



## PRIMENA MODELA KVALITETA U FORENZIČKOM INŽENJERINQU\*

### APPLICATION OF QUALITY MODEL IN FORENSIC ENGINEERING

dr Ivana Atanasovska<sup>1)</sup>, mr Dejan Momčilović<sup>1)</sup>, Dragana Bokan<sup>2)</sup>, mr Ljubinka Radosavljević<sup>1)</sup>

**Rezime:** Prilikom analize i određivanja uzroka loma ili otkaza čeličnih konstrukcija, u svetu se koristi metodologija koja je poznata pod imenima forenzički inženjering ili analiza otkaza konstrukcija. Ova metoda se redovno primanjuje kod tzv. odgovornih čeličnih konstrukcija, i kao takva, u većini zemalja predstavlja zakonsku obavezu. Rekonstrukcija događaja je iterativan proces skupljanja činjenica, primene inženjerskih principa, postavljanja teorija, testiranja. Takođe, to je najčešće i vrlo komplikovan proces organizacije timskog rada stručnjaka različitih specijalnosti, koji za što kraće vreme moraju da se izjasne o uzroku sa što većom verovatnoćom. Istovremeno, rezultati takvih analiza predstavljaju vrlo značajan korak u sprečavanju otkaza kod istih ili sličnih konstrukcija. U radu će biti objašnjene potrebe za upravljanjem kvalitetom metodologije analize otkaza konstrukcije uopšteno i sa naglaskom na primenu u oblasti bezbednosti mašina.

**Glavne reči:** forenzički inženjering, upravljanje kvalitetom, Imodel kvaliteta, bezbednost mašina

**Abstract** During analysis of fracture or loss of operational worthyness of steel constructions, there is, in the world, the methodology known as forensic engineering, failure analysis of construction etc. This method is regularly applied to a "reliable steel constructions", and as such, in the most countries is an obligated by law. Reconstruction of failure event is an iterative process of assemblage facts, appliance of engineer's principles, establishing of theories, testing. etc. This is also, a very complicated process of organisation of teamwork of experts with different field of expertise. The team must in the shortest possible time give the answer, the answer with the highest probability, about the origins of the failure. The results of such analysis are important in order due to prevention of failure in similar constructions. This paper presents the need for quality management's methodology of failure analysis, in general, with the emphasise to steel constructions and safety of machinery.

**Key words:** forensic engineering, quality management, quality model, safety of machinery

## 1. UVOD

Prilikom analize i određivanja uzroka loma odgovornih čeličnih konstrukcija, u svetu se koristi metodologija koja je poznata pod imenima forenzički inženjering, analiza otkaza konstrukcija i sl. Odrednice imaju u engleskom jeziku uporište u terminima Failure Analysis i Forensic Engineering. U našem jeziku, do sada, za metodologiju analize otkaza u upotrebi su bili termini veštačenje i ekspertiza.

Pod odgovornim čeličnim konstrukcijama se podrazumevaju one konstrukcije usled čijeg otkaza (gubitka funkcije), u najboljem slučaju, dolazi samo do velikih materijalnih gubitaka. Neretko,

otkazi tipa loma, uzrokuju i velike ljudske žrtve i ekološke nesreće. Najpoznatiji primeri, za mesto primene metodologije analize otkaza su avionske nesreće, havarije brodova i razne druge havarije u procesnoj industriji i energetici, itd.

U suštini, metodologija se primenjuje kod tzv. odgovornih čeličnih konstrukcija. Pod odgovornim čeličnim konstrukcijama se podrazumevaju one konstrukcije usled čijeg otkaza (gubitka funkcije), u najboljem slučaju, dolazi samo do velikih materijalnih gubitaka. Neretko, otkazi tipa loma, uzrokuju i velike ljudske žrtve i ekološke nesreće. Najpoznatiji primeri, za mesto primene metodologije analize otkaza su avionske nesreće,

1) Institut za ispitivanje materijala IMS, Bul.vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, mail: office@institutims.co.yu

2) PRIGAN HOLDING d.o.o, Kronštatska 5, 11000 Beograd

\*) Rad je urađen u okviru Projekta TD-7024: Istraživanje, razvoj i primena metoda i postupaka ispitivanja, kontrolisanja i sertifikacije građevinskih proizvoda u skladu sa zahtevima međunarodnih standarda i propisa, i finansiran je sredstvima Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredne Republike Srbije

havarije brodova i razne druge havarije u procesnoj i termoenergetskoj industriji.

