



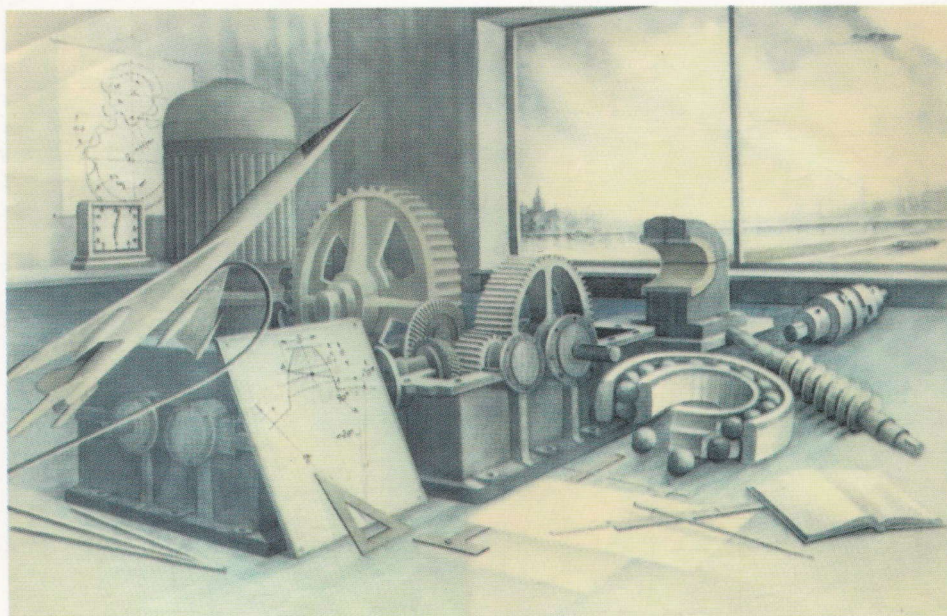
**JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
ZA MAŠINSKE ELEMENTE I
KONSTRUKCIJE**

ZBORNİK RADOVA

sa naučno - stručnog skupa

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENTATA I SISTEMA

IRMES 2000

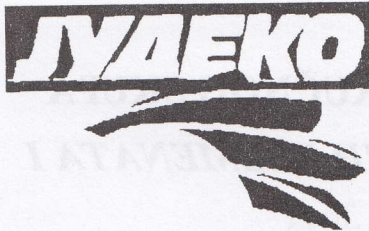


Kotor

13-15, Septembar 2000.



**UNIVERZITET CRNE GORE
MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA
Katedra za konstruisanje**



**JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
ZA MAŠINSKE ELEMENTE I
KONSTRUKCIJE**

ZBORNİK RADOVA

sa naučno - stručnog skupa

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENTA I SISTEMA

IRMES 2000

Kotor

13-15, Septembar 2000.



**UNIVERZITET CRNE GORE
MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA
Katedra za konstruisanje**

**ZBORNİK RADOVA SA NAUČNO-STRUČNOG SKUPA
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENATA I
SISTEMA**

IRMES 2000

Nosilac: JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA MAŠINSKE
ELEMENTE I KOMSTRUKCIJE - *JuDEKO*
Beograd, ul. 27. marta br. 80

Organizator: MAŠINSKI FAKULTET PODGORICA
Katedra za konstruisanje
Podgorica, Cetinjski put bb

Glavni i odgovorni urednik: Prof.dr Radoš Bulatović

Pokroviteljstvo i finansijska podrška:

- SAVEZNO MINISTARSTVO ZA RAZVOJ, NAUKU I ŽIVOTNU SREDINU
- MINISTARSTVO PROSVETE I NAUKE CRNE GORE, SEKTOR ZA NAUKU I UNIVERZITET
- MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU SRBIJE

Tiraž: 200 primjeraka

Štampa:
PROFI PRINT Novi Beograd, Otona Župančića 28/48

PROGRAMSKI ODBOR

Prof. dr Vojislav Miltenović - predsjednik
Prof. dr Milosav Ognjanović
Prof. dr Radoš Bulatović
Prof. dr Siniša Kuzmanović
Prof. dr Vladeta Radović
Prof. dr Svetislav Jovičić
Prof. dr Zoran Perović
Prof. dr Momir Šarenac
Prof. dr Vuk Čulafić
Prof. dr Radan Durković

ORGANIZACIONI ODBOR

Prof.dr Radoš Bulatović - predsjednik
Prof.dr Vladeta Radović
Prof.dr Vuk Čulafić
Prof.dr Zoran Perović
Prof.dr Milan Vukčević
Mr Janko Jovanović
Mr Darko Bajić
Dipl.inž. Radoslav Tomović
Dipl.inž. Veljo Vasiljević

Počasni predsjednik skupa IRMES 2000 Profesor emeritus Zoran Savić

SADRŽAJ

PLENARNA SJEDNICA

Savić Z.: JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA MAŠINSKE ELEMENTE I KONSTRUKCIJE - JUDEKO OD 1973. DO 2000.GODINE.....	1
Radović V.: ZNAČAJ ISTRAŽIVAČKO RAZVOJNE FUNKCIJE NA OSTVARIVANJE KVALITETA PROIZVODA	11
Miltenović V.: INTEGRALNI RAZVOJ PROIZVODA	17
Šarenac M.: ZNANJE KAO RESURS U RAZVOJU ZEMLJE.....	23
Ognjanović M.: EKSPERIMENTALNE METODE U KONSTRUISANJU	29

