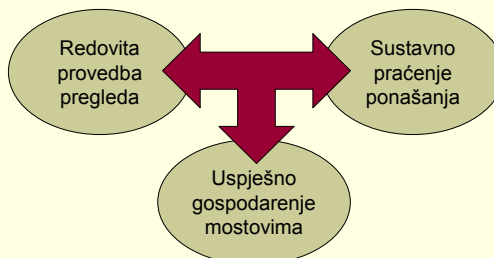


Dijagnostika i monitoring: pregledi, istražni radovi, utvrđivanje stanja

Pregledi i utvrđivanje stanja mostova



MOSTOVI 3
2010.

Pregledi i utvrđivanje stanja mostova

■ RAZLOZI PREGLEDA / ISPITIVANJA:

- Nedovoljni podaci o svojstvima i stanju mosta
- Sumnja na propadanje materijala ili konstrukcije
- Potreba procjene preostalog vijeka uporabe
- Potvrda pretpostavki proračuna ili predviđenog ponašanja tijekom uporabe
- Definiranje ulaznih podataka za odabir optimalne strategije održavanja / popravljanja

MOSTOVI 3
2010.

Pregledi i utvrđivanje stanja mostova



■ PROGRAM PREGLEDA / ISPITIVANJA:

- *Definirati cilj i svrhu pregleda*
 - Identificirati informacije potrebne za ocjenu nosivosti i uporabljivosti mosta
 - Opseg istraživanja
- *Metode ispitivanja*
 - Postupci
 - Redoslijed
 - Broj ponavljanja
 - Kritična mjesta
- *Ljudstvo*
- *Tehnička sredstva*
- *Potrebe ograničenja prometa*

MOSTOVI 3
2010.

Pregledi mostova



■ 4 vrste pregleda:

- Rutinski (redoviti) pregled
- Opći pregled
- Glavni pregled
- Posebni (detaljni) pregled
- *Propisan:*
 - Sadržaj pojedine vrste pregleda
 - Vremenski razmak između dva pregleda
- *Prvi pregled novoizgrađenog mosta!*
- *Stručnost osoba koje provodi pregled*

MOSTOVI 3
2010.

Metode dijagnostike stanja

Čvrstoća/površinska tvrdoća	Pripadne metode ispitivanja i tehnike dijagnostike stanja
Kvaliteta / jednoličnost	
Položaj armature / debljina zaštitnog sloja	
Položaj prednapetih kabela	
Dubina karbonizacije	
Prisutnost klorida, sulfata	
Stanje (korozija) armature	
Napredovanje korozije	
Raširenost pukotina	
Odvajanje	
Svojstva materijala	
Sadržaj vlage	
Otpornost na trošenje	

MOSTOVI 3
2010.

Metode dijagnostike stanja

- Mjerenje širenja pukotina
- Pregled unutrašnjosti šupljina
- Ocjena svojstava armiranog betona
 - Odvajanje betona od armature
 - Čvrstoća betona
 - Dubina karbonizacije
 - Sadržaj klorida
 - Kvaliteta
 - Ultrazvuk
 - Impact echo
 - Kartiranje potencijala
 - Akustična emisija
- Položaj i promjer armaturnih šipaka

MOSTOVI 3
2010.

Metode dijagnostike stanja



- Vizualni pregled
 - Prvi korak u utvrđivanju stanja mosta
 - Najdjelotvornija metoda obzirom na troškove
 - Nezamjenjiv, unatoč razvijenim brojnim sofisticiranim metodama dijagnostike stanja

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Sastoji se:
 1. U utvrđivanju trenutačnog stanja čitave konstrukcije, osobito kritičnih dijelova
 2. U utvrđivanju preostale razine
 - Nosivosti
 - Upotrebljivosti
 - Nekog drugog bitnog svojstva

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Treba dati odgovor na pitanje gdje smo na grafikonu



- Zašto nam je potreban odgovor na to pitanje ?

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Potreban zbog odluke o radovima:
 - Sanacije, rekonstrukcije...
 - Zbog korištenja u izmijenjenim uvjetima
 - Zbog spoznaje razine sigurnosti pod opterećenjem (koje ne mora biti identično onom za koje je konstrukcija proračunata)

MOSTOVI 3
2010.

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)

MOSTOVI 3
2010.

Tijek dijagnostike za postojeće građevine

1. *Prikupljanje ili rekonstrukcija nacрта*
2. *Prikupljanje ili rekonstrukcija proračuna*
 - staro / novo opterećenje
3. *Pregled građevine*
 - utvrđivanje oštećenja (vizualno)
4. *Ispitivanja*
5. *Proračun*
 - Dimenzioniranje kritičnih mjesta
 - Proračun sustava s realnim parametrima
6. *Odluka što dalje*
 - Spoznaja da još uvijek imamo rezerve iznad minimalno dopustive ili poželjne razine
 - Ograničenje upotrebe
 - Odluka o sanaciji, rekonstrukciji i sl.

