

Analiza učinaka standardne građevinske mehanizacije na izgradnji ceste Vodnjan-Pula

Diana Car-Pušić, Fadil Husić, Ivan Marović

doc.dr. Diana Car-Pušić, d.i.g., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V. C. Emina 5, Rijeka, dipusic@inet.hr
Fadil Husić, d.i.g.
Ivan Marović, d.i.g., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V. C. Emina 5, Rijeka, ivan.marovic@gradri.hr

Sažetak

Utvrđivanje što realnijih praktičnih učinaka standardne građevinske mehanizacije jedan je od ključnih preduvjeta dinamičkog planiranja strojnog rada na gradilištu. Upravo zato, metode izračunavanja praktičnih učinaka standardnih cikličkih građevinskih strojeva često su predmet istraživanja u području organizacije i tehnologije građenja, a također predstavljaju poseban predmet interesa proizvođača građevinske mehanizacije. Kod proračuna praktičnih učinaka građevinskih strojeva od presudne važnosti je čim realnije utvrđivanje redukcijskih koeficijenata pomoću kojih se idealni teoretski učinak reducira na vrijednost praktičnog, ostvarivog u realnim gradilišnim uvjetima. S obzirom da su ovi koeficijenti empirijske vrijednosti, od posebne je važnosti praćenje i snimanje realno ostvarenih vrijednosti učinaka na gradilištu i izračunavanje pripadajućih vrijednosti koeficijenata. U radu je dat prikaz postupaka izračuna praktičnih učinaka bagera, dozera, utovarivača, valjaka, auto-mješalica i dampera na izgradnji dionice Jadranske auto-ceste Vodnjan-Pula, kao i neka od mjerenja realno ostvarenih učinaka i transportnih brzina. Vršena su mjerenja ostvarenih učinaka i usporedba s proračunskim praktičnim učincima. Za dozere su ustanovljeni veći stvarni učinci od proračunskih, pa je napravljena analiza utjecajnih faktora koji su doveli do toga. Pokazalo se da je problem u koeficijentu redukcije vezanom uz organizacijske uvjete, jer su stvarni organizacijski uvjeti, održavanje stroja, obučenost strojara itd. bili daleko bolji od prosječnih, proračunskih, te bi u tom smislu trebalo postojeće tablice koeficijenata dopuniti s koeficijentima za izuzetno dobre organizacijske uvjete strojnog rada. Mjerenjem su utvrđene prosječne proračunske radne i transportne brzine dozera.

Ključne riječi:

praktični učinak, standardni ciklički građevinski strojevi, redukcijski koeficijenti

1. Uvod

Izračunavanje praktičnih učinaka građevinske mehanizacije od velike je važnosti za utvrđivanje što realnijeg trajanja strojnog rada na gradilištu, a time i što veće točnosti dinamičkih planova građenja. Posebno se to odnosi na cikličku standardnu građevinsku mehanizaciju kod koje je izračunavanje praktičnih učinaka metodom koja je i ovdje upotrijebljena u cijelosti nalazi smisao i opravdanje.

Kako se kod proračuna koriste empirijski redukcijski koeficijenti i vremena trajanja jediničnog radnog ciklusa koji značajno utječu na vrijednost učinka, od posebne je važnosti za točnost izračuna, praćenje, analiziranje i korigiranje koeficijenata koji pored objektivnih tehničkih karakteristika strojeva i materijala u kojem se radi, znatno zavise i o

organizacijskim uvjetima na gradilištu, te obučenosti za rad samog rukovatelja strojem. Stoga bi za svakog izvođača strojnih radova bilo važno da prati i analizira postignute učinke standardne mehanizacije u raznim uvjetima rada, te da na temelju postignutih učinaka utvrdi odgovarajuće redukcijske koeficijente kojima bi se dopunjavale i korigirale tablice koeficijenata koje se uobičajeno koriste u proračunima.

