

**Prof. dr Nebojša Đuranović, dipl.ing.grad.<sup>1</sup>**

## **ANALIZA TEHNIČKE REGULATIVE U OBLASTI ISPITIVANJA KONSTRUKCIJA DIO 1**

### **Rezime**

Cilj ovog teksta je da sistematično prikaže i analizira trenutno stanje regulative po kojoj se vrše ispitivanja konstrukcija u našoj zemlji i bliskom okruženju. Rad, sem toga, daje i upoređenja naših sa vodećim propisima iz ove oblasti u Velikoj Britaniji i SAD.

Na ovom mjestu neće se obrađivati tehnička regulativa koja se tiče defektoskopije konstrukcija, tj. procedure i postupci ispitivanja stanja materijala u konstrukciji.

Člankom je napravljen pokušaj da se izdvoje glavne karakteristike postupaka, bez obzira da li se traže (ili preporučuju) samo u jednom ili u više citiranih dokumenta iz ove oblasti.

**Ključne riječi:** ispitivanje konstrukcija, procedure, postupci, oprema, tehnička regulativa

---

<sup>1</sup> Građevinski fakultet u Podgorici

# **ANALYSIS OF THE STANDARDS IN THE FIELD OF STRUCTURAL TESTING AND INVESTIGATION**

## **Abstract**

This article aims to impartially review and analyze current state of the technical standards and recommendations used for testing and experimental investigation of the civil engineering structures, in this and neighboring countries. Also, it compares domestic with leading British and American standards from this field.

This paper does not treat technical standards used for the examination of the constituent materials of the structures, including the state of the material in the structure itself.

The text aims to point out the main features of the relevant testing procedures, regardless whether they have been prescribed by one or more standards from this area.

**Key words:** structural testing, procedures, practice, instrumentation, technical standards

## 1. UVOD

Ispitivanje novih i postojećih konstrukcija u našoj i zemljama neposrednog okruženja (bivša SFRJ) se vrši uglavnom prema principima i specifičnim zahtjevima datim u većem broju domaćih propisa i standarda iz ove oblasti. Pored ove, zakonom propisane regulative (regulativa objavljena u državnim službenim listovima) postoji i mnoštvo drugih preporuka, uputstava i sl. koje su propisala pojedina strukovna udruženja, velika preduzeća, institucije itd. Svi ovi dokumenti u ovom tekstu biće tretirani na isti način, tj. kao da su istog nivoa važnosti.

Na ovom mjestu neće se obrađivati tehnička regulativa koja se tiče defektoskopije konstrukcija - ispitivanja stanja materijala u konstrukciji (polu destruktivne i destruktivne metode, sklerometrisanje, ultrazvučna defektoskopija, radiografija i tome slično) - već će ta materija biti obrađena kada se bude govorilo o samim metodama naknadnog utvrđivanja kvaliteta materijala u konstrukciji.

U mnoštvu propisa iz oblasti ispitivanja konstrukcija i elemenata konstrukcije kod nas su najznačajniji, pa i najprimjenjivaniji, dokumenti koji su dati u popisu literature na kraju teksta. Pobrojana regulativa svakako ne predstavljaju kompletnu listu propisa koji se primjenjuju u postupku ispitivanja konstrukcija i to pri čitanju, ali i

pri korišćenju informacija iz ovog teksta, treba imati na umu.

Tehničkom regulativom obično se propisuju vrste konstrukcija i elemenata koje treba obavezno ispitivati, prethodne radnje i procedure samog ispitivanja, definišu se veličine i načini nanošenja opterećenja na ispitivanu konstrukciju, mjerna tehnika koju treba koristiti, parametri ponašanja koje treba kontrolisati, kriterijumi koje ispitivana konstrukcija ili konstruktivni element moraju zadovoljiti da bi se smatrali ispravnim i, na kraju, način i forma prezentiranja konačne ocjene o ponašanju konstrukcije - u obliku odgovarajućih izvještaja o ispitivanju.

Dalji tekst i prezentira se upravo prateći te osnovne odrednice, pri čemu je napravljen pokušaj da se izdvoje glavne karakteristike postupaka, bez obzira da li se traže (ili preporučuju) samo u jednom ili u više citiranih dokumenta.

Na samom početku ovog teksta treba naglasiti da inženjerski pristup rješavanju problema ne trpi nikave dogme i ne poznaje slijepo poštovanje propisanih pravila, što posebno treba imati na umu prilikom čitanja ovog teksta. U tom smislu dalji tekst treba, prvenstveno, shvatiti kao pregled trenutnog stanja ove materije kod nas, bez i najmanje namjere da u samom tekstu razmatra na tehnička regulativa iz ove oblasti predstavlja ograničavajući faktor kod procesa ispitivanja konstrukcija i

elemenata konstrukcija. To sigurno nije bilo ni mišljenje organizacija koje su ovdje razmatranu regulativu izdale.

## **2. VRSTE KONSTRUKCIJA I ELEMENATA KOJE TREBA OBAVEZNO ISPITIVATI**

Probno ispitivanje i/ili ispitivanje do loma je obavezno za konstrukcije koje su posebno naznačene u tehničkoj regulativi iz ove oblasti. Tako, u oblasti betonskih konstrukcija (**Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton, Pravilnik o tehničkim mjerama i uslovima za prednapregnuti beton, i Pravilnik o tehničkim normativima za beton spravljen prirodnim i veštačkom lakoagregatnom ispunom**) probnim opterećenjem treba ispitivati sledeće konstrukcije: mostove raspona 15 metara i više, tribine na sportskim građevinama i u dvoranama, krovne konstrukcije raspona većeg od 30m, kranske staze, sisteme međuspratnih konstrukcija koji se prvi put primjenjuju, dalekovodne stubove sistema koji se prvi put primjenjuju, druge specifične i naročito složene objekte; objekte pri čijem su izvođenju korišćeni novi tehnološki postupci kao i objekte za koje je projektom konstrukcije predviđeno da se mogu staviti u eksploataciju samo ako su prethodno bili ispitani probnim opterećenjem.

Pored toga neki od navedenih standarda decidno nabrajaju i druge betonske konstrukcije koje obavezno treba ispitivati prije početka eksploatacije, poput brana i elemenata brana, rezervoara, silosa, bazena, pozorišta, bioskopa i hangara. Kako se na neke od pobrojanih objekata odnose i drugi propisi (recimo na brane) to treba, u principu ispitivati sve pobrojane objekte bez obzira kako su izvedeni.

U još uvijek važećem **Pravilniku o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosećih čeličnih konstrukcija**, date su veoma precizne odredbe o tome koje čelične konstrukcije treba ispitivati. Tako, pored **zgrada** posebnog oblika ili specijalnog načina izvođenja, probnim opterećenjem ispituju se samo one zgrade kod kojih bi eventualne greške u projektu ili izvođenju mogle ugroziti život ljudi ili nanijeti (znatnu) materijalnu štetu - pri čemu posebnu pažnju treba obratiti na konstrukcije koje imaju visok odnos eksploatacionog i stalnog opterećenja. **Stubove za dalekovode** treba probnim opterećenjem ispitati samo ako se radi o novom tipu stuba, dalje, ako se radi o novim elementima koji mogu uticati na nosivost stuba, ili ako se posumnja u kvalitet izrade ili montaže stubova. Ispitivanje čeličnih **mostova** probnim opterećenjem obavezno je za sve nove mostove (raspona preko 10m) kao i obnovljene mostovske konstrukcije, zatim u slučaju promjene opterećenja prema kome je most bio prvobitno dimenzionisan, za stare i dotrajale

mostove i propuste (ako se na njima pojave znaci popuštanja, deformacija, zamora i sl., poslije težih udesa na mostu praćenih potresima, poslije težih elementarnih nepogoda i oštećenja od vode i mraza) kao i za mostove djelimično oštećene, odnosno oslabljene uslijed korozije materijala.

Ispitivanje probnim opterećenjem po ovom pravilniku nije obavezno kod mostova koji služe isključivo za postavljanje raznih instalacija (cjevovoda, plinovoda i sl.), ali se i kod njih preporučuje analiza najvažnijih parametara ponašanja prilikom nanošenja prvog punog opterećenja mosta - posebno ako su to veći objekti kod kojih je korisno opterećenje u poređenju sa sopstvenom težinom konstrukcije dosta značajno.