Sekcija A TEORIJA KONSTRUISANJA

Tomović R., Radović V., Prodanić B.: STANJE, POLOŽAJ I PREDVIĐANJE BUDUĆEG RAZVOJA MAŠINSKE INDUSTRIJE U REPUBLICI CRNOJ GORI.....	35
Tomović R.: MJESTO I ULOGA FUNKCIJE PROJEKTOVANJA I KONSTRUISANJA U CRNOJ GORI, SA OSVRTOM NA POTREBE BUDUĆEG RAZVOJA.....	41
Nikolić S.: OPTIMIZACIJA INVESTICIONIH ULAGANJA U RAZVOJ KVALITETA MAŠINSKIH KONSTRUKCIJA	47
Milivojević LJ., Paulić A.: FLEKSIBILNOST TEHNOLOŠKIH SISTEMA.....	53
Ćučilović M., Golubović D., Čurčić S.: STRUKTURNO MODELIRANJE PLANETARNIH POVRATNIH MEHANIZAMA ZA REALIZACIJU PERIODIČNIH KRETANJA.....	59
Stefanović-Marinović J., Vulić A.: MOGUĆNOSTI PRIMENE MORFOLOŠKE ANALIZE KOD PLANETARNIH PRENOSNIKA	65

Miltenović V., Milčić D.: KONCIPIRANJE ZUPČASTIH
PRENOSNIKA SNAGE PRIMENOM NEURONSKE MREŽE..... 71

Marinković A., Rosić B., Janković M.: OPTIMIZACIJA
PARAMETARA PRI PRORAČUNU KLIZNIH LEŽIŠTA..... 77

Sekcija B
RAZVOJ MAŠINSKIH SISTEMA I KOMPONENATA

Kuzmanović S., Radaković J., Temunović J., Medojević B.:
PRAVCI RAZVOJA UNIVERZALNIH ZUPČASTIH
MOTORNIH REDUKTORA 83

Radojčić D.: OBODNI POGON BRODSKIH PROPELERA
KOJI SE NALAZE U CEVIMA..... 89

Marinković Z., Marković S., Đorđević T., Mijajlović D.:
RAZVOJ FAMILIJE POJEDINAČNIH ELEKTRO-
-HIDRAULIČKIH SPREDERA..... 97

Petrović T., Ivanović I.: AUTONOMNE POGONSKE UGRADNE
JEDINICE ZA OSTVARIVANJE PRAVOLINIJSKOG
KRETANJA (LINEARNI AKTUATORI) 103

Marković S., Marinković Z.: ANALIZA BRZINA I UBRZANJA
KOD DIZALIČNIH MEHANIZAMA SA ZAZOROM 109

Ćučilović M., Golubović D., Čurčić S.: KINEMATIČKA
SINTEZA ZUPČANIČKO-BREGASTIH MEHANIZAMA ZA
GENERISANJE PERIODIČNIH KRETANJA..... 115

Stojanović B.: SPECIFIČNOSTI PRORAČUNA ZUPČANIKA
NA HABANJE..... 121

Rakanović R., Jevtić J., Nešović J.: ODREĐIVANJE
RADNE SPOSOBNOSTI PRSTENASTE OPRUGE
ODBOJNIKA VAGONA 127

Sekcija C
MODELIRANJE, SIMULACIJA I CAD-SISTEMI

Jovanović J., Bulatović R.: OBJEKTNO ORJENTISANI
PRISTUP PRORAČUNU I MODELIRANJU MAŠINSKIH
ELEMENATA 133

Durković R., Damjanović M., Simović S.: HIDRAULIČKI POZICIONI POGON	139
Jovanović M., Marinković Z., Marinković D.: PARAMETARSKO MODELIRANJE-MCAE KONCEPT FAMILIJE PROIZVODA	145
Aleksić Ž., Arsenić Ž.: PROJEKTOVANJE MENJAČKOG PRENOSNIKA	151
Babić A., Maneski T., Miodragović G.: MODELIRANJE U ANALIZI PONAŠANJA OBRRTNIH POSTOLJA ŽELEZNIČKIH KOLA	157
Živanović S.: MODELI TEHNOLOŠKIH MODULA SA PARALELNIM MEHANIZMOM	163
Jovanović S., Petrović T.: OPTIMALAN PI REGULATOR SISTEMA AKTIVNOG OSLANJANJA VOZILA	169
Radonjić R., Radonjić D.: PROUČAVANJE RADNIH PROCESA FRIKCIONE SPOJNICE	175
Nestorović T., Nikolić V.: PROJEKTOVANJE I SIMULACIJA DIGITALNOG SISTEMA PRAĆENJA SA REKONSTRUKTOROM REDUKOVANOG REDA ZA HIDRAULIČKI SISTEM ZA POZICIONIRANJE	178
Đurović–Petrović M., Voronjec D., Radojković N., Stevanović Ž.: MATEMATIČKI MODEL STACIONARNE PRIRODNE KONVEKCIJE JEDNOFAZNOG FLUIDA SA DVODIMENZIONIM POLJEM BRZINE U POROZNOM SLOJU IZOLACIONOG MATERIJALA	187

