

ZAŠTITA BETONA I ARMIRANOG BETONA

10. predavanje



Doc.dr.sc. Ana Baričević, abaricevic@grad.hr
Doc.dr.sc. Marijana Serdar, mserdar@grad.hr



ZAŠTO IZVODIMO ZAŠTITU KONSTRUKCIJA?



ZAŠTITA ARMIRANOG BETONA

Što želimo?

- Dugotrajnije konstrukcije
- Ekonomičnije konstrukcije

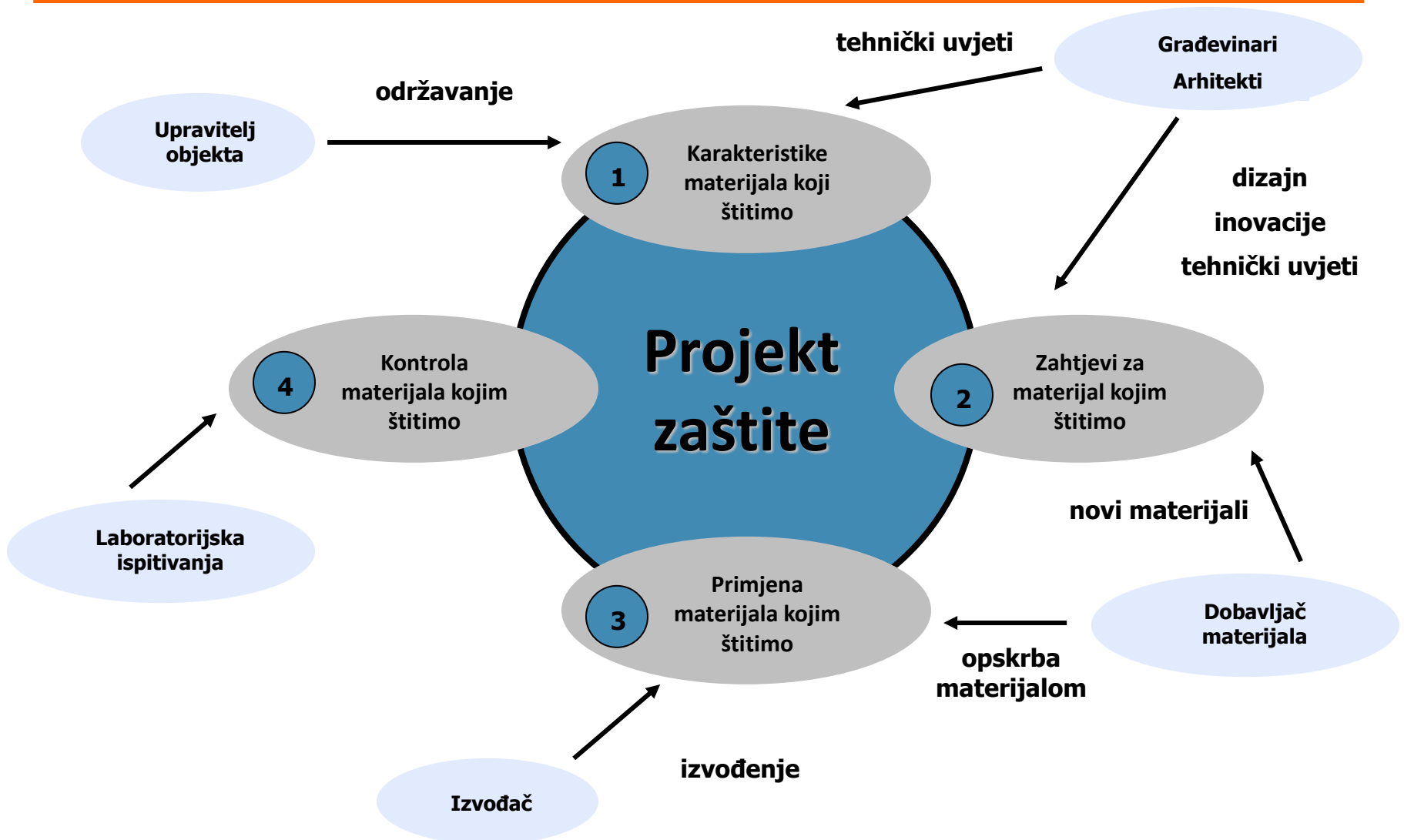
Kako pristupiti?

- Izradom projekta zaštite

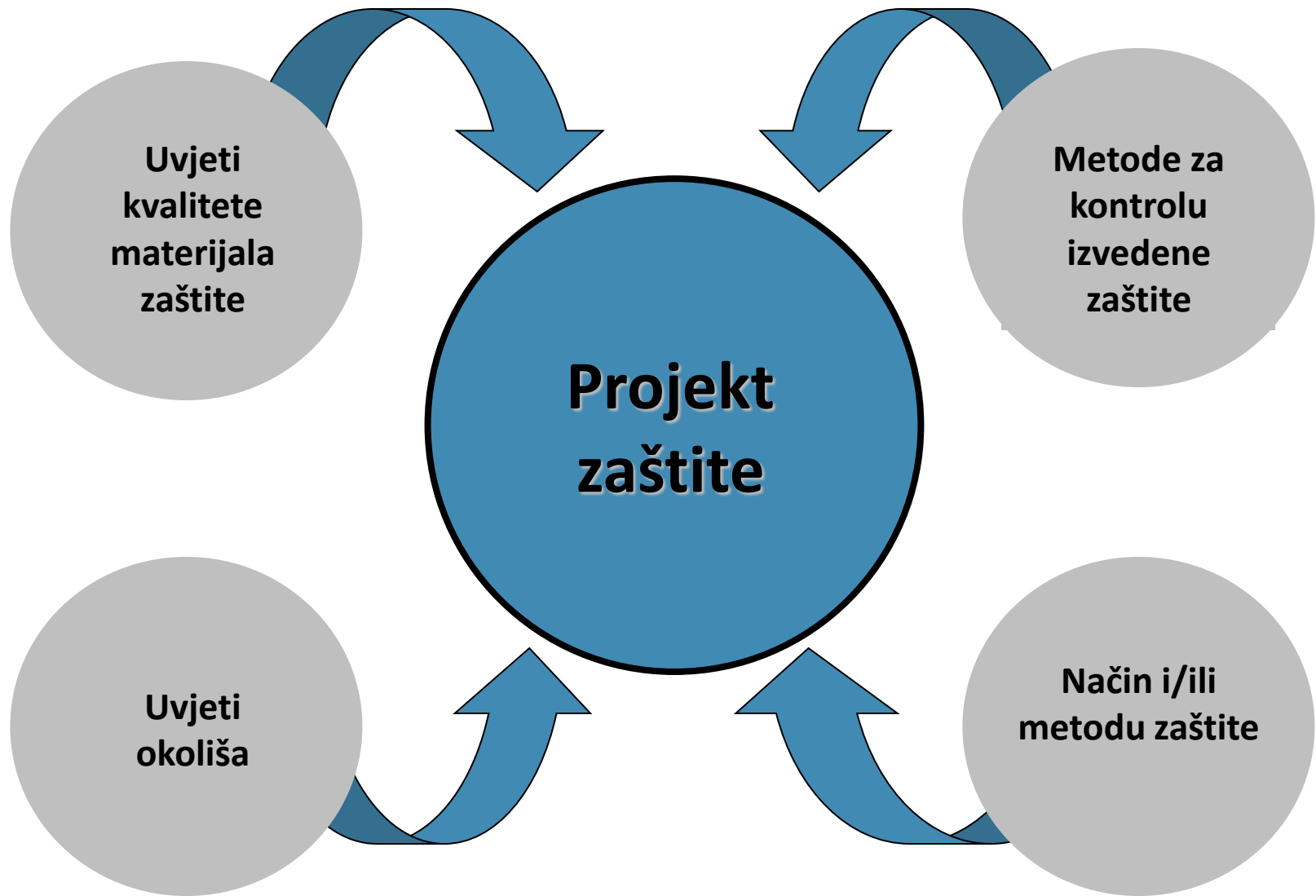
Što projekt treba sadržavati?