S druge strane, ispitivanje probnim opterećenjem obavezno je za **čelične kranove i kranske staze**. Za kranove raspona do 10m i "neznatne" nosivosti dovoljan je atest fabrike o uspješno izvršenom probnom opterećenju. Ispitivanje kranova jednostavne konstrukcije, raspona do 10m, nije potrebno jedino ako su glavni nosači sastavljeni od jednog valjanog komada. Pored pobrojanih konstrukcija, prije početka eksploatacije treba ispitati i **čelične cijevi, rezervoare, silose** i sl. kao i sve **stare čelične konstrukcije** poslije vršenja njihove rekonstrukcije.

Po **Nacrtu pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima** iz 1986. godine obavezno se

eksperimentalnim putem kontroliše ponašanje i definišu mehaničke karakteristike (na modelu prikladne razmjere) konstruktivnih elemenata inženjerskih objekata za koje se zahtijeva seizmički proračun metodom dinamičke analize i koji se grade u zonama VIII i IX stepena seizmičkog intenziteta. Pored toga, u toj situaciji obavezno se ispituju i modeli sljedećih inženjerskih objekata:

- visokih brana visine  $H \geq 100\text{m}$ ;
- mostova i vijadukata raspona  $L \geq 50\text{m}$ , ili onih kod kojih je visina stubova  $H \geq 30\text{m}$ ;
- visokih brana, mostova i vijadukata manjih visina, raspona ili visina stubova od prethodno navedenih, ako se izvode kao konstrukcije složenih sistema, odnosno u složenim uslovima fundiranja.

Prema standardu **Ispitivanje mostova probnim opterećenjima** neophodno je ispitivati sve mostove raspona preko 15m, a ako je most željeznički onda sve mostove raspona preko 10m. Isto propisuje i **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica** po kome je predviđeno i ispitivanje mostova manjih raspona neuobičajenih koncepcija, i to poslije težih udesa na objektu ili većih elementarnih nepogoda, kao i kada je (kod provizornih ili starih mostova) potrebno utvrditi uticaj starosti, zamora materijala, korozije, deformacija i sl. na stabilnost konstrukcije.



Po odredbama **Pravilnika o tehničkim normativima za seizmičko osmatranje visokih brana** sve brane moraju imati u sebi postavljene instrumente za osmatranje parametara ponašanja konstrukcije za vrijeme jakih zemljotresa.

Pored toga obavezno je praćenje indukovane seizmičnosti (seizmičke aktivnosti regiona koja se javlja kao posljedica formiranja vodene akumulacije) svih brana građevinske visine (pri čemu se građevinska visina mjeri od najniže kote temelja do najviše kote brane) veće od 40m i visokih brana (sve brane visine preko 15m i one veće od 10m - ako im je dužina po kruni brane veća od 500m, ili im je zapremina akumulirane vode veća od  $100.000\text{m}^3$ , ili im je maksimalni protok vode koja se propušta kroz branu veći od  $2.000\text{m}^3$  u sekundi), a koje se nalaze u zoni VII, VIII i IX stepena po MCS skali.

Kada se govori o elementima konstrukcija koje treba ispitati najprimjenjivnije su odredbe standarda **Prefabrikovani betonski elementi - Tehnički uslovi za izradu i ugradnju**. Po njima nosivost konstruktivnih elemenata može se eksperimentalno utvrditi u slučajevima kada se njihovo ponašanje ne može računski pouzdano i jednoznačno utvrditi, ili kada se opravdano pretpostavlja da takvim proračunom postojeće rezerve nosivosti ne bi mogle biti obuhvaćene.

Takođe, kada jedan proizvođač proizvodi tokom jedne godine više od 500 prefabrikovanih betonskih eleme-

nata istog tipa, a ti elementi su izloženi savijanju, velikom ekscentricitetu ili značajnom izvijanju ( $\lambda > 70$ ), tada se mora obavezno izvršiti ispitivanje njihove nosivosti.

Prefabrikovani betonski elementi izloženi pritisku, zatezanju ili pritisku sa malim ekscentricitetom, ne moraju se ispitati do loma ako kontrola kvaliteta betona, količine i položaja ugrađene armature ne pokazuje nedostatke. Ukoliko se pojave nedostaci u pogledu kvaliteta betona, količine i položaja armature ili se jave nedozvoljeno velike prsline, i ovi elementi moraju se ispitati.

Što se tiče ispitivanja elemenata konstrukcija prema prethodno pomenutim pravilnicima (**Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton i Pravilnik o tehničkim normativima za beton spravljen sa prirodnim i veštačkom lakoagregatnom ispunom**) propisuje se da je ispitivanje do loma određenog broja uzoraka obavezno za konstruktivne elemente koji su u konstrukciji izloženi pretežno savijanju, ako se oni izvođe novim tehnološkim postupcima ili se proizvode u serijama većim od 500 komada. Takva ispitivanja sprovode se na prototipovima ili modelima prije početka serijske izrade predmetnih konstruktivnih elemenata. Vidi se da su ovdje kriterijumi o tome koje elemente treba ispitivati blaži nego kriterijumi dati u standardu **Prefabrikovani betonski elementi - tehnički uslovi za izradu i ugradnju**, pa njega, u principu, treba i primijeniti.

Ako su serije elemenata manje od 500 komada, ili ako je za proizvodnju 500 komada potrebno više od godinu dana, tada treba postupiti prema odredbama **Pravilnika za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima**, koje obavezuju da se svaki prefabrikovani sistem građenja prije primjene analitički i eksperimentalno provjeri i dokaže njegova nosivost i stabilnost elemenata i sistema veza. U okviru te provjere po jedan element od svakog tipa konstruktivnog elementa treba ispitati do loma.

Pored pobrojanih konstrukcija i konstruktivnih elemenata potrebno je ispitivati i:

- temeljne šipove, po **Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata**, "Službeni list SFRJ" 15/1990,
- polumontažne tavanice i njene sastavne dijelove - po standardu **Prefabrikovane gredice od glinenih elemenata za izradu međuspratnih odnosno tavaničnih konstrukcija**, JUS U.N8.030, 1997,
- betonske stubove koji se koriste za kačenje elektro kablova - u skladu sa dokumentom **Tehničke preporuke br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove 0.4kV, 10kV, 20kV i 35 kV**, Elektroprivreda Srbije, maj 1997,

- **Armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbetona i penobetona** - JUS U.N1.302, "Službeni list SFRJ" 10/1987;
- **Armirane zidne ploče od gasbetona i penobetona**, JUS U.N1.304, "Službeni list SFRJ" 10/1987,
- **čelične rezervoare** - u skladu sa standardom **Skladištenje nafte i naftnih derivata - vertikalni cilindrični nadzemni rezervoari, zavareni sa ravnim dnom i nepomičnim ili plivajućim krovom**, JUS M.Z3.054/ 1981, "Službeni list SFRJ" 27/1981; i
- sve ostale elemente i konstrukcije za koje je to predviđeno projektom konstrukcije i/ili odgovarajućom tehničkom regulativom.

Pored ovih obično se ispituju i sve ostale značajnije konstrukcije poslije sanacije, kao i one kod kojih postoji ikakva sumnja u pogledu njihove nosivosti, krutosti i/ili upotrebljivosti.

### **3. PRETHODNE RADNJE KOD OBAVEZNIH ISPITIVANJA**

Prije nego se otpočne sa ispitivanjem konstrukcije tehnička regulativa propisuje obavljanje određenih predradnji. U tom smislu propisi su raznoliki, ali ako se sprovedu postupci koji su pobrojani u daljem tekstu,

može se sa sigurnošću reći da su obezbijedeni neophodni uslovi da se pristupi samom ispitivanju.

Kao prvo, neophodan uslov za sprovođenje postupka ispitivanja je da je izgradnja objekta koji treba ispitati u potpunosti završena. Za dinamička ispitivanja mostova posebno se naglašava da čak i prilazi mostu moraju biti završeni.

