

OCENA VEKA PROIZVODNE OPREME**THE EVALUATION OF PRODUCTION EQUIPMENT
LIFE CYCLE**

Aleksandar Tanasković, dipl. inž. maš.

*JKP Beogradski vodovod i kanalizacija,
Pogon "Bele vode", Beograd
e-mail: aca.tan@nadlanu.com*

**REZIME**

Ocena veka proizvodne opreme polazi od činjenice da se ukupni troškovi posedovanja i rada opreme tokom životnog ciklusa menjaju po određenoj zakonitosti, koju modeli zamene i drugi tehničko-ekonomski modeli uzimaju u obzir.

Radi ocene veka opreme i razotkrivanja njenog fizičkog smisla, u radu su razmotrane tri kategorije veka: fizički vek, moralni vek i tehničko-ekonomski vek.

Ključne reči: Vek, oprema, ocena

ABSTRACT

The evaluation of production equipment life cycle starts from the fact that overall ownership and operating costs during life cycle change by determined low, which the replacement models and other technical-economic models respected.

In this paper, because of evaluation of equipment life cycle and disclosure its physical signification, three life cycle categories are considered: physical life cycle, moral life cycle and technical-economic life cycle.

Key words: Life cycle, equipment, evaluation

1. UVOD

Savremeni korisnici zahtevaju od proizvodne opreme da bude pouzdana, da vrši svoje funkcije bezbedno i da se lako održava u toku svoga veka trajanja. Njihova odluka za kupovinu nije bila samo rezultat početnih troškova (troškova nabavke) nego i razmatranja očekivanih troškova u radu i održavanju opreme tokom veka trajanja (troškovi vlasništva). To se postiže analizom "Troškova veka" ili "Troškova životnog ciklusa" (engl. *Life cycle cost*) koja predstavlja jedan složeni proces ekonomskih analiza, koja obuhvata sve vrste troškova, troškova nabavke, korišćenja i održavanja opreme. Analize troškova veka se najefikasnije primenjuju u prvoj fazi projektovanja, jer se tako omogućuje optimizacija osnovnog projektnog prilaza. Međutim, potrebno je da se ove analize vrše i u narednim fazama, paralelno sa optimizacijom ostalih inženjerskih pitanja [1, 2, 3, 4, 5].

Standard IEC 300-3-3 [1] daje "Opšti uvod u koncept troškova veka". Iako se troškovi veka

sastoje od mnogih elemenata, ovaj standard posebno razmatra troškove vezane za "Sigurnost funkcionisanja"¹ proizvoda. On takođe daje opšte smernice za vršenje analiza i drugih elemenata ukupnih troškova veka. U standardu se objašnjava predmet i važnost ocenjivanja ukupnih troškova veka i ukratko opisuju primenjeni opšti prilazi. Takođe se indentifikuju tipični elementi troškova, a daje se i opšte uputsvo za sprovođenje analiza i razvoj modela za ocenjivanje troškova.

Pitanje koje u ovom standardu ostaje otvoreno jeste kako se procenjuje očekivani vek proizvodne opreme.

Na ovo pitanje pokušavaju da daju odgovor veći proizvođači opreme, na osnovu dosadašnjeg iskustva. Međutim, treba imati u vidu da faktori, pre

¹ Sigurnost funkcionisanja (dependability) je zajednički pojam koji se koristi da opiše raspoloživost i faktore koji na nju utiču: pouzdanost, pogodnost održavanja i logističku podršku održavanju [2].

nego radni uslovi, mogu uticati na periode opadanja vrednosti opreme. Na primer, dobro i redovno održavanje često može da produži ekonomski vek opreme. Stoga je veoma važno da se zna namena, operativni uslovi i načini održavanja, kao i specijalni faktori kod utvrđivanja predviđenog (procenjenog) veka opreme, a radi pada vrednosti.

Imajući u vidu napred rečeno procena veka proizvodne opreme može biti veoma rastegljiva. Zato postoji potreba bližeg određenja veka i trenutka kada opremu treba isključiti iz upotrebe. Takvu mogućnost otvaraju različiti modeli; koji se odnose na fizički, moralni ili tehničko-ekonomski vek u koje spadaju i različiti modeli zamene. [2,3,4,5].

Ovom prilikom, za ocenu dugovečnosti opreme i razotkrivanje njenog fizičkog smisla razmotrićemo tri kategorije procene veka: fizički vek t_f , moralni vek t_m i tehničko-ekonomski vek t_e .

