

## **PRILOG 3 – PROJEKTI ZADATAK**

## PROJEKTI ZADATAK

### Monitoring korozije armature pomoću ugrađenih korozijskih senzora na mostu Krka u km 315+000, autocesta A1 Zagreb – Split – Dubrovnik, dionica Skradin - Šibenik

#### Most Krka kod Skradina

Most Krka je armiranobetonski lučni [most](#) preko rijeke [Krke](#) kod [Skradina](#), na dionici [autoceste A1](#) Skradin - Šibenik. Izgradnja mosta započela je u siječnju [2003.](#) godine, a radovi su završeni u prosincu [2004.](#) godine. Duljina mosta je 391,16 m, raspon luka iznosi 204 m, sa strelicom visine 56 m. Temeljni stupova, upornjaka i luka izvedeni su na stijeni. Poprečni presjek luka je sandučasti, s dvjema komorama, visine 3 m i širine 10 m. S obzirom na blizinu [Nacionalnog parka](#), sustav odvodnje je u cijelosti zatvoren, s obostranim odvodnim žljebovima smještenim uz bočne vijence. Sustav odvodnje sadrži skup građevina zahvaljujući kojima se [oborine](#) kontrolirano odvodnjavaju s područja prometnice, te nakon obrade u posebnim građevinama ispuštaju u okoliš



Slika 1. Pogled na most Krka

#### Uvodno o trajnosti i monitoringu korozije armature

Građevine su, kao i drugi tehnički sustavi, podložne prirodnom starenju i trošenju. Armiranobetonske konstrukcije se projektiraju i izvode na način da pod očekivanim utjecajima iz okoliša zadrže svoju sigurnost, uporabljivost i prihvatljiv izgled kroz određeni vremenski period bez zahtijevanih nepredviđenih visokih troškova za održavanje i popravke. Pored mehaničkih opterećenja kojima su tijekom eksploatacije izložene armiranobetonske konstrukcije pojavljuju se i tzv. trajnosna opterećenja koja znatno mogu reducirati vijek trajanja konstrukcije.

Propadanje konstrukcije s vremenom odnosno smanjenje njene trajnosti ovisi o okolišu u kojem se konstrukcija nalazi, o prisutnosti i transportu štetnih tvari kroz beton te o veličini, učestalosti i učincima različitih opterećenja koja djeluju na konstrukciju.

Most Krka nalazi se u djelomično maritimnoj okolini koja predstavlja nepovoljan i agresivan okoliš. Najčešći uzrok oštećenja i smanjenja trajnosti te najveće štete na armiranobetonskim konstrukcijama u maritimnim uvjetima događaju se zbog štetnog djelovanja klorida. Uslijed djelovanja klorida dolazi do propadanja armiranobetonskih konstrukcija zbog procesa korozije armature.

Neposredno nakon izgradnje armiranobetonske konstrukcije u maritimnoj okolini beton zbog svoje alkalnosti čini površinu armature pasivnom i na taj način je korozija armature spriječena. Smanjivanjem pH vrijednosti porne vode u betonu uslijed prodora klorida iz maritimne okoline dolazi do depasivizacije armaturnog čelika i do korozije armature. Produkti korozije zauzimaju veći volumen od čelika što uzrokuje vlačna naprezanja u betonu. Kada ta vlačna naprezanja dostignu vlačnu čvrstoću betona dolazi prvo do pojave smeđih mrlja od hrđe na površini betona i zatim pojave karakterističnih pukotina duž armaturnih šipki, naročito onih u kutevima konstruktivnih elemenata. Na tim mjestima dolazi do daljnjeg povećanog prodora klorida koji uzrokuju potpuno odvajanje i odlamanje betona. Glavne štete na armiranobetonskim konstrukcijama uslijed korozije armature jesu raspucavanje betona, gubitak prionljivosti između betona i armature te smanjenja profila armaturnih šipki. Na taj način dolazi do gubitka nosivosti, trajnosti i sigurnosti armiranobetonskih konstrukcija u maritimnim uvjetima tijekom vremena.

Ključni parametri za razvoj procesa korozije su kvaliteta betona, sadržaj klorida, vlažnost i temperatura. Proces korozije armature (inicijacije i propagacije) u armiranobetonskim konstrukcijama na najbolji način može biti praćen ugradnjom senzora za monitoring korozije. Ugradnjom senzora za monitoring korozije u konstrukciju tijekom gradnje osigurava se uvid u stanje armature te se može pravodobno reagirati u slučaju potrebe za sanacijom ili izvanrednim održavanjem mosta. Pravovremena reakcija u pogledu sanacije mosta uslijed posljedica agresivnog djelovanja okoliša može uštedjeti naručitelju znatna financijska sredstva, a upravo to se postiže s ugrađenim korozijskim sensorima.

