

SERBIATRIB'07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP'07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

**INTEGRISANI PRISTUP KONSTRUISANJA HABAJUĆIH
REZNIH ELEMENATA KOD ROTORNIH BAGERA**

Marko Popović dipl.maš.inž., Tehnički fakultet Čačak
Prof. dr Zvonimir Jugović dipl.maš.inž., Tehnički fakultet Čačak
Prof. dr Radomir Slavković dipl.maš.inž., Tehnički fakultet Čačak

Abstrakt:

Tokom rada rotornog bagera, rezni zubi su izloženi intezivnom abrazivnom habanju u kombinaciji sa dinamičkim i udarnim opterećenjem. Konstrukcija ovih elemenata je veoma složena, obzirom da je opterećenje i njegova raspodela nedovoljno poznata. Primenom računara kroz CAD/CAE tehnologije ovaj problem se donekle može prevazići. Rad predstavlja rezultate istraživanja i razvoja dvodelne konstrukcije zuba za rotorne bagere primenom integrisanog pristupa u konstruisanju. Modeli, modeliranje i simulacije su osnova ovog pristupa. Proizvod i njegova svojstva se definišu na modelima, koji se dalje analiziraju simuliranjem procesa u eksploataciji. Cilj analiza je da se iz velikog broja različitih konstrukcija izabere optimalno rešenje i ono naknadno testira u eksploatacionim uslovima.

Ključne reči: konstruisanje, rotorni bager, CAD, habanje

1. UVOD

Na površinskim kopovima u Srbiji, kao osnovna mehanizacija za kontinualno uklanjanje otkrivke i iskopavanje uglja koriste se rotorni bageri. Zbog karakterističnog sastava iskopavanog materijala, vedrice na radnom točku bagera opremljene su reznim zubima. Tokom rada, rezni zubi su izloženi intezivnom abrazivnom habanju i naizmenično promenljivom dinamičkom opterećenju. Ovo dovodi do progresivnog trošenja materijala zuba, a u težim slučajevima i do njegovog deformisanja ili loma. Tada zub ne može ispravno vršiti svoju osnovnu funkciju, što se direktni i indirektno odražava na kapacitet, opterećenje i potrošnju energije u radu bagera. Posledica svega su umanjeni ekonomski efekti proizvodnje uglja, uz istovremeno povećanje troškova, usled vremenskog zastoja bagera i zamene reznih elemenata (zuba). Troškove usled procesa trošenja materijala reznih elemenata je nemoguće eliminisati, ali ih je u značajnoj meri moguće smanjiti. Usporavanjem procesa habanja,

stvaraju se uslovi za neposredno produženje eksploatacionog veka zuba, a posredno i ostalih elemenata podсистema kopanja kod rotornog bagera.

2. MOGUĆNOSTI ZA PRODUŽETAK RADNOG VEKA ZUBA

Navarivanje tvrdog materijala i ugradnja pločice od tvrdog metala su kao metodologije produžetka eksploatacionog veka bagerskog zuba istraživane na domaćim površinskim kopovima. Ova istraživanja su dala određene pozitivne rezultate, ali ipak njihova šira primena je dosta ograničena. Postojeća ograničenja se odnose na vrstu iskopavanog materijala vezano sa vrstom i oblikom zuba, tehnologiju i potrebnu opremu za navarivanje. Postignuti efekti nisu adekvatni obzirom na troškove, zbog čega nemaju širu primenu. Ovde se nesporno može dobiti duži vek trajanja zuba, ali je postupak za sada skup i relativno komplikovan, obzirom na broj komada i geometriju koja se

navaruje, tako da ekonomski nije opravdan. Po mišljenju autora, u cilju produžetka eksploatacionog veka zuba na sadašnjem nivou istraživanja treba usmeriti na razvoj novih konstrukcionih rešenja i to kroz optimizaciju geometrije i primenu novih materijala jednodelnog zuba, ali i kroz razvoj i primenu nove dvodelne konstrukcije zuba za rotorne bagere. Predhodna istraživanja su pokazala ([4], [5], [6]) da dvodelna konstrukcija zuba ima višestruke prednosti po svim utvrđenim kriterijumima u odnosu na jednodelne zube, i da je u odnosu na rešenja sa navarivanjem i ugrađenim pločicama za sada povoljnija za primenu na površinskim kopovima u domaćoj površinskoj eksploataciji uglja.

