

DIJAGNOSTIKA ČVRSTOĆE KONSTRUKCIJE STRUCTURAL PERFORMANCE DIAGNOSTICS

Originalni naučni rad / Original scientific paper
UDK /UDC: 620.17
Rad primljen / Paper received: 10.6.2004.

Adresa autora / Author's address:
¹ Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu / Faculty of
Mechanical Engineering, University of Belgrade
² Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu /
Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade

Ključne reči

- ponašanje konstrukcija
- reparacija
- metoda konačnih elemenata
- softver numeričke analize

Izvod

Dijagnostika čvrstoće konstrukcija predstavlja osnovu sanacija i rekonstrukcija opreme. Ona obuhvata analizu stanja, ponašanja i popuštanja konstrukcije, kao i procenu preostale čvrstoće, radnog veka, režim rada i obim revitalizacije. Analiza stanja, dijagnostika čvrstoće i popuštanja konstrukcije podrazumevaju proračun kompjuterskim postupkom numeričke metode konačnih elemenata, klasičnim postupkom i eksperimentalna merenja. Nalaženje i rešavanje uzroka problema zahteva primenu numeričko-eksperimentalne dijagnostike čvrstoće elemenata.

Ovakav pristup omogućava određivanje stvarnog ponašanja konstrukcije, pouzdanu prognozu reagovanja konstrukcije u eksploataciji, dobijanje parametara izbora i odluka, određivanje uzroka lošeg ponašanja ili popuštanja konstrukcije, procenu eksploatacionog veka i vremena pouzdanog rada konstrukcije.

Problemi nastali u eksploataciji konstrukcije prvenstveno potiču od nedovoljno dobro projektovane geometrije. Osim toga, oni su često posledica nedovoljne otpornosti materijala na nastanak i rast prslina, a posebno zavarenih spojeva. Takođe, prisutna su često oba navedena faktora. U inženjerskoj analizi nosećih konstrukcija primena izložene metodologije je neminovna. Ona ima opravdanja zbog vrlo niskih troškova primene uz vrlo visok nivo rezultata.

UVOD

Statička, dinamička i toplotna analiza ponašanja raznih konstrukcija se obično izvodi korišćenjem Metode Konačnih Elemenata (MKE). Osnovni statički izraz u matricnom obliku, u globalnom sistemu koordinata, može se predstaviti u obliku

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (1)$$

gde je [K] matrica krutosti; $\{\delta\}$ je vektor deformacija; $\{F\}$ je vektor opterećenja.

Keywords

- structural performance
- reparation
- finite element method
- numerical calculation software

Abstract

Structural performance diagnostics is fundamental for structural reparation and reconstruction. It includes analysis of state, behaviour and structural deterioration, and also residual strength assessment, life estimation, working regime, and the scope of revitalization. State analysis, diagnostics of structural strength and deterioration assumes computer assisted numerical calculation by finite element method or by classic approach and experimental measurement. Discovering and solving the problem causes is treated with structural performance diagnostics.

This approach enables determination of real structural behaviour, reliable forecasting of structural response in service, determination of choice and decisions parameters and the cause of poor behaviour or structural deterioration, and also the assessment of service life and the time of reliable service of construction.

Problems in service develop mostly from improper design and geometry. Additionally, they are frequently caused by insufficient material resistance to crack initiation and propagation, particularly in welded joints. Also, in the usual case both described factors are involved. In the engineering analysis of supporting structures, the application of these methods is unavoidable and is justified due to very low expenses with a very high level of results.

INTRODUCTION

Static, dynamic and thermal analysis of the behaviour of various structures is usually performed by using Finite Element Method (FEM). The basic static equation in matrix form, for the global system of coordinates, can be represented in the form

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \quad (1)$$

where [K] is the stiffness matrix; $\{\delta\}$ is the deformation vector; $\{F\}$ is the loading vector.

