

PRIMENA STEREOMETRIJSKOG MERENJA NA INTEGRITET KONSTRUKCIJA APPLICATION OF STEREOOMETRIC MEASUREMENT ON STRUCTURAL INTEGRITY

Naučni rad / Scientific paper

UDK /UDC: 620.169.1

Rad primljen / Paper received: 10.05.2006.

Adresa autora / Author's address:

¹⁾ Faculty of Mech. Eng., University of Maribor, Smetanova 17, SI-2000 Maribor, Slovenia

Ključne reči

- integritet
- konstrukcija
- mehanika loma
- stereometrijsko merenje deformacija
- CTOD parametar

Keywords

- integrity
- structure
- fracture mechanics
- stereometric deformation measurement
- CTOD parameter

Izvod

U radu je prikazan stepen primene postupaka za integritet i vek konstrukcija i dati su primeri otkaza. Dalji razvoj istraživanja je usmeren na neprekidno praćenje deformacija i oštećenja da bi se što bolje iskoristile mogućnosti koje nudi kompjuterska tehnika. Prikazana je stereometrijska metoda praćenja deformacija i dat primer njene primene, kao i mogući sistem za neprekidno praćenje integriteta konstrukcija uvođenjem novih tehnika.

Abstract

The paper presents the application extent of procedures for structural integrity and life with examples of failure. Further development of research is focussed on constant deformation and damage monitoring in order to take full advantage of computer technology. The stereometric method for monitoring deformation is presented with an example of application, and possible systems for constant monitoring structural integrity that implement new techniques.

UVOD

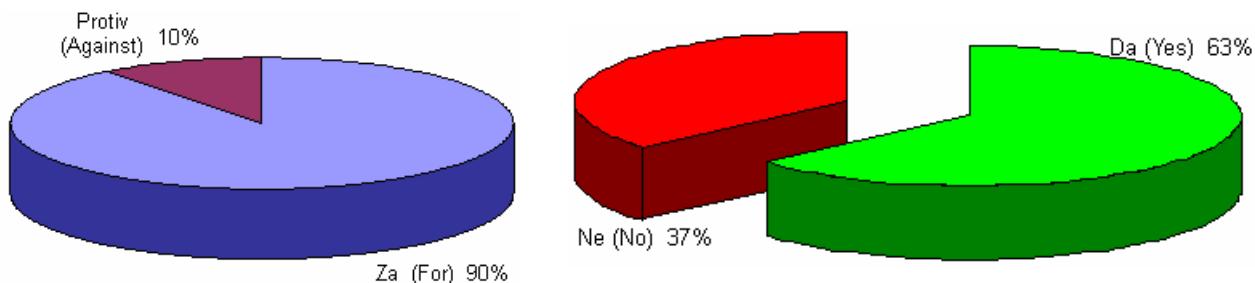
Mehanika loma je teorijskim rešenjem problema prslina omogućila razvoj pristupa za ocenu integriteta konstrukcija. Napori, uloženi u proširenje primene mehanike loma, su objedinjeni u Postupku za ocenu integriteta (SINTAP), /1/. Brojni su primeri gde se ocena integriteta uspešno koristi, ali još uvek postoje mogućnosti usavršavanja postupaka radi postizanja veće efikasnosti i daljeg sniženje troškova projektovanja, izrade i eksploracije konstrukcija.

Ocena integriteta konstrukcije je od posebnog značaja u eksploraciji, kada treba doneti odluku da li je dalje korišćenje oštećene opreme moguće, i ako jeste, pod kojim uslovima. Odluka o daljem korišćenju se donosi na osnovu procene stanja, a prihvaćen termin je „podobnost za upotrebu“ (FFP). Mišljenje 90% anketiranih stručnjaka je da podobnost treba ocenjivati, a 63% njih smatra da je potrebno doneti evropske propise da bi njihovo korišćenje bilo jednoznačno, kako je prikazano na sl. 1, /2/. Na sl. 2 su prikazani vidovi otkaza po stepenu zastupljenosti u industriji i ideo pojedinih namena procene podobnosti za upotrebu, /3/. U proceni podobnosti za upotrebu dva uticaja su od značaja. Prvi je izbor prikladnog postupka za ocenu značaja grešaka i integriteta oštećene konstrukcije. Drugi uticaj je utvrđivanje tipa greške, njene veličine i položaja u konstrukciji. Tačnost procene podobnosti zavisi od tačnosti podataka o grešci. Zbog toga se metode za otkrivanje greške i njenu karakterizaciju intenzivno razvijaju, sa idejom da se otkrivena greška što efikasnije prati u eksploraciji.

INTRODUCTION

Theoretical solutions of crack problems enabled fracture mechanics to develop an approach for structural integrity assessment. Efforts in expanding applications for fracture mechanics are incorporated in the Structural Integrity Assessment Procedure (SINTAP), /1/. Structural integrity assessment is successfully applied in many cases, but there are still possibilities for developing the procedure in order to achieve more efficiency and in reducing costs in design, manufacture and operation of components.

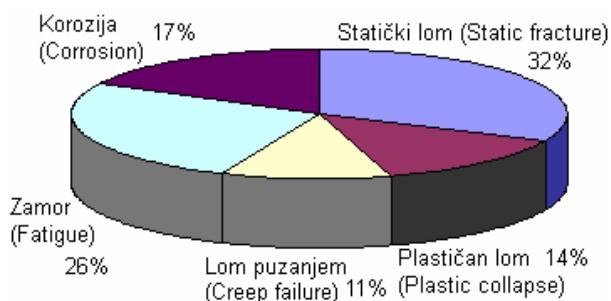
Structural integrity assessment is of special importance in component operation when decisions depend on whether a damaged component should be used, and if so, under what conditions. The decision for further use is reached as based on state evaluation and the adopted term is – Fitness-For-Purpose (FFP). The opinion of 90% polled experts is that fitness should be evaluated, and 63% believe that European regulations should be established with an exact use, as shown in Fig. 1, /2/. Figure 2 shows aspects of failures by degree of distribution in industries, and fractions of particular fitness for purpose assessments, /3/. Two effects are significant in fitness for purpose assessments. The first is choice of an applicable procedure for defect awareness and integrity assessment of a damaged structure. The other is in determining defect type, its size and location within the structure. Accuracy of fitness assessment depends on the exactness of defect data. This is why methods for detecting defects and their characterization are intensively developed with the idea of efficient tracking detected flaws in service.



