

---

dr Predrag Petronijević<sup>1</sup>,  
dr Dragan Arizanović<sup>2</sup>,  
dr Nenad Ivanišević<sup>3</sup>,  
dr Dejan Marinković<sup>4</sup>,  
Marija Petrović<sup>5</sup>,

## PRORAČUN KOEFICIJENTA KORIŠĆENJA RADNOG VREMENA

**Rezime:** Koeficijent korišćenja radnog vremena (Kv) je jedan od najznačajnijih redukcionih koeficijenata pri proračunu učinka građevinskih mašina. Takođe, od svih redukcionih koeficijenata, njega je najteže predvideti. Da bi se preciznije proračunao učinak rada mašina, neophodno je definisati metodologiju za usvajanje koeficijenta Kv. U radu je izvršena analiza radnog vremena građevinskih mašina, sagledani su gubici vremena u toku rada i prikazan je sastav Kv. Takođe, prikazani su i načini na koji se Kv obračunava po metodologijama Caterpillar i Liebherr.

**Ključne reči:** Građevinske mašine, učinak, koeficijent korišćenja radnog vremena, gubici vremena

## ESTIMATION OF THE WORK EFFICIENCY FACTOR

**Summary:** The Work Efficiency Factor (KV) is one of the most important reduction coefficient estimates of construction machinery, and is at the same time, one of the most difficult to predict. In order to extract a precise estimate of work efficiency, it is crucial to clearly define the methodology used in the calculation of the coefficient KV. In analysing the work hours of construction machinery time lost during work was taken into account and shown in the calculation of KV. In addition, the calculation method used by Caterpillar and Lieber was included.

**Key Words:** construction machinery, efficiency, effective work hour coefficient, lost work hours

---

<sup>1</sup> Docent, Građevinski fakultet u Beogradu, pecap@grf.rs

<sup>2</sup> Docent, Građevinski fakultet u Beogradu, ari@grf.rs

<sup>3</sup> Vanredni profesor, Građevinski fakultet u Beogradu, nesa@grf.rs

<sup>4</sup> Docent, Građevinski fakultet u Beogradu, pecap@grf.rs

<sup>5</sup> Asistent – student doktorskih studija, Građevinski fakultet u Beogradu, mapetrovic@grf.rs

## 1. UVOD

Koeficijent korišćenja radnog vremena ( $K_v$ ) najčešće se definiše kao odnos efektivnog i ukupnog radnog vremena mašine i jedan je od najznačajnijih redukcionih koeficijenata za proračun učinka građevinskih mašina. Takođe, od svih redukcionih koeficijenata, njega je najteže predvideti, obzirom da na njega utiče mnogo raznorodnih faktora kao što su stanje mašina, rad u grupi mašina, smenski rad, stanje pristupnih puteva, klima i mnogi drugi.

Vreme rada građevinskih mašina na gradilištu, usled specifičnih uslova i karaktera građevinske proizvodnje, ne može se porediti sa radom mašina u drugim granama privrede, niti sa radom u fabričkim halama, radiocama, proizvodnim pogonima i slično. Iskorišćenje jedinice vremena (jednog časa, radne smene, dana itd) pri radu građevinskih mašina uvek zavisi od velikog broja faktora. Te uticaje, zbog njihove raznovrsnosti, brojnosti, kao i zbog karaktera građevinske proizvodnje, nemoguće je teorijski u potpunosti sagledati, obuhvatiti i još manje definisati. Iz tih razloga, vreme iskorišćenja rada građevinskih mašina u uslovima rada na gradilištu je čest predmet naučno-istraživačkog rada. Mnogi autori smatraju da faktor iskorišćenja vremena treba odrediti za svako gradilište posebno, usled čega se i razlikuju učinci istih mašina na različitim gradilištima.

