



# Elektroprivreda

ČASOPIS ZAJEDNICE JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE • THE JOURNAL OF THE UNION OF YUGOSLAV  
ELECTRIC POWER INDUSTRY • REVUE DE L'UNION YOUGOSLAVE DE L'ELECTRICITE • ЖУРНАЛ ОБЪЕДИНЕННЫХ  
ЮГОСЛАВСКОГО ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА • ZEITSCHRIFT DES JUGOSLAVWISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Godina Year	LVI	Januar-Mart January-March	Broj No.	1
----------------	-----	------------------------------	-------------	---

Sadržaj	Strana Page	Content
<i>Dragan P. Popović</i>		
PRAKTIČNI ASPEKTI AUTOMATIZOVANOG PRORAČUNA GRANIČNIH PRENOSNIH KAPACITETA ELEKTROENERGETSKIH INTERKONEKCIJA	3	PRACTICAL ASPECTS OF AUTOMATIC CROSS-BORDER TRANSMISSION CAPACITIES ASSESSMENTS OF ELECTRIC POWER INTERCONNECTIONS
<i>Milenko Đurić i Željko Đurišić</i>		
ALGORITAM ZA BRZU ESTIMACIJU FREKVENCije U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU	15	AN ALGORITHM FOR FAST FREQUENCY MEASUREMENTS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS
<i>Miroslav D. Nimrihter, Strahil J. Gušavac, Mimir M. Dutina i Snežana B. Novaković</i>		
PLANIRANJE REVITALIZACIJE NADZEMNIH VODOVA	31	OVERHEAD LINES REVITALIZATION PLANNING
<i>Snežana Mijailović, Zoran Vujasinović i Mladen Apostolović</i>		
PREGLED AKTUELNIH METODA ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJIMA U PRENOSNOJ MREŽI U EVROPI	40	OVERVIEW OF PRESENT CONGESTION MANAGEMENT MET- HODS IN TRANSMISSION NETWORK IN EUROPE
<i>Duško Bekut i Valentina Treskanica</i>		
JEDAN POSTUPAK ZA PRORAČUN GUBITAKA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA	56	A PROCEDURE FOR DISTRIBUTION NETWORK LOSSES ANALYSIS
<i>Dragoslav Perić</i>		
TRAJANJE PREKIDA NAPAJANJA I ŠTETE USLED KVAROVA U GRADSKIM SREDNJENAPONSKIM DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA	65	DURATION AND COSTS OF SUPPLY INTERRUPTION DUE TO FAULT IN URBAN MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK
<i>Miodrag Arsić, Stojan Sedmak i Vujadin Aleksić</i>		
OCENA INTEGRITETA I PRODUŽENJE RADNOG VEKA ROTORNIH BAGERA	79	INTEGRITY ASSESSMENT AND PROLONGATION OF ROTOR DREDGERS WORKING LIFE
<i>I deo</i>		
<i>Radoslav S. Maksimović</i>		
ODRŽAVANJE JONOIZMENJIVAČKIH SMOLA	100	MAINTENANCE OF ION EXCHANGE RESINS
<i>Prikaz nove knjige</i>		
OSNOVI ANALIZE ELEKTROENERGETSKIH MREŽA I SISTEMA	104	Review of new book BASES FOR ANALYSIS OF ELECTRIC POWER NETWORKS AND SYSTEMS
<i>Autori: Milan S. Čalović i Andrija T. Sarić</i>		
<i>Prikaz knjige</i>		
HIDROENERGETSKO KORIŠĆENJE VODA	107	Review of book UTILIZATION OF HYDRO POWER FROM WATER RESOURCES
<i>Autora prof. dr Branislava Đorđevića</i>		

**IZDAVAČ:**  
**PUBLISHER:**

**ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE**  
**UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY**

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 686-633, 643-823, 688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 686-398

Internet strana: [www.eps.co.yu](http://www.eps.co.yu); [www.epcg.cg.yu](http://www.epcg.cg.yu); Elektronska pošta: [jugel@sezampro.yu](mailto:jugel@sezampro.yu)

**DIREKTOR I GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK**  
**DIRECTOR AND CHIEF EDITOR**

Branislav A. Bošković, dipl. ing.

**IZDAVAČKI SAVET**  
**PUBLISHING COUNCIL**

Branislav A. Bošković, dipl. ing., predsednik, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

Vladimir Vujović, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

Dr Slobodan Ružić, dipl. ing., član, Ministarstvo za energetiku i rudarstvo u Vladi Republike Srbije, Beograd;

Radomir Naumov, dipl. ing., član, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd;

Dr Duško Tubić, dipl. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Branko Kotri, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić.

**REDAKCIONI ODBOR**  
**EDITORIAL BOARD**

Vladimir Vujović, dipl. ing., predsednik, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

Dr Duško Tubić, dipl. ing., zamenik predsednika, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Prof. dr Miroslav Benišek, dipl. ing., član, Mašinski fakultet, Beograd;

Prof. dr Branislav Đorđević, dipl. ing., član, Građevinski fakultet, Beograd;

Prof. dr Jovan Nahman, dipl. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Beograd;

Prof. dr Dragan Popović, dipl. ing., član, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd;

Prof. dr Nikola Rajaković, dipl. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Beograd;

Prof. dr Sreten Škuletić, dipl. ing., član, Elektrotehnički fakultet, Podgorica;

Dr Petar Vukelja, dipl. ing., član, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd;

Dr Milivoje Cvetinović, dipl. mat., član, SAP, Beograd;

Mr Dragan Vlasisavljević, dipl. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mr Milan Gavrilović, dipl. ing., član, JP „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mr Gojko Dotlić, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mr Radmilo Ivanković, dipl. ing., član, Beograd;

Mr Miroslav Marković, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

Mr Branko Stojković, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Crne Gore” AD, Nikšić;

Gojko Vlasisavljević, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Aleksandar Vlajčić, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Milan Jakovljević, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Mladen Serventi, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Vojislav Škundrić, dipl. ing., član, „Elektroprivreda Srbije”, Beograd;

Momčilo Gojgić, dipl. prav., član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

Lela Lončar, dipl. filolog, član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd.

**TEHNIČKI UREDNIK**  
**TECHNICAL EDITOR**

Jovo Todorović dipl. teh.

**LEKTOR**

**LINGUISTIC REVIEW**

Lela Lončar, dipl. filolog

**TEHNIČKI CRTAČ**  
**MAPS AND GRAPHICS**

Milanka Pejović,  
teh. crtač

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Časopis „Elektroprivreda” se izdaje u 2004. godini uz finansijsku pomoć Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije

The „Elektroprivreda” journal is published in 2004 with financial support of Ministry for Science, Technology and Development of the Republic of Serbia

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Printed by: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies

---

Miodrag Arsić,  
Stojan Sedmak i Vujadin Aleksić

# Ocena integriteta i produženje radnog veka rotornih bagera I deo

Pregledni rad  
UDK: 622.221; 622.332; 620.09

---

*Rezime:*

*Integritet konstrukcija je relativno nova naučna i inženjerska disciplina, koja u širem smislu obuhvata analizu stanja i dijagnostiku ponašanja i popuštanja, procenu veka i revitalizaciju konstrukcije. To znači da, osim uobičajene situacije u kojoj treba proceniti integritet konstrukcije kada se ispitivanjem bez razaranja otkrije greška, ova disciplina obuhvata i analizu naponskog stanja. Na taj način se dobija precizna i detaljna raspodela pomeranja, deformacija i napona, koja omogućava da se utvrde „slaba” mesta u konstrukciji. Ovaj pristup je posebno važan za konstrukcije koje su izložene složenom dinamičkom opterećenju, kakvi su rotorni bageri.*

*U radu su prikazani rezultati teorijskih i eksperimentalnih analiza različitih pristupa ocene integriteta odgovornih celina rotornih bagera. Prikazan je značaj dijagnostike stanja i postojanja baza podataka. Takođe su predložene mere preventive oštećenja i produženje veka bagera.*

**Ključne reči:** rotorni bager, integritet konstrukcije, radni vek

---

*Abstract:*

**INTEGRITY ASSESSMENT AND PROLONGATION  
OF ROTOR DREDGERS WORKING LIFE**

*Part 1*

*Structural integrity is a relatively new scientific and engineering discipline, which in wider meaning comprises state analysis, behavior and abatement diagnostics, life assessment and structure recovery. This discipline comprises also analyses of stress state as the difference from common situation when structure integrity should be assessed on the basis of defects detected by nondestructive testing. Precise and detailed distribution of displacements, stress and strain which is obtained by this method enables clenching of structure's „weak” spots. This approach is especially important when structures are exposed to complex dynamic loading, which is the case of rotor dredgers.*

*Results of theoretical and experimental analyses in different approaches to integrity assessment of rotor dredgers important units are presented in this paper. Paper signifies the importance of state diagnostics and database presence. Measures for damage prevention and prolongation of dredgers life are also proposed.*

**Key words:** rotor dredger, structural integrity, working life

---

*Dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik – Goša Institut, 11 000 Beograd, Milana Rakića 35  
Prof. dr Stojan Sedmak – Tehnološko-metalurški fakultet, 11 000 Beograd, Karnedžijeva 4*

## 1. UVOD

Veličina, oblik i konstrukcija rotornih bagera zavisi, uglavnom, od zahtevanog kapaciteta, načina utovara materijala i specifičnih uslova kopa (stabilnost radilišta, čvrstoća stenskih masa, dozvoljena opterećenja tla). Imajući to u vidu, danas postoji čitav niz različitih tipova rotornih bagera koji se međusobno razlikuju u prečniku radnog točka, broju i obliku kašika na radnom točku i dužini radne strele.

U praksi često dolazi do prevremenih oštećenja i lomova odgovornih komponenti i čitavih konstrukcija rotornih bagera na površinskim kopovima, što se objašnjava neadekvatnim projektovanjem i konstruisanjem, nedovoljnim poznavanjem svojstava materijala i njihovih zavarenih spojeva i propustima u tehnologiji izrade delova. Sem direktne štete od oštećenja i lomova, poremećaj u proizvodnji električne energije može prouzrokovati i znatne indirektno štete. Mnogi primeri lomova rotornih bagera zabeleženi su na gotovo svim površinskim kopovima u Evropi. Prevremeni lom ili oštećenje delova konstrukcije rotornih bagera javljaju se pri istovremenom uticaju većeg broja tehnološko-metalurških, konstrukcijskih i eksploatacijskih faktora [1, 2, 3, 4, 5].

Zamorni lom je najčešći oblik oštećenja u radu i oko 80 % otkaza metalnih konstrukcija je posledica zamora. Utvrđivanje spektra opterećenja omogućava utvrđivanje radne čvrstoće odgovornih elemenata konstrukcija, a uvođenje parametara mehanike loma omogućava praćenje zavisnost brzine rasta pr-

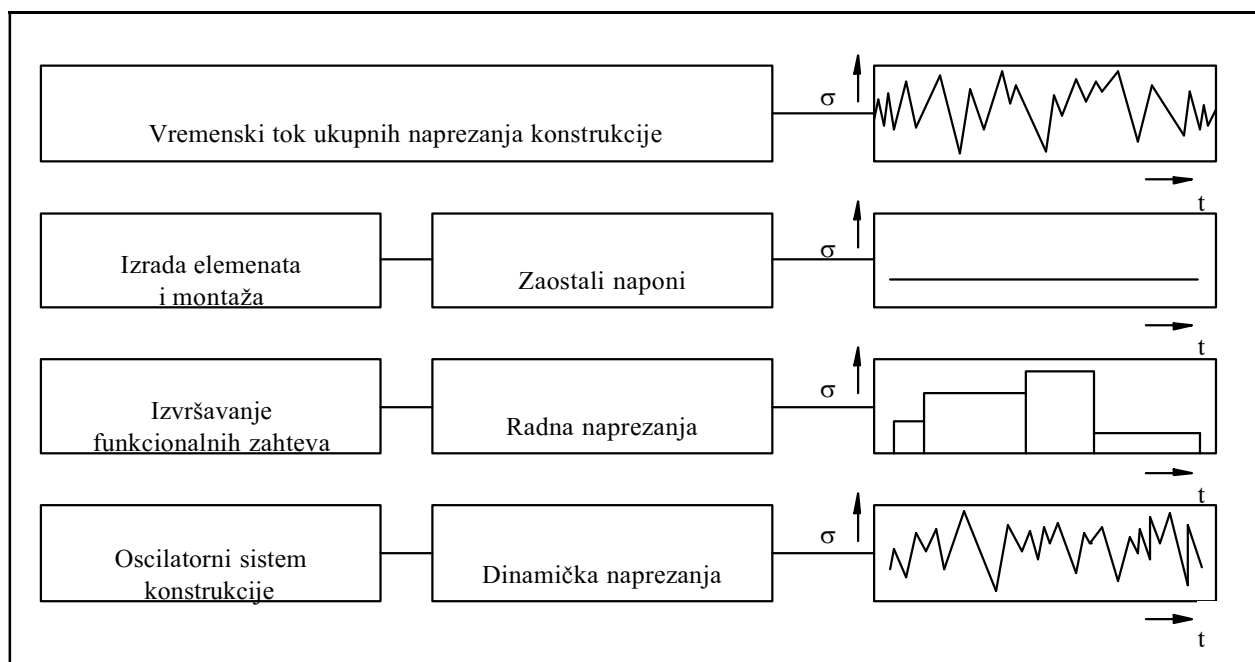
sline od opsega faktora intenziteta napona, gde je interesantno područje važenja zakona Parisa i područje praga zamora, u kome ne postoje uslovi za rast postojeće prsline. Podaci o brzini rasta zamorne prsline, o pragu zamora, kritičnoj veličini faktora intenziteta napona (žilavost loma) mogu da koriste u proceni veka.

Opterećenje odgovornih delova i elemenata konstrukcija rotornih 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 realnim uslovima izrade i eksploatacije. Na slici 1 prikazan je vremenski tok složenog napreznja bagerske konstrukcije i njegove komponente prema uzroku nastanka.

Zato, jedino ispitivanja konstrukcija u radnim uslovima i baze podataka omogućavaju da se oceni njihovo stanje u potpunosti. Na taj način se dobijaju neophodni podaci za upoređenje kvaliteta i ocenu mašina i konstrukcija, za ocenu uticaja prostornog rada pojedinih delova i elemenata na nosivost, kao i za određivanje zajedničkog rada pogonskih uređaja i konstrukcija.