2. FIZIČKI VEK

Fizički vek t_f – dužina rada opreme u srednjim uslovima do srednjeg ili generalnog remonta (među-reмонтни period).

Fizički vek opreme određuje dugovečnost njenih sastavnih delova i sklopova i zavisi od dugovečnosti sprega pojedinih elemenata. Sprege se karakterišu uzajamnom vezom uz odgovarajući zazor ili

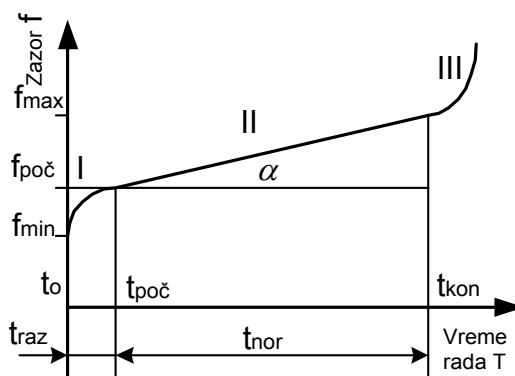
preklop. Utvrđivanje fizičkog veka pojedinih sklopova vrši se na osnovu veličine promene zazora sprege.

Radi ilustracije mogućnosti kvalitetne ocene fizičkog veka sklopova posmatrajmo kinematiku habanja para trenja sklopa: rukavac – čaura kliznog ležaja.

Na sl. 1. predstavljena je kriva porasta habanja parova elemenata u radu: po apcisi prikazano je vreme rada parova, a po ordinati mera habanja (u datom slučaju zazor).

Period razrade – uhadavanja t_{raz} sklopa karakterističan je po najbržem habanju elemenata sklopova u početnom periodu ($\tan \alpha = \max$) i stabilizovanja brzine habanja na kraju perioda uhadavanja ($\tan \alpha = \text{const}$). To se objašnjava početnim značajnim kontaktim naprežanjima u tačkama faktičkog kontakta, koja se nalaze na vrhovima neravnina spregnutih taručih površina. U kojoj meri uhadanosti mikro-neravnine spregnutih elemenata se izravnavaju, u toj meri kontaktno naprežanje se smanjuje i brzina habanja stabilizuje.

Iz razloga izbegavanja narušavanja čvrstine spregnutih površina u periodu razrade se ne preporučuje opterećenje blisko nominalnom. Zbog toga uhadavanje, po pravilu, se izvodi po što lakšem režimu, sa opterećenjem znatno manjim od nominalnog.



Slika 1: Kriva rasta habanja elemenata u radu

Kriva ima tri jasno izražena dela:

1. Početni – krivolinijski deo I, koji je karakterističan za proces razrade novog sklopa (period $t_0 - t_{poc}$);
2. Pravolinijski deo II (prirodno habanje) najveći po dužini, odgovara periodu normalnog rada sklopa ($t_{poc} - t_{kon}$).
3. Konačni deo III, takođe je krivolinijski i odgovara periodu izlaska iz rada sklopa, usled pohabanosti preko dopuštene mere (havarijska pohabanost).

Period normalnog habanja (prirodno habanje) karakteriše se stalnom brzinom ($\text{tg } \alpha = \text{const}$). U toku ovog perioda prirodno istrošenje spregnutih elemenata raste zajedno sa povećanjem vremena rada mehanizama. Istovremeno postepeno raste količina pohabanosti do izvesnog perioda koji ne dovodi do kvalitetne izmene u radu sklopova i, očigledno, samo do tog predela habanje se može smatrati prirodnim (normalnim).

Kada se pređe ovaj period (f_{max}) pohabanost dovodi do oštrog pogoršanja u radu mehanizama, a proces rada sklopova iz statičkog prelazi (kao rezultat nedopuštenog uvećanja zazora) u dinamičko ponašanje sa svim negativnim faktorima. Prema tome, habanje prerasta iz prirodnog u havarijsko (odsećak III).

Ako se dopusti rad sklopova (sprega) u zoni havarijskog habanja, to ima za rezultat narušavanje uslova tečnog trenja, pojavljuje se vezivanje i čupanje (otkidanje) čestica materijala spregnutih površina, temperatura brzo raste i sklop ispada iz rada.

Zadatak tehničkog opsluživanja je da pravovremeno uoči momenat graničnog habanja mehanizama, predupredi havarijsko habanje, remontuje pohabanu spregu (sklop) i, na taj način, bez većih gubitaka, vrati predhodne radne karakteristike.