3. OPTEREĆENJA I OGRANIČENJA

Faktori koji imaju najveći uticaj na proces kopanja, mogu se svrstati u četiri grupe: 1. fizičko-mehaničke karakteristike materijala koji se otkopava; 2. konstrukcija i kinematika radnog točka kao i celog bagera; 3. tehnološki parametri bloka; 4. kontakt između reznog elementa i materijala koji se otkopava.

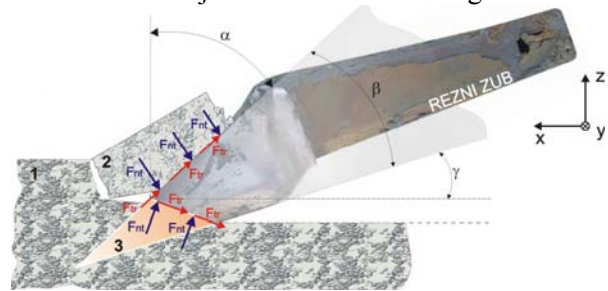


Slika 1. Šema procesa kopanja rotornim bagerima

Kada se govori o konstruisanju kako jednodelnog, tako i dvodelnog zuba rotornog bagera, potrebno je definisati: a) geometriju; b) dimenzije; c) materijal; d) način montaže; e) tehnologiju izrade i dr. Za ispravno konstruisanje i dobijanje optimalnog rešenja dvodelnog zuba, neophodno je definisati funkciju opterećenja posmatranog zuba kao i veličinu i oblik njegovog habanja u funkciji od uticajnih faktora na proces kopanja.

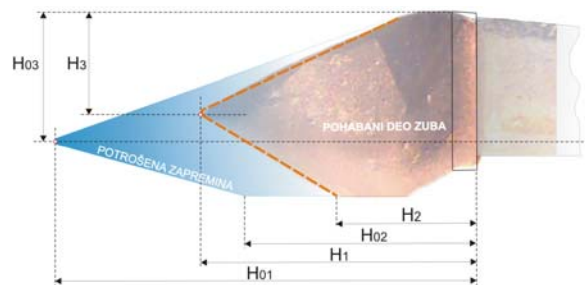
Tokom procesa kopanja vedrica zahvata stenski materijal jednim delom noža i određenim brojem zuba. Koji deo noža i koliki broj reznih zuba je uključen u ovaj proces zavisi od vrste vedrice, rasporeda i broja zuba, usvojenih tehnoloških parametara kopanja i smera zaokretanja strele bagera. Pojedinačno opterećenje zuba u najvećoj meri potiče od otpora rezanja stenskog materijala i otpora na reznim površinama zuba usled trenja i habanja (slika 2). Istraživanja su pokazala da je teorijsko definisanje vrednosti otpora kopanja veoma problematično i

komplikovano, jer zavisi od mnogo faktora, koji su međusobno povezani. Složeni procesi koji se javljaju tokom iskopavanja teško se mogu obuhvatiti odgovarajućim matematičkim jednačinama zbog veliki broj nepoznatih veličina. Zato se za određivanje otpora kopanja upotrebljavaju empirijski obrasci dobijeni iz laboratorijskih ili eksploatacionih ispitivanja ([8],[9]). Određivanje ovih otpora, koji predstavljaju spoljašnje opterećenje rotornog bagera je važno, jer se na osnovu njih može izvršiti proračun karakterističnih dimenzija reznih zuba. Na osnovu ovako dobijenih podataka, mogu se formirati orijentacioni ulazni podaci za proračun karakterističnih dimenzija i elemenata dvodelnog zuba.



