

UTJECAJ ISTROŠENOSTI RADNIH ELEMENATA MLINA NA TROŠKOVE ENERGIJE PRI USITNJAVANJU

EFFECT OF WORN-OUT HAMMER MILL'S WORKING ELEMENTS ON GRINDING ENERGY COSTS

V. Kušec, S. Pliestić, S. Jerčinović

Stručni članak
Primitljeno: 12. travnja 2008.

SAŽETAK

U radu su prikazani troškovi energije rada mlina čekićara pri usitnjavanju kukuruza i sojine sačme. Na temelju podataka dobivenih anketom za trogodišnje razdoblje izračunati su pokazatelji energetske potrošnje s tri različito istrošena čekića. S ekonomskog aspekta, ako se uzme u obzir odnos cijena radnih elemenata u odnosu na cijenu utrošene energije pri usitnjavanju može se izračunati cijena usitnjavanja kod različitih istrošenosti i na taj način može se utvrditi optimalno vrijeme njihove izmjene. Na temelju izračunatih troškova energije rada mlina čekićara utvrđeno je da veća istrošenost radnih elemenata (čekića) rezultira većom cijenom usitnjavanja.

Ključne riječi: električna energija, usitnjavanje, istrošenost čekića

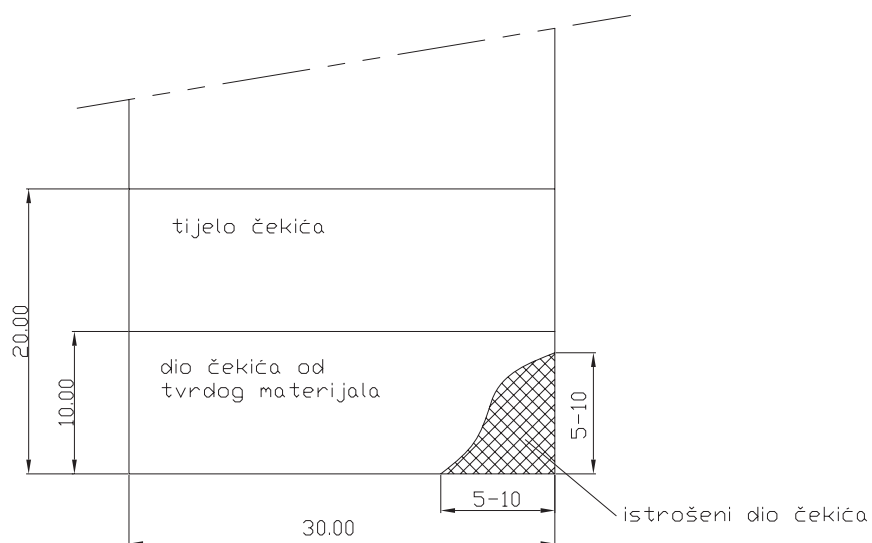
UVOD

U tehnološkom procesu proizvodnje krmnih smjesa na početku se najčešće nalazi mehaničko usitnjavanje. S obzirom na količinu sirovina koju treba usitniti, a samim time i potrošnju energije koja izravno utječe na cijenu proizvodnje krmnih smjesa, mlin čekićar, odnosno stroj kojim se obavlja usitnjavanje, treba što racionalnije koristiti. Na energetske potrošnje i kakvoću usitnjavanja značajno utječe stanje radnih elemenata. Poznato je da veća istrošenost radnih elemenata utječe na povećanje energetske potrošnje. Analizirajući cijenu potrošene energije i cijenu radnih elemenata (čekića) mlina, može se utvrditi cijena usitnjavanja kao i vrijeme izmjene radnih elemenata.

