

РАЦИОНАЛНИ ИЗБОР МЕХАНИЗАЦИЈЕ ЗА ИЗВОЂЕЊЕ ЗЕМЉАНИХ РАДОВА КОД УРЕЂЕЊА БУЈИЧНИХ СЛИВОВА НА ПРИМЕРУ ПЕТРОВАЧКОГ ПОТОКА

Тијана Вулевић, Нада Драговић, Тихомир Шошкић, Мирјана Тодосијевић¹

Универзитет у Београду Шумарски факултет

Извод: За извођење радова на уређењу бујичних сливова ангажује се механизација чији избор зависи од врсте и обима радова, конфигурације терена и усвојене технологије одвијања радова. Посебно је значајна примена механизације за извођење земљаних радова који су највећег обима у поређењу са зидарским и бетонским радовима. Да би избор механизације био рационалан, потребно је спровести све етапе ширег и ужег избора машина, а затим и оптималан избор машина. У раду је дат приказ оптималног избора машина за извођење земљаних радова на уређењу бујичног слива Петровачког потока, где је као критеријум за избор механизације коришћена цена јединице мере машинског рада.

Кључне речи: бујични слив, земљани радови, механизација, оптималан избор машина

RATIONAL SELECTION OF EARTHWORKS MECHANIZATION FOR WATERSHED MANAGEMENT ON THE EXAMPLE OF PETROVAČKI STREAM

Abstract: Mechanization is engaged for the execution of works for torrent basins protection, and the selection of mechanization depends on the type and scope of works, the configuration of the terrain and the adopted technology of carrying out the works. Especially important is the use of machinery for earthworks, which has the largest scope in comparison with masonry and concrete work. For rational selection of mechanization, it is necessary to carry out all stages of wider and narrower choice of machines, and then the optimal choice of machines. The paper presents the optimal choice of machines for earthworks conducted in Petrovački stream basin, where the price of a unit of machine work was used as a criterion for the selection of machinery.

Keywords: torrential flood basin, earthworks, mechanization, optimal selection of mechanization

1. УВОД

Грађевинска механизација се све више користи приликом реализације различитих пројеката у циљу бржег и ефикаснијег обављања посла. Под грађевинском механизацијом се подразумевају уређаји и машине које се примењују за обављање различитих активности везаних за изградњу и одржавање различитих грађевинских објеката где спадају и водопривредни објекти. Значајни водопривредни објекти су објекти за заштиту од ерозије и бујица и то: преграде, уставе, регулације доњих токова бујичних водотока, обалоутврде, биотехнички и други објекти (2018). Ови објекти су

¹ Кнеза Вишеслава 1, 11000 Београд, tijana.andrijanic@sfb.bg.ac.rs

саставни део пројеката за уређење бујичних сливова чија је реализација незамислива без примене механизације.

Од средине XX века грађевинске машине се примењују за уређење бујица и заштиту од ерозије, а све до тада радови су се одвијали ручно (Dragović, 2011). Претежно се грађевинске машине користе у доњем делу бујичних сливова (за регулисање доњих токова бујичних водотока). Њихова примена је у горњем делу бујичних сливова, нпр. код изградње бујичних преграда ограничена услед конфигурација терена и одсуства приступних путева.

При уређењу бујичних сливова изградњом грађевинско-техничких објеката у кориту водотока, примена грађевинских машина је најзначајнија код извођења земљаних радова, који су најобимнији (Dragović, 1992). Примена механизације код извођења земљаних радова може бити делимична или читав технолошки процес може бити механизован што зависи од изабране методе и технологије рада (Veselinović, Dragović, 1989/1990).

Маchine за земљане радове се користе за обављање радних операција које се деле на основне и споредне радне операције. Основне радне операције су (Stefanović, 1980):

- ископ земље (резање и захватање),
- транспорт ископане земље од места ископа до места уградње или истовара и
- истовар земље.

Споредне (пратеће) радне операције могу се реализовати на месту ископа (затрпавање, прилагођавање рељефу терена) као и на месту истовара (насипање, планирање, набијање).

У ову групу машина за земљане радове спадају: багер, дозер, утоваривач, грејдер, скрепер и ваљак. За транспорт земљаног материјала, садница, камена, агрегата и др. се најчешће користе камиони кипери.