Slika 2. Opterećenje zuba tokom procesa kopanja

Da bi se ispravno izvršila geometrijska identifikacija dimenzija zuba, potrebno je da se spoljašnje opterećenje karakterističnih delova radnog točka (vedrice, nož, zubi i dr.) poznaju kao funkcija vremena. Takođe je potrebno znati raspodelu opterećenja, sa poznavanjem tačnog pravca i smera. Da bi se odredilo pojedinačno opterećenje zuba važno je ustanoviti kako se ukupno opterećenje koje prima jedna vedrica, deli na njene rezne elemente, obzirom da ne učestvuju svi podjednako u procesu rezanja. U analizi, čiji su rezultati dati u okviru [7], razmatrana je raspodela ukupnog opterećenja jedne vedrice na rezne zube i nož.



Slika 3. Geometrijski parametri koji su korišćeni za merenje pohabanosti jednodelnih zuba

U cilju razvoja dvodelnog zuba, neophodno je utvrditi i maksimalne vrednosti pohabanosti zuba u predhodnim eksploatacionim uslovima. Ovo je bitno, zato što se u toku eksploatacije dvodelne konstrukcije ne sme dopustiti habanje drške zuba i elemenata veze. Habanje ovih

elementa ne sme nastupiti ni u ekstremnim slučajevima habanja, kako istrošenosti zuba, tako oblika i položaja pohabanih površina.

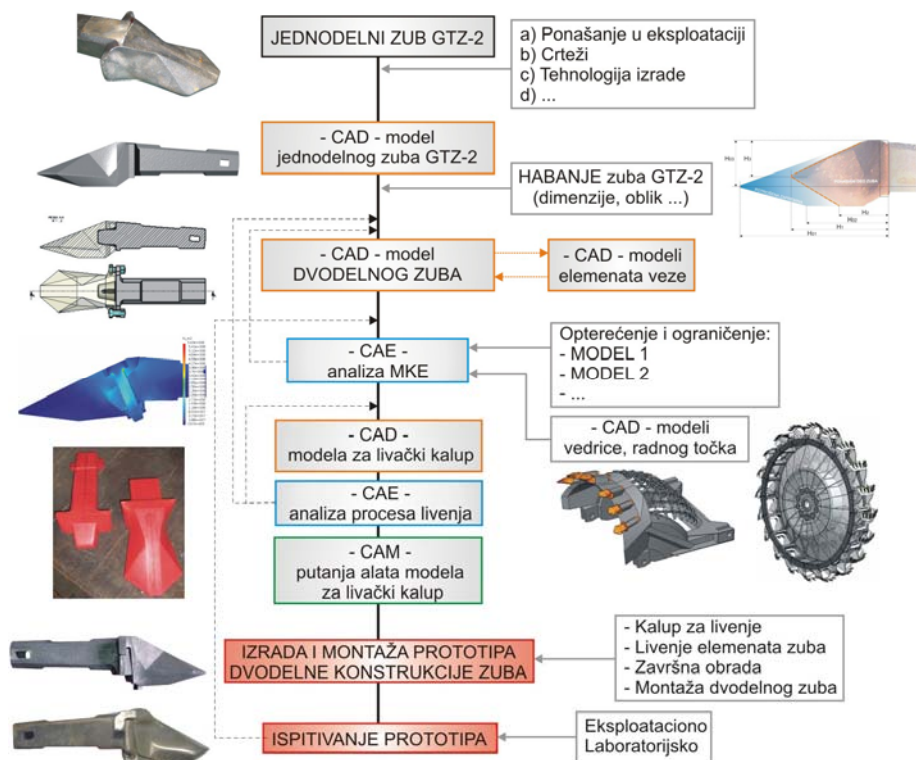
Svi nedostaci koji se mogu javiti tokom procesa livenja, hlađenja i termičke obrade, kao i nedostaci u tehnologiji dobijanja osnovnog materijala zuba, imaju ogroman uticaj na ponašanje zuba u radu i njegov eksploatacioni vek. Kao što je važno usvojiti optimalnu geometriju zuba, tačno proračunati i ispravno dimenzionisati kritične poprečne preseke, toliko je važno i da tehnologija izrade zuba bude najbolja moguća za date proizvodne uslove. Sve ovo ukazuje da je proces konstruisanja dvodelnog zuba složen proces, na prvom mestu zbog nepoznatog karaktera opterećenja pa u cilju dobijanja optimalnog rešenja, adekvatno je primeniti integrisani pristup konstruisanja.