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pri analizi otkaza su predstavljeni kroz tri ključna pitanja:

- Šta se desilo?
- Zašto se 'TO' desilo?
- Kako je trebalo 'TO' sprečiti?

Rekonstrukcija događaja je rešavanje kompleksne slagalice reči, fotografija, ljudi, mašina, pregleda proračuna itd. To je iterativan proces sakupljanja činjenica, primene inženjerskih principa, postavljanja teorija, testiranja. Proces rekonstrukcije je ujedno i nauka i umetnost ali i razmatranje Marfijevih (slučajnost) i Njutnovih (egzaktnost) zakona.

Iako ne baš poželjno i čak i grubo ali u svakom slučaju istinito je to da su se veštine projektovanja i izvođenja objekata unapređivali posle velikih lomova i oštećenja konstrukcija. Samo određivanje uzroka loma nam takođe predstavlja i primer kako napravljenu grešku ne ponoviti [1].

U tom postupku istraživanja i obrade prikupljenih informacija o faktorima koji direktno ili indirektno utiču na značajnu promenu vrednosti elemenata konkretne konstrukcije, veliku primenu imaju razne statističke metode i tehnike. One se koriste kao alati u istraživanjima, analizama i određivanju smernica za izradu granskih standarda i uputstava novijeg datuma.

Kao primer relativno starijih standarda u kojima je razmatrano i obrađeno pitanje upravljanja bezbednošću nosećih konstrukcija treba pomenuti:

- JUS U.C7.010:1987 Osnove projektovanja građevinskih konstrukcija - Osnovni principi za proveru pouzdanosti konstrukcija,
- JUS IEC 863:1998 Predstavljanje rezultata predviđanja karakteristika pouzdanosti, pogodnosti održavanja i raspoloživosti.

Razvojem saznanja o korisnosti i primenjivosti statističkih metoda u svakodnevnom radu došlo je i do zahteva za primenom istih, kao što su npr. zahtevi u standardu JUS ISO 9004, Sistemi menadžmenta kvalitetom-Smernice za poboljšanje. Kao noviji JUS standardi koje možemo povezati sa oblašću upravljanja kvalitetom u procesu analize uzroka otkaza konstrukcija pojavljuju se:

- JUS ISO 3534-1:2001 Statistika, Rečnik i oznake – Deo 1 – Termin i oznake iz teorije verovatnoće i opšti statistički termini (ICS 01.040.03), i
- JUS ISO 3534-1:2001 Statistika, Rečnik i oznake – Deo 2 – Statističko upravljanje kvalitetom (ICS 01.040.03)

Činjenica o nedovoljnom poznavanju statistike i koncepta neprekidnog poboljšanja kvaliteta u privredi nametnula je sprovođenje kontinualne i odgovarajuće obuke kadrova u toj oblasti.

Da bismo se starali o bezbednosti korisnika na način kako to zahteva lična i profesionalna etika, odnosno

zakonska legislativa, u slučaju preventivnog pristupa analizi loma čeličnih konstrukcija potrebno je poznavati neke osnovne postavke metodologije analize otkaza konstrukcije.

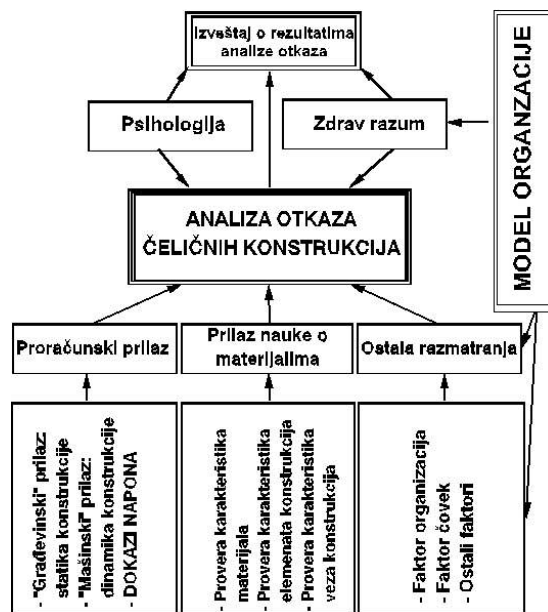
## 2. OSNOVE METODOLOGIJE ANALIZE OTKAZA KONSTRUKCIJE

Osnovne postavke metodologije analize loma čeličnih konstrukcija se svode na sledeće korake:

- Pregled mesta otkaza konstrukcije,
- Pregled dokumentacije vezane za konstrukciju,
- Ispitivanje konstrukcije ili elemenata konstrukcije,
- Analiza ostalih činilaca.