Na samom početku pripreme za ispitivanje neophodno je izvršiti uvid u projektnu i ostalu tehničku dokumentaciju, kako bi se sagledale neophodne informacije kao što su:

- ukupan geometrijski oblik konstrukcije i dimenzije glavnih elemenata;
- starost konstrukcije;
- računski uticaji u presjecima prema kojima je konstrukcija dimenzionisana;
- računske širine prslina, veličine ugiba i eventualno ostalih parametara graničnih stanja upotrebljivosti;
- predviđena količina, raspored, vrste i karakteristike armatura i betona (uključujući i silu prednaprezanja), tj. čelika, drveta, i drugih osnovnih materijala od kojih je konstrukcija izgrađena;
- predviđeni kvalitet ostalih ugrađenih materijala; i
- ostali relevantni podaci neophodni za kvalitetno sprovođenje ispitivanja.

U tom smislu posebno je značajno izvršiti uvid u dokaze o kvalitetu ugrađenih materijala i elemenata konstrukcije (koji moraju biti sačinjeni prema odgovarajućim standardima), kao i u ostalu dostupnu dokumentaciju koja može biti od značaja za sam proces ispitivanja (recimo u zapisnike o prethodnim ispitivanjima, zapisnike o oštećenjima na objektu i tome slično). Pri tome, posebno treba obratiti pažnju da starost ugrađenog betona (ako se radi o betonskoj konstrukciji) u trenutku ispitivanja konstrukcije mora biti najmanje 28 dana.

Prije početka testiranja treba napraviti detaljni pregled i snimak konstrukcije, izvršiti vizuelni - makroskopski pregled konstrukcije (recimo utvrditi eventualna oštećenja, obijenost ivica, pojavu segregacije betona, prisustvo prslina, loš kvalitet varova i sl.) i, ako je sve u redu, konstatovati da podaci o geometriskom obliku i o dimenzijama elemenata odgovaraju onima predviđenim u projektu konstrukcije. To praktično znači da svaku konstrukciju prije probnog opterećenja treba detaljno pregledati, prvenstveno radi konstatovanja, a eventualno i otklanjanja, nedostataka koji bi mogli uticati na njeno ponašanje pod probnim opterećenjem.

Ispitivanja probnim opterećenjem, ili opterećenjem do loma, se ne mogu obavljati ako nije izrađen program ispitivanja konkretne konstrukcije.

Program ispitivanja izrađuje rukovodilac ispitivanja i/ili glavni projektant predmetne konstrukcije. On može biti izrađen i revidovan još u fazi izrade glavnog projekta konstrukcije (i biti dio tog projekta), ali može biti i izrađen naknadno, tj. predstavljati poseban separat tehničke dokumentacije.

U principu, najbolje je idejno rješenje programa ispitivanja definisati u fazi izrade glavnog projekta konstrukcije, a konačni program ispitivanja - posebno u smislu provjere uticaja eventualnih podbačaja kvaliteta, tj. stvarnog, izvedenog stanja konstrukcije - uraditi tek nakon završetka izrade same konstrukcije, i to nakon prikupljanja podataka o izvođenju iste i nakon dodatnog proučavanja tehničke dokumentacije. Na taj način program ispitivanja, po potrebi, može biti prilagođen samom izvedenom stanju konstrukcije.

Ovaj pristup je najpreporučljiviji i u smislu odabira kvalitetne mjerne tehnike, koja se tokom izrade velikih objekata - koja može da traje i po nekoliko godina, može eventualno značajno unaprijediti.

Uobičajeno je da program ispitivanja sadrži:

- kratak opis konstrukcije koju treba ispitati;
- vrstu i karakter ispitivanja;
- definisanje elemenata konstrukcije koji će se ispitivati i opis šta će se ispitivati;

- položaj karakterističkih presjeka elemenata koji se ispituju;
- vrstu probnog opterećenja;
- položaj i pravac djelovanja opterećenja,
- veličinu i raspored opterećenja po fazama nanošenja;
- vremensko trajanje pojedinih faza opterećenja;
- organizacionu šemu ispitivanja;
- raspored mjernih mjesta;
- potrebne instrumente koji će se koristiti pri ispitivanju;
- sračunate uticaje za predviđeno probno opterećenje;
- proračun očekivanih prslina, ugiba i deformacija, i eventualno ostalih parametara stanja upotrebljivosti;
- kriterijume za ocjenu rezultata ispitivanja, a posebno eventualne kriterijume ponašanja po graničnom stanju upotrebljivosti;
- eventualnu dispoziciju pomoćnih skela na koje se postavljaju mjerni instrumenti ili pomoćni uređaji;
- datum i vremenski interval kada će se ispitivanje izvršiti;



- ostale informacije koje mogu biti relevantne za ispitivanje (poput mjera zaštite, fizičkog obezbjeđenja tokom procesa ispitivanja i tome slično).

Zavisno od karaktera opterećenja i vrste konstrukcije koja se ispituje, uobičajeno je da se neposredno prije ispitivanja utvrdi tačna težina opterećenja koje se nanosi (npr. težina kamiona za opterećenje mosta i tome slično). U pripremne aktivnosti treba uključiti i mjere za sprečavanje vršenja ikakvih drugih aktivnosti na objektu koji se ispituje, što prije ispitivanja treba i provjeriti.

U Primjerima broj 5 i 6 na kraju ove knjige dati su tipični Programi ispitivanja, koji su kao takvi direktno primjenjivani prilikom ispitivanja par karakterističnih objekata.

#### **4. DEFINISANJE OPTEREĆENJA KOD OBAVEZNIH ISPITIVANJA**

Definisanje probnog opterećenja konstrukcije – u smislu određivanja njegovog položaja, veličine, procesa nanošenja i tome slično – predstavlja jednu od najznačajnijih faza izrade programa ispitivanja.

Definisanje probnog opterećenja konstrukcija i elemenata vrši se prema opterećenju predviđenom za tu konkretnu konstrukciju i njene elemente u toku njihove eksploatacije, pa način, tj. karakter opterećenja po pravilu treba da odgovara vrsti i karakteru opterećenja koje

se javlja tokom eksploatacije predmetnog objekta. U tom smislu obično imamo statičko i dinamičko probno opterećenje.

Probna opterećenja moraju, u principu, u smislu veličine opterećenja i mjesta djelovanja uticaja, odgovarati najnepovoljnijem opterećenju koje je za odnosnu konstrukciju ili njene pojedine djelove predviđeno projektom.

Pri tome, ponekad se postavlja pitanje da li i kako nanositi opterećenje na konstrukciju ako se još tokom uvida u tehničku dokumentaciju prije ispitivanja, prepozna da konstrukcija nije projektovana u skladu sa propisima - recimo nije prepoznata kritična kombinacija opterećenja ili projekat prema kome je izvršeno izvođenje objekta u bilo kom smislu nije u skladu sa trenutno važećim propisima. U takvim situacijama treba preduzeti dodatne aktivnosti u smislu dorade tog projekta i eventualnog ojačanja konstrukcije, pa tek nakon toga treba izvršiti ispitivanja, tj. zadati opterećenja - ali sada u skladu sa onima iz korigovane tehničke dokumentacije.

#### **4.1. O STATIČKIM OPTEREĆENJIMA NA KONSTRUKCIJAMA**

Postoji nekoliko dokumenata na koje, kao posebno značajne u smislu definisanja statičkih opterećenja, posebno treba obratiti pažnju. Tako, u skladu sa standar-

dom **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**, probno statičko opterećenje  $W_{prob}$  mora biti jednako sumi ukupnog stalnog  $W_{stal}$  i pokretnog  $W_{pokr}$  opterećenja, i to njihovim vrijednostima prije množenja koeficijentima sigurnosti. Znači, na ispitivanu konstrukciju treba nanijeti opterećenje kojima će se već postojeća opterećenja dopuniti do ovog neophodnog nivoa:

$$W_{prob} = W_{stal} + W_{pokr}$$

Pri izboru mjesta nanošenja opterećenja treba izabrati najnepovoljniji položaj opterećenja po projektu konstrukcije. Ako to nije praktično izvodljivo, mora se opterećenje postaviti tako da ono, u mjerodavnim presjecima (u kojima se vrše i mjerenja parametara ponašanja), izazove unutrašnje sile približno jednake onima koje bi se dobile da je opterećenje postavljeno u mjerodavni položaj po projektu konstrukcije.