Sekcija D PRENOSNICI SNAGE I KRETANJA
--

Stamboliev D.: POGODNI ZUPČASTI PAROVI	193
Šarenac M.: UTICAJ TAČNOSTI LEŽAJA NA TAČNOST OBRRTANJA	199
Tanasijević S.: O NEKIM KARAKTERISTIKAMA KONTAKTNIH POVRŠINA MEHANIČKIH PRENOSNIKA	205
Ianici S.: HOCHUNTERSETZENDES GETRIEBE T.A.D.....	211

Nikolić V., Cvejić (Atanasovska) I.: PRORAČUN KRUTOSTI SPREGNUTIH ZUBACA I NJEN UTICAJ NA RASPODELU OPTEREĆENJA NA ISTOVREMENO SPREGNUTE PAROVE ZUBACA	217
Đurđević M., Tica M.: RASPODJELE OPTEREĆENJA PO DODIRNIM LINIJAMA BOKOVA ZUBACA ZA GRANIČNE VRIJEDNOSTI ODSUPANJA MJERA I OBLIKA ZUPČANIKA	223
Dašić P.: PROJEKTOVANJE KONUSNO SPIRALNIH I HIPOIDNIH ZUPČANIKA TIPA OERLIKON POMOĆU RAČUNARA	229
Nojner V., Zlatković M.: PRISTUP RAZVOJU INDUSTRIJSKIH ZUPČATIH PRENOSNIKA SNAGE.....	235

Sekcija E PLANETARNI PRENOSNICI
--

Marković S., Jovičić S., Mihailović D.: VIRTUALNA KINEMATSKA ANALIZA PLANETNOG REDUKTORA.....	241
Vulić A., Mijajlović R., Marinković Z., Velimirović M.: PLANETARNI PRENOSNICI U POGONSKIM MEHANIZMIMA GRAĐEVINSKIH DIZALICA.....	247
Arsić M., Milovanović A., Sedmak S., Aleksić V.: EKSPERIMENTALNA ANALIZA OPTEREĆENJA I RADNE ČVRSTOĆE PLANETARNOG REDUKTORA SNAGE 900 KW ZA POGON ROTORA BAGERA SR _s 1300.26/5.0	253
Arsić M., Aleksić V., Milovanović A.: TEORIJSKA ANALIZA RADNE ČVRSTOĆE PLANETARNOG REDUKTORA SNAGE 900 KW ZA POGON ROTORA BAGERA SR _s 1300.26/5.0	259
Šelmić R., Mijailović R.: PRIMENA I MODELIRANJE TALASNIH ZUPČASTIH PRENOSNIKA	265
Krstić B.: ANALIZA KARAKTERISTIKA AUTOMATSKIH PRENOSNIKA SNAGE SA HIDRODINAMIČKOM KOMPONENTOM	271

Sekcija F
DINAMIKA MAŠINSKIH SISTEMA

- Subić A.:** EKSPERIMENTALNA MODALNA ANALIZA ROTACIONE STRUKTURE ZUPČASTOG PRENOSNIKA 277
- Hedrih (Stefanović) K., Cvetković S., Knežević R.:** OSOBINE FUNKCIJE OSETLJIVOSTI PLANETARNOG PRENOSNIKA.... 285
- Ognjanović M., Ćirić-Kostić S.:** UTICAJ KUĆIŠTA NA EMISIJU VIBRACIJE I BUKE ZUPČASTOG PRENOSNIKA..... 291
- Petrović P., Marković LJ.:** SMANJENJE BUKE MOTORA PRIMENOM ALTERNATIVNIH MATERIJALA..... 297
- Lalović D., Jovanović S.:** DINAMIČKO PONAŠANJE VOZILA PRI KOČENJU 303
- Šelmić R., Đurović V.:** DINAMIČKA ANALIZA LANSIRNOG SISTEMA..... 309
- Jovanović D., Grujić N., Šaler D., Pantić D.:** UTICAJ OBLIKA KOFICE I GEOMETRIJE ZUBA NA DINAMIČKO OPTEREĆENJE ROTORNIH BAGERA 315
- Velimirović M., Milenković D., Pavlović R., Aleksić Ž., Tanasić N.:** ANALIZA UZROKA OTKAZA VRATILA DVOSTRUJNE PUMPE ZA HLAĐENJE VISOKE PEĆI 321
- Pavlović T. N., Pavlović D. N.:** GRANICE OSTVARLJIVOSTI DINAMIČKIH ZAHTEVA KOD LISNATIH OPRUGA KAO POGONSKIH ELEMENATA 327
- Mihajlović G., Golubović D.:** URAVNOTEŽENJE INERCIONIH SILA VIBRACIONO-NJIHAJUĆIH OSCILATORNIH PLATFORMI POMOĆU LISNATIH OPRUGA 333

Sekcija G
POUZDANOST MAŠINSKIH SISTEMA

- Jovičić S., Ćatić D.:** PRIMENA ANALIZE NAČINA I POSLEDICA OTKAZA U AUTOMOBILSKOJ INDUSTRIJI 339
- Papić LJ.:** UTICAJ SIGURNOSTI NA EFEKTIVNOST TEHNIČKIH SISTEMA..... 345

