

TRAJNOST KONSTRUKCIJA I



- 8 -

DIJAGNOSTIKA STANJA I
MONITORING KONSTRUKCIJA

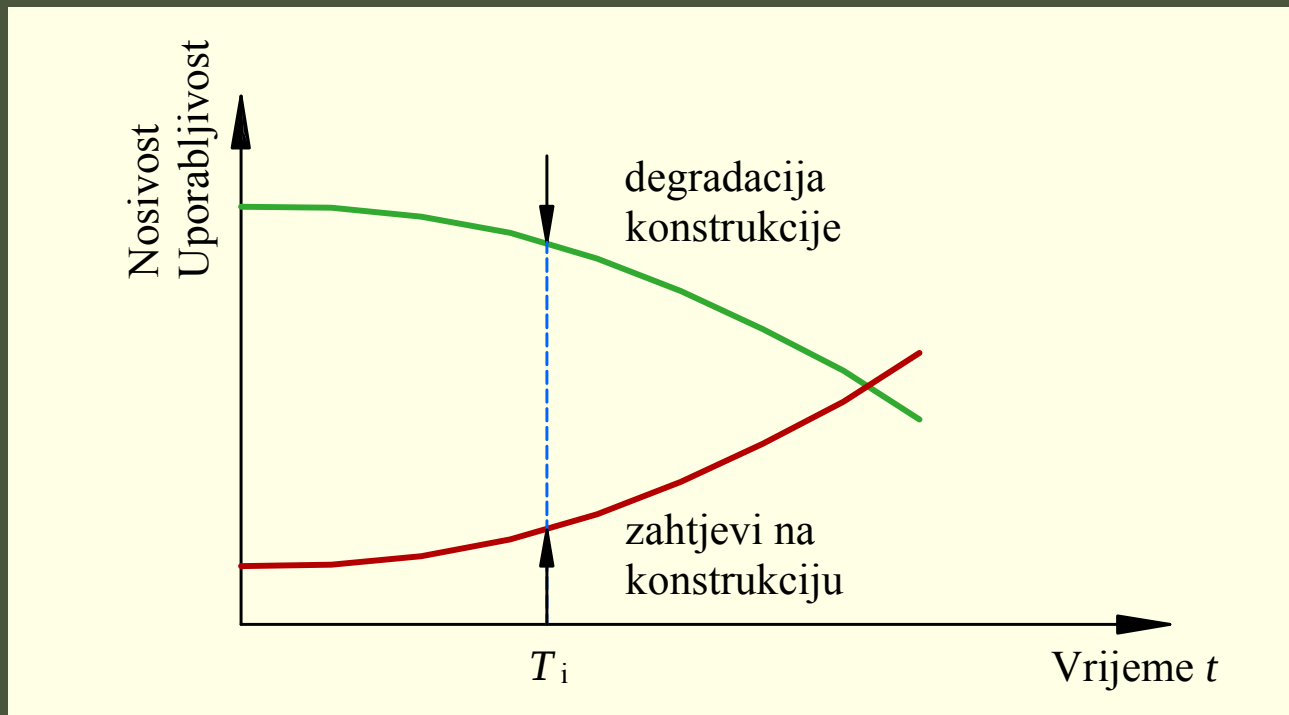
Dijagnostika konstrukcija

□ Sastoji se:

1. U utvrđivanju trenutačnog stanja čitave konstrukcije, osobito kritičnih dijelova
2. U utvrđivanju preostale razine
 - Nosivosti
 - Upotrebljivosti
 - Ili nekog drugog bitnog svojstva

Dijagnostika konstrukcija

- *Treba dati odgovor na pitanje gdje se konstrukcija po razini nekog od svojih odlučnih svojstava nalazi na grafikonu*



- *Zašto nam je potreban odgovor na to pitanje ?*

Dijagnostika konstrukcija

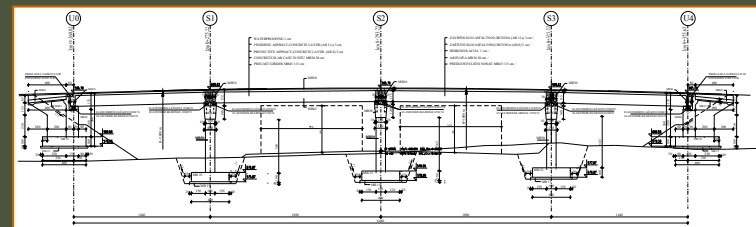
■ Potreban zbog odluke o radovima:

- Sanacije, rekonstrukcije... (potreba za planiranjem i projektiranjem radova održavanja)
- Zbog korištenja u izmijenjenim uvjetima (predviđa se prenamjena ili adaptacija građevine)
- Zbog spoznaje razine sigurnosti pod opterećenjem (koje ne mora biti identično onom za koje je konstrukcija proračunata; razvoj tehnologije uvjetuje veća uporabna opterećenja)

Tijek dijagnostike konstrukcija

- Tijek dijagnostike se razlikuje ovisno da li promatramo:

- *POSTOJEĆE GRAĐEVINE*
(počnemo se njima baviti u nekom trenutku njihova postojanja)
- *NOVE GRAĐEVINE*
(unaprijed planiran proces)



TRAJNOST KONSTRUKCIJA I



DIJAGNOSTIKA STANJA
POSTOJEĆIH KONSTRUKCIJA

Tijek dijagnostike za postojeće građevine

- ☐ *Prikupljanje ili rekonstrukcija nacrtā*
- ☐ *Prikupljanje ili rekonstrukcija proračuna*
- ☐ *Pregled građevine*
- ☐ *Ispitivanja i praćenja*
- ☐ *Proračun*
- ☐ *Ocjenjivanje i odluka o daljnjem postupanju*

PRIKUPLJANJE I REKONSTRUKCIJA DOKUMENTACIJE

- **OPTEREĆENJA** se određuju
 - iz važećih propisa za opterećenja
- **UVJETI OKOLIŠA**
 - iz izvještaja o prethodnim pregledima i održavanju konstrukcije
- **SVOJSTVA OTPORNOSTI** (materijala i konstrukcije) dobivaju se iz
 - propisa,
 - crteža,
 - nekih dijelova projekta građevine (proračun, geotehnički elaborat),
 - dokumentacije o izgradnji (isporuka materijala) i
 - iz izvještaja o prethodnim pregledima i održavanju.



VIZUALNI PREGLED KONSTRUKCIJE

- ▣ *posebnu pozornost valja obratiti na :*
 - geometriju i izmjere presjeka,
 - izgled i razlike u boji površine konstrukcije,
 - pojavu pukotina, njihovu veličinu i raspored,
 - znakove degradacije materijala na površini konstrukcije,
 - deformacije konstrukcije,
 - vlažne površine odnosno mjesta procurivanja vode.



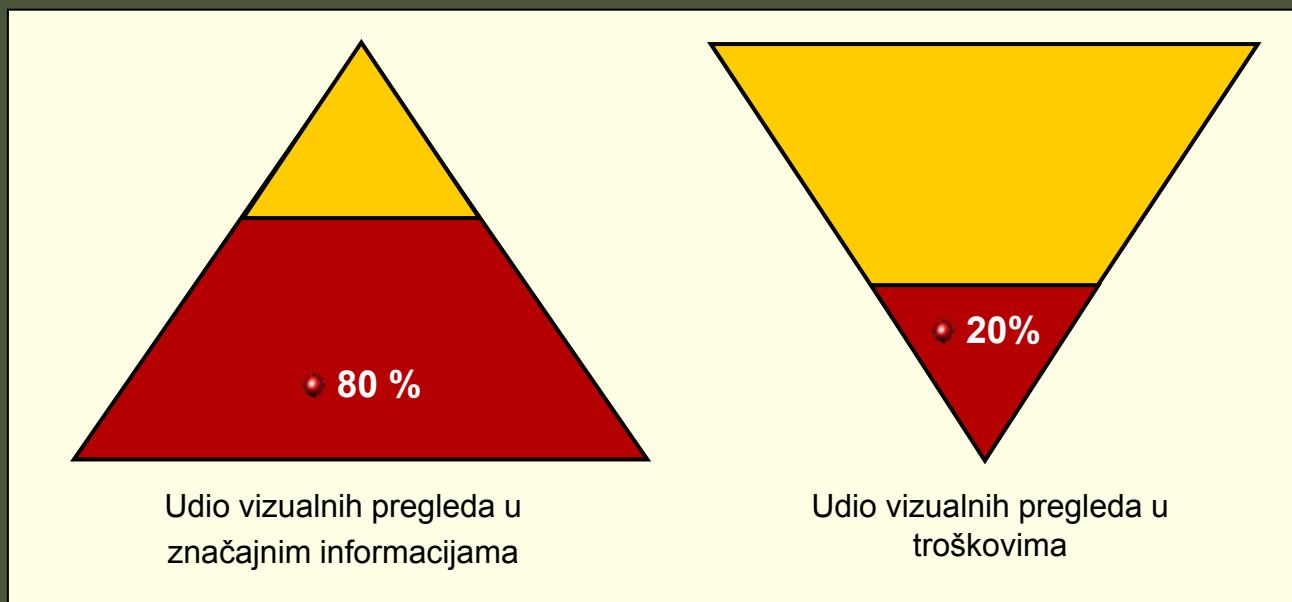
VIZUALNI PREGLED KONSTRUKCIJE

- *utvrđuju se:*
 - oštećenja na pojedinim konstrukcijskim elementima,
 - njihovi uzroci,
 - raširenost te utjecaj na nosivost i uporabljivost tog elementa i konstrukcije u cjelini
 - eventualno postojanje pretjeranih deformacija, rotacija ili vibracija.