Jasno je da, ako se konstrukcija ispituje do loma, opterećenje treba nanositi u najnepovoljnijim kombinacijama i položajima sve do dostizanja samog loma.

Kod konstrukcije **kranova** mora se obratiti pažnja i o dopunskom uslovu o veličini opterećenja. Kod njih probno statičko opterećenje mora biti veće od dozvoljene nosivosti kрана, i to:

- za kranove nosivosti do 20 t - za 25%;

- za kranove nosivosti 20 do 50t - za 15%; i
- za kranove nosivosti 50t - za 10%

Po veoma često primjenjivanom standardu **Ispitivanja mostova probnim opterećenjima**, probna opterećenja mostova su definisana veličinom i položajem u koji ih treba postaviti na konstrukciji kako bi se u mjerodavnom presjeku dostigle **željene** (a ne kao u prethodnom slučaju **najveće**) vrijednosti uticaja ili napona.

Vrijednosti uticaja koji se žele dostići u posmatranim presjecima mosta definisane su **efikasnošću probnog opterećenja**  $U$ , koja se sračunava kao:

$$U = \frac{V_{stat}}{V_n \varphi}$$

gdje je:

$V_{stat}$  - teoretska vrijednost uticaja u posmatranom presjeku uslijed statičkog probnog opterećenja;

$V_n$  - teoretska vrijednost u istom posmatranom presjeku uslijed projektnog pokretnog opterećenja (bez dinamičkog koeficijenta);

$\varphi$  - dinamički koeficijent – onako kako je definisan u projektu konstrukcije.

Obzirom na veličinu i položaj tereta, ta željena probna opterećenja - definisana prema ovom parametru efikasnosti probnog opterećenja, mogu biti normalna, posebna i izuzetna.

Za **normalna probna opterećenja** imamo da je:

$$0,5 \leq U \leq 1,0$$

To znači da konstrukciju treba opteretiti probnim opterećenjem takve veličine i položaja da ostvareni uticaji u mjerodavnom presjeku budu između 50% i 100% od vrijednosti koje dobijamo računski za propisana projektna opterećenja konstrukcije (projektom data opterećenja, tj. opterećenja za koja je konstrukcija sračunata) pomnožena projektom vrednošću dinamičkog koeficijenta. Prema tome, ako je položaj opterećenja prilikom ispitivanja takav da se poklapa sa mjerodavnim položajem za posmatrani presjek, normalno probno opterećenje treba, u principu da iznosi između 50 i 100% od projektovanog pokretnog opterećenja, pomnoženog projektom vrijednošću dinamičkog faktora. Pri ovome treba biti pažljiv da se, u želji da se neki elemenat optereti do ovog nivoa, opterećenje ne postavi u takav položaj da se u nekom drugom presjeku dostignu uticaji veći od onih za koje je taj drugi elemenat dimenzionisan.

Stroža kontrola kvaliteta mosta sprovodi se primjenom **posebnih probnih opterećenja**. Posebna probna opterećenja ćemo primijeniti ako nisu postignuti svi zahtjevi iz projekta u pogledu dimenzija, nosivosti temeljnog tla ili kvaliteta ugrađenih materijala, ako postoje sumnje u pogledu spojeva ili drugih kvaliteta ispitivane

konstrukcije, ili ako konstrukcija nije zadovoljila kriterijume kvaliteta ni nakon ponovljenog normalnog probnog opterećenja. Pri tome efikasnost probnog opterećenja, u ovakvoj situaciji, data je kao:

$$1,0 \leq U \leq 1,1$$

Znači, posebno probno opterećenje treba da iznosi između 100% i 110% od projektovanog pokretnog opterećenja, pomnoženog projektom vrijednošću dinamičkog faktora - ako je položaj opterećenja takav da se poklapa sa mjerodavnim položajem za posmatrani presjek.

**Izuzetna probna opterećenja** ćemo primijeniti samo kada se (u bilo kojem trenutku eksploatacije) zahtijeva opterećenje konstrukcije iznad projektom predviđenih veličina, npr. radi prelaska specijalnih tereta. Rezultati ovakvih ispitivanja važe jednokratno, samo za to konkretno opterećenje mosta. Pri tome efikasnost probnog opterećenja treba da zadovoljava uslov da je:

$$1,1 \leq U \leq 1,3 - \frac{L}{1000}$$

Ovdje vrijednost  $U$  treba sračunati u odnosu taj specijalni teret, što znači da je  $V_n$  računski određena

vrijednost uticaja u posmatranom presjeku uslijed tog izuzetnog opterećenja (specijalnog tereta), bez dinamičkog koeficijenta. Izraz važi za raspon mostova do 100m, pri čemu je  $L$  - raspon mosta dat u metrima. U ovakvim situacijama izuzetno probno opterećenje treba, znači, da iznosi između 110% i 130% (zavisno od raspona mosta) od tog posmatranog izuzetnog opterećenja pomnoženog projektnom vrijednošću dinamičkog faktora – ako je položaj opterećenja takav da se poklapa sa mjerodavnim položajem za posmatrani presjek. Ako položaj mjerodavnog opterećenja nije takav, tada probno opterećenje treba da bude takvo da uticaji u presjeku od probnog opterećenja budu za 10% do 30% veći (zavisno od raspona mosta) od računskih uticaja tog analiziranog izuzetnog opterećenja, pomnoženog projektnim dinamičkim koeficijentom.

U svim prethodnim situacijama smatra se da je prije nanošenja probnog opterećenja na konstrukciju već nani-jeto projektom definisano stalno opterećenje, i to u svom punom obimu.

Kada se radi o željezničkim ili željezničko-drumskim mostovima korisno je napomenuti šta o definisanju probnog opterećenja kaže **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica**. Tako, na primjer, on definiše da se pod statičkim ili mirnim opterećenjem podrazumijevaju opterećenja koja stoje na

konstrukciji, ili se kreću (bez udara i trzanja) brzinom do 5km/h ("puzeća vožnja").

Ovaj pravilnik takođe definiše da, ako ne postoji statički proračun za neke elemente konstrukcije, opterećenje treba da se postepeno pomjera dok se u posmatranom presjeku elemenata ne postigne maksimalni uticaj - postupak koji u stvari predstavlja eksperimentalno iznalaženje najnepovoljnijeg položaja opterećenja.

Pri izboru šeme opterećenja veoma je značajno precizno odrediti eventualni udio susjednih elemenata na nosivost posmatranog elementa, tj. mora se pravilno predvidjeti tok sila.

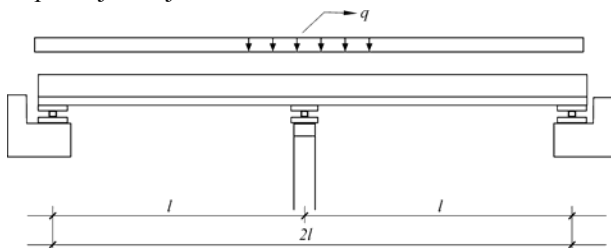
## **4.2. TIPIČNE ŠEME OPTEREĆENJA KOD ISPITIVANJA ELEMENATA KONSTRUKCIJA**

Kada se ispituju elementi konstrukcija, tada je uobičajeno da se za njihovo opterećivanje koriste u odgovarajućoj tehničkoj regulativi definisane šeme opterećenja.

U tom smislu indikativan je standard **Prefabrikovane gredice od glinenih elemenata za izradu međuspratnih odnosno tavaničnih konstrukcija**. Po njemu se ispituju posebno elementi (sklopa), a potom i sama polumontažna tavanica sistema Fert, Monta i tome slično.



Kada se ispituju noseće gredice (rebra) ovakve konstrukcije, opterećenje treba nanositi do loma, prema dispoziciji datoj na slici 1.