## 2. PRIMERI ODREĐIVANJA $K_v$

Da bi se spoznala priroda koeficijenta  $K_v$ , neophodno je izvršiti analizu ukupnog vremena. Na osnovu analize prikazane u [1], ukupno radno vreme se može posmatrati kroz vreme kada mašina radi (uz efektivni i neefektivni rad) i zastoj u radu mašine. Ova vremena se mogu dalje analizirati, ali za potrebe ovog rada zanimljivo je da se efektivni rad može izmeriti i prikazati kroz sledeće veličine:

$t_{po}$  – čisto proizvodno vreme u radu mašina – vreme kada mašina stvara učinak

$t_{pp}$  – pomoćno vreme

$t_{np}$  – neproizvodno vreme – vreme kada mašina radi, troši resurse, ali ne daje učinak

Pojedini autori [2] su pokušavali da pitanje procene produktivnosti reše primenom neuralnih mreža. Svi veliki proizvođači građevinskih mašina imaju svoju metodologiju proračuna koeficijenta korišćenja radnog vremena (*Job Efficiency Factor*). U daljem tekstu slede prikazi ovog faktora tretiraju u metodologijama firme Caterpillar i Liebherr.

### 2.1.1. Proračun prema metodologiji firme Caterpillar

Prema *Caterpillar Performance Handbook* [3],  $K_v$  predstavlja veoma važan i jedan od najkompleksnijih faktora u proračunu karakteristika rada mašina. Na njega utiču brojni faktori, kao što su obučenos rukovaoca, organizovanost posla, manje

popravke na mašinama, zastoji usled premeštaja mašina i slično. U ovaj faktor nisu uračunati gubici usled lošeg vremena i kvara na mašinama. Kao najbolje indikatore za stvarne vrednosti ovog faktora, Caterpillar predlaže iskustvo i i poznavanje lokalnih uslova na gradilištu.

Bez ulaženja u obrazloženje, Caterpillar predlaže vrednosti od 0,83 za dnevni rad (efektivni rad od 50 minuta po času) i 0,75 za noćni rad (efektivni rad od 45 minuta po času).

### **2.1.2. Proračun prema metodologiji firme Liebherr**

Prema metodologiji koju preporučuje kompanija Liebherr [4],  $K_v$  za određenu mašinu predstavlja kombinaciju više faktora: efektivnog radnog vremena, raspoloživosti mašine, efikasnosti rukovaoca mašine i raspoloživosti drugih mašina u nizu.

Efektivno radnog vreme zavisi od organizacije posla. Ovaj faktor obuhvata i sve nepredviđene prekide rada koji postoje na svakom gradilištu – prekide usled lošeg vremena, saobraćaja, miniranja, promene kašike na mašini, ograničenja na drobilicama, probleme u organizaciji posla i slično. Usled ovih faktora, efektivno radno vreme iznosi 50 minuta po času (efikasnost 83%) odnosno, u lošim uslovima rada može pasti i do 45 minuta po času (efikasnost od 75%).

Raspoloživost mašine je verovatnoća da će mašina biti u operativnom stanju u nekom trenutku vremena i u direktnoj je vezi sa preventivnim održavanjem i opštim stanjem mašine. Liebherr ne predlaže vrednosti ovog faktora i on može biti zasnovan na podacima firme o vremenima otkaza i operativnom stanju.

Efikasnost rukovaoca izražena je kroz sledeće vrednosti:

- Demonstrator (iznad proseka) – 110%
- Dobar rukovaoc – 100%
- Osrednji rukovaoc – 80 – 90%
- Rukovaoc početnik – 70%

Raspoloživost drugih mašina u nizu je deo vremena kada mašina koja radi u nizu sa drugim mašinama može bez čekanja da obavlja svoju funkciju. Na primer, za bager koji radi na iskopu, ovaj faktor predstavlja vreme kada će kiperi koji prevoze materijal koji bager iskopa i treba da utovari, biti raspoloživi za utovar.

Ukupni koeficijent korišćenja radnog vremena prema [4] predstavlja proizvod ova četiri faktora. Pri tome, bitno je napomenuti da je ova metodologija jedna od retkih koje priznaju uticaj rukovaoca na učinak rada građevinskih mašina.

## **3. MERENJE I SASTAV KOEFICIJENTA $K_v$**

U određivanju veličine, odnosno, brojčane vrednosti koeficijenta  $K_v$ , prisutne su dve faze:

- Postupak snimanja (merjenja) brojčane vrednosti koeficijenta  $K_v$  i
- Istraživanje oblasti uticaja koji su doveli do takve vrednosti  $K_v$ .

Pri istaživanju i merenju vrednosti  $K_v$ , može se zaključiti da se on sastoji od dve komponente, sasvim različite po značenju, sadržaju i prirodi: jedna komponenta je merljiva, i predstavlja brojnu vrednost  $K_v$ , dok je druga nemerljiva i nedimenzionalna.