VIZUALNI PREGLED KONSTRUKCIJE

- *Važnost vizualnih pregleda u dijagnosticiranju stanja konstrukcija*



Metode ispitivanja materijala/konstrukcije

- ❑ **PROMJENE POPREČNIH PRESJEKA I UZDUŽNE GEOMETRIJE** od preopterećenja (oštećenja, pukotine, napuknuća) i od procesa dotrajavanja (korozija, ljuštenje, pukotine od zamora) utvrđuju se uporabom lasera, ultrazvučnih uređaja, kliznih mjerila i elektroničkih mjerila, ...
- ❑ **CJELOVITOST KONSTRUKCIJE** (traženje skrivenog oštećenja ili nehomogenosti) uporabom npr. ispitivanja udarnim odzvanjanjem (ispitivanje impact echo)



Ultrazvučno ispitivanje debljine kolničke ploče i pronalazak šupljina



Impact-echo ispitivanje čeličnog stupa

Metode ispitivanja materijala/konstrukcije

- ❑ **ČVRSTOĆA MATERIJALA** određuje se pomoću vlačnih i tlačnih ispitivanja na uzorcima, metodom sklerometra, ispitivanja izvlačenjem, čupanjem, kidanjem ili cijepanjem, ...
- ❑ **SVOJSTVA KOJA UTJEČU NA VLASTITU TEŽINU ILI DODATNO STALNO OPTEREĆENJE** (gustoća materijala, stalna oprema)



Mjerenje čvrstoće
sklerometrom



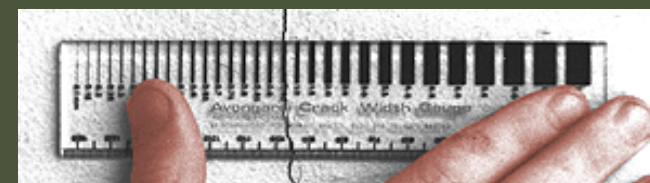
Određivanje gustoće
nuklearnim mjerilom

Metode ispitivanja materijala/konstrukcije

- ❑ **SVOJSTVA VEZANA UZ POLOŽAJ KONSTRUKCIJE I VIJEK TRAJANJA** (uvjeti okoliša, karbonatizacija i sadržaj klorida u betonu) određuju se ispitivanjem pH, nekim drugim kemijskim ispitivanjima, analizom sadržaja klorida na uzorcima, ...
- ❑ **SVOJSTVA UPORABLJIVOSTI** (širine pukotina, stanje kolnika na cestama).



Mjerenje potencijala
korozije armature



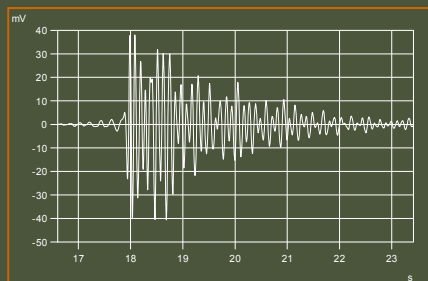
Mjerenje širine pukotina



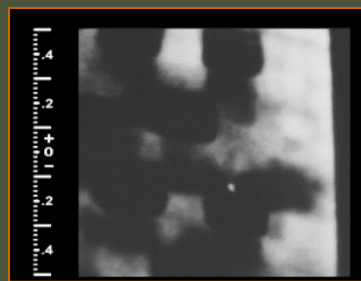
Metode ispitivanja materijala/konstrukcije

NERAZORNA

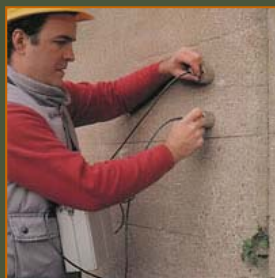
□ Dinamička ispitivanja:



□ Termografija:



□ Ultrazvuk:



□ Sklerometar:



RAZORNA

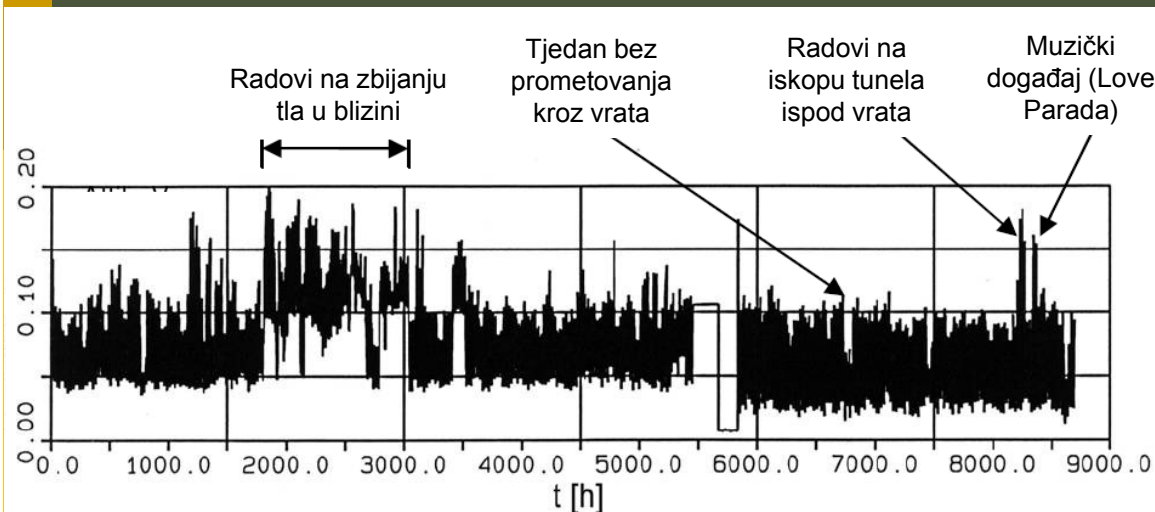
□ Uzimanje uzoraka:



Ispitivanje ispunjavanja uvjeta i praćenje ponašanja konstrukcije

■ PRAĆENJE STANJA KONSTRUKCIJE

- za neprekidno ili periodično promatranje cjelovitosti
- Mjere se pomaci, deformacije i naprezanja, razvoj oštećenja (širine pukotine) i svojstva vibriranja
- s ciljem otkrivanja promjena u svojstvima konstrukcije a ponekad i zbog mogućeg upozorenja da je granično stanje dosegnuto ili premašeno



Praćenje dinamičkih učinaka djelovanja na Brandenburškim Vratima, Berlin. Periodi opterećenja i pojedinačni događaji su dobro uočljivi.

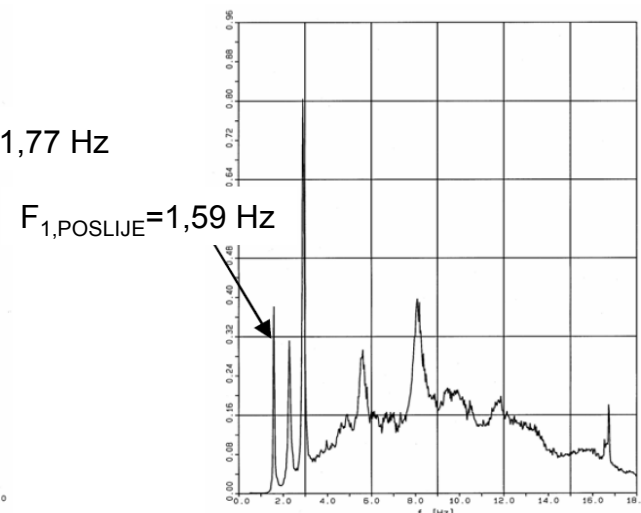
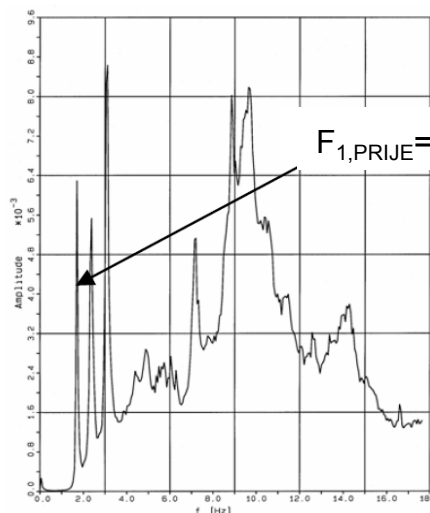