Osnovni razlog potrebe za jasnom i preglednom metodologijom analiza otkaza konstrukcije se nalazi u činjenici da neki od navedenih koraka, teku istovremeno kao i da neki od koraka imaju podkorake koji u analizi teku paralelno sa ostalim podkoracima. Iz ovog osnovnog pregleda, jasno je da je rad na analizi otkaza skup aktivnosti koji koristi spezijalizovana znanja čitavih timova (kao kod npr. avionskih nesreća) te otud i dodatna potreba za metodologijom koja će usklađivanjem rada članova tima dovesti do što pouzdanijeg definisanja uzroka otkaza, u što kraćem vremenu. Na slici 1 je prikazana uopštena metodologija ispitivanja materijala elementa konstrukcije.

Kao jedan od prvih koraka, nakon vizuelnog pregleda ispitivanog elementa, shodno prikazu na slici 1. pristupa se procesu prikupljanja i pregleda dokumentacije.



Slika 1 – Osnove metodologije analize otkaza

Pod pregledom dokumentacije, u smislu sprovođenja postupka forenzičkog inženjeringa, podrazumeva se skup aktivnosti na skupljanju, koliko je to moguće, svih činjenica iz projekta o izvedenom stanju konstrukcije i eksploatacijskim uslovima (odnosno tzv. operational history) [2].

U tom smislu, i standard JUS ISO 9001:2001 [5], tretira većinu tih zapisa kao zapise o kvalitetu ako oni predstavljaju dokument koji pokazuje objektivni dokaz sprovedene aktivnosti ili postignutih rezultata u procesu rada.

U postupku upravljanja dokumentacijom, usaglašenim sa zahtevima JUS ISO 9001:2001 (kod organizacija koje poseduju sertifikovan sistem kvaliteta), kao krajnji cilj se nameće potreba definisanja načina rešavanja neusaglašenosti u konkretnom projektu, kao i odgovornost učesnika i nadležnih organa u tom procesu. Njime se približe definišu odredbe o obliku, sadržaju, odgovornostima za obradu i načinu upravljanja zapisima o kvalitetu.

Važnost prikupljanja svih bitnih informacija nikako ne sme biti prenaplašena, naprotiv. Veoma važne informacije se mogu dobiti kako od korisnika čelične konstrukcije tako i od slučajnih očevidaca otkaza konstrukcije. Takođe, veoma je važno što temeljitije dokumentovanje konstrukcije, odnosno mesta otkaza iste. Kada se kaže, temeljito dokumentovanje, pri tom se podrazumeva sistematizacija svih prikupljenih podataka treba da se obavi procesnim pristupom.

Pri tom, dokumentacija od koje treba početi je dokumentacija o tehničkom prijemu objekta.

Prijem montirane čelične konstrukcije obuhvata:

- povremeni prijem nevidljivih radova i
- konacan prijem montirane konstrukcije celog obejka ili njegovog dela.

Povremeni prijem nevidljivih radova obuhvata i prijem temelja i drugih oslonaca čelične konstrukcije, raznih delova konstrukcije koji se oblažu betonom i ankeri koji se ugrađuju u beton. Pri povremenom prijemu radova sastavlja se zapisnik, ili je to sastavni deo građevinske knjige odnosno građevinskog koji se može primeniti kao "dokaz o kvalitetu".

Dokumentacija o prijemu montirane konstrukcije obuhvata:

1. Projekat montaže čelične konstrukcije;
2. Radioničke crteže čelične konstrukcije sa svim naknadnim izmenama i dopunama;
3. Sertifikate i drugu dokumentaciju o isporučenoj čeličnoj konstrukciji sa zapisnicima o kontroli i prijemu konstrukcije u radionici;
4. Dokumente o odstupanjima od projekta i njihovoj usaglašenosti sa dopuštenim odstupanjima;
5. Zapisnike o prijemu nevidljivih radova;

6. Sertifikate o osnovnom i spojnom upotrebljenom materijalu;
7. Uverenja za zavarivača koji su izvršili zavarivanje konstrukcije na montaži, sa oznakom zavarivača;
8. Dokumente o kontroli izvođenja montažnih spojeva (izveštaje, filmove o prozračavanju, šavove I dr.);
9. Građevinski dnevnik;
10. Podatke o geodetskim i drugim merenjima tokom montaže konstrukcije;
11. Sertifikat o eventualnom ispitivanju čelične konstrukcije posle završene montaže.