### 3.1. Postupak snimanja merljive komponente $K_v$

Merljiva komponenta, odnosno, brojčana vrednost koeficijenta  $K_v$  utvrđuje se merenjem (hronometražom). Prema definiciji,  $K_v$  predstavlja sledeći odnos:

$$K_v = \frac{T - T_{pr}}{T} \quad (1)$$

gde su:

- $T$ - period vremena za koji se posmatra rad mašine,
- $T_{pr}$ - ukupno vreme prekida, zastoja u radu mašina za posmatrani period vremena,

Ukupno vreme prekida u radu mašina sadrži vreme potrebno za odmor radnika, predviđene prekide (u vezi sa proizvodnim i tehnološkim procesom kao i tehničkim održavanjem mašina) i zastoje zbog raznih organizacionih nepovoljnosti koje se pojavljuju u toku rada, zbog narušavanja discipline, zbog meteoroloških nepovoljnosti itd..

$K_v$  je moguće izraziti i na sledeći način:

$$K_v = 1 - \frac{(T_n + T_z)}{T} \quad (2)$$

Gde je  $T_n$  ukupno vreme prekida koje ne zavisi od rada mašine, a  $T_z$  ukupno vreme prekida koje zavisi od rada mašine, u ukupnom periodu vremena  $T$  za koji se posmatra rad mašine.

### 3.2. Vrste koeficijenta $K_v$

Obzirom na klasifikaciju radnog vremena mašine, moguće je  $K_v$  izraziti na više načina. Pri tome, treba imati u vidu prirodu samog koeficijenta i način kako bi se on merio.

#### 3.2.1. Opšti koeficijent korišćenja radnog vremena ( $oK_v$ ):

$$oK_v = \frac{T_R - t_e + t_{ne}}{T_{SM} \quad T_{SM}} \quad (3)$$

gde su:

$T_R$  – ukupno vreme rada mašine u jednoj smeni,

$T_{SM}$  – ukupno vreme radne smene, odnosno,

$t_e$  – efektivno vreme rada

$t_{ne}$  – neefektivno vreme rada

Ova vrsta koeficijenta  $K_v$  predstavlja odnos vremena koliko je mašina bila sa upaljenim motorom, bez obzira da li je radila na ostvarenju učinka, imala prazan hod, suvišni rad, slučajni rad i sl., prema posmatranoj veličini vremena koliko je trebalo da radi. Ovako izražen  $K_v$  nema velikog značaja za proračun učinka i kao takav može da dovede u zabludu prilikom proračuna.

### 3.2.2. Efektivno korišćenje vremena rada mašine ( $eK_v$ ):

$$eK_v = \frac{t_e}{T_{SM}} = \frac{t_p + t_{np}}{T_{SM}} \quad (4)$$

gde su:

$t_e$  – efektivno vreme rada mašine,

$T_{SM}$  – ukupno vreme radne smene, odnosno,

$t_p$  – proizvodno vreme rada (zbir čisto proizvodnog vremena i pomoćnog vremena)

$t_{np}$  – neproizvodnog vremena (zbir vremena za pripremu mašine za rad i utrošenog vremena po završetku proizvodnog rada mašina)

Ovaj koeficijent predstavlja odnos efektivnog vremena rada prema ukupnom vremenu. Iako precizniji, primena ovako određenog koeficijenta prilikom proračuna učinka dovodi do netačnog rezultata, obzirom da on obuhvata i vreme čijim se utroškom ne dobija učinak mašina (pomoćno vreme, vreme za pripremu i vreme po završetku rada mašine).

### 3.2.3. Proizvodno korišćenje vremena rada mašine ( $poK_v$ )

$$poK_v = \frac{t_{po}}{T_{SM}} \quad (5)$$

gde su:

$t_{po}$  – čisti proizvodno vreme, tj, vreme kada mašina daje učinak.

$T_{SM}$  – ukupno vreme radne smene

Ovaj koeficijent predstavlja odnos čisti proizvodnog vremena rada koje mašina koristi isključivo na ostvarenje svog učinka prema ukupnom vremenu. Ova veličina koeficijenta je najvažnija jer se samo njenom primenom može doći do stvarne veličine praktičnog učinka mašine. Veličina ovog koeficijenta je odraz uslova rada mašine, radnog mesta, obučenosti rukovaoca i uslova rada na gradilištu.