Ispitivanje ispunjavanja uvjeta i praćenje ponašanja konstrukcije

■ PREPOZNAVANJE SUSTAVA STATIČKIM I DINAMIČKIM MJERENJIMA

- kako bi se odredila krutost elemenata i spojeva, popustljivost zglobova ili uvjeti oslanjanja.
- Mjerenja se provode na stvarnoj konstrukciji pa je na temelju rezultata (statička svojstva – progibi, nagibi; dinamička svojstva – pripadne frekvencije i modalni oblici) moguće poboljšati proračunski model koji će više odgovarati ponašanju stvarne konstrukcije

Promjene u prvoj vlastitoj frekvenciji Brandenburških vrata prije i poslije promjena u uvjetima temeljenja



Ispitivanje ispunjavanja uvjeta i praćenje ponašanja konstrukcije

■ DOKAZNO OPTEREĆENJE

- U okviru GSU učinak djelovanja mjeri se nakon primjene dokaznog opterećenja i ovisno o tome je li odgovarajuća mjera prekoračila granično stanje ili ne daje se ocjena u sljedećem koraku.
- U okviru GSN činjenica da konstrukcija ili neki njen element nisu otkazali tijekom ispitivanja dokazuje da granično stanje nije premašeno.

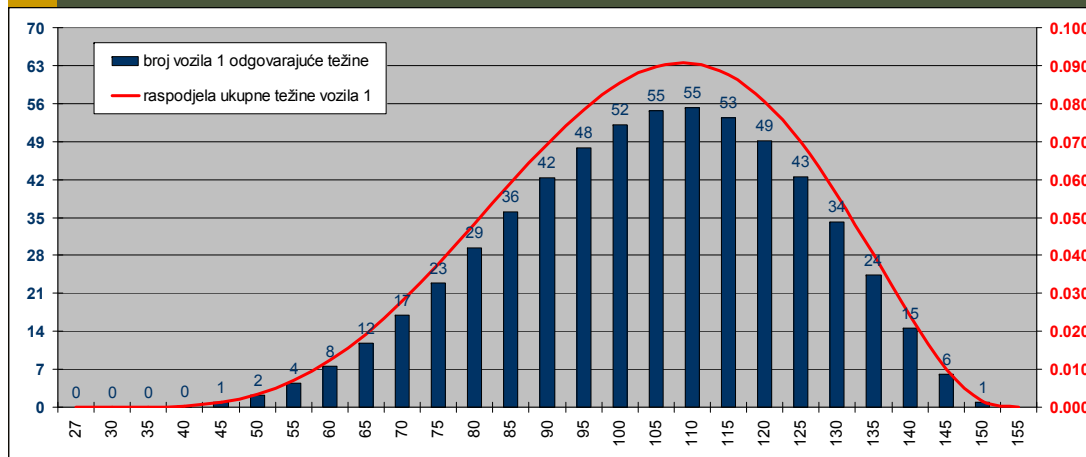


KONSTRUKCIJA I



Praćenje promjenljivih djelovanja i uvjeta okoliša na konstrukciju

- Na temelju praćenja **STVARNIH DJELOVANJA** na konstrukciju razvijaju se **LOKALIZIRANI MODELI PROMJENJIVOG OPTEREĆENJA** koji se kod viših razina ocjenjivanja rabe umjesto normiranih modela djelovanja



Teška vozila	PGDP (n)	PGDP (%)	Težina prazno (kN)	Ukupna težina (kN)	Zastupljenost	Model reprezentativnog vozila Osovinska opterećenja (kN) Postotak ukupne težine (%) Razmaci osovina (m)	Zastupljenost pojedinog modela (%)
teretna ≤ 3.5t	409	24,345	27	50	1,00	1 34 64 0,35 0,65	36,310
autobusi	127	7,560	100	140	1,00	2 52 98 0,35 0,65	
teretna 3.5t – 7.0 t	74	4,405	50	105	1,00	3 60 95 95 0,24 0,38 0,38	
teretna ≥ 7.0 t	352	20,952	50	150	0,82	4 44 89 56 56 0,18 0,36 0,23 0,23	17,181
			70	250	0,19	5 60 100 80 80 80 0,15 0,25 0,2 0,2 0,2	3,771
teglači	431	25,655	135	245	0,96	6 60 100 80 80 80 0,15 0,25 0,2 0,2 0,2	24,629
			150	400	0,04	7 4.20 + 5.45 + 4.0 + 1.35	1,026
teretna s prikolicom	287	17,083	150	400	1,00	8 4.20 + 5.45 + 4.0 + 1.35	17,083

Praćenje promjenljivih djelovanja i uvjeta okoliša na konstrukciju

- Određuju se učinci djelovanja od **IZVANREDNIH DOGAĐAJA**:
 - specijalna vozila,
 - izvanredni vjetar i
 - potres
- **UVJETI OKOLIŠA** čijim promatranjem se buduće dotrajanje može predvidjeti:
 - fizikalne,
 - kemijske ili
 - biološke prirode



Metode proračuna

1. JEDNOSTAVNE METODE PRORAČUNA

- Za niže razine ocjenjivanja, konzervativne metode
- Jednostavni proračunski modeli: prostorni okviri i roštilji (štapni elementi)
- Pojednostavnjene raspodjele opterećenja i linearno elastično ponašanje mater.
- Rezultat - rješenje ravnoteže na donjoj granici.

2. SLOŽENE METODE PRORAČUNA

3. PRILAGOĐAVAJUĆE METODE PRORAČUNA

Metode proračuna

1. JEDNOSTAVNE METODE PRORAČUNA

- Za niže razine ocjenjivanja, konzervativne metode
- Jednostavni proračunski modeli: prostorni okviri i roštilji (štapni elementi)
- Pojednostavnjene raspodjele opterećenja i linearno elastično ponašanje mater.
- Rezultat - rješenje ravnoteže na donjoj granici.

2. SLOŽENE METODE PRORAČUNA

- Metoda konačnih elemenata i nelinearne metode (analiza granice popuštanja) koje mogu rezultirati većim kapacitetom nosivosti
- Modeliranje vremenski promjenjivog ponašanja materijala (skupljanje i puzanje) te uzimanje u obzir međudjelovanja između sastojaka materijala (prrianjanje, utjecaj ugrađene armature) → skrivene rezerve konstrukcije i smanjenje konzervativizma

3. PRILAGOĐAVAJUĆE METODE PRORAČUNA

Metode proračuna

1. JEDNOSTAVNE METODE PRORAČUNA

- Za niže razine ocjenjivanja, konzervativne metode
- Jednostavni proračunski modeli: prostorni okviri i roštilji (štapni elementi)
- Pojednostavnjene raspodjele opterećenja i linearno elastično ponašanje mater.
- Rezultat - rješenje ravnoteže na donjoj granici.

2. SLOŽENE METODE PRORAČUNA

- Metoda konačnih elemenata i nelinearne metode (analiza granice popuštanja) koje mogu rezultirati većim kapacitetom nosivosti
- Modeliranje vremenski promjenjivog ponašanja materijala (skupljanje i puzanje) te uzimanje u obzir međudjelovanja između sastojaka materijala (prrianjanje, utjecaj ugrađene armature) → skrivene rezerve konstrukcije i smanjenje konzervativizma

3. PRILAGOĐAVAJUĆE METODE PRORAČUNA

- Nove informacije o ponašanju konstrukcije → proračunske modele treba prilagođavati
- Moguće je obnoviti konstrukcijske varijable (npr. svojstva krutosti) uporabom izmjerenih podataka kao što su promjene u pomacima, deformacijama, vrijednostima oštećenja (npr. širine pukotina).

Ocjenjivanje konstrukcija

- ❑ Moguće je provoditi postupcima različite sofisticiranosti i uz ulaganje različitih napora
- ❑ 3 razreda postupaka i razine ocjenjivanja od 0 do 5
- ❑ Preporučuje se ocjenjivanje započeti s jednostavnim konzervativnim postupcima niže razine i ako se takva ocjena pokaže nezadovoljavajućom krenuti na detaljniju višu razinu ocjenjivanja.