Uporedo sa pregledom dokumentacije, izvode se i kontrolni proračuni koji se svode na:

- napone (glavnih i dopunskih);
- elastične stabilnosti;
- deformacija;
- sigurnosti veza (razdvojjivih - npr. vijčanih i nerazdvojjivih - zavarenih spojeva)
- vremena prigušenja oscilovanja konstrukcije;
- napona u pogledu zamorne čvrstoće materijala;
- dinamičke stabilnosti; i
- sigurnosti protiv prevrtanja.

Proračunski koje diktira EVROKOD 3 su:

1. Proračun da nisu prekoračena granična stanja:
    - Granična stanja nosivosti (gubitak ravnoteže konstrukcije ili nekog njenog dela, posmatranog kao kruto telo, gubitak nosivosti usled prekomerne deformacije, loma ili gubitka stabilnosti konstrukcije ili nekog njenog dela, uključuju i oslonce i temelje); i
    - Granična stanja upotrebljivosti (deformacije ili ugibi koji nepovoljno utiču na izgled ili efikasnu eksploataciju građevinskog objekta, ili izazivaju oštećenja završnih ili nekonstruktivnih elemenata, vibracije koje izazivaju nelagodnosti kod ljudi, oštećenja ili ograničavaju funkcionalnu efikasnost objekta).
  2. Razmatranje relevantnih proračunskih situacija i slučajeva opterećenja;
  3. Razmatranja odstupanja u odnosu na pretpostavljene pravce i pozicije dejstava
- Svi navedeni proračuni kao i ostali rezultati ispitivanja, u slučajevima veštačenja pred sudom, imaju kategoriju dokaza.

### **3. SAVREMENE METODE ANALIZE OTKAZA SISTEMA KOJE SE KORISTE KAO POKAZATELJ UPOTREBNOG KVALITETA TEHNIČKIH SISTEMA**

U toku realizacije projektovanih postupaka rada, u uslovima sve složenijih zahteva u pogledu upotrebnog kvaliteta, statičke strukture tehničkih

sistema su suprotstavljene dinamičkim promenama u operativnoj i široj okolini, usled čega i dolazi do neželjenih događaja – otkaza tehničkih sistema.

Kada već dođe do neželjenih otkaza (u ovom slučaju razmatranih čeličnih konstrukcija) možemo koristiti neke savremene metode analize otkaza tih tehničkih sistema, kao pokazatelje njihovog upotrebnog kvaliteta. U tom smislu u najčešće primenjivane ubrajamo [7]:

- Analizu stabla otkaza (Fault tree analysis – FTA),
- Analizu vrsta, posledica i kritičnosti otkaza (Failure Modes, effects and criticality analysis – FMECA),
- Analizu stabla događaja (Event tree analysis – ETA),
- Sistem izveštavanja o otkazima i korektivnih akcija (Failure reporting and corrective action system – FRACAS) i
- Akviziciju podataka, nadzor i upravljanje (Supervisory control and data acquisition – SCADA).

U samim aktivnostima obrade i analize podataka pored napred navedenih metoda i tehnika prilikom, praćenja, prikazivanja i određivanja (uticajnih) veličina, članovi projektnog tima (ispitivači-eksperti), pod nadzorom rukovodioca projekta, mogu da koriste razne metode i tehnike, od kojih su najčešće primenjivane sledeće:

- Utvrđivanje oblika raspodele i parametara raspodele - u cilju obezbeđenja potpunih informacija o karakteristikama skupa izdvojenih podataka;
- Primena kontrolnih karata - u cilju utvrđivanja ponašanja karakteristika kvaliteta procesa rada ili parametara (sposobnosti) procesa rada;
- Dijagram UZROCI-POSLEDICA (ISHIKAWA dijagram) - za potrebe utvrđivanja uzročno-posledičnih veza između izdvojenih podataka i grupa podataka;
- PARETO dijagram (ABC dijagram) - radi rangiranja podataka, utvrđivanja stepena značajnosti i usmeravanja napora na rešavanju kritičnih problema;
- Dijagram toka - za grafičko prikazivanje toka procesa koji se analizira;
- Poređenje osobina - za potrebe uporednih analiza procesa, delova procesa ili pojedinačnih proizvoda/ usluga sa procesima i proizvodima/uslugama drugih organizacija;
- Dijagram rasipanja - radi utvrđivanja postojanja međuzavisnosti između veličina koje su predstavljene izdvojenim podacima i oblika i intenziteta korelacije;