Због малог обима радова, конфигурације терена (уске и стрме долине средњег и горњег дела бујичног слива) и специфичне технологије извођења радова (Dragović, 2020) често се примењује већи број машина мањег капацитета радног дела. Приликом избора механизације битно је узети у обзир и следеће (Nilesh et al. 2014):

- врста и обим радова, где је важно дефинисати рок извођења радова, спецификацију посла и технологију извођења радова;
- расположивост механизације и стање расположивих машина;
- униформност у типу – бирати више машина које имају исти тип мотора и троше исто погонско гориво;
- величина машине која се бира у зависности од обима посла, при чему машине за реализацију посла на једном пројекту треба да буду исте величине
- могућност примене стандардних машина и др.

У раду је извршен оптималан избор машина за извођење земљаних радова на уређењу Петровачког потока у циљу заштите Петровца на Млави од поплава.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Предмет рада је рационални избор механизације за уређење бујичног слива, који ће бити размотрен на примеру Петровачког потока. Материјал за спровођење рационалног избора механизације је узет из Пројекта за заштиту Петровца на Млави од поплава Петровачког потока, урађеног 2021. од стране ВП Водопривреда, д.о.о. Пожаревац.

2.1. Избор машина

Методологија избора машина за извођење радова за уређење бујица и заштиту од ерозије је до сада вршена кроз шири избор, ужи избор и оптималан избор машина (Stefanović, 1980).

2.1.1. Шири избор машина

Шири избор машина пружа увид у све расположиве машине које по својој намени и техничким карактеристикама које могу да обаве радне операције издвојене у оквиру технолошког процеса, односно код земљаних радова:

- ископ земљаног материјала
- утовар земљаног материјала
- транспорт земљаног материјала и
- уградњу земљаног материјала.

Шири избор машина се спроводи кроз пет етапа, тј. обухвата: анализу могућег фонда радних дана, студију технолошког процеса, прорачун дневних и часовних количина рада, израду табеле ширег избора машина и табеле техничких карактеристика машина (Dragović, 2011).

1) Анализа могућег фонда радних дана

Анализом могућег фонда радних дана одређује се могући фонд радног времена у току једне календарске године или у периоду који је предвиђен за извршење рада. За одређивање могућег фонда радних дана примењују се оријентациона и метода метеоролошких података. Оријентационом методом добијају се приближне вредности могућег фонда радних дана. Метода метеоролошких података је много прецизнија, и за њено спровођење користе се метеоролошки подаци о падавинама, температури ваздуха, влажности ваздуха, правцу и јачини ветра. Најважнији су подаци о висини падавина и температури јер се сматра да се радови не могу обављати ако је температура ваздуха нижа од 0 °C и висина падавина већа од 5мм.

2) Студија технолошког процеса

Студија технолошког процеса подразумева рашчлањене сложених производних процеса у просте процесе и радне операције. У ту сврху се примењују метода карте процеса или метода дијаграма тока.

3) Одређивање дневних и часовних количина рада

Одређивање дневне и часовне количине рада се врши на основу укупне предвиђене количине рада коју треба обавити и могућег фонда радних дана, применом следећих израза:

$$Q_d = \frac{Q_u}{D_r} \text{ и } Q_h = \frac{Q_d}{N_{sm} \cdot N_h} \quad (1)$$

где је:

Q_d дневна количина рада –

Q_u укупна количина рада –

D_r могући фонд радних дана –

Q_h часовна количина рада –

$N_{sm} \cdot N_h$ број сати рада у смени и број смена –

4) Техничке карактеристике машина

Техничке карактеристике машина су подаци о машинама који се узимају из проспеката, односно каталога произвођача машина и обухватају податке као што су марка и тип машине, капацитет радног дела, снага мотора, тежина машине и др.

5) Табела ширег избора грађевинских машина

Табела ширег избора грађевинских машина је табела где се састављају групе машина које раде на извршењу одређених радних операција у оквиру одређеног производног процеса. У свакој групи машина, дефинише се кључна машина (најчешће она која обавља ископ) и пратеће машине (остале машине у групи).

