https://doi.org/10.1080/19648189.2012.667667>
20. Bentley, W.A. (1904): Studies of raindrops and raindrop phenomena. *Mon. Weather Rev.* Vol. 32; p. 450–456
21. Bernatek-Jakiel, A., Kacprzak, A., Stolarczyk, M. (2016): Impact of soil characteristics on piping activity in mountainous area under a temperate climate (Bieszczady Mts., Eastern Carpathians). *Catena*. Vol. 141; p. 117 – 129; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.001>
22. Bernatek-Jakiel, A., Poesen J., (2018): Subsurface erosion by soil piping: significance and research needs. *Earth Science Reviews*. Vol 185; p. 1107 – 1128; <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.006>
23. Beven, K., Germann, P., (1982): Macropores and Water Flow in Soil. *Water Resources Research*. Vol. 18, No. 5, p. 1311 – 1325; 2W1025.0043-1397/82/002 W- 1025 \$05.00
24. Boardman, J., Poesen, J. (2006): *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons Ltd ISBN-10 0-470-85910-5
25. Bocco, G. (1991): Gully erosion, processes, and models. *Prog. Phys. Geograph*. Vol. 15; p. 392 – 406; doi:10.1177/030913339101500403.
26. Bogunovic, I., Pereira, P., Kisic, I., Sajko, K., Sraka, M. (2018): Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Caten*. Vol. 160; p. 376 - 384; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009>
27. Boix-Fayos, C., Martínez-Mena, M., Arnau-Rosalén, E., Calvo-Cases, A., Castillo, V., Albaladejo, J. (2006): Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth-Sci. Rev.* Vol. 78, Issues 3 - 4, p. 267 – 285. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.05.005>
28. Bonelli, S. (2012): *Erosion of Geomaterials*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons ISBN 978-1-84821-351-7
29. Bonelli, S., Brivois, O., Borghi, R., Benahmed, N. (2006): On the modelling of piping erosion. *Comptes Rendus Mécanique*. Vol. 334, Issues 8–9, p. 555 – 559; <https://doi.org/10.1016/j.crme.2006.07.003>
30. Borrelli, P., Panagos, P., Märker, M., Modugno, S., Schütt B., (2017a): Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss bywater erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach, *Catena*. Vol. 149; p. 770 – 781, <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.017>
31. Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schutt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L. and Panagos, P. (2017b): An assessment of the global impact of 21<sup>st</sup> century land use change on soil erosion. *NATURE COMMUNICATIONS*. Vol. 8; 2013; p. 13; DOI: 10.1038/s41467-017-02142-7
32. Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., Ballabio, C. (2020): Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 117 (34), 202001403; doi: 10.1073/pnas.2001403117
33. Boulange, J., Malhat, F., Jaikaew, P., Nanko, K., Watanabe, H. (2019): Portable rainfall simulator for plot-scale investigation of rainfall-runoff, and transport of sediment and pollutants. *International Journal of Sediment Research* Vol. 34; Issue 1; p. 38 – 47; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2018.08.003>
34. Bovi, R.C., Moreira, C.A., Rosolen, V.S., Rosa, F.T.G., Furlan, L.M., Helene, L.P.I. (2020): Piping process: Genesis and network characterization through a pedological and gophysical approach. *Geoderma*. Vol. 361; 114101 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114101>
35. Brand, E.W., Dale, M.J., and Nash, J.M. (1986): Soil pipes and slope sability in Hong Kong. *Quarterly Journal of Engineering Geolog London*. Vol. 19; p. 301 - 303

36. Brandt, J., (1988): The transformation of rainfall energy by a tropical rain forest canopy in relation to soil erosion, *Journal of Biogeography*; Vol. 15; p. 41 - 48
37. Brunier-Coulin F., Cuellar P., Philippe P., (2016): Local mechanisms of cohesive soil erosion. ICSE 2016, 8th International Conference on Scour and Erosion, At Mathematical Institute, Oxford, UK
38. Brunori, F., Penzo, M.C. and Torri, D. (1989): Soil Shear Strength: Its Measurement and Soil Detachability. *Catena*. Vol. 16; p. 59-71; ISSN 0341-8162
39. Bryan, R.B. (1974): Water Erosion by Splash and Wwash and the Erodibility of Albertan Soils. *Gografiska Annaler. Series A. Physical Geography*. Vol. 56, No. ¾; p. 159 - 181
40. Bryan, R.B. (2000): Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*. Vol. 32; p. 385 – 415; PII: S0169- 555X99.00105-1
41. Bryan, R.B., Jones, J.A.A., (1997): The significance of soil piping processes: inventory and prospect, *Geomorphology*; Vol. 20; p. 209 - 218
42. Butler, D.R. and Hupp, C.R. (2013): The Role of Biota in Geomorphology: Ecogeomorphology *Treatise on Geomorphology*. Vol. 12; p. 1 - 5
43. Butler, D.R., Whitesides, C.J., Tsikalas, S.G. (2013a): The Faunal Influence: Geomorphic Form and Process, *Treatise on Geomorphology*. Vol. 12; p. 252 - 260
44. Butler, D.R., Whitesides, C.J., Wamsley, J.M. and Tsikalas, S.G. (2013b): The Geomorphic Impacts of Animal Burrowing and Denning, *Treatise on Geomorphology*. Vol. 12; p. 271 - 280
45. Cao, L., Liang, Y., Wang, Y., Lu, H., (2015): Runoff and soil loss from *Pinus massoniana* forest in southern China after simulated rainfall. *Catena*. Vol. 129; p. 1 – 8; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.009>
46. Carter, C. E., Greer, J. D., Braud, H. J., Floyd, J. M. (1974): Raindrop characteristics in south central United States. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 17(6); p. 1033–1037. doi: 10.13031/2013.37021
47. Castillo, V.M., Gomez-Plaza, A., Martinez-Mena, M. (2003): The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*. Vol. 284; p. 114 – 130; doi:10.1016/S0022-1694(03)00264-6
48. Cerdà, A., (1999): Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología. Estado de la cuestión. *Cuadernos de investigación geográfica*. Vol. 25. p. 45 – 84.
49. Cerda, A., Ibanez, S., Calvo, A. (1997): Design and operation of small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil technology*. Vol. 11; p. 163-170
50. Cerda, A., Rodrigo-Comino, J., (2020): Is the hillslope position relevant for runoff and soil loss activation under high rainfall conditions in vineyards?. *Ecohydrol. Hydrobiol*. Vol. 20; Issue 1; p. 59-72; <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.05.006>
51. Chaplot, V., Khamaseuth, X., Valentin, C., and Le Bissonnais, Y. (2007): Interrill erosion in the sloping lands of northern Laos subjected to shifting cultivation. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 32; p. 415 – 428; DOI: 10.1002/esp.1411.
52. Chazdon, R.L. (2008): Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Land. *Science*. Vol 320; p. 1458 – 1460; DOI: 10.1126/science.1155365
53. Christiansen, J.E., (1942): Irrigation by sprinkling. *Bulletin 670*. Berkeley, Cal.: Univ. California Agricultural Experiment Station.
54. Ćirić, M. (1991): *Pedologija. Svjetlost, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo*
55. Clarke, M.A., and Walsh, R.P.D. (2007): A portable rainfall simulator for field assessment of splash and slopewash in remote locations. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 32; p. 2052 – 2069; DOI: 10.1002/esp.1526
56. Collotta, T., Cantoni, R., Pavesi, U., Ruberl, E. and Moretti, P.C. (1989): A correlation between residual friction angle, gradation and the index properties of cohesive soils. *Geotechnique*; Vol. 39; No. 2; p. 343-346.
57. Comino, J.R., Iserloh, T., Morvan, X., Issa, O.M., Naisse, C., Keesstra, S.D., Cerda, A., Prosdociami, M., Arnaez, J., Lasanta, T., Ramos, M.C., Marques, M.J., Colmanerom M.R., Bienes, R., Sinoga, J.D.R., Seeger, M. and Ries, J.B. (2016): Soil Erosion Processes in

- European Vineyards: A Qualitative Comparison of Rainfall Simulation Measurements in Germany, Spain and France. *Hydrology*, Vol. 3, 6; doi:10.3390/hydrology3010006
58. Congressional Record (2008): Senate Resolution S.RES.440 06-23-2008
  59. Crouch R.J. and Novruzli T., (1989): Threshold Conditions For Rill Initiation On A Vertisol, Gunnedah, N.S.W., Australia. *Catena*. Vol. 16; p. 101 – 110; Cremlingen
  60. Da Silva, W., Bianchini, A., Da Cunha C.A., (2016): Modeling and correction of soil penetration resistance for variations in soil moisture and soil bulk density. *Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering*. Vol. 36; no. 3; p. 449-459. ISSN: 1809-4430 (on- line) Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p449-459/2016>
  61. De Ploey, J. and Mucher, H.J. (1981): A Consistency Index and Rainwash Mechanisms on Belgian Loamy Soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 6; p. 319 – 330; 0197-9337/81/040319-12\$01.20
  62. Deng, Y., Cai, C., Xia, D., Ding, S., Chen, J., and Wang, T., (2017): Soil Atterberg limits of different weathering profiles of the collapsing gullies in the hilly granitic region of southern China. *Solid Earth*. Vol. 8; p. 499 – 513
  63. Ding, D., and Loehr, J.E. (2019): Variability and Bias in Undrained Shear Strength from Different Sampling and Testing Methods. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol. 145 (10): 04019082 DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002121
  64. Đoković, S.K. (2016): Geomehanička svojstva erodibilnog i disperzivnog fino-zrnog tla. Doktorska disertacija odbranjena na Univerzitetu u Beogradu Rudarsko-Geološki fakultet UDK 624.131.22/.37:55(043.3)
  65. Đomlija, P. Prša, M., Jagodnik, V., Arbanas, Ž. (2019): Preliminary testing of clay activity from landslide deposits in Dubračina River Basin, Croatia. Uljarević M., Zekan S., Ibrahimović Dž. (eds.): Proceedings of the 4th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic Balkan Region, 23 - 25 October 2019, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Geotechnical Society of Bosnia and Herzegovina; doi: [https://doi.org/10.35123/ReSyLAB\\_2019](https://doi.org/10.35123/ReSyLAB_2019)
  66. Dong, J., Zhang, K., Guo, Z. (2012): Runoff and soil erosion from highway construction spoil deposits: A rainfall simulation study. *Transportation Research Part D* 17 p. 8 – 14; doi:10.1016/j.trd.2011.09.007
  67. Dragović, N., Vulević, T., (2020): Soil Degradation Processes, Causes, and Assessment Approaches. In *Life on Land, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, W. Leal Filho et al. (eds.), [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5\\_86-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71065-5_86-1)
  68. Dunkerley, D. (2008): Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological processes*. Vol. 22; p. 4415 – 4435; Wiley Inter Science; DOI: 10.1002/hyp.7045
  69. FAO (2006): Приручник за opis zemljišta. Ревизију припремили Јан, Р. (Универзитет Хале-Витенберг), Блум, Х.П. (Универзитет Кијел), Асио, В.Б. (Државни универзитет Лејте), Спаргарен, О. (ISRIC) и Шад, П. (Технички универзитет у Минхену), уз доприносе и сугестије Лангора, Р. (Универзитет Гент), Бринкмана, Р. (ОХП), Нахтергелеа, Ф.О. (ОХП) и Павела Красилникова, Р. (Национални аутономни универзитет у Мексику). Организација Уједињених Нација за храну и пољопривреду, Рим. ISBN 92-5-105521-1
  70. FAO (2011): Assessing forest degradation Towards the development of globally applicable guidelines FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2011
  71. Farifteh, J., Soeters, R. (1999): Factors underlying piping in the Basilicata region, southern Italy. *Geomorphology*. Vol. 26; p. 239 – 251; [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00070-1)
  72. Fattet, M., Fu, Y., Ghestem, M., Ma, W., Foulonneau, M., Nespoulous, J., Le Bissonnais, Y., Stokes, A. (2011): Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. *Catena*. Vol. 87; p. 60 - 69; doi:10.1016/j.catena.2011.05.006