Bulatović R., Jovanović J.: ANALIZA UTICAJA RADNOG OPTEREĆENJA NA POUZDANOST POPREČNO OPTEREĆENE ZAVRTANJSKE VEZE.....	351
Marinković Z., Mijajlović R., Jovanović M.: VEROVATNOSNI PRITUP U PRORAČUNU RADNOG VEKA ELEMENATA.....	357
Stamenković D.: ANALIZA UTICAJA RELEVANTNIH FAKTORA NA NOSIVOST PRESOVANIH SPOJEVA.....	363
Dašić P.: ODREĐIVANJE POUZDANOSTI KOMPONENTI TEHNIČKIH SISTEMA NA OSNOVU KOMPARATIVNE ANALIZE RAZLIČITIH TEORIJSKIH RASPODELA.....	371
Živković M., Golubović D., Mihajlović G.: NAČIN IZRADE KAO FAKTOR SIGURNOSTI SKLOPA UŠKA-KLIPNJAČA.....	377
Krstić B.: ODREĐIVANJE GRANICA OPTIMALNE PERIODIČNOSTI PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA KOČNICA TOČKA VOZILA SPECIJALNE NAMENE.....	383

Sekcija H MATERIJALI I TERMIČKA OBRADA

Hrisafović N.: ODREĐIVANJE OSNOVNIH KARAKTERISTIKA NOVIH KOMPOZITNIH MATERIJALA ZA POTREBE KONSTRUKTIVNIH BIROA.....	389
Milovanović M., Radisavljević M.: PRIMENA NOVIH MATERIJALA U CILJU POVEĆANJA KRUTOSTI.....	395
Babić M., Rac A., Ninković R.: ZnAl LEGURE - NOVI KONSTRUKCIJSKI MATERIJAL ZA TRIBOLOŠKE KOMPONENTE	401
Gligorijević R., Jevtić J.: UTICAJ NEKIH FAKTORA NA DINAMIČKU IZDRŽLJIVOST RADILICA OD NODULARNOG LIVA.....	407
Burzić Z., Burzić M., Čurović J., Momčilović D., Janković D.: UTICAJ SLAGANJA VLAKANA NA KARAKTERISTIKE MEHANIKE LOMA I ENERGIJE UDARA KOMPOZITA UGLJENIČNA VLAKNA-EPOKSIDNA SMOLA	413
Radić V.: POBOLJŠANJE SVOJSTAVA ZUPČANIK A OD POLIMERA	419

Jovanović D., Jovanović M.: STANJE NAPONA I STANJE ENERGIJE DEFORMACIJE U OKOLINI ELIPTIČNE PRSLINE	425
Milovanović M., Lišanin R., Šubara N.: PROCENA VEKA RADA OBRTNOG POSTOLJA	431

Sekcija I NAPONSKA STANJA I RAZARANJA
--

Perovic Z.: METODE PRORAČUNA ZAVARENIH SPOJEVA IZLOŽENIH OPTEREĆENJU SA PROMJENLJIVOM AMPLITUDOM.....	437
Bajić D., Čulafić V.: PRIMJENA EPRI METODE PRI PROCJENI ČVRSTOĆE POSUDE POD PRITISKOM OSLABLJENE PRSLINOM.....	443
Jovanović D., Jovanović M.: SAMOPREŽIVLJAVAJUĆI SISTEM SA AKTIVNIM I PASIVNIM ODGOVOROM NA PROMENU STANJA	449
Šaletić S., Zeković S., Vukasojević R.: EFIKASNOST ADAPTACIJE MREŽE KONAČNIH ELEMENATA U NAPONSKO-DEFORMACIONOJ ANALIZI.....	455
Savićević S., Đogović V., Šaletić S.: O SAVIJANJU CILINDRIČNE LJUSKE OPTEREĆENE KONTINUALNIM SPREGOM PO ZAVOJNOJ LINIJI.....	461
Janošević D., Jevtić V.: ANALIZA OPTEREĆENJA ELEMENATA ZA VEZU AKSIJALNOG LEŽAJA HIDROULIČKIH BAGERA	467
Mitić V.: PRORAČUN NOSIVOSTI VRATILA PO KRITERIJUMU ČVRSTOĆE	473
Pejić D., Stojiljković D.: KONCEPT NOVOG TENZOMETRA PREĐE	479

