



OTMC 2017 **Conference**

27-30 September 2017, Poreč, Croatia

www.otmc2017.com



CONFERENCE PROCEEDINGS

Croatian Association for Construction Management

University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering

13TH INTERNATIONAL CONFERENCE

**ORGANIZATION, TECHNOLOGY AND
MANAGEMENT IN CONSTRUCTION**

**CONFERENCE
PROCEEDINGS**

Zagreb, 2017



Published by:



Croatian Association for Construction Management



University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering

Editors: Anita Cerić, Martina Huemann, Mladen Radujković, Mladen Vukomanović, Ivica Završki

Design: ProConventa d.o.o.

Printed by: Tiskara Zelina, September 2017

ISBN 978-953-8168-21-5

Odabir optimalnog strojnog sustava na projektima s izraženim zemljanim radovima

Luka Štritof^a, Zvonko Sigmund^{a1}, Mladen Vukomanović^a

^aFaculty of Civil Engineering, University of Zagreb, Croatia

Abstract:

U praksi odabir optimalnog strojnog sustava se u glavnom svodi na odabir financijski najpovoljnijeg strojnog sustava, ili na izbor dostupnih strojeva pojedinog izvođača. Ovakav pristup sa sobom nosi velik broj nepoznanica, obzirom su projektne cijene i količine u glavnom samo procjena realnog stanja materijala, strojeva i njihove interakcije. U radu se nudi drugačiji pristup za odabir optimalnog strojnog sustava, a koji u obzir uzima i pouzdanost strojnih sustava.

Istraživanje se provelo na projektu hidrotehničkog nasipa duljine 2,5km. Za potrebe istraživanja za izbor optimalnog strojnog sustava ponuđene su tri varijante strojnih sustava koji izvršavaju rad na izvedbi hidrotehničkog nasipa. Za svaku od ponuđenih varijanti procijenjena je vrijednost radova, te pouzdanost strojnih sustava. Usporedbom rezultata analize vrijednosti radova i pouzdanosti odabran je optimalni strojni sustav. Nadalje, kako bi se prikazala potencijalna netočnost analize projektantskih procjena troškova u radu se analizira i raspon u troškovima koji se mogu dobiti samo neadekvatnim odabirom koeficijenata rada pri procjeni učinka strojnih sustava.

Keywords: pouzadnost; troškovi rada; strojni sustavi; optimalan izbor; varijantna rješenja

1. Uvod

Odabir optimalne varijante najčešće se temelji samo na praktičnom učinku stroja odnosno strojnog sustava iz razloga što je najčešće vrijeme, odnosno vremenski rok ograničavajući parametar u planiranju izvođenja radova. Uz praktični učinak stroja, kao relevantna za odabir promatra se naravno i cijena koštanja strojnog sustava, a pokazat će se da se može promatrati i njegova pouzdanost. Provedeno je nekoliko studija o razvoju alata i metodologija koji za cilj imaju optimizaciju strojnog sustava, a ovo će se istraživanje nadovezati na studiju Bezaka i Linarića (2009) koji su u svom su radu opisali metodologiju izračuna cijene koštanja radnog sata strojeva s naglaskom na primjenjivost metodologije u području izgradnje vodnogospodarskih građevina.

Cilj ovog rada je izbor strojeva koji najviše odgovaraju tehničkim karakteristikama projekta uzimajući u obzir učinak, trošak i pouzdanost strojeva kao glavna mjerila opravdanosti odabira. Glavna pretpostavka je da superpozicija tih mjerila daje dovoljan podatak na temelju

¹ Corresponding author. E-mail: zsigmund@grad.hr

kojeg je moguće odabrati optimalan strojni sustav i u slučajevima kada usporedba učinaka i troškova rada ne daju dovoljnu količinu podataka da bi se omogućio jednostavan odabir, a koji ne zahtjeva ekspertno znanje i iskustvo.

