

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

1. PREDMET PRAVILNIKA

- ❑ Ispitivanje pokusnim opterećenjem i ispitivanje do sloma konstrukcije i konstrukcijskih elemenata objekata visokogradnje;
- ❑ Primjenjuje se na sve konstrukcije od armiranog i prednapetog betona, čelika, drveta i drugih materijala (staklo, plastika) od kojih se izvode nosive konstrukcije;
- ❑ Ispitivanje statičkog djelovanja sila na konstrukcije i konstrukcijske elemente;
- ❑ Ispitivanja gotovih konstrukcija i konstrukcijskih elemenata na samoj građevini;
- ❑ Laboratorijska ispitivanja.

2. PODRUČJE PRIMJENE

- ❑ Obvezno za konstrukcije za koje je to predviđeno propisima za beton i armirani beton i prednapeti beton kao i propisima za čelične i drvene konstrukcije.
- ❑ Mogu se ispitivati i konstrukcije za koje postoji sumnja u pogledu njihove nosivosti, krutosti, trajnosti, koje su sanirane i za koje je nosivost nepoznata.

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

3. SVRHA ISPITIVANJA

- Pokusno opterećivanje
 - usklađenost s projektom ili pravilnikom, usklađenost kvalitete izvedenih radova, podobnosti preuzimanja predviđenih opterećenja, pojava, razvoj i širina pukotina i deformacijskih veličina sloma;
 - granična stanja sloma konstrukcije.
- Ispitivanje do sloma
 - granična stanje nosivosti, pomaka i deformacija, prslina i pukotina te granična stanja s obzirom na pojavu nestabilnosti, popuštanja spojeva, gubitka prionljivosti čelika i betona, korozije i dr.

4. POSTUPAK ISPITIVANJA

- Priprema za ispitivanje
 - uvid u projektну dokumentaciju i dokumentaciju o ispitivanju materijala te izrada programa ispitivanja;
- Opterećenje
 - položaj opterećenja pri statičkom opterećivanju mora odgovarati najnepovoljnijem u projektu ili mora davati približno jednake unutarnje sile u karakterističnim presjecima;

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

- pokusno statičko opterećenje mora odgovarati nedostajućem stalnom i ukupnom pokretnom najnepovoljnijem opterećenju prema projektu (svi parcijalni koeficijenti sigurnosti za opterećenje uzima se da su jednaki 1,0);
 - opterećenje pri ispitivanju do sloma mora odgovarati opterećenju kojim se postiže slom ili jednom od kriterija kojim se definira slom konstrukcije;
 - brzina gibanja pokretnog dinamičkog opterećenja treba postupno povećavati do najveće brzine predviđene projektom.
- Režim ispitivanja
- detaljni pregled i snimak konstrukcije, opterećivanje do najvećeg predviđenog opterećenja, promatranje ponašanja pod opterećenjem, rasterećenje, promatranje konstrukcije nakon rasterećenja, detaljni pregled;
 - konstrukcija se pokusnim opterećivanjem opterećuje u najmanje 4 jednaka koraka do predviđenog nivoa opterećenja dok u postupku ispitivanja do sloma takvih koraka mora biti najmanje 10;
 - kod čeličnih konstrukcija s vijcima najveće pokusno opterećenje treba ponoviti barem jednom kako bi se dobio uvid u veličinu popuštanja spojeva;

