

ANALIZA UTICAJA OTPORA KOPANJU NA VEZU ROTORA SA POGONSKIM VRATILOM

Prof. dr Milomir Gašić, dipl. maš. inž.¹⁾, prof. dr Zvonimir Jugović, dipl. maš. inž.²⁾,
doc. dr Mile Savković, dipl. maš. inž.³⁾, doc. dr Milomir Čupović, dipl. maš. inž.⁴⁾

Kategorizacija rada: STRUČNI RAD

Recenzenti: Prof. dr Dragoslav Janošević,
Rad primljen: 04.09.2008.

Adresa:

^{1,3,4)} Mašinski fakultet Kraljevo
²⁾ Tehnički fakultet Čačak

Rezime: U radu je izvršena analiza prenosa opterećenja od otpora kopanju na rotor bagera kao i njihov uticaj na izvođenje mehanizma za pogon rotora. Analizirana je i proračunski obrađena oslona ploča za prenos opterećenja na kućiše reduktora pri čemu je uvedeno dominantno opterećenje u vidu momenta.

Ključne reči: sila rezanja, rotor, oslona ploča, naponi i deformacije

1. UVODNA RAZMATRANJA

Proces kopanja rotornim bagerom se ostvaruje složenim kretanjem koje se sastoji od pravolinijskog kretanja vučne mašine, obrtnog kretanja rotora i nosača rotora.

Ukupan otpor rezanju se sastoji od (slika 2):

- tangene komponente otpora rezanju R_{ti} ,
- normalne komponente otpora rezanju R_{Ni} ,
- bočne komponente otpora rezanju R_{bi} .

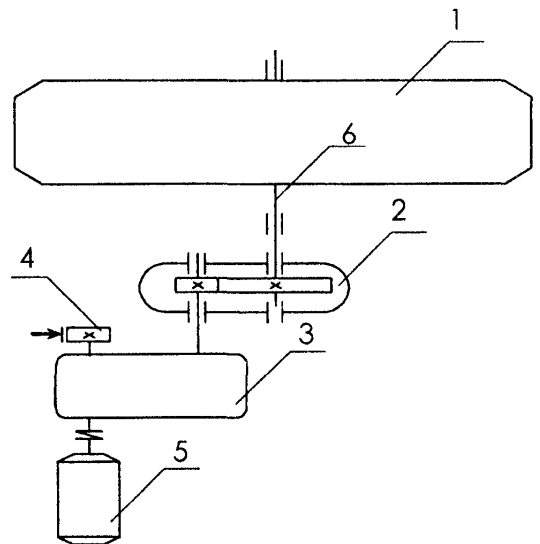
Tangentne i normalne komponente otpora deluju u ravni rotora dok bočne deluju normalno na ravan rotora. Vrednosti ovih komponentata zavise od više faktora, pri čemu su karakteristike tla i kapacitet od presudnog značaja. Kako je opšta težnja za ostvarivanjem što većeg kapaciteta iskopanog materijala, to uslovljava i sve veće otpore rezanju. Sa njihovim povećanjem dolazi i do povećanog opterećenja elemenata pogonskog mehanizma.

MODEL POGONSKOG MEHANIZMA

Šema pogonskih mehanizama rotora, po pravilu se sastoje od reduktora, zupčastog para (slika 1), pogonskog motora i kočnice.

Veličina komponente bočnog otpora s obzirom na intenzitet i pravac dejstva na rotor (slika 2), ima dominantnu ulogu za rešenje veze rotora s pogonskim vratilom.

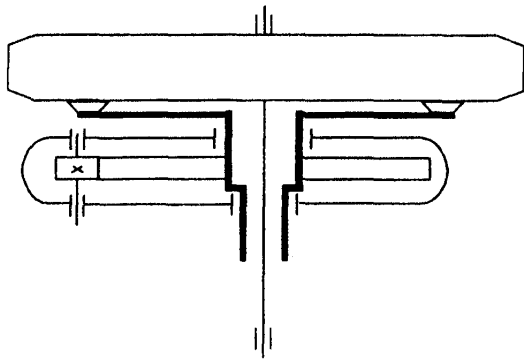
Često veza rotora sa pogonskim vratilom (slika 1) nije u mogućnosti da prenese sva opterećenja od rotora do zupčastog para. U tom slučaju ostvaruje se dopunska veza izvedena preko oslone ploče (slika 3). Obodi i centralni deo ploče su sa krutim prstenovima.