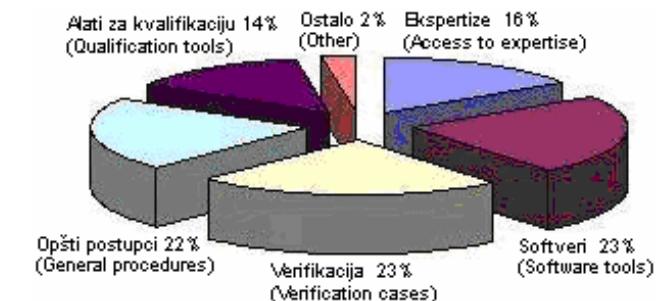
Ocena potrebe za tehnologijom podobnosti za upotrebu
Evaluation of the need for Fitness For Service technology.

Podrška razvoju evropskog propisa tehnologije podobnosti za upotrebu
Support to develop an European code for Fitness For Service technology.

Slika 1. Rezultati ankete sprovedene među stručnjacima o razvoju tehnologije podobnosti za upotrebu konstrukcija (FFS)
Figure 1. Survey results among experts about the development of Fitness For Service (FFS) technology.



Slika 2. Najčešći vidovi otkaza konstrukcija (levo) i područja u kojima je podobnost za upotrebu potrebna (desno)
Figure 2. Most common types of structural failures (left) and areas in which Fitness For Service is required (right).



PRIMERI OTKAZA I PRATEĆIH ISTRAŽIVANJA

Od ukupnog broja otkaza na statički lom otpada 32%, na zamor 26%, koroziju 17%, plastično popuštanje 14% i puzanje 11% (sl. 2).

Karakterističan primer zamora zavarenog spoja je prikazan na sl. 3. Koroziju spoljnje površine cevi je lako otkriti (sl. 4). Međutim, koroziju ispod izolacije (sl. 5) je teško otkriti, a ona predstavlja opasno lokalno oštećenje konstrukcije velikih dimenzija, u ovom slučaju kolone. Na sl. 6 su obeležena mesta utvrđene korozije ispod izolacije.

U sva tri navedena primera moguće je pratiti razvoj oštećenja u eksploataciji. U slučaju cevi dovoljno je vizuelno praćenje razvoja oštećenja (sl. 4). Međutim, zamorna prslića (sl. 3) je otkrivena tek kada je dostigla dovoljnu dužinu i kada je golin okom postalo vidljivo otvaranje prsline. Očigledno je da se prslića razvijala u određenom vremenskom intervalu, što upućuje na mogućnost da se ona pravovremenno otkrije i prati tokom eksploatacije, uz neprekidnu procenu podobnosti za upotrebu. Vrlo je teško otkriti koroziju ispod izolacije na rafinerijskom postrojenju (sl. 6), a neprekidni nadzor napredovanja otkrivene korozije pretpostavlja razvoj odgovarajućeg sistema.

Prisilna obustava rada opreme (sl. 3–6) može da zagadi okolinu i da prouzrokuje znatan materijalni gubitak, pa se nameće zahtev da se izvedu sve potrebne pripreme za plansku obustavu rada i sanaciju. Procena podobnosti za upotrebu u tom slučaju treba da omogući ispravnu odluku do kog je vremenskog perioda moguće dalje bezbedno koristiti postrojenje. Bitan podatak o tome treba obezbediti neprekidnim praćenjem napredovanja utvrđenog oštećenja.

EXAMPLES OF FAILURE AND INVESTIGATION

The total number of failures consists of: 32% static fracture, 26% fatigue, 17% corrosion, 14% plastic relaxation and 11% creep, (Fig. 2).

A characteristic example of welded joint fatigue is shown in Fig. 3. Corrosion on the outer surface is easily detected (Fig. 4). Alternately, corrosion under insulation (Fig. 5) is difficult to detect, and it represents dangerous local damage of a large sized structure – a column in this case. Figure 6 shows marked locations of detected corrosion under insulation.

In all of the three examples it is possible to track the damage development in service. A visual track of damage development is sufficient in case of tube (Fig. 4). However, the fatigue crack (Fig. 3) is detected only when it reaches sufficient length and when crack opening is visible by naked eye. Obviously the crack had developed in a certain period indicating the possibility in due time detection and monitoring in operation with constant assessment of fitness for service. It is very hard to detect corrosion under insulation on refinery equipment (Fig. 6), and constant tracking of detected corrosion development demands for enhancements in the corresponding system.

Forced component shutdown (Fig. 3–6) can contaminate the environment and cause considerable material loss, and inflicts the request to perform all necessary preparations for planned operational shutdown and sanitation. Fitness for purpose assessment should in this case give a proper decision of the time period for safe installation operation. The valuable information about this must be provided by constant monitoring of the determined damage.



Slika 3. Zamorna prslina na zavarenom spoju rebra za ukrućenje (levo-pogled odozgo, desno-pogled sa strane), /2/
Figure 3. Fatigue crack on welded joint of stiffener web (left-upper view, right-side view), /2/.



Slika 4. Korozija spoljne površine cevi
Figure 4. Corrosion of tube outer surface.

Sa sl. 7, /2/, se može sagledati složenost istraživanja u oblasti integriteta konstrukcije, odnosno koji su sve podaci potrebni za procenu podobnosti za upotrebu. Tu je ujedno pokazano i usmerenje istraživanja i razvoja, uskladeno sa iskustveno utvrđenim potrebama prilikom praktične prime- ne postupaka za ocenu integriteta i procenu podobnosti za upotrebu. Prvo treba raspolagati dovoljno pouzdanim poda- cima o materijalu, što podrazumeva i odgovarajuće uzorko- vanje. Takođe je potreban podatak o zaostalim naponima, što ima poseban značaj za zavarene konstrukcije. Analiza napona i deformacija uslovjava poznavanje opterećenja i precizno definisan njegov karakter i uslove delovanja, uzimajući u obzir i uticaj radne sredine. Imajući u vidu suštinu problema, razvoj metoda verovatnoće, njihovo dobro poznавanje i uslovi primene su značajni za uspešnu procenu podobnosti za upotrebu. Svi ovi podaci su predu- lov za korišćenje razvijenih postupaka za utvrđivanje značaja oštećenja. To se odnosi na postupke za ocenu ošte-ćenja korozijom, na zamor materijala, pojavu i razvoj loma, i na uticaj visokih temperatura i puzanje materijala. Dobar deo tih procedura je uključen u dokument SINTAP, /1/, razrađen do nivoa praktične primene.

Svemu ovome treba dodati zahtev za podacima o greška- ma, koji treba da budu što precizniji, sa opisom karaktera, veličine i položaja greške.



Slika 5. Korozija ispod izolacije, /2/
Figure 5. Corrosion under insulation, /2/.