73. Faulkner, H. (2006): Piping Hazard on Collapsible and Dispersive Soils in Europe. From Boardman John, Poesen Jean (2006): Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons Ltd ISBN-10 0-470-85910-5
74. Faulkner, H. (2013): Badlands in marl lithologies: A field guide to soil dispersion, subsurface erosion and piping-origin gullies. *Catena*. Vol. 106; p. 42 - 53; doi:10.1016/j.catena.2012.04.005
75. Faulkner, H., (2018): The Role of Piping in the Development of Badlands. In *Badland Dynamics in the Context of Global Change*; Edited by Nadal-Romero, E., Martínez-Murillo, J.F., Kuhn, N.J.; p. 191 – 216; Elsevier Inc; ISBN: 978-0-12-813054-4
76. Faulkner, H., Alexander, R., Teeuw, R., and Zukowskyj, P., (2004): Variations In Soil Dispersivity Across A Gully Head Displaying Shallow Sub-Surface Pipes, And The Role Of Shallow Pipes In Rill Initiation. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 29; p. 1143 – 1160; DOI: 10.1002/esp.1109
77. Feagin, J.M. (1984): Wannier threshold theory for the Coulomb break-up of three-particle systems. *Journal of Physics B: Atomic and Molecular Physics*. Vol. 17 (12); p. 2433 – 2451; doi:10.1088/0022-3700/17/12/013
78. Fell, R., Fry, J.J., (2013): State of The Art on the Likelihood of Internal Erosion of Dams and Levees by Means of Testing, Ch.1 – Erosion in Geomechanics Applied to Dams and Levees, Editor Stephane Bonelli, Francois Nicot. <https://doi.org/10.1002/9781118577165.ch1>
79. Fell, R., Hanson, G., Herrier, G., Marot, D., Wahl, T., (2013): Relationship between the erosion properties of soils and other parameters. *Erosion in Geomechanics Applied to Dams and Levees*; 10.1002/9781118577165.ch5.
80. Fernández-Raga, M., Campo, J., Rodrigo-Comino, J., and Keesstra, S.D. (2019): Comparative Analysis of Splash Erosion Devices for Rainfall Simulation Experiments: A Laboratory Study. *Water*. Vol. 11; no. 6; 1228; doi:10.3390/w11061228
81. Fernández-Raga, M., Palencia, C., Keesstra, S., Jordán, A., Fraile, R., Angulo-Martínez, M., Cerdà, A. (2017): Splash erosion: A review with unanswered questions. *Earth-Science Reviews* Vol. 171; p. 463 – 477; <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.009>
82. Fitzjohn, C., Ternan, J.L., Williams, A.G. (1998): Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena*. Vol. 32; p. 55 – 70; PII S0341-8162 97. 00045-3
83. Fleshman, M., and Rice, J., (2014): Laboratory Modeling of the Mechanisms of Piping Erosion Initiation. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 2014.140. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001106
84. Fox, G., Wilson, G., Simon, A., Langendoen, E., Akay, O., Fuchs, J. (2007): Measuring streambank erosion due to ground water seepage: correlation to bank pore water pressure, precipitation and stream stage. *Earth Surf. Process. Landforms*. Vol. 32; p. 1558 – 1573; DOI: 10.1002/esp.1490
85. Fox, G.A., Felice, R.G., Midgley, T.L., Wilson, G.V., and Al-Madhhachi, T.A., (2013): Laboratory soil piping and internal erosion experiments: evaluation of a soil piping model for low-compacted soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 39; p. 1137 – 1145; DOI: 10.1002/esp.350
86. Fox, G.A., Wilson, G.V. (2010): The Role of Subsurface Flow in Hillslope and Stream Bank Erosion: A Review. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 74; No. 3, p. 717 – 733; doi:10.2136/sssaj2009.0319
87. Gaiser, R.N. (1952): Root Channels and Roots in Forest Soils. Presented before Section Va. Soil Science Society of America, State College, Pa., August 30, 1951.
88. Gajić, B., Milivojević, J., Bošnjaković, G., Matović, G. (2005): Zbijenost zemljišta različitih teksturnih klasa u zasadima maline ariljskog malinogorja. *Poljoprivredna tehnika*, Broj 2; str. 25 – 30; UDK: 631.312:669.8
89. Gajić, G. (1994): Uticaj fizičko – mehaničkih karakteristika zemljišta na pojavu i razvoj procesa dubinske erozije, Magistarski rad odbranjen na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Beogradu

90. Gajić, G. (2000): Uticaj otpornosti zemljišta na stepen aktivizacije dubinske erozije. Doktorska disertacija odbranjena na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.
91. Gajić, G. (2010): Laboratorijska geotehnička ispitivanja određivanje fizičkih i mehaničkih osobina zemljišta. Univerzitet u beogradu Šumarski fakultet. ISBN 978-86-7299-175-8
92. Gajić, G., Todorović, T., (2001): Analysis of the effects of “biological reinforcement” on the indicators of internal by the application of geostatistical methods, International Scientific Meeting, Computer Integrated Technologies in Minerals Industry, Prijedor, zbornik radova, str 405 – 410; CIP 069.51:549(082), ISBN 99938-630-0-9.
93. Gavrilović, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji, Časopis Izgradnja, specijalno izdanje, Beograd
94. Geißler, C., Kuhn, P., Bohnke, M., Bruelheide, H., Shi, X., Scholten, T. (2012): Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China. *Catena*. Vol. 91; p. 85 – 93 doi:10.1016/j.catena.2010.10.009
95. Ghebreyessus, Y.T., Gantzer, C.J., Alberts, E.E., Lentz, R.W. (1994): Soil Erosion by Concentrated Flow: Shear Stress and Bulk Density. *Soil and Water Div. of ASAE*. Vol. 37 (6); p. 1791 - 1797
96. Gilley, J.E., Finkner, S.C. (1984): Estimating Soil Detachment Caused by Raindrop Impact. *Soil and Water Div. of ASAE*; Presented as ASAE Paper No. 84 - 2050.
97. Goudie, A. (2004): *Encyclopedia of Geomorphology*. Vol. 1 A–I, International Association of Geomorphologists; ISBN 0–415–32737–7
98. Govers, G., Everaert, W., Poesen, J., Rauws, G., De Ploey, J., and Lautreidou, J.P. (1990): A Long Flume Study of the Dynamic Factors Affecting the Resistance of a Loamy Soil to Concentrated Flow Erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 15, p. 313 – 328; 0197-9337/90/040313-16\$08.00
99. Grabowski, C. R., Droppo G. I., Wharton G. (2011): Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties. *Earth-Science Reviews*. Vol. 105; p. 101 – 120; doi:10.1016/j.earscirev.2011.01.008
100. Grace, J. M., III (2005): Factors influencing sediment plume development from forest roads. In *Environmental Connection '05: Proc. Conference 36*, p. 221 - 230; Steamboat Springs, Colo.: International Erosion Control Association.
101. Grace, J. M., III, Clinton, B.D. (2007): Protecting Soil and Water in Forest Road Management. *Transactions of the ASABE*. Vol. 50 (5); p. 1579 – 1584; doi: 10.13031/2013.23969
102. Grace, J.M., III (2002): Effectiveness of vegetation in erosion control from forest road sideslopes. *Transactions of the ASAE*. Vol. 45 (3); p. 681 – 685; doi: 10.13031/2013.8832
103. Grierson, I.T., Oades, J.M. (1977): A Rainfall Simulator for Field Studies of Run-off and Soil Erosion. *J. agric. Engng Res*. Vol. 22; p. 37 - 44
104. Guerra, A.J.T., Fullen, M.A., Jorge, M.C.O., Bezerra, J.F.R., Shokr, M.S. (2017): Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*. Vol. 27; Issue 1; p. 27 – 41; [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7)
105. Guo, M., Wang, W., Wang, T., Wang, W., Kang, H. (2019): Impacts of different vegetation restoration options on gully head soil resistance and soil erosion in loess tablelands. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 45, issue 4; p. 1038 – 1050; <https://doi.org/10.1002/esp.4798>
106. Guo, W., Xu, X., Zhu, T., Zhang, H., Wang, W., Liu, Y., Zhu, M. (2019): Changes in particle size distribution of suspended sediment affected by gravity erosion: a field study on steep loess slopes. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 20; p. 1730 – 1741; <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02496-z>
107. Gyamfi, C., Ndambuki, J.M., and Salim, R.W. (2016): Spatial Variability of Soil Erodibility Index in Relation to Some Soil Properties at Field Scale. *Environment and Natural Resources Research*. Vol. 6; no. 2; E-ISSN 1927-0496 doi:10.5539/enrr.v6n2p16
108. Hacisalihoğlu, S., Gümüş, S., Kezik, U., Karadağ H., (2019): Impact of Forest Road Construction on Topsoil Erosion and Hydro-Physical Soil Properties in a Semi-Arid