Važno je prepoznati i slučajeve u kojima se može primeniti i određena metoda i definisati odgovarajuće procedure za njihovu primenu.

#### 4. OPŠTI POSTUPCI U METODOLOGIJI IZVOĐENJA ANALIZE OTKAZA

Koraci i podkoraci koji su neophodni u metodologiji izvođenja analize otkaza zavise od vrste otkaza. U pristupu samom sagledavanju zatečenog stanja moramo da razlikujemo interno i eksterno orijentisan kvalitet, odnosno upotrebnii kvalitet iz ugla učesnika u smislu onoga što propisuju eksperti i upotrebnii kvalitet iz ugla korisnika, konkretnog tehničkog sistema.

Iz ugla eksperata, odnosno interno orijentisanog kvaliteta moguće je definisati opšta mesta koja se odnose na metodologiju, odnosno redosled osnovnih koraka i to:

Opis mesta loma: Istorija loma mora, ako je to moguće, da bude dokumentovana. Bilo koja informacija koji se odnosi na lom, kao što je proračun elemenata (uključujući materijala) i kako su elementi konstrukcije upotrebljene, važno je znati, odnosno prikupiti informacije. Posebno su korisne fotografije dela i celine.

Vizuelni pregled: Opšte, izgled dela ili delova treba da bude dokumentovan. Treba obratiti pažnju na rukovanje uzorcima koji će biti ispitivani u laboratoriji, odnosno sledljivosti i reproduktivnosti ispitivanja.

Proračunska analiza (analiza napona): Kada se radi o mehaničkom proračunu kao glavnom proračunu komponenti, analiza dokaza napona mora biti izvedena. Ovo će pomoći pri utvrđivanju da li je uzorak bio dovoljne veličine i odgovarajućeg oblika, i koje su mehaničke osobine bile zahtevane. U nekim slučajevima ova analiza može da utvrdi uzrok loma. Na primer, ako opterećenje na delu može biti određeno i procenjene mehaničke karakteristike materijala, moguće je dokazati da je taj uzorak bio suviše mali za ovo opterećenje.

Analiza Hemijskog sastava: Ovaj korak upućuje na ispitivanje podesnosti materijala sa stanovišta korozione zaštite.

Fraktografija: Ispitivanje prelomnih površina korišćenjem svetlosnog i elektronskog mikroskopa, u cilju određivanja mehanizma loma

Metalografski pregled: Ispitivanje mikrostrukturnih osobina materijala, u cilju povezivanja sa mehaničkim karakteristikama. Ovaj korak će pomoći u utvrđivanju takvih činjenice koje će pokazati da li je ma koji uzorak imao odgovarajuću termičku obradu.

Mehaničke karakteristike: Treba utvrditi mehanička svojstva potrebna za proračun. Ovo nije uvek moguće jer test za utvrđivanje osobina može uništiti uzorak. U kategorijama mehaničkih svojstava tvrdoća je naročito važna. Vrednosti tvrdoće je moguće povezati sa mnogim drugim mehaničkim osobinama. Ispitivanje je jednostavno, i ono obično ne oštećuje uzorak.

Simulacija loma: Vrlo koristan pristup je simulacija uslova za koje je uzorak proračunat i postavljanje identičnog uzorka u takve uslove. Ovo može biti suviše skupo i ne dovoljno ponovljivo, [3].