Sekcija J
EKSPLOATACIJA MAŠINSKIH SISTEMA

Bulatović M.: PRORAČUN ELEMENATA I TEHNIČKIH SISTEMA U FUNKCIJI EFEKTIVNOSTI	485
Gajić A., Krsmanović LJ., Stevanović K., Predić Z., Makivić Z.: DINAMIČKE KARAKTERISTIKE HE PERUĆICA ODREĐENE ISPITIVANJEM U PRIRODI	491
Marković S., Josifović D.: MOGUĆNOSTI OCENE KVALITETA ELEMENATA KLIPNIH MEHANIZAMA MOTORA SUS	497
Petrović R., Jankov R.: REZULTATI MERENJA STATISTIČKE I FFT ANALIZE PARAMETARA RADNOG PROCESA KLIPNO-AKSIJALNE PUMPE	503
Radovanović M.: LASERSKE MAŠINE ZA SEČENJE LIMA.....	509
Lazarević R., Šekularac S.: EKSPLOATACIJA I ISKUSTVA U PRIMJENI SCENSKE MEHANIKE POZORIŠTA.....	515
Ćurčić S., Ječmenica R., Ćučilović M.: REINŽENJERING AUTOMATSKIH PROIZVODNIH LINIJA U INDUSTRIJI PRERADE METALA U FUNKCIJI KVALITETA S OBZIROM NA IZBOR REŽIMA RADA	521
Ćurčić S., Slavković R., Ćučilović M.: REINŽENJERING AUTOMATSKIH PROIZVODNIH LINIJA U INDUSTRIJI PRERADE METALA U FUNKCIJI FLEKSIBILNOSTI S OBZIROM NA IZBOR SENZORA	527



TEORIJSKA ANALIZA RADNE ČVRSTOĆE PLANETARNOG REDUKTORA SNAGE 900 KW ZA POGON ROTORA BAGERA SRs 1300.26/5.0

M. Arsić, V. Aleksić, A. Milovanović

U radu su izneti rezultati teorijske analize spoljnog opterećenja i radne čvrstoće za dato rešenje (dokumentacija isporučioća opreme) planetarnog dela reduktora, odnosno nosača satelita kao kritičnog sklopa, koji je teorijski opterećen pogonskim momentom i poprečnim silama savijanja.

Utvrđeno je da konstruktivno rešenje planetarnog reduktora za pogon rotora zadovoljava zahteve pri radu bagera na otkopu rastresitih i prelaznih zona između dva bloka sive gline, a da ne zadovoljava pri otkopu sive gline i okamenjenih stenskih masa.

1. Uvod

U praksi se često dešavaju prevremena oštećenja i lomovi delova reduktora, što se objašnjava neadekvatnošću metoda projektovanja i konstruisanja, nepoznavanjem svojstava osnovnog materijala i njihovih zavarenih spojeva i propustima u tehnologiji izrade delova.

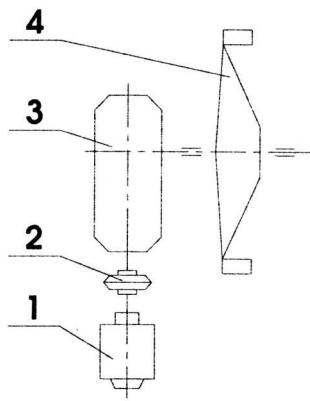
Važne informacije za usavršavanje metoda projektovanja i konstruisanja reduktora, za poboljšanje svojstava materijala i tehnologija, njihove obrade i za razvoj novih materijala i tehnologija predstavljaju analize postojećih rešenja u uslovima eksploatacije. Analiza postojećih rešenja omogućuje takođe razvoj novih tehničkih rešenja i metoda ispitivanja još u fazi prototipa.

2. Osnovne tehničke karakteristike reduktora

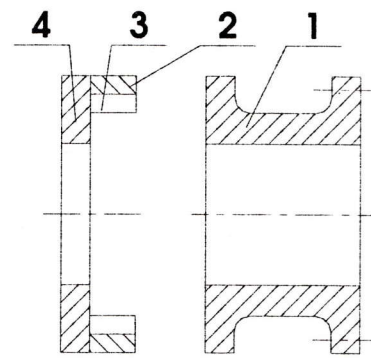
Pogonski agregat rotornog bagera SRs 1300.26/5.0+VR±10 sastoji se od elektromotora (1), hidrodinamičke spojnice (2), reduktora (3) i rotora (4), sl.1 /1/.

Osnovne tehničke karakteristike reduktora za pogon rotora su: najveći prenosni odnos $i=249.7$, broj obrtaja elektromotora $n=1485$ o/min, izlazna snaga $P=900$ kW, napon $U=6000$ V, maksimalna struja $I=103$ A, $\cos\alpha$ $Y=0.88$, izlazni moment $T_i=1374$ kNm, izlazni moment pri puštanju $T=1786$ kNm.

Konstruktivsko rešenje reduktora, sa planetarnim delom na izlazu omogućuje da broj obrtaja rotora bude 7.108 o/min ili 5.787 o/min, a uključenjem pomoćnog pogona broj obrtaja je 0.5 o/min.



Slika 1. Strukturna shema pogonskog agregata



Slika 2. Shematski prikaz nosača satelita

Zavarivanje delova nosača satelita, prema podacima isporučioaca opreme, izvedeno je MAG i E postupkom. Klasa kvaliteta izvedenih zavarenih spojeva je II B, dodatni materijal 10 MnSi, temperatura predgrevanja 150 °C, termička obrada - žarenje na temperaturi 500 -550°C i ispitivanje bez razaranja izvršena su magnetnom metodom.

Prema dokumentaciji, dobijenoj od isporučioaca opreme, gornja prirubnica (1) izrađena je od materijala GS - E 50.3, ojačavajuće rebro (2) i ploča (3) od St 38b.2 i segment (4) od H 52.3, sl.2.