Osnovni dinamički izraz (sa prigušenim oscilacijama) je

$$[M]\{\ddot{\delta}(t)\} + [B]\{\dot{\delta}(t)\} + [K]\{\delta(t)\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

sa sledećim oznakama: $[M]$ – matrica mase; $[B]$ – faktor veličine prigušenja; $\{\ddot{\delta}(t)\}$, $\{\dot{\delta}(t)\}$, $\{\delta(t)\}$ – ubrzanje, brzina i deformacija; $\{F(t)\}$ – vektor dinamičkog opterećenja; t – vreme.

ANALIZA STANJA I DIJAGNOSTIKA ČVRSTOĆE KONSTRUKCIJE /1,2,3/

Osnova dijagnostike čvrstoće noseće konstrukcije predstavlja kompjutersko modeliranje i proračun noseće strukture konstrukcije (KOMIPS) primenom numeričke metode konačnih elemenata kroz statički, dinamički i termički proračun njenih nosećih elemenata.

KOMIPS omogućava modeliranje i proračun kompleksnih konstrukcija i problema, određivanje stvarne slike pomeranja i napona, iznalaženje stvarnog ponašanja konstrukcije i njenih elemenata, pouzdanu prognozu reagovanja konstrukcije u eksploataciji, dobijanje elemenata za odlučivanje (režim rada, sanacija, rekonstrukcija, revitalizacija, optimizacija, potvrđivanje izbora varijantnog rešenja), određivanje uzroka lošeg ponašanja ili popuštanja konstrukcije, procenu eksploatacionog veka i vremena pouzdanog rada konstrukcije. Svako poboljšanje ponašanja konstrukcije, koje se može postići ovakvim pristupom, omogućava produženje eksploatacionog veka konstrukcije i povećanje njene pouzdanosti.

Razvijeni sistem "KOMIPS" poseduje i specifični proračun za bliže definisanje stanja i dijagnostike. Za sve vrste konačnih elemenata i globalne čvorove preračunava se uporedni napon po Huber–Hencky–Mises–ovoj hipotezi. Raspodele opterećenja, membranskih i savojnih napona, energije deformisanja i kinetičke i potencijalne energije omogućavaju veoma efikasnu analizu stanja i dijagnostiku čvrstoće projektovane ili izvedene konstrukcije. One se izražavaju u procentima po izabranoj grupi elemenata, i grafički, u vidu linija jednakih potencijala opterećenja i energija po modelu.

Težnje ka dobrom ponašanju konstrukcije u eksploataciji su:

- veća razlika između najvećeg radnog napona i napona tečenja materijala,
- ravnomerna raspodela deformacije, napona i energije,
- manje prisustvo koncentracije napona,
- veća otpornost materijala na nastanak i rast prslina,
- veća duktilnost i žilavost materijala,
- dalji dinamički odzivi od eventualne pobude,
- viša prva frekvencija i veće rastojanje između frekvencija,
- manji faktor dinamičkog pojačanja.

Tok kretanja i raspodela opterećenja

Određivanje toka kretanja i raspodele opterećenja po konstrukciji od mesta njegovog uvođenja do oslonaca (od izvora do ponora) predstavlja osnovu razumevanja ponašanja konstrukcije. Najprostije rečeno, opterećenje putuje tokom najmanjeg otpora (tok linija najveće krutosti i najkraći put).

The basic dynamic equation (with damped oscillations) is

$$[M]\{\ddot{\delta}(t)\} + [B]\{\dot{\delta}(t)\} + [K]\{\delta(t)\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

with the following notation: $[M]$ – mass matrix; $[B]$ – damping intensity factor; $\{\ddot{\delta}(t)\}$, $\{\dot{\delta}(t)\}$, $\{\delta(t)\}$ – acceleration, speed and deformation; $\{F(t)\}$ – dynamic loading vector; t – time.

ANALYSIS AND STRUCTURAL PERFORMANCE DIAGNOSTICS /1,2,3/

The basis for structural performance diagnostics is the computer modelling and structural analysis calculation software (KOMIPS) with the application of finite element numerical method throughout static, dynamic, and thermal calculation of consisting structural elements.