- Mountainous Ecosystem in Turkey. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 28; No. 1; p. 113 - 121; DOI:10.15244/pjoes/81615
109. Hamza, M.A., Anderson, W.K. (2005): Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research.* Vol. 82; p. 121 - 145; doi:10.1016/j.still.2004.08.009
  110. Han, S., Han, H., Page-Dumroese, D.S. and Johnson, L.R. (2009): Soil compaction associated with cut-to-length and whole-tree harvesting of a coniferous forest. *Canadian Journal of Forest Research.* Vol. 39; p. 976 – 989; doi:10.1139/X09-027
  111. Hanson, G.J., Robinson, K.M. (1993): The Influence of Soil Moisture and Compaction on Spillway Erosion. *Soil and Water Div. of ASAE Paper No. 91-2054* Vol. 36 (5); p. 1349 – 1352.
  112. Hardie, M. (2009): *Dispersive Soils and Their Management: A technical reference manual. Technical Reference Manual. Sustainable Land Use, Department of Primary Industries and Water.* ISBN 978-0-7246-6774-1
  113. Hardie, M.A., Cotching, W.E., Zund, P.R., (2007): Rehabilitation of field tunnel erosion using techniques developed for construction with dispersive soils. *Aust. J. Soil Res.* vol. 45; p. 280–287. <https://doi.org/10.1071/SR06154>.
  114. Heimsath, A.M., Whipple, K.X. (2019): Strength matters: Resisting erosion across upland landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms.* Vol. 44; Issue 9; p. 1748 – 1754; <https://doi.org/10.1002/esp.4609>
  115. Heinzen, R. and Arulanandan, K. (1977): Factors Influencing Dispersive Clays and Methods of Identification, in *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, ed. Sherard, J. and Decker, R. (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1977); p. 202 – 217; <https://doi.org/10.1520/STP26989S>
  116. Herngren, L., Goonetilleke, A., and Ayoko, G., 2004: Investigation of urban water quality using artificial rainfall. *Proceedings of the Water Environment Federation.* (4); p. 1169 – 1184; doi:10.2175/193864704790896117
  117. Highland, L.M., and Bobrowsky, P., (2008): *The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325*, 129 p.
  118. Holden, J. and Burt, T.P. (2002): Infiltration, runoff and sediment production in blanket peat catchments: implications of field rainfall simulation experiments. *Hydrological Processes.* Vol. 16; p. 2537 – 2557; DOI: 10.1002/hyp.1014
  119. Horn, R., Domzal, H., Slowinska-Jurkiewicz, A., van Quwerkerk, C. (1995): Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research.* Vol. 35; issue 1-2; p. 23 – 26; [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00479-C](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00479-C)
  120. Horton, R.E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin.* Vol. 56; no. 3; p. 275 – 370; doi: 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2
  121. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Rahmati, O., Keesstra, S., Alinejad, M., Bahbahani, A. (2019): How can statistical and artificial intelligence approaches predict piping erosion susceptibility? *Science of the Total Environment*, Vol. 646, p. 1554 – 1566; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.396>
  122. Hosseini, M., Naeini, S.A.M., Dehghani, A., Khaledian, Y. (2016): Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regression methods. *Soil & Tillage Research.* Vol. 157; p. 32 - 42; <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.11.004>
  123. Hu, F., Liu, J., Xu, C., Du, W., Yang, Z., Liu, X., Liu, G., Zhao, S. (2018): Soil internal forces contribute more than raindrop impact force to rainfall splash erosion. *Geoderma.* Vol. 330; p. 91 – 98; <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.031>
  124. Hudson, N. (1993): *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff.* Food & Agriculture Org. (<http://www.fao.org/3/T0848E/t0848e00.htm#TopOfPage>)

125. Hughes, J.D., Thirgood, J.V. (1982): Deforestation, Erosion, and Forest Manegement in Ancient Greece and Rome. *Journal of Forest History*. Vol. 26, No. 2; p. 60 - 75 (16 pages); DOI: 10.2307/4004530.
126. Imeson, A.C., Verstraten, J.M. (1988): Rills on badland slopes: A Physico-chemically controlled phenomenon. *Catena supplement*. Vol. 12; p. 139 – 150; GEOMORPHIC PROCESSES. ENVIRONMENTS WITH STRONG SEASONAL CONTRASTS. Vol. 1 HILLSLOPE PROCESSES; ISBN 3-923381-12-3
127. Iserloh, T., Fister, W., Seeger, M., Willger, H., Ries, J.B., (2012): A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion. *Soil & Tillage Research*. Vol. 124; p. 131 – 137; <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.05.016>
128. Iserloh, T., Ries, J.B., Arnáez, J., Boix-Fayos, C., Butzen, V., Cerdà, A., Echeverría, M.T., Fernández-Gálvez, J., Fister, W., Geißler, C., Gómez, J.A., Gómez-Macpherson, H., Kuhn, N.J., Lázaro, R., León, F.J., Martínez-Mena, M., Martínez-Murillo, J.F., Marzen, M., Mingorance, M.D., Ortigosa, L., Peters, P., Regüés, D., Ruiz-Sinoga, J.D., Scholten, T., Seeger, M., Solé-Benet, A., Wengel, R., Wirtz, S. (2013): European small portable rainfall simulators: A comparison of rainfall characteristics. *Catena*. Vol. 110; p. 100 – 112; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.013>
129. Ismail, F., Mohamed, Z., Mukri, M., (2008): A study on the mechanism of internal erosion resistance to soil slope instability. *Electron. J. Geotech. Eng.* Vol. 13; p. 1 – 12.
130. Jevremović, D., Lazić, M., Kostić, S., Sunarić, D. (2017): Proposition of national methodology for qualitative landslide risk analysis. *International symposium Mining and geology today*, Belgrade 18 - 20.09.2017. Mining institute Ltd Belgrade. DOI:10.25075/SI.2017.39
131. Jevtić, Lj. (1988): Hidrologija bujučnih tokova. Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet.
132. Jie, W., Binglin, S., Jinlin, L., Shasha, L., Xiubin, H. (2018): Shear strength of purple soil bunds under different soil water contents and dry densities: A case study in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Catena*. Vol. 166 p. 124 – 133; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.03.021>
133. Johansen, M.P., Hakonson, T.E., Breshears, D.D., (2001): Post-fire runoff and erosion from rainfall simulation: contrasting forests with shrublands and grasslands. *Hydrological Processes*, Vol.15; Issue15; Special Issue: Wildfire and Surficial Processes; p. 2953-2965 <https://doi.org/10.1002/hyp.384>
134. Jones J.A.A. (2004): Pipe and piping. In *Encyclopedia of Geomorphology*, Goudie AS (ed). Routledge: London; p. 784 – 788.
135. Jones, A. (1971): Soil Piping and Stream Channel Initiation. *Water Resources Research*. Vol. 7; Issue 3; p. 602 – 610; <https://doi.org/10.1029/WR007i003p00602>
136. Jones, A., Ballabio, C., Fernandez Ugalde, O., Hervás, J., Lugato, E., Montanarella, L., Orgiazzi, A., Panagos, P., Paya Perez, A., and Van Liedekerke, M. (2018): SOIL: how much do we value this critical resource? Highlights from recent JRC research. Ebook JRC1111081
137. Jones, J. A. A. (1987): The Effects Of Soil Piping On Contributing Areas And Erosion Patterns, *Earth Surface Processes And Landforms*, Vol. 12; p. 229 - 248
138. Jones, J. A. A., (2010): Soil piping and catchment response, *HYDROLOGICAL PROCESSES Hydrol. Process*. Vol. 24; p. 1548 – 1566; DOI: 10.1002/hyp.7634
139. Jordan, A., Martinez-Zavala, L. (2008): Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*. Vol. 255 (3-4), p. 913 – 919; doi:10.1016/j.foreco.2007.10.002
140. Karlen, D.L., Rice, C.W. (2015): Soil Degradation: Will Humankind Ever Learn?. *Sustainability*. Vol. 7, p. 12490 - 12501; doi:10.3390/su70912490
141. Kašanin-Grubin M. (2013): Clay mineralogy as a crucial factor in badland hillslope processes. *Catena*. Vol. 106; p. 54 – 67
142. Kasanin-Grubin, M., Bryan, R., (2007): Lithological properties and weathering response on badland hillslopes. *Catena*. Vol. 70; p. 68 – 78; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.08.001>

143. Kašanin-Grubin, M., Vergari, F., Troiani, F., Dela Seta, M. (2018): The Role of Lithology: Parent Material Controls on Badland Development. In *Badland Dynamics in the Context of Global Change*; Edited by Nadal-Romero, E., Martínez-Murillo, J.F., Kuhn, N.J.; p. 61-109, Elsevier Inc; ISBN: 978-0-12-813054-4
144. Kathiravelu, G., Lucke, T., and Nichols, P. (2016): Rain Drop Measurement Techniques: A Review. *Water*. Vol. 8, 29; doi:10.3390/w8010029
145. Kavian, A., Kalehhouei, M., Gholami, L., Jafarian, Z., Mohammadi, M., and Rodrigo-Comino, J. (2020): The Use of Straw Mulches to Mitigate Soil Erosion under Different Antecedent Soil Moistures. *Water*. Vol. 12; 2518; p. 17; doi:10.3390/w12092518
146. Kavian, A., Mohammadi, M., Cerdà, A., Fallah, M., & Gholami, L. (2019): Design, manufacture and calibration of the SARI portable rainfall simulator for field and laboratory experiments. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 64:3; p. 350 – 360; DOI: 10.1080/02626667.2019.1581364 <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1581364>
147. Kilinc, M., Richardson, E.V. (1973): *Mechanics of Soil Erosion from Overland Flow Generated by Simulated Rainfall*. Hydrology Papers 63, Colorado State University Fort Collins, Colorado.
148. Klik, A., Rosner, J. (2020): Long-term experience with conservation tillage practices in Austria: Impacts on soil erosion processes. *Soil & Tillage Research*. Vol. 203; 104669; <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104669>
149. Klove, B. (1998): Erosion and sediment delivery from peat mines. *Soil and Tillage Research* Vol. 45; Issues 1-2; p. 199–216; [https://doi.org/10.1016/S0933-3630\(97\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0933-3630(97)00018-4)
150. Knapen, A., Poesen, J. (2009): Soil erosion resistance effects on rill and gully initiation points and dimensions. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 35; p. 217 – 228; DOI: 10.1002/esp.1911
151. Knapen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels G., Nachtergaele, J. (2007): Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-Science Reviews*. Vol. 80; p. 75 – 109; doi:10.1016/j.earscirev.2006.08.001
152. Kolić, B., (1988): *Šumarska ekoklimatologija sa osnovama fizike atmosfere*. Naučna knjiga, Beograd ISBN 86-23-48001-5
153. Kolka, R., Steber, A., Brooks, K., Perry, C.H. and Powers, M. (2012): Relationship between Soil Compaction and Harvest Season, Soil Texture, and Landscape Position for Aspen Forests. *NORTH. J. APPL. FOR.* Vol. 29 (1); p. 21 – 25; <http://dx.doi.org/10.5849/njaf.10-039>.
154. Konz, N., Baenninger, D., Konz, M., Nearing, M., and Alewell, C. (2010): Process identification of soil erosion in steep mountain regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* Vol. 14; p. 675 – 686; <https://doi.org/10.5194/hess-14-675-2010>.
155. Koprivica, M. (2015): *Šumarska statistika*. Univerzitet u Banjoj Luci, Šumarski fakultet. ISBN 978-99938-56-32-0
156. Korup, O., Clague, J.J., Hermanns, R.L., Hewitt, K., Strom, A.L., Weidinger, J.T. (2007): Giant landslides, topography, and erosion. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 261; p. 578 – 589; doi:10.1016/j.epsl.2007.07.025
157. Kostadinov, S. (2008): *Bujični tokovi i erozija*, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd.
158. Kust, G., Andreeva, O., Cowie, A., (2017): Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *Journal of Environmental Management*. Vol. 195; Part 1; p. 16 – 24; <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.043>
159. Kutílek, M. (2011): Pore Size Distribution, in *Encyclopedia of Agrophysics* (2011), edited by Gliński, J., Horabik, J., Lipiec, J. Published by Springer ISBN: 978-90-481-3584-4
160. Lal, R. (1976): Soil Erosion on Alfisols in Western Nigeria, V. the Changes in Physical Properties and the Response of Crops. *Geoderma*. Vol. 16; p. 419 – 431; [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0016-7061(76)90005-7)
161. Lal, R. (2003): Soil erosion and the global carbon budget. *Environmental International*. Vol. 29; Issue 4; p. 437 – 450; [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)