Istraživanje se provodi na projektu hidrotehničkog nasipa duljine 2,5 km. Za analizu u okviru istraživanja za izbor optimalnog strojnog sustava ponuđene su tri varijante strojnih sustava koji izvršavaju rad na izvedbi hidrotehničkog nasipa. Za svaku od ponuđenih varijanti procijenjena je vrijednost radova te pouzdanost strojnih sustava. Usporedbom rezultata vrijednosti radova i pouzdanosti odabran je optimalni strojni sustav. Nadalje, kako bi se pobliže prikazali potencijalni nedostaci analize projektantskih procjena troškova, u radu se analizira i raspon u troškovima koji mogu nastati samo neadekvatnim odabirom koeficijenata rada pri procjeni učinka strojnih sustava.

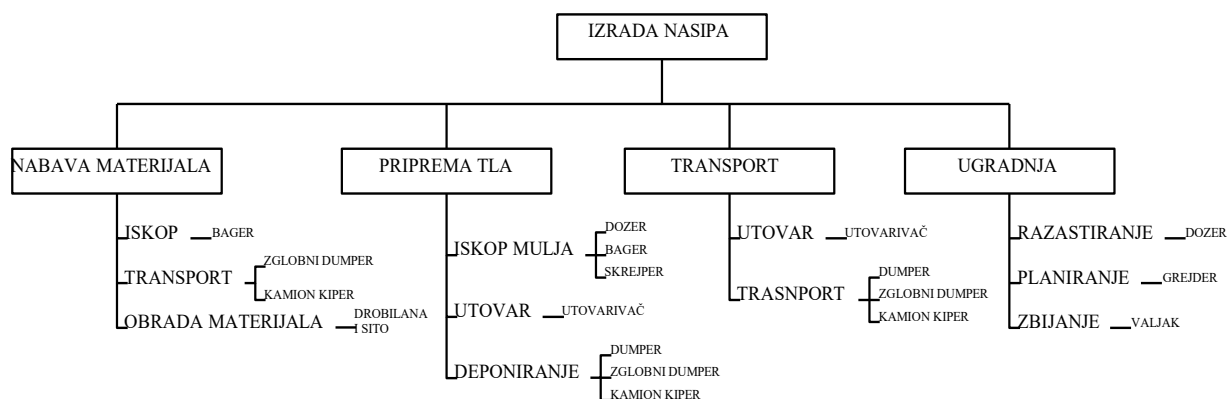
2. Materijali i metode

Projekt koji je poslužio kao podloga istraživanju je projekt izgradnje nasipa u duljini od 2,5 km. Razlog tome je primjenjivost metodologije za rad strojeva na projektima sa zemljanim radovima velikog obujma s naglaskom na vodno-gospodarskim objektima što rezultira značajnom zastupljenošću strojnog rada. Istraživanje je započelo identificiranjem aktivnosti izgradnje i njihovih radnih operacija kako bi se svakoj od njih aplicirao adekvatan stroj za izvršenje pojedinog rada. Tako je u konačnici dobivena jedna od varijanti strojnog sustava, a na isti način kreirane su i dodatne dvije kombinacije. Potom je za svaku od kombinacija, na temelju očekivanih građevinskih uvjeta, izračunat učinak stroja, a zatim i strojnog sustava nakon čega je slijedio izračun cijene radnog sata strojeva te na kraju izračun pouzdanosti stroja i strojnog sustava. Ova tri parametra svedena su zatim na jedan, na temelju kojeg je izvršen konačni odabir.

U drugom dijelu istraživanja provest će se analiza kojom će se prikazati raspon procijenjenih troškova s obzirom na odabir vrijednosti koeficijenata rada u metodološkom pristupu Z Linarića (2007). Analizirat će se utjecaj organizacije gradilišta, radnog vremena i radnog prostora na troškove triju različitih strojeva.

3. Rezultati istraživanja

Kao prvi korak u analizi, proveden je odabir strojeva i definiranje varijanti strojnih sustava. Kreirane su tri varijante s razlikama u aktivnostima i izvršiteljima. Određen je broj strojeva za svaku aktivnost i učinak strojnog sustava pojedine aktivnosti.