The complexity of research in the field of structural integrity may be recognized from Fig. 7, /2/, with regard to all the data necessary for fitness for purpose assessment. The direction of research and development is here also shown, consistent with needs defined through experience and through practice of structural- and fitness for purpose assessment procedures. At first, a sufficient number of reliable data about the material should exist implicating adequate sampling. Facts about residual stresses are also required that have special importance to welded structures. Stress and deformation analyses stipulates knowledge of the loading and its accurately defined characteristics and oper- ating conditions, also taking into account impacts of the working environment. Having in mind the problem nature, development of probability methods, their excellent knowl- edge and conditions of use are relevant for efficient fitness for purpose assessments. All of these details are a prerequi- site for the use of developed procedures for determining the magnitude of damage. This relates to corrosion damage assessment procedures, material fatigue, fracture appear- ance and development, and to high temperature influence and creep. A considerable part of these procedures is included in SINTAP, /1/, elaborated to a practical level.

A request for data on defects needs to be added to all of this, that should be accurate with a description of charac- teristics, sizes and defect locations.

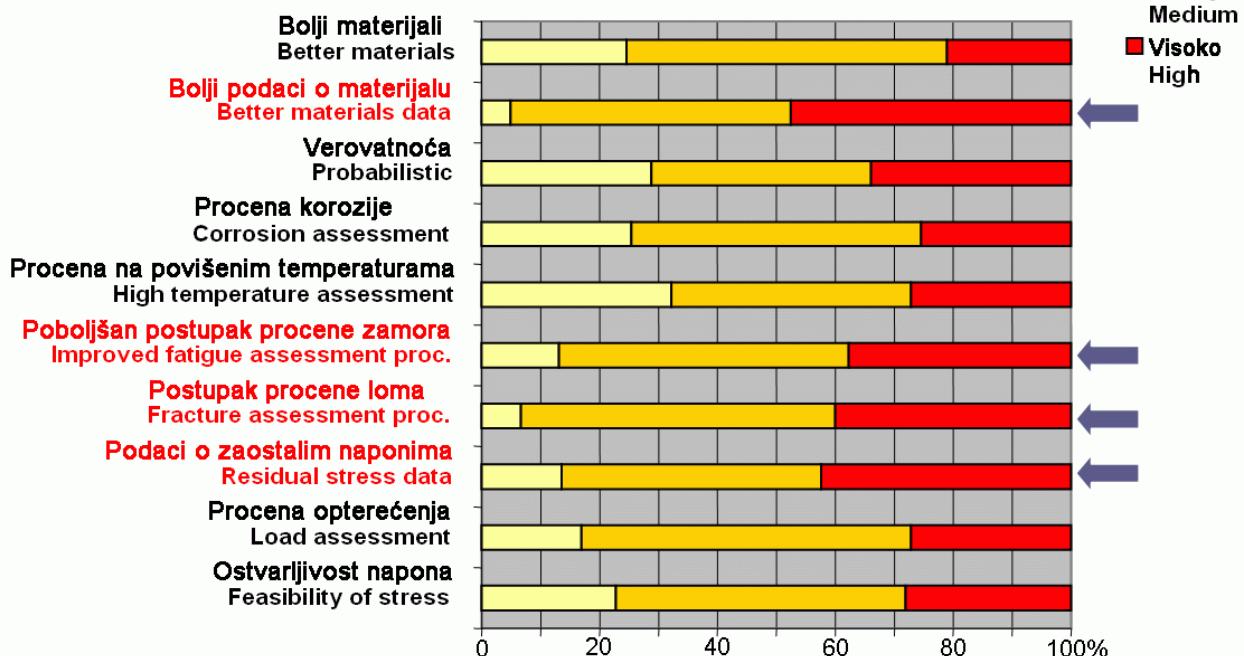


Slika 6. Označena mesta oštećenja korozijom ispod izolacije na kolonama, /3/
Figure 6. Marked positions of damage by corrosion under insulation on columns, /3/.

Potrebe u FFS tehnologiji? Needs in FFS Technology ?

Prioritetne oblasti istraživanja i razvoja Priority R & D Areas

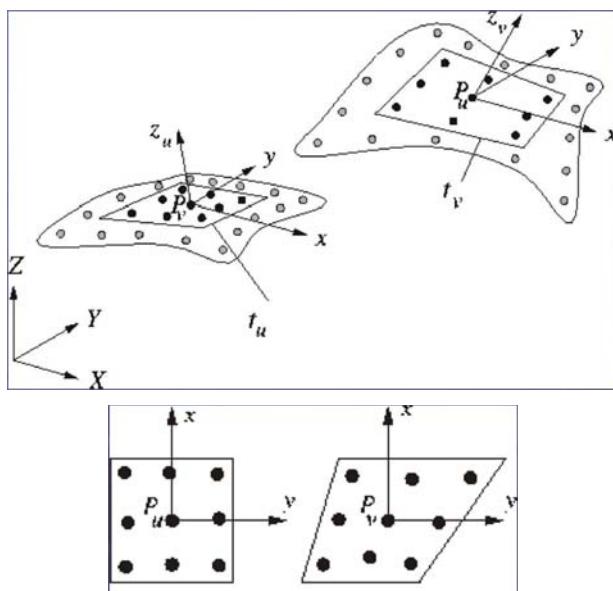
■ Nisko Low
■ Srednje Medium
■ Visoko High



Slika 7. Područja istraživanja integriteta konstrukcija i udeo značaja pojedinih aspekata, /2/
Figure 7. Structural integrity research areas and the entail of significance of individual aspects, /2/.

PRINCIP STEREOMETRIJSKIH MERENJA

Potpuna slika o deformacijama elemenata konstrukcije se može dobiti praćenjem promene prostornih komponenti deformacije, odnosno određivanjem veličine tri međusobno upravne komponente deformacije (x , y , z , sl. 8). Koordinate izabranih tačaka mreže se menjaju zbog pomeranja tih tačaka, izazvanog povećanjem opterećenja i napona, odnosno deformacija. Na posmatranom segmentu elementa je naneta mreža u koordinatnom sistemu, a karakteristične presečne tačke linija mreže su izabrane za praćenje pomeranja. Na sl. 8 je prikazan segment elementa konstrukcije sa tačkama mreže u početnom i u deformisanom stanju, i posebno je izdvojen detalj u kome se pomeranja tačaka prate u prostoru merenjem njihovih trenutnih koordinata. Praćenje koordinate tačaka omogućava korišćenje matematičkih formula, počev od komponenti deformacija do formula koje se koriste za ocenu integriteta konstrukcija.