2. Definiranje problema

U radu [1] je dat prikaz istraživanja praktičnih učinaka bagera, dozera, utovarivača, valjaka, auto-mješalica i dampera ostvarenih prilikom izgradnje dionice Jadranske auto-ceste Vodnjan-Pula. Cilj istraživanja bio je usporediti realno ostvarene mjerene učinke s proračunskim, utvrditi odstupanja i analizirati njihove uzroke. Rezultati bi trebali ukazati na potrebne korekcije elemenata proračuna koje bi kod narednih proračuna učinaka trebalo uzeti u obzir kod sličnih uvjeta strojnog rada.

3. Osnovni podaci o objektu

Cesta Vodnjan-Pula predložena je Prostornim planom Istarske županije kao četverotračna auto-cesta s dva odvojena kolnika i razdjelnim pojasom širine 3 m, a predstavlja spoj tzv. Istarskog ipsilona sa gradom Pula i predstavlja logičan završetak južnog kraka Istarskog ipsilona. Sama cesta duga je nešto više od 13 km. U prvoj fazi izgradnje kad je i provedeno istraživanje, ova je dionica izgrađena kao brza cesta s dva vijadukta, te podvožnjacima i nadvožnjacima u trasi.

4. Tehnologija izvedbe i mehanizacija na gradilištu

Iskop za trasu ceste predviđen je kombinirano miniranjem i strojno pomoću buldozera, utovarivača i bagera. Strojni iskop predviđen je bagerima uz izravni utovar u sanduke kamiona dampera. Za iskope građevne jame objekata: vijadukata, nadvožnjaka i podvožnjaka predviđene su garniture bager-hidraulički čekić, te kamioni kiperi za transport iskopanog materijala nosivosti 25 t.

Za zbijanje podloge predviđene su vibro-ploče i vibro-nabijači.

Zbog izgradnje vijadukta Mirna na zapadnom kraku Istarskog ipsilona, betonara glavnog izvođača radova, tvrtke Bouygues TP nalazila se u Antenalu, nadomak Novigrada. Za potrebe radova na dionici Vodnjan-Pula, betonara je dislocirana na centralnu bazu u Okretima, u čvoru Kanfanar.

Radi se o prenosnoj betonari s dvoosovinskom prisilnom miješalicom zapremine bubnja 2 m³ učinka 30 m³/h, te s četiri komore za četiri granulacije agregata, sa separacije Rupa u mjestu Svetivinčenat, svaka kapaciteta 22 m³. Betonara je privremenog karaktera, te se po završetku radova I faze brze ceste betonara uklanja i plato vraća u prvobitno stanje.

Za proizvodnju prefabriciranih elemenata korištena je betonara Viadukta d.d. u sklopu Tvornice betonskih proizvoda Pojatno kod Zagreba. Transportirani su do gradilišta kamionima tegljačima i željeznicom.

Objekti su projektirani u polumontažnoj izvedbi. Na licu mjesta izvode se temelji upornjaka i stupovi, piloti, prijelazne ploče, stupovi, betonske kolničke ploče, a prefabricirane su naglavne grede, prednapeti nosači, rubnjaci, omnia ploče i vijenci.

Za prijevoz betona do objekta, uz sve propisane, standardne mjere zaštite predviđene su auto-miješalice zapremine bubnja 7 m^3 . Vrijeme transporta ovisi o udaljenosti pojedine građevine od betonare, a predviđeno je bilo maksimalno trajanje od oko 45 minuta. Za ugradnju betona i prefabriciranih elemenata korištene su auto-dizalice nosivosti 40 t, posuda za beton (kibla) i pervibratori.

Sva armatura priprema se u centralnoj armiračnici u sklopu Tvornice betonskih proizvoda Pojatno i doprema tegljačima na gradilište.

Prijevoz asfalta predviđen je kamionima kiperima zaštićen pokrivkama. Proračunom broja kamiona osigurano je da ne dolazi do prekida u isporuci. Asfalt se doprema s AB Žminj kapaciteta 150 t/h, te u slučaju kvara bila je osigurana doprema s AB Podberam u blizini Pazina. Ugradba je bila kontinuirana uz pomoć asfaltnih finišera, te zbijanje i valjanje valjcima.

