

ПРОТИВЕРОЗИОНО УРЕЂЕЊЕ НЕПОСРЕДНОГ СЛИВА АКУМУЛАЦИЈЕ МХЕ „РЕКОВИЋИ“ НА РЕЦИ ЛИМ, ПРИБОЈ

Милутин Стефановић¹, Ирина Стефановић¹, Рената Пузовић¹

Извод: Лим је међународна река која у дужини од 220 km протиче кроз Црну Гору, Србију и Босну и Херцеговину (Република Српска) и улива се у Дрину. Извире из Плавског језера у Црној Гори, и улива се у Дрину између Горажда и Вишеграда.

Река Лим има значајан хидроенергетски потенцијал који је делимично искоришћен изградњом хидроелектране ХЕ Потпећ снаге 54 MW.

У циљу искоришћење преосталог расположивог хидро потенцијала реке Лим, планирана је изградња низа хидроелектрана. Обзиром на ограничења која данас постоје дуж целе долине реке Лим, као што су постојећи инфраструктурни објекти (пут, пруга), као и многа насеља, искоришћење енергетског потенцијала планирано је углавном изградњом низа „нижих“ прибранских ХЕ.

Једна од могућих локација за изградњу ХЕ на деоници реке узводно од Прибоја па до постојеће ХЕ Потпећ јесте и локација МХЕ „Рековићи“.

Локација будуће МХЕ „Рековићи“ налази се на приближно 3,4km низводно од постојеће ХЕ Потпећ, односно непосредно низводно од погона фабрике ФАП, који се налази на десној обали реке.

У оквиру овог рада биће приказана појава ерозионих процеса у сливу, представљена угроженост акумулације од наноса и дата техничка решења објеката за противерозиону заштиту акумулације МХЕ „Рековићи“.

Кључне речи: МХЕ, ерозија, противерозиона заштита

EROSION CONTROL WORKS ON THE DIRECT BASIN OF THE REKOVIĆI SHPP WATER RESERVOIR ON THE LIM RIVER, PRIBOJ

Abstract: Lim is an international river that flows 220 km in length through Montenegro, Serbia and Bosnia and Herzegovina (Republika Srpska) and flows into the Drina. It springs from Lake Plav in Montenegro, and flows into the Drina between Gorazde and Visegrad.

The Lim River has a significant hydropower potential, which was partially used by the construction of the 54 MW HPP Potpeć hydropower plant.

In order to use the remaining available hydro potential of the Lim River, the construction of a number of hydropower plants is planned. Given the restrictions that exist today along the entire Lim River valley, such as existing infrastructure facilities (roads, railways), as well as many settlements, the use of energy potential is planned mainly by building a series of "lower" dam HPPs.

One of the possible locations for the construction of HPPs on the section of the river upstream from Priboj to the existing HPP Potpeć is the location of SHPP "Rekovići".

The location of the future SHPP "Rekovići" is located approximately 3.4 km downstream from the existing HPP Potpeć, or directly downstream from the FAP plant, which is located on the right bank of the river.

Within this paper, the occurrence of erosion processes in the basin will be presented, the endangerment of the reservoir from sediment will be presented and technical solutions of facilities for erosion control works, of the SHPP "Rekovići" protection, will be given.

Keywords: SHPP, erosion, erosion control works

¹ Институт за водопривреду „Јарислав Черни“, ул. Јарослава Черног 80, Пиносава, Београд, Србија

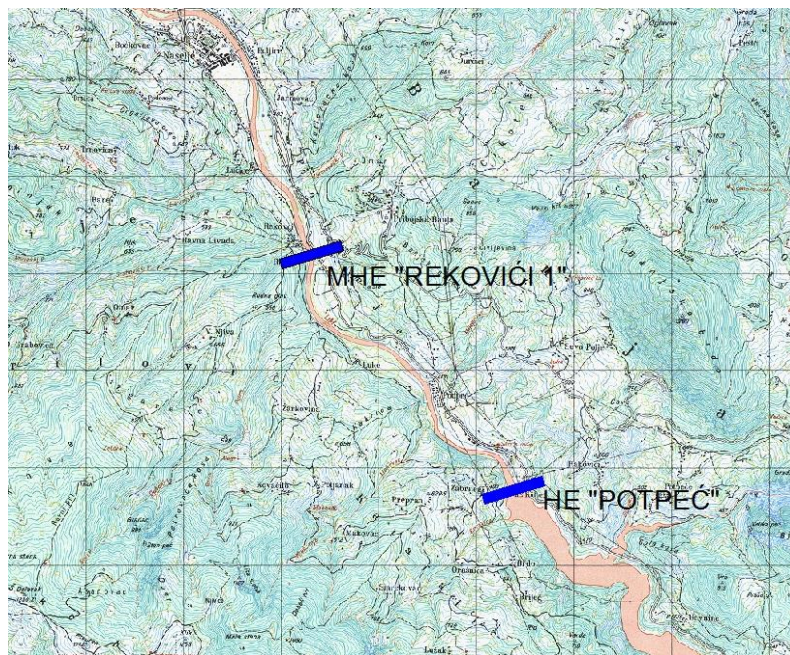
1. УВОД

Полимље представља географску целину, која обухвата слив Лима на територији Србије и Црне Горе. На територији Србије припада субрегији Стари Влах и Рашка. Средишњим делом Полимља тече Лим, по коме је регија добила име. Полимље у Србији обухвата територије четири општине: Нову Варош, Прибој, Пријепоље и Сјеницу.

Након проласка кроз Пријепоље, Лим улази у Потпећко језеро. После ХЕ „Потпећ“, Лим протиче кроз Прибој и Рудо и улива се у Дрину, 2 km низводно од места Међеђа.

Лим је дугачак 220 km. Слив Лима обухвата 5784 km² (од чега 115 km² у Албанији). Проток Лима на ушћу у Дрину је око 113 m³/s.

Река Лим располаже великим, до сада углавном неискоришћеним хидропотенцијалом. МХЕ „Рековићи“ је прибранска мала хидроелектрана која је предвиђена на реци Лиму у подручју општине Прибој, 3.4 km низводно од постојеће ХЕ „Потпећ“, око 4 km узводно од Прибоја, у непосредној близини фабрике ФАП. Положај бране ХЕ „Потпећ“ и бране МХЕ „Рековићи“ је приказан на слици бр.1.



Слика 1 Положај бране ХЕ „Потпећ“ и бране МХЕ „Рековићи“

За израду пројекта противерозионе заштите слива акумулације МХЕ „Рековићи“ коришћене су топографске, геодетске, геотехничке, хидролошке и хидрауличке подлоге.