Ilustracija 1. WBS – širi izbor strojeva

Tablica 1. Učinak strojeva i strojnih sustava

Varijanta	Aktivnost	Operacija	Stroj	Učinak [m ³]	Količina	Učinak radne grupe [m ³]
1	Nabava materijala	Iskop materijala	Bager	138,24	3	414,72
		Transport	Kamion kiper	74,87	6	
		Obrada materijala	Postrojenje za obradu	689,66	1	
	Priprema tla	Iskop mulja	Dozer	366,39	1	366,39
		Utovar	Utovarivač	210,76	2	
		Deponiranje	Zglobni damper	75,01	5	
	Transport	Utovar	Utovarivač	200,22	2	389,46
		Transport	Zglobni damper	64,91	6	
	Ugradnja	Razastiranje	Dozer	418,46	1	410
		Planiranje	Grejder	205	2	
		Zbijanje	Valjak	212,35	2	
2	Nabava materijala	Iskop materijala	Bager	138,24	3	414,72
		Transport	Kamion kiper	74,87	6	
		Obrada materijala	Postrojenje za obradu	689,66	1	
	Priprema tla	Iskop mulja, deponiranje	Skrejper	90,61	4	362,44
		Utovar	Utovarivač	200,22	2	
	Transport	Transport	Kamion kiper	57,13	7	399,91
		Utovar	Utovarivač	200,22	2	
	Ugradnja	Razastiranje	Dozer	418,46	1	410
		Planiranje	Grejder	205	2	
		Zbijanje	Valjak	212,35	2	
3	Nabava materijala	Iskop materijala	Bager	155,52	3	457,25
		Transport	Zglobni damper	91,45	5	
		Obrada materijala	Postrojenje za obradu	689,66	1	
	Priprema tla	Iskop mulja	Bager	155,52	3	439,46
		Deponiranje	Zglobni damper	62,78	7	
	Transport	Utovar	Utovarivač	200,22	2	389,46
		Transport	Zglobni damper	64,91	6	
	Ugradnja	Razastiranje	Dozer	418,46	1	410
		Planiranje	Grejder	205	2	
		Zbijanje	Valjak	212,35	2	

Sljedeći parametar koji se analizira je cijena radnog sata stroja, pri izračunu koje je korištena metodologija Bezaka i Linarića prema kojoj izračun obuhvaća četiri vrste troškova: obveze (css_o), troškove održavanja stroja (css_{od}), troškove pogona stroja (css_p) i troškove rada strojem (css_R). U izraz za izračun cijene radnog sata potrebno je uvrstiti i dobit (d), koja se računa kao određeni postotak od zbroja troškova obveza, održavanja i pogona stroja pa tako dobivamo:

$$pcss = css_o + css_{od} + css_p + css_R + d \quad (1)$$

Cijene radnih sati 8 korištenih strojeva dane su u sljedećoj tablici:

Tablica 2. Cijene radnog sata strojeva

Stroj	Cijena radnog sata [kn]
Bager	857,07
Dozer	1.538,85
Skrejper	1.711,10
Utovarivač	983,3
Zglobni damper	1.214,34
Kamion kiper	756,98
Grejder	709,45
Valjak	460,72

Zadnji korak analize je izračun pouzdanosti strojeva koja se može definirati kao vjerojatnost da će stroj izvršiti zadani zadatak uzimajući u obzir uvjete u kojima se rad smatra izvršenim. Pouzdanost nekog stroja temelji se na njegovoj dotrajalosti i degradaciji kroz korištenje, a može poprimiti vrijednosti između 0 i 1.