5. Proračun učinaka strojeva

5.1. Proračun učinka bagera

Proračun učinka bagera računat je za dubinski bager gusjeničar Caterpillar 375L zapremine lopate $q=5 \text{ m}^3$ pri iskopu i utovaru miniranog materijala u kamione dampere. Kameni materijal je prema O.T.U. 2-09.3 [1] namijenjen za izradu nasipa.



Slika 1. Bager CAT 375L pri utovaru kamenog materijala

5.1.1. Postupak proračuna

Teoretski učinak množi se redukcijским koeficijentima k_A materijala, k_B uvjeta rada i k_C organizacije.

$$U_p = \frac{q * T}{t_c} * k_A * k_B * k_C$$

S q je označena zapremina radnog tijela (dubinske lopate) bagera, a t_c označava vrijeme jediničnog radnog ciklusa između dva uzastopna istovjetna položaja radnog tijela. U ovom slučaju terenskim mjerenjem utvrđeno je vrijeme od 22 s što je vrlo kratko vrijeme i značajka je novih strojeva i dobre uvježbanosti rukovatelja strojem.

$$k_A = k_p * k_r * k_{vm}$$

k_p = koeficijent punjenja lopate bagera koji zavisi o vrsti materijala

k_r = koeficijent rastresitosti materijala kojim se uzima utjecaj rastresanja materijala na smanjenje učinka

k_{vm} = koeficijent vlažnosti materijala

$$k_A = 0,75 * 0,67 * 0,95$$

$$k_A = 0,48$$

$$k_B = k_{rp} * k_o * k_u$$

k_{rp} = koeficijent radnog prostora

k_o = koeficijent okretanja ruke bagera

k_u = koeficijent utovara

$$k_B = 1,00 * 0,70 * 0,90$$

$$k_B = 0,63$$

$$k_C = k_{og} * k_{rv} * k_{ds}$$

k_{og} = koeficijent organizacije

k_{rv} = koeficijent radnog vremena

k_{ds} = koeficijent održavanja stroja

$$k_C = 0,83 * 0,92 * 0,80$$

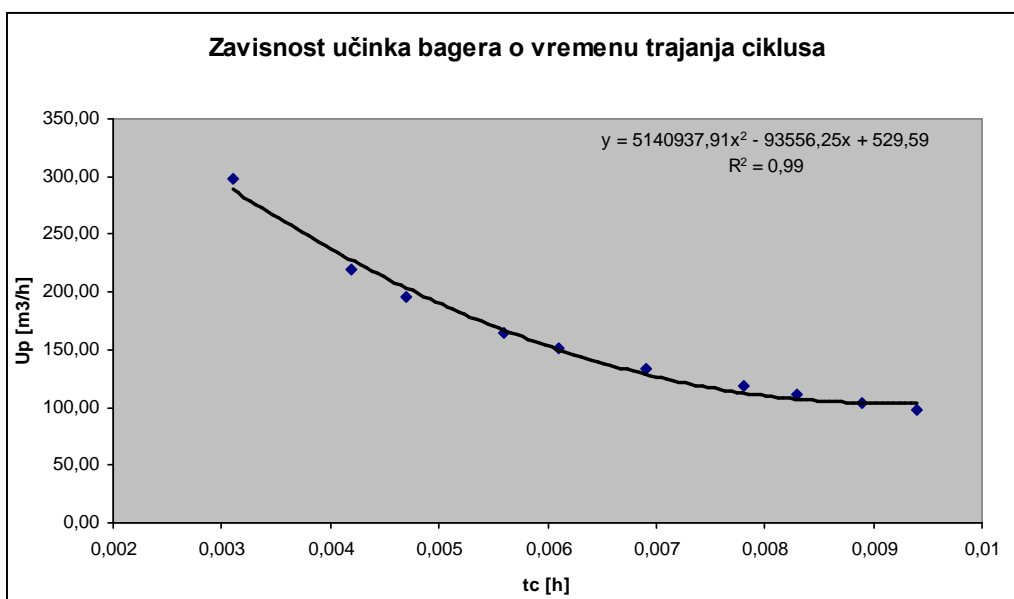
$$k_C = 0,61$$

$$t_c = 22s$$

$$U_p = \frac{5 * 1}{0,0056} * 0,48 * 0,63 * 0,61 = 164,70 m^3 / h$$

tc	s	11	15	17	20	22	25	28	30	32	34
	h	0,0031	0,0042	0,0047	0,0056	0,0061	0,0069	0,0078	0,0083	0,0089	0,0094
Up	m ³ /h	297,52	219,60	196,24	164,70	151,20	133,67	118,25	111,12	103,63	98,12