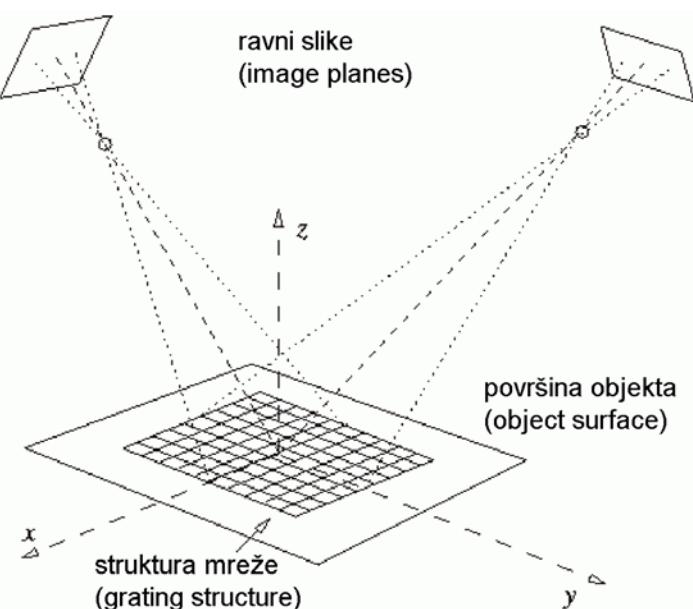
Slika 8. Prikaz tačaka koordinatne mreže u početnom i u deformisanom stanju konstrukcijskog elementa

Figure 8. Image of coordinate grating points in initial and deformed state of structural element.

Drugi deo problema se sastoji načinu merenja pomeranja sa dve kamere, tzv. stereometrijskom metodom. Snimanje sa dve video kamere je ocenjeno kao prikladna beskontaktna metoda (sl. 9) za dobijanje podataka o ponašanju konstrukcije tokom rada. Da bi se pomeranje odredilo pogodno je da se digitalnom video kamerom neprekidno prati površina konstrukcijske komponente u kritičnom delu. Na površinu komponente se sprejem kontrastne boje (npr. crna na beloj podlozi) nanesu tačkice koje računarski program diskretizuje poput otiska prsta u jedinstven diskretan zapis površine, koji je radi lakšeg definisanja prekriven mrežom. Kada se konstrukcija optereti, dolazi do pomeranja tačaka, odnosno, deformacije mreže. Softver za snimanje beleži u propisanim vremenskim trenucima parove digitalizovanih slika, koje se mogu još u toku eksploracije poređiti i na osnovu razlika u pomeranjima pojedinih tačaka mreže proračunati deformacije, /4/.

PRINCIPLE OF STEREOMETRIC MEASUREMENT

A total picture of deformed elements can be seen by tracking changes of spatial components of the deformation, in respect to determining values of three mutually perpendicular deformation components (x , y , z , Fig. 8). Coordinates of selected grid points change due to their displacement caused by increase in load and stress, or deformation. The observed segment of elements has an outlined grid in a coordinate system, and characteristic intersection points of grid lines are selected for tracking displacement. Figure 8 shows a segment of structural elements with grid points in initial and deformed state, and a particular detail is singled out in which point displacements are tracked in space by measuring their current coordinates. A track of point coordinates enables the use of mathematical equations, starting from deformation components to equations that are used for structural integrity assessment.



Slika 9. Sistem za neprekidno praćenje pomeranja tačaka mreže pomoću dve video kamere

Figure 9. System for continuous monitoring of displacement of grated points by using two video cameras.

The second part of the problem consists of manner in which displacement is measured with two cameras, e.g. stereometric method. Recording with two video cameras is rated as the appropriate contactless method (Fig. 9) for receiving data on the behaviour of the structure during operation. In order to determine displacement it is suitable to constantly monitor the critical part of component surface by video camera. The component surface is sprayed with a contrasting colour (e.g. black on white background) so to draft spots the computer programme can discretize as a finger print into a unique discrete surface record, overlaid with a grid for easier definition. When the structure starts to load, points start to displace, and hence the grid deforms. Pairs of digitalized images are entered in an ascribed timely fashion by the recording software, and may be compared during operation and deformations can be calculated based on displacement differences of particular grid points, /4/.

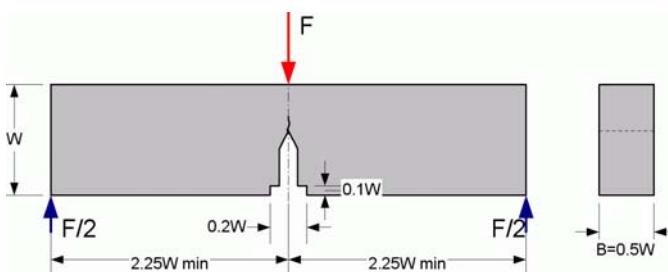
Stereometrijsko merenje pomeranja je od posebnog interesa kod materijala heterogene strukture i na mestu koncentracije naponja. U tom slučaju se po prekoračenju granice elastičnosti i prelasku u zonu plastičnih deformacija lokalno javljaju velika pomeranja, koja nije moguće na drugi način odrediti. Podaci dobijeni tim merenjem su osnova za proračun parametara mehanike loma, npr. otvaranja prsline i J integrala, potrebnih za ocenu integriteta.

STEREOMETRISKO MERENJE U ISPITIVANJU

Biće prikazano stereometrijsko merenje na epruvetama sa prslinom, primjeno radi dobijanja detaljnije slike raspodele deformacija oko vrha prsline. Da bi se ocenili, tim merenjem dobijeni rezultati, veličine parametara mehanike loma treba uporediti sa rezultatima dobijenim uobičajenim postupkom, standardnim ispitivanjem epruveta sa prslinom.

Standardna epruveta sa prslinom je prikazana na sl. 10, detalj merenja otvaranja prsline metodom δ_5 /5/ je prikazan na sl. 12, zajedno sa rezultatom ispitivanja u vidu J-R krive.

Standardno ispitivanje otvaranja prsline je definisano za homogen materijal i samo pod nekim uslovima se može primeniti za ispitivanje heterogenog materijala (BS 7488 Part 2-1998), kakav je metal šava zavarenog spoja (sl. 12 i 13).



Slika 10. Epruvete za određivanje parametara mehanike loma
Figure 10. Specimen for fracture mechanics parameters determination.

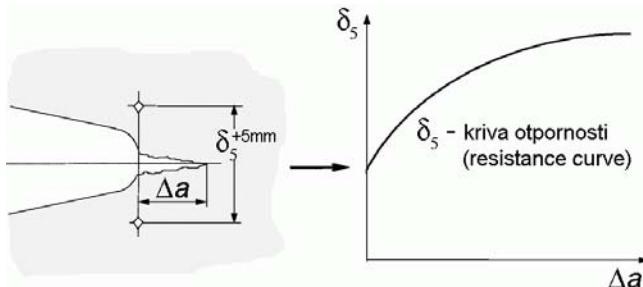
Stereometric displacement measurement is of special interest for materials of heterogeneous structure and at locations of stress concentration. In the case when elasticity limit is exceeded and the plasticity zone entered, large displacements appear locally that cannot be determined in any other way. Data obtained by this measurement are the basis for calculating fracture mechanics parameters, e.g. crack opening and J integral, required for integrity assessment.