Sve napred navedeno, zajedno sa koracima i podkoracima, svodi se na sledeću redosled postupaka tokom analize otkaza konstrukcije:

- ◆ Prikupljanje svih podataka o ispitivanoj konstrukciji, dokumentovanje mesta loma i izbor uzoraka za ispitivanje;
- ◆ Prethodno ispitivanje prelomljenog uzorka (vizuelan pregled i evidencija);
- ◆ Izbor, identifikacija, čuvanje, i /ili čišćenje uzoraka;
- ◆ Ispitivanja bez razaranja (koja ima smisla raditi na odabranim uzorcima);
- ◆ Mehanička ispitivanja (uključujući ispitivanje tvrdoće i žilavosti);
- ◆ Makroskopski test i analiza (prelomnih površina, primarnih i sekundarnih prslina, i ostalih površinskih grešaka);
- ◆ Izbor, priprema i ispitivanja metalografskih uzoraka;
- ◆ Ispitivanje hemijskog sastava (mase materijala, lokalno uz mesto loma, proizvoda površinske korozije, naslaga i premaza);
- ◆ Određivanje mehanizma loma;
- ◆ Analiza mehanike loma;
- ◆ Ispitivanje u simuliranim uslovima (specijalni testovi); i
- ◆ Analiza svih dokaza, formulisanje zaključaka, pisanje izveštaja (uključujući preporuke radi sprečavanja daljih otkaza).

Analiza loma bavi se određivanjem uzroka otkaza, u opštem smislu, odnosno loma delova ili komponenti metala, kao najopasnije vrste otkaza. *Analiza loma* može biti definisana kao ispitivanje polomljenih komponenti i trenutka loma da bi se odredili uzroci loma. Svrha analize loma je definisanje mehanizma i uzroka loma i obično je ovo neophodno radi predupređivanja takvih pojava u sličnim konstrukcijama.

Uzroci loma mogu biti podeljeni na sledeće kategorije:

**1. Pogrešna primena:** Elementi koji se koriste su u uslovima za koje nisu projektovani. Ovo je uobičajeni uzrok loma, i potvrda ovome se ponekad oslanja na odluci da je sklapanje elemenata i projektovanje istih ispravno, ostavljajući pogrešnu primenu kao potencijalni uzrok.

**2. Greške pri sklapanju i neodgovarajuće održavanje:** Skup ovih grešaka obuhvata opseg takvih faktora kao što su nedovoljno pritezanje vijaka do upotrebe pogrešnog maziva. Održavanje opreme obuhvata sve, od bojenja površine do čišćenja i podmazivanja. I nemarnost, čak i u ovim aktivnostima može da dovede do otkaza.

**3. Proračunske greške:** Ove je vrlo uobičajen uzrok loma. U ovoj kategoriji naredne stavke su razmatrane da bi bile specificirane u procesu projektovanja:

**a. Veličina i oblik elementa ili sklopa.** Ovo je obično određeno analizom napona ili geometrijskim faktorima ograničenja.

**b. Materijal.** Ovo se odnosi na za hemijski sastav i obradu (na primer, termičku obradu) potreban materijal da bi se postigle očekivane osobine.

**c. Osobine.** Ovo je povezano sa analizom napona, ali i druge karakteristike, kao što su otpornost na koroziju, moraju takođe biti razmatrane.

Interesantno je i razmotriti i ispitivati neke informacije o uzrocima loma i porediti ih sa prethodnom listom.

1. *Neodgovarajući izbor materijala:* Vrlo čest uzrok otkaza konstrukcije, je neodgovarajući izbor materijala. Neodgovarajući izbor materijala često vodi ka daljem, kumulativnom povećanju greske, usled npr. neodgovarajuće termičke obrade i/ili zavarivanja.

2. *Neodgovarajuće održavanje:* Podaci u Tabeli 1 prikazuju neodgovarajuće održavanje kao glavni problem u lomu komponenti kod aviona.

3. *Razmatranja grešaka u proračunu:* Uzroci loma usled pogrešnih proračunskih pretpostavki ili pogrešne primene materijala obuhvataju sledeće:

- a - *Duktilni lom* (prekomerna deformacija, elastična ili plastična; cepanje ili smicajni lom);
- b - *Krti lom* (usled grešaka ili koncentratora naprezanja);
- c - *Zamorni lom* (usled cikličnog opterećenja, ciklične deformacije, termičkog zamora, korozionog zamora ili kontaktnog zamora);
- d - *Lom usled visoke-temperature* (puzanje, oksidacija, lokalno topljenje, izvijanje preseka);
- e - *Statički, vremenski odloženi lom* (vodonična krtost, krtost u prisustvu kiselina i baza i itd);
- f - *Lokalni porast napona usled prisustva koncentratora usled grešaka pri projektovanju;* i
- g - *Neodgovarajuća analiza naponskog stanja ili nemogućnost proračunskog predviđanja svih uticajnih činilaca;*
- h - *Greške u proračunu na osnovu neodgovarajućih svojstava materijala, odnosno neodgovarajuće osnovne pretpostavke o materijalu.*