Tablica 1. Vrijeme trajanja ciklusa/učinak bagera



Slika 2. Zavisnost učinka bagera o vremenu trajanja ciklusa

a	Up=f(t)	R²	a	b	c
90°	$y = -25508x + 310,09$	0,9712	0	-22960	295,69
180°	$y = 1734753,06x^2 - 43258,35x + 350,43$	1,00	1734753,06	-43258,35	350,43

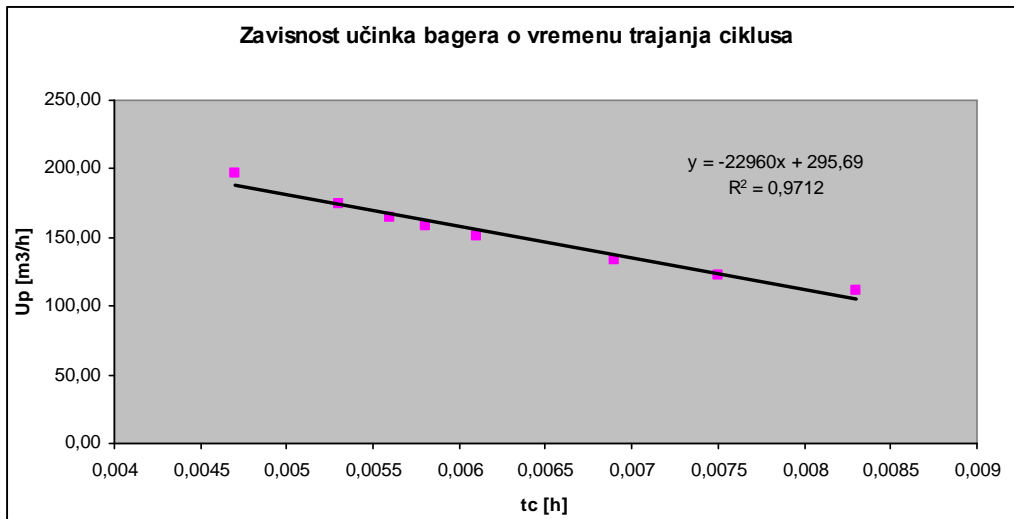
Tablica 2. Model zavisnosti učinka bagera o vremenu trajanja ciklusa za kuteve okreta ruke bagera od 90° i 180°

tc	s	17	19	20	21	22	25	28	30
	h	0,0047	0,0053	0,0056	0,0058	0,0061	0,0069	0,0078	0,0083
Up	m ³ /h	196,24	174,02	164,70	159,02	151,20	133,67	118,25	111,12

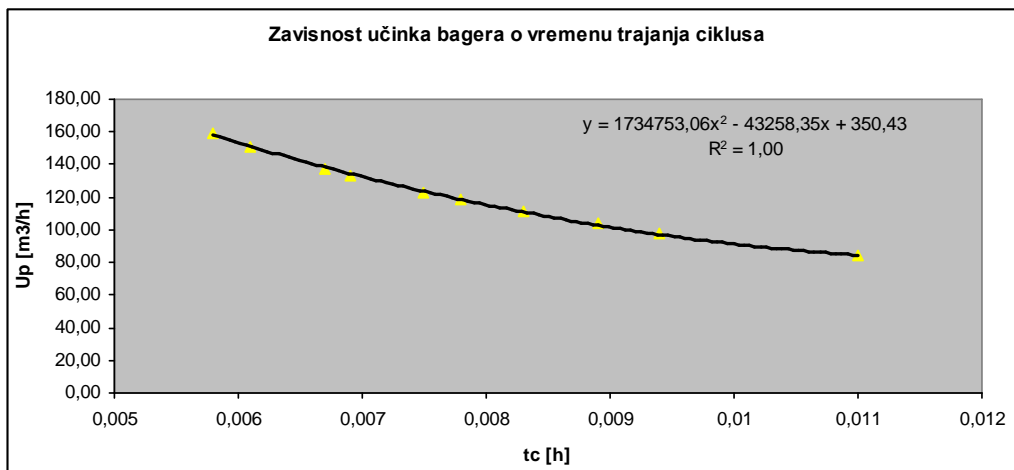
Tablica 3. Vrijeme trajanja ciklusa/učinak bagera za kut okreta ruke bagera od 90°