## 2. PROJEKTOVANJE NOSEĆIH KONSTRUKCIJA ROTORNIH BAGERA

Danas je poznato da se mali broj delova na rotornim bagerima na zadovoljavajući način može



Slika 1. Prikaz rasčlanjenog ukupnog napreznja prema uzroku nastanka

proračunati prema metodološkim uputstvima za proračun uređaja, pogona i elemenata odgovornih konstrukcija, jer se uslovi složenog dinamičkog karaktera kojima su izloženi rotorni bageri ne mogu u potpunosti predvideti u fazi projektovanja i konstruisanja.

## 2.1. Proračun konstrukcije rotornih bagera

Uputstva za proračun metalne konstrukcije strele radnog točka rotornih bagera [6], kao dinamički najugroženije celine bagera, predlažu da se osnovni proračunski naponi  $\sigma$  i  $\tau$  u njenim elementima odrede od delovanja sledećih opterećenja:

- a) Sopstvena težina strele rotora i rotora uzimajući u obzir i njihov položaj.
- b) Težina materijala na transporterima i u kašikama, uzimajući u obzir i njihov položaj.
- c) Proračunska opterećenja na rotoru za normalno kopanje tla.
- d) Opterećenje vetrom u radnom stanju.

Pri tome, opterećenja po tačkama b) i c) treba da se izaberu tako da opterećenja pojedinih elemenata budu maksimalna. Neophodno je razmotriti proračunska opterećenja elemenata strele radnog točka u tri položaja:

- donjem,
- horizontalnom,
- gornjem.

Težinu materijala na transporterima, uzimajući u obzir opterećenja na elemente konstrukcije, od prosipanja, lepljenja materijala za transportnu traku i drugih faktora, neophodno je kod određivanja računске težine povećati za 15-30 %.

Pri proračunu elemenata strele radnog točka na statičku izdržljivost neophodno je proanalizirati maksimalna opterećenja i odrediti maksimalne naponne  $\sigma$  i  $\tau$ , polazeći od razmatranja sledećih proračunskih slučajeva:

1. Opterećenjima po tačkama a), b), d) se dodaju maksimalna dinamička opterećenja koja deluju na strelu radnog točka kod naglog zaustavljanja radnog točka u vertikalnoj ravni.
2. Opterećenjima po tačkama a), b), d) se dodaju maksimalna dinamička opterećenja koja deluju na strelu radnog točka kod naglog zaustavljanja okretanja strele radnog točka u ravni kružnog kretanja.
3. Pri delovanju proračunskih opterećenja po tačkama a)-d) isključuje se iz rada jedna strana vešalice strele radnog točka.
4. Pri delovanju proračunskih opterećenja po tačkama a)-d) dolazi do delimičnog upiranja radnog točka u otkopnu masu i uravnoteženja polovine težine radnog točka.

5. Kod delovanja proračunskih opterećenja po tačkama a), b) i d) radni točak se potpuno oslanja na tle.

Osim navedenih slučajeva potrebno je analizirati i maksimalne napone koji se pojavljuju pri montaži i remontu mašina.

Za proračun na zamor od zatezanja elemenata strele radnog točka od ekvivalentnih opterećenja, preporučuje se da se usvoje srednje vrednosti proračunskih opterećenja, za tri položaja strele radnog točka, dok se ne dođe do eksperimentalnih podataka.

Koeficijente nesimetričnosti opterećenja i napona  $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$  za određivanje amplitudnih napona i srednje vrednosti napona u ciklusu  $\sigma_a$  i  $\sigma_m$  ili  $\tau_a$  i  $\tau_m$  treba odrediti polazeći od proračuna oscilacija elemenata konstrukcije strele radnog točka u vertikalnoj i horizontalnoj ravni i torzijskih oscilacija, koje se pojavljuju pri normalnim procesima kopanja.

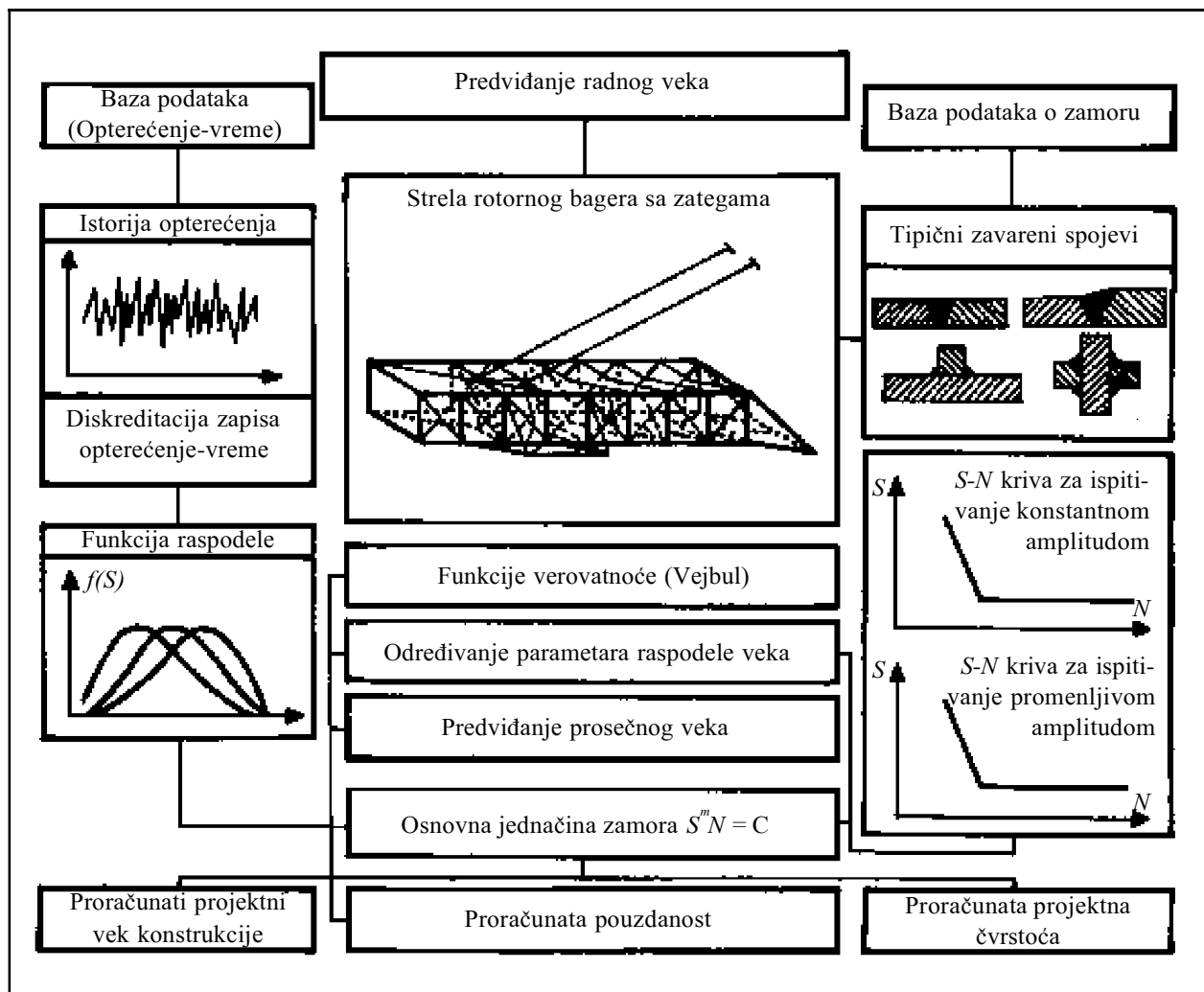
Kod prethodnih proračuna za elemente strele radnog točka, koji ne unose rezonantne oscilacije ili oscilacije bliske rezonantnim, mogu se u prvoo aproksimaciji proračunati koeficijenti nesimetričnosti opterećenja za proračunska opterećenja po tački c), koja se pojavljuju od sila kopanja na radnom točku, usvojiti u zavisnosti od otkopavane mase u granicama za rotorne bagere na otkrivci  $R=0,5-0,6$  i za proizvodne bagere sa povećanim silama rezanja  $R=0,25-0,4$ . Sa povećanjem tvrdoće otkopavanih masa koeficijent se smanjuje, a amplitudni deo opterećenja i napona raste.

Konstrukcija se definiše u zavisnosti od veličine i oblika spoljnog opterećenja, fizičko-mehaničkih svojstava materijala i od geometrijskih karakteristika razmatrane konstrukcije.

## 2.2. Predviđanje veka u fazi projektovanja i razvoja konstrukcija

Poslednjih godina, pri projektovanju odgovornih konstrukcija sve više se, umesto klasičnog proračuna za neograničen vek, primenjuju metode projektovanja konstrukcija sa ograničenim vekom, bazirane na konceptu radne čvrstoće i pristupima mehanike loma. Na osnovu sopstvenih ispitivanja i literature, preporučeno je postupak za projektovanje noseće konstrukcije rotornog bagera, sa sigurnošću od zamornog loma, i prikazana je mogućnost procene zamornog veka odgovornih konstrukcija u eksploataciji [3].

Kao što se vidi na slici 2, za projektovanje su potrebne dve grupe podataka: o opterećenju i o zamornim karakteristikama odgovornih konstrukcija.



Slika 2. Postupak za procenu veka u fazi projektovanja

U fazi projektovanja ovi podaci nisu poznati, pa se uzimaju na osnovu standarda, iskustva i literature.

Kada su u pitanju složene konstrukcije, kao što je rotorni bager, opravdano je na prototipu ispitati ponašanje u realnim radnim uslovima. Od takvog ispitivanja očekuju se podaci o deformacijama, merenim na kritičnim mestima, o naponima, sračunatim na osnovu izmerenih deformacija, o raspodeli napona u realnom vremenu i o faktoru koncentracije napona za zavarane spojeve, da bi se odredili kritični naponi na tim mestima. Na osnovu ovih podataka može da se oceni vek prototipa, sledeći postupak prikazan na slici 3.

Kao što se vidi na slici 3, istorija opterećenja, ciklične krive i zavisnost napon-deformacija, kao i faktor koncentracije napona  $k$ , su ulazni podaci za proračun oštećenja od zamora i predviđanje veka. Ovaj je pristup zasnovan na zavisnosti zamornog loma od energije, sakupljene u cikličnom procesu deformisanja. Rasuta energija se određuje iz zatvorene

histerezisne petlje, pri čemu se uzimaju u obzir i naponi zaostali od zavarivanja.

### 3. OTPOR KOPANJA I FUNKCIONALNE KARAKTERISTIKE BAGERA

Određivanje spoljnog opterećenja na radnom točku od otpora kopanja javlja se kao osnovna potreba, kako pri projektovanju, tako i pri eksploataciji rotornih bagera. Veliki broj parametara koji definišu otpore u procesu kopanja rotornim bagerom svrstani su u tri grupe: parametre stenske mase, geometrijske parametre kopanja i konstruktivno-kinetičke karakteristike rotornog bagera kao radne mašine.

#### 3.1. Teorijska postavka

Radni točak sa kašikama treba da savlada otpore rezanja, podizanja otkopnog materijala, punjenja kašika, trenja materijala tla i trenja između materija-

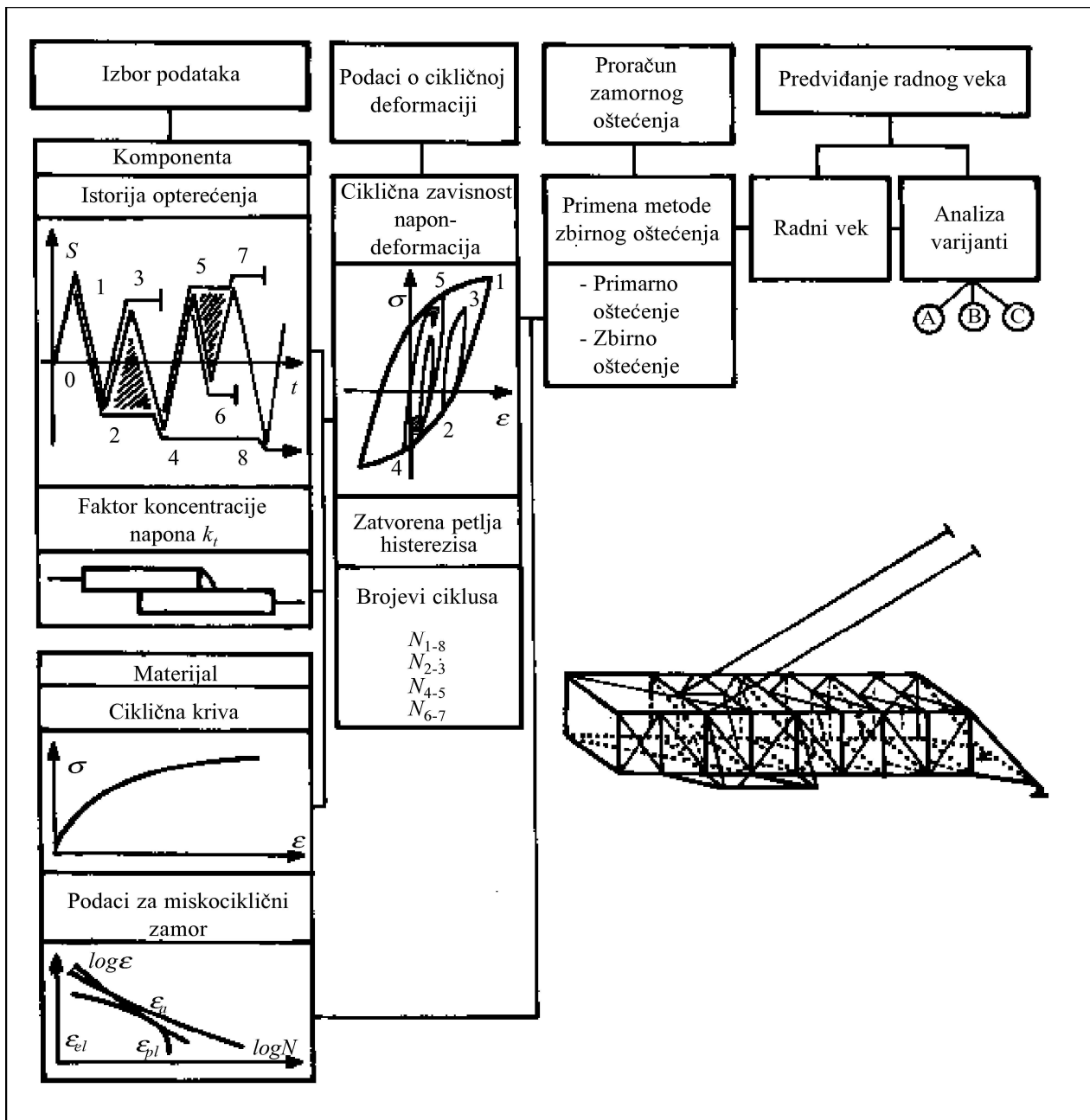
la i kašika, koji zavise od parametara rezanja i karakteristika radne sredine. Navedeni otpori se mogu, sa većom ili manjom tačnošću, ponaosob odrediti primenom odgovarajućih metoda. Međutim, u praksi je češće potrebno da se utvrde ukupni otpori, jer su oni merodavni za pravilan izbor i dimenzionisanje rotornog bagera [6], slici 4.