Топографске подлоге представља прегледна карта подсливова акумулације МХЕ „Рековићи“, приказана на слици 2, размере 1:25000.

Геолошка подлога је Основна геолошка карта (лист Пријепоље), размере 1:100.000.

Педолошке подлоге представљају педолошке карте урађене у Институту за земљиште (Вардиште 3, Вардиште 4) у размери 1:50.000.

Подаци о засипању наносом акумулације Потпећ су преузети из Техничке документације о начину коришћења Лимских ХЕ, Књига 2: ХЕ Потпећ, Институт за

водoprивреду „Јарослав Черни“–Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице, 2006.

2. МЕТОД РАДА

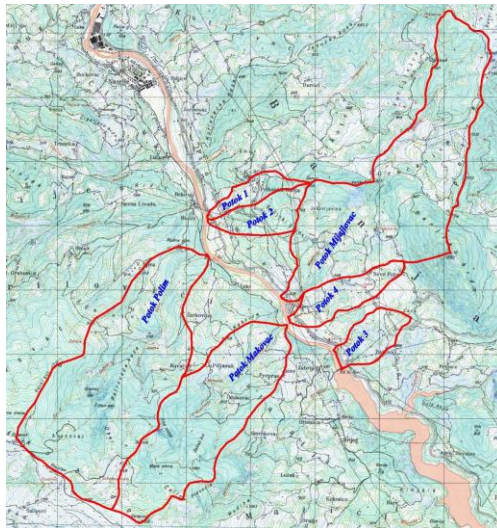
Цела методологија противерозионог уређења се базира на интегралном уређењу сливних површина, применом техничких, биотехничких и биолошких радова, као и применом административних мера у сливу.

Основни циљ израде пројекта противерозионог уређења слива акумулације МХЕ „Рековићи“, је заштита акумулација од засипања наносом. Концепција решења противерозионе заштите усвојена у овом пројекту комбинује директне радове за уређење бујица и заштиту од ерозије и скуп противерозионих административних мера. У складу са уоченим природним карактеристикама слива акумулације МХЕ „Рековићи“, анализом израђених подлога, расположиве техничке документације, као и непосредним обиласком терена, биће детерминисане основне смернице за противерозионо уређење. Оне садрже следеће сегменте: подизање техничких објеката у кориту притока у циљу заустављања наноса, стабилизације корита и обала (преграда), биотехничких објеката (плетера) и примену административних мера (забране и препоруке).

3. РЕЗУЛТАТИ СА ДИСКУСИЈОМ

3.1 Физичко-географске карактеристике

Сливно подручје акумулације МХЕ „Рековићи“ припада Полимљу и налази се између ХЕ Потпећ и града Прибоја. Обухвата 7 подсливова, притока Лима и сви токови су бујичног карактера. Прегледна карта подсливова је приказана на слици 2.



Слика 2 Прегледна карта подсливова

Рељефне карактеристике сливова приказане у табели у наставку су одређене обрадом основне топографске карте.

Табела 1 Геоморфолошке карактеристике сливова

Име тока	Површина слива km ²	Обим слива km	Дужина тока km	Дужина слива km	Средњи пад слива %	Средњи пад тока %	Уравнати пад тока %	Lc km	Кота ушћа mmm	Макс. кота тока mmm	Макс. кота слива mmm	Средња надморска висина mmm	Средња висинска разлика mmm
Поток 1	0.36	3.77	1.17	1.50	23.46	15.16	14.99	0.94	395	570	858	547.00	152.00
Поток 2	0.67	5.33	1.22	1.60	23.82	18.94	14.99	1.00	395	620	858	558.30	163.30
Мијајловац	5.5	5.50	5.60	5.30	32.80	12.40	11.60	2.80	400	1106	1214	845.00	445.00
Поток 3	0.58	3.34	0.69	1.30	24.97	23.30	20.24	0.65	400	550	735	553.70	153.70
Поток 4	0.75	4.48	1.06	2.00	22.78	15.06	12.42	1.02	400	550	780	560.50	160.50
Полим	5.8	10.90	5.20	4.30	36.80	17.30	13.70	2.90	406	1321	1321	892.00	486.00
Маковац	3.6	8.50	3.90	3.60	39.50	23.30	19.60	1.90	422	1345	1345	813.00	391.00

3.2 Геолошко-педолошко карактеристике

3.2.1 Геолошке карактеристике терена

Геолошка грађа непосредног сливног подручја акумулације има велики утицај на тип и генезу земљишних творевина, као и на ерозионе процесе. Познавање основне геолошке грађе је важно због реалније процене продукције ерозионог материјала на сливу и у кориту, као и могућности транспорта на ниже деонице. Приказ геолошке грађе истражног подручја дат је на основу ОГК 1:100.000, лист Пријепоље, припадајућег Тумача, као и обиласка непосредног слива акумулације МХЕ „Рековићи“. У геолошком саставу терена ширег утицајног подручја предвиђене бране и акумулације, учествују различите литостратиграфске јединице, а које су издвојене као: горње тријаски кречњаци, јурска дијабаз-рожначка формација и квартарне наслагe.

Горњи тријас – слојевити кречњаци (T_3^1) – Појава слојевитих кречњака карнијског ката налази се источно од Прибојске Бање, на око 2,5 до 3,5 km од места бране. То су делом слојевити, органогено детритични, ређе микрoкpисталaсти или oолитични спрудни кречњаци.

Јура – Дијабаз-рожначка формација ($J_{2,3}$) – Творевине дијабаз-рожначке формације имају највеће распрострањење у ширем подручју долине реке Лима на делу између Пријепоља и Прибоја. У непосредном утицајном подручју бране и акумулације према досадашњим сазнањима терен изграђују искључиво стене дијабаз-рожначке формације и квартара.

Ова формација је хетерогеног литолошког састава, у којој, на ширем подручју преовлађују пешчари, алевrolити и глинци са рожнацима, ретки су кречњаци. Од магматских стена заступљени су дијабази, дијабазне брече, спилити и ретко серпентинити.

У дијабаз-рожначкој формацији разматраног утицајног подручја, која је најзаступљенија на левој обали, међу седиментним члановима преовлађују пешчари и глинци уз учешће и рожнаца. Од вулканских стена унутар ове формације на овој долиноској страни се налазе дијабазне брече, али са знатно мањим распрострањењем.

Ове творевине представљају услојене стенске комплексе, који су обично тектонски доста поломљени и убрани. Врло често је изражена ”хаотична“ грађа, посебно пешчара кад се јављају са глинцима.