2.1.2. Ужи избор машина

Ужи избор машина се спроводи након ширег избора машина и треба да омогући оптимални избор машина, односно избор групе машина која има економску предност тј. најнижу цену јединице мере машинског рада, и која ће бити коришћена за извођење радова. Ужи избор обухвата следеће прорачуне:

1) Прорачун трошкова механизованог рада

Трошкови механизованог рада се рачунају да би се извршио рационалан избор машина за извођење радова. Потребно је израчунати цену ефективног сата рада грађевинских машина:

$$K_h = E_j + (E_e + E_{os}) \cdot (1 + \varphi) \quad [din/h] \quad (2)$$

где је:

K_h - цена ефективног сата рада грађевинских машина (дин/х)

E_j - једнократни трошкови (дин/х)

E_e - експлоатациони трошкови (дин/х)

E_{os} - трошкови основног средства (дин/х)

φ - режијски трошкови ($\varphi = 0,30-0,35$ за вишегодишње пројекте и $\varphi = 0,20-0,25$ за једногодишње пројекте).

Сви прорачуни који су потребни да би се израчунала цена сата рада грађевинских машина су дати у Табели 1.

2) Прорачун практичног учинка машина

Практични учинак грађевинских машина U_{pr} је учинак који се добија рачунским путем и за чији прорачун се користе рачунско-конструктивни показатељи машина и фактори утицаја средине и услова рада машина на градилишту (Dragović, 2011). Ти фактори утицаја су изражени преко редукционих коефицијената k који могу бити општи (јављају се код већине машина исте групе) или специфични (јављају се код одређене машине). Код машина које врше рад у циклусу, за прорачун вредности практичног учинка битан је број циклуса, капацитет радног дела и вредност редукционих коефицијената.

Формуле за прорачун практичног учинка багера, дозера и камиона који врше рад у циклусу, дате су у Табели 2.

3) Прорачун потребног броја машина

Потребан број машина се одређује према изразима:

$$N_{k.m.} = \frac{Q_h}{U_{pr k.m.}} \quad \text{и} \quad (6)$$

$$N_{p.m.} = \frac{N_{k.m.} \cdot U_{pr k.m.}}{U_{pr p.m.}}$$

где је:

$N_{k.m.}$ - број кључних машина

Q_h - часовна количина рада (јед. мере /h)

$U_{pr k.m.}$ - практични учинак кључне машине (јед. мере/h)

$U_{pr p.m.}$ - практични учинак пратеће машине (јед. мере/h)

Табела 1: Трошкови сата рада грађевинских машина
Table 1: Use costs of construction machinery per hour

Група трошкова	Формула
Једнократни трошкови E_j	$E_j = (p \cdot Nv) / n_{gr}$
	$p \cdot Nv$ - процентуална процена једнократних трошкова за машине за земљане радове $p = 0,01$ n_{gr} - планирани фонд радних часова машине на градилишту

Експлоатациони трошкови E_e	$E_e = E_{en} + E_{maz} + E_{rs} + E_{hab} + E_{ot}$
Трошкови утрошене енергије E_{en}	$E_{en} = q_{en} \cdot C_{en}; q_{en} = N \cdot q_s \cdot K_{op}$ q_{en} - количина утрошене енергије; C_{en} - цена утрошене енергије; N - номинална снага мотора q_s - специфична потрошња горива и K_{op} - коефицијент оптерећења мотора
Трошкови утрошеног мазива E_{maz}	$E_{maz} = q_{maz} \cdot C_{maz}; q_{maz} = N \cdot q_s \cdot K_{op}$ q_{maz} - количина утрошеног мазива; C_{en} - цена утрошеног мазива; N - номинална снага мотора q_s - специфична потрошња мазива и K_{op} - коефицијент оптерећења мотора
Трошкови радне снаге E_{rs}	$E_{rs} = (S_1 + S_2) \cdot f$ S_1 - нето сатнина руковаоца машине S_2 - нето сатнина помоћне радне снаге f - коефицијент режије (зависи од степена механизованости предузећа)
Трошкови хабања E_{hab}	$E_{hab} = p_{hab} \cdot E_{am}; E_{am} = p_{hab} \cdot \frac{p_z \cdot N_v}{n_g}$ p_{hab} - проценат хабања E_{am} - трошкови амортизације p_z - проценат за замену делова у односу на трошкове инвестиционог одржавања N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови текућег одржавања E_{ot}	$E_{ot} = p_{ot} \cdot E_{inv}; E_{inv} = \frac{p_{inv} \cdot N_v}{n_g}$ p_{ot} - проценат за текуће одржавање E_{inv} - трошкови инвестиционог одржавања p_{inv} - проценат за инвестиционе трошкове N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови основног средства E_{os}	$E_{os} = E_{am} + E_{inv} + E_{osig} + E_k + E_k$
Трошкови амортизације	$E_{am} = \frac{p_{am} \cdot N_v}{n_g}$ p_{am} - проценат амортизације N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови инвестиционог одржавања	$E_{inv} = \frac{p_{inv} \cdot N_v}{n_g}$ p_{inv} - проценат за инвестиционо одржавање N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови осигурања	$E_{osig} = \frac{p_{osig} \cdot N_v}{n_g}$