tc	s	19	20	21	22	25	28	30	32	34	38
	h	0,0053	0,0056	0,0058	0,0061	0,0061	0,0078	0,0083	0,0089	0,0094	0,011
Up	m ³ /h	174,02	164,70	159,02	151,20	151,20	118,25	111,12	103,63	98,12	83,85

Tablica 4. Vrijeme trajanja ciklusa/učinak bagera za kut okreta ruke bagera od 180°



Slika 3. Zavisnost učinka bagera o vremenu trajanja ciklusa (za kut okreta ruke bagera od 90°)



Slika 4. Zavisnost učinka bagera o vremenu trajanja ciklusa (za kut okreta ruke bagera od 180°)

Kao što se vidi, dobiven je velik satni praktični učinak što se može objasniti upotrebom novih bagera velikih kapaciteta i dobrom organizacijom rada na gradilištu.

Mjerenjem stvarnih učinaka ustanovljeno je da se poklapaju s proračunskim, što znači da su odabrani odgovarajući redukcijski koeficijenti, dok je za samo vrijeme jediničnog ciklusa uzeta mjerena vrijednost.

Također dane su i tablice i pripadajući dijagrami na kojima je prikazana zavisnost učinaka bagera o vremenu trajanja ciklusa. Ukoliko su koeficijenti redukcije isti tada se direktno o vremenu trajanja ciklusa mogu očitavati učinci.

5.2. Proračun učinka dampera

Učinak je računat za damper Caterpillar 769D zapremine sanduka 13 m³ za odvoz materijala do deponije udaljene 3,5 km neasfaltiranom gradilišnom cestom.



Slika 5. Damper Caterpillar 769D

Učinak dampera računat je primjenom narednog izraza:

$$U_p = \frac{q * T}{t_c} * k_B * k_C$$

S q se označava zapremina sanduka koja ovdje iznosi 13 m³
Razlike u odnosu na proračun bagera odnose se na koeficijent k_B i vrijeme ciklusa t_C koje je kod vozila složeno vrijeme, a računa se po sljedećem izrazu:

$$t_C = t_{ut} + t_p + t_{ist} + t_{pr} + \sum t_m$$

$$t_{ut} = \frac{q}{U_{PB}}$$

Vrijeme utovara t_{ut} ovisi o učinku utovarnog sredstva (u ovom slučaju bager) i zapremini sanduka.

$$t_{p(pr)} = \frac{l}{v_{p(pr)}}$$

Vrijeme vožnje punog, tj. praznog kamiona aproksimira se primjenom osnovnog fizikalnog izraza za jednoliko gibanje, uz upotrebu prosječne brzine punog, odnosno praznog kamiona. U ovom slučaju utvrđeno je da je v_p=38 km/h, dok je v_{pr}=43 km/h.

Vrijeme istovara t_{ist} i suma manevarskih vremena su empirijska vremena.

Dobiveni učinak kamiona za navedene pokazatelje iznosi 16,54 m³/h, za što je mjerenjem stvarnih učinaka također utvrđeno da odgovara stvarnom stanju.

Izračunat je optimalni spreg preko izraza $n = \frac{U_P^B}{U_P}$, kojim smo dobili da nam treba 10 dampera da bi se optimalno iskoristio spreg dvaju strojeva (bagera i dampera).