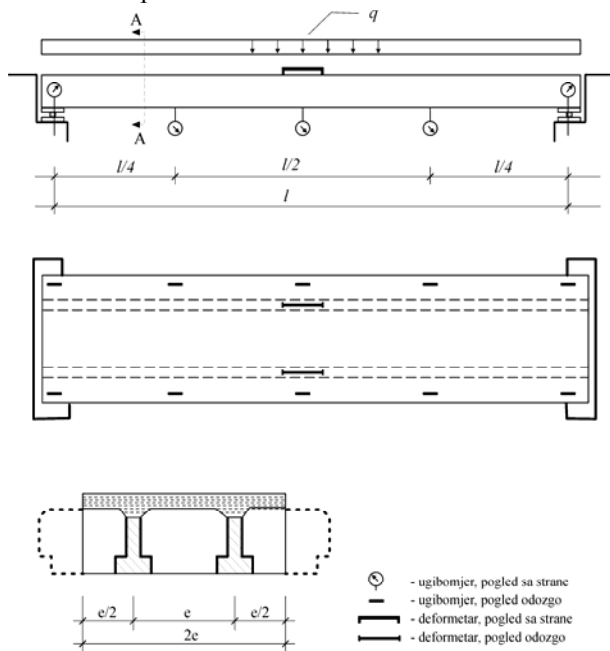


**Slika 1.** Dispozicija pri ispitivanju prefabrikovane gredice

Znači, noseća gredica se ispituje kao kontinualni nosač na dva polja. Raspon polja jednak je predviđenom razmaku podupirača koji se postavljaju u fazi montaže stvarne konstrukcije. Ispitivanje se vrši na dva uzorka.

Provjera kvaliteta samih međuspratnih konstrukcija, odnosno tavanica izvedenih izlivanjem ploče preko prethodno postavljenih prefabrikovanih nosećih gredica, vrši se u drugoj fazi ispitivanja - na modelima u prirodnoj veličini. Raspon modela treba da odgovara odabranom rasponu konstrukcije, a širina modela treba da bude  $b = e + 2 \cdot e/2$ . Znači, model treba da sadrži dvije gredice, simetrično postavljene u odnosu na sredinu presjeka, slika 2.

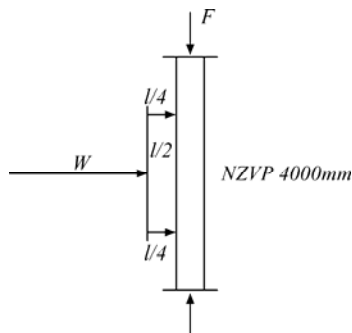
Ispitivanje gotovih tavanica u drugoj fazi treba vršiti na četiri uzorka: na dva uzorka za najveći raspon u proizvodnom programu i na dva uzorka za najčešće korišćeni raspon.



**Slika 2.** Dispozicija ispitivanja međuspratne konstrukcije

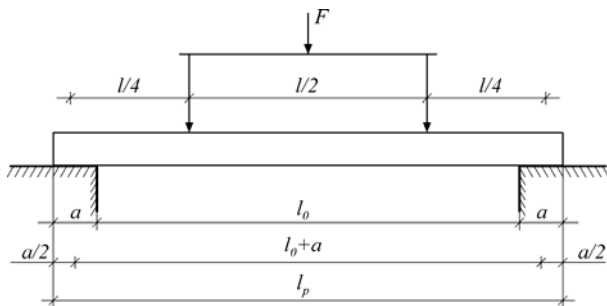
Pored ovog standarda, sa stanovišta definisanja opterećenja koje treba nanijeti tokom ispitivanja, interesantan je i standard koji se koristi kod ispitivanja elemenata od ćelijastog betona: **Ćelijasti beton - armirane zidne ploče od gasbetona i penobetona**. Inače, armirane zidne ploče od ćelijastog betona su prefabrikovani građevinski elementi namijenjeni za izradu nosivih i nenosivih zidova zgrada.

Kada su ovakvi elementi nosivi, ispitivanje koeficijenta sigurnosti prema lomu vrši im se na tri uzorka. Pri tome opterećenje se zadaje kao horizontalno, (veličina  $W_{min} = 1,1 \text{ kN/m}^2$ ) i vertikalno - koje se povećava do loma ispitivanog uzorka. Šema opterećenja prikazana je na slici 3.



**Slika 3.** Šema probnog opterećenja nosive zidne ploče od ćelijastog betona

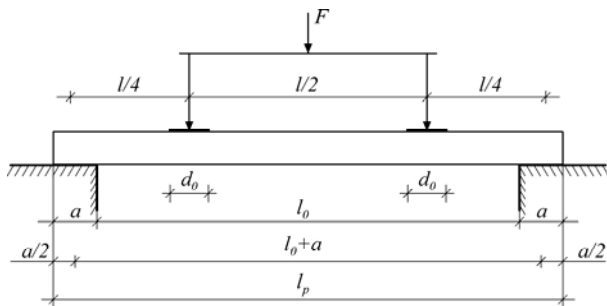
Ako se radi o nenosivim pločama, ispitivanje se vrši tako što se ploča položi na dva oslonca raspona  $l = l_o + a$  - prema statičkom proračunu - s tim da dužina nalijeganja ploče na osloncima iznosi  $a_{min} = l_p/80$ , ali ne manje od 70mm. Pri tome širina nalijeganja mora biti jednaka širini ploče. Opterećenje se nanosi pomoću dva koncentrisana tereta, kako je prikazano na slici 4. - konstantnim prirastom do loma uzorka.



**Slika 4.** Šema probnog opterećenja nenosive zidne ploče od ćelijastog betona

Kada se ovakvi elementi koriste kao krovne i međuspratne ploče, ispitivanje se vrši u skladu sa standardom **Ćelijasti beton - Armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbetona i penobetona**. U toj

situaciji, šema i način opterećenja je manje-više identičan prethodnom, pri čemu dužina preko koje se nanosi opterećenja na elemenat  $d_o$  mora biti tolika da lokalni pritisak betona ispod očekivane veličine sile na ovom mjestu, u času loma ne premašuje 30% pritisne čvrstoće betona, s tim da ova dužina iznosi najmanje 100 mm, slika 5. Pri tome, propisano je da se opterećenje nanosi brzinom reda veličine  $0.035 \text{ kN/sec} = 2.1 \text{ kN/min}$  - sve do dostizanja stanja loma uzorka.



**Slika 5.** Šema probnog opterećenja za krovne i međuspratne ploče od čelijastog betona

### 4.3. O DINAMIČKIM PROBNIM OPTEREĆENJIMA

Konstrukcije se uvijek prvo ispituju statičkim probnim opterećenjem, a zatim, ako je neophodno, tj. propisano, i dinamičkim probnim opterećenjem. Posebno treba naglasiti da probno dinamičko opterećenje svojim ključnim osobinama (recimo brzinom kretanja), ali i ostalim karakteristikama mora odgovarati najnepovoljnijim uticajima kojima je ispitivana konstrukcija podvrgnuta u eksploataciji.

Veoma je značajno napomenuti da **Nacrt pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima** propisuje da je ispitivanje konstrukcije pod dinamičkim opterećenjem, u cilju određivanja dinamičkih karakteristika konstrukcija, neophodno sprovesti za sve inženjerske objekte van kategorije koji se grade u zonama seizmičkog intenziteta VIII i IX stepena. To se posebno odnosi na visoke brane (svih tipova po konstrukciji i materijalu), industrijske dimnjake visine  $H \geq 120\text{m}$ , rashladne tornjeve visine  $H \geq 80\text{m}$ , vodotornjeve kapaciteta  $Q_v \geq 2,000\text{m}^3$ , mostove i vijadukte raspona  $L \geq 50\text{m}$  ili visine stubova  $H \geq 30\text{m}$ , i ostale objekte složenih konstruktivnih sistema (složene konstrukcije ili složeni uslovi fundiranja). Pri tome, ta ispitivanja se sprovode na samim konstrukcijama, znači u njihovoj prirodnoj veličini i in-situ.

Eksperimentalno određivanje dinamičkih karakteristika ovakvih konstrukcija izvodi se korišćenjem prinudnih ili ambijentnih vibracija, koje moraju biti takve veličine da ne dovedu do oštećenja ispitivane konstrukcije.