	p_{osig} - стопа осигурања N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови камате	$E_k = \frac{p_k \cdot N_v}{n_g}$ p_k - каматна стопа N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године
Трошкови машинске базе	$E_b = \frac{p_b \cdot N_v}{n_g}$ p_b - проценат за трошкове машинске базе N_v - набавна вредност машине n_g - број часова рада машине у току године

Табела 2: Практични учинак багера, дозера и камиона
Table 2. Practical performance of excavator, dozer and truck

Машина	Формула за прорачун практичног учинка (m ³ /h)
Багер	$U_{pr} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_o \cdot k_i \cdot k_{ut} \cdot k_v$ (3)
Дозер	$U_{pr} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_u \cdot k_v$ (4) $q = \frac{b \cdot h^2}{2tg\varphi} \cdot K_g$ $t_c = t_k + t_t + t_{pl} + t_{pov} + t_m$ $t_k = \frac{L_k}{V_k}; L_k = \frac{q}{d \cdot b}$ $t_t = \frac{L_t}{V_t};$ $t_{pl} = \frac{L_{pl}}{V_{pl}}; L_{pl} = \frac{q}{d_{pl} \cdot b}$ $t_{pov} = \frac{L_k + L_t + L_{pl}}{V_{pov}};$ $t_k, t_t, t_{pl}, t_{pov}, t_m$ - време копања, транспорта, планирања, повратка и маневрисања; L_k, L_t и L_{pl} - дужина копања, транспорта и планирања b и h - дужина и ширина даске дозера (m); φ - угао унутрашњег трења материјала K_g - коефицијент губитка земље d - дебљина слоја при копању (m); $V_k, V_t, V_{pl}, V_{pov}$ - брзина при копању, транспорту, планирању и повратку
Камион	$U_{pr} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_v$ (5) $t_c = t_u + t_p + t_i + t_{pr} + t_m$ $t_u = \frac{q \cdot K_v}{U_{pr}^{u.s.}};$ $t_u, t_p, t_i, t_{pr}, t_m$ - време утовара, транспорта пуног камиона, истовара, повратка празног камиона и време маневрисања

$t_p = \frac{l}{V_p};$ $t_{pr} = \frac{l}{V_{pr}};$	$U_{pr}^{u.s.}$ - практични учинак утоварног средства (m^3/h); l – транспортна дистанца (m) V_p, V_{pr} – брзина кретања пуног и празног камиона (m/min)
Где је: T - укупно време трајања рада $T=1h$ t_c - време трајања радног циклуса (h, min, s) q – капацитет радног дела машине (m^3) d_{pl} - дебљина слоја при планирању (m) k_p - коефицијент пуњења радног дела (0,40-1,10) k_r - коефицијент растреситости материјала (0,67-0,91) k_o - корекциони коефицијент за угао заокрета багера (0,64-1,22) k_i - коефицијент истовара материјала (0,90 или 1,0) k_{ut} - коефицијент усклађености транспорта (0,82-1,0) k_u - коефицијент успона (0,40-1,0) или пада (1,0-2,25) k_v - коефицијент коришћења радног времена (0,5-0,92)	

2.2.3. Оптималан избор машина

Оптималан избор машина за извођење радова се врши на основу цене јединице мере машинског рада, која се рачуна за све групе машина према изразу:

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n K_{hi}}{U_{pr\ k.m.}} \quad (\text{дин/јед. мере}) \quad (7)$$

где је:

C_k - цена јединице мере машинског рада,

$\sum_{i=1}^n K_{hi}$ - цена ефективног сата рада групе од n машина,

$U_{pr\ k.m.}$ - практични учинак кључне машине.