- | | | |
|------------|-----------------|----------------------------|
| 1. Rotor | 2. Zupčasti par | 3. Reduktor |
| 4. Kočnica | 5. Elektromotor | 6. Pogonsko vratilo rotora |

Slika 1. Standardna šema pogonskog mehanizma za obrtno kretanje rotora

Slika 2. Šema otpora koji deluju na radni točak bagera

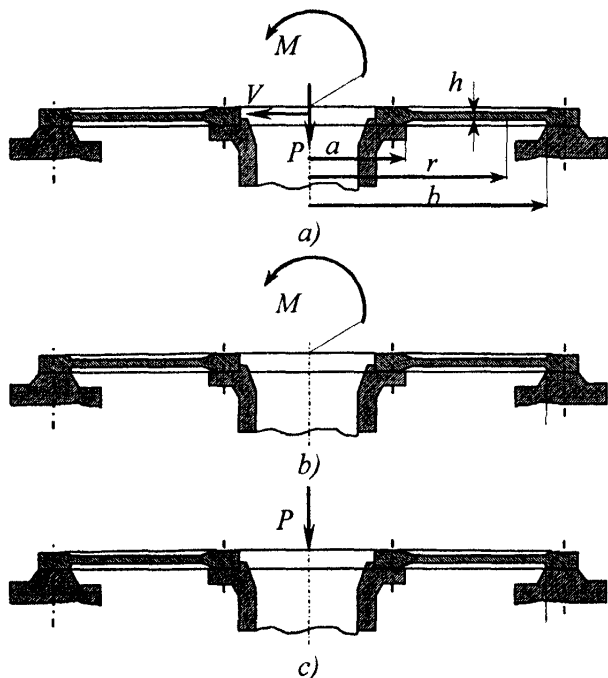


Slika 3. Šema pogonskog mehanizma za obrtno kretanje rotora sa oslonom pločom

3. OPTEREĆENJA OSLONE PLOČE

S obzirom na dejstva komponenata otpora rezanja (R_{ti} , R_{Ni} , R_{bi}) oslona ploča je opterećena silama P i V i momentom M (slika 4).

Uticaji dejstva sila P i V nisu dominantni na opterećenje oslone ploče i u ovom radu nisu uzeti u obzir. Uticaj napadnih opterećenja na oslonu ploču će se razmatrati odvojeno (slika 4b i slika 4c) a superponiranjem rezultata dobija se prava slika deformacija i napreznja (slika 4a)[1].



Slika 4. Opterećenja membrane

3.1. Oslona ploča opterećena momentom

Noseća ploča se može posmatrati kao ploča koja je uklještena po obodu sa rotorom (veza sa vijcima) i preko unutrašnjeg kružnog prstena sa pogonskim vratilom (veza sa vijcima).

Diferencijalna jednačina poprečno opterećene tanke cilindrične ploče [2] u polarnim koordinatama (r, φ) glasi:

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \cdot \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) = \frac{p}{D} \quad (1)$$

gde je D - cilindrična krutost ploče. Ugib w i pritisak p imaju pozitivan smer ako imaju smer nadole.

Konturni uslovi pri uklještenom kraju ploče su:

$$w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial r} = 0; \quad (2)$$

Opšte rešenje diferencijalne jednačine (1) se može predstaviti u vidu zbira homogenog i partikularnog rešenja:

$$w = w_h + w_p \quad (3)$$

Homogeno rešenje diferencijalne jednačine (1) se prema [2] može napisati u sledećem obliku:

$$w_h = F_0(r) + \sum_{r=1}^{\infty} F_m(r) \cdot \cos(m \cdot \varphi) + \sum_{r=1}^{\infty} F_m(r) \cdot \sin(m \cdot \varphi) \quad (4)$$

gde su:

$$F_0(r) = C_{10} + C_{20} \cdot r^2 + C_{30} \cdot \ln \frac{r}{h} + C_{40} \cdot r^2 \cdot \ln \frac{r}{h};$$