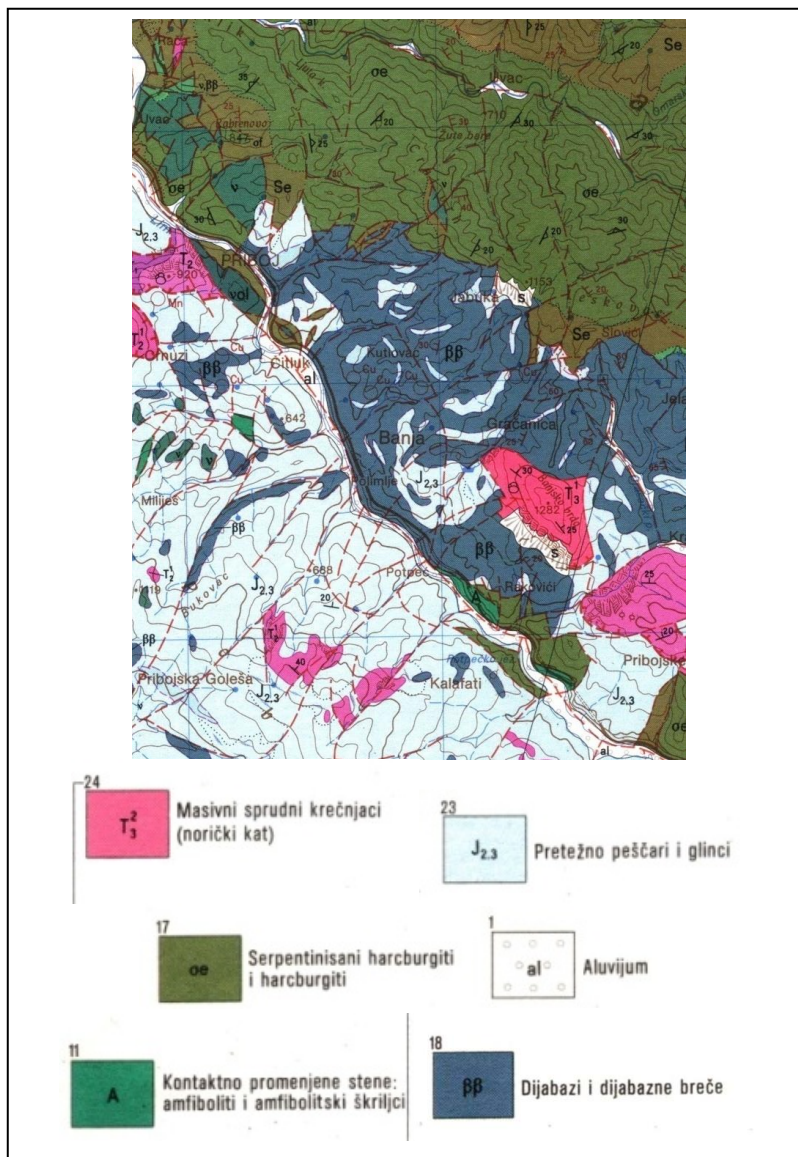
Дијабазне брече, дијабази, ређе спилити граде терен углавном на десној обали Лима, практично на целом потезу од ХЕ ”Потпећ“ до МХЕ ”Рековићи” и даље низводно до Прибоја. Ове стене су тамнозелене до љубичасто мрке боје, које се појављују делом у виду ”pillow лава“, а делом и као масивне стене.

Као што је већ речено, цела дијабаз-рожначка формација је и на овом делу терена изразито литолошки хетерогена са врло честим вертикалним и латералним смењивањем и променама. Ово представља посебну геолошку и структурну специфичност ове формације на целом подручју бране и акумулације.

Амфиболити и амфиболитски шкриљци (А) – У подручју бране ХЕ „Потпећ“ налазе се ове стене појављујући се као изоловане стенске масе у дијабаз-рожначкој формацији. Представљају масивне стене тамно зелене боје, са често изразитом тракастом текстуром. Контакти према околним формацијама су углавном тектонски.

Серпентинисани харцбургити (се) – Налазе се у подручју бране ХЕ ”Потпећ“, а представљају делове великог ултрамафитског – перидотитског масива Златибора. Појављују се као масивне стене, зелене до тамнозелене боје зависно од степена серпентинизације.

Слика 1 Геолошка карта подручја МХЕ „Рековићи“



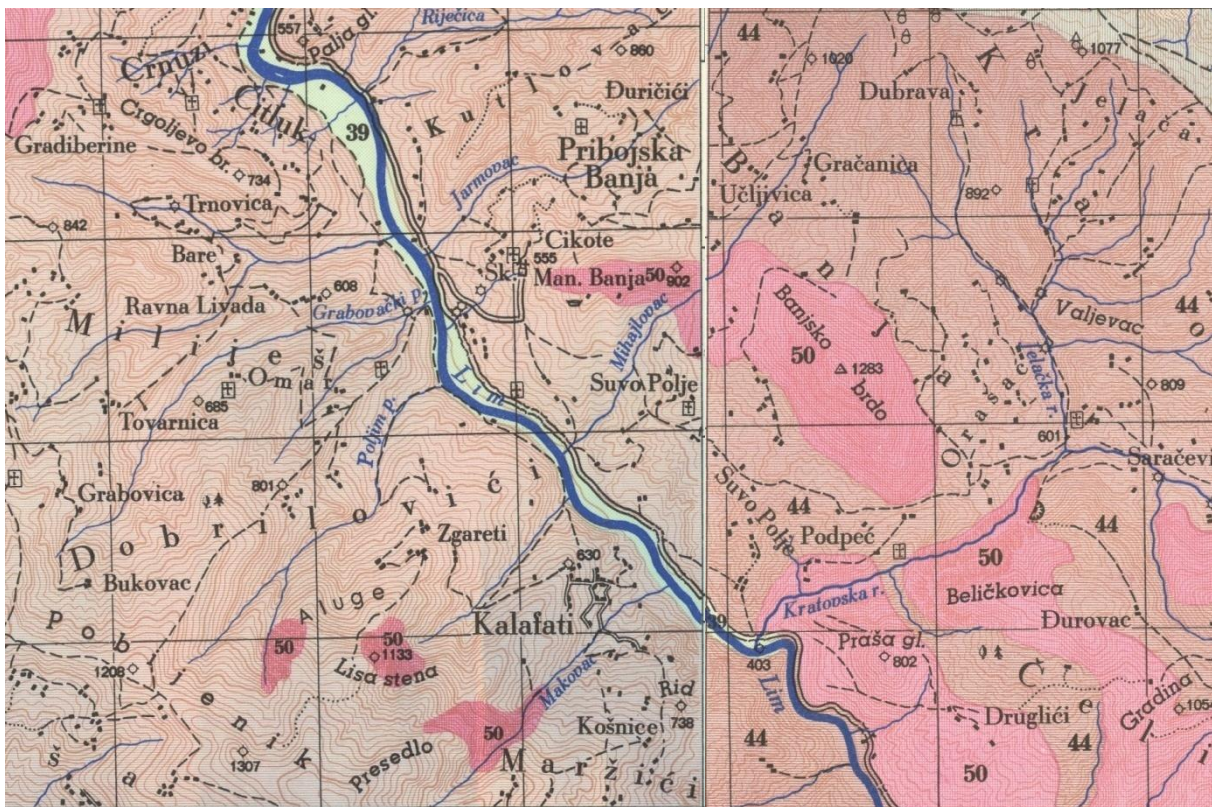
Квартар–алувијалне насlage – Покривају основне стенске масе у виду различитих литогенетских врста и типова наслага.

