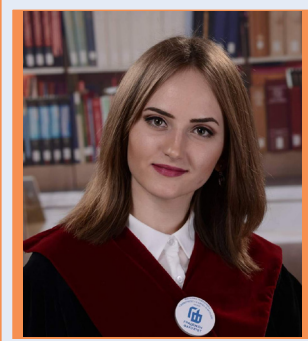


Ерозија на почвени косини под дејство атмосферски дејства и стабилизација со природни полимерни раствори



Александра Н. Дџанасовска¹, Јосиф Јосифовски², Бојан Сусинов³, Сеад Абази⁴

¹ М-р, С. Макегонија, nikolovskaaleksandra189@gmail.com

² Проф. г-р, Градежен факултет Скопје, УКИМ, С. Макегонија, jjosifovski@gf.ukim.edu.mk

³ Доц. г-р, Градежен факултет Скопје, УКИМ, С. Макегонија, susinov@gf.ukim.edu.mk

⁴ Доц. г-р, Градежен факултет Скопје, УКИМ, С. Макегонија, sead@gf.ukim.edu.mk

Апстракт

Во денешно време, последиците од климатските промени стануваат се повидливи и истите не треба да се игнорираат. Меѓудругото климатските промени имаат големо влијание и врз стабилноста на почвените косини. Зголемените врнежи и/или сушни периоди како дополнително дејство врз косините значајно влијаат врз нивната стабилност и во одреден временски период предизвикуваат ерозија, развој на пукантини и плитки (локални) дури и глобални нестабилности и свлекувања. За да се спречи појавата на истите како превентивна мерка може да се примени стабилизација на инженерските косини. Во поново време употребата на природни микроорганизми за подобрување на почвата го привлекува вниманието на истражувачите. Во основа со ова истражување се испитува механизмот на стабилизација со природниот полимерен раствор кој формира вискозна гел-матрица и засилна врска помеѓу почвените зрна. Во суви услови третираната почва формира цврста површинска кора која ја спречува евапотранспирацијата, а при врнежи истата станува хидрофобна и овозможува слободен тек на атмосферските води без позначајна ерозија на почвата. Во овој труд се презентираат резултатите од истражувањето на природен полимерен раствор кој се користи за третман и подобрување на почви. Методологијата на истражување е организирана во две фази. Во прва фаза преку лабораториски испитувања преку која се дефинираат основните и јакостно-деформабилни својства на природната (нетретирана) и подобрена (третирана) почва со биополимерен раствор. Оттука, преку нивна споредба се утврдува ефектот односно степенот на подобрување. Во втора фаза, изведени се експериментални испитувања на природна и полимерно подобрена косина со наклон 1:1.5 врз која се симулирани врнежи од 10 литри на час во времетраење од 180 минути. Преку нив практично се демонстрира ефикасноста на биополимерните раствори во зголемување на отпорноста против ерозија. Сите резултати од спроведените испитувања ја потврдуваат ефикасноста и оправдуваат примената на природните полимерни раствори кај почвените косини.

Клучни зборови

Отпорност на ерозија, стабилизација на почва, полимерен вискозен раствор.

Abstract

Nowadays, the consequences of climate change are becoming more visible and they should not be ignored. Among other things, climate change has a great impact on the stability of soil slopes. Increased precipitation and/or dry periods as an additional effect on slopes significantly affect their stability and in time cause erosion, development of cracks, and shallow (local) and even global instabilities and landslides. To prevent their occurrence as a preventive measure, stabilization of the engineering slopes can be applied. More recently, the use of natural microorganisms for soil improvement has attracted the attention of researchers. This research examines the mechanism of stabilization with the natural polymer solution that forms a viscous gel matrix strengthening the bond between the soil particles. In dry conditions, the treated soil forms a solid surface crust that prevents evapotranspiration, and when it rains, it becomes hydrophobic and allows the free flow of stormwater without significant soil erosion. This paper presents the research results of a natural polymer solution used for the treatment and improvement of soils. The research methodology is organized into two phases. In the first phase laboratory tests through which the basic and strength-deformable properties of the natural (untreated) and improved (treated) soil with a biopolymer solution are defined. Hence, through their comparison, the effect, that is, the degree of improvement, is determined. In the second phase, experimental tests were performed on a natural and polymer-improved slope with a slope of 1:1.5, on which rainfall of 10 liters per hour was simulated for 180 minutes. Through them, the efficiency of biopolymer solutions in increasing the resistance against erosion is practically demonstrated. All the results of the conducted tests confirm the efficiency and justify the application of natural polymer solutions in soil slopes.