Generalni odnos različitih vrsta prikaza koeficijenta korišćenja radnog vremena je:

$$poK_v < eK_v < oK_v \quad (6)$$

### 3.2.4. Nemerljive komponente $K_v$

Prilikom proračuna učinka mašina, glavni problem je upravo koeficijent korišćenja radnog vremena  $K_v$ . Merenjem, teško je utvrditi koliko je mašina u uslovima rada

zaista radila i to uporediti sa vremenom koliko je trebala da radi. Prilikom analize gubitaka vremena uvek se navode faktori uticaja koji dovode do gubitaka, i oni su uvek na nivou teoretske pretpostavke. Problem se nalazi u činjenici da  $K_v$  sadrži niz faktora uticaja i gubitaka koji se ne pojavljuju kao posebne veličine u brojčanim vrednostima. Kao takvi, oni uvek ostaju nesagledivi, skriveni, ali definitivno, prisutni. Prilikom proračuna učinaka, pokušavamo da ih donekle navedemo, ali ne i dokažemo, odnosno, u mogućnosti smo samo da ih opišemo. Kao takvi, oni čine nemerljivu komponentu  $K_v$ . U ovu grupu spadaju:

- Stanje mašine
- Stepentehničkog opsluživanja mašine
- Kvalifikacije rukovaoca mašine
- Topografski položaj radnog mesta
- Nadmorska visina
- Godišnje doba, klimatski faktor
- Povoljnost radnog mesta za rad mašine
- Dnevna ili noćna smena
- Nivo organizacije rada

Ovi uticaji na nemerljivu komponentu  $K_v$  mogu pripadati i drugim grupama i oblastima uticaja. Moguće je da se pojedini uticaji, zbog svog značaja, izdvoje iz grupe uticaja u  $K_v$  i izraze kao posebni koeficijenti (recimo, koeficijent uslova rada) koji se može valorizovati i brojčano izraziti.

### 3.2.5. Kompleksnost $K_v$

Vrlo često, prilikom proračuna učinka mašina, unosi se neki dodatni koeficijent kojim se želi da istakne neki posebni, specifični pokazatelj. Time se pokušava da se  $K_v$  učini malo povoljnijim. Ovakvim pristupom se izražava nepovoljnost specifičnog pokazatelja, ali i pored toga, vrednost  $K_v$  ostaje ista. Time se samo smanjuje vrednost projektovanog učinka, odnosno, samo se smanjuje vrednost efektivnog rada mašine (time i  $K_v$ ).

Posledica ovakvog stava je činjenica da je  $K_v$  složeni koeficijent, te da je on zapravo proizvod niza uticaja koji  $K_v$  i čine. Njegov sastav je različit i uvek zavisn od specifičnih uslova i okolnosti izvršenja rada, te u opštem slučaju može se izraziti i kao

$$K_v = K_1 * K_2 * K_3 * \dots * K_n < 1, 0 \quad (7)$$

## 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize vremena, zaključuje se da je  $K_v$  složeni koeficijent, odnosno, da je on proizvod niza uticaja. Takođe, svi ovi uticaji su zavisni od vrste mašina, specifičnosti uslova, okolnosti izvršenja rada i mnogo drugih faktora. Nameće se zaključak da postoji više vrsta koeficijenata  $K_v$ . U radu su date formule za proračun svake od vrsta i polje njihove primene.

Gubici u vremenu i stvarno efektivno vreme rada mašine na gradilištu mogu se utvrditi samo sistematičnim posmatranjem u dužem vremenskom periodu. Poznavanje prirode koeficijenta Kv preduslov je za njegovo precizno definisanje, kao i precizan proračun očekivanog učinka mašina, a sve u cilju smanjena troškova i vremena izvođenja radova na gradilištu.

## 5. LITERATURA

- [1] Stefanović Aleksandar (1984), *Istraživanja u oblasti građevinske mehanizacije*, Niš Univerzitet u Nišu
- [2] Seung C., Sunil K. Sinha (2006): Construction equipment productivity estimation using artificial neural network model, *Construction Management and Economics* (October 2006) 24, 1029–1044.
- [3] Caterpillar Co. *Caterpillar Performance Handbook Edition 26*, Peoria, Illinois, USA, 1995.,
- [4] *Liebherr Technical Handbook*, Liebherr-Holding GmbH, Postfach 1658