Алувијалне насlage распрострањене су у долини Лима, а изражене су као ниске алувијалне терасе и алувијални нанос речног корита. Ове насlage представљају песковито-шљунковите материјале, често доста заглињене. Прогнозна дебљина наноса ниске речне терасе, која се налази дуж целе долине у боковима речног корита је углавном у границама од 3 м до 4 м. Алувијални нанос речног корита прогнозно је веће дебљине, а која се очекује у границама од 5 м до 7 м.

3.2.2 Педолошке карактеристике терена

Оваква геолошка подлога условила је развој следећих типова земљишта: скелетоидне црнице на серпентину заступљене на мањој површини у горњем делу слива и смеђег скелетоидног земљишта на дијабазу на већем делу сливне површине.

Слика 2 Педолошка карта подручја МХЕ "Рековићу"



39	aluvijalno-deluvijalni нанос
44	сmeђе скелетоидно земљиште на дијабазу
50	скелет каменјар

Камењар је тло претежно састављено од растрошеног скелета. Тло се ствара "ин ситу" претежно физикалним распадањем и ерозијом финих честица. Педогенеза није узнатрдовала због младости тла, јаке ерозије или неповољних климатских услова. Оскудна вегетација акумулира мале количине органских материја, које се врло лако испирају кроз крупне поре каменог детритуса те је акумулација хумуса врло слаба и спорадична.

Смеђе скелетоидно земљиште на дијабазу су тла са моличним или охричним хумусно акумулативним хоризонтом који лежи непосредно изнад камбичног хоризонта. Формирају се на различитим супстратима – карбонати или богати базама.

Алувијално-делувијални нанос настаје као резултат узајамног дјеловања флувијалних процеса и делувијалног спирања на падинама. Ти процеси су по ободу подножја падина или у јаругама, а услед смјењивања акумулације алувијалних наноса за време поводња и делувијума у току обилних атмосферских падавина. Одликује се слабо израженом сортираношћу и заобљенишћу одломака и честим смјењивањем фракција према гранулометријском саставу у виду прослојака. У вертикалном профилу долази до смјењивања алувијалне акумулације (шљункови) са делувијалном (суглине, супескови и ситан шљунак).

3.2.3 Начин коришћења земљишта

Начин коришћења земљишта значајно утиче на распрострањеност и обим ерозионих процеса. Обрадом снимака и обиласком терена утврђено је да на сливу акумулације доминирају површине под шумском вегетацијом (61.6%), затим ливаде и пашњаци (12.5%), деградирани површине (11.9%), следе обрадиве површине (10.8%) и насељене површине (3.56%). Табеларно је приказано начин коришћења земљишта по сливовима (Табела 2)

Квалитетних обрадивих површина је мало, јер су оне углавном искоришћене за градњу кућа, путева и инфраструктурних објеката. На настанак голети утицали су прекомерне сече шума и обрада земљишта низ нагиб, као и природни чиниоци (нагиб терена и геолошко-педолошка подлога).

Табела 2 Начин коришћење земљишта

Ток	површина		шуме		ливаде и пашњаци		обрадиво земљиште		деградирани површине		индустријска зона		насеља	
	km ²	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	
Мијајловац	5.50	2.67	48.55	0.88	15.99	0.64	11.57	1.15	20.84	-	-	0.21	3.81	
Поток 1	0.36	0.14	38.89	0.11	30.56	0.01	2.93	0.00	0.01	0.00	1.22	0.10	27.78	
Поток 2	0.67	0.41	61.19	0.08	12.63	0.03	4.96	0.01	1.01	0.01	1.50	0.13	18.84	
Поток 4	0.75	0.15	20.63	0.07	8.87	0.42	56.00	0.00	0.09	-	-	0.10	13.99	
Поток 3	0.58	0.17	29.31	0.18	31.03	0.12	19.99	0.05	8.62	0.02	4.20	0.04	6.62	
Полим	5.80	4.51	77.76	0.36	6.15	0.46	7.87	0.45	7.80	-	-	0.02	0.37	
Маковац	3.60	2.57	71.39	0.48	13.38	0.18	5.06	0.39	10.81	-	-	0.01	0.39	

3.3 Климатско-метеоролошке карактеристике

Општину Прибој карактерише изразит климатски геодиверзитет. На релативно малом простору смењују се жупна, умерено-континентална и субалпска клима. Овакав изразит климатски диверзитет последица је велике рашчлањености рељефа (утицај планинских маса, хипсометрије, нагиба терена и експозиције) и регионалних ветрова.

Средња годишња температура у Прибоју износи $9,3^{\circ}\text{C}$, док је она на висоравнима око $7,6^{\circ}\text{C}$. Средња годишња количина падавина за прибојску општину износи 752мм. На површима и узвишењима она је виша него у долини Лима, и креће се између 850-900мм. Удео снежних падавина у укупним падавинама је такође различит. У долини Лима он износи 15%, на површима до 30%, док је на планинама преко 40%.

3.4 Ерозиони процеси у непосредним сливовима акумулације МХЕ „Рековићи“

3.4.1 Израда карте ерозије

Карта ерозије у сливу акумулације МХЕ Рековићи је израђена Методом потенцијала ерозије, у пракси познатијаом као Метода проф. С. Гавриловића. Овом методом се дефинише ерозиони и бујични потенцијал слива и омогућава квалитативно-квантитативно стање ерозије и бујичности токова.

Метода је базирана на утврђивању стања и интеракције ерозије, рељефних карактеристика слива и основних климатских карактеристика. Иако метода захтева теренске истражне радове, неупоредиво је бржа од вишегодишњег осматрања. Специјалистичким истраживањем и прорачунима израђује се квалитативно-квантитативна карта ерозије, која представља основни документ за даље прорачуне продукције ерозионих наноса и доспевања наноса до ушћа или до важног профила на току и дефинисање ерозионо-бујичних карактеристика целог подручја.

Основна величина којом се дефинише интензитет ерозије је коефицијент ерозије Z .

