

Prof. dr Nebojša Đuranović, dipl.ing.grad.¹

ANALIZA TEHNIČKE REGULATIVE U OBLASTI ISPITIVANJA KONSTRUKCIJA DIO 2

9. KRITERIJUMI TEHNIČKE ISPRAVNOSTI ISPITIVANIH KONSTRUKCIJA

Kriterijumi tehničke ispravnosti ispitivane konstrukcije, ili elementa konstrukcije, predstavljaju granice u okviru kojih se moraju naći izmjerene (ili na drugi način procijenjene) veličine parametara ponašanja, da bi smo konstrukciju ili element konstrukcije proglasili pogodnim za upotrebu.

9.1. KRITERIJUMI ZADOVOLJAVANJA TEHNIČKE ISPRAVNOSTI ISPITIVANE KONSTRUKCIJE PRI STATIČKOM PROBNOM OPTEREĆENJU

U skladu sa dva najznačajnija propisa iz ove oblasti, standardima **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje**

¹ Građevinski fakultet u Podgorici

probnim opterećenjem i ispitivanje do loma i Ispitivanje mostova probnim opterećenjima, statičkim probnim opterećenjem je utvrđeno da je konstrukcija ispravna ako su zadovoljeni kriterijumi ugiba i (kod AB konstrukcija) kriterijum prslina.

U tom smislu, postoje tri kriterijuma kvaliteta po veličini izmjerenih ugiba. To su kriterijum najvećih izmjerenih ugiba, kriterijum zaostalih ugiba i kriterijum ugiba sa stanovišta funkcionalnosti i estetike.

Po prvom od ova tri kriterijuma najveći, tokom ispitivanja probnim opterećenjem izmjereni ugibi, na mjestu najvećih uticaja, $u_{pr,exp}$ treba da su manji ili jednaki računskim ugibima $u_{pr,rač}$ od istog takvog (probnog) opterećenja:

$$u_{pr,exp} \leq u_{pr,rač}$$

Pri tom se u proračunu ugiba probna opterećenja tretiraju kao kratkotrajna, tj. kod AB konstrukcija zane-maruju se uticaji tečenja i skupljanja. Isti kriterijum je mjerodavan i pri direktnoj primjeni **Pravilnika o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosećih čeličnih konstrukcija**, tj. **Pravilnika o tehničkim mjerama i uslovima za prednapregnuti beton**.

Međutim, na ovome mjestu treba pomenuti i odredbu **Pravilnika o tehničkim normativima za opterećenje**

mostova, koja ograničava ugib glavnog nosača drumskog mosta uslijed dejstva (mirnog) saobraćajnog opterećenja - znači bez dinamičkog koeficijenta - na $L/200$, gdje je L - raspon konstrukcije, što tokom probnog opterećivanja treba obavezno provjeriti.

Jedini domaći pravilnik iz ove oblasti koji dozvoljava prekoračenje vrijednosti ugiba koja je određena proračunom je **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica**. Po njemu, elastični ugib izmjeren pri probnom opterećenju, po pravilu, ne smije prelaziti izračunati ugib za isto opterećenje više od 10%.

Po drugom kriterijumu zasnovanom na kontroli ugiba, kontrolišu se zaostali ugibi u_z . U tom smislu, nakon rasterećenja konstrukciji se ostavlja vremenski period do 16 sati da se povрати što bliže stanju zabilježenom prije otpočinjanja ispitivanja. Vrijednost izmjerenih zaostalih ugiba nakon tog perioda se upoređuje sa najvećim, u toku ispitivanja probnim opterećenjem izmjerenim ugibima na posmatranom mjestu, $u_{pr,exp}$.

Granične vrijednosti prihvatljivih zaostalih ugiba zavise od vrste materijala od koga je konstrukcija napravljena. Pri tome imamo dvije mjerodavne veličine zaostalih ugiba, tj. tri moguća područja. To su:

za čelične i spregnute konstrukcije:

$$15 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 40 \% u_{pr,exp}$$

za prethodno napregnute konstrukcije:

$$20 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 50 \% u_{pr,exp}$$

za armiranobetonske konstrukcije:

$$25 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 50 \% u_{pr,exp}$$

za konstrukcije od drveta:

$$30 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 60 \% u_{pr,exp}$$

za konstrukcije od plastičnih materijala:

$$40 \% u_{pr,exp} \leq u_z \leq 60 \% u_{pr,exp}$$

Ako su zaostali ugibi veći od najvećih vrijednosti za odgovarajući materijal koje su date gore (npr. za AB konstrukcije to je $50\% u_{pr,exp}$), onda konstrukcija ne zadovoljava, tj. prekoračeni su zaostali ugibi. Ako su vrijednosti zaostalih ugiba manje od donje granice raspona datih gore, konstrukcija zadovoljava. Ako zaostali ugibi padaju unutar područja datog gore, probno opterećenje se mora ponoviti.

Prethodno date vrijednosti koje se odnose na čelične konstrukcije u principu se poklapaju sa onima datim i u **Pravilniku o tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosećih čeličnih konstrukcija**, gdje se, međutim, kaže da zaostali ugibi u_z ne smiju rasti pri ponavljanju probnog opterećenja, niti biti veće od 10 - 20% od elastičnih ugiba $u_{max,elas}$ - što obično zavisi od oblika konstrukcije i krutosti spojeva:

$$u_z \leq (0,1 \text{ do } 0,2) u_{\max.\text{elas}}$$

Treba napomenuti da se i po **Pravilniku br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica**, koji se u principu odnosi na čelične mostove, zaostali ugibi ne upoređuju se najvećim izmjerenim, već sa sračunatim elastičnim ugibom. Pri tome zaostali ugib izmjeren pri probnom opterećenju ne smije prelaziti 20% izračunatog elastičnog ugiba - istu vrijednost koju daje i prethodno pomenuti pravilnik.

Pri ponovljenom probnom opterećenju, da bi konstrukcija zadovoljila kriterijume kvaliteta, moraju se postići vrijednosti zaostalih ugiba niže od:

- 7,5% $u_{pr,exp,2}$ - za čelične i spregnute konstrukcije;
- 10% $u_{pr,exp,2}$ - za prednapregnute konstrukcije;
- 12,5% $u_{pr,exp,2}$ - za armiranobetonske konstrukcije;
- 20% $u_{pr,exp,2}$ - za konstrukcije od drveta.

Kod ponovljenog probnog opterećenja pod $u_{pr,exp,2}$ se podrazumijevaju vrijednosti izmjerene nakon drugog probnog opterećenja, mjerene od početnog položaja za to opterećenje - znači, praktično od nivoa zaostalih ugiba od prvog probnog opterećenja - ako u međuvremenu nije došlo do dodatne relaksacije, tj. povratka konstrukcije bliže prvobitnom položaju.

Treći kriterijum po ugibima za zadovoljenje kriterijuma kvaliteta konstrukcije je subjektivne prirode. Po njemu, veličina izmjerenih ugiba se može ocijeniti kao zadovoljavajuća, ako, po ocjeni rukovodioca ispitivanja, ne utiče na funkcionalnost ili estetski izgled konstrukcije.

Kriterijum prslina po kome se utvrđuje podobnost ispitivane konstrukcije za upotrebu u principu se odnosi samo na AB konstrukcije. Po njemu širina najveće prsline, a_{max} , na konstrukciji mora biti manja od one najveće dozvoljene, a_{doz} , po PBAB 87, član 113, tj.:

$$a_{pr,exp} \leq a_{doz}$$

Pravilnik o tehničkim mjerama i uslovima za prednapregnuti beton daje i preciznije kriterijume kvaliteta ispitivanih konstrukcija u vezi prslina, što je sa obzirom na karakter takvih konstrukcija i razumljivo. Tu se eksplicitno traži da otvor najveće u eksperimentu izmjerene prsline $a_{pr,exp}$ nije veći od 0,1mm:

$$a_{pr,exp} \leq 0,1 \text{ mm}$$

kao i da se prsline poslije rasterećenja konstrukcija i elemenata u potpunosti zatvaraju, tj. da je:

$$a_{pr,exp,z} = 0 \text{ mm}$$

Pri tome prsline moraju biti takve da ne ugrožavaju sigurnost konstrukcije pod dinamičkim opterećenjem

niti, posebno ako se ona nalazi u agresivnom okruženju, trajnost konstrukcije.

Kod prednapregnutih konstrukcija postoje i precizni kriterijumi kvaliteta u odnosu na kvalitet ugrađenog betona.