METODE RADA

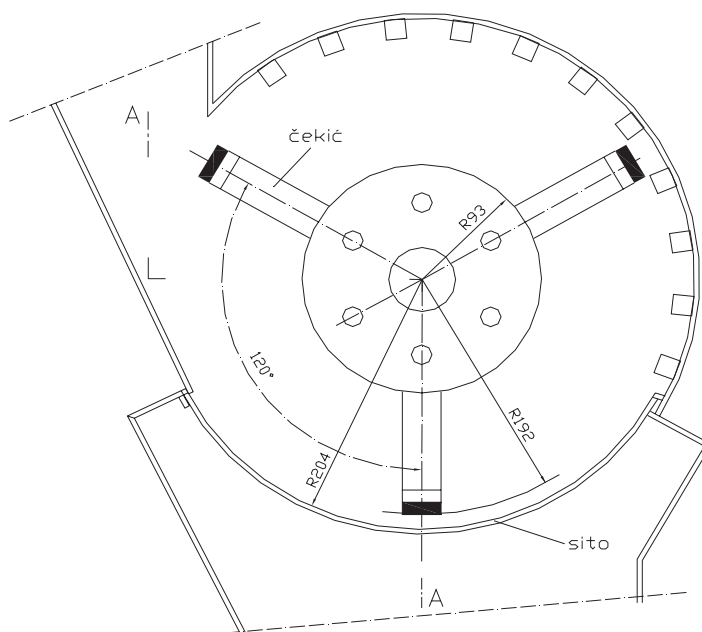
Za prikupljanje primarnih podataka provela su se istraživanja u kojima se nastojalo prikupiti komparativne podatke vezane za rad mlina čekićara ovisno o istrošenosti radnih elemenata: novih, poluistrošenih i istrošenih čekića, u tvornici krmnih smjesa. Istrošenost čekića mlina utvrđena je tako da se nakon određenog vremena rada mlina skinulo čekiće s mlina i izmjerilo istrošeni dio. Na temelju veličine istrošenog dijela čekića izvršila se sistematizacija u tri navedene skupine. Na slici 1 je shematski prikaz radnog elementa (čekića) s označenim istrošenim dijelom koji je sistematiziran u skupinu polu-istrošenih. Čekići s većim istrošenim dijelom sistematizirani su u skupinu istrošenih, a s manje istrošenim u skupinu novih čekića.

Mr. sc. Vlado Kušec, Mr. sc. Silvije Jerčinović, Visoko gospodarsko učilište u Križevcima, M. Demerca 1. 48260 Križevci; Dr. sc. Stjepan Pliestić, Agronomski fakultet – Zavod za poljoprivrednu tehnologiju, skladištenje i transport, Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb.



Slika 1. Presjek radnog elementa mlina (polu-istrošeni)
Figure 1. Hammer mill working element cross section (half worn-out)

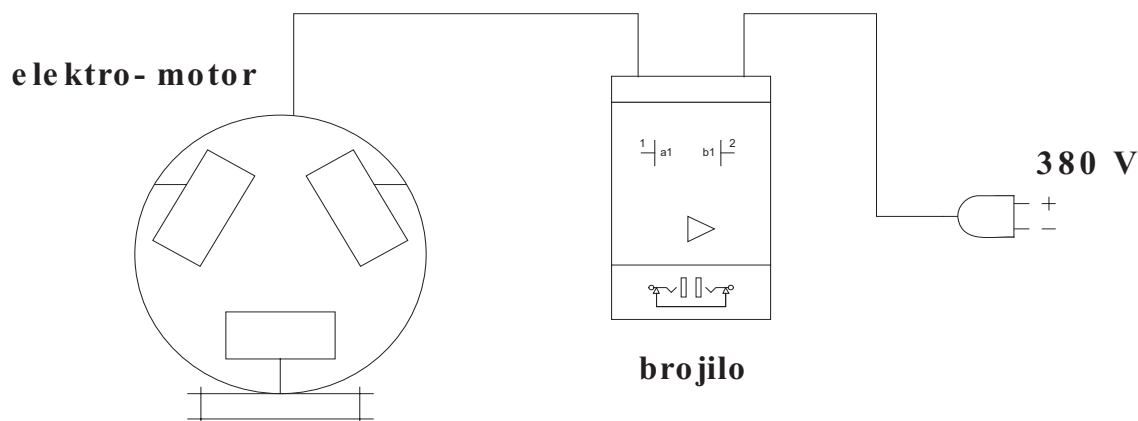
Utvrđivanje potrošnje električne energije usitnjavanja kukuruza i sojine sačme bilo je obavljeno na mlinu koji se sastojao od 3 radna elementa (čekića) koji su specifičnog oblika i ne koriste se često u praksi. Na slici 2. prikazan je presjek istraživanog mlina s osnovnim karakteristikama.



Slika 2. Presjek istraživanog mlina
Figure 2. Surveyed hammer mill cross section

Specifična energetska potrošnja (SEP, kWh/t) utvrđena je mjerenjem utrošene električne energije elektro motora koji pokreće radne elemente mlina čekićara. Kod svakog uzorka izvršeno je 30 mjerenja svakih 10 minuta.