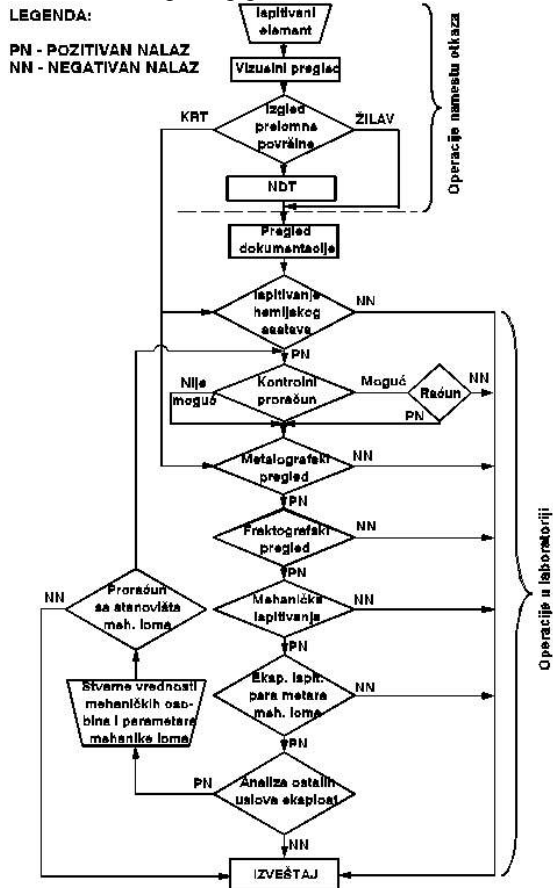
Na slici 2 je prikazan opšti model kvaliteta za utvrđivanje otkaza konstrukcija.

## 6. ZAKLJUČAK

Razvojem tehnologija dolazi i do promena metodologija i pri tom važno je ne zanemariti i ulogu upravljanja kvalitetom u njima, odnosno u svim aspektima života, rada na novim projektima, u proizvodnji, pružanju usluga, potrošnji i korišćenju istih. Neosporivo je da svi procesi i

podprocesi mogu biti poboljšani postepeno, i na taj način redizajnirani do svog maksimuma u cilju postizanja maksimalne efikasnosti i bezbednosti korisnika, kako bi sprečili nastajanje „otkaza“ (npr. tehničkih sistema) odnosno povećanja sigurnosti sa stanovišta bezbednosti mašina.

Razvoj kvalitetnih modela kvaliteta potpuno uklopljenih sa tehničkim zahtevima u prikazanom slučaju analize otkaza ali i mnogih drugih problema, predstavlja organizovan timski rad i sinhronizovan pristup problemu.



Slika 2 – Opšti model kvaliteta kvaliteta za utvrđivanje otkaza konstrukcija

Poreklo	Zastupljenost, %
Neodgovarajuće održavanje	44
Greške pri izradi	17
Proračunske greške	16
Korišćenje elemenata van predviđenih okvira	10
Greške u materijalu	7
Ostali činioci	6

Tabela 1. Učestanost uzroka otkaza kod vazduhoplovnih komponenti (laboratorijski podaci)

### LITERATURA

- [1] ASM Handbook Vol 11: Failure Analysis and prevention, ASM International, 1996, 22-23
- [2] Brooks, C.R., Choudhury, A. Metallurgical Failure Analysis, Mcgraw-Hill., 1993, 1-8
- [3] Buđevac, D., Čelične konstrukcije u zgradarstvu
- [4] EVROKOD 3, Proračun čeličnih konstrukcija, 1995
- [5] JUS ISO 9001:2001, Sistemi menadžmenta kvalitetom – Zahtevi
- [6] Mitrović, Ž; Pešaljević, M; Vujanović, N; Drezgić, M; Metode u sistemu kvaliteta, 2003, Beograd
- [7] Papić, Lj.: Analiza otkaza – Ključni igrač efektivnosti sistema, časopis Menadžment totalnim kvalitetom br. 2003, JUSK, Beograd
- [8] JUS EN 1050:2005, Bezbednost mašina
- [9] Machine directive 98/37/EC