Класификација ерозије у картографском смислу дата је у табели 3 у виду квалитативних категорија. За практичну примену, свака категорија добила је одређену вредност коефицијента ерозије Z .

Табела 3 Квалитативна и квантитативна класификација ерозије

Категорија ерозије	Распон коеф. ерозије Z	Средња вредност Z	Квалитативно име категорије ерозије
I	$Z > 1.0$	$Z = 1.25$	ЕКСЦЕСИВНА
II	$0.71 < Z < 1.0$	$Z = 0.85$	ЈАКА
III	$0.41 < Z < 0.70$	$Z = 0.55$	СРЕДЊА
IV	$0.20 < Z < 0.40$	$Z = 0.30$	СЛАБА
V	$Z < 0.19$	$Z = 0.10$	VPLO СЛАБА

За сливно подручје акумулације МХЕ“Рековићи“ израђена је карта ерозије према прописаној процедури, у размери 1: 25 000. Карта ерозије приказана на слици бр.2, у размери 1: 25 000.

За израду карте ерозије на располагању су биле и следеће подлоге:

- Топографске карте 1:25 000 за слив акумулације Рековићи 1
- Педолошка карта размере 1:50 000

- Геолошка карта размере 1:100 000
- Аерофото снимци
- Карта коришћења земљишта у размери 1:25000 (израђена је на основу аерофото снимка и одговара садашњем стању намене површина. Ова карта је израђена у векторској форми због мерљивости површина и за даљу примену.)

Анализирајући карту ерозије за слив акумулације МХЕ Рековићи, јасно се уочава да доминирају површине захваћене средњом (III) и слабом (IV) ерозијом (нешто више од 80%). Ексцесивне ерозије (I) се јавља само у сливу реке Мијајловац, док је јака (II) ерозија присутна на стрмијим теренима (3.5%) реке Мијајловац, Полим и Маковац. Урло слаба ерозија (V) није заступљена на овим теренима. Категорије ерозије приказане су у табели 4.

Средња вредност коефицијента ерозије за непосредни слив акумулације Рековићи 1 износи 0.37

Табела 4 Ерозиони процеси у сливовима

Поток	КАТЕГОРИЈА ЕРОЗИЈЕ										Укупна површина км ²	Коеф. ерозије Z
	I		II		III		IV		V			
	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%		
Поток 1					0.04	9.76	0.32	78.05			0.41	0.33
Поток 2					0.06	8.96	0.61	91.04			0.67	0.33
Мијајловац	0.07	1.27	0.56	10.1	1.92	34.91	2.95	53.64			5.5	0.46
Поток 3					0.16	27.59	0.42	72.41			0.58	0.37
Поток 4					0.41	54.67	0.34	45.33			0.75	0.44
Полим			0.03	0.52	1.16	20.0	4.61	79.48			5.8	0.35
Маковац			0.06	1.67	0.68	18.89	2.86	79.44			3.6	0.36

3.4.2 Прорачун продукције наноса

Категорије ерозије према методу проф. С. Гавриловића за разлику од других методологија, имају поред квалитативне и квантитативну вредност изражену коефицијентом ерозије (Z), што омогућује даље израчунавање продукције ерозионих наноса, према следећем обрасцу.

$$\rightarrow W_{SP} = T \times H \times \pi \times \sqrt{Z^3} \quad \text{м}^3/\text{км}^2 \text{ год}$$

- W_{SP} је просечна годишња специфична продукција ерозионих наноса по км²
- T је температурни коефицијент који се израчунава помоћу обрасца:

$$\rightarrow T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0.1}$$

где је:

- t је средњегодишња температура ваздуха у степенима ЦезиSRПСовим ($^{\circ}\text{C}$)
- X је средњегодишња сума падавина у мм (милиметара/годишње)
- Z је коефицијент ерозије израчунат према наведеној методологији

Просечна годишња продукција ерозионих наноса за целокупно сливно подручје које се истражује (W_G), израчунава се множењем површине слива (F) у km^2 , са средњом специфичном продукцијом наноса (W_{SP}).

$$\rightarrow W_G = F \times W_{SP} \quad \text{m}^3/\text{год}$$

3.4.3 Прорачун проноса наноса

Специфично средњегодишње доспевање ерозионог наноса (G_{SP}) је запремина просечног годишњег доспевања наноса са квадратног километра површине слива која дође до конкретног профила, и израчунава се множењем вредности специфичне средњегодишње продукције ерозионог наноса (W_{SP}) са коефицијентом ретензије наноса (R_U):

$$\rightarrow G_{SP} = W_{SP} \times R_U \quad (\text{m}^3/\text{km}^2 \text{ год})$$

Како је доспевање наноса до профила истовремено и пронос наноса кроз профил, уколико је у питању профил на току, није редак случај да се ови термини користе као синоними иако су у питању два различита процеса. Међутим, када је у питању улазни профил у акумулацију користи се само термин "доспевање", јер је у случају акумулација то коректнији термин с обзиром да природног проноса наноса практично нема.

Укупно средњегодишње доспевање ерозионог наноса (G_G) израчунава се множењем укупне средњегодишње продукције ерозионог наноса (W_G) и коефицијента ретензије наноса (R_U).

$$\rightarrow G_G = W_G \times R_U \quad (\text{m}^3/\text{год})$$

Сви резултати извршених прорачуна продукције и доспевања наноса по методу проф. С. Гавриловића за непосредне сливове акумулације Рековићи 1 приказани су у табели 5:

Табела 5 Резултати прорачуна продукције и проноса наноса

Ток	Површина слива km^2	Коеф. ерозије Z	Продукција наноса		Коеф. ретензије R_U	Пронос наноса	
			специфична W_{SP} $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{год}$	укупна W_G $\text{m}^3/\text{год}$		специфични G_{SP} $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{год}$	укупни G_G $\text{m}^3/\text{год}$
Поток 1	0.36	0.33	414.39	149.18	0.27	112.33	40.44
Поток 2	0.67	0.33	412.66	276.49	0.33	137.25	91.96
Мијајловац	5.5	0.46	678.55	3732.02	0.60	410.35	2256.91
Поток 3	0.58	0.37	494.91	287.05	0.27	132.68	76.96
Поток 4	0.75	0.44	637.19	477.89	0.31	195.41	146.56
Полим	5.8	0.35	474.12	2749.88	0.61	287.17	1665.57
Маковац	3.6	0.36	469.82	1691.34	0.52	246.47	887.31

3.4.4 Прорачун угрожености акумулације од засипања наносом од непосредних притока

Прорачун продукције и доспевања наноса до акумулације обављен је поменутом методом, а резултати су приказани у предходним табелама.