Keywords

Erosion resistance, soil stabilization, polymer viscous solution.

1. Вовед

Преку атмосферски влијанија климатските промени имаат големо влијание врз стабилноста на косините, инфилтрацијата на вода и ерозијата често се придружени со свлекување на косините. Вообичаено, ерозијата не се гледа како појава што може да ја загрози стабилноста, но нашите истражувања укажуваат дека со тек на времето таа ја редуцира јакоста на смолкнување на почвата и го зголемува порниот притисокот што крајно резултира со нестабилност на косините.

Површинската ерозија кај косините е често иницијатор кој доведува со површински нестабилности како што се свлекувањата. Овие манифестации односно нестабилности се присутни и кај патната инфраструктура во делот на инженерските косини – засеци, види слика 1.

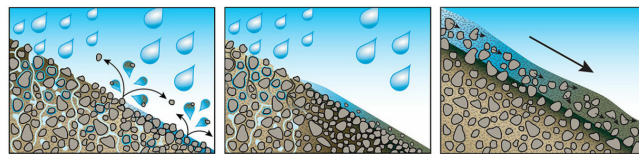


Слика 1: Инженерски косини со изразена ерозија, извор: Автопат Миладиновци – Штип

Со цел за да се надминат овие состојби и редуцира нивната појава во иднина потребно е да се посвети поголемо внимание во фазата на проектирање преку воведување на соодветни мерки за површинска стабилизација кои ќе ја зголемат отпорноста на ерозија и намалат инфилтрацијата на површинските води.

На слика 2 е прикажан процесот на ерозија како последница на интензивни врнежи [1]. На слика 2а, прикажани се врнежи кои својата кинетичка енергија ја пренесуваат на почвената површина и со тоа иницираат распаѓање на покрупните зрна. На слика 2б, фините честички од почвата ги пополнуваат порите на материјалот, а со тоа се намалува инфилтрацијата на атмосферската вода, како резултат овој процес започнува и почетното измивање на почвените честички заедно со површинските води кои се излеваат. На слика 2в, површинскиот истек од врнежите е формиран,

и започнува измивање на почвените зрна надолу по косината. Почетниот контакт со површината, почетното течење и последователниот транспорт, доведуваат до промена на гранулометрискиот состав на површинскиот слој од косините процес кој се именува како површинска ерозија.



Слика 2: Процес на површинска ерозија а) врнежи на површина, б) пополнување на шуплини, в) површинско истекување со еродиран материјал

Денеска постојат голем број на средства кои се користат за подобрување на почвата кои ја зголемуваат отпорноста на ерозија преку подобрување на нивните механичките и хидролошките својства [2]. Светските препораки за заштита на животната средина упатуваат на примена на природни соединенија кои не ја загрозуваат околината, а истовремено се ефикасни и економични.

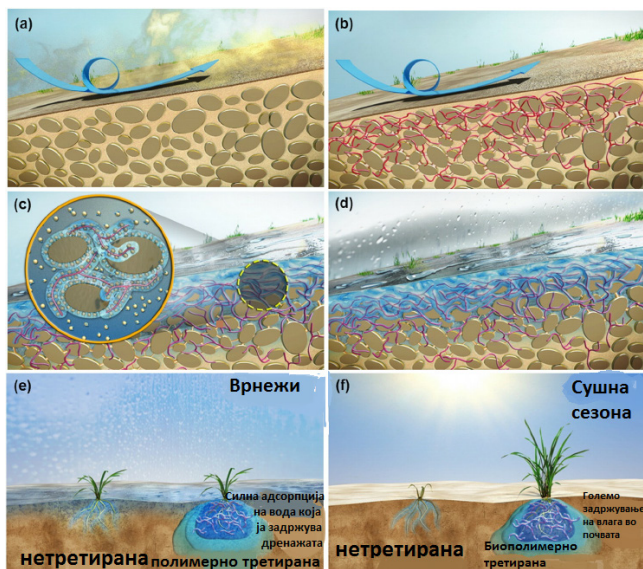
Посебно внимание во стручната јавност привлекуваат примена на биополимери т.е. соединенија како стабилизатори на почвените материјали кои како дополнителна мерка се комбинираат семенски материјали од ниска и средна вегетација. Во првите месеци, полимерите формираат врска помеѓу почвените зрна што ја зголемува отпорноста на ерозија и ја намалува способноста за инфилтрирање и апсорпција на површинската вода. Паралелно, полимерот помага и го забрзува растот на вегетацијата за да се обезбеди долгорочна ерозија и стабилност на наклонот.