162. Landsberg, J.D., Miller, R.E., Anderson, H.W., and Tepp, J.S. (2003): Bulk Density and Soil Resistance to Penetration as Affected by Commercial Thinning in Northeastern Washington. Res. Pap. PNW-RP-551. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 35 p.
163. Lassu, T., Seeger, M., Peters, P., Keesstra, S.D. (2015): The Wageningen Rainfall Simulator: Set-up and Calibration of an Indoor Nozzle-Type Rainfall Simulator for Soil Erosion Studies. *Land Degradation and Development*. Vol. 26; p. 604 – 612; DOI: 10.1002/ldr.2360
164. Le Bissonnais, Y., Renaux, B., Delouche, H. (1995): Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*. Vol. 25; p. 33 – 46; 0341-8162/95/\$09.50
165. Leonard, J., Richard, G. (2004): Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. *Catena*. Vol. 57; p. 233–249
166. Leonardo, da Vinci, 1452–1519 Notebooks / Leonardo da Vinci; selected by Irma A. Richter; edited with an introduction and notes by Thereza Wells; preface by Martin Kemp. Oxford world's classics, First published in 1952, First published in Oxford World's Classics 1980, New edition 2008; ISBN 978-0-19-929902-7
167. Leslie, I.N., Heinse, R., (2013): Characterizing soil-pipe networks with pseudo-three-dimensional resistivity tomography on forested hillslopes with restrictive horizons. *Vadose Zo. J.* Vol. 12; Issue 4; p. 1 - 10; <https://doi.org/10.2136/vzj2012.0200>.
168. Li, L., Nearing, M.A., Nicholas, M.H., Polyakov, V.O., Cavanaugh, M.L. (2020): Using terrestrial LiDAR to measure water erosion on stony plots under simulated rainfall. *Earth surface Processes and Landforms*. Vol. 45, Issue 2. p. 484 – 495; <https://doi.org/10.1002/esp.4749>
169. Lipec, J. (2004): Compaction Effects on Soil Physical Properties and Root and Shoot Growth. In *Soil – Plant – Atmosphere Aeration and environmental Problems*, Edited by: Gliński, J., Józefaciuk, G., Stahr, K., Lublin – Stuttgart
170. Liu, G., Xu, M., Ritsema, C. (2003): A study of soil surface characteristics in a small watershed in the hilly, gullied area on the Chinese Loess Plateau, *Catena*. Vol. 54; p.31–44
171. Liu, W., Zhu, C., Wu, J., Chen, C. (2016): Are rubber-based agroforestry systems effective in controlling rain splash erosion?. *Catena*. Vol. 147; p. 16 – 24; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.034>
172. Lora M., Camporese M., Salandin P. (2016): Design and performance of a nozzle-type rainfall simulator for landslide triggering experiments. *Catena*. Vol. 140; p. 77 – 89; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.018>
173. Luce, C.H., Black, T.A. (1999): Sediment production from forest roads in western Oregon. *Water Resources Research*. Vol. 35; no. 8; p. 2561 – 2570; doi:10.1029/1999wr900135
174. Luk, S. (1985): Effect of Antecedent Soil Moisture Content on Rainwash Erosion. *Catena*. Vol. 12; p. 129 - 139; ISSN 0341 – 8162
175. Luo, Z., Niu, J., Xie, B., Zhang, L., Chen, X., Berndtsson, R., Du, J., Ao, J., Yang, L., and Zhu, S., (2019): Influence of Root Distribution on Preferential Flow in Deciduous and Coniferous Forest Soils. *Forests*. Vol. 10; no. 11: 986; doi:10.3390/f10110986
176. Ma, L., Li, J., and Liu, J. (2020): Effects of antecedent soil water content on infiltration and erosion processes on loessial slopes under simulated rainfall. *Hydrology Research* <https://doi.org/10.2166/nh.2020.013>
177. Macura, R. (2019): *Osnove statistike*. Banja Luka College, Izdavačko grafičko društvo Bjeseda, Banja Luka
178. Mahmoodabadi, M., Sajjadi, S.A. (2016): Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*. Vol. 253; p 159 – 167; <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.010>
179. Mamo, M., Bubenzer, G.D. (2001): Detachment Rate, Soil Erodibility, and Soil Strength as Influenced by Living Plant Roots, Part I: Laboratory Study. *Transactions of the ASAE*. Vol. 44 (5), p. 1167 – 1174; ISSN 0001–2351

180. Marković, M., Živanović, N., Gajić, G. (2019): Stability Analysis Of Slopes Along Roads In Bio-Reinforced Soil Conditions. *Bulletin Faculty of Forestry*. Vol. 119; p. 91 – 104; <https://doi.org/10.2298/GSF1919091M>
181. Martín, M.A., Pachepsky, Y.A., García-Gutiérrez, C., and Reyes, M. (2018): On soil textural classifications and soil texture-based estimations. *Solid Earth*. Vol. 9; p. 159 – 165; <https://doi.org/10.5194/se-9-159-2018>
182. Martínez-Hernández C., Rodrigo-Comino J, Romero-Díaz A., (2017): Impact of lithology and soil properties on abandoned dryland terraces during the early stages of soil erosion by water in south-east Spain. *Hydrological Processes*. Vol. 31; Issue17; p. 3095 – 3109; <https://doi.org/10.1002/hyp.11251>
183. Materechera, S.A., Molza-Banda, H.R. (1997): Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. *Soil & Tillage Research*. Vol. 41; p. 13 - 24.
184. Medarević M. (1991): Funkcije šuma i njihovo obezbeđivanje pri planiranju gazdovanja šumama, doktorska disertacija odbranjena na Šumarskom fakultetu Univerziteta u Beogradu
185. Mercier, F. (2013): Numerical modelling of erosion of a cohesive soil by a turbulent flow. *Fluids mechanics [physics.class-ph]*. Aix-Marseille Université, 2013. English.
186. Meshesha, D.T., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N. (2018): Influence of raindrop size on rainfall intensity, kinetic energy, and erosivity in a sub-humid tropical area: a case study in the northern highlands of Ethiopia. *Theoretical and Applied Climatology*. Vol. 136;p. 1221 – 1231; <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2551-0>
187. Meyer, L. D., Harmon, W. C., (1979): Multiple-Intensity Rainfall Simulator for Erosion Research on Row Sideslopes, *TRANSACTIONS of the ASAE Paper No. 77-2025*.
188. Mhaske, N. S., Pathak, K., Basak, A. (2019): A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. *Catena*. Vol. 172; p. 408 – 420; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.039>
189. Milić, N., Bosančić, B. (2012): Varijabilitet i koeficijent varijacije u biološkim i poljoprivrednim istraživanjima. *Agroznanje*. Vol. 13; no. 3; p. 331 – 342; DOI: 10.7251/AGRSR1203331M
190. Mirreh, H.F., Ketcheson, J.W. (1972): Influence of soil bulk density and matic pressure on soil resistance penetration. *Can. J. Soil Sci.* Vol. 52; p. 477 - 483.
191. Misra, R.K., Rose, C.W. (1995): An Examination of the Relationship between Erodibility Parameters and Soil Strenght. *Aust. J. Soil Res.*, Vol. 33; p. 715 - 732
192. Mitrović, P., Jelisavac B. (2006): Sanacija klizišta „Duboka“. *Materijali i konstrukcije*. Vol. 49; no. 1 - 2; p. 46 – 59; UDK: 624.131.573.004.67(497.11 "DUBOKA") = 861
193. Miura, S., Amacher M., Hofer, T., San-Miguel-Ayanz, J., Ernawati, Thackway, R., (2015): Protective functions and ecosystem services of global forests in the pastquarter-century, *Forest Ecology and Management*. Vol. 352; p. 35 – 46; <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.03.039>
194. Montanarella, L. (2003): The EU Thematic Strategy on Soil Protection In: *Land Degradation in Central and Eastern Europe* R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds.). European Soil Bureau Research Report No.10, EUR 20688 EN, 324 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
195. Montanarella, L., Pennock, D. J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G.-L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C. R., de Lourdes Mendonça-Santos, M., Taboada, M., Espinosa-Victoria, D., AlShankiti, A., AlaviPanah, S. K., Elsheikh, E. A. E. M., Hempel, J., Camps Arbestain, M., Nachtergaele, F., and Vargas, R. (2016): World's soils are under threat. *SOIL*. Vol. 2; p. 79 – 82; <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>.
196. Moreno-de las Heras, M., Merino-Martín, L., Nicolau, J.M. (2009): Effect of vegetation cover on the hydrology of reclaimed mining soils under Mediterranean-Continental climate. *Catena*. Vol. 77; p. 39 – 47; doi:10.1016/j.catena.2008.12.005