Tako, ako se prilikom kontrolnog ispitivanja kvaliteta betona ugrađenog u prethodno napregnute konstrukcije i elemente utvrdi da beton ne ispunjava uslove u pogledu kvaliteta predviđenog projektom, on se mora naknadno utvrditi na uzorcima izvađenim iz gotove konstrukcije. Kriterijum kvaliteta će biti zadovoljen jedino ako se utvrdi da ti izvađeni uzorci imaju čvrstoću $f_{pr,exp}$ veću ili jednaku čvrstoći betona $f_{pr,rač}$ koja je predviđena projektom:

$$f_{pr,exp} \geq f_{pr,rač}$$

Ako se utvrdi da ti izvađeni uzorci imaju čvrstoću $f_{pr,exp}$ između 80% i 100% od čvrstoće betona $f_{pr,rač}$ predviđene projektom:

$$80\% f_{pr,rač} < f_{pr,exp} < 100\% f_{pr,rač}$$

mora se pristupiti ispitivanju konstrukcije sa dodatnim detaljnim ispitivanjem njenih mjerodavnih presjeka (najjače napregnuti presjeci, mjerodavni presjeci, osjetljivi elementi konstrukcije i sl.).

Ako se tim dopunskim ispitivanjem konstrukcije utvrdi da najveći izmjereni ugibi i naponi u konstrukciji

($u_{max,exp}$ i $\sigma_{max,exp}$) ne prelaze vrijednosti ugiba i napona predviđenih projektom ($u_{max,rač}$ i $\sigma_{max,rač}$) za više od 15%:

$$u_{max,exp} \leq 1,15 u_{max,rač}$$

$$\sigma_{max,rač} \leq 1,15 \sigma_{max,rač}$$

takve konstrukcije mogu se staviti u eksploataciju.

Prednapregnuta konstrukcija je tehnički neispravna ako se ispitivanjem uzoraka izvađenih iz gotove konstrukcije utvrdi da je čvrstoća betona $f_{pr,exp}$ manja od 80% od čvrstoće betona predviđene projektom $f_{pr,exp}$:

$$f_{pr,exp} < 80\% f_{pr,rač}$$

Takva prednapregnuta konstrukcija se može staviti u eksploataciju samo pod uslovom da se prethodno sanira ili izvrši potrebno smanjenje njenog nominalnog eksploatacionog opterećenja.

Kod definisanja koje izmjerene vrijednosti parametara ponašanja treba upoređivati sa propisanim kriterijumima, korisno je znati da **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica** propisuje da za male razlike u vrijednostima parametara ponašanja pod puzećom vožnjom (koja se kvalifikuje kao statičko opterećenje, vidi poglavlje 4.1.) u oba smjera, kao tačna vrijednost mjerenja uzima srednja vrijednost dva uzastopna para vožnji. Za veće razlike vrijednosti se analiziraju posebno za svaki smjer vožnje, tj. za svaki uzastopni par vožnji u jednom smjeru.

Na kraju treba reći da, u principu, svi domaći propisi iz ove oblasti određuju da ako samo jedan od navedenih kriterijuma (nakon provjera svih uslova i korišćenja svih mogućnosti ispitivanja, uključujući i dopunska, ponovljena i tome slično) nije zadovoljen, kažemo da konstrukcija ne ispunjava kriterijume kvaliteta.

9.2. KRITERIJUMI ZADOVOLJAVANJA TEHNIČKE ISPRAVNOSTI ISPITIVANE KONSTRUKCIJE PRI OPTEREĆENJU DO LOMA

Osnovni kriterijumi kvaliteta ispitivanih konstrukcija kada se ispitivanje vrši do loma mogu se naći u standardu **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**. Pri tome, ponovo treba naglasiti, da se ispitivanjem do loma testira samo reprezentativna konstrukcija (ili montažni tj. prefabrikovani element koji se pravi u većim serijama, vidi poglavlje 2.), koja se ponaša na isti način kao i njoj odgovarajući objekat ili konstruktivni elemenat.

Postoje tri grupe uslova koji definišu da li je reprezentativna konstrukcija koja se ispituje do loma bila tehnički ispravna ili ne. To su kriterijum nosivosti, kriterijum ugiba i kriterijum ostalih parametara graničnih stanja.

Prva grupa neophodnih uslova kvaliteta, znači, provjerava nosivosti konstrukcije u fazi loma. U tom smislu, smatra se da je konstrukcija ispitana do loma zadovoljila u odnosu na nosivost ako je u opitu lom konstrukcije nastupio pri opterećenju f_{gr} koje je jednako ili veće od projektom predviđenog opterećenja loma $f_{ult.rač}$:

$$f_{loma,exp} \geq f_{loma,rač}$$

Po kriterijumu ugiba konstrukcija će biti proglašena tehnički ispravnom ako su izmjereni ugibi na mjestima najvećih uticaja $u_{loma,exp}$ manji ili jednaki teoretskim računskim ugibima $u_{loma,rač}$ pod nanesenim opterećenjem:

$$u_{loma,exp} \leq u_{loma,rač}$$

Pri tome se, kao i kod kriterijuma kvaliteta koji su dati za statičko probno opterećenje, tokom proračuna ugiba probna opterećenja tretiraju kao kratkotrajna, tj. kod AB konstrukcija zanemaruju se uticaji reologije betona, tečenja i skupljanja.

Da bi konstrukcija zadovoljila moraju biti zadovoljeni i ostali, eventualno propisani, kriterijumi u pogledu graničnih stanja nosivosti (uključujući i stabilnost) i upotrebljivosti (uključujući i deformacije, prsline i pomjeranja).

9.3. KRITERIJUMI ZADOVOLJAVANJA TEHNIČKE ISPRAVNOSTI ISPITIVANE KONSTRUKCIJE PRI DINAMIČKOM PROBNOM OPTEREĆENJU

Pri dinamičkom ispitivanju mosta, da bi konstrukcija bila proglašena tehnički ispravnom (**Ispitivanje mostova probnim opterećenjima**), moraju biti ispunjeni sledeći kriterijumi:

- da vibracije ne stvaraju kod korisnika osjećaj neugodnosti (pojave podrhtavanja, rezonance, amplitude pomjeranja i frekvencija koja izaziva osjećaj neugodnosti i sl.);
- da se dinamički koeficijent uvećanja $K_{d,izm}$ određen iz rezultata ispitivanja kreće u granicama onog predviđenog projektom, $K_{d,rač.}$:

$$K_{d,izm} \approx K_{d,rač.}$$

- da se izmjerene periode slobodnih oscilacija $t_{o,izm}$ nalaze u granicama teorijskih vrijednosti $t_{o,rač.}$, to jest:

$$t_{o,izm} \approx t_{o,rač.}$$

Takođe treba znati da je u **Pravilniku o tehničkim normativima za opterećenje mostova** rečeno da sopstvene frekvencije konstrukcije pješačkog mosta bez opterećenja ne smiju biti u opsegu od 0.8Hz do 5.5Hz, što pri ispitivanju konstrukcije treba obavezno provjeriti.

Jedino **Pravilnik br. 315 o održavanju donjeg stroja pruga jugoslovenskih železnica** daje kriterijum za kontrolu veličine amplitude (zbir maksimalnog udaljena u jednom, $u_{d,max,+}$, i u drugom pravcu, $u_{d,max,-}$, oscilovanja posmatrane tačke konstrukcije u odnosu na ravnotežni položaj), koja se može tolerisati prilikom dinamičkog ispitivanja i, što je zanimljivo, ona se odnosi na horizontalno pomjeranje konstrukcije. Taj kriterijum je da polovina amplitude horizontalne oscilacije u sredini čeličnih glavnih nosača po pravilu ne smije premašiti 1/10.000-ti dio raspona konstrukcije L :

$$0,5 (u_{d,max,+} + u_{d,max,-}) \leq 0,00001 L$$

Pri tome ovaj Pravilnik kaže da za mostove u krivini treba voditi računa i o bočnom ugibu uslijed uticaja centrifugalne sile.

Sračunavanje prethodno pomenutih dinamičkih karakteristika iz izvršenih mjerenja pod dinamičkim opterećenjem nekad je moguće izvršiti na više načina. Te načine domaći propisi čak ni implicitno ne definišu, pa će o njima biti više riječi na nekom drugom mjestu - kada se bude govorilo o dinamičkom ispitivanju konstrukcija.

10. KRITERIJUMI TEHNIČKE ISPRAVNOSTI KOD ISPITIVANJA ELEMENATA KONSTRUKCIJA

Ovi kriterijumi prvenstveno se odnose na sve forme prefabrikovanih i ostalih elemenata konstrukcija koji se proizvode u većim serijama, ali (eventualno) i na izdvojeni dio konstrukcije koji je napravljen od ovakvih elemenata.