Osnovna komponenta otpora kopanja je tangencijalna komponenta  $F_t$ ,  $kN$ , definisana kao proizvod specifičnog linearnog otpora kopanja  $k_L$ ,  $kN/m$ , i zbir prosečnih dužina reznih ivica noževa u zahva-

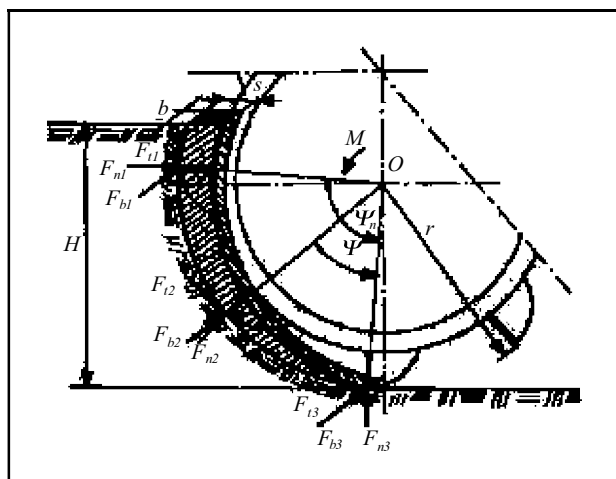
tu  $L_{sr}$ ,  $m$ , ili specifičnog površinskog otpora kopanja  $k_A$ ,  $kN/m^2$  i zbir prosečnih površina poprečnog preseka odrezaka  $A_{sr}$ ,  $m^2$ , u zavisnosti od broja kašika  $z$  na radnom točku i ugla kopanja  $\varphi$ :

$$F_t = k_L L_{sr}; L_{sr} \frac{Z}{2} L(\varphi) d$$

$$F_t = k_A A_{sr}; A_{sr} \frac{Z}{2} L(\varphi) d \quad (1)$$



Slika 3. Postupak za procenu veka prototipa



Slika 4. Otpori kopanja

Ukupni otpor kopanja  $F_k$  predstavlja prostorno opterećenje, koje se sastoji iz tri komponente: tangencijalne  $F_t$ , normalne  $F_n$ , od obrtanja rotora, i bočne  $F_b$ , od kružnog kretanja nadgradnje bagera sa radnim točkom i strelom:

$$F_k = \sqrt{F_t^2 + F_n^2 + F_b^2} \quad (2)$$

Srednje vrednosti normalne  $F_n$  i bočne komponente  $F_b$  otpora tla određuju se prema srednjoj vrednosti tangencijalne komponente  $F_t$ :

$$F_n = n F_t \quad (3)$$

$$F_b = b F_t \quad (4)$$

gde su:  $\psi_n$  i  $\psi_b$  eksperimentalni koeficijenti proporcionalnosti, čije vrednosti zavise od radne sredine.

Nominalna snaga kopanja  $N$ , kW, koja zavisi od stepena iskorišćenja pogonskih elektromotora  $\eta$ , može se definisati kao zbir snage potrebne za kopanje  $N_k$  i snage potrebne za dizanje i utovar otkopnog materijala  $N_h$ .

$$N = \frac{1}{\eta} (N_k + N_h) \quad (5)$$

Na osnovu karakteristika otpora kopanja jedne kašike  $F_{i(\varphi)}$ , kao slučajne funkcije ugla kopanja, moguće je preći na statističke karakteristike zbirnog opterećenja rotora, odnosno vratila rotora  $F_{(\varphi)}$  i obrtnog momenta na vratilu rotora  $T_{(\varphi)}$ . Veličine  $F_{(\varphi)}$  i  $T_{(\varphi)}$  su merodavne za dimenzionisanje pogonskih sistema. Do njihovih tačnih vrednosti se dolazi merenjima na većem broju kašika, na većem broju rotornih bagera i za više različitih otkopnih sredina [7, 8, 9].

### 3.2. Merenje otpora kopanja

Merenje otpora kopanja u principu se izvodi na dva načina, i to: direktno sa konkretnom otkopnom mehanizacijom (bagerom) i laboratorijski na uzetim uzorcima. Laboratorijsko merenje otpora kopanja se izvodi na više načina, od kojih su poznatiji: merenje reznim klatnom, merenje klinom, merenje penetrometrom, merenje triaksialnim aparatom, merenje ultrazvukom. Laboratorijske metode koje se najviše upotrebljavaju su modifikovane metode Orenstein & Koppel, koje se baziraju na Merchantovoj teoriji.

Na kopovima u našoj zemlji, za merenje otpora kopanju najčešće je korišćena metoda vatmetarskog učinka. Princip ove metode sastoji se u merenju angažovane snage na prenosniku za pogon radnog točka. Na osnovu podataka o veličini struje i naponu izmerenih vatmetrom R60, izračunava se angažovana snaga na elektromotoru za pogon radnog točka, koja se registruje kao zapis promene snage u vremenu. Potrošnja električne energije je posledica savlađivanja svih otpora, koji se javljaju u procesu kopanja.

Za određivanje potrebne snage za pogon radnog točka, u zavisnosti od ostvarenog kapaciteta i specifičnog otpora kopanju, korišćenjem odgovarajućih uređaja, izvršena su merenja i snimanja jačine struje [7, 8, 9]

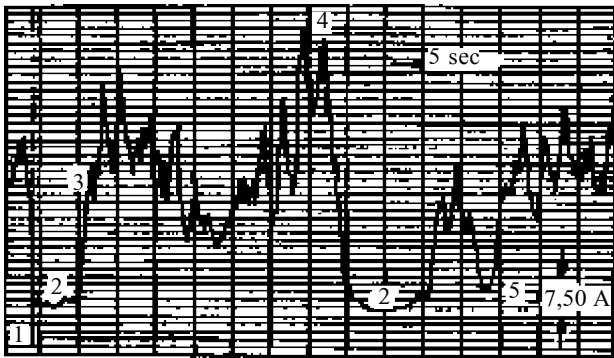
Merenja se vrše pod radnim opterećenjem bagera u različitim otkopnim sredinama. U radu su prikazani rezultati merenja radnog opterećenja na radnom točku rotornog bagera, Sch Rs 650/5x24 /9/. Na slici 5 prikazan je jedan od zapisa promene jačine struje sa osnovnim karakteristikama odreska, a na slici 6 prikazan je zapis na kome označene tačke predstavljaju:

- tačka 1 - jačina struje u momentu uključenja motora za pogon radnog točka,
- tačka 2 - jačina struje pri okretanju radnog točka na prazno,
- tačka 3 - jačina struje pri otkopavanju,
- tačka 4 - maksimalno zabeležena jačina struje obuhvaćena na dijagramu.



Slika 5. Prikaz dela zapisa promene jačine struje sa osnovnim karakteristikama odreska



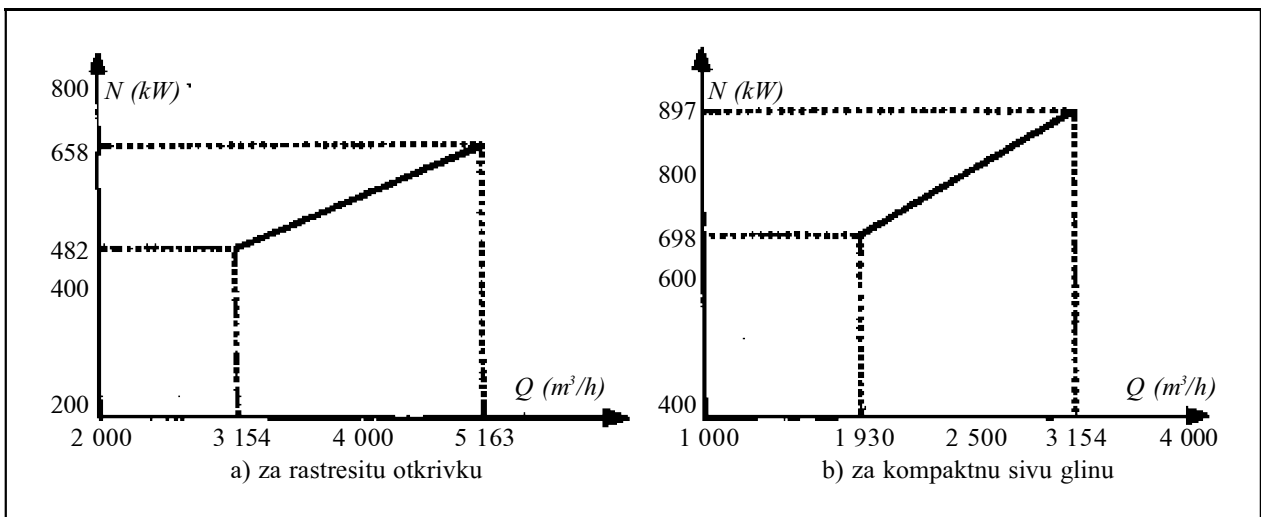


Slika 6. Prikaz zapisa promene jačine struje sa označenim tačkama za karakteristična opterećenja radnog organa

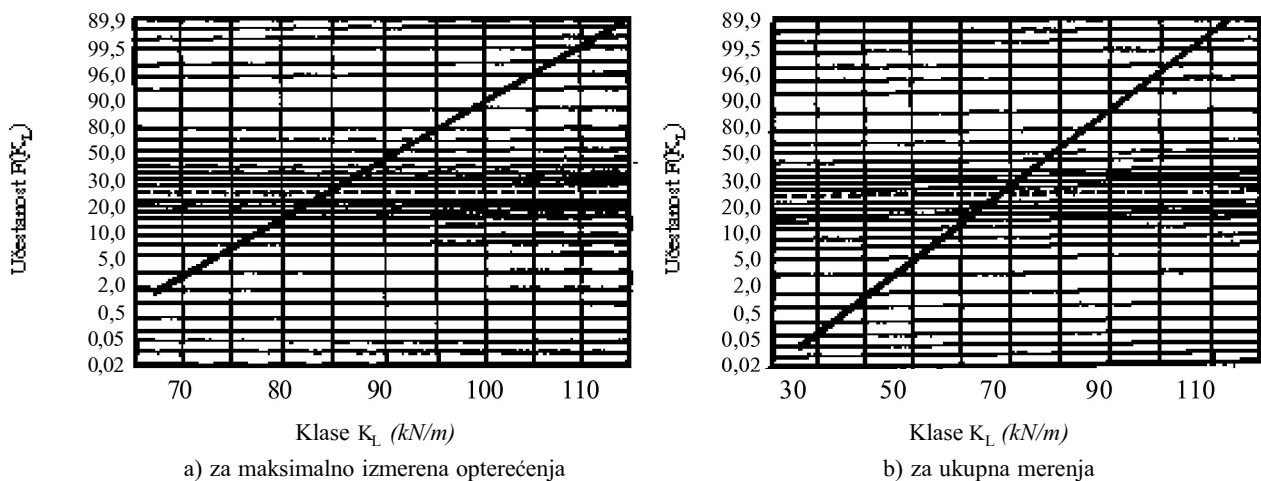
Za podatke o angažovanoj snazi  $N$  (kW) za pogon radnog točka i odgovarajuće časovne proizvodnje  $Q_e$  ( $m^3/h$ ), pri radu bagera u različitim otkopnim sredinama, izvršena je statistička analiza. Na osnovu statističkih karakteristika, metodom najmanjih kvadrata utvrđene su linearne korelacije za regresivnu funkciju  $N=N(Q_e)$  za rastresitu otkopnu sredinu i za kompaktnu sivu glinu, slika 7.

- Za rastresitu otkrivku  $N(Q_e)=0,083\ 7Q_e+229,6$
- Za kompaktnu sivu glinu  $N(Q_e)=0,166\ 6Q_e+366,6$

Analizom histograma empirijske raspodele, kumulativnih funkcija učestanosti i statističkih karakteristika došlo se do zaključka da se za matematički opis slučajnih veličina specifičnog otpora kopanja ( $k_L$ ) može koristiti normalni zakon raspodele, slika 8.