STEREOMETRIC MEASUREMENT IN TESTING

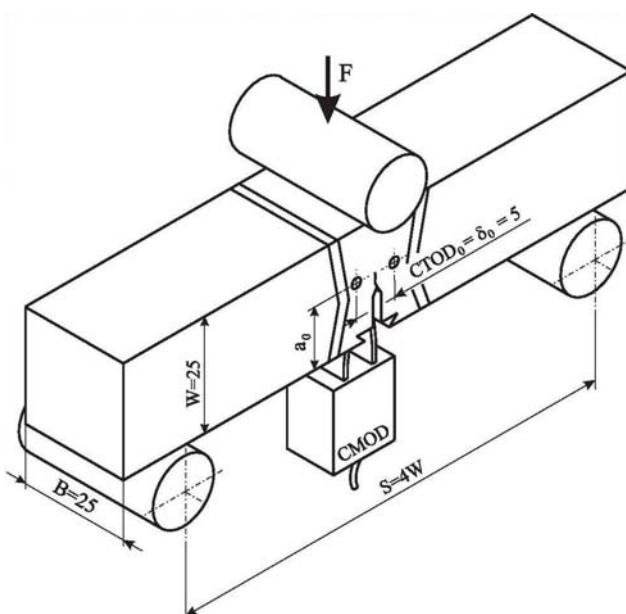
Stereometric measurement on crack specimens is shown, applied for receiving a detailed image of deformation distribution around the crack tip. In order to assess the acquired data, the fracture mechanics parameter values should be compared to results obtained by usual procedure – standard crack specimen test.

A standard crack specimen is shown in Fig. 10, and detail of crack opening measurement by δ_5 method /5/ is shown in Fig. 12 together with the test result as J-R curve.

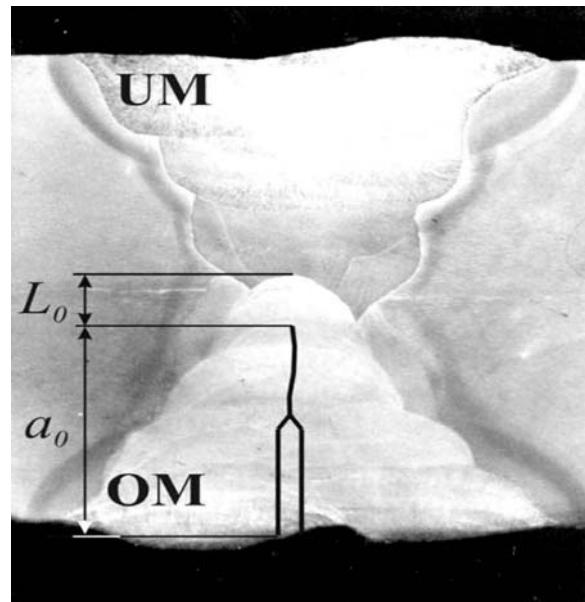
The standard crack opening test is defined for the homogeneous material and only under certain conditions can it be applied to heterogeneous material (BS 7488 Part 2-1998), as is the case of weld joint metal (Figs. 12, 13).



Slika 11. Merenje otvaranja prsline i J-R kriva
Figure 11. Crack opening displacement measurement and J-R curve.



Slika 12. Epruveta iz zavarenog spoja pripremljena za ispitivanje
Figure 12. Welded joint specimen prepared for testing.



Slika 13. Detalj prsline u metalu šava epruvete iz zavarenog spoja, /6/
Figure 13. Detail of crack in weld metal of welded joint specimen, /6/.

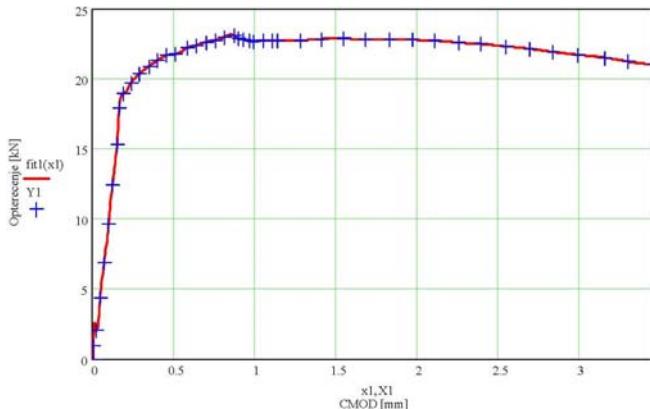
U ovom ispitivanju je zavareni spoj izведен delimično sa metalom šava više čvrstoće, a delimično sa metalom šava niže čvrstoće u poređenju sa osnovnim metalom. Ispitivan je spoj čelika tipa HT 50 za posude pod pritiskom, zavaren punjenom žicom (FCAW postupak). Osnovni podaci o mehaničkim osobinama i energiji udara po Šarpiju dati su u tab. 1. Iz podataka o naponu tečenja metala šava i osnovnog metala može se odrediti odnos čvrstoće: on je metal šava više čvrstoće $M_o = 648/545 = 1,19$, i za metal šava niže čvrstoće $M_u = 469/545 = 0,86$, /6/.

Značajna razlika u veličini napona tečenja i plastične deformacije ispred vrha prsline se može očekivati u pravcu rasta prsline (sl. 13 i tab. 1), što utiče na ponašanje pri lomu i na veličinu odabranog parametra mehanike loma.

Tabela 1. Mehaničke osobine i energija udara osnovnog metala i metala šava više i niže čvrstoće

	Napon tečenja	Zatezna čvrstoća	Energija udara na -60°C
Parametar	$R_{p0,2}$, MPa	R_m , MPa	C_v , J
Metal šava više čvrstoće	648	744	>40
Osnovni metal	545	648	>60
Metal šava niže čvrstoće	469	590	>80

Rezultati ispitivanja u ovom eksperimentu su prikazani dijagramski u vidu direktno dobijene zavisnosti opterećenja i otvaranja prsline (sl. 14) i J integrala i opterećenja (sl. 15), pri čemu je J integral, nezavisan od putanje C, određen prema klasičnoj formuli, /7/.



Slika 14. Zavisnost opterećenja i otvaranja prsline
Figure 14. Loading vs. crack mouth opening displacement (CMOD).

U istom eksperimentu je primenjena stereometrijska metoda ispitivanja. Opterećenje je tokom eksperimenta praćeno na 50 nivoa. Na sl. 16, levo, se vidi da malo opterećenje (nivo 1) ne dovodi do otvaranja prsline, pri srednjem nivou (22) otvaranje je vidljivo, a pri visokom nivou (49) je plastična deformacija izražena i praćena rastom prsline.

Deformacije u okolini vrha prsline su praćene u tačkama A do F (sl. 17). Dobijeni rezultati su omogućili da se nacrtaju dijagrami zavisnosti pomeranje otvora vrha prsline (CTOD)-opterećenje u tim tačkama za dva karakteristična slučaja (sl. 18): prsina se razvija iz metala šava niže čvrstoće u metal šava više čvrstoće (levo), i obrnuto (desno).