Međutim, što se tiče mostova, standard **Ispitivanje mostova probnim opterećenjima**, u tom smislu još je strožiji. On kaže da se svi mostovi koje treba ispitivati (vidi poglavlje 2.) uvijek testiraju i statičkim i dinamičkim opterećenjima, sem kada se radi o izuzetnim probnim opterećenjima (vidi poglavlje 4.1) – kada se dinamičko opterećenje ne sprovodi, jer se specijalni tereti preko konstrukcije prevode malom brzinom.

Kod dinamičkih ispitivanja (**Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica**) brzina kretanja probnog opterećenja ne treba da bude manja od 10km/h i treba je povećavati po pravilu za po 20km/h - ili manje ako se radi o kritičnim brzinama koje izazivaju pojavu rezonancije (posebno rezonancije u glavnim podužnim i poprečnim nosačima mosta) – sve do maksimalne brzine na tom dijelu konstrukcije, predviđene projektom . Pri tome odstupanje od propisane brzine ne smije biti veće od  $\pm 5\text{km/h}$ . Za svaku mjernu tačku, za svaku brzinu i za svako opterećenje kojim se konstrukcija ispituje, moraju se predvidjeti bar 4 prelaska opterećenja preko mosta - od kojih po dva za oba smjera vožnje.

Ovaj pravilnik propisuje čak i redoslijed nanošenja opterećenja na konstrukciju. Tako, na dvokolosječnim željezničkim mostovima opterećenje treba da se kreće prvo na jednom kolosijeku, dok drugi kolosjek ostaje neopterećen; u drugoj kombinaciji probno opterećenje prolazi prvim kolosijekom, a na drugom kolosijeku se nalazi probno opterećenje u stanju mirovanja, dok u trećoj kombinaciji oba opterećenja prolaze mostom istovremeno i sa istim smjerom kretanja na oba kolosijeka.

Kao ni druga domaća tehnička regulativa iz ove oblasti, čak ni standard **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**, koji definiše ispitivanja konstrukcija do loma pod statičkim opterećenjem, ne ostavlja mogućnost dinamičkog testiranja do loma, pa se može reći da ono nije pokriveno ni jednim domaćim propisom iz ove oblasti.

## **5. MJERODAVNI PARAMETRI PONAŠANJA KOD OBAVEZNIH ISPITIVANJA KONSTRUKCIJA**

Parametri ponašanja konstrukcije po pravilu se prate u onim presjecima i mjestima konstrukcije gdje su računski naponi, odnosno deformacije, i/ili pomjeranja najveći. Obično je svrha njihovog određivanja potreba preciznog definisanja graničnog stanja nosivosti (loma konstrukcije, uključujući i lom uslijed gubitka



prijanjanja kod AB konstrukcija), graničnih stanja upotrebljivosti (pomjeranja, prslina, napona, deformacija i t.sl.), i/ili upoređenje sa propisanim vrijednostima koje definišu kvalitet ispitivane konstrukcije ili elementa konstrukcije.

## **5.1. PARAMETRI PONAŠANJA KOD STATIČKIH ISPITIVANJA**

Pri ispitivanju statičkim probnim opterećenjem i ispitivanju do loma konstrukcija visokogradnje (**Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**) provjera ponašanja konstrukcije se vrši uz obavezno praćenje veličine nanesenog statičkog opterećenja sa jedne strane, i pomjeranja (uključujući i pomjeranja oslonaca), dilatacija, uglova rotacije presjeka, razvoja i veličine prslina, lokalnih defekata, oštećenja i sl. i, konačno, nivoa opterećenja pri lomu konstrukcije - sa druge strane.

Prilikom statičkog ispitivanja mostova (**Ispitivanje mostova probnim opterećenjima**) vrši se posmatranje manje-više istih parametara ponašanja, pri čemu je obavezno mjerenje vertikalnog ugiba u sredini glavnih nosača svakog raspona mosta, mjerenje pomjeranja (obično slijeganja) oslonaca, posmatranje pojave pukotina, mjerenje deformacija na mjestima očekivanih ekstremnih uticaja, mjerenje trajnih (zaostalih) ugiba i deformacija.

Ovdje mjerenja ugla zaokreta (tj. tangente na elastičnu liniju nosača, krivine presjeka, ugla rotacije presjeka), posebno u mjestima uklještenja, nije obavezno već se, kao i mjerenje horizontalnih pomjeranja, vrši kao dopunsko - što ostaje da bude definisano od strane rukovodioca ispitivanja u programu ispitivanja. Pored ovih mjerenja **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica** ide čak i dalje i propisuje i određivanje ugiba poprečnih nosača i ugiba po jednog od svake vrste ostalih nosača, određivanje napona (obično samo ivičnih) u jako napregnutim mjestima konstrukcije, u nastavcima i spojevima, zatim određivanje pomjeranja pokretnih krajeva glavnih nosača, određivanje deformacije i horizontalnih pomjeranja stubova, određivanje uglova nagiba stubova, deformacija u vezama, spojevima kao i u fugama, zglobovima, naprslinama i dr. Osim toga, ovaj pravilnik nalaže da se za vrijeme trajanja procesa ispitivanja mjeri i temperatura vazduha na suncu i u hladu, a u nekim slučajevima i brzina vjetra.

## **5.2. PARAMETRI PONAŠANJA KOD DINAMIČKIH ISPITIVANJA**

U principu, eksperimentalno određivanje dinamičkih karakteristika obuhvata određivanje perioda oscilovanja, forme (tonova) oscilovanja i prigušenja u konstrukciji,

kako je i navedeno u **Naertu Pravilnika o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima**. Iako se to eksplicitno ne kaže, podrazumijeva se da se prate ne samo vertikalne, već i horizontalne vibracije konstrukcije.

Dinamičko ispitivanje se najčešće sprovodi kod mostovskih i sličnih konstrukcija, i to u skladu sa standardom **Ispitivanje mostova probnim opterećenjima**. Tokom dinamičkog ispitivanja mostova prethodno pomenute dinamičke karakteristike određuju se mjerenjem amplituda i cijelog vremenskog toka vertikalnih ugiba u sredini izabranih raspona glavnog nosača, u toku prelaska i neposredno nakon uklanjanja probnog opterećenja – pri čemu se mjere i brzine kojima to probno opterećenje prelazi preko konstrukcije. Ako se programom ispitivanja traži, mjere se i dinamičke deformacije na mjestima očekivanih ekstremnih uticaja, poprečna i podužna pomjeranja u sredini izabranih raspona, ali i ostale relevantne dinamičke karakteristike konstrukcije. U cilju definisanja koje parametre ponašanja treba posmatrati prilikom sprovođenja dinamičkih ispitivanja značajan je i **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica**, koji propisuje i određivanje dinamičkih napona u konstrukciji – pri čemu se njihovo određivanje ne ograničava samo na glavni nosač, već se dinamička

mjerenja proširuje i na druge elemente konstrukcije. Kod mjerenja horizontalnih vibracija standard preporučuje mjerenja u ravni kolovoza, odnosno na onom pojasu glavnog nosača koji je najbliži kolovozu.

## **6. SREDSTVA ZA MJERENJE PARAMETARA PONAŠANJA KOD OBAVEZNIH ISPITIVANJA**

Mjerni uređaji koji će se koristiti tokom ispitivanja, njihova tačnost i mjesta postavljanja na konstrukciji moraju da odgovaraju potrebama ispitivanja. U tu svrhu tehnička regulativa pominje ekstenzometre, uigibomjere, klinometre, lupe i mnoge druge instrumente, i (ponegdje, i to u manjoj mjeri) daje njihove potrebne karakteristike. Pri tome neophodno je obezbijediti da svi instrumenti koji se u ispitivanjima primjenjuju budu ispravni, baždareni i provjereni na licu mjesta. Na ovom mjestu treba pomenuti samo jedan tip greške: da bi se iz rezultata ispitivanja eliminisale greške u mjerenjima koje se javljaju uslijed temperaturne promjene, moraju se primijeniti i odgovarajući instrumenti ili postupci za kompenzaciju temperature (npr. kompenzacione mjerne trake, [2]).