Slika 7. Promena snage u funkciji časovne proizvodnje



Slika 8. Grafičko određivanje parametara normalnog zakona raspodele

Parametri normalnog zakona raspodele specifičnog otpora kopanju

	Normalna raspodela		$f_i = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-\frac{1}{2} \frac{k_L k_L^*}{\sigma^2}}$	
	Srednja vrednost	Standardna odstupanja	Varijacije	Provera ekstremnih vrednosti
	$k_L^*$ (kN/m)	$\sigma$	$V = \sigma/k_L$	$k_L^* - 3\sigma$
Za maksimalno izmerena opterećenja	86,3	23,2	0,27	Zadovoljava
Za ukupno merenje	68,2	19,1	0,28	Zadovoljava

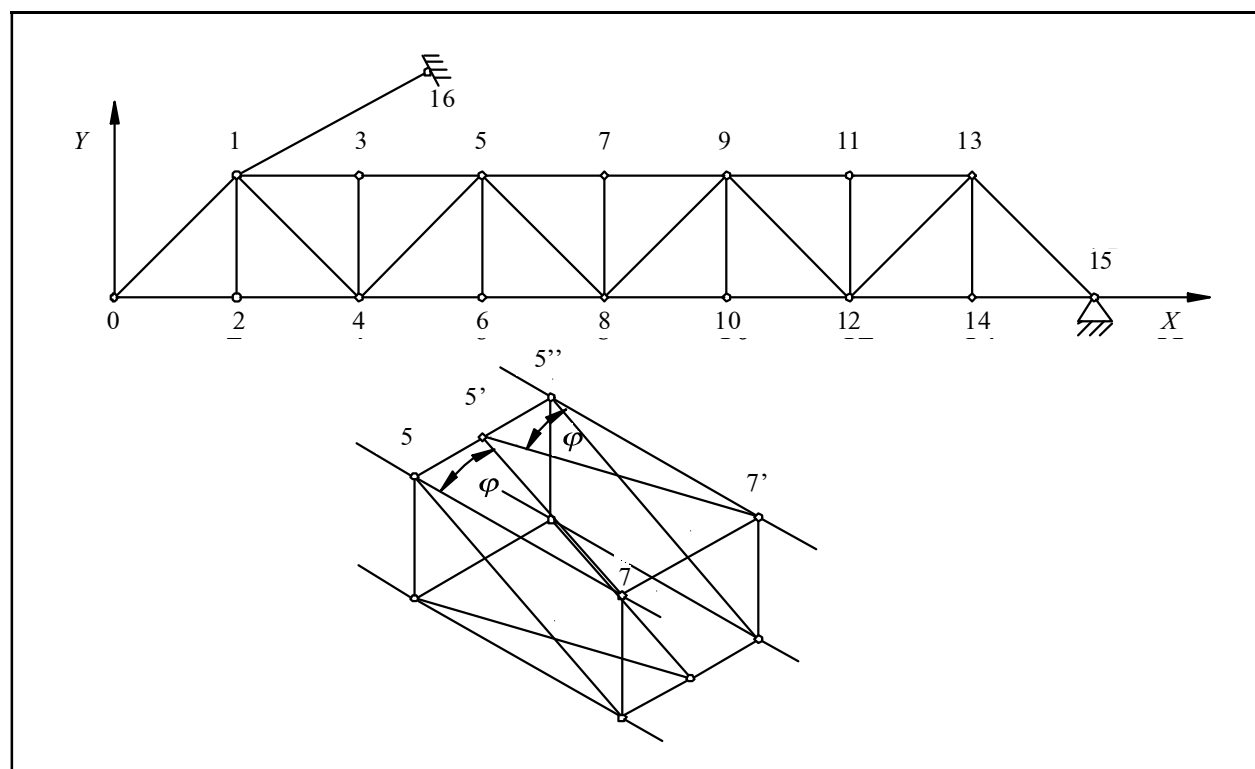
Normalni zakon raspodele specifičnog otpora kopanja ne važi za maksimalno izmerena opterećenja i za ukupna merenja. Zato se ona određuju drugim grafičkim metodama, da bi se izbegle ekstremne vrednosti, ili Weibulovom raspodelom. U tabeli 1 date su vrednosti parametara normalnog zakona raspodele specifičnog otpora kopanja i rezultati provere prihvatljivosti zakona na bazi koeficijenta varijacije.

Merenjem utvrđeni specifični otpori kopanju, za određene radne sredine, mogu poslužiti konstruktorima bagera za proveru proračuna pogonskih elemenata i delova mehanizama, kao i za iznalaženje povoljnih rešenja.

#### 4. UTICAJ OSCILACIJA NA INTEGRITET NOSEĆE KONSTRUKCIJE BAGERA

Obrtna veza gornjeg obrtnog i hodnog dela rotornog bagera predstavlja, u poređenju sa radnom strelom, pretovarnom strelom i protivtegom malu osnovu za stabilnost konstrukcije u radu. Bageri se, zbog toga, relativno lako dovode u stanje oscilovanja. Izazvane oscilacije noseće konstrukcije dovode do dinamičkih naprezanja u strukturnim elementima.

U toku eksploatacije, većina sklopova i elemenata bagera su izloženi složenim dinamičkim opterećenjima, koja zavise od uslova eksploatacije i sop-



Slika 9. Proračunski model strele za vertikalne oscilacije

stvenih oscilacija. Oscilatorna kretanja elemenata noseće konstrukcije bagera pojavljuju se u oba slučaja: stacionarnom i nestacionarnom režimu rada sistema pogona bagera i mogu biti veoma složena i širokog frekventnog spektra.

U radu su prikazani rezultati teoretske i eksperimentalne analize sopstvenih i prinudnih oscilacija noseće konstrukcije bagera klase SRs 470 za različite eksploatacione uslove [10].

U slučaju vremenskog poklapanja sopstvenih oscilacija konstrukcije i oscilacija izazvanih periodičnim delovanjem opterećenja može doći do rezonanse, pa time i do otkaza najnapretnijih preseka. Zbog toga frekvencija prinudnih oscilacija, usled zahvata kašika u eksploataciji, ne sme ležati u blizini frekvencije sopstvenih oscilacija noseće konstrukcije.

#### 4.1. Teorijske analize

Na osnovu tehničke dokumentacije i konstruktivnih elemenata radne strele rotornog bagera, izvršen je proračun sila u štapovima i pomeranje čvorova prostorne rešetke radne strele. Izračunate su i mase i koeficijenti krutosti za pojedine štapove i čvorišta.

U sklopu analize dinamičke izdržljivosti, izvršen je proračun sopstvenih oscilacija radne strele primenom metode „Finite-storrelmente” [11], za model ravanske rešetke, slika 9.

Pomeranje mase svakog štapa i svakog čvora daje ukupnu masu svih štapova. Pri proračunu frekvencije sopstvenih oscilacija kao kruti elementi uzete su u čvorovima koncentrisane mase, a kao elastični elementi u konvergentnim pravcima štapova modela rešetke su postavljeni elastični elementi, kao što je prikazano na slici 9.

Problem dobijanja frekvencije sopstvenih oscilacija rešen je sledećom jednačinom:

$$\det (XK - f^2 M) = 0$$

gde je:  $XK$  - matrica krutosti sistema,

$M$  - matrica masa,

Matrice  $XK$  i  $M$  su 26 reda.

Tako preračunate približne vrednosti frekvencija sopstvenih oscilacija za radnu strelu bagera iznose  $f_{min}=4,58$  Hz i  $f_{max}=195,0$  Hz.

Iako danas, zahvaljujući primeni računara, nema principijelnih teškoća u određivanju frekvencije prinudnih i sopstvenih oscilacija noseće konstrukcije rotornih bagera, eksperimentalna ispitivanja u stvarnim uslovima eksploatacije imaju prednost.

#### 4.2. Ispitivanja oscilacija i rezultati merenja

Mehaničke oscilacije noseće konstrukcije rotornog bagera karakteriše translatorno ili obrtno pome-

ranje pojedinih tačaka preseka tj. njihovo udaljenje od neutralnog položaja, koje se menja u vremenu  $Y=y(t)$ .

Za realizaciju eksperimentalnog ispitivanja, koje se sastoji od mernog programa, izvođenja merenja i određivanja vrednosti mernih veličina potreban je sistem mernih uređaja koji obuhvata karakteristična svojstva oscilovanja noseće konstrukcije rotornog bagera. Funkcija sistema mernih uređaja u suštini je obrada signala.

Sa ciljem da se izvrši analiza sopstvenih i prinudnih oscilacija, izvršena su merenja vertikalnih i horizontalnih pomeranja, brzina i ubrzanja na nosećoj konstrukciji različitih tipova bagera, u različitim režimima opterećenja. U radu su iznete analize sopstvenih i prinudnih oscilacija noseće konstrukcije rotornih bagera klase SRs 470.

Merenja vertikalnih i horizontalnih pomeranja, brzina i ubrzanja izvršena su vibracijskom metodom, na sredini nosećih vertikalnih stubova i na sredinama glavnih nosača gornjeg pojasa radne strele, analizatorom buke i vibracija „General Radio Company”, za različite faze rada bagera u teško obradivim sredinama, kada dolazi do jakih udarnih opterećenja. U sklopu merenja napreznja na nosećoj konstrukciji rotornih bagera, takođe su izvršena i merenja vertikalnih pomeranja na sredinama glavnih nosača gornjeg pojasa radnih strela.

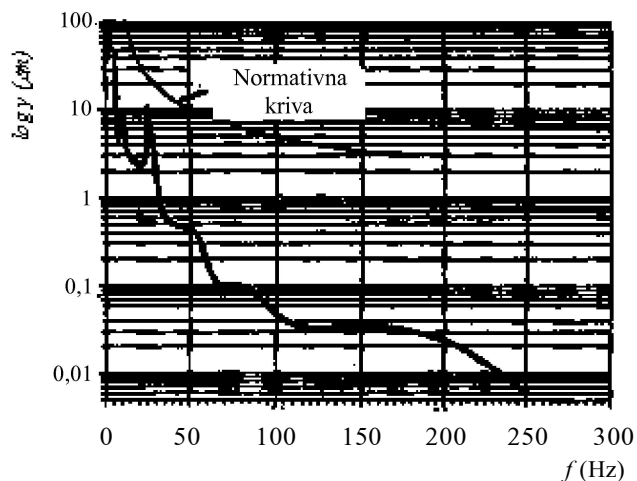
Analizom sopstvenih opterećenja rotornih bagera, odnosno registrovanjem oscilacije pri transportu i radnim pokretima izvan procesa kopanja, zavisno od tipa bagera (dužine radne strele) utvrđeno je da vrednosti osnovnih frekvencija sopstvenih oscilacija iznose:

- vertikalne oscilacije 1,0 - 3,2 Hz,
- poprečne 0,5 - 0,7 Hz i
- dužinske 0,4 - 0,5 Hz.

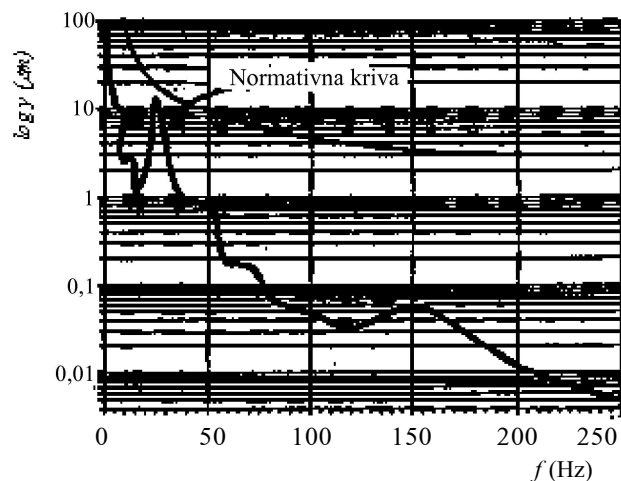
Takođe, utvrđeno je da logaritamski dekrement prigušenja,  $p$ , iznosi do 0,5, što predstavlja relativno malu snagu prigušenja i ukazuje na mogućnost pojave rezonancije.

Frekventne analize, s obzirom na teorijske pokazatelje, izvršene su za slučaj harmonijskih oscilacija u području učestanosti 2,5 - 250 Hz sa korakom od 1/3 oktave (trećinsko oktalna analiza). Frekventni spektri vertikalnih oscilacija u odnosu na normativnu krivu, za sva merna mesta jednog od ispitanih bagera prikazani su na slikama 10 i 11.

Najveće vertikalne oscilacije su zabeležene na glavnim nosačima radnih strela u području frekventne analize 2,5 - 5,0 Hz. Oscilacije u području frekventne analize 25 - 250 Hz, za koje autori kao Goldman, Zeler, Andrejeva-Golinina smatraju da su opasne ako su izražene velikim učešćem pomeranja, na osnovu ovih ispitivanja oscilacije se mogu zanemariti.

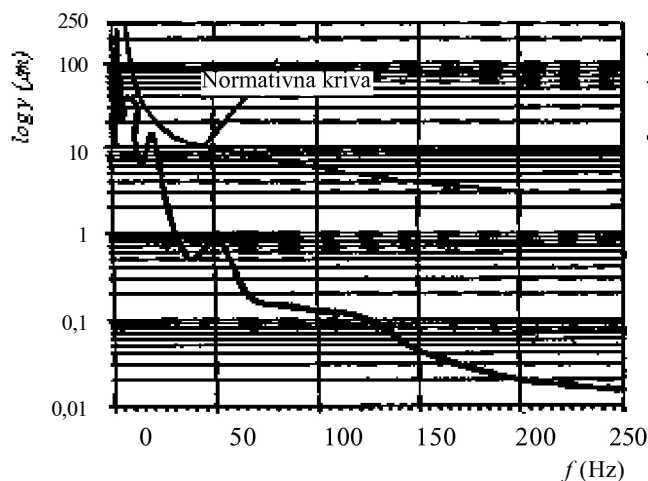


Merno mesto 1 (desni stub)

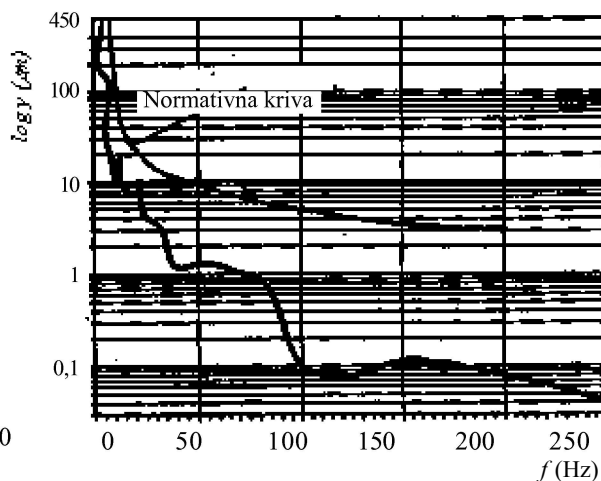


Merno mesto 2 (levi stub)

Slika 10. Frekventni spektar vertikalnih oscilacija na nosećim vertikalnim stubovima



Merno mesto 3 (na suprotnoj strani pogona)



Merno mesto 4 (na strani pogona radnog točka)

Slika 11. Frekventni spektar vertikalnih oscilacija na nosećoj konstrukciji radne strele

Kasnijim ispitivanjima, na radnim strelama rotornih bagera, pri tenzometrijskom merenju deformacija u cilju utvrđivanja radnih napona, odnosno spektra opterećenja [3], merene su i vertikalne, poprečne i dužinske oscilacije. Rezultati ispitivanja oscilacija su pokazali da se vertikalne oscilacije u radu bagera javljaju kao dvostruka amplituda u razmaku od 2 - 3 sekunde. Time je potvrđeno da opasnost od oscilovanja postoji u niskofrekventnom području.

Analize sopstvenih i prinudnih oscilacija pokazuju da je opasnost od pojave rezonancije veća kod konstrukcije radne strele nego kod nosećih vertikalnih stubova i to isključivo u niskofrekventnom području.

Frekventne analize oscilacija za različite faze rada bagera pokazuju da su sve oscilacije u dozvoljenim granicama, ali sa naglim promenama. Nagle promene oscilacija posledica su udarnih opterećenja.