3. Opterećenje reduktora za pogon rotora

Opterećenje reduktora za pogon rotora bagera ne može biti izraženo u obliku jednostavne matematičke funkcije, odnosno ne može se u potpunosti predstaviti modelom u kome se promenljive ili parametri ravnomerno menjaju u radnim uslovima, jer takav model mora da predvidi niz aproksimacija uslovljenih radnim uslovima eksploatacije /2/.

Nosač satelita planetarnog dela reduktora za pogon rotora bagera teorijski je opterećen pogonskim momentom i poprečnim silama savijanja. Sprovedena istraživanja su usmerena na proveru sigurnosti nosača satelita prema granici tečenja i prema zamornoj (radnoj) čvrstoći.

3.1. Opterećenje pogonskim momentom

Opterećenje pogonskim momentom se prenosi preko uležištenja na ploču nosača satelita. Za idealno ravnomernu raspodelu opterećenja sila koja deluju na uležištenja planetaraca po obimu F_L izračunava se prema izrazu (1):

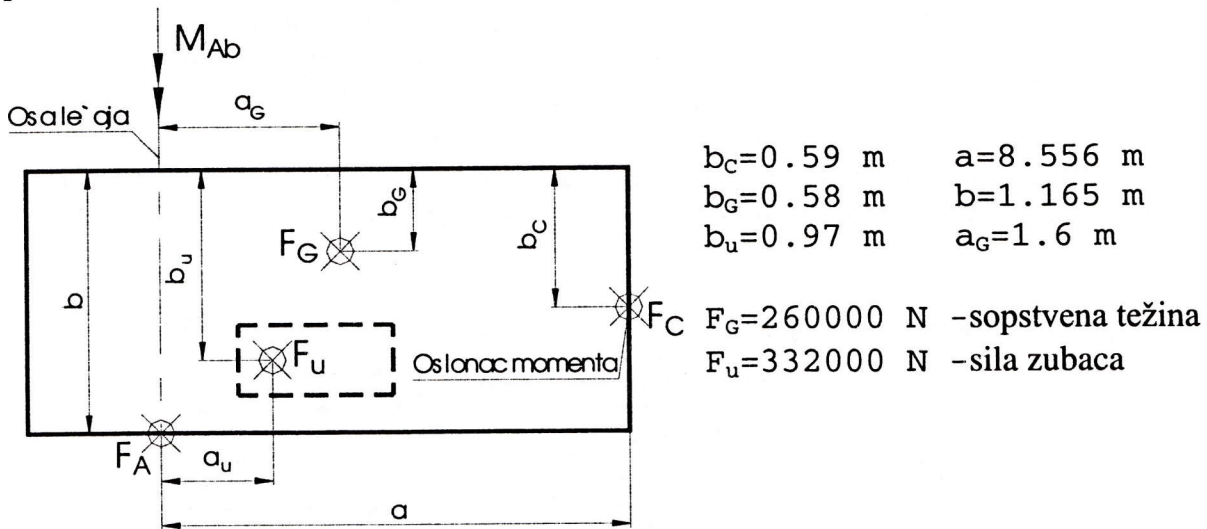
$$F_L = \frac{M_{AB}}{D_p \cdot a_p}, \quad (1)$$

gde je: M_{AB} - pogonski obrtni moment
 D_p - prečnik kruga uležištenja,
 a_p - broj planetaraca

3.2. Opterećenje poprečnim silama savijanja

Uležištenje samog nosača satelita opterećeno je pogonskom obimnom silom i silama uležištenja u kućištu, sl. 3. Statičkim proračunom pri delovanju istih nazivnih opterećenja dobija se: $F_D = 2.34 \cdot 10^5$ [N],

a pri dvostrukom nazivnom opterećenju (moment spojnice) $F_D = 3.73 \cdot 10^5$ [N].



Slika 3. Kućište reduktora, pogled odozgo

3.3. Zamorna opterećenja

Proračun radne čvrstoće gornje prirubnice (1) i segmenta (4) zavarenog nosača satelita izvršen je na osnovu predviđenih (proračunatih) spektara opterećenja normalne raspodele (kriva 1,2), sl.4. Naprezanje nosača satelita određeno je na bazi otpora kopanju (delimični spektar 1), oscilovanja konstrukcije u procesu kopanja (delimični spektar 2), i kružnog savijanja poprečnim silama (delimični spektar 3) /4/.

Naponi na najopterećenijim mestima gornje prirubnice (1) i pogonske ploče (3) nosača satelita σ_N , dati u tab.1, izračunati su i određeni kao zbir uporednih srednjih napona σ_m i uporednih amplitudnih napona σ_a prema izrazima:

$$\sigma_m = \sigma_{MN} (M/M_N) \quad (2)$$

$$\sigma_a = \sigma_{QN} (M/M_N) + \sigma_{QG} \quad (3)$$

$$\sigma_o = \sigma_m + \sigma_a \quad (4)$$

$$\sigma_N = \sigma_{MN} + \sigma_{QN} + \sigma_{QG} \quad (5)$$

gde je: σ_{MN} - uporedni napon usled momenta torzije,

σ_{QN} - uporedni napon usled poprečnog naprezanja izazvanog obrtnim momentom,

σ_{QG} - uporedni napon usled sopstvene težine,

M/M_N - funkcija raspodele obrtnog momenta,

σ_N - uporedni dejstvujući (gornji) napon na najopterećenijim mestima.