За елиминирање на погоре набројаните проблеми на почвените косини, авторите на трудот нудат иновативен полимерен раствор за стабилизација и подобрување на почва кој е предмет на испитување, а добиените резултати се презентирани во овој труд.

2. Полимерни материјали

Природни полимери како бирумен, слама, леплив ориз се применувале уште во древните цивилизации како материјал за зголемување на почвената јакост и водопропусност. Со напредување на цивилизацијата

се унапредуваат и сознанијата за позитивните ефекти на примената на полимерните материјали во инженерството. Денес, производството на природни полимерни материјали од микроорганизми, алги, растенија итн., се смета за еколошки и одржлив материјал за подобрување на почвата кој наоѓа сè поширока примена.



Слика 3. Модел на полимерно подобрена почва отпорна на ерозивни сили (а) природно ерозивна почва; (б) подобрена почва третирана со биополимер; (с) врзана водна зона со хидрофилна адсорпција; (д) ефект на површинска прекривка; (е) голема водна адсорпција при врнежи, (ф) влажност во почва во сушна сезона, извор: Chun. G. Chang. I., (2018)

Природните полимерни се водорастворливи и можат да се произведат со дефиниран вискозитет на раствор. Како гелеста структура тие ги пополнуваат порите и шуплините со што се намалува потенцијалот за инфилтрација, а зрната ги обложуваат, подобрувајќи ја нивната меѓусебна адхезија и врска со што ја зголемува јакоста на материјалот [3]. Почвите третирани со полимерни раствори формираат цврста површинска кора што спречува инфилтрација на вода и овозможува слободно површинско истекување без еродибилност на почвата [4]. Вака подобрените почви се отпорни на природните ерозивни сили, илустрирано преку слика 3. Полимерно третираните почви имаат дополнителен позитивен ефект врз растителниот свет, пред сè поради апсорпцијата на влага и нејзино задржување во почвата со кое подолг период го поддржува и стимулира растот на вегетација [5].

2.1 Природен полимерен раствор

Полимерен производ е воден раствор кој содржи сврзувачки агенс за стабилизација на почва, специјално дизајниран за неговата примена кај косини изградени од различни видови на почвени материјали кои се изложени на специфични климатски услови и атмосферски дејства. Производот е добиен со обработка на биоразградлива супстанца од природно порекло за што се користат биолошки отпадни материјал. Производот е еколошки, не содржи хемикалии кои имаат негативно влијание врз животната средина и луѓето.



Слика 4. Производство на полимерен раствор

3. Испитувања и истражувања

Спроведените испитувања беа организирани во две фази, прва во која се спроведени лабораториски испитувања и втора во која се извршија експериментални истражувања врз физички модели со помали димензии. Методологијата на испитување е организирана во лабораториски услови на три различни почви и тоа, песклива прашина, заглинета песклива прашина и фино зрнест песок.

3.1 Лабораториски испитувања

Во првата фаза направени се следните класификациони испитувања: природна волуменска тежина, специфична тежина, атергергови граници и оптимална влажност. Дополнително, определени се јакосно-деформабилните својства на природна и полимерно третирана почва, и тоа преку опит на еднокасијален притисок, опит на директно смолкнување и едометарски опит. За дефинирање на хидрауличките карактеристики определен е коефициентот на водопропусност.

3.1.1 Јакосно-деформабилни испитувања на песклива прашина

Јакоста на притисок е определена на примероци со димензии $d=5\text{ cm}$ и $h=10\text{ cm}$ товарени во вертикален правец со константна брзина на задавање на товарот

$v=0.5 \text{ mm/min}$. Направени се серии од по три исти примероци испитувани на 1, 7, 14 и 28 дена.



а) пред опит



б) после опит

Слика 5. Примероци од јакост на притисок на полимерно третирана почва, серија од 28 дена

Параметрите на јакоста на смолкнување (ϕ и c) се определени преку опитот на директно смолкнување на примероци со димензии $60 \times 60 \text{ mm}$ и висина 20 mm со претходна консолидација. Направени се две серии од по три примероци со природна и полимерно третирана почва.