- Uvjete okoliša – razredi okoliša
- Način i/ili metodu zaštite
- Uvjete kvalitete materijala zaštite
- Metode za kontrolu izvedene zaštite.

PROJEKT ZAŠTITE



ŠTO MORA SADRŽAVATI PROJEKT ZAŠTITE?



ZAŠTITA BETONA

1. Poboľšanjem kvalitete betona zaštitnog sloja

- Tehnološkim mjerama (v/c, vrsta cementa, aditivi, inhibitori...)
- Primjenom obloženih oplata

2. Površinska zaštita

- Polimerni
- Mineralni tankoslojni
- Mineralni tankoslojni modificirani polimerom i/ili inhibitorom
- Membrane
- Obloge

ZAŠTITA ARMATURE

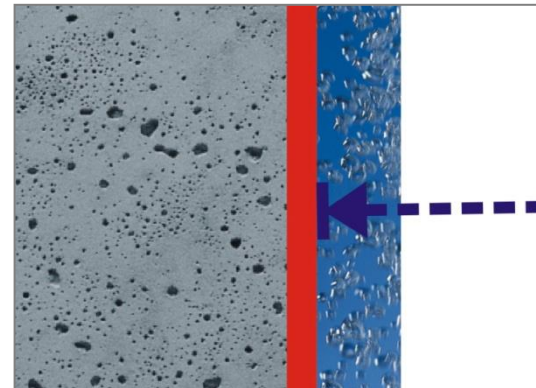
1. Prevlake / premazi
 - Mineralne bez i/ili s inhibitorom
 - Epoksi
 - Metalne (galvanizirane, ...)
2. Poboljšana armatura
 - Nehrdajuća armatura
 - Nisko-legirana armatura
 - FRP armatura
3. Elektrokemijske metode

ZAŠTITA POBOLJŠANJEM ZAŠTITNOG SLOJA BETONA

- Tehnološkim mjerama (v/c, vrsta cementa, aditivi, inhibitori...)
- Primjenom obloženih oplata

Cilj zaštite betonom zaštitnog sloja

- < v/c, vrsta cementa, aditivi, inhibitori
- Smanjena propusnost betona, što rezultira smanjenjem vlaženja i ulaska klorida