KOMIPS allows modelling and the calculation of complex structures and problems, determination of real displacements and stresses, and real structural behaviour including the consisting elements, it gives a reliable forecast of structural behaviour in service and depicts the parameters for decision making (operating regime, repairs, reconstructions, revitalizations, optimizations, confirmations of selected solution variants), poor performance sample identification or structural deterioration, service life estimation and time of reliable operation efficiency. Every improvement of structural performance that can be reached by this approach allows service life extension and increase of reliability.

The developed system "KOMIPS" includes specific calculus for closer defining structural state and behaviour. The equivalent stress, according to the Huber–Hencky–Mises theory, is calculated for all types of finite elements and global nodes. The distribution of load, membrane and bend stresses, deformation energy, kinetic and potential energy allows very efficient analysis of the state and structural behaviour diagnostics for the designed or produced structure. These are expressed percentually for each selected group of elements, and graphically, in the form of equi-potential lines of loads and energy within the model.

Strivings for good structural behaviour in service include:

- higher difference between the highest operating and yield stress,
- uniform distribution of deformation, stress and energy,
- lesser presence of stress concentration,
- higher material resistance to crack initiation and growth,
- higher material ductility and toughness,
- dynamic response distant from the eventual impulse,
- higher first frequency and large interval between frequencies,
- very low dynamic amplification factor.

Loading path and distribution

The determination of load distribution and path in the structure, from the location of load entrance to the supports (from *source* to *sink*) represents the basis for understanding structural performance. In the simplest, the load routes through the structure at the lowest possible resistance (the flow of lines of highest stiffness and the shortest distance).

Raspodela membranskih i savojnih napona, normalnih i tangencijalnih napona

Prisutna je za konačni element ploče i grede. Iznalazimo slaba mesta (u velikoj meri prisutno savijanje) i dobra mesta (prisutan samo membranski napon), kao i mesta sa malim nivoom napona. Takođe ukazuje kakve modifikacije treba izvesti da bi se minimizirao negativan uticaj savijanja i bolje preraspodelilo opterećenje. Ukoliko model poseduje savojni napon u manjoj meri, u tom modelu je moguće primeniti redukciju stepeni slobode na svega tri translacije ili primenu prostijeg konačnog elementa (na pr. membrane umesto ploče, i štapa umesto grede). Na taj način nalazimo slaba mesta (u velikoj meri su prisutni tangencijalni naponi) i dobra mesta (prisutan je samo normalni napon).

Raspodela energije deformisanja

Raspodela energije deformisanja po grupama elemenata (delovi strukture) veoma efikasno ukazuje na tok opterećenja i delove strukture koji prenose, odnosno, nose opterećenje. Takođe, ovim se definiše osetljivost na eventualne modifikacije.

Jednačinu ravnoteže potencijalne energije deformisanja i rada spoljašnjih sila dobijamo množenjem osnovne statičke jednačine s leva, transponovanim vektorom pomeranja

$$\{\delta\}^T [K] \{\delta\} = \{\delta\}^T \{F\} \equiv 2E_d \quad (3)$$

Energija deformisanja konačnog elementa e_d glasi:

$$e_d = 0,5 \{\delta_{sr}\}_e^T [\overline{k_{rs}}]_e \{\delta_{sr}\}_e \quad (4)$$

gde su: $\{\delta_{sr}\}_e$ – pripadajući globalni vektor pomeranja i $[\overline{k_{rs}}]_e$ – globalna matrica krutosti elementa.