Слика 6. Примероци од опит на директно смолкнување на полимерно третирана почва



Слика 7. Примероци од опит на директно смолкнување на природна почва

Стисливите карактеристики на подобрена и природна почва се добиени од извршените едометарски опити на примероци со дијаметар 101.6 mm и висина 32 mm за различни оптоварувања.



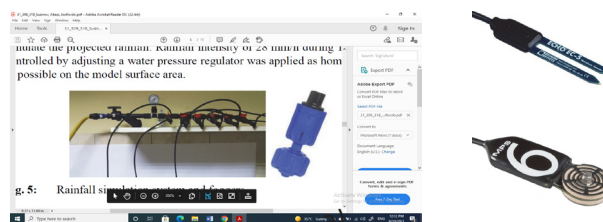
Слика 8. Примероци од едометарски опит на а) третирана почва и б) природна почва

3.1.2 Водопропусност на песоклива прашина

Коефициентот на водопропусност е определен на примероци со димензии $d=100.4 \text{ mm}$ и висина 120.0 mm за приток од 0.5 bar . Примерок од природна и полимерно третирана почва е водозаситуван од горе кон долу и за период од 24 часа се регистрира количеството на истечена вода од секој примеорк, соодветно.

3.2 Експериментални истражувања

Во втората фаза спроведени се повеќе експериментални истражувања на косини изградени од три различни видови на почва третирани со природен полимер со и без вегетација. Истражувањата се направени на физички модел, косина со димензии $50 \times 50 \times 10 \text{ cm}$ и различен наклон. Косините се испитувани со симулација на врнежи преку систем од прскалки со различно количество и времетраење на врнежите. На косините е засадено семе од вегетација и вградени се сензори за мерење на сукција во почва и волуметриска влажност во почва со местоположба $25 \times 25 \text{ cm}$. Овие косини се испитувани после 27 дена т.е. време потребно да израсне вегетацијата и формира длабински корен во лабораториски услови. Во табела 1 се прикажани карактеристичните параметри на косините.



Слика 9. Систем за симулација на врнежи а), сензор за мерење волуметриска влажност б) и сензор за мерење сукција в)

Табела 1. Влезни параметри за експериментални испитувања

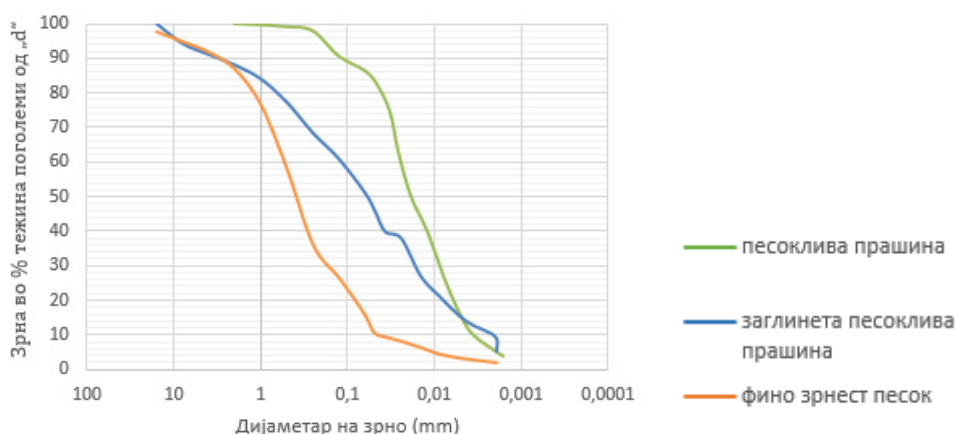
Почва	Тип на косина	Наклон	Количество врнежи (л/час)	Времетраење на врнежи (min)
Песоклива прашина	природна	1 : 1,5	10	180
	третирана			
Заглинета песоклива прашина	природна	1 : 2	12	210
	третирана			120
	третирана+в.семе			
Фино зрнест песок	природна	1 : 2	12	120
	третирана			120
	третирана+в.семе			

4. Резултати

Во табела 2 се прикажани добиените резултати од класификационите испитувања, а преку слика 10 се прикажани кривите на гранулометриски состав на избраната почва.