10.1. PROPISANI KOEFICIJENTI SIGURNOSTI OD LOMA KOD ISPITIVANJA ELEMENATA KONSTRUKCIJA

U skladu sa standardom **Čelijasti beton - armirane zidne ploče od gasbetona i penobetona** koeficijent sigurnosti γ_u (za vertikalno opterećenje) dobija se kada se vertikalno opterećenje postignuto pri lomu ploče (sila loma) F_u , podijeli sa dopuštenim vertikalnim opterećenjem F_{dop} za tu vrstu ploče:

$$\gamma_u = \frac{F_u}{F_{dop}}$$

Za zidne vertikalne ploče i za zidne horizontalne ploče utvrđivanje koeficijenta sigurnosti prema lomu γ_u od opterećenja upravnog na srednju površinu ploče se vrši prema izrazu:

$$\gamma_u = \frac{G + F_u}{blw}$$

gdje je:

G - težina ploče;

F_u - sila loma;

b - širina ploče;

l - raspon ploče;

w - opterećenje vjetrom ($w_{min}=1,1$ kN/m² upravno na ravan ploče),

Vrijednosti koeficijenta sigurnosti za nosive zidne ploče treba da iznosi min 4.0, a za nenosive 1.8. Pri tome, najviše jedan od tri ispitivana uzorka može odstupati do 20% od traženog koeficijenta sigurnosti.

Kod krovnih i međuspratnih ploča od ovog materijala **(Čelijasti beton - armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbetona i penobetona)** koeficijent sigurnosti prema lomu γ_u se određuju se iz izraza:

$$\gamma_u = \frac{G + F_u}{G + blw}$$

gdje su oznake iste kao one koje su prethodno date. Koeficijent sigurnosti od loma ploče pri savijanju mora iznositi 1,8 a pri smicanju 2,1.

Nosivost nearmiranih betonskih prefabrikovanih elemenata mora se dokazati eksperimentalnim ispitivanjem do loma, u odnosu na projektovano eksploataciono opterećenje (**Prefabrikovani betonski elementi - tehnički uslovi za izradu i ugradnju**), primjenjujući koeficijent sigurnosti 2,5. Eksperimentalno utvrđeni koeficijenti sigurnosti na lom za armiranobetonske prefabrikovane elemente moraju biti najmanje:

- 1,8 - za elemente izložene savijanju ili velikom ekscentricitetu;
- 2,2 - za elemente izložene pritisku ili pritisku sa malim ekscentricitetom;
- 2,4 - za elemente izložene zatezanju;
- 2,4 - za elemente izložene smicanju (od poprečne sile ili torzije), odnosno smatra se da postoji dovoljna sigurnost prema lomu od smicanja ako elemenat/konstrukcija ne popusti na smicanje prije nego što popusti na savijanje, koje istovremeno djeluje.

I po standardu **Prefabrikovane gredice od glinenih elemenata za izradu međuspratnih odnosno tavaničnih konstrukcija** uslovi kvaliteta gredica (koje formiraju rebra takve međuspratne konstrukcije) definisani su samo na osnovu potrebnog koeficijenta sigurnosti na lom. Tako, za svaki predviđeni razmak

podupirača pri montaži, gredica mora da ima potreban koeficijent sigurnosti na lom u kritičnom presjeku γ_s :

$$\gamma_s = \frac{S_{g,g} + S_{g,e}}{S_{g,g} + \Delta g} \geq 2.6$$

gdje je:

$S_{g,g}$ - računski uticaj u kritičnom presjeku grede od sopstvene težine,

$S_{g,e}$ - eksperimentalno utvrđeni uticaj u kritičnom presjeku grede pri lomu od opterećenja nanijetog pri ispitivanju,

$S_{g,g} + \Delta g$ - računski uticaj u kritičnom presjeku grede od ukupnog opterećenja u fazi montaže (sopstvena težina grede, težina elemenata ispune i betona).

Za formiranu, tj. izlivenu međuspratnu konstrukciju napravljenu od ovakvih elemenata, u kritičnom presjeku mora biti ispunjen uslov:

$$\frac{S_{t,g} + S_{t,e}}{1,6(S_{t,g} + \Delta g) + 1,8S_{t,p}} \geq 1$$

gdje je:

$S_{t,g}$ - računski uticaj u kritičnom presjeku tavanice od izmjerene sopstvene težine,

- $S_{t,e}$ - eksperimentalno utvrđeni uticaj u kritičnom presjeku tavanice pri lomu od opterećenja nanijetog pri ispitivanju,
- $S_{t,g} + \Delta g$ - računski uticaj u kritičnom presjeku tavanice od izmjerene sopstvene težine sa predviđenom podnom i plafonskom oblogom,
- $S_{t,p}$ - računski uticaj u kritičnom presjeku tavanice od predviđenog korisnog opterećenja.

10.2. OSTALI KRITERIJUMI KVALITETA KOD ISPITIVANJA ELEMENATA KONSTRUKCIJA

Uslovi kvaliteta međuspratne konstrukcije napravljene u skladu sa standardom **Prefabrikovane gredice od glinenih elemenata za izradu međuspratnih odnosno tavaničnih konstrukcija**, pored kontrole potrebnog koeficijenta sigurnosti na lom, definisani su i na osnovu ostvarenih ugiba gotove međuspratne konstrukcije. Za tavanice izrađene od prefabrikovanih gredica, ugib (za deklarirano opterećenje) mora da bude manji od dozvoljenog:

$$U_{t,g+p} \leq U_{doz}$$

gde je:

$U_{t,g+p}$ - računski maksimalni uglob u polju pri opterećenju $g + p$ (stalno + pokretno), uzimajući u obzir vremenske deformacije betona,

U_{doz} - dozvoljeni uglob za fazu eksploatacije, diktiran estetskim i funkcionalnim zahtjevima,

$$U_{doz} = L/200$$

gdje je L statički raspon međuspratne konstrukcije, odnosno tavanice.

I po standardu **Čelijasti beton - armirane krovne i međuspratne ploče od autoklaviranog gasbetona i penobetona**, provjeravanje ugiba vrši se u principu na isti način, utvrđivanjem ukupnog trajnog ugiba v_{∞} , koji ne smije biti veći od graničnog (dopuštenog) ugiba v_g :

$$v_{\infty} \leq v_g$$

Dopušteni uglob v_g određuje se u funkciji raspona L ploča kao $v_g = L/k_g$ gdje je k_g koeficijent koji, u zavisnosti od vrste konstrukcije u kojoj se koristi i raspona, iznosi 200 ili 300.

Kod tipskih ispitivanja stubova za struju (**Tehnička preporuka br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove**) koriste se drugačiji kriterijumi kvaliteta, definisani u odnosu na najveće projektno opterećenje i u odnosu na lom ispitivanog elementa.

Tako pri punom projektnom opterećenju pomjeranje u vrhu stuba ne smije biti veće od projektovane vrijednosti, širina prslina ne smije biti veće od 0,2mm, ne smije doći do drobljenja betona na pritisnutoj strani stuba (tj. izmjerena dilatacija betona na pritisnutom dijelu ne smije biti veća od 3.5‰) i izmjerena dilatacija zategnute armature ne smije preći 10‰.

Kod kontrolnih ispitivanja u trenutku dostizanja projektnog opterećenja, kao ni nakon rasterećenja, nijedan od prethodno pomenutih parametara ponašanja ne smije da ima vrijednosti lošije od vrijednosti utvrđenih tipskim ispitivanjem.

Da bi neki stub dobio pozitivnu ocenu na bilo tipskom, bilo kontrolnom ispitivanju, sva tri ispitivana uzorka moraju da zadovolje prethodno propisane kriterijume kvaliteta. Ako jedan od njih podbaci, po ovom pravilniku, treba izvršiti ispitivanje tri nova uzorka – kada opet sva tri moraju zadovoljiti propisane kriterijume da bi stub dobio pozitivnu ocjenu. Ovo ponavljanje ispitivanja je dozvoljeno izvršiti samo jednom.

Inače iste kriterijume zadovoljavanja kvaliteta u odnosu na broj testiranih uzoraka propisuje i standard **Prefabrikovani betonski elementi - tehnički uslovi za izradu i ugradnju.**

11. O KONTROLI I PRAĆENJU PONAŠANJA KONSTRUKCIJA TOKOM EKSPLOATACIJE

Sve konstrukcije moraju se održavati u stanju projektom predviđene sigurnosti i funkcionalnosti. Kako se to me kod nas u zadnje vrijeme pridaje veoma malo ili nimalo pažnje, ovo mjesto će se iskoristiti da se navede par osnovnih dokumenata tehničke regulative koji propisuju procedure praćenja i kontrole ponašanja konstrukcija, a koji su indikativni i kao takvi mogu poslužiti za definisanje postupaka koje treba izvršiti da bi se moglo reći da se vrši praćenje ponašanja konstrukcije tokom upotrebe.