RAZREDI OCJENJIVANJA		POSTUPAK OCJENJIVANJA		
Cilj ocjenjivanja	Razina ocjene			
NEFORMALNE OCJENE		Ocjenjivanje po iskustvu inženjera Vizualni pregled učinaka dotrajanja (pukotine, ljuštenje, odlamanje, korozija) Prethodno ocjenjivanje konstrukcije		
Kvalitativne ocjene stanja	Razina 0			
OCJENE TEMELJENE NA MJERENJIMA		Određivanje učinaka djelovanja	Dokazni postupak	
Kvantitativno ocjenjivanje uporabljivosti	Razina 1	Mjerenje vrijednosti određenih parametara pod uporabnim opterećenjem (stvarno ili pokusno)	Usporedba izmjerenih i graničnih vrijednosti	
OCJENE TEMELJENE NA MODELIMA		Prikupljanje podataka	Model proračuna	Dokazni postupak
Kvantitativno ocjenjivanje nosivosti i uporabljivosti	Razina 2	Iz projekata i propisa Pregledi	Osnovni modeli Detaljni modeli	Determinističko (izvanredno) Poluprobabilistički (parc. koef.)
	Razina 3	Pregledi konstrukcije (izmjere) i ispitivanja materijala	Detaljni modeli (MKE, nelinearni proračuni) Prilagođeni modeli	Poluprobabilistički (parc. koef.)
	Razina 4	Praćenja (monitoring) za prepoznavanje sustava Praćenje opterećenja Dokazna opterećenja	Detaljni modeli (MKE, nelinearni proračuni) Prilagođeni modeli	Poluprobabilistički (modificir. parc. koef.) Približne probabilističke metode (FORM, SORM)
	Razina 5	Kao za razine 3 i 4 + Statistička svojstva podataka	Jednostavni i prilagođeni modeli Stohastički modeli konačnih elemenata	Približne probabilističke metode (FORM, SORM) Simulacijske probabilističke metode (MCS)

Odluka o daljnjem postupanju

- ❑ Trebaju se dati preporuke za kratkoročne i dugoročne aktivnosti.
 - ❑ Zaključak o stanju konstrukcije može biti:
 - spoznaja da još uvijek imamo rezerve u konstrukciji iznad minimalno dopustive ili poželjne razine,
 - ograničenje uporabe jer konstrukcija više nema rezerve iznad minimalno dopustive ili poželjne razine,
 - odluka o sanaciji, rekonstrukciji ili sličnoj intervenciji na konstrukciju.
-

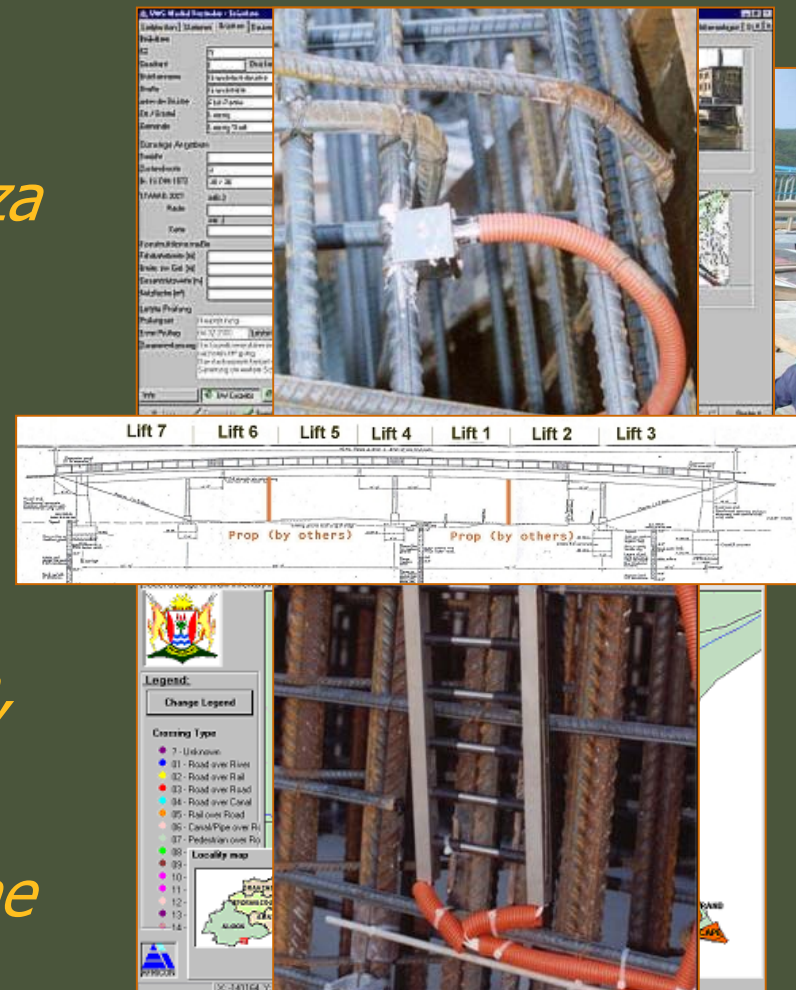
TRAJNOST KONSTRUKCIJA I



DIJAGNOSTIKA STANJA
NOVIH KONSTRUKCIJA

Tijek dijagnostike za nove građevine

1. *Formiranje banke podataka*
2. *Ugradnja određenih uređaja za praćenje stanja (tijekom izvedbe)*
3. *Kontinuirano održavanje i praćenje stanja*
4. *Programirani radovi popravka, sanacija...*
5. *Planirano uklanjanje građevine po isteku vijeka trajanja*



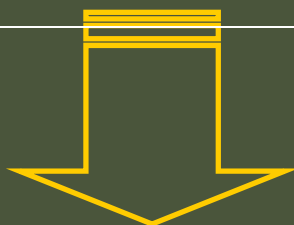
Monitoring konstrukcija

PERIODIČNI

Pregledi
Ispitivanja na terenu
Laboratorijska ispitivanja
izvađenih uzoraka

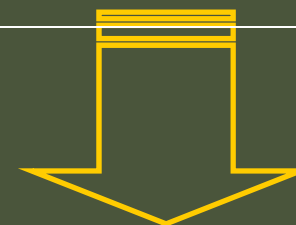


KONTINUIRANI I TRAJNI
MONITORING POMOĆU
SENZORA UGRAĐENIH U
KONSTRUKCIJU



Uobičajeno za mostove
malih i srednjih raspona

Npr. za mostove



Sve češće za veće i/ili
značajnije mostove

Monitoring tijekom izgradnje

- Provjera pretpostavki proračuna konstrukcije
- Mogućnost pravovremenih prilagodbi i intervencija
- Određivanje utjecaja primijenjenih postupaka izgradnje na pojedine parametre konstrukcije:
 - definiranje “početnog” stanja za učinkovito upravljanje građevinom (procjenu stanja i planiranje održavanja tijekom uporabe)

Sustav za monitoring

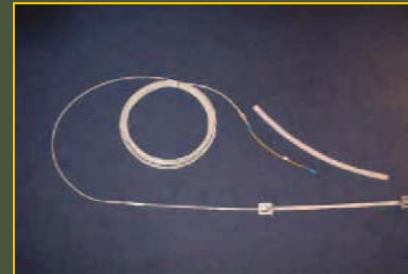
- ❑ Broj i vrsta senzora koji se ugrađuju ovise o:
 - Lokaciji mosta
 - Vrsti konstrukcije
 - Dominatnim opterećenjima
 - ...



Sustav za monitoring

- Usavršavanje mjerne i računalne tehnike u zadnjih 15-ak godina → razvoj i široka primjena monitoringa konstrukcija

- Fiber optic senzori
- Bežični prijenos signala
- GPS
- ...



Monitoring konstrukcija

- ▣ Najčešće se prikupljaju podaci o:
 - Dinamičkom ponašanju konstrukcije pod korisnim opterećenjem i djelovanjem vjetra
 - Kratkotrajnim i dugotrajnim deformacijama betona i čelika
 - Naprezanjima uslijed djelovanja temperature
 - Pomacima konstrukcije

MASLENIČKI MOST – monitoring različitih parametara



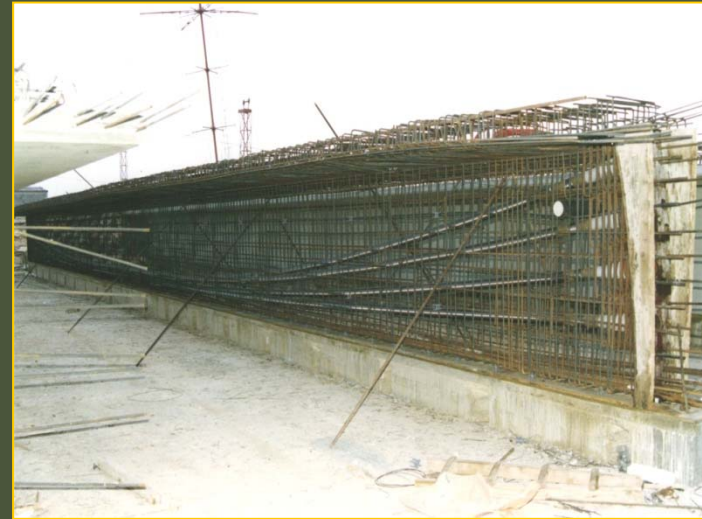
MEHANIČKI PARAMETRI

KOROZIJSKI PARAMETRI

PARAMETRI OKOLINE

- ❑ Trajni monitoring iz udaljenog kontrolnog centra
- ❑ Senzori ugrađeni paralelno s izgradnjom