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

- između pojedinih koraka mjere se pomaci i deformacije a idući se korak nanosi tek nakon stabilizacije prethodnog koraka;
- smatra se da je došlo do prestanka prirasta pomaka i deformacija ako su u periodu od 5 min manji od 15% prethodnog prirasta za isti vremenski period ili manji od pogreške mjernog instrumenta;
- pokusno opterećenje i opterećenje do sloma ne smije se izvoditi na betonskim konstrukcijama čija je starost manja od 28 dana;
- nakon nanošenja najvećeg predviđenog pokusnog opterećenja, ono na konstrukciji mora ostati najmanje 16 h za sve konstrukcije osim čeličnih gdje treba stajati barem 4 h (u tom se periodu konstrukcija pregledava najmanje 4 puta)
- promatranje konstrukcije nakon rasterećenja traje 16h (4h) odnosno toliko dugo dok se ne ispune uvjeti iz točke 5. ovog pravilnika;
- pri ispitivanju do sloma se promatranje u fazi rasterećenja može izostaviti;
- promatranje ponašanja konstrukcije uključuje promatranje pomaka i deformacija, kutova zaokreta, pojave i širenja pukotina, njihovih širina, lokalnih defekata kao i sloma konstrukcije.

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

5. OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA

- Konstrukcija izložena pokusnom opterećenju zadovoljava uvjete za tehnički ispravnu konstrukciju:
 - ako su izmjereni progibi na mjestima najvećih utjecaja manji ili jednaki proračunskim progibima pod pokusnim kratkotrajnim opterećenjem;
 - ako su izmjereni zaostali progibi nakon 16h od rasterećenja manji od:
 - 15% najvećih izmjerenih progiba (čelične i spregnute konstrukcije)
 - 20% najvećih izmjerenih progiba (prednapete konstrukcije)
 - 25% najvećih izmjerenih progiba (armiranobetonske konstrukcije)
 - 30% najvećih izmjerenih progiba (drvene konstrukcije)
 - 40% najvećih izmjerenih progiba (konstrukcije od plastičnih materijala);
 - ako je širina izmjerenih pukotina kod armiranobetonskih konstrukcija za projektna opterećenja manja od dozvoljene veličine;
 - ako se veličina izmjerenih progiba može ocijeniti kao takva da ne utječe na funkcionalnost i estetski izgled konstrukcije.

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

- ❑ Ukoliko uvjet o veličini zaostalih progiba iz prethodne točke nije zadovoljen, a zaostali progibi iznose do 40% izmjerenih za čelične i spregnute konstrukcije, do 50% za konstrukcije od armiranog i prednapetog betona, ili do 60% za drvene i konstrukcije od plastičnih materijala, pokusno se opterećivanje mora ponoviti.
- ❑ Pri ponovljenom opterećivanju zaostali progibi ne smiju biti veći od 7,5% od izmjerenih za čelične konstrukcije, 10% za prednapete betonske konstrukcije, 12,5% za armiranobetonske konstrukcije, 15% za drvene i 20% za konstrukcije od plastičnih materijala.
- ❑ Ukoliko su veličine zaostalih progiba veće od navedenih u prethodnim točkama, projekt konstrukcije se mora ponovno analizirati i predložiti odgovarajuće mjere.
- ❑ Konstrukcija izložena ispitivanju do sloma zadovoljava uvjete za tehnički ispravnu konstrukciju:
 - ako su izmjereni progibi na mjestima najvećih utjecaja manji ili jednaki teorijski proračunatim progibima pod pokusnim kratkotrajnim opterećenjem;
 - ako konstrukcija zadovoljava glede graničnih stanja nosivosti, pomaka i deformacija, stanja pukotina i stabilnosti.

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

- Smatra se da je konstrukcija dosegla granično stanje sloma ako pri određenom opterećenju nastupi:
 - slom konstrukcije, njenog dijela ili presjeka;
 - gubitak stabilnosti konstrukcije, njenog dijela ili elementa;
 - nestabilni lokalni slom;
 - Prirast deformacija odnosno pomaka koji se ne smanjuje pri konstantnom opterećenju mjereno tri puta uzastopno u istim vremenskim razmacima;
 - prirast deformacije odnosno pomaka koji je u posljednjoj fazi prirasta opterećenja jednak ili veći od sume deformacija ili pomaka u prethodnih pet jednakih faza opterećenja;
 - progib koji je jednak ili premašuje $1/50$ raspona;
 - pukotine čija je suma, mjereno na duljini od 200mm, veća od 1,5mm kod armiranobetonskih konstrukcija;
 - gubitak prionjivosti između armature i betona.
- Smatra se da je konstrukcija ispitana do sloma zadovoljila u odnosu na nosivost ako je do sloma došlo pri opterećenju koje je jednako ili veće od projektom predviđenog opterećenja sloma, odnosno sukladno odgovarajućim propisima.