Rezonancije koje nastaju poklapanjem sopstvenih oscilacija konstrukcije i oscilacija izazvanih periodičnim dejstvom opterećenja u horizontalnoj i vertikalnoj ravni radne strele ne predstavljaju opasnost za konstrukciju, ukoliko radno tle ima karakter jakog prigušenja, dok u suprotnom mogu dovesti do brzih oštećenja najnapregnutijih preseka.

S obzirom na to da ovim ispitivanjima nisu obuhvaćena granična opterećenja koja se javljaju pri

nailasku rotornog bagera na okamenjene stenske mase, kada usled udarnih opterećenja praktično dolazi do zaustavljanja radnog točka u procesu rada, ne može se odrediti granica korisnog opterećenja.

## 5. ZAOSTALI NAPONI USLED ZAVARIVANJA I INTEGRITET KONSTRUKCIJE

S obzirom na to da zavareni spojevi spadaju u kritična mesta na konstrukciji rotornih bagera proučavanjem ponašanja materijala i zavarenih spojeva pri dejstvu promenljivog opterećenja se dolazi do podataka koji mogu pomoći da se realizuju konstrukcije sigurne u odnosu na udarna opterećenja i zamorni lom.

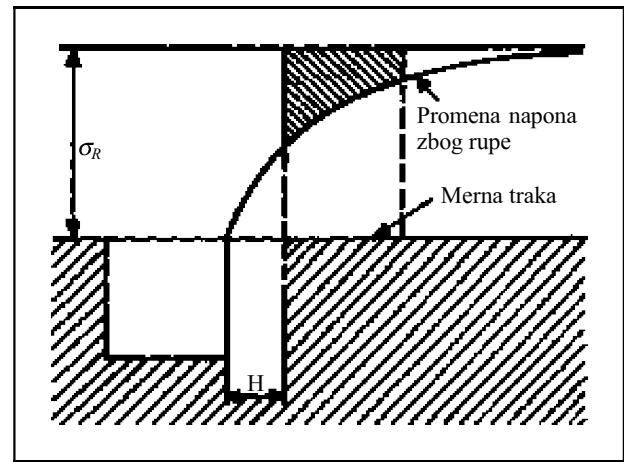
Zaostali naponi su prouzrokovani termičkim ciklusima zagrevanja i hlađenja u lokalnim područjima delova u toku zavarivanja, pri čemu je rastopljen metal šava (MŠ) ukrućen hladnim područjima koja ga okružuju. Neravnomerna raspodela temperatura pri zavarivanju izaziva nekompatibilne deformacije, što dovodi do nastanka samouravnotežavajućih zaostalih napona, koji ostaju u konstrukciji i posle njenog hlađenja do temperature okoline.

U uslovima promenljivog opterećenja, sumiranje zaostalih napona sa promenljivim naponima spoljnog opterećenja, dovodi do promene ukupnih napona, koji postaju veći ili manji. Na taj način, zaostali naponi mogu presudno uticati na procese stvaranja i rasta prslina.

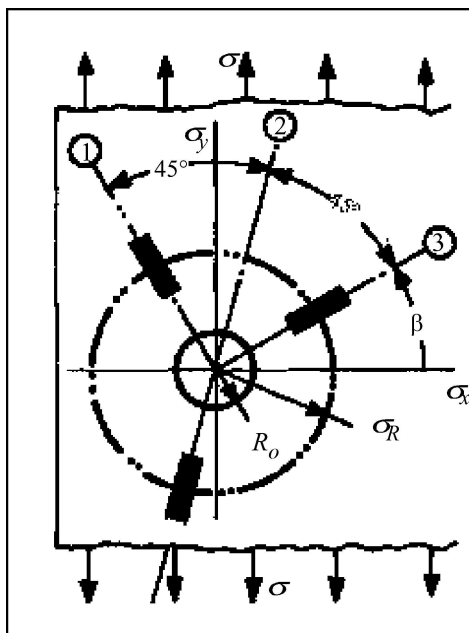
### 5. 1. Teorijske osnove određivanja zaostalih napona

Metoda bušenja središnje rupe je jedna od mehaničkih metoda za određivanje zaostalih napona koja se najčešće primenjuje pri ispitivanju realnih konstrukcija. Posle oko 40 godina usavršavanja ove metode, danas se koristi metoda sa specijalnim rozetama sa središnjim otvorom prečnika do 1,5 mm i mernom dužinom trake 1,5 mm.

Princip ove metode je prikazan na slici 12, gde je zaostali napon označen sa  $\sigma_R$ . Kada se rupa izbuši, napon na ivici rupe mora da se svede na nulu, a dalje se napon menja kako je prikazano na slici 1.



Slika 12. Princip određivanja zaostalih napona  $\sigma_R$  metodom bušenja središnje rupe i merenjem relaksiranih deformacija specijalnom rozetom



Slika 13. Shema određivanja dvoosnih zaostalih napona bušenjem središnje rupe

$$\epsilon_{\theta} = \frac{1}{2} \left( \epsilon_x + \epsilon_y \right) + \frac{1}{2} \left( \epsilon_x - \epsilon_y \right) \cos 2\theta \quad (6)$$

$\epsilon_{\theta}$  - nije od značaja za ova merenja

$$\epsilon_x = \frac{1}{4AB \cos 2\theta} \left( \epsilon_1 A + \epsilon_3 B \cos 2\theta \right) \quad (7a)$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{4AB \cos 2\theta} \left( \epsilon_3 A + \epsilon_1 B \cos 2\theta \right) \quad (7b)$$

gde je:

$$A = \frac{1}{2E} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{1}{R_0^2} \right) \quad r = \frac{R}{R_0} \quad (8a)$$

$$B = \frac{1}{2E} \left( \frac{4}{1} - \frac{1}{r^2} - \frac{3}{r^4} \right) \quad (8b)$$

$$C = \frac{1}{2E} \left( \frac{4}{1} - \frac{1}{r^2} - \frac{3}{r^4} \right) \quad (8c)$$

Merna traka (rozeta), koja se nalazi na odstojanju  $x$  od ivice rupe, prikazuje promenu deformacije, kao što je prikazano šrafiranom površinom na slici 12.

U opštem slučaju, naponsko polje je dvoosno i pravci glavnih napona su nepoznati. Zato je potrebna trojna rozeta, slika 13. Za bilo koju vrednost napona  $\sigma_R$  izmerena deformacija je zavisna od rastojanja  $x$ . Zbog toga rupa mora da bude potpuno centrična, okrugla i poznatog prečnika.

Relaksirane deformacije, izmerene na rozeti, zavise od dubine rupe. Za dobijanje maksimalne relaksirane deformacije dovoljno je da dubina rupe bude približno jednaka prečniku rupe.

Teoretske osnove metode opisuju sledeće jednačine za dvoosno naponsko stanje, slika 13.

U ovom poglavlju su prikazani rezultati eksperimentalnog ispitivanja zaostalih napona usled zavarivanja u elementima zakovano-zavarene konstrukcije strele radnog točka i kašikama rotornog bagera SRs 1300.26/5.0, koji rade u različitim otkopnim sredinama [12].

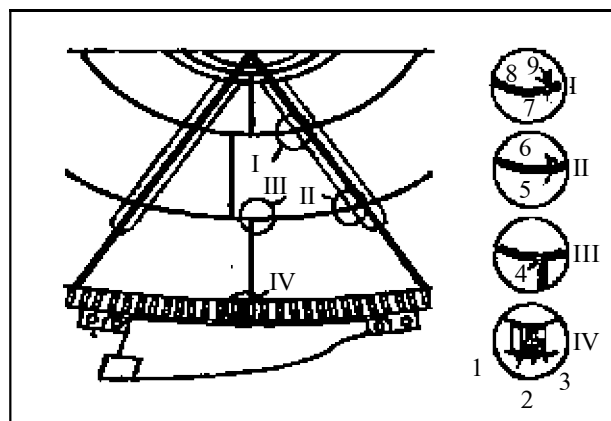
## 5.2. Eksperimentalno određivanje zaostalih napona

Merenje je izvedeno metodom bušenja središnje rupe specijalnom burgijom i uređajem za precizno centriranje. Korišćene rozete, tip RY-61 su proizvod firme HBM. Uređaj za precizno centriranje i bušenje se sastoji od univerzalne spojnice i magnetnog držača, koji služi kao vođica centrirajućeg klina i burgije pri bušenju u sredini rozete.

Merenje zaostalih napona od zavarivanja na konstrukciji radnog točka bagera je izvršeno u zoni zavarenih spojeva, slika 14. Izračunate vrednosti zaostalih napona su date u tabeli 2, a dijagrami zaostalih napona u pravcu šava  $\sigma_x$  i poprečno na šav  $\sigma_y$  date su na slici 15.

Merenje zaostalih napona na kašici je izvedeno na više mesta, tabela 3. Dijagrami zaostalih napona u pravcu šava ( $\sigma_x$ ) i poprečno na šav ( $\sigma_y$ ) date su na slici 16.

Dobijeni rezultati dozvoljavaju zaključak da su zaostali naponi od zavarivanja na kašikama i radnom točku visoki i da u lokalnim područjima zavarenih spojeva, u uslovima promenljivog opterećenja, mogu dostići napon tečenja, što dovodi do razvoja postojećih mikroprrslina i smanjenja integriteta konstrukcije.



Slika 14. Raspored devet mernih mesta

Tabela 2.

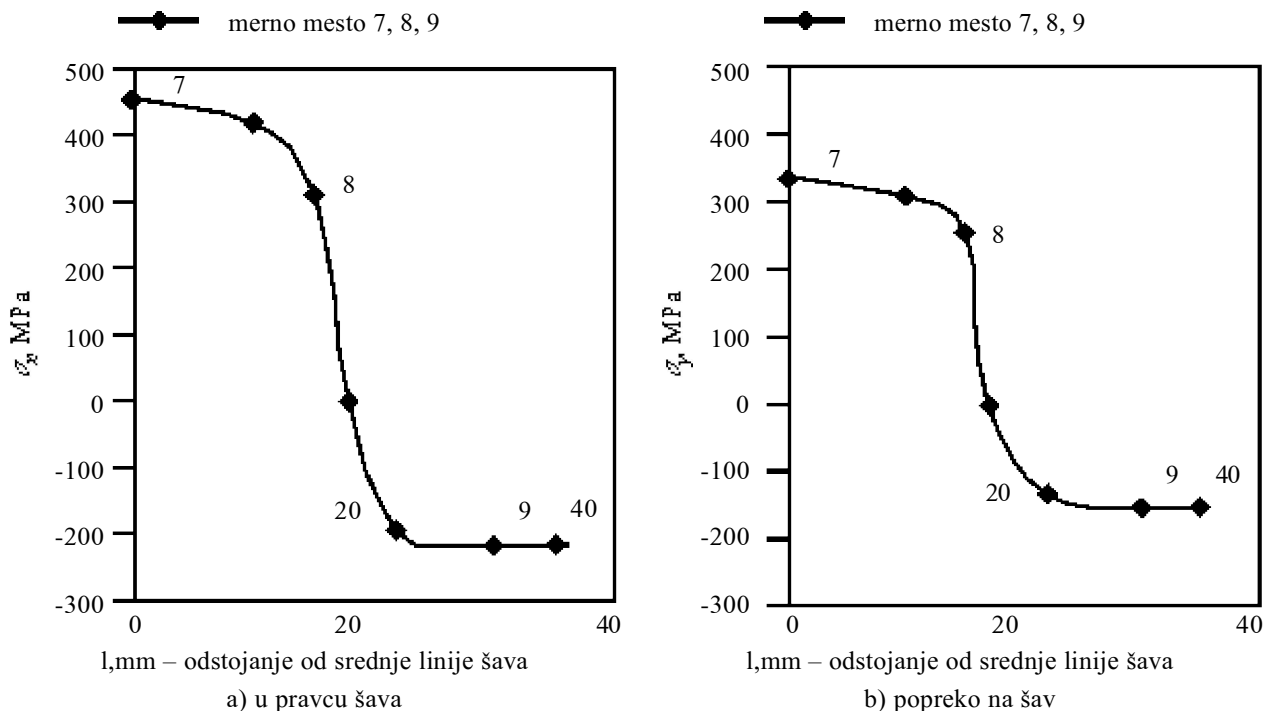
Vrednosti napona izračunate na osnovu korigovanih vrednosti deformacija

Merno mesto	1(šav)	2(ZUT)	3(OM)	4(ZUT)	5(šav)	6(ZUT)	7(šav)	8(ZUT)	9(OM)
$\sigma_x$ (Mpa)	+240	+256	+153	+433	+421	+318	+457	+313	-213
$\sigma_y$ (Mpa)	+171	+196	+104	+300	+169	+232	+334	+251	-154

Tabela 3.

Vrednosti napona sračunati na osnovu korigovanih vrednosti deformacija

Merna mesta	Zadnji oslonac kašike(sučeonni spoj)			Prednji oslonac kašike(ugaoni spoj)		
	11(šav)	12(ZUT)	13(OM)	ZUT	OM	ZUT
$\sigma_x$ (Mpa)	+319	+373	+99	+568	-52	-362
$\sigma_y$ (Mpa)	+248	+270	+9	-44	-52	-247

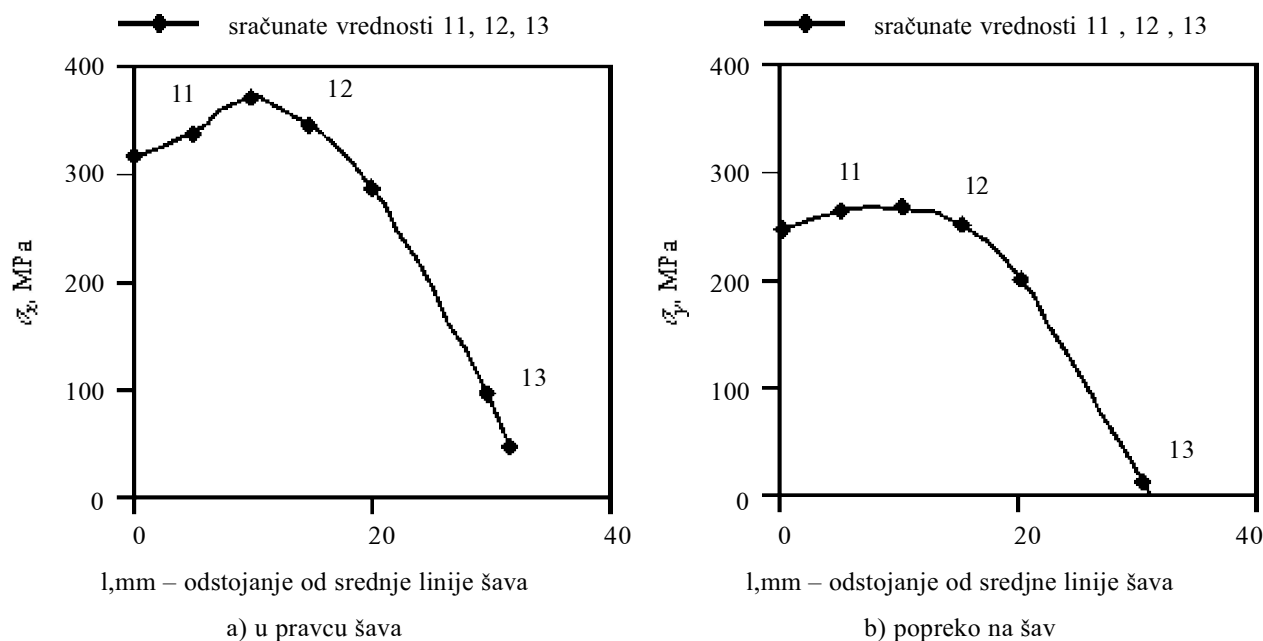


Slika 15. Dijagrami raspodele zaostalih napona na radnom točku

## 6. OCENA INTEGRITETA NA OSNOVU SPEKTRA NAPONA

Imajući u vidu već rečeno da se mali broj delova na rotornim bagerima može proračunati prema postojećim metodološkim uputstvima jasno je da jedino eksperimentalna ispitivanja daju pouzdane podatke za njihovo projektovanje i razvoj.