Табела 2. Физичко-механички параметри на почва

Почва	Прир. влаж. ω (%)	Вол. теж. γ (kN/m ³)	Спец. теж. G_s (l)	Класификација	Оптимална влажност	
					ω_{opt} (%)	γ_d (%)
Песоклива прашина	23.62	18.82	2.67	MH	17.60	15.20
Заглинета песоклива прашина	/	20.11	2,71	CL/CI	/	/
Фино зрнест песок	/	18.44	2.68	SC-SF	/	/



Слика 10. Криви на гранулометриски состав на почва

Резултатите од јакост на притисок на природна почва и полимерно третирана почва се прикажани во табела 3 и 4, соодветно

Табела 3. Јакостни параметри на природна почва

Ден на испитување	Нормално напрегање σ (kN/m ³)	Деформација ε (%)
1	435.29	4.00

Табела 4. Јакостни параметри на полимерно третирана почва

Ден на испитување	Нормално напрегање σ (kPa)	Деформација ε (%)
1	257.09	3.52
7	1749.92	2.93
14	1132.43	2.59
28	2000.65	2.92

Параметрите за јакост на смолкнување, аголот на внатрешно триење и кохезијата на третираната почва имаа вредност $\varphi=32.3^\circ$ и $c=28$ kPa, додека овие параметри за природната почва имаат пониски вредности $\varphi=29.2^\circ$ и $c=25.9$ kPa. Ова претставува подобрување од 9.52 % за аголот на внатрешно триење и 7.5 % за кохезијата.

Со едометарски опит е определен модулот на ситисливост на природна и подобрена почва за 240 kPa. Модулот на подобрениот примерок има вредност од $M_v=4648$ kPa што претставува подобрување од 36.64% споредено со модулот на природниот примерок кој изнесува $M_v=2945$ kPa.

За 24 часа, количество на истечена вода од третиралиот примерок е 6.71 cm³ што е поголем дури за 6 пати од количеството на природниот примерок 1.06 cm³. Третираната почва има однесување на хидрофобна почва која овозможува слободен истек, за разлика од природната почва кај која се задржува водата. Коефициентот на водопропусност на третиралиот примерок е 2.20×10^{-6} m/sec, а за природниот примерок 3.47×10^{-7} m/sec.

Експерименталните истражување се извршени врз 6 косини од третитана и природна со полимерен раствор е нанесен со рамномерно распрскување по површината на косината. Вискозниот раствор ги врзува и обложува зрната со гел и ги исполнува порите и шуплините во почавата. Во суви услови

третираната почва формира цврста површинска кора.

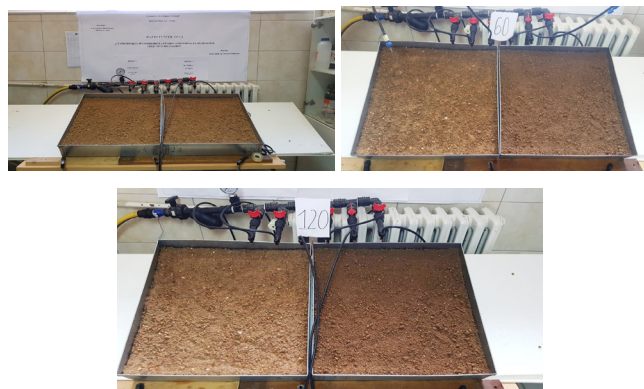
Косини од песоклива прашина


 Слика 11. Ерозивни промени на третирана косина (лево) и природна косина (десно), $Q=10$ л/час, а) 0 мин., б) 60 мин., в) 120 мин., г) 180 мин.


Слика 12. Ерозивни промени на третирана косина (лево) и природна косина (десно)

За експерименталните испитувања на површините од третираните косини не се забележани ерозивни промени, што не е случај кај приорните косини. Во продолжение се дадени слики од тек на испитување.

Косини од fino зрнест песок


 Слика 13. Ерозивни промени на третирана косина (десно) и природна косина (лево), $Q=12$ л/час, а) 0 мин., б) 60 мин., в) 120 мин.