HRN U.M1.047

ISPITIVANJE KONSTRUKCIJA VISOKOGRADNJE POKUSNIM OPTEREĆENJEM I ISPITIVANJEM DO SLOMA

6. IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU

- Sadrži sve relevantne podatke o ispitivanoj konstrukciji, postupku ispitivanja, uporabljenim instrumentima, potrebne teorijske prorarčune, podatke o mjerenjima tijekom ispitivanja, usporednu teorijskihi mjerenih veličina i zaključak o ponašanju konstrukcije u smislu stavaka danih u prethodnoj točki.

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

1. PREDMET PRAVILNIKA

- ❑ Vrste pokusnih opterećenja, postupak ispitivanja i ocjena rezultata ispitivanja cestovnih i željezničkih mostova od armiranog i prednapetog betona, čeličnih i spregnutih mostova;
- ❑ Ponašanje mosta pri statičkom i dinamičkom opterećenju:
 - usklađenost s projektom;
 - usklađenost kvalitete izvedenih radova u odnosu na zahtjeve u projektu;
 - podobnost mosta za preuzimanje predviđenih opterećenja;
 - trajnost konstrukcija.
- ❑ Pravilnik se ne odnosi na utvrđivanje sigurnosti mosta glede sloma niti drugih graničnih stanja konstrukcije.

2. VRSTE POKUSNIH OPTEREĆENJA

- ❑ Prema učestalosti ispitivanja
 - **redovito** (prije puštanja mosta u promet);
 - **kontrolno** (tijekom korištenja).
- ❑ Prema veličini tereta
 - **normalna** pokusna opterećenja
 - **posebna** pokusna opterećenja (ako nisu postignuti svi zahtjevi iz projekta, postoje sumnje glede spojeva ili drugih svojstava te ako konstrukcija nije zadovoljila niti nakon ponovljenog pokusnog opterećenja);

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

- **izuzetna** pokusna opterećenja (samo u slučaju zahtjeva za opterećenjem mosta većim od projektnog a rezultati opterećenja vrijede jednokratno samo za to preopterećenje mosta – npr. prijelaz specijalnih tereta).
- Prema prirodi opterećenja
 - **statičko** pokusno opterećenje (obvezno za cestovne mostove raspona $L \geq 15\text{m}$ i za željezničke mostove raspona $L \geq 10\text{m}$ te mostove s posebnim i izuzetnim pokusnim opterećenjima neovisno o rasponu);
 - **dinamičko** pokusno opterećenje (obvezno pod istim uvjetima kao i statičko pokusno opterećenje).
- Prema trajanju opterećenja
 - **kratkotrajna**;
 - **dugotrajna**.

3. POSTUPAK ISPITIVANJA

- Opće napomene
 - pokusno opterećenje vrši se na potpuno dovršenom mostu dok je za dinamička ispitivanja nužno da su dovršeni i prilazi mostu;
 - tijekom ispitivanja ne smiju se na mostu obavljati nikakvi drugi radovi;
 - prije ispitivanja potrebna je provjera izmjera elemenata i kvaliteta ugrađenog materijala (starost betona glavne konstrukcije ne smije biti manja od 28 dana).