3. Резултати

3.1. Резултати ширег избора машина

1) Прорачун дневне и часовне количине рада

Према Пројекту за заштиту Петровца на Млави од поплава Петровачког потока, који је урађен 2021. у ВП Водопривреда, д.о.о. Пожаревац, као стручни рад дипл. инж. Немање Трујића, предвиђена је изградња три преграде од армираног бетона. Од земљаних радова које је потребно обавити машинским путем, планиран је ископ земље I, II и III категорије у широком откопу за тело преграде са темељом, утовар у камионе и транспорт до претходно одређених депонија од стране надзорног органа.

Из пројекта је усвојен обим земљаних радова, на основу чега је израчуна дневна и часовна количина рада према изразу (1). Усвојено је да је време извршења ископа материјала 1 дан и да је радно време осмочасовно.

Часовна количина рада за преграду број 1 износи 62,84 m³/h (502,68/8), за преграду број 2 је 65,96 m³/h (502,68/8), и за преграду број 3 износи 87,28 m³/h (398,24 /8).

2) Техничке карактеристике машина

У Табели 3 су дате техничке карактеристике багера, дозера и камиона, и то: назив машине, модел и тип, снага мотора, тежина машине, капацитет радног дела. Разматране су машине домаћих произвођача (булдозер 14. октобар и камион FAP), као и један булдозер и четири багера страних произвођача (Liebherr, Komatsu, Liu Gong и Hitachi). Техничке карактеристике машина су битни параметри који утичу на вредност учинка машине као и на трошкове сата рада машине.

Табела 3. Техничке карактеристике машина
Table 3. Technical characteristics of machines

Назив машине	Модел и тип	Снага мотора	Тежина машине	Капацитет радног дела	Цена закупа са оператером и горивом** din/h
Багер Liebherr	R 916 Litronic	115 kW	24.300 kg	1,0 m ³	9.878,44
Багер Komatsu	PC210LC-8	110 kW	22.260 kg	0,66 m ³	9.540,31
Багер Liu Gong	205 C	108 kW	20.600 kg	1,0 m ³	9.540,31
Багер Hitachi	280 LCN-3	110kW	21.500 kg	0,93 m ³	9.966,65
Булдозер 14. октобар	TG 140	107 kW	17.960kg	3,24x1,15m	7.150,22
Булдозер Komatsu	D61 EX-24-EQ	126 kW	18.5333 kg	3,24m ³	7.958,33
Камион FAP Kiper	1921 BK	151kW	10.450kg 19.000 kg*	7,04m ³	5.347,36

*дозвољена укупна маса камиона

**према ценовнику ангажовања механизације Водопривреде д.о.о. Пожаревац

3) Табеле ширег избора машина

У Табели 4. су дате групе машина где операцију ископа и утовара земљаног материјала обавља багер, транспорт камион, а разастирање материјала булдозер.

Табела 4. Табела ширег избора машина
Table 4. Table with machines and working operations

Група машина	Назив машине	Радне операције				
		ископ	утовар	транспорт	истовар	разастирање
1	Багер Liebherr	*	*			
	Камион FAP Kiper			*	*	
	Булдозер 14. октобар					*
2	Багер Komatsu	*	*			
	Камион FAP Kiper			*	*	
	Булдозер 14. октобар					*
3	Багер Liu Gong	*	*			
	Камион FAP Kiper			*	*	
	Булдозер 14. октобар					*
4	Багер Hitachi	*	*			
	Камион FAP Kiper			*	*	
	Булдозер 14. октобар					*

Поред ове четири варијанте машина, могуће је направити још четири које би биле исте као групе машина дате у Табели 4, само би уместо булдозера 14. октобар домаће производње, био анагажован булдозер јапанске корпорације Komatsu.

3.2. Резултати ужег избора машина

1) Цена ефективног сата рада грађевинских машина

Цена ефективног сата рада грађевинских машина се рачуна према изразима датим у Табели 1. У раду нису рачунате ове цене већ су усвојене цене којима располаже Водопривреда д.о.о. из Пожаревца које су приказане у Табели 3.

2) Прорачун практичног учинка машина

У Табели 2 су дате формуле за прорачун Ург багера, дозера и камиона који су планирани за извршење радних операција код изградње бујичних преграда. Ове машине врше рад у циклусу који се састоји из одређених радних операција које се понављају у току процеса извршења рада.