Prema konceptu pouzdanosti (Vukomanović, 2017.), strojevi i tehnološka oprema u nekom sustavu mogu biti povezani serijski, paralelno ili kombinacijom tih dvaju načina. Osnovna karakteristika serijske povezanosti je da otkazom jednog od elemenata sustava cijeli sustav nužno prestaje djelovati, dok kod paralelne povezanosti u slučaju otkaza jednog od elemenata sustav nastavlja djelovati sa smanjenim učinkom. Pouzdanost nekog postrojenja, odnosno sustava sastavljenog od 2 ili više stroja možemo izračunati na sljedeći način:

Redna (serijska) povezanost:

$$P_{e,sustava} = P_{e1} \times P_{e2} \times \dots \times P_{en}$$

Paralelna povezanost:

$$P_{e,sustava} = 1 - [(1 - P_{e1}) \times (1 - P_{e2}) \times \dots \times (1 - P_{en})]$$

pri čemu je P_e pouzdanost pojedinog stroja u sustavu.

Slijedom dvaju prethodno navedenih izraza možemo izračunati pouzdanost svakog od definiranih strojnih sustava, odnosno varijanti. Dobiveni rezultati dani su sljedećom tablicom 3.

Iako su glavni parametri za odabir identificirani kao učinak strojnog sustava, odnosno ukupno trajanje strojnog rada, zatim cijena radnog sata stroja, odnosno ukupna cijena strojnog rada te pouzdanost strojnog sustava, konačni odabir vrši se na temelju jednog podatka koji obuhvaća sve navedene, a to je omjer troškova i pouzdanosti strojnog sustava (varijante). Primarno, ukupni trošak po varijanti strojnog rada sveden je na jedinični pa zatim podijeljen s pouzdanošću varijante. Konačni rezultat je omjer troška i pouzdanosti koji predstavlja cijenu izgradnje jednog kubičnog metra nasipa, a koja preko pouzdanosti u obzir uzima i mogućnost kvara stroja te popravke istog, odgode i zastoje u radu. Na kraju, najpovoljnijom se pokazala druga varijanta čija je cijena 83,41 kn/m³, kako je prikazano u tablici 4.

Tablica 3. Pouzdanost strojeva i strojnih sustava

Varijanta	Aktivnost	Stroj	Broj strojeva	Pouzdanost stroja	Pouzdanost aktivnosti	Pouzdanost varijante
1	Nabava materijala	Bager	3	0,91	0,999	0,585
		Kamion kiper	6	1		
		Postrojenje za obradu	1	1		
	Priprema tla	Dozer	1	0,8	0,768	
		Utovarivač	2	0,8		
		Zglobni damper	5	0,8		
	Transport	Utovarivač	2	0,8	0,96	
		Zglobni damper	6	0,8		
	Ugradnja	Dozer	1	0,8	0,794	
		Grejder	2	1		
		Valjak	2	0,91		
2	Nabava materijala	Bager	3	0,91	0,999	0,76
		Kamion kiper	6	1		
		Postrojenje za obradu	1	1		
	Priprema tla	Skrepper	4	0,8	0,998	
	Transport	Utovarivač	2	0,8	0,96	
		Kamion kiper	7	1		
	Ugradnja	Dozer	1	0,8	0,794	
		Grejder	2	1		
		Valjak	2	0,91		
3	Nabava materijala	Bager	3	0,91	0,999	0,761
		Zglobni damper	5	0,8		
		Postrojenje za obradu	1	1		
	Priprema tla	Bager	3	0,91	0,999	
		Zglobni damper	7	0,8		
	Transport	Utovarivač	2	0,8	0,96	
		Zglobni damper	6	0,8		
	Ugradnja	Dozer	1	0,8	0,794	
		Grejder	2	1		
Valjak		2	0,91			

Tablica 4. Konačni odabir strojnog sustava

Varijanta	Jedinična cijena [kn/h]	Jedinična cijena [kn/m3]	Ukupna cijena [kn]	Pouzdanost	Jedinična cijena / pouzdanost [kn/m3]
1	10.257,20	76,38	57.346.700,87	0,585	130,56
2	7.774,45	63,39	49.743.748,33	0,760	83,41
3	9.049,49	77,31	58.812.075,31	0,761	101,59

U ovoj situaciji odabir najpovoljnije varijante bio je relativno očigledan već na temelju prethodnih parametara, ponajviše na temelju cijene koštanja strojnog sustava, međutim može se reći da se radi o slučajnosti. Naime, ako usporedimo cijenu koštanja prve i treće varijante možemo vidjeti da je razlika mala, a čak ide i u korist prve varijante dok pouzdanost ide u korist treće te bi tek na temelju omjera troška i pouzdanosti mogli donijeti odluku o odabiru. Može se dakle zaključiti da taj omjer može biti odlučujući kod konačnog odabira strojnog sustava u slučaju kada su od dvije ili više varijanti troškovno slične.