197. Morgan, R.P.C (1979): *Soil Erosion, Topics in applied geography*, Longman Inc New York USA, ISBN 0 582 48692 0
198. Morgan, R.P.C. (2005): *Soil erosion and conservation*. Third edition published by Blackwell Publishing Ltd ISBN 1-4051-1781-8
199. Morgan, R.P.C., McIntyre, K., Vickers, A.W., Quinton, J.N., Rickson, R.J., (1997): A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swayiland. *Soil Technology*. Vol. 1; p. 291 - 299.
200. Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.E., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M.E., Folly, A.J.V (1998a): *The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide*. Silsoe College, Cranfield University
201. Morgan, R.P.C., Quinton, J.N., Smith, R.J., Govers, G., Poesen, J.W.A., Auerswald, K., Chischi, G., Torri, D., Styczen, M.E., (1998b): *The European Soil Erosion Model EUROSEM.: a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments*. *Earth Surface Processes Landforms*. vol. 23; p. 527 – 544; [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199806\)23:6<527::AID-ESP868>3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199806)23:6<527::AID-ESP868>3.0.CO;2-5)
202. Mutavdžić, B., Nikolić Đorić, E. (2018): *Statistika*. Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet.
203. Nachtergaele, J., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., Vandekerckhove, L. (2002): Medium-term evolution of a gully developed in a loess-derived soil. *Geomorphology*. Vol. 46; p. 223 – 239; PII: S0169-555X(02)00075-2
204. Nadal-Romero, E., Regues, D., Marti-Bono, C., and Serrano-Muela, P. (2007): Badland dynamics in the Central Pyrenees: temporal and spatial patterns of weathering processes. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 32; p. 888 – 904; DOI: 10.1002/esp.1458
205. Nadal-Romero, E., Verachtert, E., Maes, R., Poesen, J., (2011): Quantitative assessment of the piping erosion susceptibility of loess-derived soil horizons using the pinhole test. *Geomorphology*. Vol. 135; p. 66 – 79; <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.07.026>
206. Nadal-Romero, E., García-Ruiz, J.M. (2018): Rethinking Spatial and Temporal Variability of Erosion in Badlands. In *Badland Dynamics in the Context of Global Change*; Edited by Nadal-Romero, E., Martínez-Murillo, J.F., Kuhn, N.J.; p. 217 – 253; Elsevier Inc, ISBN: 978-0-12-813054-4
207. Najdanović, N., Obradović, R., (1981): *Mehanika tla u inženjerskoj praksi*, Rudarski institut, Beograd.
208. Nanko, K., Hotta, N. & Suzuki, M. (2004): Assessing raindrop impact energy at the forest floor in a mature Japanese cypress plantation using continuous raindrop-sizing instruments. *Journal of Forest Research*. Vol. 9; p. 157–164 <https://doi.org/10.1007/s10310-003-0067-6>
209. Navas, A., Alberto, F., Machin, J., Galan, A. (1990): Design and Operation of a Rainfall Simulator for Field Studies of Runoff and Soil Erosion. *Soil Technology*. Vol. 3; p. 385-397; [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(90\)90019-Y](https://doi.org/10.1016/0933-3630(90)90019-Y); ISSN 0933-3630.
210. Nearing, M.A., Foster, G.R., Lane, L.J., Finkner, S.C. (1989): A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. *Transactions of the ASAE*; Vol 32; No. 5; p. 1587-1593.
211. Nearing, M.A., Norton, L.D., Bulgakov, D.A., Larionov, G.A., West, L.T. and Dontsova, K.M., (1997): Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research*. Vol. 33; no. 4; p. 865 – 876; Paper number 97WR00013. 0043-1397/97/97WR-00013509.00.
212. Nearing, M.A., West, L.T. (1988): Soil Strength Indices as Indicators of Consolidation. *Transactions of the ASAE*. Vol. 31 (2); 0471-0476; doi: 10.13031/2013.30733.
213. Neary, D.G., Ice, G.G., Jackson, C.R. (2009): Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*. Vol. 258; p. 2269 – 2281
214. Newesely, Ch., Leitinger, G., Zimmerhofer, W., Kohl, B., Markart, G., Tesser, E., Tappeiner, U., (2015): Rain simulation in patchy landscapes: Insights from a case study in the Central Alps. *Catena*. Vol. 127; p. 1 - 8
215. Nieuwenhuis, M. (2000): *Terminology of forest management*. IUFRO World Series Vol. 9;

IUFRO 4.04.07, International Union of Forestry Research Organizations, Vienna, Austria.

216. Osnovna geološka karta 1 : 100000 tumač za list Obrenovac L 34-125, Beograd 1980. Savezni geološki zavod, Beograd
217. Ostovari, Y., (2016): Modification of the USLE K factor for soil erodibility assessment on calcareous soils in Iran. *Geomorphology*. Vol. 273; p. 385 – 395; doi: 10.1016/j.geomorph.2016.08.00
218. Ostovsky, V.N. (2001): Threshold Laws for Four-Particle Fragmentation: Mass Effects. In: *ATOMIC PHYSICS AT ACCELERATORS: STORED PARTICLES AND FUNDAMENTAL PHYSICS*. Proceedings of the APAC 2001, held in Aarhus, Denmark, 8-13 September 2001; p. 171 – 176; Edited by Knudsen, H., Andersen, J.U., and Kluge, H-J. ISBN 978-94-010-3749-5; DOI 10.1007/978-94-007-0946-1
219. Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., Gao, X. (2018): Combined impacts of land use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of The Total Environment*. Vol. 613 – 614; p. 798 – 809; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.173>
220. Owoputi, L.O., Stolte, W.J., (1995): Soil Detachment in the Physically Based Soil Erosion Process: A Review. *Transactions of the ASAE*. Vol. 38 (4); p. 1099 - 1110
221. Özdemir, N., Gülser, C., (2017): Clay activity index as an indicator of soil erodibility. *Eurasian J Soil Sci*. Vol. 6 (4); p. 307 – 311. DOI: 10.18393/ejss.304519
222. Panagos, P., Ballabio, C., Poesen, J., Lutgato, E., Scarpa, S., Montanarella, L. and Borrelli, P. (2020): A Soil Erosion Indicator for Supporting Agricultural, Environmental and Climate Policies in the European Union. *Remote Sens*. Vol. 12; 1365; <https://doi.org/10.3390/rs12091365>
223. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015): The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. Vol. 54; p. 438 – 447; <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
224. Pandey, A., Himanshu, S. K., Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2016): Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *CATENA*. Vol. 147; p. 595 – 620; doi:10.1016/j.catena.2016.08.002
225. Parsakho, A., Hosseini, S.A., Jalilyvand, H., and Lotfalian, M., (2008): Physical Soil Properties and Slope Treatments Effect on Hydraulic Excavator Productivity Forest Road Construction. *Pakistan Journal of Biological Science*. Vol. 11 (11); p. 1422 – 1428; ISSN 1028-8880.
226. Parsakhoo, P., Lotfalian, M., Kaviani, A., Hoseini, S.A. and Demir, M. (2012): African Journal of Agricultural Research. Vol. 7 (27), p. 3957 – 3963; DOI: 10.5897/AJAR12.202
227. Paul, O.K., Mao, H., Li, L. and Ma, G. (2018): Relationship Between Soil Moisture Content and Penetration Resistance on Verisols. *ASABE Annual International Meeting Sponsored by ASABE Detroit, Michigan*; Paper Number: 1800017; p. 13; DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201800017>
228. Pereira, R.S., Emmert, F., Miguel, E.P., Gatto, A. (2018): Soil Stabilization with Lime for the Construction of Forest Roads. *Floresta Ambient*. Vol. 25; no. 2; ISSN 2179-8087; <https://doi.org/10.1590/2179-8087.007715>
229. Pereyra, M.A., Fernandez, D.S., Marcial, E.R., Puchulu, M.E., (2020): Agricultural land degradation by piping erosion in Chaco Plain, Northwestern Argentina. *Catena*. Vol. 185; 104295; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104295>
230. Petrović B., Vujić S., Čebasek., Gajić., Ignjatović D. (2016): Predictive analysis of slope stability of internal dumps in Tamnava-West field mine after flooding (Article). *JOURNAL OF MINING SCIENCE*. Vol. 52; no. 1; p. 110 - 114.
231. Pierson, T.C. (1983): Soil pipes and slope stability. *Quarterly Journal of Engineering Geology London*. Vol. 16; p. 1 - 11
232. Pirastru, M., Castellini, M., Giadrossich, F., Niedda, M. (2013): Comparing the hydraulic properties of forested and grassed soils on an experimental hillslope in a Mediterranean environment. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 19; p. 341 – 350; doi:

10.1016/j.proenv.2013.06.039

233. Poasen, J. (2018): Soil erosion in the Anthropocene: Research needs, *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 43; p. 64 – 84; DOI: 10.1002/esp.4250
234. Poesen, J., Ingelmo-Sanchez, F., Mucher, H. (1990): The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surf. Process. Landf.* Vol. 15; p. 653–671; <http://dx.doi.org/10.1002/esp.3290150707>.
235. Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. (2003): Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*. Vol. 50; p. 91– 133; [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-1)
236. Polidori, E. (2009): Reappraisal of the activity of clays activity chart. *Soils and Foundations*. Japanese Geotechnical Society. Vol. 49; No. 3; p. 431 - 441; <https://doi.org/10.3208/sandf.49.431>
237. Polyakov, V.O., Stone, J., Collins, C.H., Nearing, M.A., Paige, G., Buono, J. and Gomez-Pond, R. (2018): Rainfall simulation experiments in the southwestern USA using the Walnut Gluch Rainfall Simulator. *Earth Syst. Sci. Data*. Vol. 10; p. 19 – 26; <https://doi.org/10.5194/essd-10-19-2018>
238. Prohaska, S., Đukić, D., Bartoš Divac, V., Todorović, N., Božović, N. (2014): Karakteristike jakih kiša koje su prouzokovale čestu pojavu poplava na teritoriji Srbije u periodu april-septembar 2014. godine. *Vodoprivreda*. 0350-0519; Vol. 46, 267 - 272 p. 15-26
239. Radić, Z., (1981): Savremene metode analize kretanja vode i nanosa u otvorenim tokovima. Naučno-istraživački projekat. Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet Institut za hidrotehniku.
240. Radić, Z.M., Pavlović, D. (2015): Prostorne analize jakih kiša kratkog trajanja na teritoriji Srbije. Međunarodna konferencija dostignuća u građevinarstvu 24. april 2015. Subotica, Srbija. p. 641 – 649; УДК: 551.577.22/.37 DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.080
241. Rauch, W, De Toffol, S. (2006): On the issue of trend and noise in the estimation of extreme rainfall properties. *Water Science and Technology*. Vol. 54; p. 17 – 24; doi: 10.2166/wst.2006.624
242. Regazzoni, P.L., Marot, D. (2011): Investigation of interface erosion rate by Jet Erosion Test and statistical analysis. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Taylor & Francis. Vol. 15 (8); p. 1167 – 1185; 10.3166/EJECE.15.1167-1185
243. Rene Dekart. Pravila za usmeravanje duha; Rasprava i metodi pravilnog vodjewa svoga uma i istraživanje istine o naukama; Istraživanje istine prirodnim svjetlom uma. s latinskog i francuskog preveo i komentare sačinio Marko Višić. Podgorica: Unireks, 2008. COBISS.CG-ID 13176848
244. Reséndiz, D. (1977): Relevance of Atterberg Limits in Evaluating Piping and Breaching Potential. In *Dispersive Clays, Related Piping, and Erosion in Geotechnical Projects*, ed. J. Sherard and R. Decker (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1977), 341-353. <https://doi.org/10.1520/STP26998S>
245. Richards, K. S. & Reddy, K. R. (2012): Experimental investigation of initiation of backward erosion piping in soils. *Geotechnique*. Vol. 62; No. 10; p. 933 – 942; <http://dx.doi.org/10.1680/geot.11.P.058>
246. Ries, J.B., Iserloh, T., Seeger, M., Gabriels D., (2013): Rainfall simulations – constraints, needs and challenges for a future use in soil erosion research. *Zeitschrift für Geomorphologie*. Vol. 57; Suppl. 1, 001–010
247. Rio+20. (2012): The Future We Want: Outcome document adopted at Rio+20. (2012) Ibid., Vol. 2349, No. 42146. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/733FutureWeWant.pdf>
248. Ristić, R., Kašanin-Grubin, M., Radić, B., Nikić, N., Vasiljević, N. (2012): Land Degradation at the Stara Planina Ski Resort. *Environmental Management*. Vol. 49; p. 580 – 592; DOI 10.1007/s00267-012-9812-y
249. Robrecht M. Schmitza, Christian Schroedera, Robert Charlier, (2004): Chemo–mechanical