Pri oceni fizičke dugovečnosti t_f sklopa treba imati u vidu, da delove I i III opisane krive treba izuzeti, i da sa početkom normalnog rada sklopa završava se rad uhodavanja $t_{\text{poč}}$ a kraj vremena t_{kon} , odgovara periodu dopuštenog habanja (zazoru) f_{max} . U tom slučaju fizički vek t_f svakog sklopa, radeći u utvrđenom režimu, može biti izražen sledećom zavisnošću

$$t_f = \frac{f_{\text{max}} - f_{\text{poč}}}{\text{tg } \alpha} \quad (1)$$

gde su f_{max} i $f_{\text{poč}}$ - odgovarajući dopušteni i početni zazori; $\text{tg } \alpha$ - veličina, koja karakteriše (označava) brzinu habanja sprege (porast zazora).

Vrednost početnog zazora $f_{\text{poč}}$ i maksimalno dopuštenog f_{max} u sklopovima određuju se analitičkim putem pri proračunu konkretnog mesta trenja.

Brzina istrošenja konkretne sprege može biti utvrđena pomoću jednačine (1).

3. MORALNI VEK

Moralni vek (moralna istrošenost) t_m period služenja opreme, posle koga oprema postaje tehnički i ekonomski neefektivna u poređenju sa novim opremom, savremene konstrukcije.

Ekonomski zakoni razvoja privrede zahtevaju neprekidno usavršavanje konstrukcije opreme – povećanje njene produktivnosti, poboljšanje kvaliteta rada, i sniženje cene rada. To stvara ekonomsku osnovu tehničkog napretka – neprekidnog usavršavanja konstruisanja i proizvodnje opreme. Isto tako oprema proizvedena sa malim “stepenom usavršenosti” brzo stari (moralno dotraje) tako kao njena zamena dolazi usavšenija oprema; pri tome može biti slučaj, kada moralni vek postojeće opreme tako značajano opadne, zbog čega oprema ne uspe da se otplati dovoljnim efektivnim radom.

Pokazatelj moralnog veka opreme može biti koeficijent moralne istrošenosti

$$K_{m,i} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = \frac{\Delta C}{C_1} \quad (2)$$

gde su C_1 – cena koštanja jedinice proizvoda stare opreme; C_2 – cena koštanja proizvoda nove opreme; ΔC – ušteda od uvođenja u eksploataciju nove opreme.

Analizirajmo jednačinu (2). Kako se vidi, veličina koeficijenta moralne istrošenosti može se naći u oblasti

$$0 \leq K_{m,i} \leq 1$$

Kada je $C_2 = C_1$ tada je koeficijent $K_{m,i} = 0$, tj. analizirana (“stara”) oprema nije još moralno istrošena i predstavlja potpuno savremenu opremu. Kada je C_2 daleko manje od C_1 vrednost $\Delta C \rightarrow C_1$ i može se približiti veličini $\Delta C \approx C_1$. U tom slučaju $K_{m,i} \rightarrow 1$. To označava skoro potpunu moralnu istrošenost, koju je nezavisno od njenog faktičkog fizičkog stanja neophodno zameniti novom, savršenijim.

Povećanje veka opreme jeste sredstvo za smanjenje troškova rada po jedinici proizvoda. Iz ovoga proizilazi da treba tražiti ekonomičniju oblast vremena rada opreme, tj. ekonomski optimalan vek. Ovo određuje tehničko–ekonomski (optimalni) vek.

4. TEHNIČKO-EKONOMSKI VEK

Tehničko-ekonomski vek t_e – ekonomski celishodan vek opreme, koji odgovara minimalnoj vrednosti specifične cene koštanja njenog rada.

Kvantitativna ocena t_e može biti izražena na osnovu sledećih shvatanja. Prema meri istrošenosti njena produktivnost (proizvodnost) opada, a eksploatacioni troškovi rastu na materijalu (gorivo, mazivo, energija).

Sa druge strane, sa svakim generalnim remontom kao rezultat istrošenosti sve većeg broja elementa obim remonta, potrošnja rezervnih delova, a prema tome, i vrednost remonta raste. Sve to u zbiru se odražava na cenu jedinice proizvoda.

Kod ekonomski najpovoljnijeg rada opreme t_e zbirni troškovi korišćenja, koji se odnose na veličinu izvršenog rada, su minimalni.

Zbirni troškovi korišćenja opreme mogu biti izraženi na sledeći način:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (3)$$

gde su C_1 – jednokratni troškovi nabavke opreme; C_2 – troškovi nadzora, pogonske energije, maziva i radne snage; C_3 – troškovi eksploatacionog materijala, rezervnih delova, remonta i servisiranja.