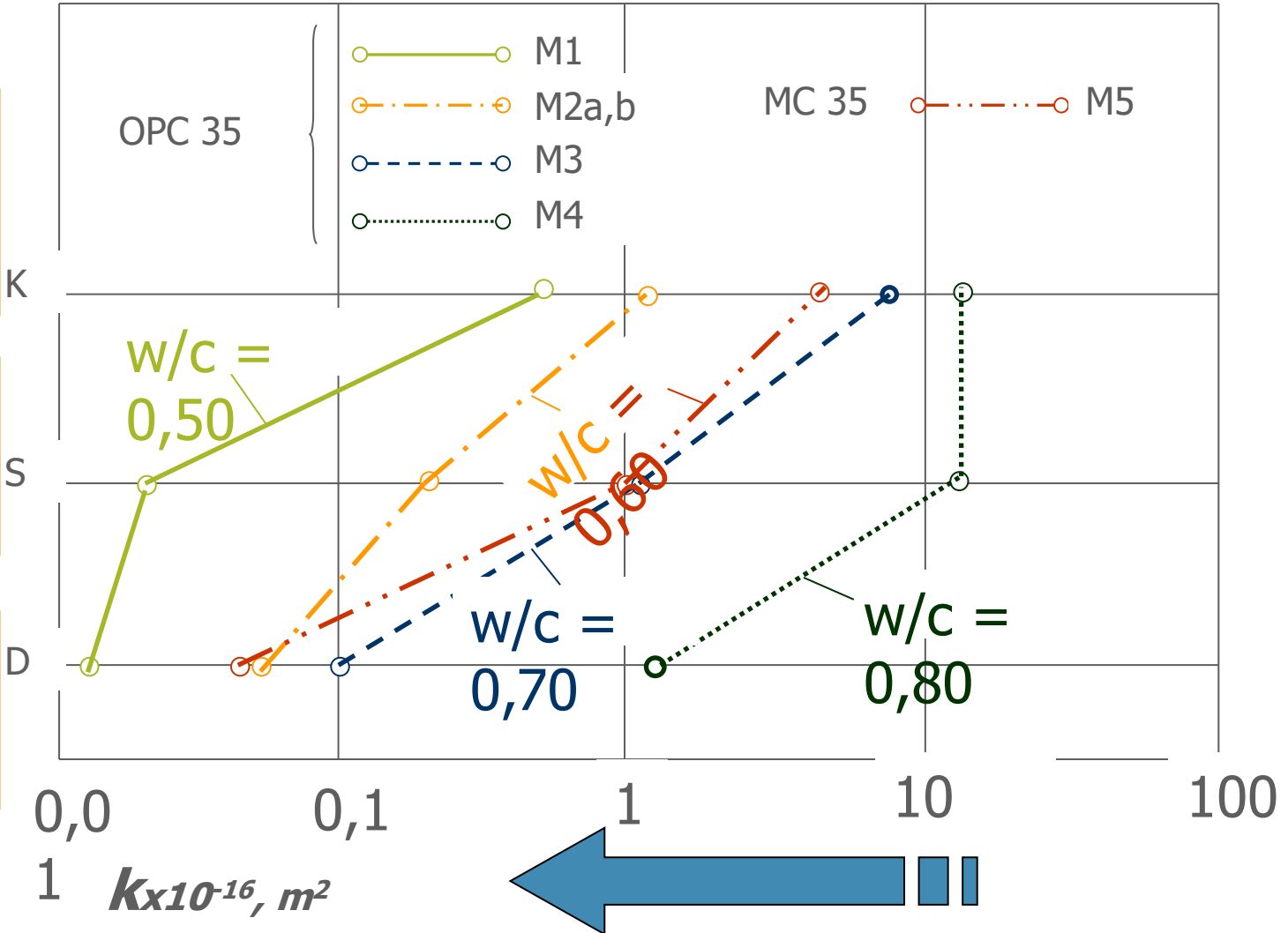


Plinopropusnost

Njegovanje

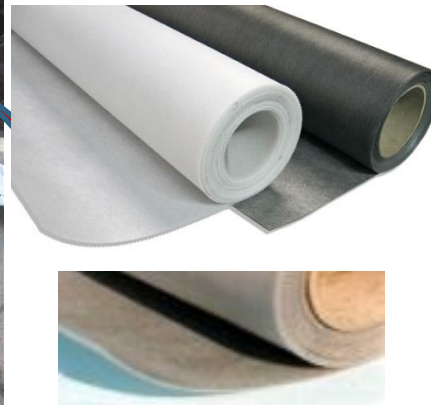
Kratkotrajno

Dugotrajno

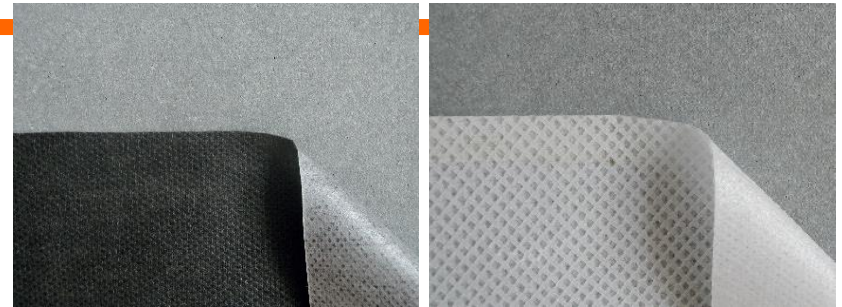


OBLOŽENE OPLATE

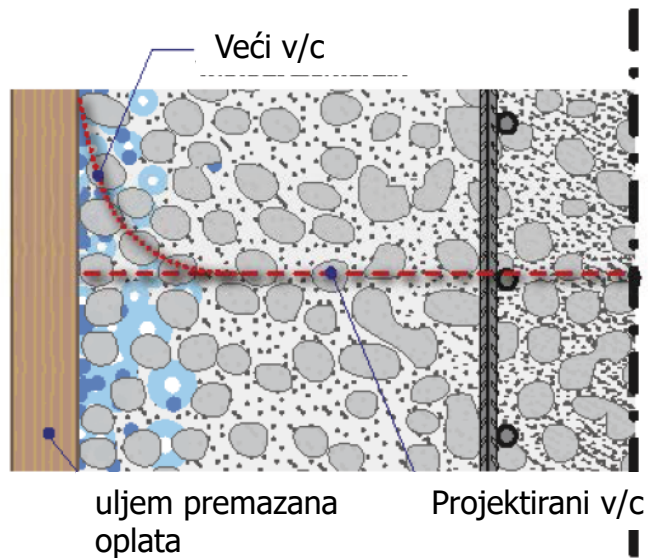
- Služe za poboljšanje kvalitete zaštitnog sloja betona
 - Apsorpcijske oplate
 - Iz površinskog sloja betona apsorbiraju zrak i dio slobodne vode i na taj ga način očvršćavaju.
 - Reduciraju i zračne pore na površini uz oplatu.
 - Moguće je na unutarnju površinu oplate dodavati posebne apsorpcijske tkanine.