Zbog heterogene mikrostrukture prsline raste kroz područja različitog napona tečenja, tj. različite žilavosti loma, koja zavisi od napona tečenja. Shodno tome, i veličina defor-

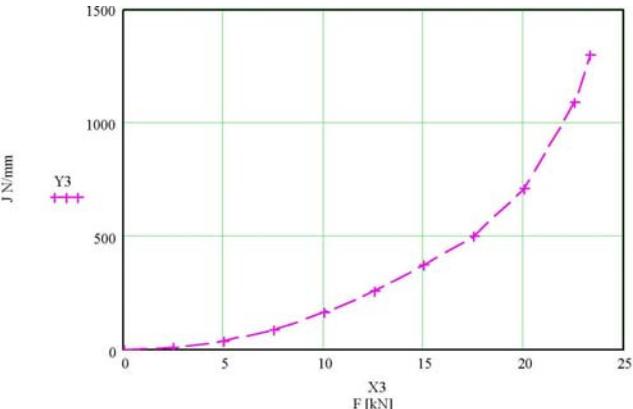
The welded joint in this test was produced partially with overmatched, and partially with undermatched weld metal. The tested joint is made of HT 50 pressure vessel steel, welded with filled wire (FCAW technique). Basic mechanical properties and Charpy impact energies are given in Table 1. Base and weld metal yield stress values allow for calculating the stress ratio: $M_o = 648/545 = 1.19$ for overmatched weld metal, and $M_u = 469/545 = 0.86$ for undermatched weld metal, /6/.

A considerable difference in yield stress and plastic deformation ahead of the crack tip can be expected in the direction of crack growth (Fig. 13 and Table 1) which influences the fracture behaviour and the depicted fracture mechanics parameter.

Table 1. Mechanical properties and impact energy of base metal and overmatched and undermatched weld metal.

	Yield stress	Ultimate stress	Impact energy at -60°C
Parameter	$R_{p0,2}$, MPa	R_m , MPa	C_v , J
Over-match	648	744	>40
Base metal	545	648	>60
Under-match	469	590	>80

Testing results in this experiment are shown in a diagram form as direct dependence of load vs. crack opening (Fig. 14) and J integral vs. load (Fig. 15), where the path independent J integral (C) is calculated from classical equation, /7/.



Slika 15. Zavisnost J integrala i opterećenja
Figure 15. J integral vs. load.

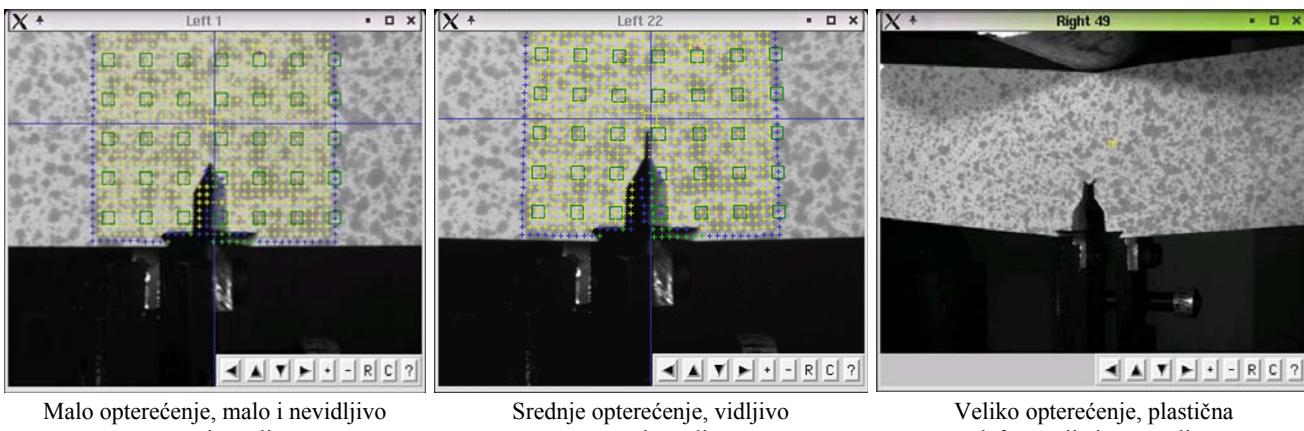
The stereometric test method is applied in the same experiment. During the experiment the load was tracked at 50 levels. Figure 16, left, shows that the small load (level 1) does not lead to crack opening, while opening is visible at intermediate level (22), and at higher level (49) plastic deformation is dominant and followed by crack growth.

In the vicinity of the crack tip deformations are traced at points A to F (Fig. 17). The results show crack tip opening displacement (CTOD) vs. load in a diagram form in these points for two characteristic cases (Fig. 18): the crack develops from the undermatched weld metal into the overmatched weld metal (left), and vice-versa (right).

The crack propagates through zones of various yield stresses or fracture toughness that depends on yield stress. Accordingly, the deformation value in the vicinity of the

macije u neposrednoj okolini vrha prsline će se neprekidno menjati s rastom prsline, što je stereometrijskim merenjem moguće pratiti, ali ne klasičnim ispitivanjem mehanike loma.

Može se zaključiti da stereometrijsko ispitivanje daje mnogo više podataka za analizu razvoja deformacija i prsline od standardnog ispitivanja mehanike loma, da omogućava neprekidno praćenje uz sakupljanje podataka i da predstavlja metodu primenljivu za praćenje konstrukcija u eksploataciji. Ilustracije radi, na sl. 19 je dat dijagram raspodele deformacija pri srednjem nivou opterećenja, koji odgovara sl. 16, u sredini (nivo 22).

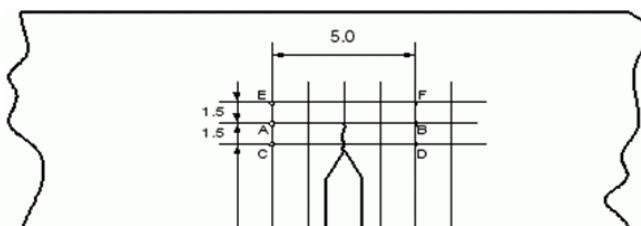


Malо opterećenje, malо i nevidljivo otvaranje prsline
Small load, small and indistinct crack opening.