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Pregled:
 - Pregled (vizualni)
 - Istražni radovi (ispitivanja)

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Za ispravno provođenje pregleda treba:
 - odrediti svrhu i sadržaj pregleda
 - izvršiti pripremu pregleda
 - izvršiti podjelu konstrukcije na njegove dijelove
 - odrediti postupak pregleda
 - dati ocjenu oštećenja
 - dati ocjenu stanja konstrukcije / građevine
 - odrediti vrijeme slijedećeg pregleda

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

- Za pravilno provođenje istražnih radova treba odrediti:
 - cilj istražnih radova
 - vrijeme provođenja istražnih radova
 - vrste ispitivanja
 - smjer istražnih radova
 - faze istražnih radova
 - istražne tehnike

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

Jednostavna ispitivanja na terenu:

- jednostavnost
- mogu se provesti već kod prvih pregleda

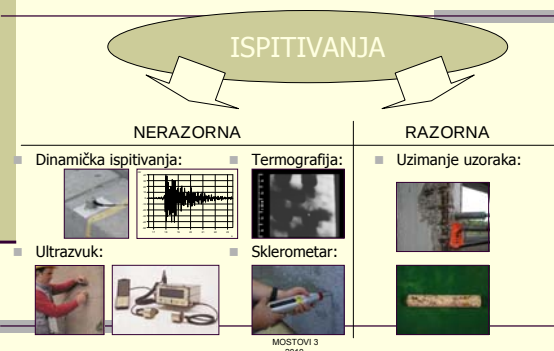
Cilji:

- prikupljanje podataka o kvaliteti materijala
- određivanje stupnja i veličine oštećenja u ranim fazama ispitivanja i pregleda

Svako oštećenje treba biti snimljeno, obilježeno i evidentirano radi arhiviranja za buduće preglede

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija



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

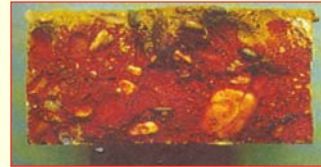


MOSTOVI 3
2010.

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

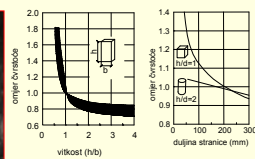


MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE TLAČNE ČVRSTOĆE BETONA

- ispitivanjem valjaka izvađenih iz građevine
- sklerometriranjem

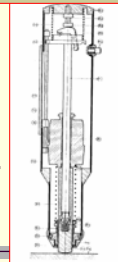


Vađenje valjaka iz konstrukcije i dijagrami ovisnosti vitkosti i duljine stranice i čvrstoće betona.

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

SKLEROMETRIRANJE

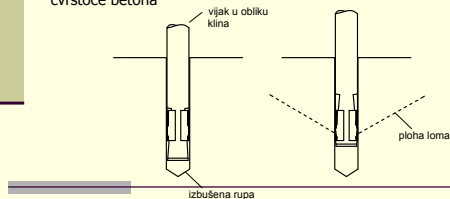


MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

PULL-OUT TEST

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

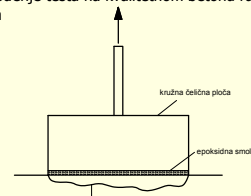


MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

PULL-OFF TEST

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



MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

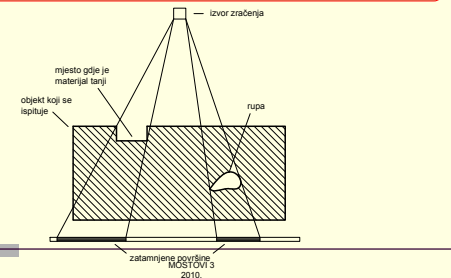
NERAZORNE METODE ISPITIVANJA

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

MOSTOVI 3
2010.