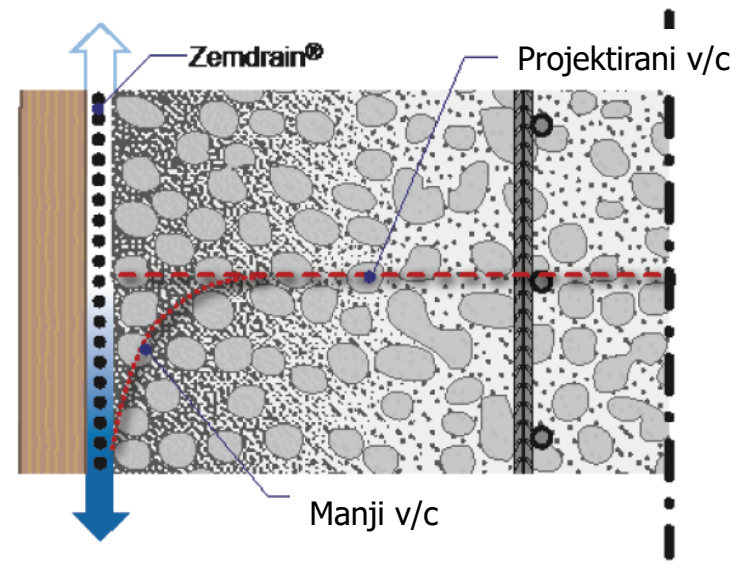
MEHANIZAM DJELOVANJA OBLOŽENE OPLATE



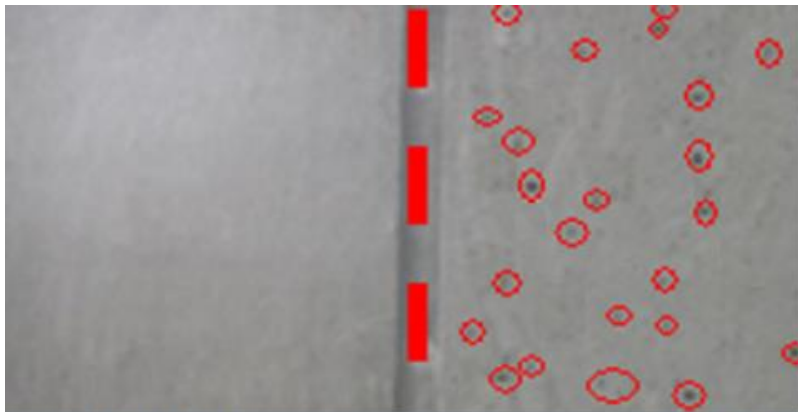
Nepropusna, uljem
premazana oplata



Zembrain CPF Liner




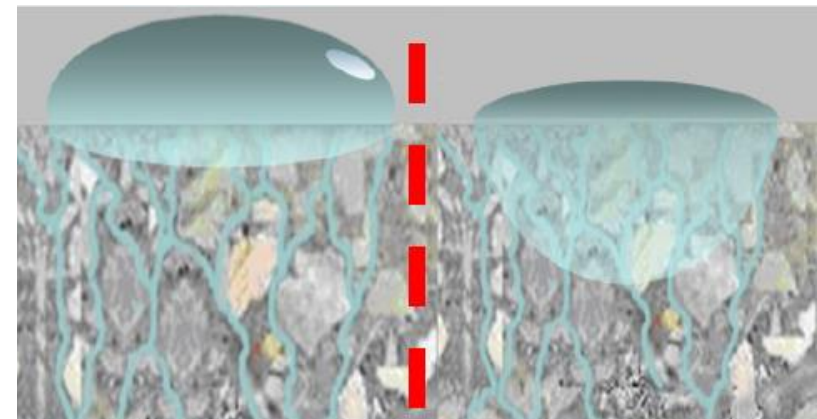
MEHANIZAM DJELOVANJA OBLOŽENE OPLATE



Obložena oplata

Obična oplata

 Šupljine

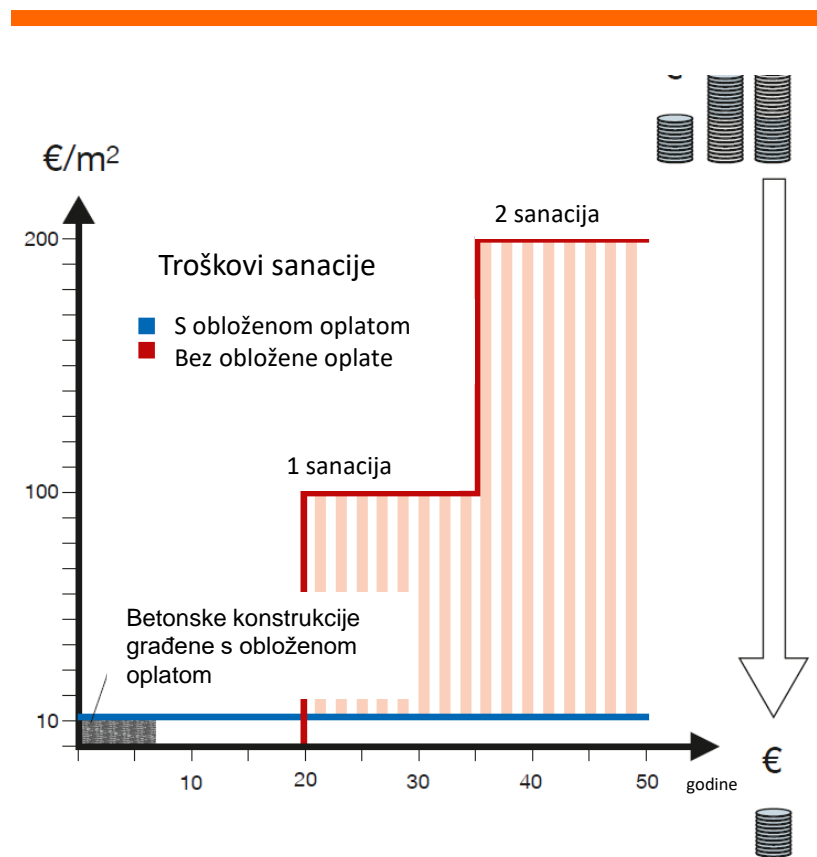
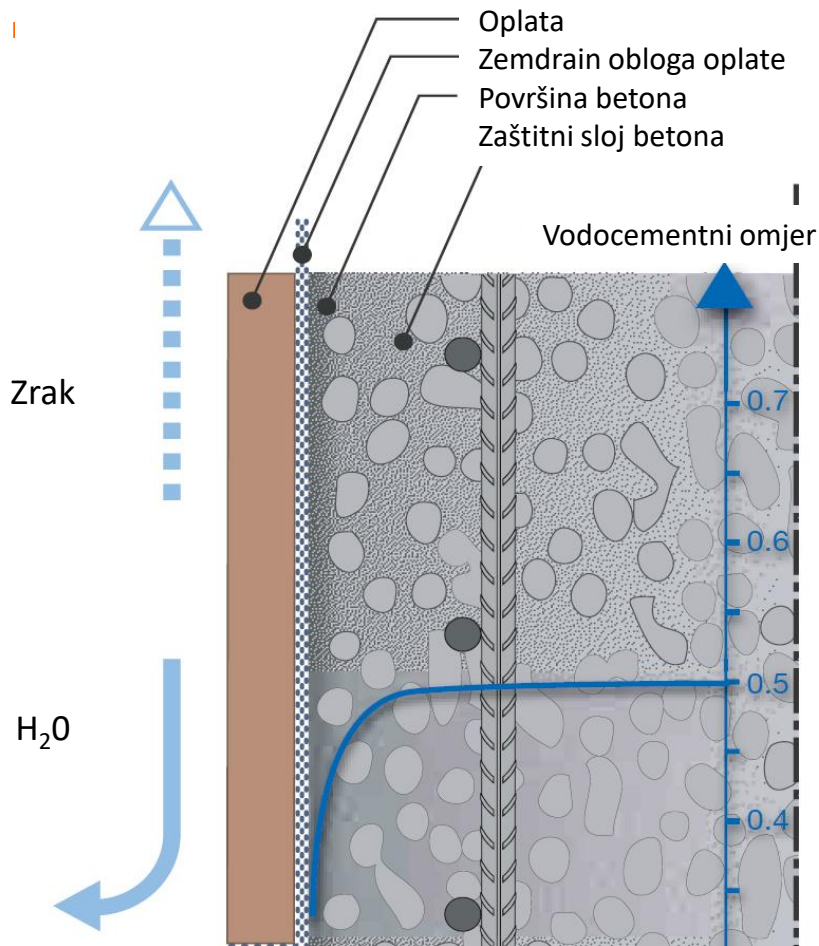