Troškovi C_2 su proporcionalni vremenu t korišćenja opreme

$$C_2 = B t$$

a troškovi C_3 progresivno rastu sa povećanjem vremena u eksploataciji

$$C_3 = K t^q$$

gde su B – troškovi grupe C_2 na jedinicu vremena eksploatacije mašine; K – početna veličina eksploatacionih troškova; q – stepen rasta eksploatacionih troškova prema meri istrošenosti opreme.

Kada uvrstimo prihvaćene izraze za troškove u jednačinu (3), dobijamo

$$C = C_1 + B t + K t^q$$

Da bi dobili specificirane troškove, neophodno je sumarne troškove raspodeliti na rad koji je oprema ostvarila.

Radi uprošćenja analitičkog rešenja izrazićemo ukupne troškove po vremenu t . Tada su specifični troškovi

$$Z = \frac{C}{t} = \frac{C_1}{t} + B + K t^{q-1} \quad (4)$$

Na slici 2. prikazana je izmena veličine specifičnih troškova na jedinicu rada opreme u zavisnosti od vremena rada.

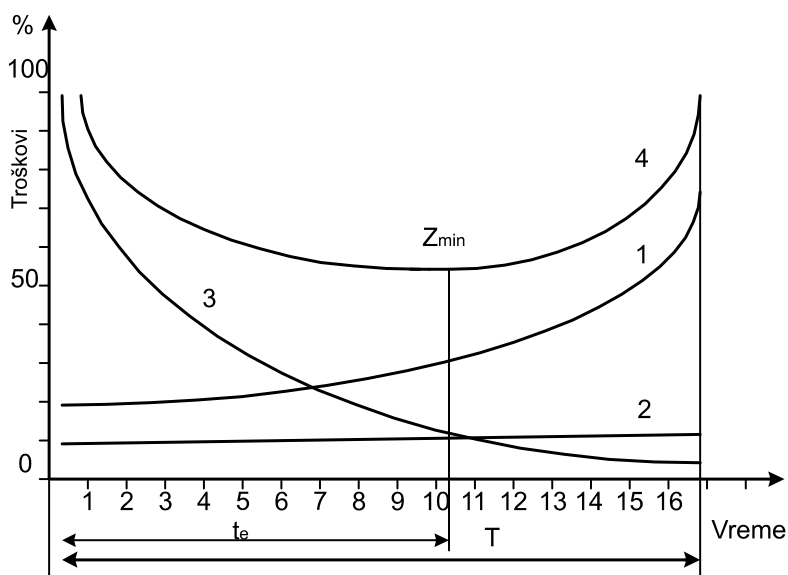
Specifični troškovi nadzora, energije i radne snage (kriva 2) ostaju praktično konstantni, specifični troškovi za eksploataciono opsluživanje progresivno rastu (kriva 1). Značajna izmena u toku eksploatacije je kod specifičnih troškova nabavke opreme (kriva 3). Oni se umanjuju po meri uvećanja količine ostvarenog rada.

Takav karakter krive objašnjava se time, da suma, utrošena za nabavku opreme, se raspodeljuje na sve veću količinu obavljenog rada od početka eksploatacije.

Sumarni specifični troškovi na ostvarenu jedinicu rada predstavljeni su krivom 4, koja je dobijena kao zbir više pojedinačnih troškova. Analizom ove krive vidi se, da se troškovi po jedinici rada u toku eksploatacije, u početku smanjuju i u određenom momentu dostižu minimalnu vrednost $Z_{\min}$, a posle toga počinju da rastu.

Vreme t_e , od početka eksploatacije opreme do momenta, koji ogovara $Z_{\min}$, određuje tehničko ekonomsku dugovečnost opreme.

Krive na slici 2 unekoliko su idealizovane (u stvarnosti one imaju stepenast karakter, koji se objašnjava prekidnim porastom troškova remonta, otklanjanja otkaza, gubitaka od otkaza itd.)



Slika 2: Grafička izmena jediničnih troškova

1 – specifični troškovi eksploatacionog opsluživanja; 2 – specifični troškovi nadzora, goriva i radne snage; 3 – vrednost opreme, knjižena na jedinicu proizvoda; 4 – zbirni specifični troškovi na ostvarenu jedinicu rada; t_e – tehničko-ekonomski vek; T – vreme rada opreme.

Veličinu tehničko-ekonomske dugovečnosti moguće je odrediti i analitički.