MASLENIČKI MOST – monitoring tijekom izgradnje



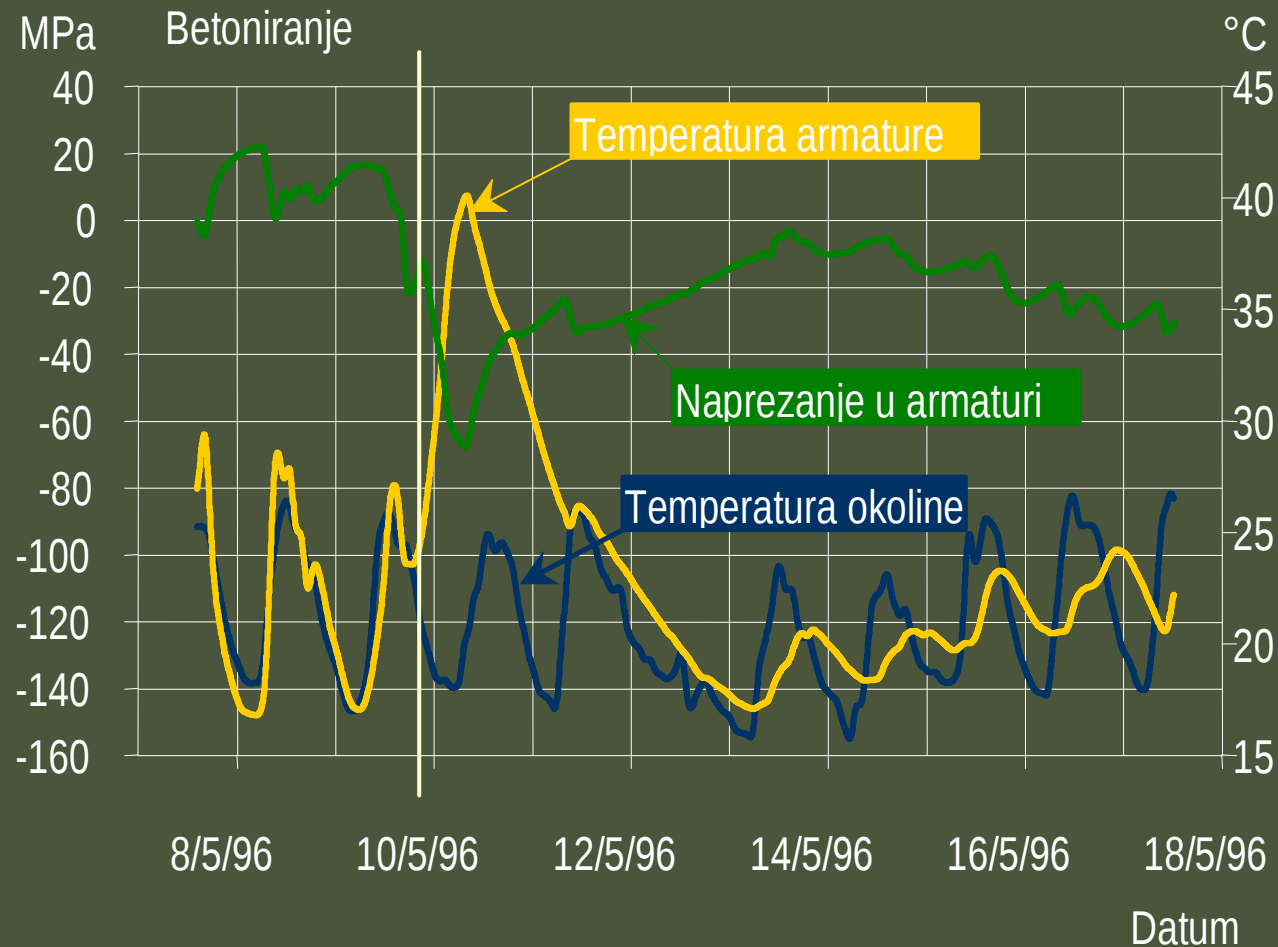
■ *GLAVNI NOSAČI:*

- Mjerenje relevantnih parametara tijekom betoniranja nosača
- Mjerenje deformacija i naprezanja u armaturi i progiba uslijed prednapinjanja i vlastite težine
- Mjerenje vlastitih frekvencija i određivanje krutosti
- Određivanje modula elastičnosti rasponskog sklopa

■ *LUK:*

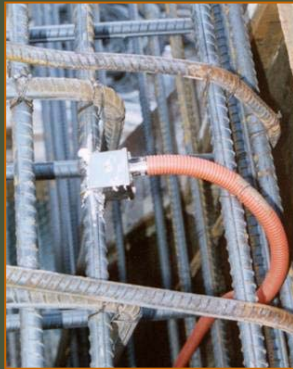
- Mjerenje naprezanja u fazi izgradnje

MASLENIČKI MOST – monitoring tijekom izgradnje



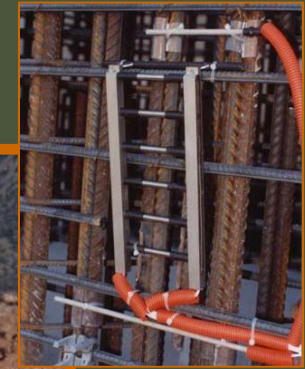
→ Temperatura i naprezanje u armaturi tijekom betoniranja montažnih nosača

MASLENIČKI MOST – trajni monitoring



92 tenzometara

20 korozijskih senzora



- ❑ Temperatura okoline, relativna vlažnost zraka, smjer i brzina vjetra
- ❑ Temperatura konstrukcije
- ❑ Deformacije, ubrzanja -- Naprezanja, brzine, pomaci,
- ❑ Korozijski parametri (jakost korozijske struje, elektrokemijski potencijal anode, temperatura i elektrolitička otpornost betona)

Sustav monitoringa omogućuje:

- ❑ kontinuirano praćenje kratkoročnog i dugoročnog ponašanja konstrukcije, osiguravajući nosivost i uporabljivost,
- ❑ rano uočavanje oštećenja,
- ❑ djelotvornije planiranje održavanja i popravljanja konstrukcije,
- ❑ ocjenu ponašanja i preostalog vijeka trajanja konstrukcije,
- ❑ stjecanje novih saznanja o ponašanju konstrukcije, omogućujući izgradnju pouzdanijih i/ili ekonomičnijih građevina u budućnosti,
- ❑ provjeru pretpostavki proračuna,
- ❑ automatizaciju – povećanje sigurnosti i pouzdanosti.

Proračun preostale trajnosti

❑ Obrnut proces proračuna

- Ne polazimo od opterećenja, u skladu s kojima definiramo potrebna svojstva konstrukcije
- Već, iz utvrđenih obilježja određujemo ostale parametre

❑ Tijek proračuna:

1. Nastoji se što točnije utvrditi trenutno stanje
2. Spoznati procese i mehanizme koji su prethodno bili na djelu tijekom vijeka uporabe i koji su doveli do trenutnog stanja
3. Definirati krivulju degradacije do sada te pretpostaviti njeno napredovanje u budućnosti
4. Iz definirane krivulje degradacije izračunamo preostali vijek trajanja

Proračun preostale trajnosti

- Ovako određeni preostali vijek trajanja ulazni je podatak za ekonomsku kalkulaciju – određujemo isplativost ulaganja (sanacije i sl.)
- **TRAJNOST** – ponajviše ekonomska kategorija!
- Napomena: Ne zaboraviti izmijenjene okolnosti vanjskih djelovanja
 - Opterećenje
 - Zagađenost
 - ...

DODATNO

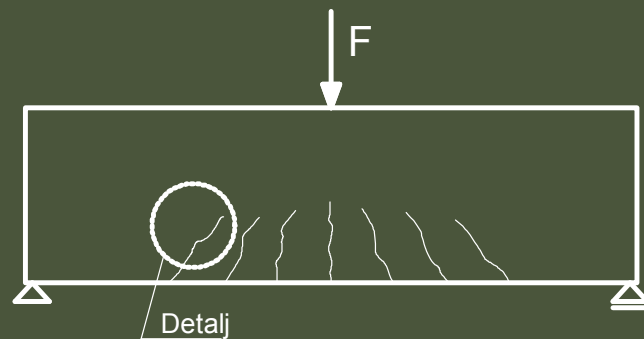


METODE ISPITIVANJA PRI DIJAGNOSTICI KONSTRUKCIJA

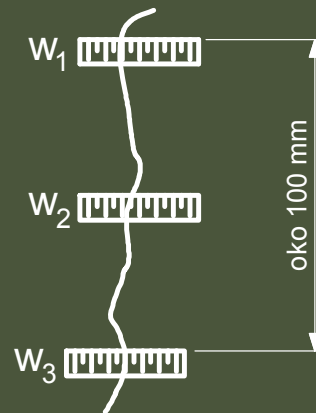
Dijagnostika konstrukcija

OTKRIVANJE PUKOTINA

- evidentirati duljinu, smjer i širinu pukotine



Detalj:



Dijagnostika konstrukcija

ODLAMANJE BETONA

- slojevi betona se odvajaju na ili blizu vanjskog sloja armature

Otkrivanje:

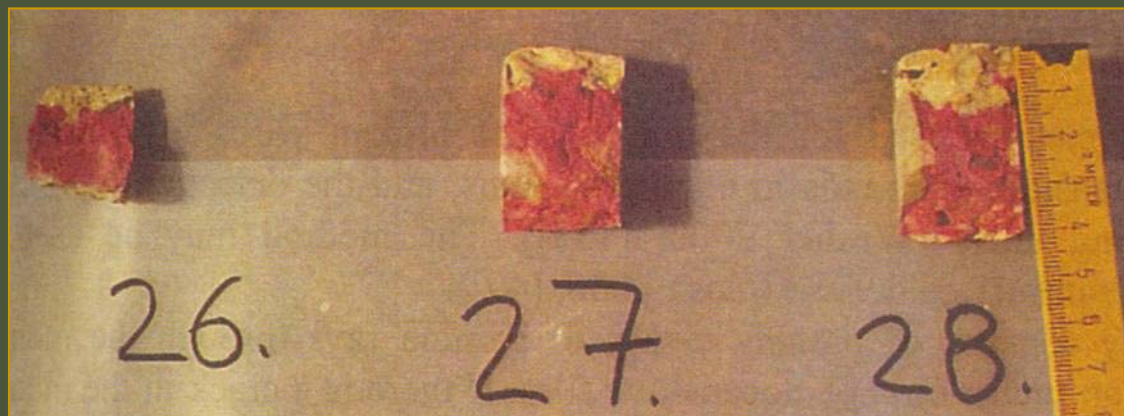
- laganim udaranjem čekićem po površini betona ili povlačenje lanca
- netočna metoda koja samo u grubo može odrediti položaj oštećenja
- jeftina i brza metoda



Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE DUBINE KARBONATIZACIJE

- nova odlomljena površina poprska se tekućim indikatorom koji u osnovnom području mijenja boju. Crta između dvije boje – granica dubine karbonatizacije
- bušilicom zdrobiti malo betona te praškasti materijal dalje obraditi u laboratoriju



Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE KLORIDA U BETONU

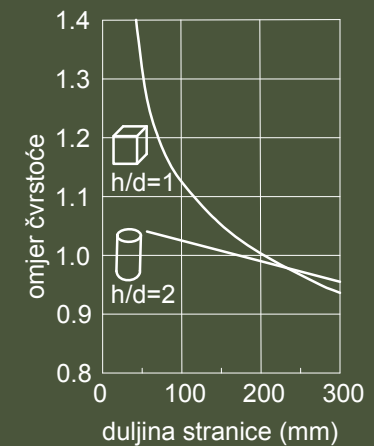
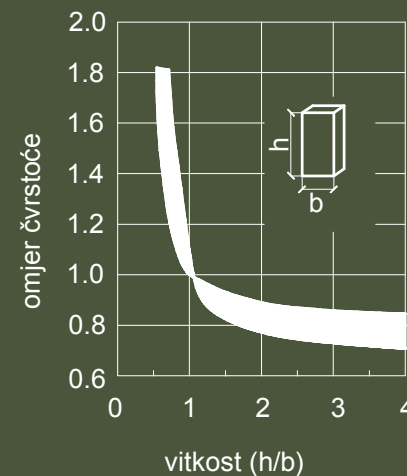
- praškasti uzorak stavlja se u kiselu otopinu te se provodi kvantitativna analiza
- dozvoljene vrijednosti između 0.2% i 0.4% cementne mase



Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA

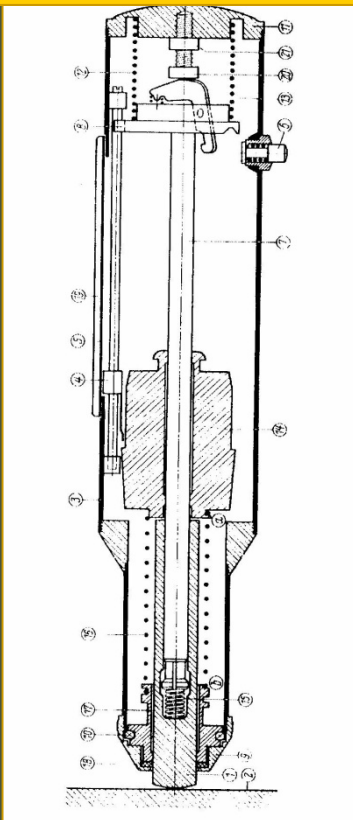
- ispitivanjem valjaka izvađenih iz građevine
- sklerometriranjem



Vađenje valjaka iz konstrukcije i dijagrami ovisnosti vitkosti i duljine stranice i čvrstoće betona.

Dijagnostika konstrukcija

SKLEROMETRIRANJE

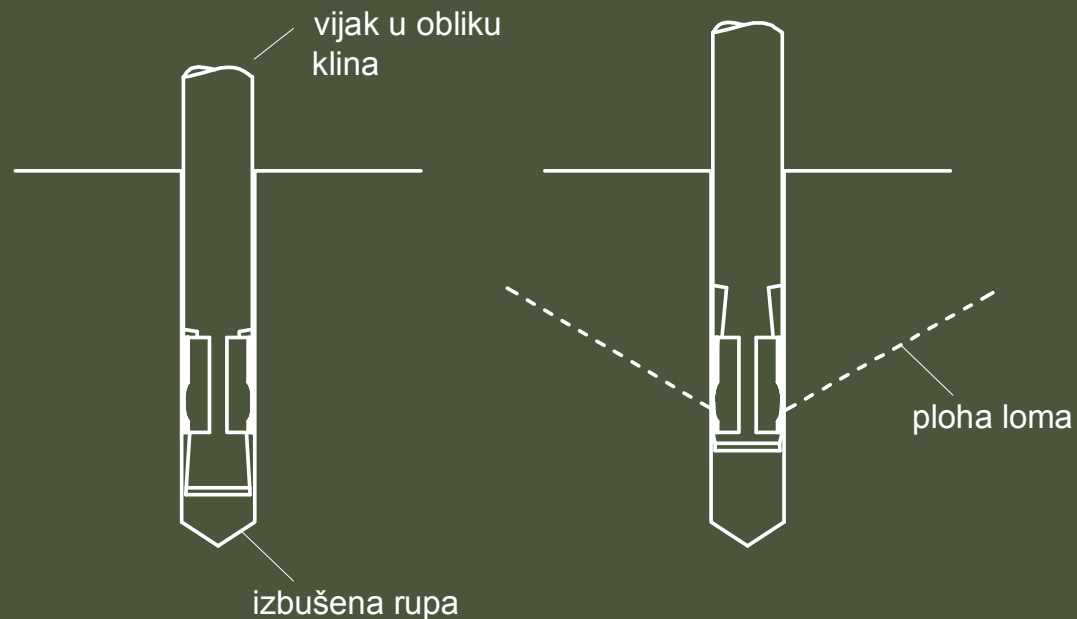


Dijagnostika konstrukcija

PULL-OUT TEST

Osnovni princip:

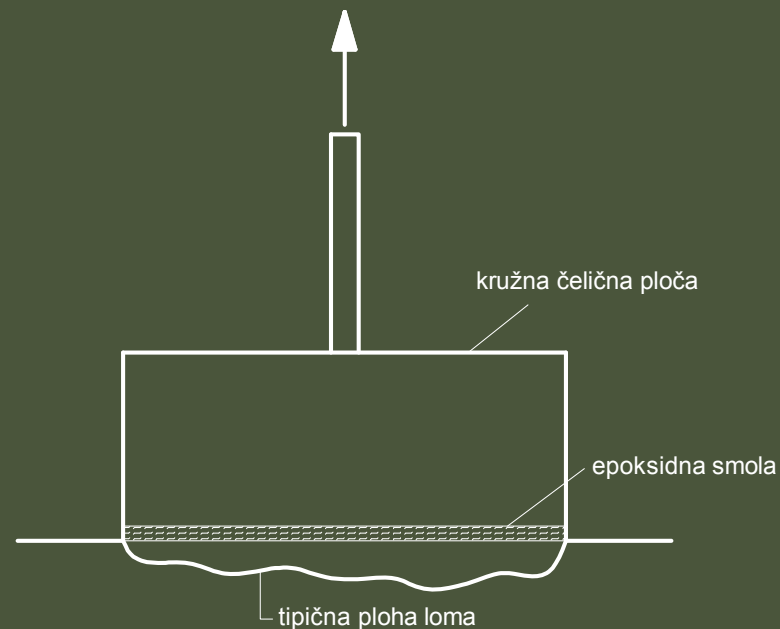
postoji odnos između sile potrebne za čupanje vijka iz betona i tlačne čvrstoće betona