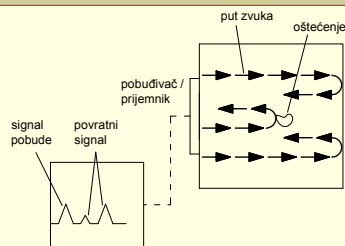
Dijagnostika konstrukcija

RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE



Dijagnostika konstrukcija

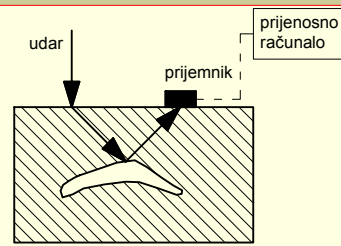
ULTRAZVUČNI ODZIV



MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

IMPACT-ECHO TEST



MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

ODREĐIVANJE POLOŽAJA I PROMJERA ARMATURE



MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

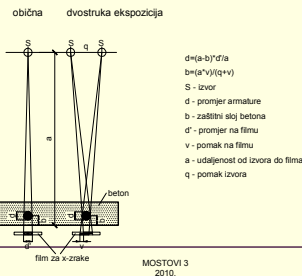
ELEKTROMAGNETSKE METODE

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 izaziva rasipanje polja.

MOSTOVI 3
2010.

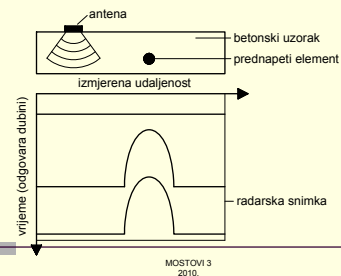
Dijagnostika konstrukcija

RADIOGRAFSKE METODE



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

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

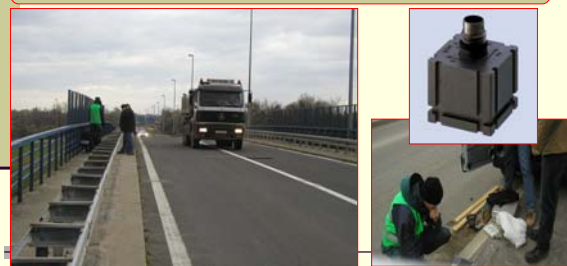
MJERENJE DINAMIČKOG ODZIVA KONSTRUKCIJE

- 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)

MOSTOVI 3
2010.

Dijagnostika konstrukcija

MJERENJE DINAMIČKOG ODZIVA KONSTRUKCIJE



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

MOSTOVI 3
2010.

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 je svrha ponovnog proračuna može biti jedna od slijedećih točaka:
 - dijagnosticiranje konstruktivnih oštećenja ili nepravilnog ponašanja konstrukcije
 - ponovni proračun nosivosti
 - projekt sanacije ili ojačanja

MOSTOVI 3
2010.

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

MOSTOVI 3
2010.

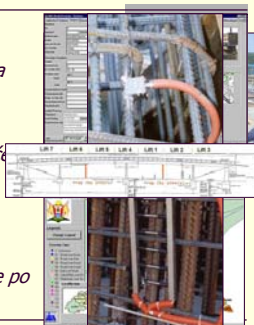
Kritična mjesta ?

- 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

MOSTOVI 3
2010.

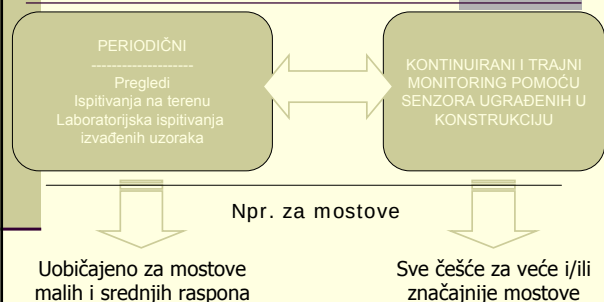
Tijek dijagnostike za nove građevine

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



MOSTOVI 3
2010.

Monitoring konstrukcija



MOSTOVI 3
2010.

Metode dijagnostike stanja

- *Sustav monitoringa pomoću senzora ugrađenih u konstrukciju*
 - kontinuirano praćenje kratkoročnog i dugoročnog ponašanja konstrukcije osiguravajući nosivost i uporabljivost
 - rano uočavanje oštećenja
 - efikasnije 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

MOSTOVI 3
2010.

Sustavi monitoringa u HR



**Noviji veliki AB
lučni mostovi**

**Maslenički most:
svi elementi
betonski**

**Skradinski most:
spregnuta
rasponska
konstrukcija
+ AB luk**

Sustavi monitoringa u HR

- *Sustav monitoringa pomoću senzora ugrađenih u konstrukciju – Maslenički most*



92 tenzometra

20 korozijskih senzora

MOSTOVI 3
2010.

Maslenički most



MONITORING KONSTRUKCIJE
MONITORING KOROZIJE
MONITORING OKOLIŠA

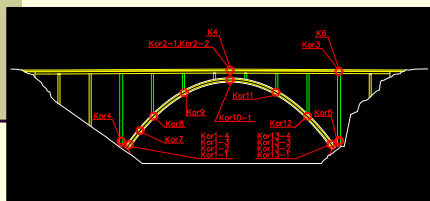


- Monitoring iz udaljenog centra
- Ugradnja senzora tijekom izvedbe

MOSTOVI 3
2010.