4. INTEGRISANI PRISTUP RAZVOJA DVODELNE KONSTRUKCIJE ZUBA

Integrisani pristup razvoja dvodelnog zuba ima za cilj da skрати vreme razvoja, a proizvod dodatno usavrši u ovoj fazi [3]. Simultani i virtuelni koncept na kojima se zasniva integrisani pristup konstruisanja, povećava upotrebu kompjuterskih alata u cilju obezbeđivanja tri ključne aktivnosti:

komunikacije, vizuelizacije i simulacije. Tehnologije koje obezbežuju integrisani pristup konstruisanju između ostalog su grafičko 3D modeliranje solida i analize i simulacije bazirane na metodi konačnih elemenata (MKE). Modeli, modeliranje i simulacije su osnova ovog pristupa. Pomoću modela se proverava predloženo rešenje u uslovima sličnim eksploatacionim i na taj način se mogu otkloniti uočeni nedostaci. Izrada proizvoda se takođe simulira do postizanja optimalnih konstrukcijskih parametara. Efekti ovakvog pristupa razvoju dvodelne konstrukcije zuba su dali veoma značajne rezultate (slika 4.).

Najefikasniji trenutak za start strukturalne analize dvodelnog zuba je faza razmatranja osnovnog koncepta. Osnova od koje se pošlo je provereno i ispitano rešenje jednodelnog zuba GTZ-2, koji se koristi za otkopavanje otkrivke na rotornom bageru SRs2000 32/5.0. Ovaj zub je pokazao svoje dobre rezultate, kako po pitanju geometrije, tako i po pitanju materijala, a postoji i razvijena tehnologija njegove izrade. Rezultati zuba GTZ-2 poslužili su za usvajanje osnovnih koncepcija i generisanje varijantnih rešenja dvodelnog zuba.



Slika 4. Integrisani pristup korišćen u razvoju dvodelne konstrukcije zuba

Istovremeno za svako varijantno rešenje izvršena je analiza naponskog stanja primenom metode konačnih elemenata. Kada se govori o primeni u cilju razvoja dvodelne konstrukcije zuba, razmatrano je više opcija. Prvo su razmatrani trendovi promene najvećih napona u konstrukciji, za varijante ograničenja i

opterećenja. Kada je usvojeno optimalno konstrukciono rešenje i izrađen prototip, izvedena je kvalifikacija usvojenog modela opterećenja i ograničenja saglasno podacima dobijenih iz eksploatacionog ispitivanja. Cilj je bio postavljanje bazne metodologije za dalji razvoj konstrukcije.

Jedno od važnijih pitanja u fazi razvoja bilo je koju aproksimaciju iskoristiti za rešavanje problema. Zadavanje podataka u analizi MKE je u skladu sa postojećim uslovima rada reznog zuba, odnosno potrebno je pažljivo ispitivanje graničnih uslova, osobina materijala, geometrije, parametara radne sredine itd. Predhodne uslove je često nemoguće ispravno opisati, jer su nepoznati ili su izvan kontrole projektanta. U takvim slučajevima, analiza trenda je efektivna tehnika koja pomaže da se generišu određeni korisni podaci, koji „vode“ proces konstruisanja. Međutim, analiza trenda neće dati podatke o stvarnim performansama konstrukcije, ali će pokazati efekte geometrijskih promena i osetljivost na parametre kao što su osobine materijala i primenjeno opterećenje, što je za razmatranje problema dvodelne konstrukcije zuba bilo veoma značajno.