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

- Prethodni postupak
 - uvid u projektnu dokumentaciju;
 - izrada programa ispitivanja (veličina i raspored tereta po fazama, proračun očekivanih progiba i deformacija, raspored mjernih mjesta, shema ispitivanja);
 - uvid u dokumentaciju o kvaliteti materijala;
 - makroskopski pregled mosta.
- Opterećenje
 - s obzirom na kategoriju pokusnog opterećenja, veličina probnog tereta mora biti takva da se u mjerodavnom karakterističnom presjeku postigne
 - za normalno pokusno opterećenje $0,5 \leq U \leq 1,0$
 - za posebno pokusno opterećenje $1,0 \leq U \leq 1,1$
 - za izuzetno pokusno opterećenje $1,1 \leq U \leq (1,3 - L/1000)$;
 - učinkovitost pokusnog opterećenja, U

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

 - V_{stat} = teorijska vrijednost u promatranom presjeku uslijed statičkog pokusnog tereta;
 - V_n = teorijska vrijednost u istom presjeku uslijed projektog pokretnog opterećenja bez dinamičkog koeficijenta uvećanja;
 - φ = dinamički koeficijent iz projekta.

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

□ Mjerenje

- **obvezna statička mjerenja** (vertikalni progib u sredini svakog raspona mosta, pomaci ležajeva, pojava pukotina, deformacije na mjestima očekivanih ekstremnih utjecaja, trajni progibi i deformacije nakon rasterećenja);
- **dopunska statička mjerenja** zahtijevana programom ispitivanja (kutovi zaokreta, horizontalni pomaci, pomaci ležajnih konstrukcija i temelja);
- **obvezna dinamička ispitivanja** (vertikalni progibi u sredini odabranih raspona tijekom prelaska tereta, brzina kojom teret prelazi preko mosta);
- **dopunska dinamička ispitivanja** zahtijevana programom ispitivanja (deformacije na mjestima očekivanih ekstremnih utjecaja, poprečni i uzdužni pomaci u sredinama odabranih raspona, ostala dinamička svojstva konstrukcije).

4. OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA POKUSNOG OPTEREĆENJA

- Most je tehnički ispravna konstrukcija ako su ispunjeni sljedeći uvjeti:
 - izmjereni progibi i pomaci manji ili jednaki teorijskim;
 - izmjereni trajni progibi su nakon rasterećenja manji od
 - 15% max mjerenih progiba na istom mjestu za čelične i spregnute mostove, 20% max mjerenih progiba za mostove od prednapetog betona i 25% max mjerenih progiba za armiranobetonske mostove;

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

- širina mjerenih pukotina kod armiranobetonskih mostova manja od dozvoljenih sukladno tehničkim propisima;
 - veličina je izmjerenih progiba takva da ne utječe na funkcionalnost ili estetski izgled konstrukcije;
 - zadovoljavajuća ocjena dinamičkog ponašanja pod pokusnim teretom.
- Dinamičko ponašanje mosta je zadovoljavajuće ako se
- periodi slobodnih vibracija nalaze u granicama teorijskih vrijednosti,
 - dinamički koeficijent uvećanja nalazi u granicama predviđenim projektom;
 - ako vibracije ne stvaraju kod korisnika osjećaj neugode (podrhtavanje, rezonancija, odnos amplituda i frekvencija).
- Ukoliko prethodno navedeni uvjeti nisu zadovoljeni a trajni su progibi prekoračeni do 25%, potrebno je ponoviti pokusno opterećenje mosta, pri čemu trajni progibi ne smiju prekoračiti:
- 7,5% mjerenih pod opterećenjem za čelične mostove, 10% mjerenih za mostove od prednapetog betona te 12,5% mjerenih za mostove od armiranog betona;
 - svi ostali uvjeti moraju biti zadovoljeni;
 - ukoliko su veličine trajnih progiba prekoračene ili ostali uvjeti nisu ispunjeni, konstrukcija se mora ponovno analizirati i moraju se predložiti odgovarajuće mjere.

HRN U.M1.046

ISPITIVANJE MOSTOVA POKUSNIM OPTEREĆENJIMA

5. IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU MOSTA PRI POKUSNOM OPTEREĆENJU

- ❑ O ispitivanju mosta pokusnim opterećenjem, tijelo koje je izvršilo ispitivanje izdaje izvješće.
- ❑ Izvješće može biti:
 - **privremeno**, s osnovnim podacima o ispitivanju i zaključkom o podobnosti mosta za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja;
 - **konačno**, sa svim podacima o ispitivanju, usporednim teorijskim proračunima, analizom rezultata i zaključkom o podobnosti mosta za preuzimanje projektom predviđenih opterećenja.
- ❑ U izvješću mora biti naznačena vrsta pokusnog opterećenja.
- ❑ Privremeno izvješće važi do izrade konačnog i to najdulje 6 mjeseci.