Dijagnostika konstrukcija

PULL-OFF TEST

- mjerenje vlačne čvrstoće betona na licu mjesta
- bitno provođenje testa na kvalitetnom betonu radi dobivanja stvarne slike stanja



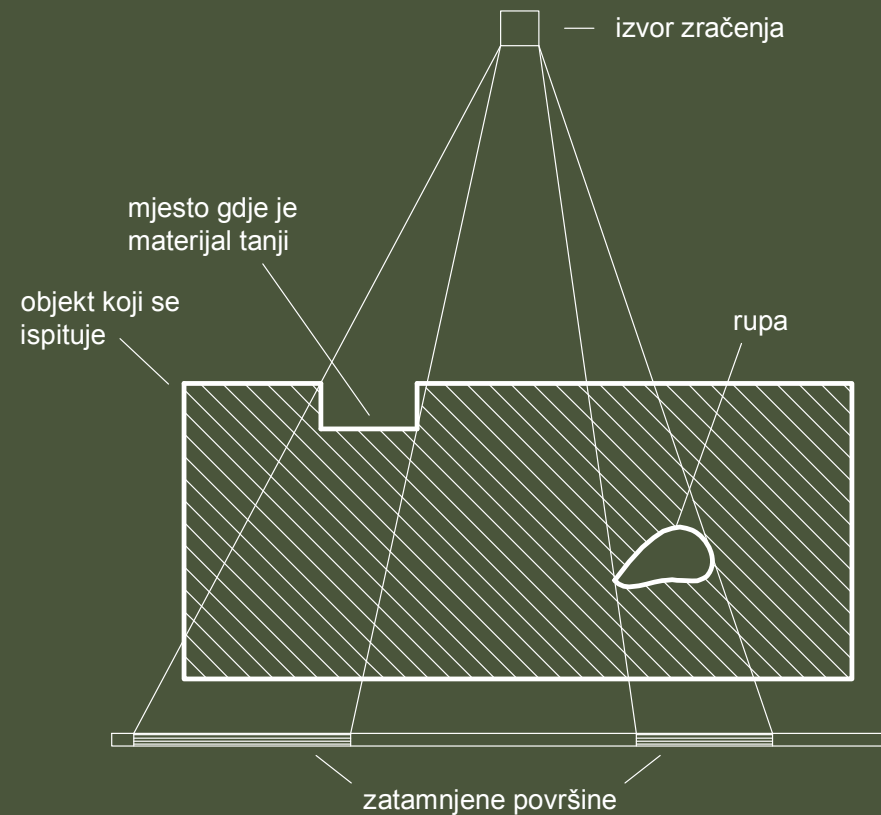
Dijagnostika konstrukcija

NERAZORNE METODE ISPITIVANJA

Dio koji se pregledava	Metoda pregleda
Čvrstoća betona	Sklerometar
Pukotine, ljuštenje, rupe u betonu	Termografija, ultrazvučni valovi, elektromagnetski radar
Pozicija armature, zaštitni sloj	Elektromagnetska indukcija, elektromagnetski radar, X zrake
Korozija armature	Metoda polu ćelijskog potencijala, metoda električnog otpora

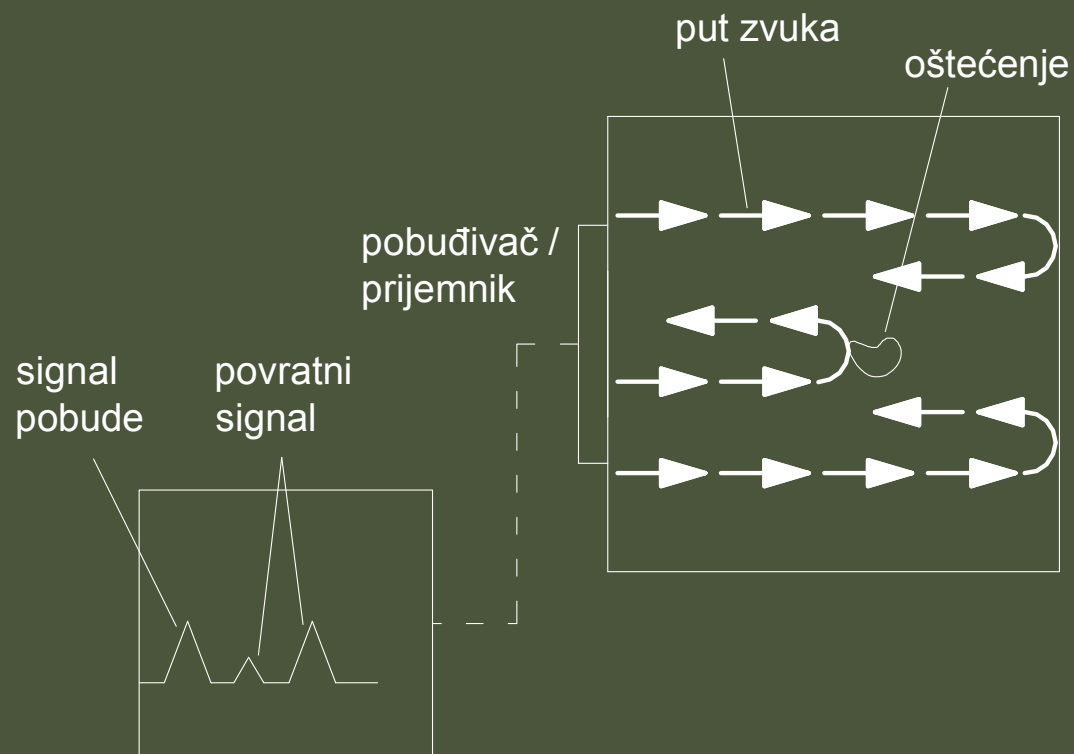
Dijagnostika konstrukcija

RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE



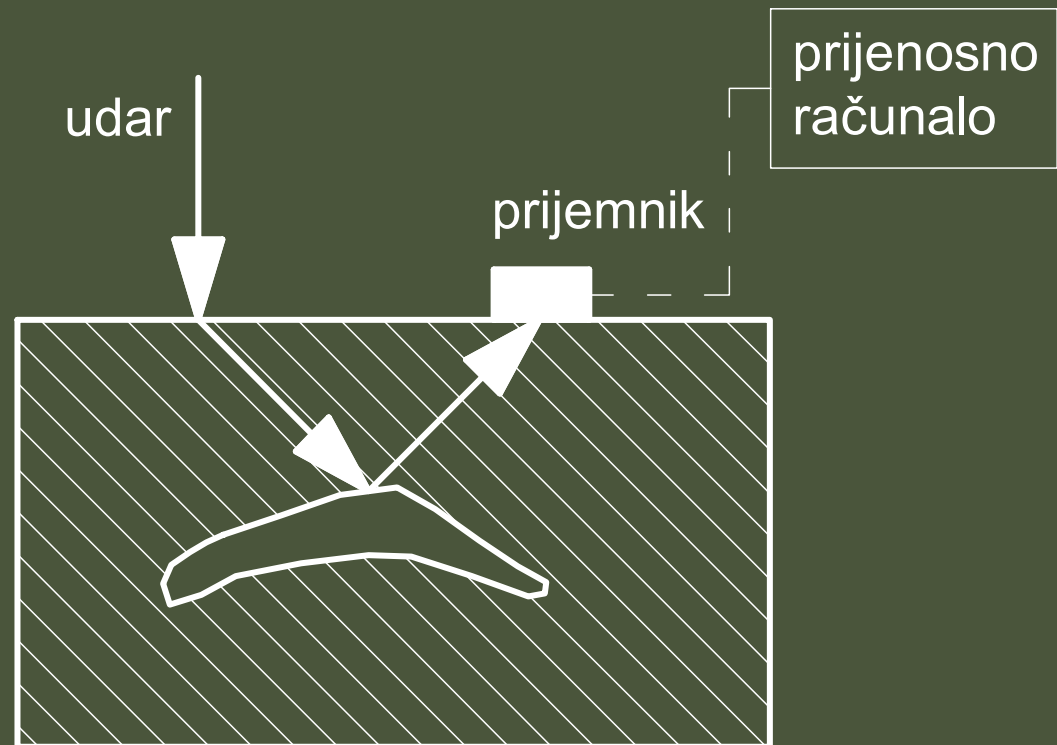
Dijagnostika konstrukcija

ULTRAZVUČNI ODZIV



Dijagnostika konstrukcija

IMPACT-ECHO TEST



Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE POLOŽAJA I PROMJERA ARMATURE