Tako recimo **Pravilnik o sadržini i načinu osmatranja tla i objekata u toku građenja i upotrebe, "Službeni list RCG" br. 54, iz novembra 2001 godine**, koji je jedan od bazičnih dokumenata tehničke regulative iz ove oblasti, utvrđuje sadržinu i način osmatranja (kao šireg pojma od pojma ispitivanja) ponašanja tla i objekta u toku građenja, ali i eksploatacije objekta. Iz samog naslova proizilazi da, u principu, sva dugotrajna ispitivanja konstrukcija pod eksploatacionim opterećenjima treba zasnivati na njemu.

Njime je utvrđeno da se ponašanje konstrukcije prati ili samo vizuelnim opažanjem ili kombinacijom vizuelnog opažanja i mjerenja pomoću instrumenata. Pravilnik definiše da se potreba za osmatranjem ponašanja tla i

objekta utvrđuje još u tehničkoj dokumentaciji. U situaciji da je ono potrebno, na istom mjestu, u posebnom projektu treba propisati i sadržinu i način osmatranja. Rezultati osmatranja, sem toga što služe za ocjenu ukupnog stanja tla i objekta, služe i za blagovremeno ustanovljavanje tendencija promjena ponašanja tla i objekta i, u tom smislu, zajedno sa drugim faktorima, za određivanje potrebnih mjera za obezbjeđenje sigurnosti objekta u toku građenja i upotrebe.

Idejni projekat osmatranja ponašanja tla i objekta u toku građenja i upotrebe treba da sadrži predmet i koncepciju osmatranja, program, metode i obim osmatranja, kao i predmjer i predračun za radove osmatranja ponašanja tla i objekta.

Glavni projekat osmatranja ponašanja tla i objekta, prema ovom Pravilniku, treba da sadrži:

- projektni zadatak;
- predmet osmatranja ponašanja tla i objekta;
- projekat geodetskih radova osmatranja;
- mjerna mjesta, instrumente za mjerenje, plan i program mjerenja;
- serije osmatranja i vremenski plan osmatranja u toku građenja i upotrebe objekta;
- način obrade mjerenja, prikazivanja rezultata i formiranja dokumentacije o osmatranjima;

- kriterijume za upoređivanje rezultata mjerenja sa dozvoljenim vrijednostima;
- zahtjeve za održavanje mjernih mjesta i instrumenata u periodu osmatranja;
- način praćenja i interpretacije rezultata osmatranja ponašanja tla i objekta; i
- tehničke uslove realizacije projekta, predmjer i predračun radova.

I Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton propisuje da se još u glavnom projektu konstrukcije određuje učestalost kontrolnih pregleda konstrukcije tokom eksploatacije. Po njemu vremena ponavljanja tih kontrolnih pregleda ne smiju biti duža od:

- 10 godina - za javne i stambene zgrade;
- 5 godina - za industrijske objekte;
- 2 godine - za mostove.

Ovakvi kontrolni pregledi su zamišljeni kao dvo-stepeni. Prvi stepen kontrole čini vizuelni pregled, koji obuhvata i snimanje položaja i veličina eventualnih prslina i pukotina, kao i ostalih oštećenja bitnih za sigurnost konstrukcije. Drugi stepen kontrole čini i kontrola ugiba glavnih nosećih elemenata konstrukcija pod stalnim opterećenjem. Dvostepenost se ogleda u tome da tek ako se na osnovu prvostepenog pregleda utvrdi da je sigurnost konstrukcije eventualno smanjena u odnosu na projektovanu, treba obaviti drugostepenu kontrolu.

U tehničkoj regulativi obično nije propisano ko i koliko često treba da vrši kontrole. Kao mjerodavna može se uzeti tabela 2.1., koja je napravljena za potrebe kontrole mostova, pri čemu svaku od pobrojanih vrsta pregleda (tekući, redovni, itd) treba definisati još tokom izrade projekta.

Preglede treba da obavljaju stručna lica, koja su imenovana od strane institucije koja održava predmetni objekat.

Tako na primjer, smatra se da tekuće preglede može obavljati i rukovodilac ili ovlašteno lice same organizacije koja održava objekat, redovne kontrole njena tročlana komisija, a glavne kontrole i ispitivanja probnim opterećenjem samo za to specijalizovane institucije ili preduzeća.

VRSTA PREGLEDA	UČESTALOST OBAVLJANJA PREGLEDA TOKOM JEDNE GODINE								
vrijeme obavljanja (nakon izgradnje)	god. 1	god. 2	god. 3	god. 4	god. 5	god. 6	god. 7	god. 8	...
tekući	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	...
redovni		*		*		*		*	...
glavni			*				*		...
ispitivanje probnim opterećenjem	*	po potrebi							

Tabela 2.1. - Primjer vremenskog rasporeda osmatranja ponašanja mostova tokom eksploatacije

Na kraju ove knjige dato je nekoliko primjera izrade Projekata osmatranja tla i objekata u toku građenja i upotrebe – vidi ref. 1, Primjeri broj 1 do 4.

12. DOKUMENTACIJA O ISPITIVANJU

Svako sprovedeno ispitivanje mora biti praćeno odgovarajućim izvještajem.

Izrada izvještaja o sprovedenim ispitivanjima obično počinje još tokom samog procesa ispitivanja, ili čak i prije toga kroz prethodnu pripremu izvještaja. U tom smislu, rukovodilac ispitivanja mora unaprijed organizovati upisivanje podataka sa ispitivanja, koje saradnici u toku procesa ispitivanja treba da unose u za to posebno pripremljene formulare. Pri tome, svaki saradnik treba da unosi podatke o dijelu ispitivanja za koji je zadužen. Ovi zapisnici sa ispitivanja obično sadrže podatke o konstrukciji koja se ispituje, posmatranim presjecima i mjernim tačkama, o mjernim instrumentima, veličinama mjerenja, kao i ostale potrebne podatke i napomene o samom toku ispitivanja (dan, sat, vremenski uslovi kada je ispitivanje vršeno i tome slično).

Posebno je značajno u formulare unijeti sve podatke o postupcima i događajima koji izazivaju odstupanje od

predviđenog Programa ispitivanja, jer oni mogu biti posebno značajni kod analize podataka sa ispitivanja.

Nakon završenog ispitivanja, ili jedne faze ispitivanja, rukovodilac ispitivanja pristupa izradi samog Izvještaja o ispitivanju.

12.1. IZVJEŠTAJ O SPROVEDENOM ISPITIVANJU KONSTRUKCIJE

Izvještaj o izvršenom ispitivanju se piše kao Privremeni ili kao Konačni izvještaj.

Tako, na primjer, standard **Ispitivanje mostova probnim opterećenjima**, predviđa izradu Privremenog izvještaja o ispitivanju u kojem se daju samo osnovni podaci o ispitivanju i preliminarni zaključak o podobnosti konstrukcije za preuzimanje projektnog opterećenja. Sa druge strane, jedan od takođe bazičnih standarda iz ove oblasti, standard **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**, takvu mogućnost ne ostavlja, tj. ne predviđa izradu privremenog izvještaja o ispitivanju. Međutim, zbog praktične potrebe, u praksi se odomaćilo, što se može smatrati sasvim opravdanim, da je izdavanje privremenog izvještaja moguće i potrebno učiniti i kod ispitivanja probnim opterećenjem drugih konstrukcija, a ne samo mostova.

Sam Privremeni izvještaj mora da definiše, sem pret-hodno navedenih sadržaja, i propisani rok za koji važi nakon koga ga treba zamijeniti Konačnim izvještajem.

Konačni izvještaj o sprovedenom ispitivanju je obično mnogo sadržajnije i detaljniji od Privremenog izvještaja. On obično treba da sadrži sledeće informacije:

- podatke o odgovornom rukovodiocu ispitivanja, kao i o članovima ekipe koja je vršila ispitivanje;
- datum ispitivanja;
- sve relevantne opšte podatke o ispitivanoj konstrukciji, uključujući i one o nazivu objekta, projektantima, izvođaču, godini izgradnje, itd.
- podatke o uslovima pod kojima je izvršeno ispitivanje (recimo meteorološke podatke, podatke o prekidima tokom ispitivanja, i sve ostale podatke toga tipa koji bi mogli da utiču na rezultate i kvalitet sprovedenog ispitivanja);
- podatke o namjeni i svrsi ispitivanja;
- kratak opis ispitivane konstrukcije;
- podatke o postupku ispitivanja;
- podatke o karakteru, veličini i ostalim karakteristikama korišćenog probnog opterećenja;
- podatke o upotrijebljenim instrumentima i ostalim sredstvima za ispitivanje;
- podatke o stanju konstrukcije prije i poslije ispitivanja;

- potrebne računske analize i uporedni računski proračun za opterećenja nanescna tokom ispitivanja;
- podatke o izvršenim mjerenjima u toku ispitivanja, tj. rezultate ispitivanja - koji se obično prikazuju tabelarno i/ili grafički, na dijagramima;
- analizu dobijenih rezultata;
- upoređenje rezultata ispitivanja sa računskim podacima, takođe prikazane tabelarno i grafički (izmjerene prema računskim vrednostima);
- upoređenje i dodatnu analizu najkarakterističnijih računski dobijenih i izmjerenih veličina, i
- kratak i jasan Zaključak o ponašanju, sigurnosti i podobnosti konstrukcije za upotrebu, prvenstveno u smislu izjašnjenja ispitivača o zadovoljenju kriterijuma tehničke ispravnosti, tj. mogućnosti ispitivane konstrukcije da preuzme projektom predviđena opterećenja i odgovori svojoj namjeni.