U ovom poglavlju su prikazani rezultati eksperimentalnog ispitivanja naponskog stanja u elementima zakovano-zavarene konstrukcije strele radnog točka i zategama rotornog bagera SRs 470. 15/3. 5, koji radi u različitim otkopnim sredinama [3], na osnovu izvršenih ispitivanja definisani su spektri opterećenja za eksperimentalna ispitivanja uticaja

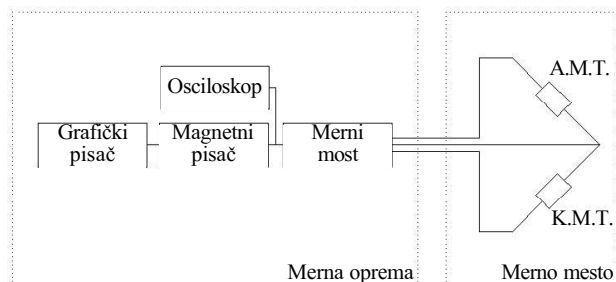


Slika 16. Dijagrami raspodele zaostalih napona na zadnjem delu kašike

nestacionarnosti režima opterećenja na radnu čvrstoću noseće konstrukcije rotornog bagera.

## 6.1. Merenje deformacija i određivanje radnih napona

Polazeći od karaktera opterećenja i principa dejstva mernih traka i merne opreme, za ova ispitivanja je korišćena oprema čija je struktura prikazana na slici 17.



A. M. T. -aktivna merna traka,  
K. M. T. -kompenzaciona merna traka

Slika 17. Shematski prikaz strukture merne opreme

U toku ispitivanja korišćen je četvorokanalni magnetni pisač HP-3964-A, proizvod firme Hewlett Packard. Pisač je posebno podešen da verno snima i reprodukuje zapis kada se i sam nalazi u dinamičkim uslovima rada. Širok dijapazon promene brzine zapisa i reprodukovanja omogućuje zapis brzih dinamičkih promena.

Za vizuelno praćenje stanja deformacija tokom ispitivanja korišćen je jednokanalni osciloskop, proizvod Iskra-Kranj. Njegova primena je posebno korisna zbog vizuelnog praćenja pojava pri eventualnom prekoračenju normiranih vrednosti.

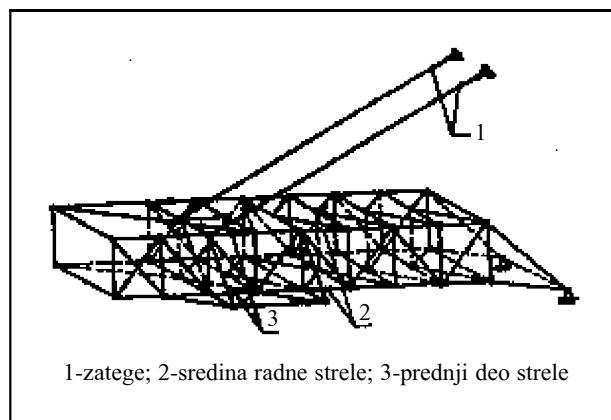
Za crtanje zapisa sa magnetofona na hartiju i za analizu istih korišćen je grafičko pisač, proizvod firme Rikadenki. Pored mogućnosti grafičkog zapisivanja, ovaj instrument može da pojačava signal u domenu od  $1 \mu V$  do  $500 V$  i razvlači signal u domenu od  $1 cm/h$  do  $60 cm/min$ , što omogućava dobijanje zapisa podesnih za analizu i prezentiranje.

### 6.1.1. Metodologija ispitivanja i izbor mernih mesta

Eksploatacijski uslovi za jednu mašinu mogu biti različiti i zavise od većeg broja determinističkih i slučajnih parametara. U cilju utvrđivanja stvarnog naponskog stanja, odnosno promene naprezanja u vremenu na elementima konstrukcije strele radnog točka i zategama bagera, izvršena su merenja promene opterećenja i naprezanja u radnim uslovima u različitim otkopnim sredinama (otkrivci i uglju). Tako su izvršena:

- ispitivanja deformacija u rasterećenom stanju bagera,
- ispitivanja deformacija pri radu bagera na prazno,
- ispitivanja deformacija pri kretanju bagera (transportu),
- ispitivanja deformacija u prosečnim radnim uslovima,
- ispitivanja deformacija pri radu bagera u punom rezu.

Polazeći od statičkog proračuna konstrukcije strele rotora, teorijske analize deformacija elementa strele rotora i iskustvenih pokazatelja pojave prslina i lomova, određene su 3 merne zone sa po 4 merna mesta, slika 18. Merne zone 1 i 3 se nalaze u području zavarenih spojeva, pa se rezultati ispitivanja mogu koristiti za analizu ponašanja zavarenih spojeva izloženih promenljivom opterećenju.



Slika 18. Merne zone i merna mesta

Tenzometrijska merenja deformacija na konstrukciji radnog točka i kašikama su izvršena sa 10 mernih traka LY11-HBM i 30 rozeta RY31-HBM. Prenos električnog signala sa obrtnog vratila radnog točka do opreme za registrovanje i obradu signala izvršen je pomoću specijalno izrađenih kliznih bakarnih prstenova, koji su postavljeni na vratilu radnog točka i kontaktnih grafitnih četkica, postavljениh na stacionarnim nosačima, slika 19.

Sva merna mesta su locirana na unutrašnjoj i spoljnoj strani segmenta radnog točka, koji obuhvata prostor jedne kašike.

Zahvaljujući svojstvima merne opreme merenje deformacije na konstrukciji strele radnog točka i zategama su izvršena pri višestrukome ponavljanju režima radnih opterećenja.

Eksperimentalno određene vrednosti radnih napona potvrdile su rezultate teoretske analize da se najveći naponi javljaju u zategama, i prednjem delu strele radnog točka.

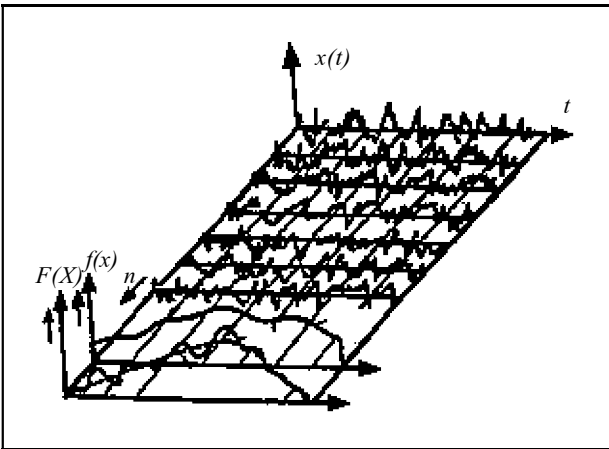




Slika 19. Mesto postavljanja bakarnih prstenova i kontaktnih četkica

## 6.2. Definisane spektra opterećenja

Osnovni parametri funkcije slučajnih procesa u amplitudnom području su: veličina amplitude, maksimalna, minimalna i srednja vrednost napona, broj pojava pojedinih parametara za određeni period rada, ukupan broj promena ciklusa u toku radnog veka [3], slika 20.



Slika 20. Skup realizacija slučajne veličine  $X(t)$  jednog nestacionarnog procesa opterećenja bagera

Definisane odgovarajućih spektara radnih opterećenja, na osnovu zavisnosti naprezanje - vreme, radi kvantitativne ocene ponašanja komponenata noseće konstrukcije rotornih bagera u području zamorne čvrstoće materijala, ostvaruje se u dva koraka:

- izbor parametara slučajnog procesa i metode njihove diskretizacije,
- statistička obrada diskretizovanih veličina i njihov grafički i analitički opis teorijom verovatnoće i matematičke statistike.

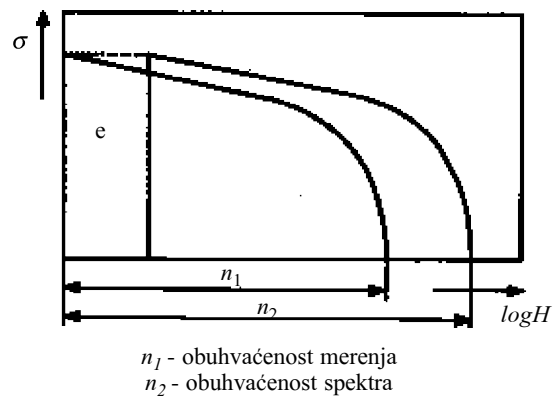
Postupci diskretizacije se mogu razvrstati u više osnovnih grupa: na postupke zasnovane na ekstremnim vrednostima procesa, na broju presecanja zadatog nivoa, na „vremenske” postupke, postupke raspona, postupke ciklusa. Najpouzdaniji u analizi slučajnih procesa su postupci koji se zasnivaju na brojanju i klasificiranju celih ciklusa, bez zanemariivanja malih promena. U njima se ceo ciklus promena definiše kao zatvorena petlja histerezisa promene napon - deformacija ( $\sigma - \epsilon$ ), sa odgovarajućim vremenskim zavisnostima napona ( $\sigma - t$ ) i deformacije ( $\epsilon - t$ ). Najpoznatiji je postupak „rein-flou”.

Za ova istraživanja, primenom dvoparametarskog postupka „rein-flou”, diskretizovane su veličine tenzometrijskim merenjem utvrđenih zavisnosti naprezanje - vreme, za različite režime opterećenja rotornih bagera. Primenjeni postupak za definisanje odgovarajućih spektara opterećenja za zamorna ispitivanja kritičnih zavarenih spojeva noseće konstrukcije rotornih bagera dat je u radu [3].

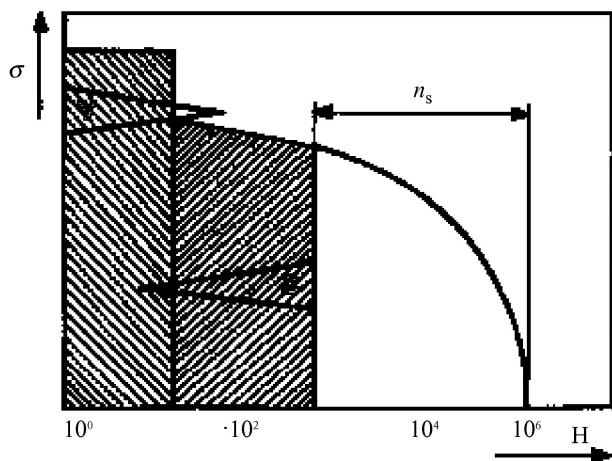
S obzirom na vreme i troškove ispitivanja, vreme merenja je u skoro svim slučajevima samo relativno mali deo ukupnog dejstva opterećenja, a svaki delimičan spektar samo jedno od tih stanja. Obuhvatanje vrednosti kratkih eksperimentalnih merenja za pojedina stanja opterećenja postiže se množenjem apsolutne učestalosti pojedinih spektara faktorom proširenja:

$$e = \frac{\text{obuhvaćenost stanja opterećenja}}{\text{obuhvaćenost merenja}} > 1$$

Ovo je na slici 21 prikazano kroz jednoparametarski spektar, gde najviša vrednost spektra ostaje sadržana i pri proširenju spektra. Određivanje najviše vrednosti spektra, pri skraćenom vremenu merenja u odnosu na vreme uvođenja u spektar, moguće je prvenstveno ekstrapolacijom, slika 22. U jediničnom spektru napona ( $n_b=10^5$ ) područje spektra  $n_s$ , utvrđeno na osnovu praktičnih merenja, najčešće obuhvata veće učestanosti napona ( $10^3-10^5$  ciklusa), što znači da su područja napona sa malom učestanošću (područja E i V) nepoznata, slika 22.



Slika 21. Prikaz proširenja spektra



Slika 22. Prikaz sastavljanja ukupnog spektra

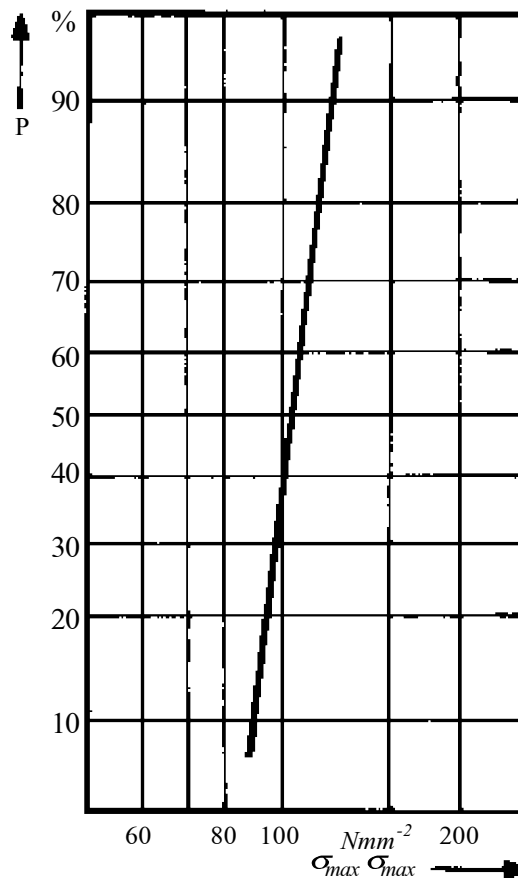
Područje *E* (učestanost  $10^2-10^4$ ) popunjava se veličinama napona dobijenim ekstrapolacijom funkcije raspodele ukupne učestanosti, [3]. U ukupnom spektru napona za kritični presek na radnoj streli rotornog bagera deo spektra dobijen ekstrapolacijom prikazan je isprekidanom linijom. Područje *m* koje čine učestanosti najviših napona od  $10^1-10^2$ , utvrđeno je na osnovu ekstremnih vrednosti, dobijenih posebnim ispitivanjima. Zbog malog broja eksperimentalnih vrednosti nije mogao da se primeni statistički postupak obrade diskretizovanih veličina. Zato je definisanje ekstremnih opterećenja u ukupnom spektru (područje *V*) za zamorna ispitivanja izvršeno primenom logaritamske normalne raspodele, jer se pokazalo da se vrednosti mogu dobro aproksimirati pravom linijom, slika 23.