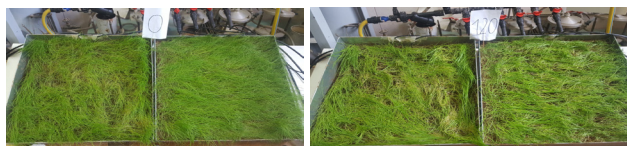
Косини од заглинета песоклива прашина



Слика 12. Ерозивни промени на третирана косина (десно) и природна косина (лево), $Q=12$ л/час, а) 0 мин., б) 60 мин., в) 120 мин., г) 180 мин., д) 210 мин.

Косини со вегетација

Косини со вегетација или косини во кои има вградено сензори за мерење волуметриска влажност и сукција во почвата се испитувани после 27 дена. За време на испитувањето на површините од косините не се забележани ерозивни промени.



Слика 13. Ерозивни промени на третираните косини од заглинета песоклива прашина (десно) и фино зрнест песок (лево), $Q=12$ л/час, а) 0 мин., б) 120 мин.



Слика 14. Резултати од волуметриска влажност во почвата – VWC



Слика 15. Резултати од сукција во почвата

5. Заклучоци

Од спроведеното истражување може да се заклучи дека површинската кора формирана од полимерниот раствор и почвата овозможува зголемена отпорност од ерозија и површинска стабилност на косините. Дополнително, мерката за сеење на вегетација со нанесување на природниот полимер нуди долготрајна заштита на косините и отпорност на различни атмосферски дејства. Природното полимерно средство формира хидрофобна кора на површината која овозможува слободно истекување на врнежите без појава на ерозија, ја намалува инфилтрација на вода во почвата и промовира раст на вегетација. Употребата на природен полимерен раствор исполнувајќи ги порите формира гелеста матрица помеѓу зрната во почвата зголемувајќи ги интергрануларните сили со што се подобруваат и нјезините механички својства. Од лабораториските испитувања со третманот регистрирани се зголемување на јакоста помеѓу 10% и 35% зависно од видот на почвата.

Преку експерименталните испитувања врз косини изградени од почвен материјал изложени на врнежи со различен интензитет се потврдуваат очекуваните резултати потврдувајќи дека практично ерозијата кај третираните косини е практично непостоечка во споредба природните (нетретираните) косини. Намалувањето на потенцијалот за ерозија и свлекување е документиран и преку резултатите добиени од мерењата на порниот притисок, влажноста и сукција.

Употребата на биополимерен раствор е природно решение за контрола на ерозијата, кое има

голем потенцијал бидејќи претставува ефикасно, економично и еколошки одржливо инженерско решение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Song Y., Liu L., Yan P., Cao T. (2005). A review of soil erodibility in water and wind erosion research. Journal of Geographical sciences. 15(2):167-176, DOI: 10.1360/ gs050205
- [2] Ham S. M., Chang I., Noh D. H., Kwon T. H., Muhunthan B. (2018). Improvement of surface erosion resistance of sand by microbial biopolymer solution. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 144(7):06018004, DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001900.
- [3] Ivanov V., Chu J. (2008). Applications of microorganisms to geotechnical engineering of bioclogging and biocementation of soil in situ. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 7(2):139-153, DOI: 10.1007/s11157-007-9126-3.
- [4] Chang I., Jeon M., Cho. G-Ch. (2015). Application of microbial biopolymers as an alternative construction binder of earth buildings in underdeveloped countries. International Journal for Polymer Science, Vol. 20159(2),9 p. Article ID 326745, DOI: 10.1155/2015/326745.
- [5] Chun G., Chang I. (2018). Cementless soil stabilizer – biopolymer. The 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18), Incheon – Korea, 29 p.
- [6] Николовска А. (2019). Стабилизација на површинска ерозија кај косини со примена на полимерни средства и вегетација (Магистерски труд, 148 стр.)
- [7] Nikolovska, A., Josifovski, J., Susinov, B. Improvement of surface erosion resistance of silty sand soil by biopolymer-based treatment. Book of Proceedings (digital version) of 17th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Gdansk, Poland, pp. 64-66, 13-15 September 2022
- [8] Nikolovska, A., Josifovski, J. Biopolymer soil stabilization as protection from slope erosion and shallow sliding. Conference Paper, EGU22-4236, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria & Online, 23-27 May 2022 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-4236>.
- [9] Nikolovska, A., Josifovski, J., Susinov, B. Stabilization of surface erosion on slopes using polymers and vegetation. Book of Proceedings (digital version) of WMHE 2019- 16th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering, Skopje, pp. 488-499, 5-7 September 2019.