Električno digitalno brojilo ISKRA, Tip – MT32HT4-H15 postavljeno je između elektro motora koji pokreće mlin čekićar i izvora električne energije (slika 3).



Slika 3. Shematski prikaz mjerenja energetske potrošnje
Figure 3. Energy consumption measuring scheme

Podaci o brojilu:

Trofazno transformatorsko brojilo

Razred točnosti kWh-brojila - 1 ili 2 (IEC 1036)

Točnost brojila - $\pm 0,5$ znamenke

Sat realnog vremena - u skladu sa IEC 1038

Točnost sata realnog vremena - ± 3 min/godina kod 25 °C.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Pri ispitivanju karakteristika rada mlina čekićara kod usitnjavanja kukuruza i sojine sačme s novim, polu-istrošenim i istrošenim čekićima, utvrđen je utjecaj istrošenosti radnih elemenata na potrošnju električne energije.

S ekonomskog aspekta učestalija izmjena čekića mlina povećava materijalne troškove. S obzirom na rezultate, kod usitnjavanja s različitim istrošenostima čekića, vidljivo je da veća istrošenost čekića povećava specifičnu energetska potrošnju, te samim time s druge strane smanjuje kapacitet, što izravno utječe na materijalne troškove.

Ako se uzme u obzir odnos cijena koštanja čekića u odnosu na cijenu utrošene energije pri usitnjavanju, može se izračunati cijena usitnjavanja kod sve tri istrošenosti čekića. Na taj način može se utvrditi optimalno vrijeme izmjene čekića.

Na tablici 2 prikazani su troškovi čekića mlina, troškovi izmjene i ukupni troškovi izmjene jednog kompleta čekića.

Tablica 2. Troškovi izmjene čekića mlina
Table 2. Hammer mill replacement costs

Cijena čekića (kn/kom)	Čekić (kom)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Ukupna cijena (kn)
240	3	60	780

Na tablicama, 3, 4 i 5 prikazani su troškovi energije pri usitnjavanju kukuruza kod različite istrošenosti čekića.

Tablica 3. Troškovi energije kod usitnjavanja kukuruza s novim čekićima
Table 3. Energy costs in corn grinding process with new hammers

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
K – A 1	3,1167	0,67	2,0882
K – A 2	3,1000	0,67	2,0770
K – A 3	3,1067	0,67	2,0815
K – A 4	3,0767	0,67	2,0614
K – A 5	3,0467	0,67	2,0413
\bar{x}	3,0894	0,67	2,0647
s	0,0495	0,00	0,0332

Tablica 4. Troškovi energije kod usitnjavanja kukuruza s polu-istrošenim čekićima
Table 4. Energy costs in corn grinding process with half worn-out hammers

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
K – B 1	3,7733	0,67	2,5281
K – B 2	3,6800	0,67	2,4656
K – B 3	3,6867	0,67	2,4701
K – B 4	3,6800	0,67	2,4656
K – B 5	3,4600	0,67	2,3182
\bar{x}	3,6559	0,67	2,4231
s	0,2213	0,00	0,1483

Nakon utvrđivanja potrošnje električne energije pri usitnjavanju kukuruza i sojine sačme s različito istrošenim radnim elementima vidljivo je da veća istrošenost rezultira većom energetsom potrošnjom. Ako se u obzir uzme i cijena električne energije mogu se izračunati troškovi energije pri usitnjavanju s različito istrošenim radnim elementima. Usporedbom tih troškova može se izračunati razlika troškova utrošene energije pri usitnjavanju s različitim istrošenostima radnih elemenata.

Tablica 5. Troškovi energije kod usitnjavanja kukuruza s istrošenim čekićima**Table 5. Energy costs in corn grinding process with worn-out hammers**

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
K – C 1	4,0400	0,67	2,7068
K – C 2	4,1267	0,67	2,7649
K – C 3	4,0367	0,67	2,7046
K – C 4	4,1800	0,67	2,8006
K – C 5	4,0967	0,67	2,7448
\bar{x}	4,0960	0,67	2,7258
s	0,0401	0,00	0,0269

Razlika cijene usitnjavanja kukuruza između sve tri istrošenosti čekića nalazi se na tablicama 6, 7 i 8. U razmatranje su uzete prosječne vrijednosti svih 5 uzoraka.