Dijagnostika konstrukcija

ELEKTROMAGNETSKE METODE

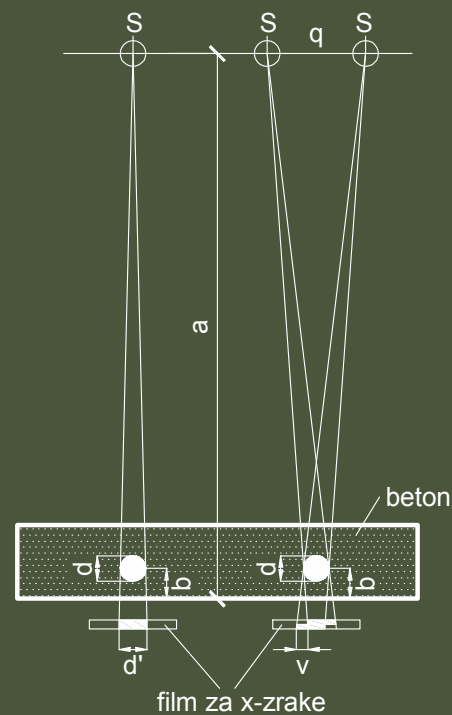
Fizikalni učinak	Što se određuje?	Objašnjenje
Stalni magnetizam	Položaj armature, debljina zaštitnog sloja	Mjeri se privlačna sila između armature i stalnog magneta na površini betona
Elektromagnetska indukcija	Položaj armature, debljina zaštitnog sloja, promjer armature	Magnet utječe na magnetski tok u elektromagnetskom polju
Raspršivanje magnetskog polja	Položaj armature, debljina zaštitnog sloja, promjer armature	Prvo se čelična armatura magnetizira stalnim magnetom. Tada se magnetsko polje mjeri uporabom emisijske sonde. Čelična armatura izazivaju rasipanje polja.

Dijagnostika konstrukcija

RADIOGRAFSKE METODE

obična

dvostruka ekspozicija



$$d = (a - b) \cdot d' / a$$

$$b = (a \cdot v) / (q + v)$$

S - izvor

d - promjer armature

b - zaštitni sloj betona

d' - promjer na filmu

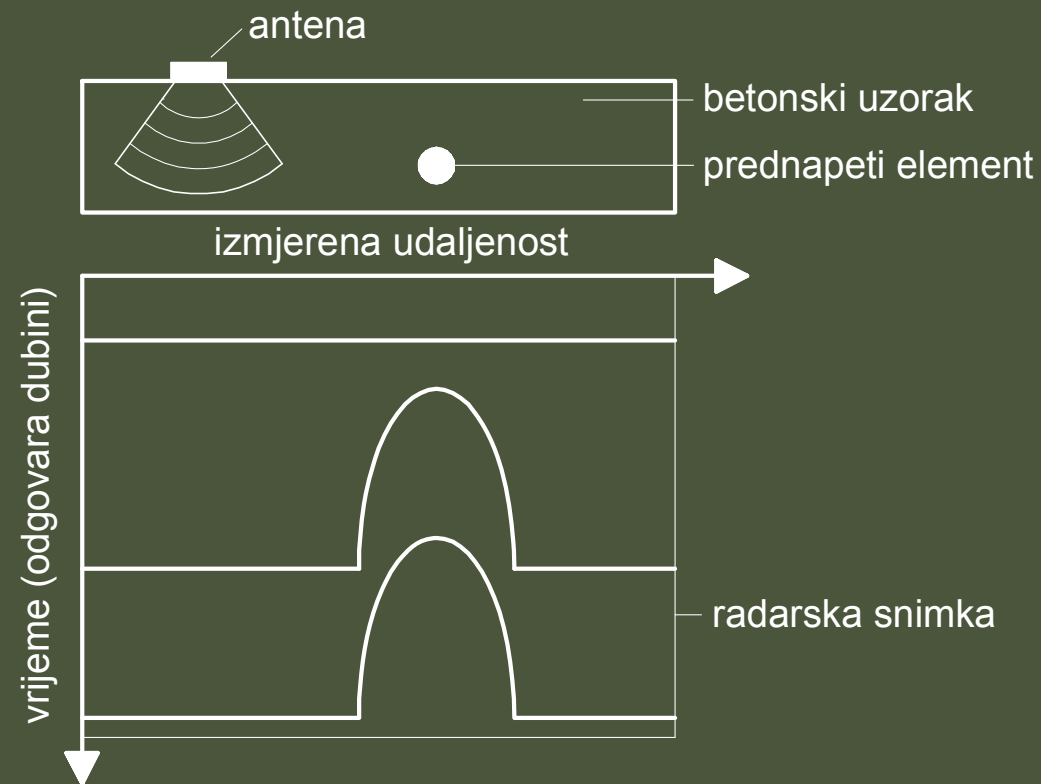
v - pomak na filmu

a - udaljenost od izvora do filma

q - pomak izvora

Dijagnostika konstrukcija

RADARSKE METODE



Dijagnostika konstrukcija

STATIČKO PROBNO OPTEREĆENJE

- provodi se nakon pregleda i lokalnih ispitivanja materijala ukoliko proračuni konstrukcije ne zadovoljavaju propisanu sigurnost
- osim davanja uvida u nosivost i prijenos opterećenja daju uvid u stvarno ponašanje konstrukcije
- može imati značajan utjecaj na prilagodbu analitičkog modela



Dijagnostika konstrukcija

STATIČKO PROBNO OPTEREĆENJE

- Podjela grupa probnog opterećenja:
 1. **Probno opterećenje kao dokaz nosivosti.** Jednostavno osigurava dokaz da konstrukcija može podnijeti projektirano opterećenje
 2. **Ispitivanje radi potvrđivanja.** Cilj je ustanoviti ponašanje konstrukcije pod opterećenjima za posebne situacije koje se mogu dogoditi
 3. **Ispitivanje s ciljem istraživanja ponašanja.** Cilj je otkriti više o stvarnom ponašanju i mogućnostima konstrukcije

Dijagnostika konstrukcija

MJERENJE DINAMIČKOG ODZIVA KONSTRUKCIJE

- Dinamički odziv konstrukcije ili nekog njenog dijela, može se koristiti za ocjenu kakvoće nosača i ocjene stanja oslonaca usporedbom eksperimentalnih rezultata i analitičkih modela.
- Pobuda koja se nanosi na konstrukciju može biti prisiljena, izazvana vibratorima, udarnim čekićima
 - *Kod mostova:* prelaskom kamiona preko prepreke, najčešće daske položene na kolnik ili se mogu pratiti tzv. ambijentalne vibracije izazvane prolascima kamiona i drugih teških vozila preko mosta (nekontrolirani promet)

Dijagnostika konstrukcija

MJERENJE DINAMIČKOG ODZIVA KONSTRUKCIJE



TRAJNOST KONSTRUKCIJA I

Dijagnostika konstrukcija

MJERENJE DINAMIČKOG ODZIVA KONSTRUKCIJE

- ❑ Dinamički parametri najpogodniji za dugotrajno praćenje su:
 - vlastite frekvencije
 - prigušenje
- ❑ Indikacije oštećenja:
 - moment tromosti raspucalog betona se smanjuje te se time umanjuje i vlastita frekvencija
 - gubitak sile prednapinjanja u prednapetim nosačima povećava vjerojatnost pojave vlačnih pukotina, pukotine umanjuju krutost nosača a time se ponovo umanjuje i vlastita frekvencija cijele konstrukcije
 - promijenjeni uvjeti oslanjanja mogu dovesti do promjene vlastite frekvencije
 - pukotine u betonu povećavaju prigušenje konstrukcije
 - promjene uvjeta na ležajevima mijenjaju prigušenje

Dijagnostika konstrukcija

PONOVNI PRORAČUN

- Pokušaj numeričkog predstavljanja sigurnosti i ponašanja konstrukcije, uz zabilježena oštećenja
- Ponovni proračun najčešće je vezan uz jedan ili više slijedećih problema:
 - konstruktivna oštećenja ili nepravilno funkcioniranje konstrukcije
 - smanjenje površine poprečnog presjeka i/ili smanjenje čvrstoće radi propadanja konstruktivnog elementa koji se promatra
 - zahtjev za povećanjem opterećenja konstrukcije ili promjena namjene konstrukcije
- Stoga svrha ponovnog proračuna može biti jedna od slijedećih točaka:
 - dijagnosticiranje konstruktivnih oštećenja ili nepravilnog ponašanja konstrukcije
 - ponovni proračun nosivosti
 - projekt sanacije ili ojačanja

Dijagnostika konstrukcija

ISPITIVANJA

- Što ispitujemo?
 - *Opće stanje*
 - *Kritična mjesta*
- Posebno se posvećujemo kritičnim mjestima - karike lanca
 - *Nosivost konstrukcije je u najboljem slučaju onolika kolika je nosivost kritičnog dijela u njoj*
 - *Nosivost može biti i manja (mehanizam sustava, problem stabilnosti itd.), ali ne veća*

Kritična mjesta ?

- ❑ Mjesta kritična za sigurnost i uporabljivost konstrukcije
- ❑ Mjesta kritična za početak (inicijaciju) degradacije tj. oštećenja
- ❑ Konstrukcijski elementi čiji je popravak skup ili tehnički vrlo zahtjevan