Raspodela kinetičke i potencijalne energije na glavnim oblicima oscilovanja

Raspodela kinetičke i potencijalne energije po glavnim oblicima oscilovanja još preciznije definiše ponašanje. Množenjem dinamičke jednačine sa leve strane sa transponovanom matricom sopstvenih vektora, dobijamo jednačinu bilansa (jednakosti) potencijalne i kinetičke energije:

$$[\mu]^T [K] [\mu] = [\mu]^T [M] [\mu] \{\lambda\} \quad (5)$$

Kinetička i potencijalna energija (e_k^r i e_p^r) konačnog elementa “e” i cele strukture E^r na r-tom glavnom obliku glase:

$$\begin{aligned} e_k^r &= \omega_r^2 \{\mu_{sr}\}_e^T [m]_e \{\mu_{sr}\}_e \\ e_p^r &= \{\mu_{sr}\}_e^T [\overline{k_{rs}}]_e \{\mu_{sr}\}_e \end{aligned} \quad (6)$$

$$E^r = E_k^r = E_p^r = \omega_r^2 \{\mu_r\}^T [M] \{\mu_r\} = \{\mu_r\}^T [K] \{\mu_r\}$$

gde su: ω_r – r-ta sopstvena frekvencija, $\{\mu_r\}$ – r-ti sopstveni vektor i $\{\mu_{sr}\}_e$ – pripadajući r-ti sopstveni vektor elementa.

Promena kvadrata sopstvene r-te frekvence (reanaliza bez ponovnog proračuna) glasi:

$$\frac{\Delta \omega_r^2}{\omega_r^2} = \frac{\alpha_e e_p^r - \beta_e e_k^r}{E^r} \quad (7)$$

gde α_e i β_e definišu modifikaciju e-tog elementa.

Distribution of membrane and bend stresses, normal and tangential stresses

Appears in finite elements of the plate and beam. We locate the weak spots (with a high bending level) and good spots (only having the membrane stress), as well as spots with a low stress level. This may point out the modifications that should be made in order to minimize the negative influence of bending and for load redistribution. If the model has a lower level of bending stress, the number of degrees of freedom may be reduced to a total of three translations, or a simpler finite element may be applied (e.g. membrane instead of plate, or bar instead of beam). This is how we locate weak spots (with a high level of tangential stress) and good spots (contains only the normal stresses).

Distribution of deformation energy

The distribution of deformation energy within groups of elements (structural parts) effectively depicts the loading path and parts of the structure that carry, or transmit the load. This also defines the sensitivity to eventual modifications.

Equilibrium equation for potential deformation energy and work of external forces is obtained by multiplying the basic static equation from the left by transposed displacement vector

$$\{\delta\}^T [K] \{\delta\} = \{\delta\}^T \{F\} \equiv 2E_d \quad (3)$$

Deformation energy for finite element e_d is:

$$e_d = 0,5 \{\delta_{sr}\}_e^T [\overline{k_{rs}}]_e \{\delta_{sr}\}_e \quad (4)$$

where: $\{\delta_{sr}\}_e$ – the global deformation vector and, $[\overline{k_{rs}}]_e$ – global element stiffness matrix.

Kinetic and potential energy distribution on major oscillating forms

Kinetic and potential energy distribution on major oscillating forms defines performance more precisely. By multiplying the dynamic equation from the left with a transposed eigen-vector matrix, the obtained equation represents the balance (equilibrium) of potential and kinetic energy:

$$[\mu]^T [K] [\mu] = [\mu]^T [M] [\mu] \{\lambda\} \quad (5)$$

The kinetic and potential energy (e_k^r and e_p^r) of the finite element “e” and the whole structure E^r for the r-th major form are:

$$\begin{aligned} e_k^r &= \omega_r^2 \{\mu_{sr}\}_e^T [m]_e \{\mu_{sr}\}_e \\ e_p^r &= \{\mu_{sr}\}_e^T [\overline{k_{rs}}]_e \{\mu_{sr}\}_e \end{aligned} \quad (6)$$

$$E^r = E_k^r = E_p^r = \omega_r^2 \{\mu_r\}^T [M] \{\mu_r\} = \{\mu_r\}^T [K] \{\mu_r\}$$

where: ω_r – r-th eigen-frequency, $\{\mu_r\}$ – r-th eigen-vector, and $\{\mu_{sr}\}_e$ – r-th eigen-vector of the element.