Izmerene ekstremne vrednosti su uređene u rastući niz, slika 23, i za svaki član niza su izračunate verovatnoće  $P_j$ .

$$P_j = \frac{3j}{3k} \frac{1}{1} (\%),$$

gde je *j* redni broj u nizu, *k* ukupni broj ekstremnih vrednosti.

<i>j</i>	$\sigma_{max}$ (MPa)	$P_j$ (%)
1	92,30	10,53
2	97,02	26,32
3	102,30	42,63
4	109,10	57,90
5	118,20	73,68
6	125,00	89,49



Slika 23. Raspodela ekstremnih vrednosti u mreži logaritamske normalne raspodele

#### Parametri Vejbulovog zakona raspodele radnih napona za kritične preseke

Tabela 4.

$f(r) = \frac{1}{r} \exp\left(-\frac{r}{\eta}\right) \quad F(r) = 1 - \exp\left(-\frac{r}{\eta}\right)$												
Parametri	$\eta$	$\beta$	<i>m</i>	<i>d</i> -test	$\eta$	$\beta$	<i>m</i>	<i>d</i> -test	$\eta$	$\beta$	<i>m</i>	<i>d</i> -test
Opterećenje bagera (MPa)	Zatege				Sredina radne strele				Prednji deo strele			
Pri kretanju	52	2,6	46,2	0,156<0,163	34	2,4	30,1	0,098<0,124	41	3,6	36,9	0,089<0,102
Prosečno	73	3,2	65,4	0,093<0,127	40	2,4	35,5	0,090<0,128	65	3,6	58,5	0,122<0,127
U punom rezu	68	2,0	60,3	0,069<0,108	48	2,6	42,6	0,084<0,111	81	3,7	73,1	0,076<0,114

Grafičkim i analitičkim metodama teorije verovatnoće i matematičke statistike je utvrđeno da je za prikaz raspodele diskretizovanih amplituda ( $\sigma_a$ ), odnosno raspona ( $\sigma_r$ ) radnih napona najpogodnija dvo-parameterska Weibulova raspodela. Funkcije raspodele raspona napona dobijene su grafičkom metodom korišćenjem papira Weibulove verovatnoće u koji su unete kumulativne relativne učestanosti za odgovarajuće klase napona, tabela 4. Prihvatljivost Weibulovog zakona raspodele potvrđena je testom Kolmogorov-Smirnova, odnosno  $d$ -testom.

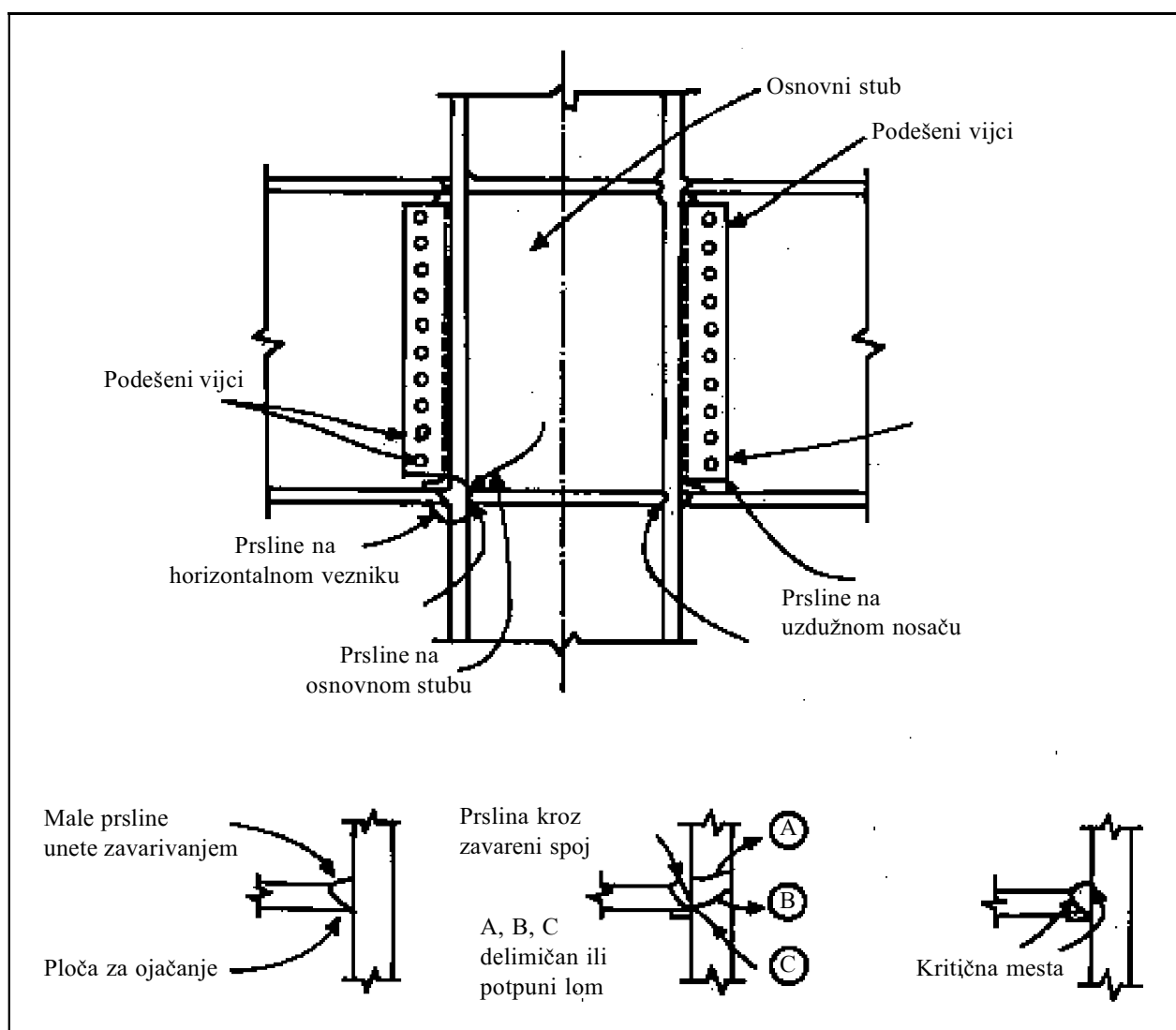
Statistički podaci o vremenu rada rotornog bagera za razmatrana opterećenja (pri kretanju, prosečno i u punom rezu) dati su u tabeli 5. Na osnovu podataka o režimima rada i njihovom procentualnom učešću, izvedena je kombinovana opadajuća funkcija napona  $H(\sigma_r)=1-F(\sigma_r)$ , [3], za kritični presek merne zone prednjeg dela radne strele, slika 24, u obliku:

$$H(\sigma_r) = 0,04 \exp\left(-\frac{\sigma_r^{3,6}}{41}\right) + 0,60 \exp\left(-\frac{\sigma_r^{3,6}}{65}\right) + 0,36 \exp\left(-\frac{\sigma_r^{3,7}}{81}\right) \quad (9)$$

Tabela 5.

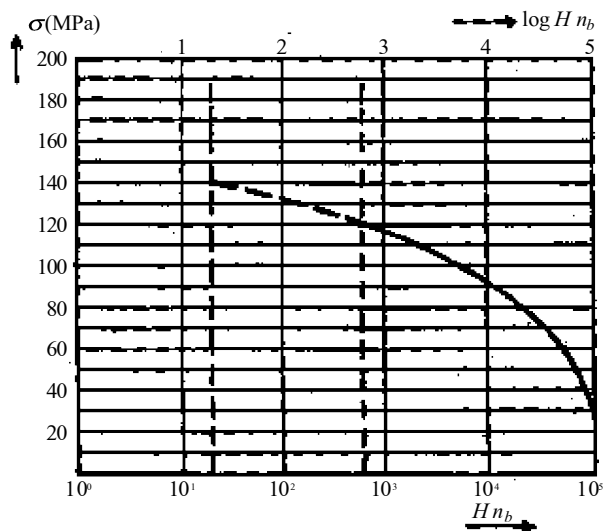
Statistički podaci o vremenu rada bagera za razmatrana opterećenja, %

Opterećenje	U transportu	Prosečno	U punom rezu
Trajanje opterećenja (%)	4	60	36



Slika 24. Prikaz kritičnog čvora noseće konstrukcije i mesta pojave zamornih prslina

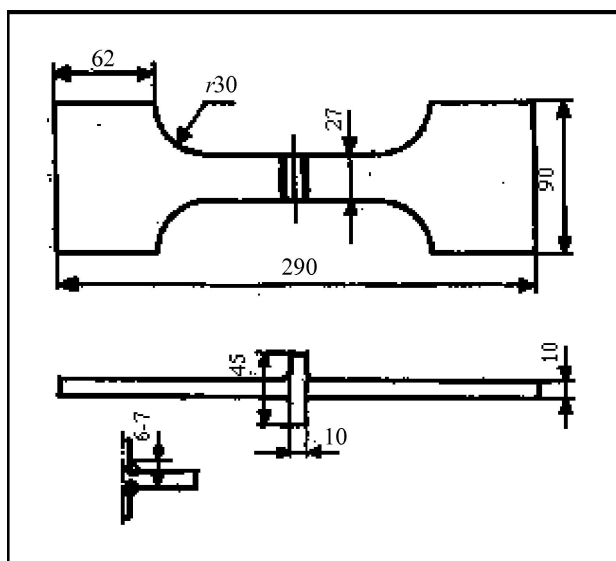
Ukupni jedinični spektri raspona napona za zamorna ispitivanja karakterističnih spojeva rotornog bagera, prikazani na slici 25, dobijeni su ekstrapolacijom kombinovanih opadajućih kumulativnih funkcija Vejbulove rasodele  $H(\sigma_r)$  i unošenjem napona dobijenih ekstrapolacijom ekstremnih opterećenja.



Slika 25. Grafički prikaz jediničnog spektra raspona napona za prednji deo strele radnog točka bagera

Rezultati eksperimentalnih ispitivanja na zamor krstastog zavarenog spoja, prikazanog na slici 26, sa konstantnom amplitudom opterećenja (S-N dijagram) i spektrom napona (dijagram radne čvrstoće) prikazani su u okviru slike 27.

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja na zamor sa konstantnom amplitudom opterećenja (S-N dijagram) i spektrom napona (dijagram radne čvr-



Slika 26. Krstasti spoj

stoće) omogućuju proučavanje zamorne čvrstoće delova i elemenata noseće konstrukcije rotornih bagera i istraživanje valjanosti teorije kumulativnog oštećenja.

### 6.3. Procena veka na bazi spektra napona

Za poznavanje uticaja nestacionarnosti režima opterećenja i sopstvenih niskofrekventnih oscilacija na radnu čvrstoću elemenata noseće konstrukcije rotornog bagera neophodno je poznavanje radnih napona, koji se uspostavljaju pri dejstvu promenljivog opterećenja u različitim radnim režimima bagera, odnosno poznavanje spektra napona.

Radna čvrstoća elemenata noseće konstrukcije određuje se uglavnom na dva načina:

- računskim putem primenom hipoteza o akumulaciji oštećenja,
- eksperimentalnim programskim ispitivanjem uzoraka bliskih realnim ili ispitivanjem realnih elemenata noseće konstrukcije, pri čemu je režim ispitivanja (spektar napona) usaglašen sa uslovima eksploatacije.

Najviše korišćene hipoteze zasnovane na akumulaciji zamornog oštećenja su prvo postavljena hipoteza linearnog akumuliranja oštećenja Polmgren-Minera i hipoteze Korten-Delou, Serensen-Kogaev i Hojbah koje su pokušale da isprave sistematske greške Polmgren-Minerove hipoteze, čineći podgrupu modifikovanih linearnih hipoteza. Suma akumulacije oštećenja u opštem obliku glasi:

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N_i} \quad (10)$$

gde se podrazumeva da lom nastaje kada suma dostigne vrednost 1,0. Za nezavarene materijale suma oštećenja varira u širokim granicama  $D = 0,1 \div 1,0$ , a za zavarene konstrukcije velikih dimenzija iskustva pokazuju da je suma oštećenja blizu vrednosti  $D = 0,5$  [1].

Osnovni nedostatak hipoteza zasnovanih na akumulaciji zamornog oštećenja je u tome što ne uzimaju u obzir „istoriju opterećenja”, što u realnim uslovima ima značajan uticaj na brzinu procesa akumulacije oštećenja. Eksperimentalna ispitivanja su pokazala da zamorna čvrstoća materijala bitno zavisi ne samo od oblika spektra opterećenja već i od težine spektra (težine režima opterećenja), kao i slučajnog preopterećenja ili udarnog opterećenja tzv. vršnog ili ekstremnog opterećenja [3].

Na bazi rezultata eksperimentalnih ispitivanja i utvrđenog jediničnog spektra napona [3] izračunate su karakteristične veličine potrebne za računsku procenu veka trajanja primenom linearnih hipoteza o akumulaciji oštećenja [13], tabela 6.