Minimalna preciznost upotrijebljenih mjernih instrumenata u pojedinim slučajevima je propisana tehničkom regulativom. Tako, na primjer, po još važećem **Pravil-**

**niku o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosećih čeličnih konstrukcija** sredstva za mjerenje ugiba i pomjeranja, uglova uslijed okretanja i savijanja, izduženja i skraćanja, sile, pritiske itd. moraju pri uobičajenim ispitivanjima omogućiti tačnost rezultata do  $\pm 5\%$ , što znači da greška instrumenta  $\delta$  mora biti manja od:

$$\delta \leq \pm 5\%$$

Može se smatrati da je ovaj kriterijum veoma blag i da danas treba težiti znatno preciznijim mjernim sredstvima.

Što se tiče osjetljivosti samih instrumenata, **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica** traži da mjerni satovi - komparateri, imaju osjetljivost (podatak instrumenta) od najmanje 0.1 do 0.001mm. Isti pravilnik definiše i da elektrootporne mjerne trake treba da budu, za čelične mostove, dužine 10 do 25mm; tj. 80 do 200mm, za betonske mostove.

U istom pravilniku je propisan i mjerni opseg instrumenata za ispitivanje dinamičkih uticaja. Tako, ovi mjerni uređaji moraju biti u stanju da izmjere čak i (veoma) visoke frekvenciju do 500Hz (za mjerenja na čeličnim mostovima), tj. 300Hz (za mjerenja na betonskim mosto-

vima), pri čemu greška u mjerenjima ne smije biti veća od +3%, tj. – 5%.

Što se tiče ispitivanja prefabrikovanih, gotovih i polugotovih elemenata konstrukcija, zahtjevi za preciznošću mjernih instrumenata su naizgled malo stroži, pa tako **Tehničke preporuka br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove** kažu da kod ispitivanja betonskih stubova za mjerenje sile treba koristiti dinamometar tačnosti očitavanja najmanje 0,05kN. Za razliku od ovoga, što se tiče preciznosti ugibomjera (tačnosti očitavanja najmanje 0,01mm) i optičkih instrumenata - lupa (tačnosti očitavanja najmanje 0,5mm) ne zahtijevaju se preciznosti veće nego one koje su uobičajene kod ostalih ispitivanja konstrukcija.

Mjerna sredstava za osmatranje indukovane seizmičnosti terena kvalitetno definiše **Pravilnik o tehničkim normativima za seizmičko osmatranje visokih brana**. On propisuje da brane čija je građevinska visina veća od 100m moraju imati mrežu od najmanje tri seizmološke stanice locirane na terenu oko akumulacije, od kojih je jedna trokomponentna, a dvije jednokomponentne. Brane čija je građevinska visina manja od 100m, a veća od 40m, moraju imati najmanje jednu trokomponentnu seizmološku stanicu. Što se same stanice tiče, ona mora

imati seizmometre, prijemnik tačnog vremena, registrator vremenskih istorija i uređaj za reprodukciju i analizu zapisa sa registratorom. Seizmometri za registrovanje brzina ili pomjeranja tla predstavljaju kratkoperiodičnu stanicu za registrovanje zemljotresa sa magnitudom od 1 do 4 po MCS skali. Prijemnik tačnog vremena mora da zabilježi tačan datum, čas, minut i sekund događaja, a registrator mora da obezbijedi kontinuiran zapis vremenskih istorija u trajanju od najmanje 24 časa. Uređaj za reprodukciju i analizu zapisa vremenskih istorija mora da omogući vizuelnu interpretaciju zapisa, preliminarnu obradu i procjenu vremena.

Što se tiče registrovanja samog odgovora tla, temelja i tijela brane na dejstvo zemljotresa, kod brana čija je građevinska visina veća od 60m mora se postaviti mreža od najmanje četiri, za brane između 30 i 60m od najmanje tri, a za brane visine manje od 30m najmanje dva instrumenta - od kojih se jedan postavlja u temelju brane. Ovi instrumenti moraju imati trokomponentni registrator vremenskih istorija ubrzanja (koji mora da ima brzinu dovoljnu da se obezbijedi registrovanje svih spektralnih komponenti u opsegu od 0,10Hz do 33,0Hz; tačnost referentnog signala vremenske ose  $\pm 0,2\%$ ; minimalnu rezoluciju od 1:55, i medijum registrovanja), akselerometre (dinamičkog opsega od 1,0g ili 2,0g, sa

minimalnom rezolucijom od 1:100; frekventnog opseg od 0,10Hz do 33,0Hz; najmanjeg prigušenja 55% od kritičnog prigušenja i poprečnu osjetljivost manju od 3% od aksijalne osjetljivosti senzora) i seizmički starter, koji mora da ima sljedeće karakteristike: pravac osjetljivosti u vertikalnom pravcu ili u sva tri ortogonalna pravca; frekventni opseg od 1,0Hz do 10,0Hz i nivo aktiviranja od 0,005 g do 0,01g - sa mogućnošću kontinuiranog podešavanja;

## 7. PROPISANE PROCEDURE ISPITIVANJA

Procedure sprovođenja ispitivanja, kojima se definišu svi uslovi koje treba ispuniti tokom postupka ispitivanja, predstavljaju izuzetno bitan činilac kvaliteta samog eksperimenta. One u programu ispitivanja moraju biti jasno definisane i, u što je moguće većoj mjeri, ispoštovane tokom samog ispitivanja.

Na samom početku, što se tiče atmosferskih uslova kojima treba težiti tokom ispitivanja, kada se ispitivanja vrše u laboratorijama najbolje je postupiti u skladu sa standardom **Čelijasti beton - armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbeton i penobetona**, koji kaže da ispitivanja treba izvršiti pri temperaturi vazduha u prostoriji od  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  i relativnoj vlažnosti od  $65 \pm 5\%$ . Ovako pogodnim atmosferskim utica-



jima treba težiti i kada se radi o ispitivanjima in-situ, tako da se, po pravilu, preporučuje da se ispitivanja konstrukcija vrše pri mirnom, pomalo oblačnom vremenu.

U principu, organizacija ispitivanja mora biti takva da sam proces ispitivanja bude što kraći, što je od osobite važnosti kod razmatranja temperaturnih uticaja na rezultate mjerenja, kao i za smanjenje vjerovatnoće pojave nepredviđenih situacija koje mogu uticati na tačan rad instrumenata.

Posebno treba napomenuti da se ispitivanje betonskih konstrukcija ne smije vršiti pri starosti betona manjoj od 28 dana.

Samo ispitivanje konstrukcija se obično sprovodi u najmanje dvije faze tokom i nakon kojih se obavezno vrši posmatranje konstrukcije, tj. mjerenje pomjeranja, deformacija i ostalih relevantnih parametara odgovora (**Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**). U prvoj fazi sprovodi se opterećivanje konstrukcije do najvećeg predviđenog probnog opterećenja, koje mora ostati na konstrukciji najmanje 16 časova (kod čeličnih konstrukcija 4 časa). U tom vremenskom periodu, ako se odgovor nije stabilizovao, vrše se najmanje četiri mjerenja posmatranih parametara odgovora, jer je uobičajeno da se probno opterećenje nanosi u najmanje četiri, a opterećenje loma u najmanje deset jednakih koraka. Pri tome, idući korak opterećenja se nanosi tek pošto je došlo do prestanka

prirasta pomjeranja i deformacija (tj. do "stabilizacije odgovora konstrukcije") u prethodnom koraku.

Smatra se da je došlo do prestanka prirasta pomjeranja i deformacije ako je prirast pomeranja i deformacije u periodu od 5 min manji od 15% prethodnog prirasta za isti vremenski period; ili manji od greške mjernog instrumenta. To znači da je najmanja pauza između faza opterećivanja 5 minuta. Ovaj uslov obično nije mjerodavan kada se vrši ručno iščitavanje rezultata (koje obično samo po sebi traje više od 5 minuta), tako da na njega posebno treba obratiti pažnju kod ispitivanja kod kojih se vrši automatska akvizicija rezultata mjerenja.

Kod dinamičkih ispitivanja ova postepenost opterećivanja se obično obezbjeđuje postepenim povećavanjem brzina kretanja tereta po konstrukciji.