U Primjerima broj 7 i 8 na kraju ove knjige dati su Izvještaji o sprovedenim ispitivanjima nekoliko karakterističnih objekata.

Kod čeličnih konstrukcija Izvještaj o ispitivanjima ponekad se daje u formi **Atesta**, koji može imati oblik prethodno propisanih formula.

Izvještaji o sprovedenom ispitivanja mogu se davati i u nekoj drugoj formi, recimo kao Zapisnik o kontroli nepropustljivosti, (vidi Pravilnik **Skladištenje nafte i naftnih derivata - vertikalni cilindrični nadzemni rezervoari, zavareni sa ravnim dnom i nepomičnim ili plivajućim krovom**) kada je potrebno dati neke dodatne, posebno precizirane podatke, kao što su, recimo u ovoj situaciji, podaci o ispitivanju dna rezervoara, plašta rezervoara, ojačanja krova rezervoara, dopunski podaci o primijenjenom načinu ispitivanja i tome slično.

12.2. IZVJEŠTAJI O KVALITETU PROIZVODA KOD ISPITIVANJA ELEMENATA KONSTRUKCIJA

Kao indikativan, u smislu sadržaja izvještaja koji prate ispitivanje elemenata konstrukcija koji se proizvode u većim serijama, može se posmatrati standard **Pre-fabrikovane gredice od glinenih elemenata za izradu međuspratnih odnosno tavaničnih konstrukcija**. Postupci predviđeni u njemu poslužiće kao osnova za preporučeni sadržaj dokumenta koji u potpunosti garantuje kvalitet proizvoda, i koji se daje u obliku "Dokaza o izvršenom ispitivanju". Pri tome sam "Dokaz o izvršenom ispitivanju" obuhvata više dijelova.

Prvenstveno, on treba da sadrži "Izvještaj o kvalitetu materijala" kojim se dokazuje da je proizvedeni elemenat primjenljiv sa aspekta sastavnih materijala i njihovih karakteristika. U tom smislu, kvalitet upotrijebljenog materijala utvrđuje se prema odgovarajućim standardima za ispitivanje materijala, ali se može zasnivati i na atestima proizvođača predmetnih materijala ili djelova ispitivanog elementa.

Njegov drugi dio predstavlja "Izvještaj o izvršenom ispitivanju" koji se zasniva na "Izvještaju o utvrđivanju nosivosti elementa", "Izvještaju o utvrđivanju kvaliteta izvedenih konstrukcija", kao i "Izvještaju o periodičnom ispitivanju".

"Izvještaj o utvrđivanju nosivosti elementa" se daje na osnovu rezultata ispitivanja samog elementa (recimo, za slučaj ispitivanja gredica Fert tavanica kao "Izvještaj o utvrđivanju nosivosti prefabrikovanih gredica").

"Izvještaj o utvrđivanju kvaliteta izvedenih konstrukcija" odnosi se na primjenjivost konstrukcije u koje se ispitivani elemenat ugrađuje i on se daje na osnovu rezultata ispitivanja izvedenih na predmetnim konstrukcijama - recimo, u gore pomenutom slučaju, kao "Izvještaj o utvrđivanju kvaliteta izvedenih međuspratnih Fert tavanica".

"Izvještaj o periodičnom ispitivanju" se izdaje na osnovu obavljenog periodičnog ispitivanja elemenata na koje se odnosi - u ovoj situaciji to bi bio "Izvještaj o

periodičnom ispitivanju gredica Fert tavanice". Njegov smisao je da služi kao potvrda kontinuiteta u kvalitetu proizvodnje posmatranih elemenata. Ovakva periodična ispitivanja se vrše obično najmanje jednom godišnje.

Sličan postupak opisan je i u **Tehničkim preporukama br 10a - opšti tehnički uslovi za projektovanje, proizvodnju i korišćenje betonskih stubova za nadzemne elektroenergetske vodove**. Po njima izvještaj o ispitivanju stubova sastoji se iz dva dijela: "Izveštaja o tipskom ispitivanju stabla betonskog stuba", pri čemu se (kao skraćena verzija) izdaje "Izvod iz izvještaja o tipskom ispitivanju stabla betonskog stuba" – u kojem treba da su dati samo osnovni podaci sa ispitivanja. Drugi dio predstavlja "Izvještaj o kontrolnom ispitivanju stabla betonskog stuba" koji predstavlja izvještaj o periodičnim (jednom godišnje) ispitivanjima koja obezbjeđuju potvrdu o kontinuitetu kvaliteta proizvodnje. On po svojoj suštini odgovara prethodno pomenutom "Izvještaju o periodičnom ispitivanju".

U Primjeru broj 9 na kraju ove knjige dat je karakteristični Izvještaj o tipskom ispitivanju betonskih stubova elektroenergetskih vodova.

Međutim, treba uvijek imati na umu da se informacije u izvještajima o sprovedenim ispitivanjima veoma razlikuju i uslijed različite prirode materijala od kojih su elementi i konstrukcije napravljene. Tako, kod pojedinih elemenata konstrukcija, kao recimo kod onih

koje se ispituju u skladu sa standardom **Projektovanje i izvođenje drvenih konstrukcija - lamelirane lepljene konstrukcije**, u izvještajima treba pružiti i informacije poput: vrste drveta od koga je elemenat napravljen i njegove klase, vlažnosti lamela prilikom lijepljenja, vrste lijepka kojom je izvršeno lijepljenje lamela, tj. da li lijepak zadovoljava eksploatacione uslove, najmanje i najveće debljine lamela, temperature i vlažnosti vazduha prostora u kojem je izvršena polikondenzacija lijepka, veličine pritiska u presama za vrijeme polikondenzacije lijepka, izgled spoljašnjeg lica i geometrija lameliranog lijepljenog nosača u odnosu na projektovanu geometriju i rezultata ispitivanja smicajne čvrstoće u spoju lijepka, a za izuzetne konstrukcije (konzole raspona preko 15m, ravni nosači preko 30m i lukovi preko 60m dužine) i veličinu čvrstoće na zatezanje u sloju lijepka i uzdužnim spojevima lamela.

13. UPOREĐENJE NAŠIH I NEKIH STRANIH PROPISA IZ OVE OBLASTI I NJIHOVA UPOTREBA

U principu, ako neka zemlja nema određeni standard za ispitivanje konstrukcija ili elemenata konstrukcija, u njoj se za tu namjenu obično primjenjuju standardi ili pravilnici neke druge zemlje ili strane organizacije. Znači, ispitivanja konstrukcija kod nas, u principu, treba

vršiti prema domaćoj tehničkoj regulativi, ali u njenom odsustvu, ili kao njenu dopunu, moguće je upotrijebiti i propise drugih zemalja i organizacija.

Kao ilustraciju prethodnog pomenimo njemački standard za geotehnička sidra - DIN 4125, iz 1992. godine, koji propisuje i postupke ispitivanja ovakvih sidara, a koji se dosta koristi i u našoj zemlji.

U tom smislu postoje brojna međunarodna tijela koja izdaju svoja uputstva, standarde i norme za ispitivanja konstrukcija. Najpoznatija i najbolja strana tehnička regulativa iz oblasti ispitivanja konstrukcija, a koja se koristi kod nas, dolazi iz sledećih organizacija:

- ISO - International Standard Organisation, Međunarodna organizacija za standarde;
- RILEM - Međunarodna organizacija za ispitivanje materijala i konstrukcija;
- FIP - Međunarodna organizacija za prednapregnuti beton;
- CEB - Comitee Euro du Beton - Evropski komitet za beton;
- AIPS - Internacionalna organizacija za mostove i građevinske konstrukcije;
- CIB - Međunarodni savjet za istraživanja, studije i dokumentaciju u oblasti građevinarstva;
- CEN - Evropski komitet za norme.

a ona se može pronaći i u sledećim nacionalnim standardima:

- SNiP - Ruski (sovjetski) standardi;
- ASTM- American Standards for Testing Materials;
- BS - British Standards;
- DIN - Njemačke norme;
- EC - Evrokodovi.