Tablica 6. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja s novim i polu-istrošenim čekićima**Table 6. Costs discrepancy determination with new and half worn-out hammers**

Cijena usitnjavanja s novim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s polu-istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
2,0647	2,4231	0,3584

Tablica 7. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja s novim i istrošenim čekićima**Table 7. Costs discrepancy determination with new and worn-out hammers**

Cijena usitnjavanja s novim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
2,0647	2,7258	0,6744

Tablica 8. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja polu-istrošenim i istrošenim čekićima**Table 8. Costs discrepancy determination with half worn-out and worn out hammers**

Cijena usitnjavanja s polu-istrošenim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
2,4231	2,7258	0,3027

Ako razliku troškova električne energije pri usitnjavanju s različito istrošenim čekićima usporedimo s troškovima njihove izmjene (780 kn) možemo odrediti najpovoljniji trenutak njihove izmjene. Količina materijala nakon koje je isplativa izmjena radnih elemenata može se odrediti jednadžbom:

$$\text{količina usitnjenog materijala} = \frac{\text{troškovi izmjene čekića}}{\text{razlika troškova energije pri usitnjavanju}} \quad (1)$$

Utvrđivanje količine kukuruza nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i polu-istrošenih čekića prema navedenoj jednadžbi prikazano je na tablici 9.

Tablica 9. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju kukuruza s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i polu-istrošenih čekića

Table 9. Hammers exchange determination in corn grinding process according to energy price difference with new and half worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,3584	780	2176

Utvrđivanje količine kukuruza nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i istrošenih čekića prikazano je na tablici 10.

Tablica 10. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju kukuruza s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i istrošenih čekića

Table 10. Hammer exchange determination in corn grinding process according to energy price difference with new and worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,6744	780	1157

Utvrđivanje količine kukuruza nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja polu-istrošenih i istrošenih čekića prikazano je na tablici 11.

Tablica 11. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju kukuruza s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja polu-istrošenih i istrošenih čekića

Table 11. Hammer exchange determination in corn grinding process according to energy price difference with half worn-out and worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,3027	780	2577

Na tablicama 12, 13 i 14 prikazani su troškovi energije pri usitnjavanju sojine sačme kod različite istrošenosti čekića.

Tablica 12. Troškovi energije kod usitnjavanja sojine sačme s novim čekićima**Table 12. Energy costs in soybean pellets grinding with new hammers**

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
S – A 1	1,1133	0,67	0,7459
S – A 2	1,0367	0,67	0,6946
S – A 3	1,0433	0,67	0,6990
S – A 4	1,0233	0,67	0,6856
S – A 5	1,2400	0,67	0,8308
\bar{x}	1,0913	0,67	0,7884
s	0,0896	0,00	0,0600

Tablica 13. Troškovi energije kod usitnjavanja sojine sačme s polu-istrošenim čekićima**Table 13. Energy costs in soybean pellets grinding with half worn-out hammers**

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
S – B 1	1,3567	0,67	0,9090
S – B 2	1,3667	0,67	0,9157
S – B 3	1,3133	0,67	0,8799
S – B 4	1,3067	0,67	0,8755
S – B 5	1,3367	0,67	0,8956
\bar{x}	1,3360	0,67	0,9023
s	0,0141	0,00	0,0095

Tablica 14. Troškovi energije kod usitnjavanja sojine sačme s istrošenim čekićima**Table 14. Energy costs in soybean pellets grinding with worn-out hammers**

Uzorak	Količina utrošene energije (kWh/t)	Cijena (kn/kWh)	Troškovi usitnjavanja (kn/t)
S – C 1	1,6033	0,67	1,0742
S – C 2	1,4267	0,67	0,9559
S – C 3	1,5600	0,67	1,0452
S – C 4	1,4333	0,67	0,9603
S – C 5	1,4767	0,67	0,9894
\bar{x}	1,5000	0,67	1,0318
s	0,0895	0,00	0,0600

Razlika cijene usitnjavanja sojine sačme između sve tri istrošenosti čekića nalaze se na tablicama 15, 16 i 17. U razmatranje su uzete prosječne vrijednosti svih 5 uzoraka.