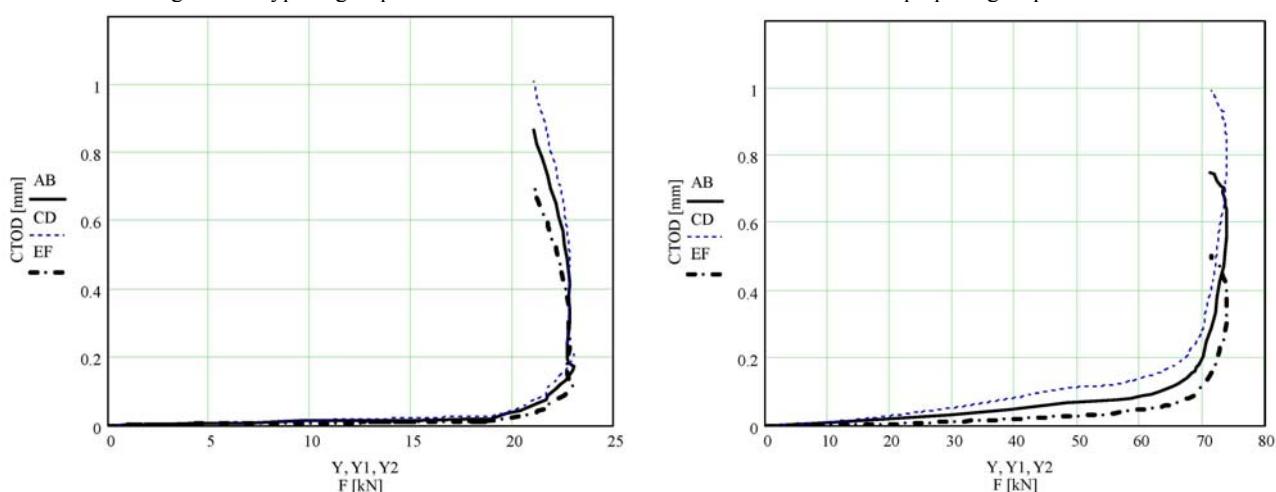
Srednje opterećenje, vidljivo otvaranje prsline
Intermediate load, distinct crack opening.

Veliko opterećenje, plastična deformacija i rast prsline
Large load, plastic deformation and crack growth.

Slika 16. Izgled epruvete sa prslinom tokom ispitivanja stereometrijskom metodom pri različitim nivoima opterećenja
Figure 16. The view of specimen during testing by stereometric method at different loading levels.



Slika 17. Karakteristične tačke mreže pri stereometrijskom ispitivanju za određivanje otvaranja prsline
Figure 17. Typical grid points in stereometric test for determination of crack tip opening displacement.



Razvoj prsline iz metala šava niže u metal šava više čvrstoće
Crack growth from undermatched to overmatched weld metal.

Razvoj prsline iz metala šava više u metal šava niže čvrstoće
Crack growth from overmatched to undermatched weld metal.

Slika 18. Zavisnost otvaranja prsline od opterećenja praćena u tri ravni oko vrha prsline (AB; CD i EF)
Figure 18. Crack opening displacement vs. loading in three planes around crack tip (AB; CD and EF).

PRIMENA STEREOMETRIJSKOG MERENJA ZA NEPREKIDNO PRAĆENJE DEFORMACIJA KONSTRUKCIJA U EKSPLOATACIJI

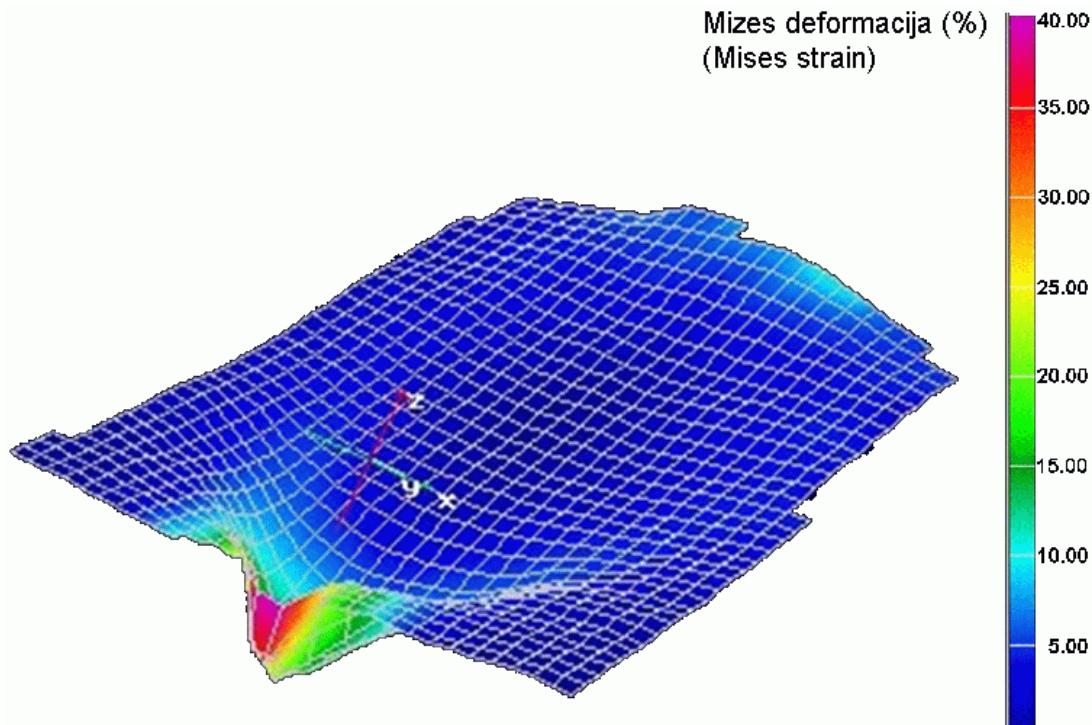
Iskustvo sa neprekidnim praćenjem deformacija, stečeno u izvedenom eksperimentu, upućuje na mogućnost sličnog pristupa u praćenju konstrukcija u eksploataciji. Problem je u načelu mnogo složeniji i zahteva uspostavljanje sistema, kao što je sistem prikazan na sl. 20, /8/.

Sistem se u osnovi sastoji iz tri dela: akvizicija podataka preko prikladnog optičkog sistema, kao što je stereometrijsko merenje, obrada i korišćenje podataka u odgovarajućim formulama preko servera prikladne konfiguracije i kapaciteta, i spoljni deo, koji obuhvata ručni i/ili automatski unos podataka i prenos putem bežične veze sa Internetom.

APPLICATIONS OF STEREO METRIC TEST IN CONSTANT MONITORING DEFORMATIONS IN OPERATING STRUCTURES

Experience in constant deformation monitoring gained in the performed experiment leads to the possibility of a similar approach in monitoring structures in service. The problem is generally much more complicated and requires re-establishing a system as the one shown in Fig. 20, /8/.

The system basically consists of three parts: data acquisition through appropriate optical system, e.g. stereometric test, processing and using data in corresponding equations through a suitable server configuration and capacity, and an exterior part that includes manual and/or automatic data input and transfer through wireless internet.