Međutim, da bi se ilustrovalo da u stranoj tehničkoj regulativi ponekad pristup rješavanju problema nije isti kao u našoj, i da nju – kao i našu regulativu – treba kritički primjenjivati, prikazaće se postupci koje dva tipična strana standarda propisuju za ispitivanja konstrukcija koja su kod nas pokrivena standardom **Ispitivanje konstrukcija visokogradnje probnim opterećenjem i ispitivanje do loma**.

13.1. BRITANSKI STANDARDI ZA AB KONSTRUKCIJE - *BRITISH STANDARDS BS* 8110, IZ 1985

Po ovom standardu, probno opterećenje (engleski: *proof load*) kao metod ispitivanje konstrukcija treba koristiti:

- a. kada dostupne informacije o izgradnji predmetnog objekta ukazuju na loš kvalitet upotrijebljenog materijala za konstrukciju;

- b. kada postoji sumnja u pogledu kvaliteta izrade konstrukcije;
- c. kada postoje vidljivi nedostaci, posebno ako su primijećeni u kritičnim presjecima, ili u najosetljivijim elementima konstrukcije;
- d. kada je iz nekog drugog razloga potrebna provjera kvaliteta konstrukcije;
- e. kod proizvodnje prefabrikovanih elemenata.

Indikativno je da ovaj standard, za razliku od naših, ne preporučuje nanošenje probnih opterećenja na konstrukciju u smislu utvrđivanja tehničke ispravnosti konstrukcije za potrebe izdavanja upotrebne dozvole, sem u specijalnim slučajevima, i u krajnjoj nuždi. Čak što više, kaže se da je, prije nego se pristupi probnom opterećenju, potrebno prethodno iscrpsti sve druge mogućnosti za utvrđivanje tehničke ispravnosti posmatranog elementa ili konstrukcije. U tom smislu čitalac se upućuje na dodatne kriterijume date u BS 6089.

Pri testiranju konstrukcije probnim opterećenjem u skladu sa ovim standardom kontrolišu se granično stanje nosivosti i/ili granično stanje upotrebljivosti. Pri tome uobičajeno je da se sa opterećivanjem ide do graničnog stanja upotrebljivosti, ali u pojedinim situacijama konstrukcija se može opteretiti i opterećenjima do nivoa graničnog stanja nosivosti.

Ukupno probno opterećenje W_{prob} kojim se ispituje konstrukcija ne smije biti manje od zbira projektnog stalnog opterećenja W_{stal} i mjerodavnog projektnog povremenog opterećenja W_{povr} :

$$W_{prob} \geq W_{stal} + W_{povr}$$

Međutim, standard u napomenama preporučuje da se umjesto ovalikog nivoa probnog opterećenja koristi probno opterećenje koje predstavlja zbir stalnog opterećenja i opterećenja koje je za 25% veće od povremenog opterećenja; ili opterećenje koje je za 12,5% veće od zbira stalnog i povremenog projektnog opterećenja (pri tome, poželjno je koristiti veću od ove dvije vrijednosti):

$$W_{prob} > (W_{stal} + 1,25 W_{povr}), \text{ ili}$$

$$W_{prob} > 1.125 (W_{stal} + W_{povr})$$

I pored toga, u komentarima ovog standarda kroz literaturu iz ove oblasti, kaže se da se u praksi osjeća da su citirani uslovi u BS 8110 preblagi u smislu veličine probnog opterećenja (posebno sa stanovišta dugotrajnih, vremenskih deformacija) i navode se preporuke Britanskog udruženja građevinskih konstruktora (*The Institution of Structural Engineers*), koje preporučuje da probna opterećenja budu za čak 25% veća od zbira stalnog i povremenog opterećenja:

$$W_{prob} \geq 1.25 (W_{stal} + W_{povr})$$

Ponegdje u literaturi se ide tako daleko da se predlaže da ubuduće probna opterećenje treba da idu do:

$$W_{prob} \geq 1.50 (W_{stal} + W_{povr})$$

I po ovom, kao i po našem standardu probna opterećenja treba nanositi postepeno i u fazama. Međutim, za razliku od naših propisa, propisuje se da ukupno probno opterećenje treba nanijeti najmanje dva puta, sa vremenskim razmakom od najmanje 1 sat između nanošenja opterećenja. U pojedinim situacijama probno opterećenje treba nanijeti i po treći put, i tako ga ostaviti 24 časa.

Sa otpočinjanjem mjerenja deformacija treba sačekati najmanje 5 minuta nakon nanošenja opterećenja, u cilju njihove stabilizacije.

Kao i u našoj tehničkoj regulativi, osnovni pristup pri procjeni tehničke ispravnosti konstrukcije ili elemenata konstrukcije je postupak upoređivanja izmjerenih parametara ponašanja ispitivane konstrukcije sa prethodno urađenim proračunom iste konstrukcije. Pri tome se u proračunu mora poći od stvarnih karakteristika gotove

konstrukcije, a ne od projektnih veličina - znači koriste se stvarne vrijednosti kvaliteta ugrađenog materijala, itd.

Ovaj standard daje nekoliko kriterijuma tehničke ispravnosti. Po prvom, pri prvom nanošenju probnog opterećenja najveći ugibi u_{gr} i pukotine a_{gr} bi trebalo da budu približno jednaki onima iz prethodno urađenog statičkog proračuna $u_{rač}$ tj. $a_{rač}$:

$$u_{exp} \approx u_{rač}$$

$$a_{exp} \approx a_{rač}$$

Što se tiče ovog kriterijuma, značajno je primijetiti da je smisao propisanog zahtjeva za kvalitetom suštinski drugačiji nego kod kriterijuma koji se pojavljuju u našim propisima. Ovdje kriterijum ispravnosti ide u pravcu zahtjeva da je konstrukcija izvedena upravo onako kako je bila i zamišljena (projektovana), tj. da je izvođenje bilo u skladu sa projektom, a ne, kako je dato u našim standardima, da su parametri ponašanja izvedene konstrukcije povoljniji nego kod projektovane (recimo kod kontrole ugiba kod nas se traži da je $u_{exp} \leq u_{rač}$). U tom smislu pomalo čudno, ali naši propisi praktično zahtijevaju da je konstrukcija "bolje" izvedena, nego što je projektovana.

Po drugom kriterijumu ispravnosti, kada smo konstrukciji pri prvom nanošenju probnog opterećenja zadali "značajne ugibe", tada se pri drugom ciklusu

probnog opterećenja očekuje da procenat zaostalih ugiba $u_{z,exp,2}$ u odnosu na najveće izmjerene ugibe iz tog ciklusa opterećenja, ne bi trebalo da bude veći nego što je bio kod prvog ciklusa nanošenja probnog opterećenja $u_{z,exp,1}$:

$$\frac{u_{z,exp,2} (\%)}{u_{max,exp,2} (\%)} \cong \frac{u_{z,exp,1} (\%)}{u_{max,exp,1} (\%)}$$

Pri tome, te zaostale deformacije u_z ne bi trebale ni u prvom ni u drugom krugu opterećenja da budu veće od 25% za armirani beton, niti veće od 15% - 25% najvećih izmjerenih ugiba u_{gr} kod prethodno napregnutih konstrukcija:

$$\text{armirani beton:} \quad u_{z,exp} \leq 0,25 u_{max,exp}$$

$$\text{prethodno napregnuti beton: } u_{z,exp} \leq 0,15 - 0,25 u_{max,exp}$$

Sami standard ne daje definiciju "značajnog ugiba" konstrukcije, ali duh propisa je takav da se vjerovatno misli na značajne ugibe u poređenju sa graničnim ugibi-ma propisanim na drugim mjestima u samom standardu.

U izvornoj literaturi koja obrađuje ovo područje definicija "značajnih ugiba" u se može naći kao:

$$u \geq \frac{40 L^2}{d}$$

gdje je L efektivni raspon konstrukcije (razmak nultih tačaka), koji se daje u metrima, a d je ukupna visina (u stvari debljina) ispitivanog elementa konstrukcije, koja se daje u milimetrima.

Treba primijetiti da kroz ovakvu definiciju, vitkiji nosači (manje d) dostižu nivo "značajnih ugiba" tek pri znatno višim vrijednostima ugiba nego grede sa većim d , što je i logično. Takođe je interesantno je da su, na ovaj način definisane vrijednosti "značajnog ugiba", veoma niske. Ako, na primjer, ispitujemo kontinualnu gredu efektivnog raspona polja $l = 0,8 L = 6\text{m}$ i debljine $d = 600\text{mm}$, tada se svaki izmjereni ugib, koji ima vrijednost veću od 2.4mm može smatrati "značajnim ugibom".