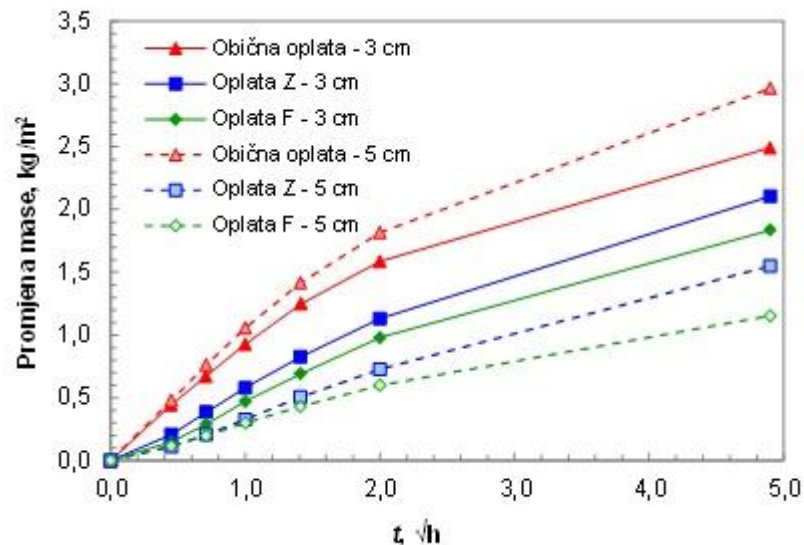
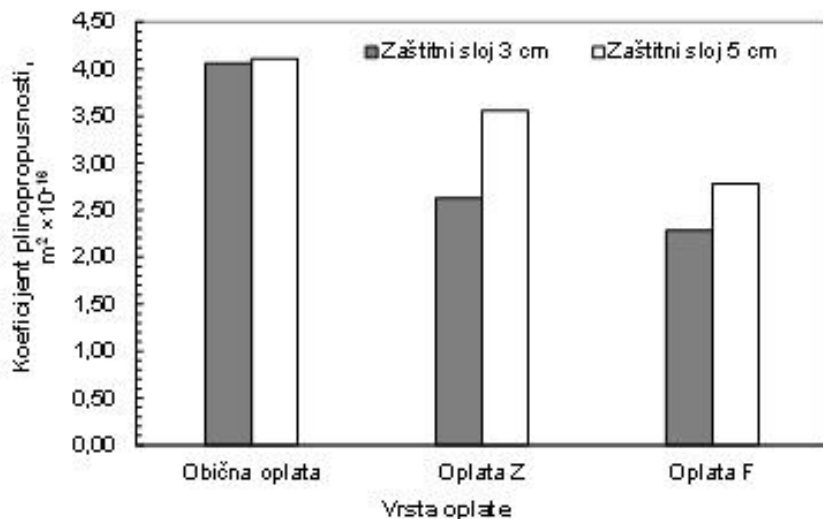
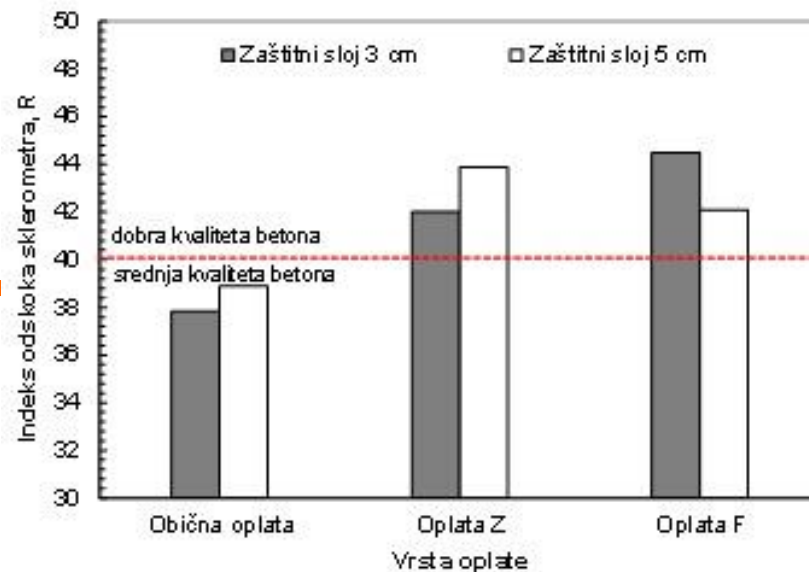
Beton male propusnosti

Beton velike propusnosti

ion

MEHANIZAM DJELOVANJA OBLOŽENE OPLATE

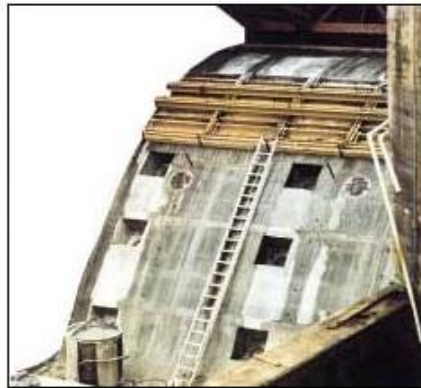




PRIMJERI PRIMJENE OBLOŽENE OPLATE



Dam, Ireland



Spillway, Alabama, USA



Brighton, England



Donegal, Ireland



Freeport, Bahamas



Doha Corniche, UAE



Dam, Germany



Service Reservoir, England



King George V Dock, London, UK



Skularund Bridge, Norway



WTW, Germany

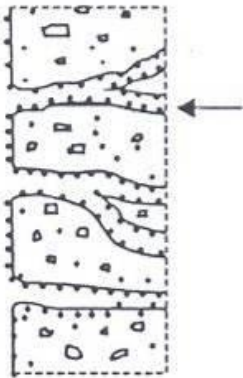
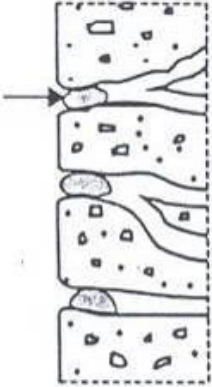
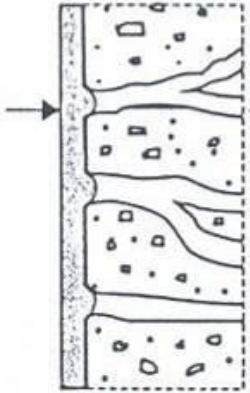
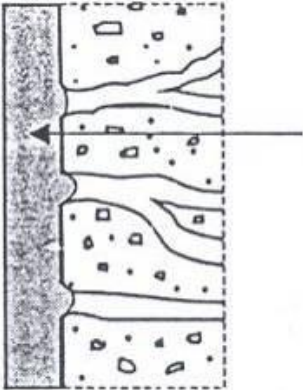


Öresund Link, Sweden/Denmark



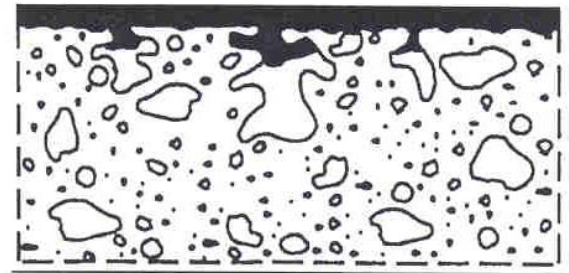
Charles de Gaulle Airport, Paris, France