The change of the squared r-th eigen-frequency (from repeated analysis without calculation) is:

$$\frac{\Delta \omega_r^2}{\omega_r^2} = \frac{\alpha_e e_p^r - \beta_e e_k^r}{E^r} \quad (7)$$

where α_e and β_e define the modification element e.

OTKAZ KONSTRUKCIJE

Nastanak i rast prslina su problemi sa kojima se sreće veliki broj konstrukcija u eksploataciji. Klasični proračun mehanike loma uzima u obzir ovu pojavu analizom tzv. sila rasta prslina, čijim poređenjem sa otpornošću materijala može da se dobije procena daljeg ponašanja konstrukcije (linearan konzervativni pristup). Realnije ponašanje konstrukcije sa prslinom dobija se primenom plastične analize, tj. određivanjem parametara J integrala i otvaranja vrha prslina.

Ovakvim pristupom mogu se iznaći mesta u konstrukciji gde greška, odnosno prslina, može "uslovno" da postoji. Postojanje prsline ne sme ugroziti nosivost elementa, a mogućnost njenog širenja mora biti minimalna.

Metodologija proračuna ponašanja konstrukcije sa greškom (prslinom) je sledeća:

1. Modeliranje i proračun cele konstrukcije bez i sa greškom.
2. Dijagnostika čvrstoće celovite konstrukcije bez i sa greškom.
3. Modeliranje i proračun (linearan i nelinearan) elementa konstrukcije sa greškom.
4. Modeli proračuna sa različitim položajem i veličinom greške.
5. Dijagnostika čvrstoće elementa konstrukcije sa greškom.

Dijagnostika čvrstoće konstrukcije sa prslinom (oštećenjem) obuhvata iznalaženje uticaja pozicije i veličine prslina "a" na sledeće veličine:

1. Promenu deformacije (maksimalna deformacija, veličinu maksimalnog otvaranja prslina i otvaranje vrha prslina) i njene raspodele.
2. Priraštaj popustljivosti elementa (dC/da).
3. Promenu σ_{ekv} , σ_x , σ_y , τ_{xy} i njihovu raspodelu po elementu.
4. Promenu procenta prisustva σ/τ i $\sigma/\tau^{mem}/\sigma/\tau^{sav}$.
5. Promenu energije deformacije E_d .
6. Priraštaj energije deformacije (dE_d/da).
7. Procentualn promenu energije deformacije po zonama.
8. Energiju deformacije elementa na vrhu prslina.
9. Proizvod $\sigma_y * f$ (f —veličina otvaranja vrha prslina).

EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Eksperimentalna merenja u ovom slučaju su namenjena:

- određivanju spoljašnjeg i unutrašnjeg opterećenja konstrukcije u eksploataciji, i
- merenje ugiba, napona, ubrzanja na izabranim mestima konstrukcije.

Ovi zadaci proračunu definišu potrebno ulazno opterećenje i verifikuju rezultate proračuna. Primena ovog proračuna omogućava minimalni obim merenja. Podrazumeva se statičko i dinamičko merenje. Merenje napona podrazumeva primenu ekstenziometrijske metode (merne trake). Merenje ubrzanja se izvodi direktno, primenom davača.

Utvrđivanje uticaja opterećenja na konstrukciju prvenstveno se odnosi na merenje napona i ubrzanja izabranih mesta. Sem toga se mere deformacije i brzine promene deformacije kao i druga merenja (debljina, tvrdoća, prslina, buka).

STRUCTURAL FAILURE

Crack occurrence and growth are problems met in numerous structures during exploitation. Classical fracture mechanics calculations treat this by analyzing the so-called crack driving force and comparing it to the material resistance, by which further structural performance is estimated (linear conservative approach). Real structural performance with a crack is estimated from plastic analysis which includes determination of parameters as the J integral and crack opening displacement.

By this approach, certain locations of the structure are found, where the defect or crack may exist "conditionally". Existence of crack must not endanger the element carrying capacity, and the possibility of its growth must be minimal.