HRN U.M1.048

NAKNADNO UTVRĐIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE UGRAĐENOG BETONA

1. PREDMET PRAVILNIKA

- ❑ Opisuje se postupak utvrđivanja tlačne čvrstoće tlačnog betona.
- ❑ Tlačna čvrstoća ugrađenog betona utvrđuje se ispitivanjem betonskih tijela u obliku cilindra, izvađenih iz konstrukcije ili kombinacijom postupaka – ispitivanjem betonskih tijela izvađenih iz konstrukcije i primjenom jednog od nerazornih postupaka.
- ❑ Nerazorni postupak primjenjuje se samo uz vađenje betonskih tijela iz konstrukcije.

2. PODRUČJE PRIMJENE

- ❑ Ako su kontrolna tijela prilikom ugrađivanja uzeta u dovoljnom broju ali kriterij za klasu betona nije zadovoljen.
- ❑ Ako je uzeto manje od predviđenog broja kontrolnih uzoraka u partiji betona za vrijeme izvođenja radova.

3. UZIMANJE BETONSKIH UZORAKA I ODREĐIVANJE BROJA ISPITNIH MJESTA

- ❑ Broj uzoraka ispitivanja ovisi o vrsti i veličini uzorka, načinu ispitivanja te području primjene.
- ❑ Rezultati mjerenja se obvezno statistički obrađuju (srednja vrijednost, standardna devijacija).

HRN U.M1.048

NAKNADNO UTVRĐIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE UGRAĐENOG BETONA

- Mjesta vađenja cilindara prilagođuju se ispitivanjima bez razaranja.
- Korekcijski faktor $K = f_c / f_n$.
- Broj ispitnih mjesta bez razaranja ovisi o vrsti i izmjerama konstrukcijskog elementa (stup, greda, ploča, zid, temelj) pri čemu on ne smije biti manji od 30. Rezultati se množe s faktorom korekcije te statistički obrađuju.

4. POSTUPAK ISPITIVANJA

- Priprema za ispitivanje
 - Izvađeni cilindri se za ispitivanje pripremaju sukladno normi HRN U.M1.040.
- Određivanje tlačne čvrstoće
 - tlačna se čvrstoća ispituje sukladno normi HRN U.M1.020;
 - tlačna čvrstoća betona utvrđena na pojedinim cilindrima preračunava se u tlačnu čvrstoću betonske kocke izmjera 20x20x20cm (faktori konverzije);
 - tlačna čvrstoća betona utvrđena na cilindrima u starosti od n mjeseci preračunava se na 28-dnevnu tlačnu čvrstoću množenjem s odgovarajućim koeficijentima ukoliko se ne raspolaže stvarnim podacima o prirastu tlačne čvrstoće tijekom vremena.

HRN U.M1.048

NAKNADNO UTVRĐIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE UGRAĐENOG BETONA

5. OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA

6. IZVJEŠĆE O ISPITIVANJU

- Izvješće o naknadno utvrđenoj tlačnoj čvrstoći betona mora sadržavati sljedeće podatke:
 - obrazloženje razloga ispitivanja s količinom betona i ocjenama klase betona po partijama;
 - način određivanja broja cilindara;
 - osnovne podatke o uređajima za ispitivanje s datumom baždarenja i nazivom tijela koje izvršilo baždarenje;
 - sve pojedinačne rezultate ispitivanja (sa i bez razaranja);
 - skice iz kojih se vidi na kojim su mjestima vađeni cilindri i obavljena nerazorna ispitivanja;
 - ocjenu rezultata ispitivanja.