Slika 19. Raspodela deformacija oko vrha prsline dobijena stereometrijskim merenjem
Figure 19. Strain distribution around crack tip obtained by stereometric measurement.

Komponente sistema su opisane na sl. 20. Treba uočiti da je u sistem unet i uređaj za merenje otvaranja prsline (δ_3), neophodan za određivanje parametara mehanike loma.

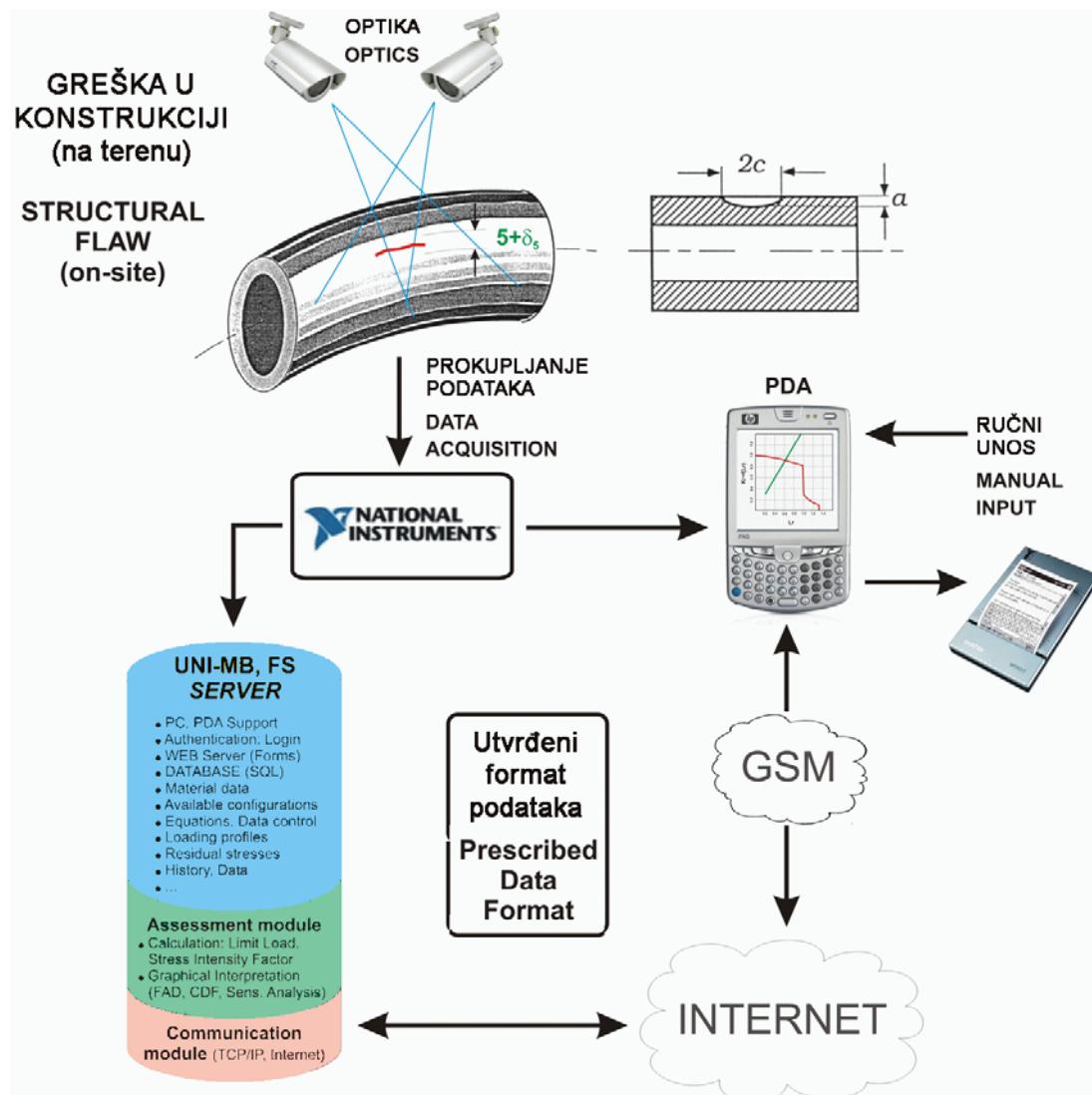
ZAKLJUČCI

U radu je prikazano da provedena anketa Evropske komisije među stručnjacima ukazuje na potrebu za povećanjem stepena sigurnosti rada konstrukcijskih komponenti u cilju sprečavanja pucanja, koja su uzrokovana prisutnošću prsline (uzrokovanih greškom u materijalu, zamorom, korozijom ili puzanjem). Danas stepen tehnološkog razvoja ukazuje na mogućnost da je moguće kombinovanjem znanja i iskustva iz područja mehanike loma, stereometrijskih merenja, integralnih računarskih programa za praćenje i obradu podataka te bežičnog telekomunikacijskog sistema doprineti bitnom povećanju sigurnoj i bezbednoj eksploataciji konstrukcija na različitim lokacijama i s različitim potrebama.

System components are described in Fig. 20. A crack opening (δ_3) measurement unit is added to the system, necessary for fracture mechanics parameters determination.

CONCLUSIONS

The paper showed that the European Commission poll among experts indicates the need for increasing the safety factor of operational structural components in the goal of preventing failure caused by the presence of cracks (originating from flaws in the material, fatigue, corrosion or creep). Today the level of technology indicates the possibility of combined knowledge and experience in the domain of fracture mechanics, stereometric measurements, integrated computer programmes for monitoring and processing of data, and wireless communication systems that can contribute essential increase in safe exploitation of structures on various locations and with distinct needs.



Slika 20. Sistem za neprekidno praćenje deformacija i oštećenja na konstrukciji, akviziciju podataka i procenu podobnosti za upotrebu
Figure 20. System for continuous monitoring of strain and damage on structure, data acquisition and fitness-for-service evaluation.

LITERATURA – REFERENCES

1. SINTAP Procedure: Brite European project, Final version: November 1999.
2. JRC-FITNET Survey: Joint Research Centre of European Commission-Patten, 2004.
3. FITNET-Fitness-for-purpose procedure: EU project of 5th framework programme; Final document, Amsterdam, May 2006.
4. Aramis GOM
5. GKSS:Displacement Gauge System for Applications in Fracture Mechanics, Patent Publication, Geesthach, 1992.
6. Gubeljak, N., Semenski, D., Drvar, N., Predan, J., Kozak, D., Oblak, M., *Object grating method application in strain determination on CTOD tests*, Strain, May 2006, vol. 42, iss. 2, pp. 81-87.
7. Rice, J.R., Tracey, D.M., *On the Ductile Enlargement of Voids in Triaxial Stress Fields*, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 17, 1969, pp. 201-217.
8. MOSTIS-EUREKA! Project, 2006.