У конкретном случају најважнији је податак о укупном средњегодишњем доспевању наноса у акумулацију, у табели означен са G_g ($m^3/год$). Примењена методологија, у оквиру вредности средњегодишњег доспевања, даје сумарну вредност вученог и суспендованог наноса. Сама вредност средњегодишње запремине наноса који доспева у акумулацију не изгледа велика, међутим акумулација је изграђена да траје најмање педесет година, што значи да ће, уколико ерозија на сливу задржи интензитет, у акумулацију доспети педесет пута већа запремина наноса односно:

$$\rightarrow G_{50} = G_g * 50 \text{ год } (m^3)$$

Да би се сагледао реалан степен угрожености акумулације ерозионим наносима потребно је сагледати везу интензитета засипања акумулације, коефицијента ерозије и запремине акумулације. Запремина наноса који ће доспети у акумулацију током педесет година, само је ерозиони потенцијал који угрожава акумулациони простор.

Ова запремина је константа за конкретни профил и мења се само у складу са променом интензитета ерозије на сливу. Исто тако та запремина не зависи од промена запремине акумулације, већ само од ерозионог потенцијала слива. Запремина наноса одговара утврђеном коефицијенту ерозије, односно средњем интензитету ерозионих процеса на сливу.

Продукција и пронос наноса су функционално зависни од коефицијента ерозије, и то експоненцијално, са зависношћу која се изражава функцијом:

$$\rightarrow K = (Z^3)^{1/2}$$

Зато је у односу на идеално мали коефицијент ерозије ($Z_i=0.1$), одговарајуће доспевање наноса веће за однос:

$$\rightarrow K = (Z^3)^{1/2} / (0.1)^{1/2} = (P_e)$$

Управо ова вредност је једнака вредности ерозионе угрожености акумулације од засипања ерозионим наносима (P_e). Овај коефицијент је константа слива и не зависи од величине акумулације.

Ерозиони наноси засипају укупну запремину акумулације, па је зато важан коефицијент запреминске угрожености ерозионим наносима (P_{3y}). Тај коефицијент је однос педесетогодишње запремине наноса (G_{50}) и запремине која износи 60% запремине акумулације (V_a) (у случају када је 60% запремине акумулације засуто, акумулација губи акумулациону функцију и сматра се потпуно засутом).

$$\rightarrow P_{3y} = G_{50} / (0.6 * V_a)$$

Реална угроженост акумулације ерозионим наносима износи:

$$\rightarrow Y = P_{3y} * P_e$$

Резултати прорачуна су приказани у табели 6.

Табела 6 Прорачун угрожености акумулација од засипања ерозионим наносима у функцији запремине

Назив профила	Ток	Површина слива	Запремина акумулације	Засипање наносом за 50 година	Коефицијент угрожености		Укупна угроженост акумулације од засипања
		Ф	Va	G ₅₀	ерозиони	запремински	
		км ²	м ³	м ³	Пеу	Пзу	
МХЕ "Рековићи 1"	Непосредне притоке	21,78	510.000	260.000	0.73	0.85	0.62

На основу израчунатих вредности коефицијената угрожености акумулација ерозионим наносима, може се констатовати да је анализирани профил угрожен засипањем ерозионим наносима.

Угроженост засипањем је у оквирима када трошкови заштите од засипања имају рационалне вредности.

Овај прорачун је начињен на бази предвиђања да ће се интензитет засипања ерозионим наносима одржати на истом нивоу, што ће се и догодити уколико се не предузму радови за заштиту слива од ерозије и радови на уређењу бујичних токова.

3.5 Разрада противерозионог уређења

На основу анализе израђених подлога и концепта противерозионог уређења слива акумулације МХЕ Рековићи, формулисано је идејно решење што је основни циљ израде овог документа. Концепција противерозионог уређења заснована је на следећем:

- подизање техничких објеката у већим притокама;
- подизање биотехничких објеката у мањим притокама;
- примена административних мера.

Технички радови

Технички радови служе за непосредну заштиту од поплавних вода и за задржавање бујичних наноса, као и за спречавање даље ерозије и продубљивање корита бујичних токова. Обухватају изградњу подужних и попречних грађевина за уређење бујичних корита (канала, регулација, кинета, преграда, консолидационих појасева и др.). У ову групу радова спадају и изградња микроретезија и малих акумулација.

Регулисање бујичних корита и спречавање процеса дубинске ерозије подразумева изградњу попречних објеката са циљем да се стрмо корито претвори у степенасто са ублаженим падом дна. Према висини попречних објеката се разликују следећи типови:

- консолидациони појасеви без корисне висине
- прагови, са корисном висином до 2 м
- преграде, са корисном висином изнад 2 м

Уређење бујичних токова појединачним преградама – примењује се кад је ерозија водотока ограничена на поједине деонице. Улога ових преграда је депонијска и консолидациона. Преграда се гради низводно од угрожене деонице и својим заплавом спречава поткопавање дна и обала, одроне и санира клизишта. Ако дно и обале нису стеновити, мора се предвидети изградња слапишта.

Као што је већ наведено у концепцији решења, у сливу акумулације овим пројектом је предвиђена изградња 3 бујичне преграде, корисне висине 2.5 м, у кориту притока Мијајловац, Полим и Маковац.

Преграда 1 се налази у сливу потока Мијајловац, десној притоци Лима. Предвиђено је да буде изграђена од камена у цементном малтеру, са подслапљем и зубом. Корисна висина преграде је 2.5 м а укупна висина је 3.7 м. Прелив преграде је трапезни, ширине 8.6 м и висине 1.2 м. Дужина подслапља је 6.2 м са зубом преграде од 0.5 м. Низводно од зуба преграде поставља се ризберма на дужини од 4 м. На телу преграде су пројектовани отвори (барбоконе) за оцеђивање воде и редукују хидростатичког притиска, димензија 0.30 x 0.40 м. Варбоконе су постављене у 2 реда на растојању од 1.0 м. Хоризонтално растојање између ових отвора износи 4.0 м. Дубина темељења је 1.2 м.



Слика 3 Профил за преградно место 1 на потоку Мијајловац

Преграда 2 се налази у сливу потока Полим, левој притоци Лима. Предвиђено је да буде изграђена од камена у цементном малтеру, са подслапљем и зубом. Корисна висина преграде је 2.5 м а укупна висина је 3.8 м. Прелив преграде је трапезни, ширине 9.0 м и висине 1.3 м. Дужина подслапља је 6.5 м са зубом преграде од 0.5 м. Низводно од зуба преграде поставља се ризберма на дужини од 4 м. На телу преграде су пројектовани отвори (барбоконе) за оцеђивање воде и редукују хидростатичког притиска, димензија 0.30 x 0.40 м. Варбоконе су постављене у 2 реда на растојању од 1.0 м. Дубина темељења је 1.2 м.