Tabela 1. Uporedni naponi za gornju prirubnicu i pogonske ploču

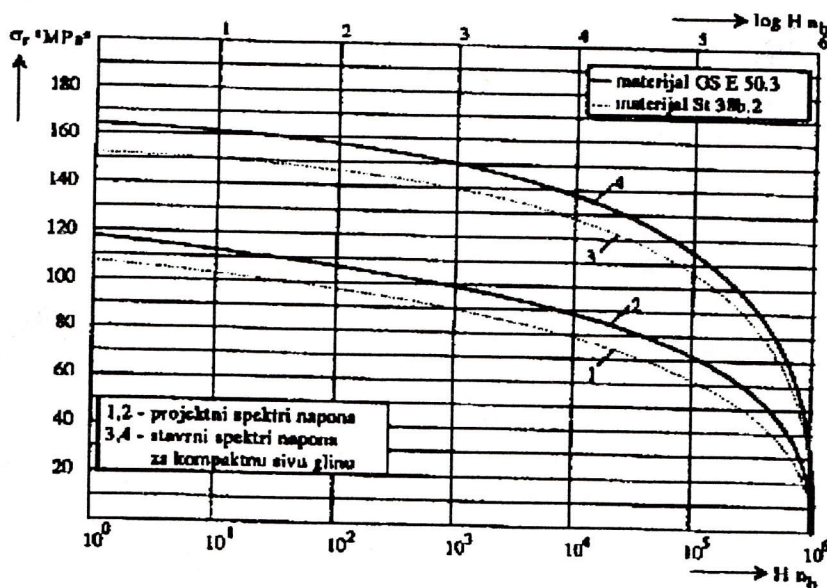
Deo	σ_{MN} (N/mm ²)	σ_{QN} (N/mm ²)	σ_{QG} (N/mm ²)	σ_N (N/mm ²)
GS 50	95.2	13.7	9.3	118.2
St 38	94.7	8.3	5.7	108.7

Učešće delimičnog spektra opterećenja za kružno savijanje određena na osnovu srednjeg broja obrtaja rotora bagera iznosi:

$$n_R = 0.3 \cdot 5.787 + 0.7 \cdot 7.108 = 6.711 \text{ min}^{-1}, \text{ odnosno } f_R = 0.119 \text{ Hz}$$

Za predviđeni vek trajanja $L=50000$ h pripadajući broj ciklusa opterećenja iznosi $N_3=2.01 \cdot 10^7$ i učešće ostalih delimičnih spektara opterećenja $K_3=0.0414$. Učešće oscilatornog naprezanja izazvanog procesom kopanja u ukupnom području (spektru) opterećenja, za funkciju raspodele $M/M_N=0.35$ i učestanost $f_g=23 \cdot f_R=2.57$, određene u funkciji zahvata kašika na rotoru iznosi $K_2=0.952$.

Broj oscilacija u procesu kopanja, za vek trajanja $L=50000$ h i periodu $T=1$ min, rezultira učešćem u ukupnom spektru opterećenja sa $K_1=0.0062$.



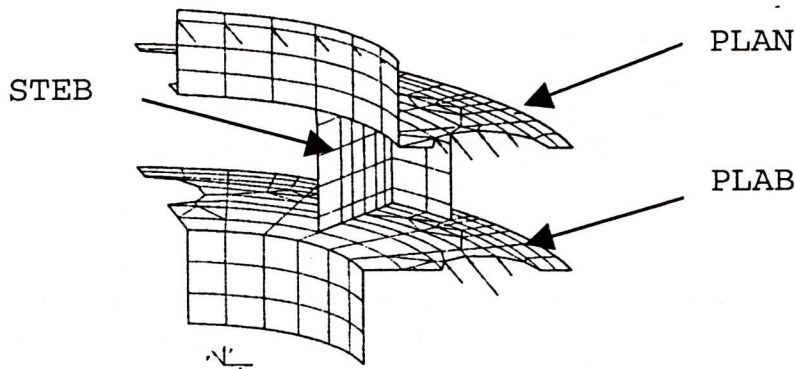
Slika 4. Grafički prikaz opadajućih kumulativnih funkcija raspodele napona $H(\sigma_r)$

Metodom upoređenja stvarnih spoljnih opterećenja i nosivosti nosača satelita utvrđeno je da su radni naponi u kritičnim presecima blizu granice tečenja i bez uzimanja u obzir koncentracije napona. Takođe, analize uticaja promene stvarnih spoljnih opterećenja na radni vek nosača satelita prema [4], i pored određene aproksimacije režima opterećenja u različitim fazama eksploatacije na strani sigurnosti nosača satelita, pokazale su da predviđena granica radne čvrstoće nosača satelita ne zadovoljava za opterećenja koja se javljaju u radu bagera na otkopu kompaktne sive gline.