Код прорачуна практичног учинка багера усвојен је угао заокрета од 90° , услед чега је $K_o=1,0$, а због истовара материјала који се обавља у возило, $K_i=0,90$. Услови рада су узети као просечни и вредност коефицијента K_v износи $0,75$. Усвојено време трајања радног циклуса t_c свих багера је 20 секунди, и нешто краће, од 18 секунди је усвојено за багер Komatsu који има мањи капацитет кашике.

Према изразу (3) учинак багера износи:

$$U_{pr} \text{ багера Liebherr и Liu Gong} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_o \cdot k_i \cdot k_{ut} \cdot k_v = \frac{3600}{20} \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,75 = 95,26 \text{ m}^3/h$$

$$U_{pr} \text{ багера Komatsu} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_o \cdot k_i \cdot k_{ut} \cdot k_v = \frac{3600}{18} \cdot 0,66 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot 0,75 = 65,58 \text{ m}^3/h$$

$$U_{pr} \text{ багера Hitachi} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_o \cdot k_i \cdot k_{ut} \cdot k_v = \frac{3600}{20} \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,75 = 88,59 \text{ m}^3/h$$

Код прорачуна практичног учинка булдозера усвојене су брзине кретања при планирању од 70 m/min , и повратку назад од 100 m/min . Према изразу (4) практични учинак булдозера 14. октобар и булдозера Komatsu износи:

$$U_{pr} \text{ булдозера 14.октобар} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_u \cdot k_v$$

$$q = \frac{b \cdot h^2}{2tg\varphi} \cdot K_g = \frac{3,24 \cdot 1,15^2}{2 \cdot 0,65} \cdot 0,85 = 2,80 \text{ m}^3$$

$$L_{pl} = \frac{q}{a_{pl} \cdot b} = \frac{2,80}{0,15 \cdot 3,24} = 5,76 \text{ m}; t_{pl} = \frac{5,76}{70} = 0,082 \text{ min};$$

$$t_{pov} = \frac{L_k + L_t + L_{pl} - 5,76}{V_{pov}} = \frac{100}{100} = 0,058 \text{ min}$$

$$t_m = 0,40 \text{ min}$$

$$t_c = t_{pl} + t_{pov} + t_m = 0,082 + 0,058 + 0,40 = 0,54 \text{ min}$$

$$U_{pr} \text{ булдозера 14.октобар} = \frac{60}{0,54} \cdot 2,80 \cdot 0,90 \cdot 0,80 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 168 \text{ m}^3/h$$

$$U_{pr} \text{ булдозера Komatsu} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_u \cdot k_v$$

$$q = 3,24 \text{ m}^3$$

$$L_{pl} = \frac{q}{a_{pl} \cdot b} = \frac{3,24}{0,15 \cdot 3,25} = 6,65 \text{ m}; t_{pl} = \frac{6,65}{70} = 0,095 \text{ min};$$

$$t_{pov} = \frac{L_k + L_t + L_{pl} - 6,65}{V_{pov}} = \frac{100}{100} = 0,0665 \text{ min}$$

$$t_m = 0,40 \text{ min}$$

$$t_c = t_{pl} + t_{pov} + t_m = 0,095 + 0,0668 + 0,40 = 0,562 \text{ min}$$

$$U_{pr} \text{ булдозера 14.октобар} = \frac{60}{0,562} \cdot 3,24 \cdot 0,90 \cdot 0,80 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 186,79 \text{ m}^3/h$$

Према изразу (5) практични учинак камиона кипера износи:

а) када утовар врши багер Liebherr или багер Liu Gong:

$$U_{pr} = \frac{T}{t_c} \cdot q \cdot k_p \cdot k_r \cdot k_v$$

$$t_c = t_u + t_p + t_i + t_{pr} + t_m$$

$$t_u = \frac{7,04 \cdot 0,75}{95,26} = 0,055 \text{ h} = 3,3 \text{ min};$$

Усвојене су брзине кретања камиона: $V_p = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$; $V_{pr} = 60 \text{ km/h}$

$$t_p = \frac{2}{40} = 0,05 \text{ h} = 3,0 \text{ min};$$

$$t_{pr} = \frac{2}{60} = 0,033 \text{ h} = 2,0 \text{ min};$$

Усвојено је $t_i = 0,30 \text{ min}$ и $t_m = 1,30 \text{ min}$

$$t_c = 3,3 + 3,0 + 0,3 + 2,0 + 1,3 = 9,9 \text{ min}$$

$$U_{pr} = \frac{60}{9,9} \cdot 7,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 25,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