Tablica 15. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja s novim i polu-istrošenim čekićima
Table 15. Costs discrepancy determination with new and half worn-out hammers

Cijena usitnjavanja s novim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s polu-istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
0,7884	0,9023	0,1139

Tablica 16. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja s novim i istrošenim čekićima
Table 16. Costs discrepancy determination with new and worn-out hammers

Cijena usitnjavanja s novim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
0,7884	1,0318	0,2434

Tablica 17. Utvrđivanje razlike troškova usitnjavanja s polu-istrošenim i istrošenim čekićima
Table 17. Costs discrepancy determination with half worn-out and worn-out hammers

Cijena usitnjavanja s polu-istrošenim čekićima (kn/t)	Cijena usitnjavanja s istrošenim čekićima (kn/t)	Razlika (kn/t)
0,9023	1,0318	0,1295

Utvrđivanje količine sojine sačme nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja **novih i polu-istrošenih** čekića prema navedenoj jednadžbi (1) prikazano je na tablici 18.

Tablica 18. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju sojine sačme s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i polu-istrošenih čekića
Table 18. Hammer exchange determination in soybean pellets grinding process according to energy price difference with new and half worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,1139	780	6848

Utvrđivanje količine sojine sačme nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i istrošenih čekića prikazano je na tablici 19.

Tablica 19. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju sojine sačme s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja novih i istrošenih čekića
Table 19. Hammer exchange determination in soybean pellets grinding process according to energy price difference with new and worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,2434	780	3205

Utvrđivanje količine sojine sačme nakon čijeg usitnjavanja je najpovoljnija izmjena čekića s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja polu-istrošenih i istrošenih čekića prikazano je na tablici 20.

Tablica 20. Utvrđivanje izmjene čekića pri usitnjavanju sojine sačme s obzirom na razliku cijene energije usitnjavanja polu-istrošenih i istrošenih čekića

Table 20. Hammer exchange determination in soybean pellets grinding process according to energy price difference with half worn-out and worn-out hammers

Razlika troškova energije usitnjavanja (kn/t)	Troškovi izmjene čekića (kn)	Količina usitnjenog materijala (t)
0,1295	780	6023

ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize troškova energije rada ispitivanog mlina čekićara, odnosno utvrđivanja utjecaja istrošenosti radnih elemenata na troškove energije može se zaključiti:

Kod usitnjavanja kukuruza s polu-istrošenim čekićima, izmjena čekića je iznad 2055 tona usitnjenog materijala ekonomski isplativa, odnosno troškovi izmjene čekića su manji od troškova energije utrošene pri usitnjavanju. Pri usitnjavanju kukuruza s istrošenim čekićima, izmjena je isplativa nakon 1157 tona usitnjenog materijala, odnosno troškovi izmjene čekića su manji od troškova energije utrošene pri usitnjavanju. S obzirom na relativno malu specifičnu energetska potrošnju pri usitnjavanju sojine sačme u odnosu na troškove izmjene čekića, izmjena čekića nije značajna.

S obzirom da istrošenost radnih elemenata mlina (čekića) ne utječe samo na ekonomičnost rada mlina nego i na druge čimbenike (kakvoća rada i dr.), to svakako treba uzeti u obzir u proizvodnji krmnih smjesa.

LITERATURA

1. Charles, R. T. (1976): Energy-size Reduction Relationships in Cominution, AIME Trans. Vol. 208. str. 61-76.
2. Fang, Q. (1997): Comparison of energy efficiency between a roller mill and a hammer mill. Applied engineering in agriculture. Vol. 13 (5). str. 631-635.
3. Ruetsche, P. (1989): The Progressive Animal Feed Production and its Fundamentals, Part 1: Grinding/Sieving in the Feed Milling Industry, Advances in Feed Technology No 1. Verlag Moritz Schäfer; Detmold. str. 8-37.

SUMMARY

This paper shows hammer mill energy costs in the grinding process of corn grains and soybean pellets. On the basis of the data obtained in a three year survey the value of energy consumption with three different worn-out types of hammers was calculated. From the economic aspect, considering mutual influences of working elements price and the price of energy used for grinding, it is possible to calculate the grinding price of each worn-out hammer, and thus, define their optimal replacement period. Analysing hammer mill labour energy it has been concluded that more worn-out hammer mill working elements result in higher grinding price.

Key words : electric energy, grinding, worn-out hammers