- interactions in clay: a correlation between clay mineralogy and Atterberg limits. *Applied Clay Science*. Vol. 26; p. 351 – 358
250. Romano, N. (2014): Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. *J. Hydrol.*, Vol. 516; p. 6 – 20; <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.026>
  251. Romkens, M.J.M., Luk, S.H., Poesen, J.W.A., Mermut, A.R. (1995): Rain infiltration into loess soils from different geographic regions. *Catena*. Vol. 25; p. 21 – 32; 0341-8162/95/\$09.50
  252. Rubinić, V., Lazarević, B., Husnjak, S., Durn, G. (2015): Climate and relief influence on particle size distribution and chemical properties of Pseudogley soils in Croatia. *CATENA*. Vol. 127; p. 340 – 348; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.024>
  253. Ruhulmann, J., Korschens, M., Graefe, J. (2005): A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. *Geoderma*. Vol. 130; p. 272 – 283; doi:10.1016/j.geoderma.2005.01.024
  254. Sachs, E., Sarah, P. (2017): Combined effect of rain temperature and antecedent soil moisture on runoff and erosion on Loess. *Catena*. Vol. 158; p. 213 – 218; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.007>
  255. Sangüesa, C., Arumí, J., Pizarro, R., and Link, O., (2010): A rainfall simulator for the in situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean Journal of Agricultural Research*. Vol. 70 (1); p. 178–182. doi:10.4067/S0718-58392010000100019
  256. Sarsby, R.W. (2013): *Environmental Geotechnics*. Second edition, ICE Publishing, ISBN 978-0-7277-4187-5, <http://dx.doi.org/10.1680/eg.41875.001>
  257. Shah, A. N., Tanveer, M., Shahzad, B., Yang, G., Fahad, S., Ali, S., Bukhari, M.A., Tung, S.A., Hefeez, A., Souliyanonh, B. (2017): Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol. 24 (11); p. 10056 – 10067; doi:10.1007/s11356-017-8421-y
  258. Shier, R. (2004): “Statistics,” *The Wilcoxon Signed Rank Sum Test*, Mathematics Learning Support Centre, pp. 1- 3. [mlsc.lboro.ac.uk/resources/statistics/signstest.pdf](http://mlsc.lboro.ac.uk/resources/statistics/signstest.pdf)
  259. Sidle, R.C. (2005): Influence of forest harvesting activities on debris avalanches and flows. In *Debris-flow Hazards and Related Phenomena* edited by Jakob, M., and Hungr, O. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York ISBN 3-540-20726-0
  260. Sidorchuk, A., (2005): Stochastic components in the gully erosion modelling. *Catena*. Vol. 63 p. 299 – 317; doi:10.1016/j.catena.2005.06.007
  261. Singh, H.V., Thompson, A.M. (2016): Effects of antecedant soil moisture content on soil critical shear stress in agricultural watersheds. *Geoderma*. Vol. 262; p. 165 – 173; <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.011>
  262. Skempton, A.W. (1984): *Selected papers on soil mechanics*. Reprinted from Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech., Zurich, 1953, 1, 57-61 ISBN 978-07277-0205-0
  263. Skempton, A.W. (1985): Residual strength of clays in landslides, folded strata and the laboratory. *Geotechnique*. Vol. 35; No. 1; p. 3 - 18
  264. Skempton, A.W., (1953): The colloidal activity of clays. *Proceedings of Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Switzerland, Aug 1953, vol. 1. p. 57 - 61.
  265. Smalheiser, N.R. (2017): *Data Literacy How to Make your Experiments Robust and Reproducible*. p. 157 – 167; <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811306-6.00012-9>
  266. Soil Science Society of America (2008): *Glossary of Soil Science Terms*. Soil Science Society of America, Madison, WI
  267. Sollins, P., Kramer, M.G., Swanston, C., Lajtha, K., Filley, T., Aufdenkampe, A.K., Wagai, R., and Bowden, R.D., (2009): Sequential density fractionation across soils of contrasting mineralogy: evidence for both microbial- and mineral-controlled soil organic matter stabilization. *Biogeochemistry*. Vol. 96; p. 209–231. <https://doi.org/10.1007/s10533-009-9359-z>

268. Spasić, M., Živanović, N., Gajić, G. (2018): Influence of lime stabilization on shear strength parameters of silty clay soil. *Bulletin Faculty of Forestry*. Vol. 117; p. 143 – 155; <https://doi.org/10.2298/GSF1817143S>
269. SRPS U.B1. 012, (1979): Geomehanička ispitivanja, Određivanje vlažnosti tla. Testing of soils. Determination of soil moisture content. Jugoslovenski standard sa obaveznom primenom od 21.02.1980, Pravilnik br. 31-14005/1 od 30.08.1979; Službeni list SFRJ br. 65/79; Savezni fond za standardizaciju.
270. SRPS U.B1. 018, (2005): Geomehanička ispitivanja, Određivanje granulometrijskog sastava, Testing of soils. Determination of particle size distribution; Savezni zavod za standardizaciju.
271. SRPS U.B1. 020, (1980): Geomehanička ispitivanja, Određivanje konzistencije tla, Aterbergove granice, Testing of soils, Determination of Atterberg limits; Savezni zavod za standardizaciju.
272. SRPS U.B1. 038, (1997): Geomehanička ispitivanja, Određivanje odnosa vlažnosti i suve zapreminske mase tla, Testing of soils, Determination of the relation moisture content – density of soil; Savezni zavod za standardizaciju.
273. SRPS U.B1.010, (2000): Geomehanička ispitivanja, Uzimanje uzoraka, Testing of soils, Sampling of soils. Savezni zavod za standardizaciju.
274. SRPS U.B1.014, (1988): Geomehanička ispitivanja, Određivanje zapreminske mase materijala tla bez pora, Testing of soils, Determination of density; Savezni zavod za standardizaciju; Službeni list SFRJ br. 42/88.
275. Stanchi, S., D'Amico, M., Zanini, E., Freppaz, M., (2015): Liquid and plastic limits of mountain soils as a function of the soil and horizon type. *Catena*. Vol. 135; p. 114 – 121; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.021> 0341-8162/© 2015
276. Stanchi, S., Freppaz, M., Zanini, E., (2012): The influence of Alpine soil properties on shallow movement hazards, investigated through factor analysis. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* Vol. 12; p. 1845 – 1854; doi:10.5194/nhess-12-1845-2012
277. Stroosnijder, L. (2005): Measurement of erosion: Is it possible? *Catena*. Vol. 64; p. 162 – 173; doi:10.1016/j.catena.2005.08.004
278. Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhao, W.Z., Zhang, T.H. (2004): Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. *Geoderma*. Vol. 122 (1); p. 43 – 49.
279. Sun, L., Zhang, G., Luan, L., Liu, F. (2016): Temporal variation in soil resistance to flowing water erosion for soil incorporated with plant litters in the Loess Plateau of China. *Catena*. Vol. 145; p. 239 – 245; <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.016>
280. Tabari, M.K., Ghalesari, A.T., Choobbasti, A.J., Afzalirad, M. (2019): Large-Scale Experimental Investigation of Strength Properties of Composite Clay. *Geotech Geol Eng.* Vol. 37; p. 5061 – 5075; <https://doi.org/10.1007/s10706-019-00962-6>
281. Tague, C., Band, L., (2001): Simulating the impact of road construction and forest harvesting on hydrologic response. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 26; p. 135 – 151; [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200102\)26:2<135::AID-ESP167>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200102)26:2<135::AID-ESP167>3.0.CO;2-J)
282. Terzaghi K. (1943): *Theoretical soil mechanics*, John Wiley and sons, New York
283. Terzaghi K. and Peck R.B. (1967): *Soil mechanics in engineering practice* (2<sup>nd</sup> ed) John Wiley and Sons, New York
284. Terzaghi K.V. (1922): *Der grundbruch an stauwerken und seine verhütung*. *Wasserkraft*, 17: 445–449 (in German)
285. Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1948). *Soil mechanics in engineering practice*, Wiley, New York.
286. Tian, P., Xu, X., Pan, C., Hsu, K., Yang, T., (2017): Impacts of rainfall and inflow on rill formation and erosion processes on steep hillslopes. *Journal of Hydrology*. Vol. 548; p. 24 – 39; <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.02.051>
287. Todorović T. (1991): *Osnovi geotehnike u bujičarstvu*, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet

288. Todorović, T., (1983): Проучавање стабилности терена у условима дејства подземних вода, код водопривредних уређења ерозионих подручја. Докторска дисертација, Универзитет у Београду, Шумарски факултет, Институт за водопривреду ерозионих подручја, Београд.
289. Todorović, T., (1984): Change of characteristics of moisture content of deluvial clay deposits in Belgrad region. Proceedings of the 27th International geological congress (Section C-17), Mostow 4 – 12 august.
290. Todorović, T., Gajić, G., (1993): Primena biološkog armiranja zemljišta u protiverozionoj geotehnici, Monografija: Uzročnici i posledice erozije zemljišta i mogućnosti kontrole erozionih procesa, Šumarski fakultet, Beograd,. str. 94-97
291. Todorović, T., Ratković-Vujić, M., Vujić, S., (1985): Water Effect on Shange of Shear Resistance Parameters of Working Media. Proceedings of International Mine Water Association, Granada, Spain, septembar 1985. p. 231 – 239.
292. Torri, D. and Bryan R.B. (1997): Micropiping processes and biancana evolution in southeast Tuscany, Italy. Geomorphology. Vol. 20; p. 219 - 235
293. Torri, D., Colica, A., Rockwell, D. (1994): Preliminary study of the erosion mechanisms in a biancana badlands (Tuscany, Italy). Catena. Vol. 23; Issues 3 – 4; p. 281 – 294; [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90073-6](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90073-6)
294. Torri, D., Santi, E., Marignani, M., Rossi, M., Borselli, L., Maccherini, S. (2013): The recurring cycles of biancana badlands: Erosion, vegetation and human impact. Catena. Vol. 106; p. 22 – 30; doi:10.1016/j.catena.2012.07.001.
295. Touma, J., Albergel, J., (1992): Determining soil hidrologic properties from rain simulator or double ring infiltrometer experiments: a comparation. Journal of Hidrology. Vol. 135; p. 73-86
296. Toy, T.J., Foster, G.R., Renard, K.G., (2002): Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement and Control. Wiley & Sons, USA. ISBN 0-471-38369-4
297. Tuo, D., Xu, M., Gao, G. (2018): Relative contributions of wind and water erosion to total soil loss and its effect on soil properties in sloping croplands of the Chinese Loess Plateau. Science of the Total Environment. Vol. 633; p. 1032 - 1040.
298. UNCCD – United Nations Convention to Combat Desertification (2017): 2030 Agenda for Sustainable Development: implications for the United Nations Convention to Combat Desertification The future strategic framework of the Convention, ICCD/COP(13)/L.18 [https://www.unccd.int/sites/default/files/inline-files/ICCD\\_COP%2813%29\\_L.18-1716078E\\_0.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/inline-files/ICCD_COP%2813%29_L.18-1716078E_0.pdf)
299. Unger, P.W., Jones, O.R. (1998): Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. Soil & Tillage Research. Vol. 45; p. 39 – 57; PII S0167-1987 97. 00068-8
300. Unger, P.W., Kaspar, T.C. (1994): Soil Compaction and Root Growth: A Review. Agronomy Journal, Vol. 86 (5); p. 759 – 766; doi:10.2134/agronj1994.0002196200860005000
301. Unkašević M. (1994): Klima Beograda. Naučna Knjiga, Beograd. ISBN 86-23-21126-X
302. Uusitalo J., Ala-Ilomäki J., Lindeman H., Toivio J., Siren M. (2019): Modelling soil moisture – soil strength relationship of fine-grained upland forest soils. Silva Fennica. vol. 53; no. 1 article 10050. <https://doi.org/10.14214/sf.10050>.
303. Vaezi, A.R., Ahmadi, M., Cerdà, A., (2017): Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. Sci. Total Environ. Vol. 583; p. 382 – 392; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.078>
304. Vahedifard, F., Howard, I.L., Badran, W.H., Carruth, W.D., Hamlehdari, M., Jordan, B.D. (2016): Strength indices of high-moisture soils using handheld gauges. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Ground Improvement. Vol. 169; Issue GI3; p. 167 – 181; <http://dx.doi.org/10.1680/jgrim.14.00033>
305. Valentin C., Poesen J., Yong Li (2005): Gully erosion: Impacts, factors and control. Catena. Vol. 63; p. 132 – 153; doi:10.1016/j.catena.2005.06.001
306. Van Boxel, J. (1998): Numerical model for the fall speed of rain drops in a rain fall simulator.