б) када утовар врши багер Komatsu

Од претходног прорачуна U_{pr} камиона, разликује се само време утовара које износи:

$$t_u = \frac{7,04 \cdot 0,75}{65,58} = 0,081 \text{ h} = 4,86 \text{ min}$$

$$t_c = 4,86 + 3,0 + 0,3 + 2,0 + 1,3 = 11,46 \text{ min}$$

$$U_{pr} = \frac{60}{11,46} \cdot 7,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 22,11 \text{ m}^3/\text{h}$$

в) када утовар врши багер Hitachi

$$t_u = \frac{7,04 \cdot 0,75}{88,59} = 0,060 \text{ h} = 3,58 \text{ min}$$

$$t_c = 3,58 + 3,0 + 0,3 + 2,0 + 1,3 = 10,18 \text{ min}$$

$$U_{pr} = \frac{60}{10,18} \cdot 7,04 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,75 = 24,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

3) Одређивање потребног броја машина у групи

Кључна машина у свим групама машина је багер, док су остале машине у машино-саставима пратеће машине. Потребан број багера и пратећих машина је израчунат према изразу (6). Узета је часовна количина рада за преграду 1, али је у случају изградње све три преграде учинак багера већи од часовне количине рада, па је један багер довољан за обављање посла.

За 1. и 3. машино-састав:

$$N_{\text{багера Liebherr, багера Liu Gong}} = \frac{62,84}{95,26} = 1$$

$$N_{\text{камиона FAP Kiper}} = \frac{1 \cdot 95,26}{25,6} = 4$$

$$N_{\text{булдозера 14.октобар}} = \frac{1 \cdot 95,26}{168} = 1$$

за 2. машино-састав:

$$N_{\text{багера Komatsu}} = \frac{62,84}{65,58} = 1$$

$$N_{\text{камиона FAP Kiper}} = \frac{1 \cdot 65,58}{22,11} = 3$$

$$N_{\text{булдозера 14.октобар}} = \frac{1 \cdot 65,58}{168} = 1$$

за 4. машино-састав:

$$N_{\text{багера Hitachi}} = \frac{62,84}{88,59} = 1$$

$$N_{\text{камиона FAP Kiper.}} = \frac{1 \cdot 88,59}{24,90} = 4$$

$$N_{\text{бульдозера 14.октобар.}} = \frac{1 \cdot 88,59}{168} = 1$$

3.3. Резултати оптималног избора машина

Да би се изабрао оптималан машино-састав и направио рационалан избор механизације за извођење радова на уређењу Петровачког потока, израчуната је цена јединице мере машинског рада C_k преам изразу (7), а резултати су дати у Табели 5.

Најнижу цену јединице мере машинског рада C_k има 3. варијанта машина у саставу: 1 багер Liu Gong Litronic, 4 камиона FAP 1921 BK и 1 Булдозер 14. октобар TG 140. У случају замене булдозера 14. октобар булдозером Komatsu, само би се повећала цена јединице мере машинског рада, која би за 3. машино-састав износила 408,23 din/m³.

Табела 5. Прорачун цене јединице мере машинског рада
Table 5. Calculation of price of 1 m³ of mechanized work

Ре д. бр	Назив машине	Upr	n	n·Upr	Kh	n·Kh	Σ n·Kh	Σ n·Kh/n· Upr-km
		m ³ /h	/	m ³ /h	din/h	din/h	din/h	din/m ³
1	Багер Liebherr	95,26	1	95,26	9.878,44	9.878,44	38.418,10	403,30
	Камион FAP	25,60	4	102,40	5.347,36	21.389,44		
	Булдозер 14. октобар	168,00	1	168,00	7.150,22	7.150,22		
2	Багер Komatsu	65,58	1	65,58	9.540,31	9.540,31	32.732,61	499,12
	Камион FAP	22,11	3	66,33	5.347,36	16.042,08		
	Булдозер 14. октобар	168,00	1	168,00	7.150,22	7.150,22		
3	Багер Liu Gong	95,26	1	95,26	9.540,31	9.540,31	38.079,97	399,75
	Камион FAP	25,60	4	102,40	5.347,36	21.389,44		
	Булдозер	168,00	1	169,00	7.150,22	7.150,22		