5.3. Proračun učinka dozera

Proračunat je učinak odlično odtržavanog dozera Caterpillar D6 pri iskopu humusa, korijenja i sraslog zemljanog materijala. Nož dozera dimenzija je l=3190 mm i h=1250 mm, tj. zapremine 4,98 m³.

Prosječne proračunske brzine su mjerene. Dozer obavlja iskop na duljini od 70 m brzinom od 3 km/h, nakon čega gura materijal na duljini od 30 m brzinom od 6 km/h, bez razastiranja materijala na deponiji, a vraća se brzinom od 9 km/h. U račun je uzeto i vrijeme odlaganja t_o=10 s. Manevarsko vrijeme je 10 s.

Vrijeme ciklusa:

$$t_c = t_i + t_g + t_o + t_p + 2t_m$$

Vrijeme iskopa, guranja i povratka izračunato je aproksimativno primjenom izraza:

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t_c = 168s = 0,0467h$$

5.3.1. Proračun koeficijenata redukcije

Koeficijenti materijala računaju se prema sljedećem izrazu:

$$k_A = k_p * k_r * k_{vm}$$

$$k_p = k_n * k_g$$

Njihovo objašnjenje isto je kao kod bagera, ali sam koeficijent punjenja k_p produkt je koeficijenta noža k_n i koeficijenta gubitka materijala k_g.

$$k_n = 0,95 \text{ (koeficijent noža)}$$

$$k_g = \text{koeficijent gubitka materijala}$$

$$l_{i+g} = 100m \text{ (duljina iskopa i guranja materijala)}$$

$$k_g = 1,00 - 0,005l_{i+g}$$

$$k_g = 0,50$$

$$k_p = 0,95 * 0,50$$

$$k_p = 0,475$$

$$k_A = 0,475 * 0,80 * 0,90$$

$$k_A = 0,342$$

Koeficijenti uvjeta rada računaju se prema sljedećem izrazu:

$$k_B = k_{rp} * k_{nt}$$

Koeficijent radnog prostora k_{rp} se za slobodni, široki, pregledni prostor uzima 1,00, dok koeficijent nagiba terena zavisi o konfiguraciji terena na kojem dozer radi. Ovdje se radi o uglavnom ravnom terenu, te je $k_B = 1,00$.

Koeficijenti organizacije računaju se po istom obrascu kao kod bagera, s time da se uzima za koeficijent organizacije strojnog rada odgovarajući koeficijent za dozer.

Dakle:

$$k_C = k_{og} * k_{rv} * k_{ds}$$

$$k_C = 0,83 * 0,92 * 0,91$$

$$k_C = 0,69$$

Proizlazi da je praktični učinak dozera:

$$U_p = \frac{4,98 * 1,00}{0,0467} * 0,342 * 1,00 * 0,69$$

$$U_p = 25,16 m^3 / h$$

5.3.2. Odnos stvarnog i proračunskog učinka

Kod dozera je uočeno da su proračunski učinci manji od stvarnih. Bilo je potrebno uočiti koji redukcijski koeficijenti ne odgovaraju stvarnoj situaciji. Mjereni stvarni učinak prosječno je iznosio oko 20-25 % više od proračunskog, tj. oko 30 m³/h. Bilo je potrebno ustanoviti koji pokazatelji uzrokuju to odstupanje. Koeficijenti materijala i uvjeti rada vezani su uz značajke materijala i uvjete rada i definirani su zadovoljavajućom točnošću. Ostaju, dakle, koeficijenti organizacijske grupe koji su najviše podložni subjektivnoj prosudbi. Maksimalni koeficijenti koje nude uobičajene tablice preniski su za iznimno dobre organizacijske uvjete rada kakvi su bili prisutni na gradilištu. S obzirom na utvrđeni odnos učinaka, očito je da bi te koeficijente trebalo povećati 25 %, dakle:

$$k'_C = 0,83 * 0,92 * 0,91 * 1,25$$

$$k'_C = 0,86$$

$$k'_C = 0,90 * 0,98 * 0,98$$

$$k'_C = 0,86$$

Proizlazi da bi za iznimno dobre organizacijske uvjete strojnog rada trebalo upotrijebiti $k_{og}=0,90$, za odlično iskorištenje radnog vremena $k_{rv}=0,98$, te za odlično održavanje strojeva $k_{ds}=0,98$. Tim koeficijentima bi trebalo nadopuniti postojeće tablice.