- In: International Workshop on Technical Aspects and Use of Wind Tunnels for Wind-Erosion Control and Combined Effect of Wind and Water on Erosion Processes, vol. 1998/1; p. 77 – 86; November 17-18, 1997, Ghent Belgium.
307. Vanapalli, S.K., Oh, W.T. (2011): A Simple Technique for Estimating Matric Suction of Unsaturated Fine-Grained Soils Using Pocket Penetrometer. *Advances in Unsaturated Soil, Geo-Hazard, and Geo-Environmental Engineering*. Geotechnical Special Publication No. 217 ASCE
  308. Varol, T., Ertuğrul, M., Özel, H. B., Emir, T., Çetin, M. (2019): The effects of rill erosion on unpaved forest road. *Applied Ecology and Environmental Research*. Vol. 17(1); p. 825 - 839. ISSN 1785 0037 (Online); DOI: [http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1701\\_825839](http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1701_825839).
  309. Vaz, C.M.P., Manieri, J.M., de Maria, I.C., Tuller, M. (2011): Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. *Geoderma*. Vol. 166; p. 92-101; doi:10.1016/j.geoderma.2011.07.016
  310. Verachtere, E., Van Den Eeckhaut, M., MARTINEZ-Murillo, J.F., Nadal-Romero, E., Poesen, J., Devoldere, S., Wijnants, N., Deckers, J. (2013): Impact of soil characteristics and land use on pipe erosion in a temperate humid climate: Field studies in Belgium. *Geomorphology*. Vol. 192; p. 1 – 14; <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.02.019>.
  311. Verachtert, E., Maetens, W., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J. and Deckers, J. (2011a): Soil loss rates due to piping erosion. *Earth Surf. Process. Landforms* 36; p. 1715 – 1725; DOI: 10.1002/esp.2186
  312. Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., and Deckers, J. (2012): Spatial interaction between collapsed pipes and landslides in hilly regions with loess-derived soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 38; p 826 – 835; DOI: 10.1002/esp.3325
  313. Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Deckers, J. (2010): Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from central Belgium. *Geomorphology*. Vol. 118; p. 339 – 348; doi:10.1016/j.geomorph.2010.02.001
  314. Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Grovers, G., Deckers, J. (2011b): Prediction of spatial patterns of collapsed pipes in loess-derived soils in a temperate humid climate using logistic regression. *Geomorphology*. Vol. 130; p. 185 – 196; doi:10.1016/j.geomorph.2011.03.015
  315. Vergni, L., Todisco, F., Vinci, A. (2018): Setup and calibration of the rainfall simulator of the Masse experimental station for soil erosion studies. *Catena*. Vol. 167; p. 448 – 455; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.018>
  316. Vojinović, L., (1968): Stabilnost strukturnih agregata parapodzola (pseudogleja) u zavisnosti od njegovog iskorišćavanja, Zbornik Instituta za proučavanje zemljišta br. 1, Beograd
  317. Vojinović, L., (1969): Stabilnost strukturnih mikroagregata nekih zemljišta u Srbiji. Zbornik Instituta za proučavanje zemljišta br. 2, Beograd
  318. Vujić, S., Ivić, A. (1991): Matematičke metode u rudarstvu i geologiji, teorija i primena, Univerzitet u Beogradu Rudarsko-geološki fakultet
  319. Wan, C.F., Fell, R. (2004): Laboratory tests on the rate of piping erosion of soils in embankment dams. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 27; no. 3: p. 295-303. <https://doi.org/10.1520/GTJ11903>
  320. Wang, L., Li, X., Li, L., Hong, B., Liu, J. (2019): Experimental study on the physical modeling of loess tunnel-erosion rate. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Vol. 78; p. 5827 – 5840; <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01495-1>
  321. Watson, D.A., Laflen, J.M. (1985): Soil Strength, Slope, and Rainfall Intensity Effects on Interrill Erosion. *Transactions of the ASAE* Vol. 29 (1); p. 0098 – 0102; doi: 10.13031/2013.30109
  322. Wenhua, L. (2004): Degradation and restoration of forest ecosystems in China. *Forest Ecology and Management*. Vol. 201; p. 33 – 41; doi:10.1016/j.foreco.2004.06.010.
  323. Whitford, W.G. and Eldridge, D.J. (2013): Effects of Ants and Termites on Soil and Geomorphological Processes. *Treatise on Geomorphology*. Vol. 12; p. 281 - 292

324. Wilson, G., (2011): Understanding soil-pipe flow and its role in ephemeral gully erosion. *Hydrol. Process.* Vol. 25; p. 2354 – 2364; (2011) DOI: 10.1002/hyp.7998
325. Wilson, G.V., (2009): Mechanisms of ephemeral gully erosion caused by constant flow through a continuous soil-pipe. *Earth Surf. Process. Landforms.* Vol. 34; p. 1858 – 1866; DOI: 10.1002/esp.1869
326. Wilson, G.V., Cullum, R.F., Römken, M.J.M. (2008): Ephemeral gully erosion by preferential flow through a discontinuous soil-pipe. *CATENA.* Vol. 73; Issue 1; p. 98 – 106; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.09.008>
327. Wilson, G.V., Wells, R.R., Dabney, S.M., Zhang, T. (2019): Filling an ephemeral gully channel: Impacts on physical soil quality. *Catena.* Vol. 172; p. 164 – 173; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.006>
328. Wilson, G.V., Wells, R.R., Kuhnle, R.A., Fox, G.A., Nieber, J.L. (2017): Sediment detachment and transport processes associated with internal erosion of soil pipes. *Earth Surface Processes and Landforms.* Vol. 43; issue 1; p. 45 - 63 <https://doi.org/10.1002/esp.4147>
329. Wilson, G.V., Zhang, T., Wells, R.R., Liu, B. (2020): Consolidation effects on relationships among soil erosion properties and soil physical quality indicators. *Soil and Tillage Research* Vol. 198; 104550; p. 12; <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104550>
330. Wilson, T. G., Cortis, C., Montaldo, N., Albertson, J. D. (2014): Development and testing of a large, transportable rainfall simulator for plot-scale runoff and parameter estimation, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* Vol. 18; p. 4169 – 4183; [www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/4169/2014/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/4169/2014/) doi:10.5194/hess-18-4169-2014
331. Winager, E.P. (1948): On the Behavior of Cross Sections Near Thresholds. *Physical review.* Vol. 73; no. 9; p. 1002 – 1009.
332. Wiśniewski, P., Märker, M. (2019): The role of soil-protecting forests in reducing soil erosion in zong glacial landscapes of Northern-Central Poland. *Geoderma.* Vol. 337; p. 1227 - 1235; <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.11.035>
333. Wu, W., Sidle, R.C. (1995): A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resources Research.* Vol. 31; No. 8; p. 2097 - 2110
334. Wu, Y., Cheng, H. (2005): Monitoring of gully erosion on the Loess Plateau of China using a global positioning system. *Catena.* Vol. 63; p. 154 – 166; doi:10.1016/j.catena.2005.06.002
335. Wu, T.H., (2013): Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design, *Can. Geotech. J.* Vol. 50; p. 259 – 274; [dx.doi.org/10.1139/cgj-2012-0160](http://dx.doi.org/10.1139/cgj-2012-0160)
336. Wu, T.H., Watson A., (1998): In situ shear tests of soil blocks with roots. *Can. Geotech. J.* Vol. 35; p. 579 – 590
337. Xia, J., Cai, C., Wei, Y., Wu, X., (2019): Granite residual soil properties in collapsing gullies of south China: spatial variations and effects on collapsing gully erosion. *Catena.* Vol. 174; p. 469 – 477; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.015>
338. Yalcin, A., (2007): The effects of clay on landslides: A case study. *Applied Clay Science.* Vol. 38; p. 77 – 85
339. Yang, W., Li Z., Cai, C., Guo, Z., Chen, J., Wang J., (2013): Mechanical properties and soil stability affected by fertilizer treatments for an Ultisol in subtropical China. *Plant Soil.* Vol. 363; p. 157 – 174; DOI 10.1007/s11104-012-1266-8
340. Zachar, D. (1982): *Soil erosion, Developments in Soil Science 10*, Elsevier Scientific Publishing Company, Isbn 0-444-99725-3 (Vol. 10)
341. Zemke, J.J. (2016): Runoff and Soil Erosion Assessment of Forest Roads Using a Small Scale Rainfall Simulator. *Hydrology.* Vol. 3, 25; <https://doi.org/10.3390/hydrology3030025>
342. Zemke, J.J., Enderling, M., Klein, A., and Skubski, M. (2019): Formation. A Case Study Focusing on Skid Trails at Forested Andosol Sites. *Geosciences.* Vol. 9; 204; doi:10.3390/geosciences9050204
343. Zhai, J., Song, Y., Entemake, W., Xu, H., Wu, Y., Qu, Q., and Xue, S. (2020): Change in Soil Particle Size Distribution and Erodibility with Latitude and Vegetation Restoration