	14. октобар							
4	Багер Hitachi	88,59	1	88,59	9.966,65	9.966,65	38.506,31	434,66
	Камион FAP	24,90	4	99,60	5.347,36	21.389,44		
	Булдозер 14. октобар	168,00	1	168,00	7.150,22	7.150,22		

U_{pr} - практични учинак; n- број једнаких машина у групи; n·U_{pr} - укупни практични учинак; K_h- цена ефективног сата рада машине; n·K_h - цена ефективног сата рада једнаких машина; Σ n·K_h - цена ефективног сата рада свих машина у групи и n·K_h/n·U_{pr-km} - цена јединице производа машинског рада

4. ЗАКЉУЧЦИ

У овом раду је разматран рационалан избор механизације за извођење земљаних радова на уређењу бујичних сликова на примеру уређења Петровачког потока изградњом преграда. Адекватан избор машина за извођење радова је извршен кроз шири избор, ужи избор и оптималан избор машина.

У оквиру ширег избора машина су дефинисане расположиве машине, које су груписане у 4 машино-састава, тако да обављају радне операције издвојене у оквиру технолошког процеса земљаних радова, односно ископ, утовар, транспорт, истовар и разастирање материјала. Од машина су одабране: багер (произвођача Liebherr, 14. октобар, Liu Gong Hitachi), камион (FAP) и булдозер (14. октобар и Komatsu). У свим машино-саставима, багер је кључна машина која обавља кључну радну операцију – ископ земље. Поред тога, багер обавља и утовар материјала у транспортно средство. Транспорт материјала обавља камион кипер, а разастирање булдозер.

У оквиру ужег избора машина је прорачунат практични учинак расположивих машина, одређен је број кључних и пратећих машина у машино саставу, док је цена ангажовања по сату усвојена из предузећа Водопривреда из Пожаревца. На основу ова три параметра, за све четири групе машина је одређена цена јединице мере машинског рада. Најнижа вредност цене 1m³ земље је установљена за 3. машино састав, где је највећа цена сата рада машина у групи (38.079,97 дин), али и где је највећи учинак багера Liu Gong (95,26 m³/h). Сличне вредности су добијене и за први машино састав где је ангажован багер Liebherr истог капацитета радног дела и истог учинка као и багер Liu Gong, али и нешто веће цене сата рада.

На основу резултата рада може се закључити да је битно спровести све три фазе избора машина како би се утврдило који машино састав односно група машина представља рационални избор. Посебно је важно проучавање рада багера као кључне машине, од чијег учинка зависи и потребан учинак и број пратећих машина у машино-саставима.

5. ЛИТЕРАТУРА

(2018): Zakon o vodama https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_vodama.html

Chinchore, N.D. Khare, P.R. (2014): Planning and Selection of Heavy Construction Equipment in Civil Engineering. Int. Journal of Engineering Research and Applications 4 (12), 29-31.

Dragović, N. (1992): Iskorišćenost građevinskih mašina za zemljane radove pri uređenju bujičnih vodotoka. Glasnik Šumarskog fakulteta, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, 739-745.

Dragović, N. (2011): *Mehanizacija u protiverozionim radovima*, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, Beograd, 215p.

Dragović, N. (2020). *Organizacija protiverozionih radova*. Materijal za pripremu ispita, 2020.

Dragović, N. Vulević, T. (2016): Primena mehanizacije u vodoprivredi: Analiza stanja i perspective razvoja. Traktori i pogonske mašine 21 (4), 62-68.

Stefanovic A. (1980): *Gradjevinske mašine I*, Gradjevinska knjiga Beograd, 652 p.

Trujić, N. (2021): Projekat za zaštitu Petrovca na Mlavi od poplava Petrovačkog potoka, stručni rad, VP Vodoprivreda, d.o.o., Požarevac

Veselinović, M., Dragović, N. (1989/1990): Istraživanja mogućnosti racionalnog korišćenja mehanizacije kod protiverozionih radova. Glasnik Šumarskog fakulteta, Univerzitet u Beogradu Šumarski fakultet, 69-94.