POVRŠINSKA ZAŠTITA

HIDROFOBNI TRETMAN KOJI OBLAŽE POVRŠINE STIJENKI PORA	TRETMAN KOJI ZAPUNJAVA KAPILARNE PORE	ORGANSKI PREMAZ KOJI TVORI KONTINUIRANU PREVLAKU	CEMENTNI SLOJ NA BETONU: PREMAZ, MORT ILI MLAZNI MORT/BETON	
				
<p>Nema filma na površini</p>	<p>Diskontinuirani film</p>	<p>do 5 mm</p>	<p>do 5 mm</p>	<p>> 5 mm</p>
<p>HIDROFOBNA IMPREGNACIJA, H (engl. <i>Hydrophobic Impregnation</i>)</p>	<p>IMPREGNACIJA, I (engl. <i>Impregnation</i>)</p>	<p>PREMAZ, C (engl. <i>Coating</i>)</p>		<p>MORT/ BETON</p>

PREMAZI

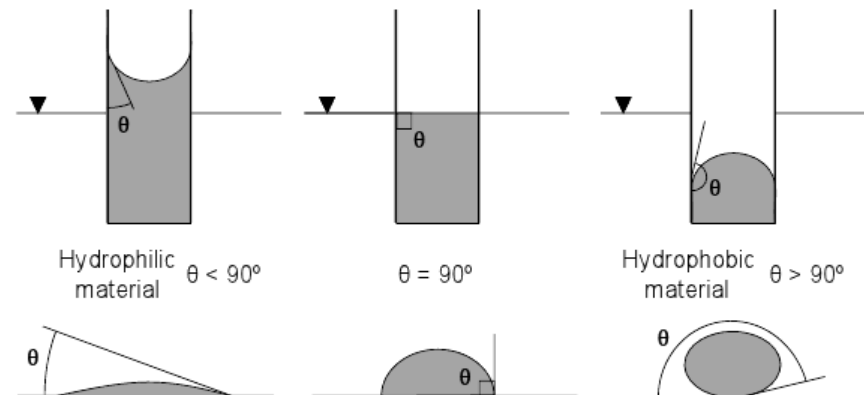
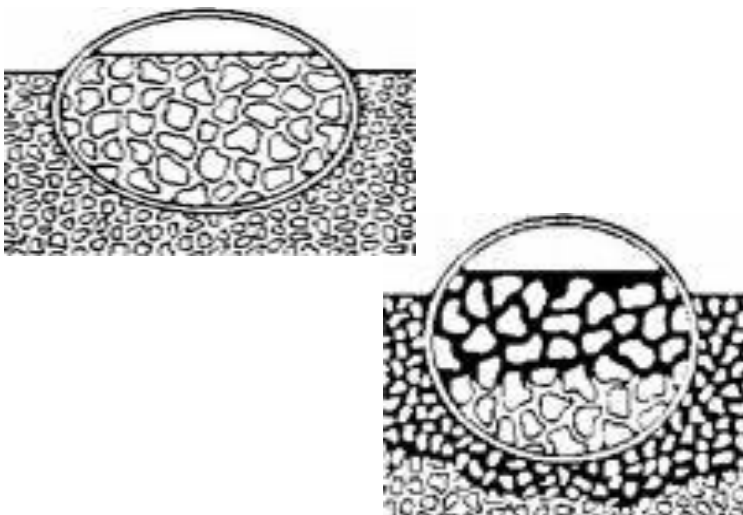
- kontinuirani sloj na površini betona - u potpunosti štite površinu betona
- u jednom ili više slojeva četkom, valjkom, gladilicom ili pištoljem (prskanjem)
- trajnost premaza ovisi o njegovom sastavu i debljini
- premazi izloženi kemijskom i/ili fizikalnom utjecaju obično debljine **0,1 - 5 mm** - posebne primjene > 5 mm



PREMAZI

Razlikujemo premaze koji:

- tvore sloj filma na površini
 - Formiraju barijeru na betonskoj površini.
 - Površina ostaje sjajna te se koriste kod konstrukcija kojih je bitan estetski dojam.
- premaze koji penetriraju u površinu.
 - Ulaze 1 do 4 milimetra u beton i povećavaju vodonepropusnost.
 - Ne ostavljaju površinu sjajnom.



PREMAZI

- Koriste se za zaštitu betona i ab konstrukcija od utjecaja različitih agresivnih tvari.
- Prednosti:
 - Velika kemijska postojanost
 - Mogućnost nanošenja na površine različitih oblika
 - Velik izbor boja
 - Jednostavnost obnavljanja
- Nedostatak:
 - Mali vijek trajanja

PREMAZI

Zahtjevi za premaze

- Otpornost na djelovanje slabih alkalija.
- Očekuje se elastičnost premaza dovoljna da prate deformacije konstrukcije.
- Moraju zadovoljavati traženu postojanost, gustoću i čvrstoću u agresivnim sredinama.
- Kod konstrukcija izloženih mehaničkim djelovanjima, čvrstoća premaza je najvažnije svojstvo.

Pouzdana zaštita ostvaruje se ukoliko

- su premazi kompaktni,
- kemijski postojani,
- dovoljne adhezije prema betonu i
- debljine kojom su prekrivene sve otvorene pore i kapilare.

PREMAZI

Debljina premaza

- Ograničene su debljine.
- Prevelika debljina uzrokuje znatna naprezana uslijed skupljanja, te smanjuje adheziju između slojeva kao i čvrstoću premaza.
- Optimalna debljina premaza osigurava:
 - impregnaciju površinskog sloja betona,
 - smanjenu propusnost,
 - te predstavlja mehaničku barijeru za agresivne tvari koje izazivaju koroziju betona i armature.

PREMAZI

Vrste premaza

- Ovisе o svojstvima veziva koje se koristi u premaznom sredstvu.
- Veziva mogu biti:
 1. organski polimeri,
 2. organski polimeri s cementom kao punilom,
 3. hidraulički cement poboljšан polimernom disperzijom.

PREMAZI

Tipični glavni sastojci:

- Epoksidi
- Poliuretan
- Vinil
- Akrilati
- klorirana guma
- stiren butadijen
- cement i bitumen

ORGANSKI PREMAZI

Organski premazi (akrilati, poliuretani, epoksidi...)

- 100 do 300 μm
- vezivo – obično polimer kao dio tekuće komponente
- u više slojeva
- kompatibilni su s alkalitetom betona
- Učinkovitost - u vezi s odsutnošću pora i raste proporcionalno s debljinom
- pažljiva pripremu podloge - trajna prionljivost preduvjet za učinkovitost

Organski premazi - mogu biti vrlo **gusti**, ali i prilično **otvoreni** za paropropusnost

- Otvoreni premazi (npr. akrilati) - dobar kompromis između zahtjeva trajnosti (otvorenosti) i uloge prepreke (gustoće).