The methodology for calculating the structural performance with a defect (crack) is as follows:

1. Modelling and calculation of the whole structure, with and without the defect.
2. Performance diagnostics of the whole structure, with and without the defect.
3. Modelling and calculation (linear and non-linear) of structural elements with a defect.
4. Models of calculation with various defect locations and sizes.
5. Diagnostics of defective structural element performance.

The diagnostics of cracked structural performance (damage) includes determining the influence of the location and size "a" of cracks on the following characteristics:

1. Change of deformation (maximal deformation, crack opening displacement value and its maximum), and its distribution.
2. Element compliance increment (dC/da).
3. Elemental distribution and change of σ_{ekv} , σ_x , σ_y , τ_{xy} .
4. Change of fraction σ/τ and $\sigma/\tau^{mem}/\sigma/\tau^{bend}$.
5. Change in deformation energy E_d .
6. Deformation energy increase (dE_d/da).
7. Percentual change in deformation energy by zones.
8. Deformation energy on the crack tip element.
9. Product $\sigma_y * f$ (f —crack tip opening displacement).

EXPERIMENTAL TESTS

Experimental tests in this case are intended for:

- determining the external and internal loads acting on the structure in service, and
- measuring the deflection, stress, acceleration at particular locations on the structure.

These tasks define the relevant input loads for the calculation and verify the results. Applying the above mentioned calculation minimizes the extent of tests. Both static and dynamic tests are presumed. Stress measurements suggest the application of the extensometric method (strain gauges). Acceleration is measured directly, by applying sensors.

Determining the influence of stress on the structure is mostly concerned with stress and acceleration measurements on chosen locations. In addition, there are measurements of deformation and its rate, and other measurements (thickness, hardness, crack, noise).

Ova merenja uglavnom omogućavaju utvrđivanje posledice dejstva opterećenja i lošeg ponašanja konstrukcije, a ne uzrok. Na nivou jednog mašinskog elementa (ležaj, zupčaničnik, spojnica) merenje može navesti na uzrok lošeg ponašanja, jer njihovo ponašanje unapred znamo. Ukoliko unapred poznajemo ponašanje konstrukcije (npr. kompjuterski proračun) onda ova merenja idu ka iznalaženju uzroka.

Merenje brzine promene deformacije se mnogo koristi u vibro-dijagnostici. Merenje ubrzanja pojedinih mesta na konstrukciji i kompjuterski dinamički proračun konstrukcije omogućavaju definisanje uzroka lošeg ponašanja konstrukcije. Rešavanje uzroka se dalje obavlja kompjuterskim proračunom.

PARAMETRI IZBORA I ODLUKE

Kvalitetni parametri proistekli iz analize stanja i dijagnostike čvrstoće efikasno se koriste u sledećim aktivnostima: projektovanje, izrada ili nabavka konstrukcije, rekonstrukcija ili sanacija konstrukcije, produženje preostalog veka, promena režima rada i revitalizacija konstrukcije. Za donošenje ispravne i precizne odluke u navedenim aktivnostima neophodno je posedovati kvalitetnu analizu stanja i dijagnostiku čvrstoće konstrukcije.

Revitalizacija konstrukcije podrazumeva izradu nove cele konstrukcije ili njenog dela, sa ili bez rekonstrukcije. Rekonstrukcija se u načelu sprovodi promenom geometrije, a bobično uključuje poboljšanje materijala (posebno na zavarenim spojevima). Revitalizacija konstrukcije zahteva prethodnu analizu stanja i dijagnostike čvrstoće konstrukcije, i odražava se na procenu preostale čvrstoće i utvrđivanje produženja veka.

PRIMERI

Realni problemi koji su razmatrani ovakvim pristupom u raznim sredinama su (naveden je samo broj projekata): FC Beočin (10), FC Popovac (2), Kolubara Metal Vreoci (4), Kopovi Kolubara Lazarevac (5), Kop Kostolac Drmno (8), HIP Bukulja Beograd (2), NIS Pančevo (3), Kolubara Prerada (2), Želvoz Smederevo (1), BBP Beograd (1), Azotara Pančevo (1), UTVA Kačarevo (1), Prva Iskra Barič (1), Tipo Beograd (1), Elemir Zrenjanin (1), HIP Pančevo (1), HE Bajina Bašta (1), Žitomlin Beograd (1).