4. Nepouzdanost projektantskih procijenjenih cijena

Kao što je rečeno, analizirat će se utjecaj koeficijenata kojima se uzima u obzir organizacija gradilišta, iskorištenje radnog vremena i ograničenja u prostoru rada stroja na ukupne troškove strojnog rada, odnosno na cijenu koštanja strojnog rada. To su koeficijenti koji uglavnom ne ovise o vrsti stroja već o organizaciji i planiranju strojnog rada, što znači da se na njih u jednom dijelu može utjecati. Oscilacije u troškovima pokazat će se na primjerima bagera, dozera i utovarivača.

Učinci i cijene ovih strojeva s odabranim srednjim vrijednostima tih koeficijenata prikazani su u tablici 5.

Tablica 5. Učinci strojeva i cijene s srednjim vrijednostima koeficijenata ispravke

Stroj	Operacija	Učinak [m ³ /h]	Trajanje [h]	Jedinična cijena [kn/h]	Ukupni troškovi [kn]
Bager	Iskop	138,24	7.167,58	857,07	6.143.117,79
Dozer	Iskop guranjem	366,39	776,56	1.538,85	1.195.009,36
Utovarivač	Utovar	200,22	4.948,79	983,30	4.866.145,21

Kako bi se prikazao raspon u kojem ovi parametri mogu poprimati vrijednosti, odabrat će se i najmanje i najveće vrijednosti navedenih koeficijenata, a rezultati prikazati tablično. U tablici 6 prikazani su rasponi koeficijenata ispravke vezani uz organizaciju građenja, dok tablica 7 prikazuje aproksimacije koeficijenta radnog vremena koji se koriste u vidu koeficijenta ispravke za radno vrijeme.

Tablica 6. Aproksimacija koeficijenta organizacije gradilišta

Uvjeti strojnog rada	Vrsta stroja				
	Dozer	Utovarivač	Bager (utovar)	Bager (iskop)	Damper
Dobri	0,83	0,83	0,83	0,83	0,8
Prosječni	0,8	0,8	0,8	0,75	0,7
Loši	0,75	0,75	0,75	0,67	0,6
Nezadovoljavajući	0,7	0,7	0,7	0,58	0,5

Tablica 7. Aproksimacija koeficijenta radnog vremena

Odlično korištenje radnog vremena	$k_{rv} = 0,92$ (efektivni rad od 55 minuta na sat)
Dobro korištenje radnog vremena	$k_{rv} = 0,84$ (efektivni rad od 50 minuta na sat)
Slabo korištenje radnog vremena	$k_{rv} = 0,75$ (efektivni rad od 45 minuta na sat)

Koeficijent radnog prostora krp može se pretpostaviti da kod radova u slobodnom preglednom širokom prostoru iznosi oko 1, dok u slučaju ograničenja slobode kretanja stroja u prostoru iznosi oko 0,95.

Nakon uvrštavanja vrijednosti ovih koeficijenata u izraze, dobivene su najveće i najmanje moguće vrijednosti učinaka ovih triju strojeva. Analogno tome izračunata su i trajanja rada te troškovi rada. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 8 i tablici 9.