ORGANSKI PREMAZI

Organski premazi

- Sprečavaju prodor ugljičnog dioksida i/ili klorida
- Kompatibilni su s alkalitetom betona
- Sastoje se od različitih vrsta polimera (akrilati, poliuretani, epoksidi), pigmentata i aditiva
- Mogu biti prilično gusti.

Prednost

- Sprečavaju unos agresivnih tvari u beton

Nedostatak

- Onemogućavaju evaporaciju vlage iz betona

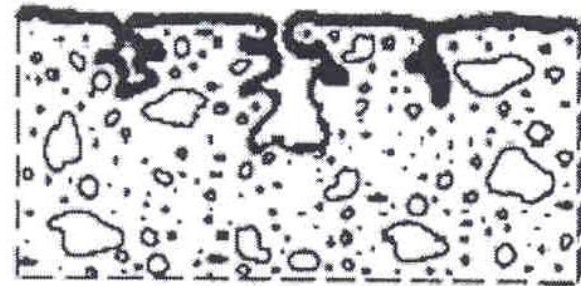
CEMENTNI PREMAZI

Cementni premazi su slojevi male propusnosti i srednje debljine od nekoliko milimetara

- Općenito fine granulacije i poboljšani polimerima (smanjenje propusnosti i povećanje prionljivosti)
- Smanjenju propusnosti pridonosi i dodavanje silicijske prašine te upotreba plastifikatora ili superplastifikatora koji omogućuju dobru obradljivost uz manji v/c omjer
- Dodaju se i sastojci za kompenzaciju skupljanja uslijed sušenja čime se izbjegava efekt različitog skupljanja premaza i betona
- Cementni premazi mogu imati dobru početnu otpornost na karbonatizaciju, no ona se gubi starenjem, ali relativno slabu otpornost na prodor klorida

IMPREGNACIJA

- smanjuje površinsku poroznost i učvršćuje površinu
- pore i kapilare djelomično ili potpuno ispunjene, diskontinuirani tanki film na površini
- rijetko se koriste kao samostalna zaštita, obično kao prajmer u kombinaciji s premazima
- mogućnosti zaštite samo impregnacijom nisu dovoljno dobre



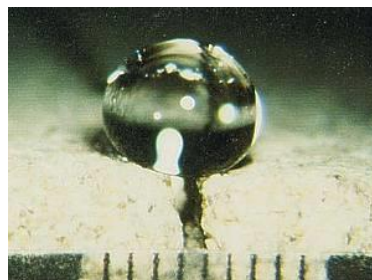
IMPREGNACIJA

vrste:

- **anorganske**
 - vodeno staklo (natrijev i kalijev silikat) ili fluoridi
 - novi materijali – npr. modificirane silikatne otopine
- **organske**
 - epoksidne, poliuretanske ili akrilne smole čija viskoznost omogućuje dovoljnu penetraciju u pore
 - prirodne i sintetičke gume i suha biljna ulja kao površinski očvršćivači (protiv otprašivanja) na betonskim podovima. Nisu otporni na lužine

HIDROFOBIRANJE

U slučaju da se onemogućava površinsko upijanje vode radi se o hidrofobnoj impregnaciji ili HIDROFOBIRANJU.

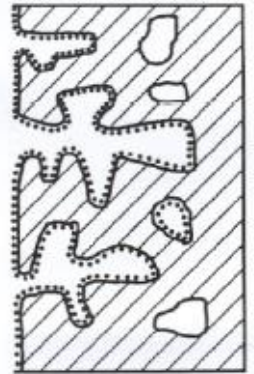


HIDROFOBIRANJE

- postupak kojim proizvod za hidrofobnu impregnaciju betona penetrira u beton i kojim se postiže vodoodbojnost (hidrofobnost) površine
- Pore i kapilare su iznutra obložene, ali nisu ispunjene i dalje su otvorene za plinove. Nema filma na površini betona, a izgled površine se malo ili uopće ne mijenja

Hidrofobirane površine

- Neosjetljive su na prljavštinu.
- Sprečavaju upijanje štetnih tvari koje se razgrađuju u vodi.
- Poboľšane su otpornosti na mraz i temperaturne promjene.
- Zadržavaju boju, sjaj i strukturu neobrađenog betona.



HIDROFOBNA IMPREGNACIJA

Proizvodi na osnovi **silikona**

- **silani** su male molekule s jednim atomom silicija
- **siloksani** su kratki lanci od nekoliko atoma silicija

Djelovanje

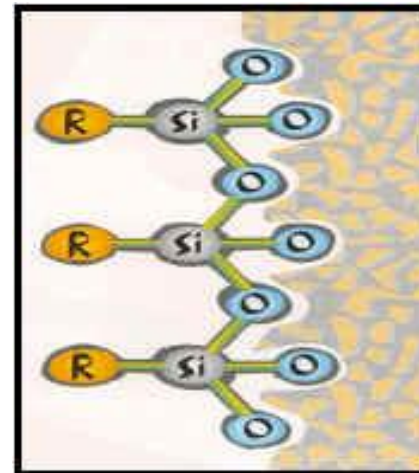
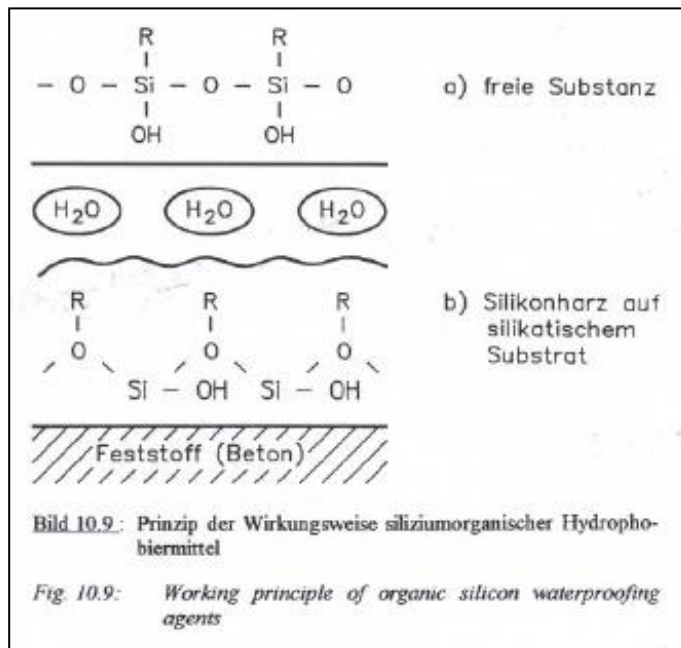
- reagiraju s cementom i vodom iz pora i tvore silikonsku smolu u pornom sustavu i vežu se za stjenke pora koje postaju vodoodbojne

Oblik:

- tekućine
- gelovi
- kreme

HIDROFOBIRANJE

- U doticaju s betonskom površinom
 - Na površini se skladišti hidrofilni glavni lanac sa svojom silanol grupom, dok hidrofobni ugljikovodični postranični lanci stvaraju novu površinu.