13.2. AMERIČKI PROPISI ZA AB KONSTRUKCIJE - ACI 318/M (1992) *BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE*

Dio ovog pravilnika koji se bavi ispitivanjem konstrukcija probnim opterećenjem gotovo u potpunosti je identičan američkom **Pravilniku za određivanje nosivosti betonskih konstrukcija - *Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings***, tako da se daljnji tekst odnosi na oba.

Tako, ACI 318 preporučuje ispitivanje konstrukcija u manje - više istim situacijama kao i BS 8110.

Što se tiče same procedure ispitivanja, zanimljivo je da po ovom pravilniku AB konstrukcije ne treba izlagati probnom opterećenju dok beton ne bude star najmanje 56 dana. Takođe, ako na ispitivanoj konstrukciji još nije bilo nanijeto puno, projektom predviđeno stalno opterećenje, tu razliku između postojećeg i projektom predviđenog stalnog opterećenja potrebno je na nju nanijeti najmanje 48 časova prije početka samog ispitivanja.

Po ovom propisu probno opterećenje, već u prvom krugu nanošenja, mora se na konstrukciji držati puna 24 časa, pa tek onda izvršiti mjerenje parametara ponašanja.

Veličina probnog opterećenja W_{prob} propisom je data kao:

$$W_{prob} = 0,85 (1,4 W_{stal} + 1,7 W_{povr})$$

gdje W_{stal} predstavlja stalno, a W_{povr} povremeno projektno opterećenje, a 1.4 i 1.7 su odgovarajući (stvarni) parcijalni koeficijenti sigurnosti za opterećenja, po američkim propisima.

Nakon računskih proba može se zaključiti da su ovi kriterijumi za 15 - 20% stroži nego kriterijumi dati u BS 8110, a značajno stroži od naših.

Pri tome treba biti obazriv, jer oba ova dokumenta (za razliku od našeg Pravilnika za beton i armirani betom, PBAB 87) u postupcima dimenzionisanja AB

elemenata koriste čistu teoriju graničnih stanja, tj. propisuju parcijalne koeficijente sigurnosti i po materijalu i po zadatim opterećenjima.

Najveći izmjereni ugibi $u_{max.exp}$ od probnog opterećenja po ovim propisima ne smiju biti veći od:

$$u_{max,exp} \leq u_{gran} = \frac{l^2}{20.000 d}$$

gdje su l - efektivna dužina nosača i d - ukupna debljina, dati u inčima (1 inč = 25.4 mm). Ako je ovaj limit preko-račen neophodno je izvršiti provjeru zaostalih ugiba.

Pri prvom krugu opterećivanja probnim opterećenjem očekuje se da zaostali ugibi $u_{z,exp,1}$ (koji se mjere najviše 24 sata nakon uklanjanja opterećenja) u odnosu na najveće izmjereni ugib iz tog kruga opterećenja $u_{max.exp,1}$, ne bi trebalo da budu veći od 25% za armirani beton, niti veće od 20% kod prethodno napregnutih konstrukcija:

$$\text{armirani beton:} \quad u_{z,exp,1} \leq 0,25 u_{max,exp,1}$$

$$\text{prethodno napregnuti beton:} \quad u_{z,exp,1} \leq 0,20 u_{max,exp,1}$$

Ako ovaj uslov nije ispunjen, armiranobetonske konstrukcije se mogu naknadno izložiti probnom opterećenju posle 72 časa provedena u rasterećenom stanju. Pri tome zaostali ugibi $u_{z,exp,2}$ moraju biti:

$$\text{armirani beton:} \quad u_{z,exp,2} \leq 0,20 u_{max,exp,2}$$

Kod prethodno napregnutih konstrukcija ne postoji ovaj dopunski kriterijum.

14. OSTALE NAPOMENE

Pored prethodno navedene, najrelevantnije tehničke regulative iz ove oblasti, postoje i brojni drugi domaći standardi i propisi koji se tiču ispitivanja konstrukcija. U tom smislu navešćemo samo neke.

Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima ispitivanju konstrukcija posvećuje cijelo poglavlje. U njemu se kaže da se dinamičke karakteristike konstrukcija visokogradnje objekata koji se grade u zonama seizmičkog intenziteta VIII i IX stepena, kao što su objekti visokogradnje, objekti van kategorije i prototipovi industrijski proizvedenih objekata visokogradnje, obavezno kontrolišu eksperimentalnim putem. Na isti način se kontroliše ponašanje konstruktivnih elemenata objekata visokogradnje za koje se zahtijeva seizmički proračun metodom dinamičke analize, a koji se grade u zonama seizmičkog intenziteta VIII i IX stepena. Ovo eksperimentalno određivanje dinamičkih karakteristika izvodi se na gotovoj konstrukciji, prinudnim vibracijama koje neće izazvati oštećenja.

Pouzdanost je sposobnost konstrukcije da ima odgovarajuću upotrebljivost uz predviđenu sigurnost i pret-

postavljenu trajnost. **Osnove projektovanja građevinskih konstrukcija - Osnovni principi za provjeru pouzdanosti konstrukcija - tehnički uslovi**, su još jedan iz reda dokumenata koji na sistematski način razmatraju ispitivanje konstrukcija. Ovim standardom se utvrđuju osnovni principi za provjeravanje pouzdanosti konstrukcija za djelovanje poznatih opterećenje. Po njemu, provjera pouzdanosti vrši se u odnosu na rad konstrukcije u toku predviđenog vremena njenog trajanja. Njime su predviđene dvije vrste mogućih ispitivanja konstrukcije - modelska i prototipska. Pravilnik omogućava da konstrukcija bude proračunata na osnovu rezultata ovakvih ispitivanja. Pri tome se zahtijeva da se ispitivanje vrši, po mogućnosti, pod uslovima što približnijim onima kojima će biti izložena stvarna konstrukcija i to kako u pogledu čvrstoće, dimenzija, opterećenja, tako i u pogledu uslova okoline na mjestu stvarnog objekta.

Po **Pravilniku o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata**, temeljni šipovi se ispituju i dimenzionišu prema sprovedenom probnom opterećenju u cilju određivanja dozvoljenog opterećenje tla za horizontalne sile i za statičke momente koji opterećuju glavu šipa. Treba svakako napomenuti da se u tu svrhu mogu koristiti i analitičke metode, ali se ovi uticaji mogu odrediti čak i iskustveno. Probno opterećenje šipa na pritisak ili na zatezanje izvodi se na taj način što se reakcije tereta prenose na tlo na

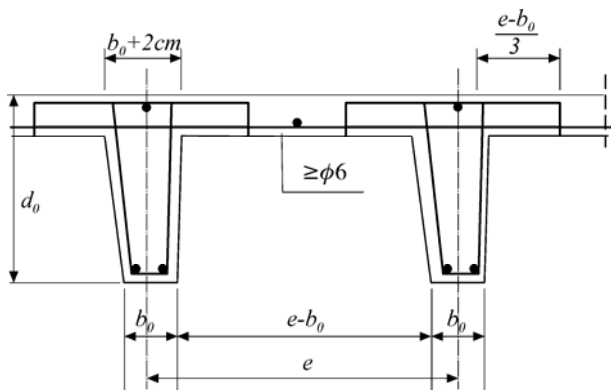
udaljenosti na kojoj ne utiču bitno na tlo duž šipa. Pri tome, mjerenja se vezuju za stalnu tačku van područja deformacija koje izaziva probno opterećenje. Inkrementi nanijetog opterećenja moraju trajati onoliko koliko je potrebno da se mogu jasno registrovati uticaji hidrodinamičke konsolidacije i puzanja tla.

Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za montažu čeličnih konstrukcija daje dozvoljena odstupanja od tačnog položaja za stubove, grede, kranske staze, tornjeve, cijevi, bunkere, mostove, dalekovode, jarbole itd. Iako se ova mjerenja, u principu, ne vrše pod probnim opterećenjima, kako se i ona najčešće obavljaju mjernim sredstvima koja se koriste kod ispitivanja konstrukcija, to su i pomenuta na ovom mjestu.

I po **Pravilniku o tehničkim normativima za beton i armirani beton** uticaji u presjecima konstrukcija koje se projektuju mogu se odrediti i na osnovu rezultata eksperimentalne analize prototipova ili modela. Ova klauzula najčešće se primjenjivala na objekte velike komplikovanosti, gdje se uobičajenim metodama statičkog proračuna teško dolazilo do uticaja. Treba naglasiti da se ispitivanje konstrukcija u smislu određivanja uticaja u presjecima danas koristi znatno manje nego prije. To je prvenstveno zbog znatnog napretka u razvoju hardverskih i softverskih rješenja koja omogućavaju sračunavanje statičkih i dinamičkih uticaja čak i u veoma komplikovanim konstrukcijama.