Tablica 8. *Vrijednosti s najvećim vrijednostima koeficijenata*

Stroj	Operacija	Učinak [m ³ /h]	Trajanje [h]	Jedinična cijena [kn/h]	Ukupni troškovi [kn]
Bager	Iskop	169,92	5.831,25	857,07	4.997.791,05
Dozer	Iskop guranjem	417,68	681,20	1.538,85	1.048.267,14
Utovarivač	Utovar	226,34	4.377,69	983,30	4.304.582,43

Tablica 9. *Vrijednosti s najmanjim vrijednostima koeficijenata*

Stroj	Operacija	Učinak [m ³ /h]	Trajanje [h]	Jedinična cijena [kn/h]	Ukupni troškovi [kn]
Bager	Iskop	92,16	10.751,37	857,07	9.214.677,25
Dozer	Iskop guranjem	271,12	1.049,44	1.538,85	1.614.931,47
Utovarivač	Utovar	147,99	6.695,36	983,30	6.583.547,45

Vidljivo je da učinak stroja značajno ovisi o odabiru ovih koeficijenata. Raspon u kojem učinci mogu poprimiti vrijednosti iznosi čak preko 80% minimalne vrijednosti za bager. Analogno tome se i ukupni troškovi pojavljuju u tom rasponu – rad jednog bagera u tom slučaju košta preko 4 milijuna kuna više u odnosu na dobro isplaniran i organiziran rad. Jasno je dakle kolika može biti nepreciznost u procjeni ukupnih troškova u nekom projektu.

5. Zaključak

Primijenjena metodologija izračuna parametara na temelju kojih se provodi odabir optimalnog strojnog sustava bila je primjenjiva za analizu ovog projekta. Ona koristi veliku i sveobuhvatnu bazu ulaznih podataka relevantnih za izračune, čime se može dobiti velika preciznost rezultata. Također je moguće znatno manipulirati rezultatima retroaktivnim unosom ulaznih podataka koji kao takvi mogu oscilirati, a također u vidu oscilacija konačnih rezultata, što u određenim situacijama istraživaču može biti korisno. Ono što može predstavljati problem ove metodologije je prikupljanje, dostupnost i točnost ulaznih podataka, koji ukoliko nisu precizni vrlo brzo akumuliraju ukupnu nepreciznost i to u značajnoj veličini, što za posljedicu opet može imati značajnu oscilaciju krajnjeg rezultata.

Izbor strojeva za izvođenje radova, kao što se moglo vidjeti, ovisi o velikom broju i vrstama ulaznih podataka, od kojih najčešće nisu svi dostupni, a i ako jesu, ne znači da su nužno točni i dovoljno precizni, što predstavlja svojevrsno ograničenje u istraživanju. Tehničke specifikacije strojeva, karakteristike tla, karakteristike gradilišta, dostupnost resursa, mogućnosti nabave i način kreditiranja nabave strojeva neki su od podataka na koje se ne može utjecati, a utječu na ukupne troškove strojnog rada. Što se tiče prikazanih triju varijanti strojnog sustava, njihove točnosti rezultata mogu biti upitne s obzirom na takvo ograničenje u dostupnosti ulaznih podataka, no, kako su za sve varijante korišteni isti ulazni podaci, tako one imaju i odstupanja

u istoj ili vrlo sličnoj mjeri, što daje istraživaču legitimno pravo na međusobnu usporedbu varijanti, a budući da je zadatak ovog rada upravo odabir optimalnog strojnog sustava između više potencijalnih, može se još jednom reći da je metodologija primjenjiva za traženi cilj.

Literatura

Bezák, S., Linarić, Z.: Metodološki pristup proračuna troškova strojnog rada pri građenju, GRAĐEVINAR, 61, (2009), 1, pp. 23-27.

Zdravko Linarić - Leksikon strojeva i opreme za proizvodnju građevinskih materijala, Učinci za strojeve i vozila pri zemljanim radovima, biblioteka Mineral, Business Media Croatia, Zagreb, 2007.

Mladen Vukomanović – Građevinski strojevi: Učinkovitost i pouzdanost tehničkih sustava - predavanja



otmc2017.com



SVETIŠTE U ZAGREBU
GRADJEVINSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



ISBN 978-953-8168-21-5