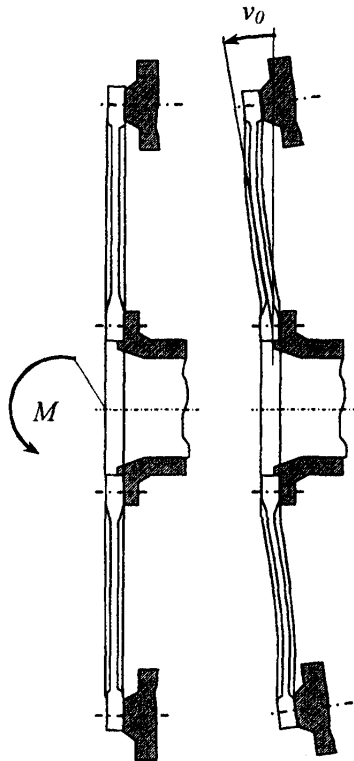
$$F_m(r) = C_{1m} \cdot r^m + C_{2m} \cdot r^{-m} + C_{3m} \cdot r^{m+2} + C_{4m} \cdot r^{-m+2} \quad (\text{pri } m \neq 1)$$

$$F_m(r) = C_{11} \cdot r + C_{21} \cdot r^{-1} + C_{31} \cdot r^3 + C_{41} \cdot r \cdot \ln \frac{r}{h} \quad (\text{pri } m = 1)$$

C_{ij} - konstante integraljenja, h - debljina ploče, r - tekuća koordinata poluprečnika ploče (nalazi se u granicama od a do b -slika 4a)

(5)

Prvi sabirak u jednačini (4) se odnosi na ugib pri osnosimetričnom savijanju ploče. Sabirci koji sadrže $\cos(m \cdot \varphi)$ se odnose na ugib u ravni $\varphi = 0$; tj. u ravni simetrije deformacije, a sabirci koji sadrže $\sin(m \cdot \varphi)$ se odnose na ugib u ravni koja pod uglom od 90° prema ravni simetrije deformacije.



Slika 5. Deformacije oslone ploče membrane

Partikularno rešenje diferencijalne jednačine (1) se odeđuje za svaki slučaj opterećenja ploče posebno, u zavisnosti od pritiska. Deformacije oslone ploče i ugao zakretanja krutog oboda v od momenta prikazani su na slici 5.

Ako se početak očitavanja ugla φ vrši od ravni u kojoj deluje moment (ravan simetrije) to će članovi u jednačini (4) koji sadrže $\sin(m \cdot \varphi)$ biti jednaki nuli.

Sabirak $F_0(r)$ u datom slučaju takođe je jednak nuli, jer savijanje ploče nije osnosimetrično; tj. deformacija je antisimetrična odgovarajućoj srednjoj ravni ploče. Zbog odsustva ravnomerno raspoređenog pritiska, partikularni integral w_p je jednak nuli.

Prema tome, funkcija w za ravnomerni karakter opterećenja ima oblik:

$$w = \sum_{r=1}^{\infty} F_m(r) \cdot \cos(m \cdot \varphi) \quad (6)$$

Sada je potrebno definisati konturne uslove:

Pri $r = a$, ugib u bilo kojoj tački unutrašnje konture ploče iznosi:

$$w = -a \cdot v_0 \cdot \cos(\varphi)$$

Komponente ugla zakretanja normale u radijalnom pravcu biće:

$$\frac{\partial w}{\partial r} = -v_0 \cdot \cos(\varphi)$$

Na spoljašnjem kraju ploče ($r = b$), pri uklještenju, konturni uslovi su:

$$w = 0; \quad \frac{\partial w}{\partial r} = 0;$$

Kako u graničnim uslovima ne figuriše broj $m > 1$, a partikularni integral je jednak nuli, to tražena funkcija w sadrži samo jedan ($m = 1$) i to prvi član, tj:

$$w = F_1(r) \cdot \cos(\varphi) \quad (7)$$

odnosno:

$$w = \left(C_{11} \cdot r + C_{21} \cdot r^{-1} + C_{31} \cdot r^3 + C_{41} \cdot r \cdot \ln \frac{r}{b} \right) \cdot \cos(\varphi) \quad (8)$$

Konstante integriranja C_{11}, C_{21}, C_{31} i C_{41} se određuju iz graničnih uslova.