Održane seminari konačnih elemenata KOMIPS: Kolubara Metal Vreoci, Mašinski fakultet u Beogradu (4), Fabrika cementa Beočin (2), Brodogradilište Beograd, TENT Obrenovac (2), Kop Tamnava Zapadno polje i Mašinski fakultet u Mostaru.

ZAKLJUČAK

Izloženi pristup rešavanja uzroka lošeg ponašanja konstrukcije i veliki broj rešenih problema, prikazanih u radovima na str. 9 i 29 ukazuje na neophodnost njegove primene. Primena dijagnostike konstrukcije numeričko-eksperimentalnim pristupom je u potpunosti opravdana.

LITERATURA-REFERENCES

1. Maneski, T., *Kompjutersko modeliranje i proračun struktura*, Monografija, Mašinski fakultet u Beogradu (1998)

These measurements generally enable the determination of effects of loads and poor structural behaviour rather than the cause. A measurement at the level of a single machine part (bearing, gear, clutch) may lead to the cause of bad performance, since the behaviour of these elements is known in advance. By known structural behaviour (computational results), these measurements may indicate the cause.

Measurements of the deformation rate are often used in vibrational diagnostics. By measuring the acceleration on certain locations of the structure and by performing dynamic calculations of the structure it is possible to define the cause for poor structural behaviour. Problem solving of the cause is further accomplished by numerical analysis.

CHOICE PARAMETERS AND DECISION

High-quality parameters resulting from the analysis of state and performance diagnostics are efficiently used in the following activities: design, manufacture and purchase, reconstruction or repair, residual life extension, change of working regime, and facility revitalization. Making the proper choice and decision in these activities requires having a sophisticated analysis of state and structural performance diagnostics.

Revitalization of the structure assumes the manufacture of the new structure or its part, with or without its reconstruction. Reconstruction is generally associated with the change of geometry, and is usually followed by certain material enhancements (particularly in welded joints). Structural revitalization demands prior analysis of state and structural performance diagnostics to be met, and reflects on the residual performance and life extension assessments.

EXAMPLES

Real problems analyzed accordingly in various environments are (number of projects in parenthesis): FC Beočin (10), FC Popovac (2), Kolubara Metal Vreoci (4), Kopovi Kolubara Lazarevac (5), Kop Kostolac Drmno (8), HIP Bukulja Beograd (2), NIS Pančevo (3), Kolubara Prerada (2), Želvoz Smederevo (1), BBP Beograd (1), Azotara Pančevo (1), UTVA Kačarevo (1), Prva Iskra Barič (1), Tipo Beograd (1), Elemir Zrenjanin (1), HIP Pančevo (1), HE Bajina Bašta (1), Žitomlin Beograd (1).

Courses held in finite element KOMIPS: Kolubara Metal Vreoci, Faculty of Mechanical Engineering in Belgrade (4), Cement Factory in Beočin (2), Belgrade Shipyards, Power Plant Obrenovac (2), Excavation site Tamnava Zapadno polje, and Faculty of Mechanical Engineering in Mostar.

CONCLUSION

The presented approach in solving the cause for poor structural performance and the large number of solved cases, presented in papers on pp. 9 and 29, point out the necessity for its application. The application of numerical-experimental approach in structural diagnostics is proved.

2. Maneski, T., *Rešeni problemi čvrstoće konstrukcija*, Mašinski fakultet u Beogradu (2002)
3. Maneski, T., Milošević-Mitić, V., Ostrić, D., *Postavke čvrstoće konstrukcija*, Mašinski fakultet u Beogradu (2002)
4. Ignjatović, D, Maneski, T. i dr., *Izvedeni projekti*