Određivanje sadejstvjuće širine ploče kod greda T presjeka je takođe jedno od mogućih područja primjene metoda ispitivanja konstrukcija. U tom smislu ovaj pravilnik kaže da se korisna sadejstvjuća širina pritisnute ploče kod greda T preseka (slika 7.), koja se uzima u proračun pri dimenzionisanju preseka, može odrediti i metodama eksperimentalne analize.

Po ovom pravilniku, polumontažne sitnorebraste tavanice sa šupljim telima (Fert, Monta i tome slično), takođe se proračunavaju ne uzimajući u obzir sadejstvo šupljeg tela. Međutim, i kod njih je dozvoljeno da se, ako se izvrše ispitivanja konstrukcije i eksperimentalno utvrdi nivo sadejstva šupljih tijela u radu tavanice, jedan dio sile pritiska u presjeku (i to do veličine određene u eksperimentalnoj analizi konstrukcije) može predati šupljim tijelima, uz odgovarajući koeficijent sigurnosti.



Slika 7. Presjek kroz sitnorebrastu tavanicu

Čak i **Pravilnik o tehničkim merama i uslovima za spregnute konstrukcije** propisuje da se pri projektovanju i izvođenju spregnutih konstrukcija (ali samo izuzetno) može odstupiti od pojedinih odredaba ovog pravilnika i to, ako je teorijski i eksperimentalno dokazano da se tim odstupanjem obezbeđuje stabilnost i sigurnost spregnutih konstrukcija i bezbjednost ljudi, saobraćaja i okoline, u stepenu propisanim samim pravilnikom.

Standard **Projektovanje i izvođenje drvenih konstrukcija – lamelirane lepljene konstrukcije** propisuje da se kod ovakvih konstrukcija, pored ispitivanja smicajne čvrstoće lijepljenog spoja (na malim laboratorijskim uzorcima) eventualno moraju izvršiti i

ispitivanja konstrukcije probnim opterećenjem. Ispitivanje probnim opterećenjem potrebno je izvršiti uvijek kada se radi o izuzetnim konstrukcijama, ili u slučaju bilo kakvih neispravnosti – posebno onih u pogledu materijala, kvaliteta lijepljenja ili promjene vlažnosti. Kada se vrši serijska proizvodnja elemenata izuzetnih konstrukcija, vrši se probno ispitivanje najmanje jednog od 12 proizvedenih nosača.

Po standardu **Vertikalni cilindrični nadzemni rezervoari zavareni, s ravnim dnom i nepomičnim ili plivajućim krovom** propisuje se da je, pored obavezne radiografske kontrole zavarenih spojeva i kontrole mjera izvedenog objekta (koje obuhvataju kontrolu dna, krova i plašta rezervoara), nepohodno sprovesti i kontrolu nepropustljivosti dna rezervoara, spoja dna i plašta, plašta, krova i ojačanja na otvorima rezervoara.

LITERATURA

- [1] Đuranović Nebojša, UVOD U ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA SA PRIMJERIMA, Građevinski fakultet, Podgorica, 2009;
- [2] Đuranović Nebojša, EKSPERIMENTALNA ANALIZA KONSTRUKCIJA MJERNIM TRAKAMA, Građevinski fakultet, Podgorica, 2008;
- [3] ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE PROBNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJE DO LOMA, JUS U.M1.047, Službeni list SFRJ 4/1987;
- [4] NACRT PRAVILNIKA O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA PROJEKTOVANJE I PRORAČUN INŽENJERISKIH OBJEKATA U SEIZMIČKIM PODRUČJIMA, iz 1986 godine
- [5] ISPITIVANJE MOSTOVA PROBNIM OPTEREĆENJIMA, JUS U.M1.046, Službeni list SFRJ 60/1984;
- [6] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA OPTEREĆENJE MOSTOVA, Službeni list SFRJ 1/1991;
- [7] PRAVILNIK BR. 315 O ODRŽAVANJU DONJEG STROJA PRUGA JUGOSLOVENSКИH ŽELEZNICA, Jugoslovenske železnice, br. 1981/69, 1970. god.;

- [8] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA SEIZMIČKO OSMATRANJE VISOKIH BRANA, Službeni list SFRJ 6/1988;
- [9] PRAVILNIK O TEHNIČKIM PROPISIMA ZA PREGLED I ISPITIVANJE NOSEĆIH ČELIČNIH KONSTRUKCIJA, Službeni list SFRJ 6/1965;
- [10] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA BETON I ARMIRANI BETON, Službeni list SFRJ 11/1987;
- [11] PRAVILNIK O TEHNIČKIM MJERAMA I USLOVIMA ZA PREDNAPREGNUTI BETON, Službeni list SFRJ 51/1971;
- [12] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA BETON SPRAVLJEN SA PRIRODNOM I VEŠTAČKOM LAKOAGREGATNOM ISPU-
NOM, Službeni list SFRJ 15/1990;
- [13] PRAVILNIK ZA IZGRADNJU OBJEKATA VISOKOGRADNJE U SEIZMIČKIM PODRUČ-
JIMA, Službeni list SFRJ br. 52/1990;
- [14] PREFABRIKOVANI BETONSKI ELEMENTI -
TEHNIČKI USLOVI ZA IZRADU I UGRADNJU,
JUS U.E3.050, Službeni list SFRJ 18/1981;
- [15] PREFABRIKOVANE GREDICE OD GLINENIH
ELEMENATA ZA IZRADU MEĐUSPRATNIH
ODNOSNO TAVANIČNIH KONSTRUKCIJA,
JUS U.N8.030, 1997;

- [16] TEHNIČKA PREPORUKA 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;
- [17] ČELIJASTI BETON - ARMIRANE KROVNE I MEĐUSPRATNE PLOČE OD AUTOKLAVIRANOG GASBETONA I PENOBETONA, JUS U.N1.302, Službeni list SFRJ 10/1987;
- [18] ČELIJASTI BETON - ARMIRANE ZIDNE PLOČE OD GASBETONA I PENOBETONA, JUS U.N1.304, Službeni list SFRJ 10/1987;
- [19] PRAVILNIK O SADRŽINI I NAČINU OSMASTRANJA TLA I OBJEKATA U TOKU GRAĐENJA I UPOTREBE, Službeni list RCG 54/2001;
- [20] OSNOVE PROJEKTOVANJA GRAĐEVINSKIH KONSTRUKCIJA - OSNOVNI PRINCIPI ZA PROVJERU POUZDANOSTI KONSTRUKCIJA - TEHNIČKI USLOVI, JUS U.C7.010, Službeni list SFRJ 54/87;
- [21] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA TEMELJENJE GRAĐEVINSKIH OBJEKATA, Službeni list SFRJ 15/1990;
- [22] PRAVILNIK O TEHNIČKIM MERAMA I USLOVIMA ZA MONTAŽU ČELIČNIH KONSTRUKCIJA, Službeni list SFRJ 29/1970;

- [23] SKLADIŠTENJE NAFTE I NAFTHNIH DERIVATA - VERTIKALNI CILINDRIČNI NADZEMNI REZERVOARI, ZAVARENI SA RAVNIM DNOM I NEPOMIČNIM ILI PLIVAJUĆIM KROVOM, JUS M.Z3.054, Službeni list SFRJ 27/1981;
- [24] PRAVILNIK O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA IZGRADNJU OBJEKATA VISOKOGRADNJE U SEIZMIČKIM PODRUČJIMA, Službeni list SFRJ 52/1990;
- [25] PRAVILNIK O TEHNIČKIM MERAMA I USLOVIMA ZA SPREGNUTE KONSTRUKCIJE, Službeni list SFRJ 35/1970;
- [26] PROJEKTOVANJE I IZVOĐENJE DRVENIH KONSTRUKCIJA - LAMELIRANE LEPLJENE KONSTRUKCIJE, JUS U.C9.300, Službeni list SFRJ 48/1984;
- [27] Britanski standardi za AB konstrukcije - BRITISH STANDARDS BS 8110, 1985;
- [28] Američki propisi za AB konstrukcije - ACI 318/M (BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR REINFORCED CONCRETE, 1992;
- [29] Američki Pravilnik za određivanje nosivosti betonskih konstrukcija - STRENGTH EVALUATION OF EXISTING CONCRETE BUILDINGS, ACI 437R-67, 1982;
- [30] J. H. Bungey, THE TESTING OF CONCRETE IN STRUCTURES, Blackie and Son Ltd, 1989.

- [31] Njemački propisi za geotehnička sidra, KURZZEITANKER UND DAUERANKER: BEMESSUNG, AUSFUHRUNG UND PRUFUNG, DIN 4125, 1992.
- [32] Evrokodovi za opterećenja na konstrukcijama, EUROCODE 1: BASIS OF DESIGN AND ACTIONS ON STRUCTURES, 1994.
- [33] Grupa autora, BETON I ARMIRANI BETON PREMA PBAB 87, knjiga 2 - prilozi, Građevinska knjiga, Beograd, 1991;