Izjednačavanjem izvoda funkcije (4) sa nulom

$$\frac{dZ}{dt} = -C_1 t^{-2} + (q-1) K t^{q-2} = 0$$

i rešavanjem po vremenu

$$t_e = \sqrt[q]{\frac{C_1}{(q-1)K}} \quad (5)$$

dobijamo izraz tehničko-ekonomskog veka opreme.

Izraz (5) dopušta argumentovan proračun optimalnog vremena rada proizvodne opreme u zavisnosti od specifičnih osobina njene konstrukcije i objektivnih uslova eksploatacije.

Odnos nabavne cene C_1 i eksploatacionih troškova K , sa stepenom povećanja troškova q , odlučujuće utiču na tehničko-ekonomski vek. Drugim rečima proizvodna oprema sa relativno niskim troškovima održavanja u odnosu na nabavnu vrednost je dužeg veka i obrnuto.

Ova konstatacija ima tehnički i ekonomski smisao i treba je slediti prilikom procene veka proizvodne opreme.

U sadašnje vreme, vek rada opreme utvrđuje se jedino za celu populaciju na osnovu analiza statističkih pokazatelja iz prethodnih godina. Isto tako takav metod ne uzima u obzir konkretne uslove, uticajne na veličinu tehničko-ekonomske dugovečnosti i zbog toga je netačan.

5. ZAKLJUČAK

Iz prakse je poznato, da pojavljivanje potrebe za skupim generalnim remontom predstavlja signal za proveru celishodnosti produžavanja roka upotrebe opreme. Ako proračuni pokažu, da sledeći generalni remont produžava sniženje cene koštanja svih radova određene jedinice opreme, od početka eksploatacije do sledećeg remonta, jedinicu je celishodno remontovati, u protivnom slučaju treba je zameniti novom.

Tehnički posmatrano to znači da ako se mora znatno intervenisati na mnogim komponentama ili ih treba zameniti tada je celishodnije zameniti celu jedinicu novom, čime je obezbeđena sigurnost funkcionisanja nove opreme i izbegnut rizik smanjene sigurnosti funkcionisanja stare opreme u koju bi se izvršila znatna ulaganja.

LITERATURA

- [1] IEC 300-3-3 Dependability management – Part 3: Application guide – Section 3: “Life cycle costing”, (1996).
- [2] JUS IEC 300-1 / ISO 9000-4 Upravljanje sigurnošću funkcionisanja – Deo 1: “Upravljanje programom sigurnosti funkcionisanja”, (1995).
- [3] “Estimating Owning & Operating Costs” (str. 17-1 do 17-48), Caterpillar Performance Handbook, Edition 26, 1995.
- [4] Stanojević, R. (1970): Uvod u operaciono istraživanje (str. 45-56), Institut za ekonomiku industrije, Beograd.
- [5] Averbuh, B. A., Kalašnikov, N. V.; Keršenaub, JA. M., Protasov, V. N. (1976): Remont i montaž burovog i naftegazopromislovog oborudobanija (str. 14-30), “Nedra”, Moskva.
- [6] Jukka Tolvanen, Alessandra Boffa, Johanna Johansson and Giorgio Brianza; Optimizing Life Cycle Costs (LCC) in Water Segment Pumps with ABB Drives, www1.cetim.fr/eemods09/pages/prog...
- [7] Allan R. Budris; Key Considerations for Pump Life Cycle Cost Reduction, www.waterworld.com/index/display/artic...
- [8] Pump User's Handbook, Life Extension" by Heinz P. Bloch & Allan R. Budris, second edition, 2006, by Fairmont Press, Inc.

Institut za istraživanja i projektovanja u privredi

okuplja eksperte iz raznih oblasti, koji u proseku imaju preko 15 godina iskustva u pružanju naprednih konsultantskih usluga tehničke prirode i primeni inženjerskih znanja na razvoju i osvajanju proizvoda i tehnologija. Široka kompetencija, bogato iskustvo i saradnja sa preko 30 vodećih kompanija u zemlji i inostranstvu, kvalifikuju nas kao pouzdane partnere u sledećim oblastima inženjeringa:



Projektovanje informacionih sistema
Implementacija standarda serije ISO 9000
Projektovanje i izrada baza podataka i softvera
CAD/CAM/CAE projektovanje (CATIA, AutoCAD)
Projektovanje sistema održavanja

Imperativ permanentnog obrazovanja i želja da se podigne opšti nivo funkcionalnih znanja i sposobnosti poslovanja pojedinaca i preduzeća, opredelila je Institut da u delokrug svog rada uključi :

Izdavaštvo, Obuka kroz seminare, Organizacija i tehnička podrška naučno-stručnim skupovima

www.iipp.co.yu