Posle unošenja 4 granična uslova i odnosa $k = \frac{b}{a}$ dobija se veza između momenta M i ugla v_0 . Najveći moment savijanja se javlja u tački sa koordinatama $\varphi = 0$ i $r = a$ [2]:

$$M_{r_{max}} = - \frac{M \cdot (k^2 - 1)}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot (k^2 + 1)} \quad (9)$$

Sa poznavanjem maksimalnog momenta savijanja, može se odrediti najveći napon:

$$\sigma_{max} = - \frac{M \cdot (k^2 - 1) \cdot 6}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot (k^2 + 1) \cdot h^2} \leq \sigma_{dop} \quad (10)$$

Ukoliko su geometrijske karakteristike ploče :

$h = 5 \text{ cm}$ - debljina ploče,

$2b = 2500 \text{ mm}$ - spoljašnji prečnik,

$2a = 1400 \text{ mm}$ - unutrašnji prečnik i

$\sigma_{dop} = 16 \text{ kN} / \text{cm}^2$ - dopušteni napon,

koristeći jednačinu (10) dobija se vrednost momenta koju ploča može da prenese i ona iznosi:

$$M = 56085.7 \text{ kNcm}$$

3.2. Oslona ploča opterećenja silama P i V

Opterećenja od sila P i V se sa rotora i oslone ploče prenosi na vratilo pogonskog mehanizma. S obzirom da je raspodela ovog opterećenja ravnomerna po krutom prstenu to ugibi i opterećenja ploče su simetrični u radijalnim pravcima i njihovo određivanje je relativno jednostavno pa u ovom radu nije iznesena ta analiza.

4. ZAKLJUČAK

Način prenošenja spoljašnjeg opterećenja sa rotora bagera na vratilo pogonskog mehanizma zavisi, svakako od veličine tih opterećenja. Standardna šema pogonskih mehanizama praktična je za bagere srednjih veličina. Kod većih bagera prenos tih opterećenja je adekvatniji ako se koristi i oslona ploča za vezu rotora sa šupljim vratilom pogonskog mehanizma. Na ovaj način, moguće je deo spoljašnjeg opterećenja, izazvanih silama otpora rezanju, preneti na kućište reduktora, a preostali deo preko punog vratila na njegov oslonac.

LITERATURA

- [1] Gašić M.: *Analiza uticaja načina veze okretnog i neokretnog dela pristanišnih kranova na konstrukciju noseće strukture-magistarski rad*, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 1983.
- [2] S.V. Borjašinov: *Osnovi stroiteljnoj mehaniki mašin*, Mašinstroenie, Moskva, 1973.
- [3] Bošnjak S.: *Rotorni rovokopači*, Mašinski fakultet Beograd, Beograd 2001.
- [4] Janošević D.: *Analiza dinamičke stabilnosti hidrauličkih bagera*, Časopis IMK -14 oktobar, br1-2, pp. 7-12, 2002.
- [5] Radovanović M.: *Određivanje elemenata preseka reznog sloja kod obimnog glodanja sa velikim pomakom*, Časopis IMK -14 oktobar, br10, pp. 25-29, 1999.
- [6] Janićijević N.: *Određivanje pouzdanosti prenosnika snage mobilnih mašina*, Časopis IMK -14 oktobar, br2-3, pp. 7-11, 1998.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF EXCAVATION RESISTANCE ON THE CONNECTION BETWEEN ROTOR AND DRIVING SHIFT

Abstract: *The paper analyzes transmission of excavation resistance to the dredge rotor as well as its influence on the design of the mechanism for rotor driving. The support plate for transmission of load to the gearbox casing was also analyzed and treated, where the load of attack was introduced in the form of moment as dominant.*

Key words: *cutting force, rotor, support plate, stress and deformation*