Iz tih razloga prilikom projektiranja mosta Krka poduzete su potrebne mjere da vijek trajanja objekta dostigne planiranu vrijednost. Pod vijekom trajanja armiranobetonskih konstrukcija podrazumijeva se vrijeme tijekom kojeg konstrukcija ispunjava projektom predviđeno ponašanje.

### **Opis ugradnje senzora**

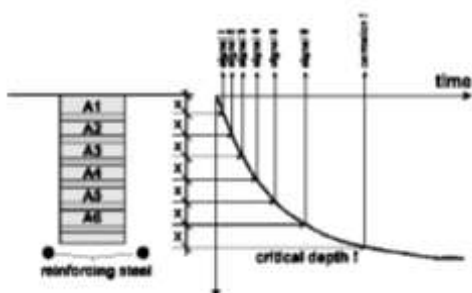
Tijekom gradnje mosta Krka u luk mosta ugrađeno je ukupno 6 senzora (tzv. Raupach Schiessl senzori) za monitoring korozije armature baziranih na sistemu anodnih ljestvi. Ovaj sistem za monitoring korozije armature razvijen je 1990. godine i od tada je uspješno primjenjivan širom svijeta za monitoring korozije armature.



Slika 2. Pogled na rasponsku konstrukciju mosta Krka

Svaki senzor se sastoji od 6 anoda od crnog čelika poredanih u obliku ljestvi, međusobno udaljenih 50 mm, i spojenih nehrđajućim čelikom, temperature sonde, katode od titana i obične armature za spajanje na postojeću armaturu konstrukcije. Anode su postavljene u obliku ljestvi s ciljem da se može pratiti do koje udaljenosti od vanjske površine konstrukcije je došlo do procesa korozije armature. Senzori su ugrađeni u petama luka, tjemenu te u polovini visine luka. Svi senzori se nalaze u zaštitnom sloju donje ploče sandučastog poprečnog presjeka luka iz razloga što je upravo taj dio konstrukcije najizloženiji štetnom djelovanju klorida.

Na slici 3. je prikazan osnovni princip određivanja stupnja korozije u vremenu, a na slici 4. je dana slika senzora koji se sastoji od 6 anoda. Na slici 4. se vidi da su kablovi provedeni kroz nehrđajući čelik (bočni dijelovi - pridržanja), koji se vode do mjerne kutije. Na slici 5. vidi se način ugradnje senzora u konstrukciju.



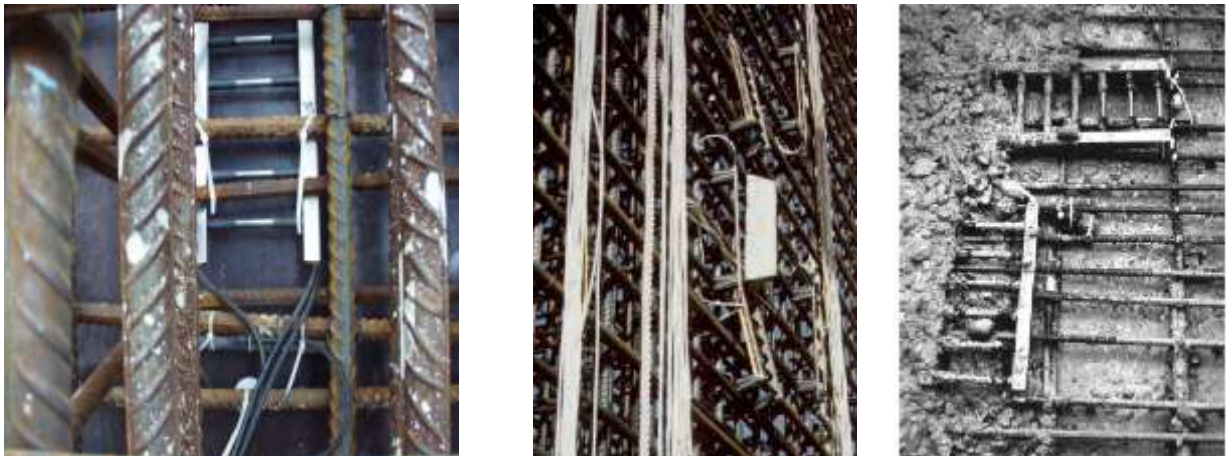
Slika 3. Osnovni princip određivanja stanja armature (korozije) u vremenu