Maslenički most

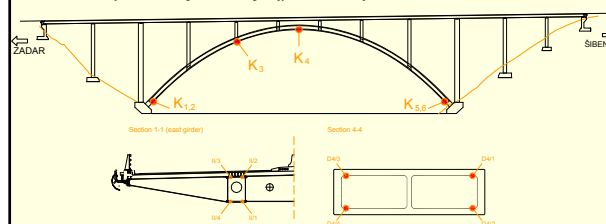
- Temperatura zraka, vlažnost, brzina i smjer vjetra
- Senzori za mjerenje temperature
- Senzori za mjerenje deformacija, pomaka, akceleracije
- Praćenje korozijskih parametara



MOSTOVI 3
2010.

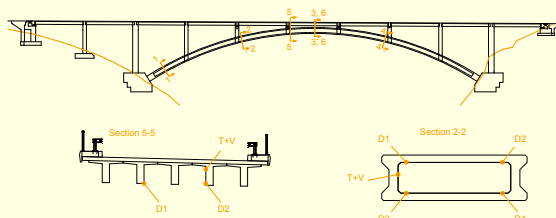
Skradinski most

- Manji broj senzora
- Deformacije, temperatura, vlažnost (kontinuirano)
- Pomaci (periodično)
- Napredovanje korozije (periodično)



Most Cetina

- Manji broj senzora
- Deformacije, temperatura, vlažnost (kontinuirano)
- Pomaci (periodično)
- Napredovanje korozije (periodično)



Studija "Monitoring kapitalnih mostova"

- Strategija primjene sustava monitoringa na mostovima u HR (autoceste HAC)

- Cilj utvrditi/definirati:

- Kriterij odabira mostova
- Smjernice za planiranje i uporabu sustava monitoringa



MOSTOVI 3
2010.

Studija "Monitoring kapitalnih mostova"

POSEBNI MOSTOVI (veliki, značajni)

- Sustav monitoringa na svim mostovima
- Za praćenje sigurnosti i trajnosti
- Za optimizaciju gospodarenja na razini pojedinačne građevine

UOBIČAJENI MOSTOVI

- Odabrati "reprezentativne" mostove
- Za praćenje sigurnosti i trajnosti
- Za optimizaciju gospodarenja na razini mreže građevina

MOSTOVI 3
2010.

Posebni mostovi:

- **Veliko prometno opterećenje**
(problem: obilasci, zagušenje prometa)
- **Dugački mostovi**
(problem: teško uspostaviti obilazak, negativan utjecaj na kvalitetu života)
- **Agresivan okoliš**
(Morski okoliš, ubrzano dotrajavanje)
- **Teško dostupna područja**
- **Osobita konstrukcijska rješenja**
(popravlak tehnički i financijski upitan)

MOSTOVI 3
2010.

"Uobičajeni" mostovi

- **Utvrđiti reprezentativne mostove prema:**
 - Konstrukcijskim obilježjima
 - Uvjetima okoliša (morski okoliš, planinsko područje, unutrašnjost)
 - Povijesti popravaka
- **Cilj monitoringa "uobičajenih" mostova:**
Poboljšanje algoritama za krivulje dotrajavanja u skladu s stvarno izmjerenim parametrima ponašanja

MOSTOVI 3
2010.

Dodatni slučajevi

- **Praćenje produljenog uporabnog vijeka**
(na oštećenom mostu)
 - Za odgađanje popravaka / rekonstrukcije
- **Novi materijali, tehnologije i/ili konstrukcijska rješenja**
 - Ocjena ponašanja u uporabi
 - Potvrda pretpostavki proračuna / projekta

MOSTOVI 3
2010.

Strategija uvođenja monitoringa

- Definirati tipičan sustav monitoringa
 - Ključni parametri koji se prate
 - Vrsta i raspored senzora
- Povezivanje sa sustavom gospodarenja mostovima
 - Utvrditi kritične vrijednosti ključnih parametara koji potiču na intervenciju
 - Izgradnja modela dotrajanja

MOSTOVI 3
2010.

Pregledi i utvrđivanje stanja mostova

- **ZAKLJUČAK:**
 - Istraživanje stanja i sustavno praćenje ponašanja konstrukcija osnova su uspješnog gospodarenja mostovima
 - Iako postoji prostor za usavršavanje i poboljšanje postojećih metoda dijagnostike stanja, one već sada mogu pružiti uvid u realno ponašanje konstrukcije i omogućuju dosta točno dijagnosticiranje oštećenja

MOSTOVI 3
2010.