Слика 4 Профил за преградно место 2 на потоку Полим

Преграда 3 се налази у сливу потока Маковац, левој притоци Лима. Предвиђено је да буде изграђена од камена у цементном малтеру, са подслапљем и зубом. Корисна висина преграде је 2.5 м а укупна висина је 3.6 м. Прелив преграде је трапезни, ширине 9.0 м и висине 1.1 м. Дужина подслапља је 5.8 м са зубом преграде од 0.5 м. Низводно од зуба преграде поставља се ризберма на дужини од 4 м. На телу преграде су пројектовани отвори (барбоконе) за оцеђивање воде и редуцију хидростатичког притиска, димензија 0.30 x 0.40 м. Варбоконе су постављене у 2 реда на растојању од 1.0 м. Дубина темељења је 1.2 м. Изглед типске бујичне преграде је дат у прилогу 4.

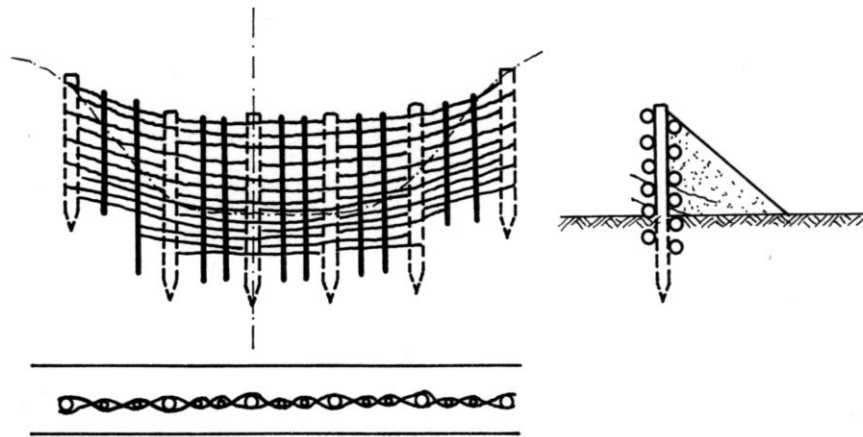


Слика 5 Профил за преградно место 3 на потоку Маковац

Биотехнички радови

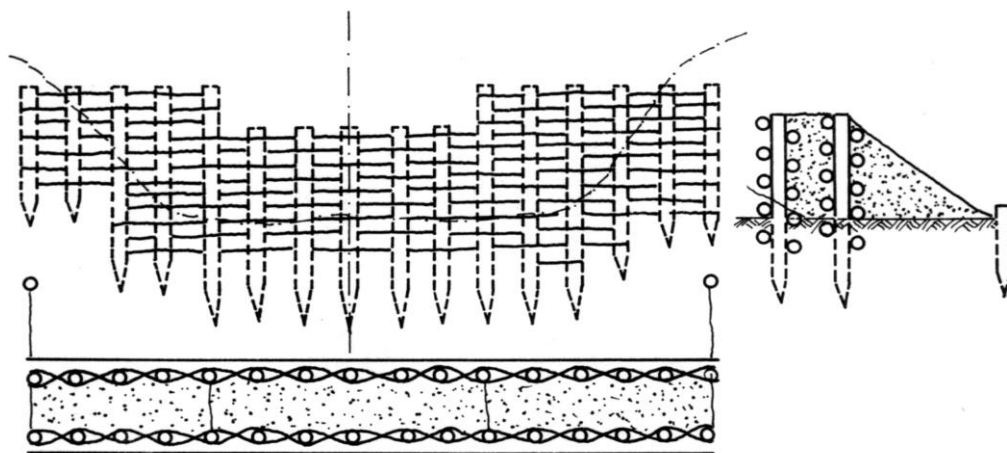
Плетери су грађевине од коља и прућа. Предности плетера су што је изградња релативно брза и једноставна, а оба материјала се могу наћи на лицу места. Трајност ових грађевина је максимум 5 година, што се може сматрати њиховим недостатком. Једноструки плетери се примењују онда када је земљиште толико упропашћено да је немогуће успоставити вегетацију без претходног учвршћивања терена. Израђују се дуж изохипси, на међусобном растојању 5-10 м. Њихова сврха је да, у комбинацији са

пошумљавањем, учврсте земљиште и помогну обнављање вегетације на стрним падинама.



Слика 6 Типски изглед једноструког плетера

За санацију јаруга, где је деловање воде много јаче, неопходни су плетери са већом висином, па се ту примењују двоструки плетери. Раде се до 1 м корисне висине на тај начин што се побије први ред коља, који се исплете прућем. Затим се на одстојању 0,8-1,0 м од првог реда побије други ред коља, који се такође испрелете прућем, а простор између тих редова испуни крупним шљунком или каменом. Редови плетера вежу се међусобно спојницама које се прикивају ексерима за коље. Са низводне стране израђује се обично подслапље. Плетер треба добро укопати у обале.



Слика 7 Типски изглед двоструког плетера

У сливу акумулације Рековићи 1 предвиђа се постављање двоструких плетера на укупној дужини од 50 м. Изглед типског плетера је приказан на слици бр.7.



Слика 8 Профил на коме ће се постављати плетери

Противерозионе мере

Противерозионе мере су захвати власника земљишта у циљу да се ослабљено земљиште поправи, а квалитетно земљиште одржи на свом нормалном квалитетном нивоу. У науци и пракси противерозиони захвати овог типа називају се конзервација земљишта.

Од планираних мера посебан значај има начин обраде, односно орања при гајењу ратарских култура (контурно и гребенасто), као и контурно-појасна обрада, а од стриктних забрана, посебно је значајна забрана гајења окопавина на падинама са увећаним нагибом. На нестабилним теренима, приоритетни значај има забрана механичког оштећења тла.

Извршење радова и спровођење предложених мера обављаће се углавном на два начина и то:

- као препорука власницима земљишта за све површине и културе угрожене слабијим ерозионим процесима и
- као обавеза за све власника земљишта и култура које се налазе у склопу издвојеног и проглашеног ерозионог подручја.

Административне мере прописује локална самоуправа према важећим законским прописима. Општина је обавезна да пропише катастарске парцеле на којима ће се оне применити.

3.6 Хидрауличко димензионасање преграда

Преграде су димензионисане тако да пропусна моћ прелива преграде буде довољна да пропусти протицај велике воде вероватноће појаве једном у 100 година ($Q_{1\%}$).