3.4. Proračun napona

Analiza deformacija i napona planetarnog nosača satelita izvršena je primenom metode konačnih elemenata i programom polusfera sistema "AUTRA" Instituta za lakogradnju u Drezdenu. Na sl.5 prikazan je mrežni model za 1/4 nosača satelita. Pojednostavljena geometrijska slika proračunskog dela nosača satelita daje veće vrednosti napona od realnih pa se model može smatrati prihvatljivim. Analiza naponskog stanja satelita izvršena je za različite slučajeve opterećenja. Uporedni naponi, za kritične elemente na makroelementima PLAN i PLAB, određeni su prema izrazu:

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \sigma_{xy}^2} \quad (6)$$



Slika 5. Mrežni model nosača satelita modeliran konačnim elementima PLAN, PLAB i STAB

Kritična stanja napona nastaju na makroelementima PLAN i PLAB, gde je obrtno savijanje najizraženije. Ovi elementi su napregnuti kao ploče.

3.5. Provera sigurnost na prekoračenje granice tečenja

S obzirom da program "AUTRA" omogućava izračunavanje maksimalnih prostornih napona, za proračun sigurnosti u odnosu na granicu tečenja primenjen je postupak koji predviđa mogućnost da u najnapregnutijem delu konstrukcije dođe do prekoračenja granice tečenja, bez vidnih deformacija konstrukcije, pod uslovom da preostala deformacija usled zatezanja iznosi $\epsilon_R=0.002$. Za dati uslov stepen sigurnosti je:

$$S_v = \frac{\delta_{0.2} \cdot \sigma_s}{\sigma_{vmax}} \quad (7)$$

gde je: $\delta_{0.2}$ - odnos granice tečenja za kružnu prstenastu ploču pri istim uslovima opterećenja,

σ_s - proračunski uporedni napon za dati mrežni model

σ_{vmax} - maksimalni uporedni napon na makroelementima

Odgovarajući podaci dati su u tab.2.

Tabela 2. Odnos granice tečenja za kružne prstenaste ploče pri ravnomernom opterećenju

	σ_s (N/mm ²)	σ_{vmax} (N/mm ²)	$\delta_{0.2}$	S_v
PLAN	235	211	1.8	2.00
PLAB	260	225.5	1.75	2.02

3.6. Provera sigurnosti na trajni lom

Proračun pouzdanosti (sigurnosti) na zamorni lom sproveden je na bazi TGL 19340. Specifične osobine livenih materijala (GS) pogonskih ploča uzete su u obzir prema TGL 19341, a uticaj zareza prema TGL 14915. S obzirom da svi navedeni propisi imaju dodira sa koncentracijom napona, neophodna je promena u prostornim naponima dobijenim programom "AUTRA"

Za čisto naizmjenično promenljivo naprezanje na savijanje i uzimajući u obzir i uticaj zareza prema postupku Stilera, primenom TGL 19340 izračunat je stepen sigurnosti i na zamorni lom $S_D=1.49$

4. Zaključak

1. Analize spoljnog opterećenja i radne čvrstoće datog rešenja planetarnog dela reduktora, odnosno zavarenog nosača satelita kao kritičnog sklopa, pokazuje da reduktor za pogon rotora u potpunosti zadovoljava zahteve pri radu bagera na otkopu prelaznih zona između dva bloka sive gline i u rastresitim zonama, ali ne zadovoljava u uslovima rada bagera na otkopu kompaktne sive gline i pored zadovoljavajuće projektovane specifične rezne sile po dužini noža, zbog značajnih udarnih opterećenja koja se javljaju u radu bagera.
2. Da bi se ostvarila zahtevana snaga i postigao predviđeni vek korišćenja reduktora potrebno je već u fazi projektovanja imati tačne podatke o opterećenju reduktora za različite režime rada bagera u različitim otkopnim sredinama. Takođe, s obzirom da zavareni spojevi spadaju u kritična mesta konstrukcije, što je slučaj sa nosačem satelita, proučavanjem zavarenih spojeva pri dejstvu promenljivog opterećenja treba doći do podataka koji će pomoći da se realizuje konstrukcija sigurna u odnosu na udarna opterećenja i zamorni lom.

Literatura

1. TAKRAF SRs 1300.26/5.0 +VR \pm 10: Dokumentacija proizvođača opreme.
2. Arsić M., Sedmak S., Ćirković B.: Analiza uzroka havarije zavarenog nosača satelita reduktora za pogon rotora bagera SRs 1300.26/5.0, Međunarodno savetovanje "Zavarivanje 96", Beograd, 1996, str.29.
3. Arsić M., Ljamić D., Ćirković B.: Eksperimentalna analiza radnog opterećenja pogona radnog točka rotornog bagera, Istraživanje i razvoj mašinskih elemenata i sistema "IRMES 95", Niš, 1995, str.346.
4. Gnilke W.: Lebensdauerberchnung der Maschinenelemente, VEB Verlag, Technik, Berlin, 1981.

THEORETICALLY ANALYSIS OF SERVICE STRENGTH OF PLANETARY GEAR POWER 900 KW FOR DRIVING ROTAR OF ESCAVATOR SRs 1300.26/5.0

In this scientific paper the results of theory analysis of external loads and service strength for given solution (documentation of supplier equipment) of planetary gears, satellite holder as critical composite that is loaded theoretically with driving moment and transversal bending forces.

It is proven that construction solution for planetary gear for driving rotar satisfied working conditions of escavator during digging of laxity and transition zones between two blocks of grey clay, and not satisfied during digging grey clay and petrification of rocking mass.

Adresa autora:

**Dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, Mr Vujadin Aleksić, Mr Andra Milovanović,
GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd.**