6. Zaključak

U ovom radu opisana je jedna od mogućih metodologija proračuna radnih učinaka pojedinih vrsta osnovnih standardnih strojeva za zemljane radove i pripadajućih transportnih vozila, koji ciklički rade i na čiji rad u najvećoj mjeri utječe „ljudski faktor“. Valja voditi računa i promišljati o dvije osnovne kategorije satnih učinaka razmatranih strojeva i vozila; temeljni tehnički („teorijski“) učinak U_t i planirani („praktični“) učinak U_p .

Teorijski učinak stroja je najveći mogući radni učinak kojeg bi razmatrani stroj ili vozilo moglo ostvariti u idealnim uvjetima rada, s idealnim obilježjima materijala s kojim se bavi, a sve u skladu s radnom koncepcijom i sukladno konstrukcijom stroja.

Praktični učinak je proračunati učinak za pretpostavljene ili očekivane uvjete rada razmatranog stroja ili vozila. To je učinak koji bi stroj trebao ostvariti u praktičnom radu.

Sve metodologije su sukladne da je $U_t > U_p$, te da se naš idealni teorijski učinak množi određenim korekcijskim koeficijentom da bi se dobio praktični učinak. Metodologije se razlikuju samo u pristupu određivanja korekcijskog koeficijenta kojim smanjujemo U_t .

U ovom radu dani su primjeri proračuna praktičnih učinaka bagera, dampera i dozera. To su standardni strojevi za zemljane radove koji ciklički rade.

Jedan od bitnih utjecaja na izračun praktičnog učinka je vrijeme jediničnog radnog ciklusa. U ovom radu učinci su računati s vremenom ciklusa koji je dobiven mjerenjima na terenu. To vrijeme je posebno došlo do izražaja pri proračunu učinka bagera, gdje je u više tablica i dijagrama dana zavisnost učinka bagera o vremenu trajanja ciklusa. Dijagrami pokazuju zavisnost učinaka i vremena trajanja ciklusa samo za onaj tip gradilišnih uvjeta koji se javio na dotičnom gradilištu. Imalo bi smisla napraviti familiju krivulja za različite uvjete na terenu te u tom smjeru ima širine za razvoj i modeliranje uvjeta.

Pri proračunu učinaka bagera mjerenjem stvarnih učinaka ustanovljeno je da se poklapaju s proračunskim, što znači da su odabrani odgovarajući redukcijски koeficijenti, dok je za samo vrijeme jediničnog ciklusa uzeta mjerena vrijednost.

Također mjerenjem stvarnih učinaka dampera utvrđeno je da dobiveni učinak odgovara stvarnom stanju, te je dana preporuka za optimalnu iskoristivost sprega bagera i dampera.

Mjerenjem stvarnih učinaka dozera s proračunskim, utvrđeno je da su stvarni učinci bolji. Proračunski učinci niži su zbog organizacijskih redukcijских koeficijenata. Naime, postojeće tablice ne nude koeficijente za iznimno dobre organizacijske uvjete i odlično korištenje radnog vremena i održavanje strojeva, pa ih treba nadopuniti predloženim koeficijentima.

Literatura

- [1] F. Husić, Diplomski rad: Projekt građenja za dionicu Vodnjan – Pula Jadranske autoceste, Rijeka, 2006.
- [2] Z. Linarić, Leksikon osnovne građevinske mehanizacije – učinci strojeva i vozila pri zemljanim radovima, Business Media Croatia d.o.o., Zagreb, 2007.
- [3] D. Mikulić, Građevinski strojevi: konstrukcija, proračun i uporaba, Zagreb, 1998.
- [4] E. Slunjski, Strojevi u građevinarstvu, HDGI, Zagreb, 1998.
- [5] B. Trbojević, Organizacija građevinskih radova, Naučna knjiga, Beograd, 1992.