Предвиђен је прелив трапезне форме. За прорачун пропусне моћи прелива преграде примењен је образац уобичајен за ту врсту прорачуна (према Weisbach-у), и који је емпиријски прилагођен условима бујичних токова. (Јевтић,Љ., 1978)

3.6.1. Резултати прорачуна

Резултати хидрауличког прорачуна за преграде су приказани у табелама у наставку.

Табела 5.1 Резултати прорачуна за преграду 1 на потоку Мијајловац

укупна висина објекта	корисна висина преграде	висина прелива	брзинска висина	ширина прелива у дну	средња ширина прелива	ширина прелива на врху
Хук	Хк	Х	к	б`	бср	В
м	м	м		м	м	м
3.7	2.5	1.2	0.01	8.55	9.75	10.95
коэф. преливања	површина прелива	протицај на преливу	брзина преливања	долазна брзина	дужина подслапља	дебљина подслапља
м	А	Q	V`	Vдол	L	д
	м ²	м ³ /с	м/с	м/с	м	м
0.65	40.0	24.50	4.85	0.61	6.2	0.7

Табела 5.2 Резултати прорачуна за преграду 2 на потоку Полим

укупна висина објекта	корисна висина преграде	висина прелива	брзинска висина	ширина прелива у дну	средња ширина прелива	ширина прелива на врху
Хук	Хк	Х	к	б`	бср	В
м	м	м		м	м	м
3.8	2.5	1.3	0.014	8.93	10.23	11.53
коэф. преливања	површина прелива	протицај на преливу	брзина преливања	долазна брзина	дужина подслапља	дебљина подслапља
м	А	Q	V`	Vдол	L	д
	м ²	м ³ /с	м/с	м/с	м	м
0.65	35.0	29.40	5.05	0.84	6.5	0.7

Табела 5.3 Резултати прорачуна за преграду 3 на потоку Маковац

укупна висина објекта	корисна висина преграде	висина прелива	брзинска висина	ширина прелива у дну	средња ширина прелива	ширина прелива на врху
Хук	Хк	Х	к	б`	бср	В
м	м	м		м	м	м
3.6	2.5	1.1	0.001	9.12	10.22	11.32

коэф. преливања	површина прелива	протицај на преливу	брзина преливања	долазна брзина	дужина подслапља	дебљина подслапља
м	А	Q	V`	Vдол	L	д
	м ²	м ³ /с	м/с	м/с	м	м
0.65	40.0	22.60	4.65	0.57	5.8	0.7

3.7 Статичко димензионасање преграда

3.7.1 Метод статичког прорачуна

Прорачун статичке стабилности преграда, извршен је посебно за сваки објекат по методи проф. др Љубише Јевтића. (Костадинов,С., 2008)

Облик зида преграде, садржан је у уобичајеној форми пресека, са предњом страницом у нагибу 5:1 и вертикалном задњом страном зида (слика 1). Ова форма је више мање прилагођена линији стварних притисака у зиду те као таква задовољава услове рационалности код овакве врсте објеката.

Слободни део зида, као темељна стопа треба да буду изведени од камена у цементном малтеру средње запреминске масе $\rho_3=2,4 \text{ т/м}^3$ ($\rho_3 = 23,54 \text{ кН/м}^3$).

Бујичарске преграде се статички димензионишу узимајући у обзир редуковану шему оптерећења (слика 1), што значи да се обзир узима само сила хидростатичког притиска на корисну висину зида преграде, а не узимају се сила узгона и неке друге силе, које се нормално узимају када је у питању димензионасање високих брана.

4. ЗАКЉУЧЦИ

На основу анализе постојећег стања, анализе постојећих подлога, хидролошке анализе и детаљне перспекције терена извршено је пројектовање противерозионих радова у непосредном сливу МХЕ „Рековићи“ и дат је предлог мера за унапређење противерозионих мера заштите, односно, смањења засипања акумулације наносом из слива. На основу тога може се констатовати следеће:

- Анализирајући карту ерозије јасно се уочава да доминирају површине захваћене средњом (III) и слабом (IV) ерозијом (нешто више од 80%). Експесивне ерозије (I) се јавља само у сливу реке Мијајловац, док је јака (II) ерозија присутна на стрмијим теренима (3.5%) реке Мијајловац, Полим и Маковац. Врло слаба ерозија (V) није заступљена на овим теренима.
- Средња вредност коефицијента ерозије за непосредни слив акумулације МХЕ Рековићи износи 0.37;
- Река Лим проноси врло велике количине наноса, тако да акумулација "Потпећ" спада у категорију акумулација веома угрожених засипањем наносом. Имајући у виду да је почетна запремина акумулације износила око $43 \times 10^6 \text{ м}^3$, процењен годишњи транспорт наноса од $1.67 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ је морао представљати сигнал упозорења о озбиљности проблема засипања акумулације. Наравно, у акумулацији се не задржава сав нанос, већ само један део, али и проценат задржавања наноса од 40 - 50% представља озбиљан проблем;

- Смањење количине наноса који се задржава у акумулацији се односи на суспендовани нанос, који се може евакуисати преко прелива, кроз темељне испусте и кроз турбине. Вучени нанос, који се креће по дну акумулације, не може се евакуисати и потпуно се задржава узводно од бране. Према томе, количина наноса који се задржава у акумулацији не може се смањити испод вредности која одговара годишњем транспорту вученог наноса. У конкретном случају, доња граница масе наноса који се задржава у акумулацији "Потпећ" износи око 150 000 м³/год.;
- Према рачуници, срачунате вредности просечног годишњег засипања акумулације МХЕ „Рековићи“ нису велике, па зато изгледа су радови на уређењу бујичних токова и заштити од ерозије непотребни, јер и без њих акумулација може имати дуг век. На први поглед такво мишљење је рационално, међутим запремина акумулације је коначна и једног дана ће се засути наносима.
- У случају предузимања радова за заштиту од засипања, поред смањења укупне запремине наноса која доспева у акумулациони простор, догађа се још једна веома важна функција система заштите, а то је значајна промена гранулометријске криве наноса према ситнијим фракцијама које се лакше испирају из акумулације.

Литература

- 1.Јевтић,Љ (1978): Инжењерски приручник за решавање проблема из области бујичних токова, Издавачки центар студената , Београд
- 2.Гавриловић, С.: Инжењеринг о бујичним токовима и ерозији. Веоград: Изградња, посебно издање. 1972.
- 3.Костадинов, С.: Бујични токови и ерозија: Веоград, Шумарски факултет, 2008.
- 4.Хидролошка студија – Књига 2 Идејног пројекта МХЕ Рековићи
- 5.Техничка документације о начину коришћења Лимских ХЕ, Књига 2: ХЕ Потпећ, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ – Завод за бране, хидроенергетику, руднике и саобраћајнице, 2006.