Veličine za izračunavanje veka trajanja

	i	1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\Delta n_{bi}$	1	19	58	504	3824	21112	54326	85462
2	$\Delta n_{bi}/n_b$	$6 \times 10^{-6}$	$1,15 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-4}$	$3,05 \times 10^{-4}$	0,023	0,128	0,329	0,517
3	$\sigma_r [N/mm^2]$	141,38	94,26	90,22	80,78	68,66	53,9	40,4	26,92
4	$\sigma_{ri}/\sigma_{r1}$	1	0,667	0,638	0,5714	0,486	0,381	0,286	0,191
5	$(\sigma_{ri}/\sigma_{r1})^{6,7}$	1	0,066	0,049	0,024	0,007 9	0,001 6	0,000 23	0,000 015
6	$(\Delta n_{bi}/n_b)(\sigma_{ri}/\sigma_{r1})$	$6 \times 10^{-6}$	$7,67 \times 10^{-5}$	$2,23 \times 10^{-4}$	$1,74 \times 10^{-3}$	0,011 2	0,048 8	0,094	0,099
7	$(\Delta n_{bi}/n_b)(\sigma_{ri}/\sigma_{r1})^{6,7}$	$6 \times 10^{-6}$	$7,63 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-5}$	$7,17 \times 10^{-5}$	$1,82 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$7,46 \times 10^{-5}$	$7,71 \times 10^{-6}$
8	$(\sigma_{ri}/\sigma_{r1})^{12,4}$	1	$6,59 \times 10^{-3}$	$3,8 \times 10^{-3}$	$9,68 \times 10^{-4}$	$1,29 \times 10^{-4}$	$6,41 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-7}$	$1,17 \times 10^{-9}$
9	$(\Delta n_{bi}/n_b)(\sigma_{ri}/\sigma_{r1})^{12,4}$	$6 \times 10^{-6}$	$7,58 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-6}$	$2,95 \times 10^{-6}$	$0,03 \times 10^{-4}$	$0,82 \times 10^{-6}$	$0,59 \times 10^{-7}$	$0,61 \times 10^{-9}$

## 6.3.1. Hipoteza Polmgren-Miner

Funkcija interakcije napona  $a_p=1$ .

Vek trajanja:

$$N_{R_{P-M}} = \frac{N_1}{\prod_{i=1}^j \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^m \frac{r_i}{r_1}} = \frac{586\,650}{13,63 \cdot 10^6} = 4,304 \cdot 10^{10} \quad (11)$$

$j=2$  - nivoi napona u spektru koji su veći od trajne zamorne čvrstoće.

## 6.3.2. Hipoteza Korten-Delon

Funkcija interakcije napona  $a_p=1$ .

Vek trajanja:

$$N_{R_{C-D}} = \frac{N_1}{\prod_{i=1}^k \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^m \frac{r_i}{r_1}} = \frac{586\,650}{566,903 \cdot 10^6} = 1,0348 \cdot 10^9 \quad (12)$$

$k=8$  - svi nivoi napona u spektru.

## 6.3.3. Hipoteza Serensen-Kogaev

Funkcija interakcije napona:

$$a_p = \frac{\prod_{i=1}^k \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^m \frac{r_i}{r_1} \cdot 0,5}{\prod_{D} \frac{1}{D} \cdot 0,5} = \frac{141,38}{92,59} \cdot 0,545 \cdot 7 \cdot 0,5 = 0,325 \quad (13)$$

Vek trajanja:

$$N_{R_{S-K}} = \frac{a_p N_1}{\prod_{i=1}^j \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^m \frac{r_i}{r_1}} = \frac{0,325 \cdot 586\,650}{13,63 \cdot 10^6} = 1,397 \cdot 10^{10} \quad (14)$$

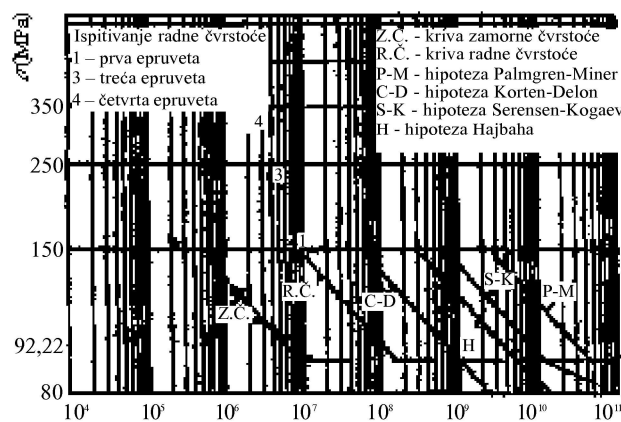
$k=8$  - svi nivoi napona u spektru.

## 6.3.4. Hipoteza Hajbaha

$$N_{R_H} = \frac{N_1}{\prod_{i=1}^j \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^m \frac{r_i}{r_1} \prod_{D} \frac{1}{D} \prod_{i=1}^k \frac{n_{bi}}{n_b} \prod_{r=1}^{2m} \frac{r_i}{r_1}} = \frac{586\,650}{13,63 \cdot 10^6 \cdot \frac{141,38}{92,59}^{5,7}} = 8,129 \cdot 10^6 \quad (15)$$

Grafički prikaz eksperimentalnih rezultata i rezultata dobijenih na bazi linearnih hipoteza o akumulaciji oštećenja dat je na slici 27.

Upoređenje rezultata eksperimentalnog ispitivanja sa računskom procenom veka, slika 27, je značajno za odgovor kako tačno i do koje mere rezultati ispitivanja sa promenljivom amplitudom optere-



Slika 27. Prikaz eksperimentalnih rezultata i rezultata proračuna

ćenja mogu biti preneti na druge konstrukcije sa istom „istorijom naprežanja” ili na isti tip konstrukcija, ali sa drugačijom istorijom naprežanja.

## 7. ZAKLJUČAK

*Rezultati prikazani u radu i realizovana istraživanja [1–16] pružaju velike mogućnosti u opsežnim analizama ponašanja odgovornih delova i elemenata nosećih konstrukcija rotornih bagera, u cilju utvrđivanja promena mehaničkih svojstava materijala, delova i zavarenih spojeva konstrukcija pri variranju velikog broja uticajnih faktora, a da se dobiju sigurnije konstrukcije ili da se neki nepoželjni efekti svedu na podnošljivu vrednost, odnosno da se realizuje povoljno konstrukcijsko rešenje rotornog bagera kao celine.*

*Brzo i pouzdano rešenje problema za odgovorne delove i elemente nosećih konstrukcija moguće je ostvariti isključivo stvaranjem baze podataka i osnova za razvoj računarskih programa. Prateći softverski paketi omogućili bi efikasnije korišćenje baza podataka, analizu pojedinih uticajnih faktora, tehnika poboljšanja, mogućnosti preventivne njihovog razaranja i pretraživanje varijantnih rešenja u svim fazama projektovanja i razvoja konstrukcija rotornih bagera.*

## 8. LITERATURA

- [1] Džoni A.: TEORIJSKA I EKSPERIMENTALNA ANALIZA STANJA U ZAVARENIM SPOJEVIMA KONSTRUKCIJE RADNOG TOČKA ROTORNOG BAGERA, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Skoplje, 1985.
- [2] Arsić M.: TEORIJSKA I EKSPERIMENTALNA ANALIZA STANJA ZAVARENE KAŠIKE ROTORNOG BAGERA, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Skoplje, 1986.
- [3] Arsić M.: KORELACIJA ZAMORNE ČVRSTOĆE I PRAGA ZAMORA ZAVARENIM SPOJEVA, Doktorska disertacija, Priština, 1995.
- [4] Arsić M., Sedmak S., Sarvan M.: ANALIZA UZROKA POJAVE PRSLINA NA ZAVARENIM SPOJEVIMA KONSTRUKCIJE ROTORA BAGERA SRs 1300.26/5.0, Međunarodno savetovanje „Zavarivanje '96”, Beograd, 1996.
- [5] 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.
- [6] Volkov D. P., Ćerkasov V. A.: DINAMIKA I ČVRSTOĆA BAGERA, GLODARA I ODLAGAČA, Prevedeno sa ruskog, Zavod za informatiku i ekonomiku Rudarskog instituta, Beograd, 1989.
- [7] Arsić M., Ljamić D., Ćirković B.: EKSPERIMENTALNA ANALIZA RADNOG OPTEREĆENJA POGONA RADNOG TOČKA ROTORNOG BAGERA, naučno-stručni skup „Istraživanje i razvoj mašinskih sistema i elemenata” - IRMES 95, Niš, 1995.
- [8] Arsić M., Sedmak S., Ljamić D.: EKSPERIMENTALNA ANALIZA NAPONSKOG STANJA I RADNOG OPTEREĆENJA TRAKASTIH TRANSPORTERA, XIII međunarodni naučno-stručni skup „Transport u industriji”, Beograd, 1994, str. 16-21.
- [9] Arsić M., Ljamić D., Ćirković B.: EKSPERIMENTALNA ANALIZA RADNOG OPTEREĆENJA OBRTNOG TOČKA ROTORNOG BAGERA SCH Rs 650/5X24, IV naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem „Mehanizacija u rudarstvu”, Beograd, 1995, str. 92-99.
- [10] Arsić M., Aleksić V.: ISPITIVANJE OSCILACIJA NOSEĆE KONSTRUKCIJE ROTORNOG BAGERA, II Skup o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu, „KOD 2002”, Novi Kneževac, 2002, str. 137-140.
- [11] Zienkiewicz O. C.: METHODE DER FINITEN ELEMENTE, München, 1975.
- [12] Arsić M., Sedmak S., Aleksić V., Anđelković Z.: UTICAJ ZAOSTALIH NAPONA OD ZAVARIVANJA NA PONAŠANJE KONSTRUKCIJA ROTORNIH BAGERA U EKSPLOATACIJI, Međunarodna konferencija „ZAVARIVANJE 2003”, Beograd, 2003.
- [13] Arsić M., Sedmak S., Aleksić V.: EXPERIMENTAL AND NUMERICAL EVALUATION OF CUMULATIVE FATIGUE DAMAGE OF WELDED STRUCTURE, Conference „FATIGUE-DEMA-GE”, Seville, 2003
- [14] Arsić M., Sedmak S., Sarvan M.: ANALIZA ČVRSTOĆE I POUZDANOSTI KRITIČNIH ZAVARENIM SPOJEVA ODGOVORNIH NOSEĆIH KONSTRUKCIJA ROTORNIH BAGERA, časopis „Zavarivanje i zavarene konstrukcije”, Vol. 42, br. 3, 1997, str. 203-206.
- [15] Arsić M., Ljamić D., Aleksić V., Sedmak S.: KONTINUALNO DIJAGNOSTICIRANJE REDUKTORA ZA POGON ROTORA BAGERA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA RIZIKOM, Savetovanje sa međunarodnim učešćem PREVING, Beograd, 2001.
- [16] PLC Direct by Koyo, INTERNATIONAL SALES CATALOG, 1996, str. 215.

Rad je primljen u uredništvo 26. 12. 2003. godine



**Miodrag Arsić** (1954) je diplomirao (1978) na Mašinskom fakultetu u Prištini, magistrirao (1986) na Mašinskom fakultetu u Skoplju na odseku Zavarivanje i zavarene konstrukcije i doktorirao (1995) na Mašinskom fakultetu u Prištini, pod mentorstvom prof. dr. Stojana Sedmaka. Teme magistarskog rada i doktorske disertacije vezane su za ocenu integriteta i procenu veka nosećih konstrukcija rotornih bagera. Od 1987. do 1991. godine je radio na poslovima rukovodioca tehničke pripreme i održavanja na Površinskom kopu „Dobro Selo”, Kosovo. Od 1991. do 1999. godine radi kao predavač na Mašinskom fakultetu u Prištini i Rudarsko metalurškom fakultetu u Kosovskoj Mitrovici (Osnove konstruisanja, Metode konstruisanja, Mehanizmi, Ispitivanje metala). Danas je u stalnom radnom odnosu u Institutu GOŠA, na radnom mestu Pomoćnika direktora za nauku, istraživanje i obrazovanje. Član je društva za mašinske elemente i konstrukcije (JUDEKO), društva za unapređenje zavarivanja Srbije (DUZ Srbije) i član predsedništva društva za Integritet i vek konstrukcija (DIVK). Član je i izdavačkih odbora časopisa „Konstruisanje mašina”, izdavač JUDEKO, Beograd i časopisa „Integritet i vek konstrukcija”, izdavač Institut GOŠA i DIVK, Beograd. Danas učestvuje u realizaciji 5 projekata iz Programa Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, kao i 2 projekta iz Programa EUREKA. Autor je više od 70 naučnih i stručnih radova prezentovanih na stranim i domaćim konferencijama i publikovanih u časopisima. Takođe, bio je rukovodilac u realizaciji više od 30 projekata vezanih za probleme mašinskih konstrukcija i sistema kao i opreme pod pritiskom, (ovlašćeni projektant).



**Prof. dr. Stojan Sedmak**, redovni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta (u penziji) za Konstruisanje procesne opreme i Zavarivanje rođen je 1929. godine. Bio je profesor na poslediplomskim studijama iz zavarivanja za strane studente. Glavni je istraživač na jugoslovensko-američkom projektu „Mehanika loma zavarenih spojeva” (1982-1992). Rukovodilac je istraživačkih projekata i ekspertiza iz zavarivanja i loma konstrukcija. Mentor je 17 doktorskih disertacija i 12 magistarskih teza. Bio je glavni i odgovorni urednik časopisa „Zavarivanje i zavarene konstrukcije” od 1989-2000. Od 2001. godine Predsednik je Društva za integritet i vek konstrukcija (DIVK).

Urednik je 7 monografija Letnje škole mehanike loma. Autor je 6 knjiga i više od 200 radova.



**Vujadin D. Aleksić** Rođen je 8. 3. 1963. godine u Donjoj Brijesnici, opština Lukavac, bivša BiH. Osnovnu školu i Gimnaziju završio je u Lukavcu, a Rudarsko-geološki fakultet (smer mašinski) u Tuzli. Od 1989. godine radi u Fabrici šinskih vozila, HK „GOŠA”, iz Smederevske Palanke. Godine 1994. prelazi u Institut „GOŠA” u Beogradu, gde i danas radi. Stručni ispit položio je 1999. godine. Iste godine je magistrirao na katedri za mašinske materijale i zavarivanje Mašinskog fakulteta u Beogradu sa temom „Primena inženjerskih metoda za određivanje sila rasta prsline u zavarenim spojevima sa zaostalim naponima i geometrijskim nepravilnostima”. U aprilu 2001. godine stekao je zvanje „istraživač saradnik”, u skladu sa zakonom.

U aprilu 2003. godine završio je i školu za međunarodne inženjere za zavarivanje. Odličan je poznavalac više računarskih programa, a i sam programira. U svom radu služi se engleskim, ruskim i nemačkim jezikom. Učesnik je u realizaciji 3 projekta iz Programa Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj, kao i 2 međunarodna projekta iz programa EUREKA. U preko 20 radova se pojavljuje kao autor ili koautor.