5. ZAKLJUČAK

Inženjerski i drugi problemi kod kojih se opšta rešenja ne mogu dobiti u zatvorenom obliku, induktivni pristup je od posebnog značaja. Rešenja koja se dobijaju pomoću modela i primenom simulacija metodom konačnih elemenata, su približna ili aproksimativna rešenja. Sa praktičnog gledišta treba znati sa koje su strane približna rešenja u odnosu na tačno rešenje, odnosno da li su dobijeni rezultati na strani sigurnosti.

Integrirani pristup koji je korišćen pri razvoju dvodelnog zuba, nudi prednosti koje se ogledaju u smanjenju troškova, samim tim što se u jednom delu analize koristi računar, umesto testiranja u eksploatacionim uslovima. Sam proces je ubrzan, obzirom da je smanjen broj razvojnih ciklusa proizvoda, automatskim odbacivanjem nezadovoljavajućih koncepcija. Prednost se ogleda i u unapređenju konstrukcije, usled velikog broja testiranjem metodom konačnih elemenata, (mogućnost testiranja velikog broja različitih koncepcija), što je omogućilo donošenje bolje odluke o finalnom izgledu. Cilj svih ovih analiza je da se iz velikog broja različitih konstrukcija izabere optimalno rešenje i ono naknadno testira u eksploatacionim uslovima. Naknadnim testiranjem, dobija se zapravo povrtana veza za ulazne i izlazne podatke

simulacije, čime se ostavljuje korekcija analize i postavljanje osnova za buduće iste ili slične probleme u konstruisanju.

Vrednost analiza primenom simulacija leži u potencijalnoj uštedi u kasnijim fazama ciklusa razvoja proizvoda. Ne samo da planirano testiranje onda može biti brže urađeno i za manju cenu, već simulacija omogućava ispitivanje scenarija opterećenja koje bi bilo preskupo raditi u realnom svetu. Međutim, mora se istaći da istinska performansa konstrukcije neshvatljiva do izrade prototipa i faze testiranja, što je i urađeno za usvojena varijantna rešenja dvodelnog zuba.

LITERATURA

- [1] Ivković, B., Rac, A., *Tribologija*, Jugoslovensko Društvo za Tribologiju, Kragujevac, 1995.
- [2] Tanasijević, S., *Tribološki ispravno konstruisanje*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2004.
- [3] Ognjanović, M., *Konstruisanje mašina*, Mašinski fakultet, Beograd, 2003.
- [4] Jugović, Z., *Tribo-ekonomski efekti primene dvodelne konstrukcije zuba na rotornim bagerina*, Treća Jugoslovenska konferencija o tribologiji YUTRIB'93, Kragujevac, 1993.
- [5] Jugović, Z., Trbojević, M., Stoisavljević, N., Stajčić, F., *Uticaj konstrukcije zuba za rotorne bagere na troškove proizvodnje*, Zbornik radova Prvog Jugoslovensko-čehoslovačkog simpozijuma „Tehnika, tehnologija i upravljanje procesima u površinskoj eksploataciji uglja“.
- [6] Jugović, Z., *Konstrukcija reznih elemenata - zuba za rotorne bagere sa aspekta tribologije*, YUTRIB'89, Prva Jugoslovenska konferencija o tribologiji, Kragujevac, 1989.
- [7] Ignjatović, D., *Izvod iz studije – optimizacija konstrukcije vedrice bagera u cilju povećanja kapaciteta*, Rudarsko geološki fakultet, Beograd, 2003.
- [8] Hitzschke, K., Jacob, K., *Experimentelle Analyse der Belastung des Schaufelrades durch den Grabvorgang*, Teil 1,2, Hebezeuge und Fördermittel 24, Berlin, 1984.
- [9] Raaz, V., *Assesment of the Digging Force and Optimum Selection of the Mechanical and Operational Parameters of Bucket Wheel Excavators for Mining of Overburden, Coal and Partings*, KRUPP Fördertechnik, Germany, 2005.