U drugoj fazi uklanjanja se opterećenje, tj. vrši se rastećenje, pa se zatim ponovo vrši detaljno mjerenje parametara ponašanja. Nakon toga vrše se mjerenja na ispitivanoj konstrukciji najviše u narednih 16 sati (4 sata kod čeličnih konstrukcija), ili dok se ne dostigne neki od kriterijuma o ispravnosti konstrukcije po kriterijumu zadovoljenja zaostalih ugiba (vidi poglavlje 9.1.).

**Po Pravilniku o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosećih čeličnih konstrukcija** probno opterećenje treba najmanje jedanput ponoviti, da bi se pri analizi rezultata mogao izdvojiti uticaj deformacija, koje mogu biti posledice popuštanja šavova, priključaka, itd.

Kod ispitivanja gotovih elemenata konstrukcije obično se od prve velike serije od 1500 elemenata uzmu tri uzorka istog tipa, pa se ispituju do loma (**Prefabrikovani betonski elementi - Tehnički uslovi za izradu i ugradnju**). Pod istim tipom elementa ovdje se smatraju elementi isti po funkciji, a slični po obliku i dimenzijama poprečnog presjeka. Ako se proizvodi nekoliko vrsta prefabrikovanih elemenata istog tipa, koji se međusobno razlikuju po opterećenju i naprezanjima, ispitaće se ona vrsta elementa koja je izložena najvećim naprezanjima.

Standard **Čelijasti beton - armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbetona i penobetona** propisuje da se nakon očitavanja mjernih instrumenata prije opterećenja, elemenat opterećuje do deklarisanog opterećenja - s tim da prirast opterećenja iznosi  $0.035 \text{ kN/sek}$ . Nakon nanošenja deklarisanog opterećenja  $p$ , odmah se vrši očitavanje stanja na mjernim instrumentima za registraciju pomjeranja. Razlika između ova dva očitavanja instrumenata predstavlja veličinu trenutnog elastičnog ugiba  $v_o$ .

Zanimljivo je da se po ovom standardu u proceduru obaveznog ispitivanja uvodi i funkcija dužine trajanja opterećenja. Naime, nanoseno opterećenje se zadržava na ispitivanom elementu u periodu od 3 mjeseca. Pri tome, propisano je da se ugibi mjere odmah nakon nanošenja opterećenja, zatim prvih 7 dana svakodnevno,

a kasnije svakih 7 dana. Konačna vrijednost ukupnog trajnog ugiba dobija se ekstrapolacijom izmjerenih vrijednosti. Ako se za ekstrapolaciju ne koristi analitički postupak, vrednost ukupnog trajnog ugiba  $v_{\infty}$  izračunava se prema izrazu:

$$v_{\infty} \leq 1.12 v_{90}$$

gdje je  $v_{90}$  - ugib izmjeren nakon 90 dana.

Kada se vrše ispitivanja pojedinačnih elemenata konstrukcija, procedure propisane u **Tehničkoj preporuci br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove** su veoma indikativne pa ih je preporučljivo primjenjivati i za situaciju da za ispitivani elementat nije propisan posebni standard za njegovo ispitivanje. Pomenuti standard propisuje proceduru ispitivanja u tri faze:

- faza stabilizacije oslonaca;
- faza kontrolnog ispitivanja;
- faza tipskog ispitivanja.

Kao što se vidi, po ovom propisu razlikuju se tipsko i kontrolno ispitivanje elemenata, vidi poglavlje 1.4, ref.1.

Faza stabilizacije oslonaca sprovodi se radi svođenja neželjenih efekata oslanjanja (nalijevanje oslonaca, mala pomjeranja i t.sl.), koji utiču na tačnost narednih mjerenja, na najmanju moguću mjeru. Stabilizacija oslonaca

vrši se na način što se ispitivani elemenat optereti do 50% nominalne sile i zatim potpuno rastereti. Tek nakon rasterećenja vrši se očitavanje početnih veličina parametra ponašanja u cilju sagledavanja pravilnog postavljanja stabla.

U fazi kontrolnog ispitivanja vrši se zadavanje probnog opterećenja do vrijednosti nominalne sile, a zatim rasterećivanje. Ovo nanošenje probnog opterećenja vrši se u četiri koraka i to:

- prvi korak od 0% do 50% traženog nivoa opterećenja;
- drugi korak od 50% do 70% traženog nivoa opterećenja;
- treći korak od 70% do 85% traženog nivoa opterećenja;
- četvrti korak od 85% do 100% traženog nivoa opterećenja.

U ovoj fazi ispitivanja opterećenje se u dostignutom nivou zadržava koliko je potrebno da bi se očitale ostvarene veličine, dok se nakon rasterećenja vrši očitavanje zaostalih veličina mjerodavnih parametara ponašanja.

U fazi tipskog ispitivanja vrši se ispitivanje probnim opterećenjem do loma ispitivanog elementa i to u dva koraka: prvi korak od 0% do 180% nominalne sile, i drugi korak od 180% nominalne sile do loma uzorka, nakon čega se ponovo vrši očitavanje parametara ponašanja.

## 8. DEFINISANJE STANJA LOMA

Na ovome mjestu je važno definisati kada se može smatrati da je konstrukcija, u skladu sa definicijama iz relevantnih propisa, došla u fazu loma, tj. eventualno dostigla granično stanje loma.

U tom smislu korisno je pogledati što o tome kaže standard **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje problemnim opterećenjem i ispitivanje do loma**. Po njemu nosivost i stabilnost konstrukcije su glavni kriterijumi stanja loma.

Kao prvo, smatra se da je konstrukcija dostigla granično stanje loma ako pri određenom opterećenju nastupi fizički slom konstrukcije, nekog njenog dijela ili presjeka, ili ako dođe do gubitka stabilnosti konstrukcije ili nekog njenog elementa. Kaže se da je do loma došlo i ako se izolovani lokalni lom nekog elementa konstrukcije, koji sam po sebi ne bi značio i lom cijele konstrukcije, povećava bez daljeg povećanja opterećenja.

Po istom standardu i dostignuti ugibi mogu biti indikator da je konstrukcija došla u stanje loma. Po prvom kriterijumu iz ove grupe, lom se desio ako se prirast pomjeranja ne smanjuje pri konstantnom opterećenju, mjereno tri puta uzastopce u istim vremenskim intervalima.

U principu, ovaj kriterijum u razmatranje uvodi faktor vremena potrebnog za prestanak prirasta deformacija, tj. stabilizaciju deformacija na ispitivanoj konstrukciji. On se posebno treba uzeti u obzir kod ispitivanja betonskih konstrukcija.

Njegova suština najbolje se može sagledati posmatranjem troosnog dijagrama opterećenje – deformacija – vrijeme, slika 6., koji je veoma pogodan upravo za definisanje trenutka loma konstrukcije. Na njemu se vidi da, na primjer, za vremenski period 7–8 ne dolazi do stabilizacije deformacija, već se prirast deformacija ne smanjuje za tri uzastopna mjerenja u istim vremenskim intervalima. Tada kažemo da je došlo do loma konstrukcije.





Po trećem kriterijumu po ugibima kažemo da je došlo do loma konstrukcije ako je tokom opita dostignut ugib  $u_{exp}$  koji je jednak ili prekoračuje 1/50 raspona  $L$  konstrukcije:

$$u_{exp} \geq \frac{L}{50}$$

Prsline, kao kriterijum loma AB konstrukcije posmatraju se u smislu svoje zbirne, ukupne veličine. Tako, stanje konstrukcije za koje zbir pukotina  $\Sigma a_{exp}$  izmjenjenih na dužini od 200mm iznosi više od 1,5mm može se smatrati stanjem loma:

$$\Sigma a_{exp} > 1,5 \text{ mm}$$

Pored prethodnih kriterijuma, i trenutak gubitka priorljivosti između armature i betona na bilo kojem dijelu armature, uz uslov globalizacije loma, može se takođe smatrati trenutkom stanja loma konstrukcije.

Manje više iste kriterijume loma propisuje i **Tehnička preporuka br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove**, pa se može reći da su nabrojani uslovi loma i generalno prihvaćeni u našoj tehničkoj regulativi iz ove oblasti.