Slika 4. Senzor – sistem anodnih ljestvi

Cijevi unutar kojih se nalaze kablovi u tom okviru od nehrđajućeg čelika su ispunjene epoksi smolom, koja djeluje kao mehanička zaštita za žice. Dva kabla su spojena na svaku pojedinačnu anodu, kako bi se dobio pouzdan sistem. Time se omogućava kontrola kablova i spojeva kablova nakon instalacije pomoću tzv. testa kratkog spoja. Spojevi su odvojeni od anoda zaštitnim slojem. Geometrija senzora omogućava da se beton zaštitnog sloja iznad svake pojedine anode pravilno ugradi, bez utjecaja od anode. Također je bitno da sensorima nije omogućen lakši prodor klorida u beton ili da je eventualno ubrzan proces karbonatizacije.

Ovaj sistem senzora ukazuje na kojoj je dubini došlo do kritične količine klorida, odnosno do koje dubine je došao proces korozije armature.



Slika 5. Način ugradnje senzora u novu konstrukciju

### **Tehnologija provedbe monitoringa korozije armature**

Mjerenje se izvodi pomoću specijalnog instrumenta posebno razvijenog za ovaj tip mjerenja koji se spaja na razvodnu kutiju, na koju su ugrađeni senzori spojeni kablovima. Treba istaknuti da se prilikom svakog očitavanja rezultata sa senzora treba spajati na kutije koje se nalaze u luku mosta tj. monitoring korozije ne može se provoditi na daljinu bez ulaženja u sanduk luka.

Ovaj sistem senzora ukazuje na podatak na kojoj dubini je došlo do kritične količine klorida te u kojoj je mjeri uznapredovao proces korozije armature.

Mjerenja se izvode minimalno četiri puta godišnje, i to po jednom tijekom svakog godišnjeg doba. Dobiveni rezultati iz mjerenja tijekom godine se analiziraju i obrađuju te u obliku završnog godišnjeg izvještaja predaju naručitelju.

Na temelju rezultata mjerenja prikazanih u godišnjem izvještaju donosi se odluka o eventualnim dodatnim radnjama na mostu. Dodatne radnje podrazumijevaju provođenje pregleda konstrukcije mosta i ispitivanje stanja betona ili armature na reprezentativnom broju mjesta. Ukoliko rezultati ovih ispitivanja ukažu na potrebu može se pristupiti i procesu sanacije konstrukcije.

Mjerenje stanja armature, odnosno anodnih senzora vrši se pomoću specijalnog instrumenta, koji je specijalno razvijen za ova mjerenja. Instrument (vidi sliku 6) mjeri slijedeće parametre: električnu struju, napon, otpor i temperaturu ugrađenih senzora. Mjerenje se provodi spajanjem na mjernu

kutiju, na koju su senzori spojeni kablovima. Izmjerene kritične vrijednosti instrument automatski ističe na ekranu. Na instrument je moguće pospremiti 1000 mjerenja, a svi podaci mogu biti presnimljeni na osobno računalo pomoću ugrađenog serijskog ulaza.



Slika 6. Mjerenje na konstrukciji

### **Raspored senzora i točan opis lokacija**

U most Krka ugrađeno je 6 senzora za korozijski monitoring. Mjerne kutije za prikupljanje podataka nalaze se u blizini ugrađenih senzora, montirane tako da je omogućeno mjerenje i prikupljanje podataka. Svi senzori su postavljeni 2003. i 2004. tijekom gradnje mosta.

### **Plan provođenja monitoringa**

U sklopu jednogodišnjeg monitoringa korozije armature sa ugrađenim sensorima, potrebno je provesti slijedeće radnje:

- pregled postojeće tehničke dokumentacije u arhivi naručitelja
- lociranje korozijskih senzora unutar poprečnog presjeka sandučastog nosača
- stavljanje u funkciju i uspostava sustava monitoringa korozije armature
- provedba ukupno 4 mjerenja godišnje na svakom senzoru
- analiza i obrada rezultata monitoringa, izrada izvještaja o rezultatima monitoring
- stručno mišljenje o stanju konstrukcije u pogledu korozije armature na temelju dobivenih rezultata ispitivanja.