- Chronosequence on the Loess Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 17; 822; doi:10.3390/ijerph17030822
344. Zhang, B., Yhao, Q.G., Horn, R., Baumgartl, T. (2001): Shear strength of surface soil as affected by soil bulk density and soil water content. *Soil & Tillage Research*. Vol. 59; p. 97 - 106.
345. Zhang, C., Wang, X., Zou, X., Tian, J., Liu, B., Li, J., Kang, L., Chen, H., Wu, Y. (2018): Estimation of surface shear strength of undisturbed soils in the eastern part of northern China's wind erosion area. *Soil & Tillage Research*. Vol. 178; p. 1-10; <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.12.014>
346. Zhang, G., Tang, M., and Zhang, C. (2009): Temporal variation in soil detachment under different land uses in the Loess Plateau of China. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 34; p. 1302 - 1309; DOI: 10.1002/esp.182
347. Zhang, K., Yu, Y., Dong, J., Yang, Q., Xu, X. (2019): Adapting & testing use of USLE K factor for agricultural soils in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 269; p. 148 - 155; <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.033>
348. Zhang, Q., Wang, Z., Guo, Q., Shen, N., Ke, Y., Tian, N., Wu, B., Liu, J. (2020): Siye-selective characteristics of splash-detached sediments and their responses to related parameters on steep slopes in Chinese loessial region. *Soil & Tillage Research*. Vol. 198; 104539 <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104539>
349. Zhang, Y., Zhang, Z., Ma, Z., Chen, J., Akbar, J., Zhang, S., Che, C., Zhang, M., and Cerdà, A. (2018): A review of preferential water flow in soil science. *Can. J. Soil Sci.* Vol. 98; p. 604 - 618; <dx.doi.org/10.1139/cjss-2018-0046>
350. Zhao, C., Shao, M., Jia, X., Zhang, C. (2016): Particle size distribution of soils (0-500 cm) in the Loess Plateau, China. *Geoderma Regional*. Vol. 7; p. 251 - 258; <http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.05.003>
351. Zhu, T.X. (2012): Gully and tunnel erosion in the hilly Loess Plateau region, China. *Geomorphology*. Vol. 153 - 154; p. 144 - 155; doi:10.1016/j.geomorph.2012.02.019
352. Zhu, T.X., Luk, S.H., Cai, Q.G. (2002): Tunnel erosion and sediment production in the hilly loess region, North China. *J. Hydrol.* Vol. 257; p. 78 - 90; [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00544-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00544-3).
353. Zimbone, S.M., Vickers, A., Morgan, R.P.C., Vella, P. (1996): Field investigations of different techniques for measuring surface soil shear strength. *Soil Technology*. Vol. 9; p. 101 - 111.
354. Антић М., Јовић Н., Авдаловић В. (2007): Педологија, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд ISBN: 978-86-7299-133-8
355. Антоновић, Г., Живановић, Ж., Богдановић, М., Ђоровић, Р., Трифуновић, М. (1978): Земљишта подручја Београда јужно од Саве и Дунава, Град Београд-Градски геодетски завод.
356. Габрић, О. (2014): Експериментално истраживање процеса на сливу: падавине, отицај и ерозија тла. Докторска дисертација одбрањена на Универзитету у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица 2014.
357. Гајић, Г., Дамњановић, В., Миљановић, И., Живановић, Н., Станишић, М., Павловић, М. (2013): Упоредна анализа ефеката биолошког "армирања" и њихов утицај на унутрашњу ерозију. *Ерозија*. Vol. 39; Универзитет у Београду, Шумарски факултет; 0350-9648.
358. Гајић, Г., Живановић, Н., Вукић, Ј. (2016): Показатељи и механизам деградације код лесног земљишта. *Гласник*. Vol. 114; p. 45 - 54; 0353-4537; 624.131.23+631.42/43, 10.2298/GSF1614045G.
359. Живановић, Н. (2014): Утицај промене влажности песковитих земљишта Делиблатске пешчаре на кохезију и угао унутрашњег трења. Мастер рад одбрањен на Шумарском факултету Универзитета у Београд.
360. Живановић, Н., Гајић, Г. (2017): Осетљивост на механичке ерозионе процесе песковитих земљишта делиблатске пешчаре. *Шумарство*. Vol. 3 - 4; p. 165 - 174; 0350-1752, 624.131:630\*114.(4978.113 Deliblatska peščara).

361. Jevtić, Lj. (1978): Inženjerski priručnik za rešavanje problema iz oblasti bujičnih tokova i erozije. Izdavačko-informativni centar studenata, Beograd.
362. Крстић, М., Алексић, П., Вукин, М. (2012): Изданацке и деградиране храстове шуме – стање и основни проблеми мелиорације. Шумарство. Vol. 1 - 2. p. 17 - 40. Удружење шумарских инжењера и техничара Србије. UDK 630\*222
363. Лазаревић, К., Златић, М., Костадинов, С. (2016): Утицај социо-демографских фактора на стање ерозионих процеса на руралном делу општине Вождовац. Гласник Шумарског факултета бр.114, ИССН 0353-4537
364. Милосављевић, К. (1949): Јакe кише и пљускови у Београду. Гласник српског географског друштва, свеска XXIX, Научна књига, Београд.
365. Новаковић-Вуковић, М., Перовић, М. (2014): Упоредна анализа флористичког састава шуме сладуна и цера и вештачки подигнуте састојине црног бора у Липовици код Београда. Шумарство. Vol. 3 – 4; p. 75 – 90; Удружење шумарских инжењера и техничара Србије; UDK 630\*182.8(497.11 Lipovica).
366. Основа газдовања шумама за ГЈ „Кошутњачке шуме“ (2014-2023). ЈП "Србијашуме", Београд; Сектор за шумарство и заштиту животне средине, Одељење за планирање газдовања шумама; Београд, 2014.
367. Ристић, Р. (2019): Годишњи извештај о активностима на примени Рио конвенције у Републици Србији. Министарство заштите животне средине Републике Србије.
368. Ристић, Р., Малошевић, Д. (2011): Хидрологија бујичних токова, Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд.
369. Службени гласник РС", број 88 од 22. јуна 2020. Уредба о систематском праћењу стања и квалитета земљишта. ЈП „Службени гласник“ Србија.
370. Томић, З. (2004): Шумарска фитоценологија. Универзитет у Београду Шумарски факултет. ISBN 86-7299-108-7.

#### ИНТЕРНЕТ АДРЕСЕ

[https://www.hunterindustries.com/en-metric/irrigation-product/nozzles/pro-adjustable-nozzles#node\\_product\\_full\\_group\\_specifications\\_tab\\_item](https://www.hunterindustries.com/en-metric/irrigation-product/nozzles/pro-adjustable-nozzles#node_product_full_group_specifications_tab_item)

[https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-02/chart\\_VAN.pdf](https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-02/chart_VAN.pdf)



## БИОГРАФИЈА

Никола (Ђура) Живановић рођен је 14.01.1989. године у Сокобањи. Основну школу „Димитрије Драговић“ као и гимназију „Бранислав Нушић“ – природно математички смер, завршио је у Сокобањи. Универзитет у Београду Шумарски факултет – одсек Еколошки инжењеринг у заштити земљишних и водних ресурса уписао 2008. године. Током студирања радио је као демонстратор – волонтер на предмету „Основи геотехнике у бујичарству“ током школских 2011. 2012. и 2013. године. Дипломирао је 2013. године са просечном оценом 8,88 чиме је стекао звање дипломирани инжењер шумарства. На истом факултету 2014. године завршава мастер студије са просечном оценом 10,00, са темом мастер рада „Утицај промене влажности на кохезију и угао унутрашњег трења песковитих земљишта Делиблатске пешчаре“ и тиме стиче звање мастер инжењер шумарства. Докторске студије на Шумарском факултету уписује 2014. године. Ужа научна област Ерозија и конзервација земљишта и вода.

На Универзитету у Београду, Шумарском факултету примљен је као асистент приправник 2013. године. У звање асистента изабран је 2015. године на Катедри за противерозиону геотехнику на предметима: Основи геотехнике у бујичарству, Материјали у противерозионим радовима, Санација клизишта.

Област истраживања: механизам ерозионих процеса, физичко-механички параметри земљишта у функцији ерозионих процеса, геотехника, санација клизишта, консолидација и стабилизација ерозијом угроженог земљишта, механика тла. Објавио је као аутор или коаутор 23 рада, 10 радова објављених у научним часописима од којих 1 на SCI листи, 11 радова представљених на међународним конференцијама и 2 рада на домаћим конференцијама. Учествовао је у организацији неколико међународних и домаћих конференција.

Секретар је Катедре за противерозиону геотехнику од 2013. године. Члан је удружења Бујичара Србије као и Светске организације за конзервацију земљишта и вода (WASWAC). Копредседавајући је радног Комитета за младе у оквиру Светске организације за конзервацију земљишта и вода (WASWAC) (2020-2022). Учествовао је у пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја NPTR 33044 "Мониторинг и адаптивно управљање ризицима у површинској експлоатацији минералних сировина". Био је пројектант сарадник на неколико уско стручних пројеката и елабората.

Завршио је специјалистичко усавршавање на Рударском институту у Београду у Лабораторији за Геомеханику, за самосталан лабораторјиски рад на испитивањима геомеханичких својстава тла. Савладао је програм сталног усавршавања „TRAIN (Training and Research for Academic Newcomers)“ усвојен од стране Сената Универзитета у Београду.

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Никола Живановић  
Број индекса 5/2014

### Изјављујем

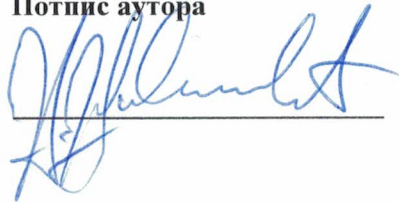
да је докторска дисертација под насловом

**Отпорност земљишта као индикатор механизма настанка ерозионог процеса**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 18.12.2020.

Потпис аутора



## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Никола Живановић

Број индекса 5/2014

Студијски програм Шумарство, модул Еколошки инжењеринг у заштити  
земљишних и водних ресурса

Наслов рада Отпорност земљишта као индикатор настанка ерозионог процеса

Ментор др Ратко Ристић, редовни професор

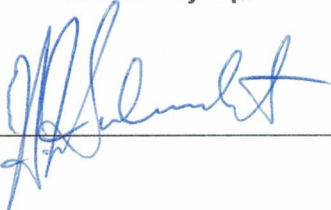
Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањења у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 18.12.2020.

Потпис аутора



\_\_\_\_\_



## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

**Отпорност земљишта као индикатор механизма настанка ерозионог**

---

**процеса**

---

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

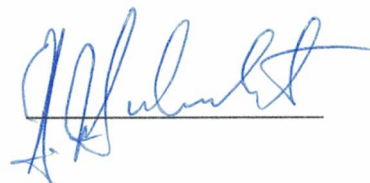
Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 18.12.2020.

Потпис аутора



1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.