HIDROFOBIRANJE

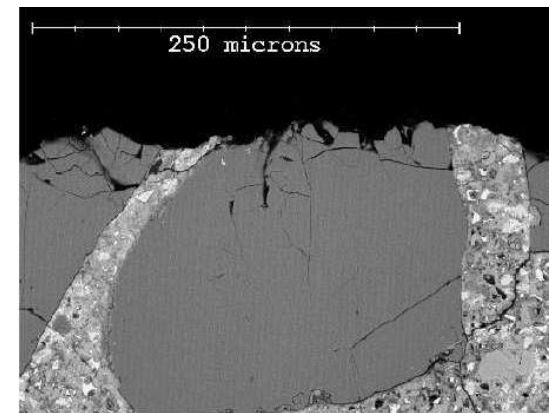
Priprema površine

- Fizikalna svojstva granične površine i fizikalno - kemijska svojstva djelotvorne tvari iziskuju dobro pripremljenu površinu.
- Vrlo je bitno pravilno nanošenje sredstva impregniranja, jer se inače može postići kontra-efekt.
 - Postoji mogućnost bržeg pojavljivanja pukotina nego kod neimpregnirane površine.
 - To se događa zbog toga što hidrofobirani materijali usporavaju i proces sušenja.
 - Proces impregniranja mora biti usklađen sa procesom sušenja površine.

HIDROFOBIRANJE

Priprema površine

- Podloga mora biti:
 - Suha - vodom zasićeni sistemi pora ne mogu biti dovoljno impregnirani.
 - Čista - Djelotvorna tvar mora imati slobodan put prodiranja.
 - Bez odvajajućih sastojaka
- Pripreme vanjske površine:
 - izolacija od vanjskih utjecaja,
 - pranje vodom (pod mlazom),
 - temeljno premazivanje,
 - otklanjanje soli s površine četkanjem.



HIDROFOBNA IMPREGNACIJA

Nanošenje:

- podloga suha – penetracija - najmanje 24 sata nakon kiše
Na dubinu penetracije vrlo utječe sadržaj vlage u zaštitnom sloju betona, naročito kod betona s malim v/c omjerom
- temperatura okoliša 10 - 25 °C
- na čistu podlogu
- dva sloja materijala mokro-na-mokro

HIDROFOBIRANJE

Postupak nanašanja

- Važno je postići što dugotrajniji kontakt između površine betona i tekućeg sredstva impregniranja.
- Brzina kapilarnog upijanja zahtjeva određeno vrijeme koje je pod utjecajem:
 - poroznost betona,
 - viskozitet sredstva impregnacije,
 - temperatura.

HIDROFOBIRANJE

Nanašanje hidrofobnog sredstva

Najbolji način nanošenja se pokazao tzv. postupak potapanja.

- Prikladnim aparatom (spec. pištoljem) na vertikalnu površinu nanosi se toliko sredstva da otječe poput tekućeg filma oko 30-50 cm prije upijanja.
- Postupak se mora toliko dugo ponavljati, dok proces upijanja ne prestane.
 - Horizontalne površine se premazuju kistom ili se špricaju.



HIDROFOBIRANJE

Ovim postupkom je onemogućeno upijanje vode.

- Ipak poznato je da silikoni ne formiraju homogeni film na površini materijala, te ne mogu pokriti sve pore i spriječiti upijanje vode kroz veće pore

Trajnost

- Za sada se ne mogu dati sigurni podaci o efikasnosti mjera hidrofobiranja na betonskim elementima u pogledu trajnosti.
- Na bazi nekih istraživanja pretpostavlja se vijek trajanja preko 10 godina.

ZAŠTITA ARMATURE



EPOKSI PREMAZI

- Zaštita armature organskim premazima zasniva se na ideji izolacije i zaštite čelika od agresivnih agensa koji mogu penetrirati u beton.
- Zahtjevana svojstva premaza su:
 - jednoliko pokrivanje cijele armaturene šipke,
 - dobro prijanjanje premaza uz površinu šipke,
 - fleksibilnost, koja omogućava dobru vezu premaza i armature,
 - mogućnost da se ostvari dobra veza između armature s premazom i betona.
- Jedina vrsta organskih premaza koja zadovoljava sva navedena svojstva su epoksi premazi.

EPOKSI PREMAZI

- Nanošenje epoksi premaza na armaturu obuhvaća slijedeće korake:
 - pripremu površine,
 - zagrijavanje,
 - apliciranje premaza i
 - očvršćavanje.



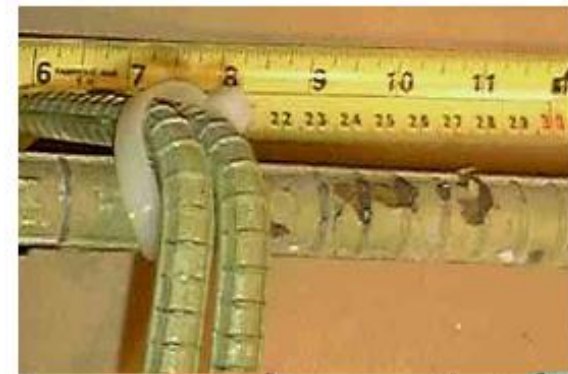
EPOKSI PREMAZI

Otpornost na koroziju

- Štite armaturu od korozije u kloridnom okolišu, iako nisu u potpunosti nepropusni za kisik, vodu i kloride.
- Najčešće su debljine od 0,1 do 0,3 mm.
- Zaštita armature ovisi o cjelovitosti premaza, odnosno njegovim mogućim mehaničkim oštećenjima.



EPOKSI PREMAZI



EPOKSI PREMAZI

Zadnjih godina se smanjuje uporaba ovih premaza nakon što su se u nekoliko slučajeva pokazali kao ne baš dobra zaštita armature od korozije.

Poglavito ako se radi o okolišu s kloridima, toplom okolišu i betonu koji je često izložen vlaženju.

Cijena armature s epoksi premazima gotovo je dvostruko veća od armature bez premaza.



GALVANIZIRANA ARMATURA

Prednosti

- visoke čvrstoće,
- otporna na koroziju,
- uvijek dostupna.

Nedostatci

- moguće krhko ponašanje,
- oštećenje površine = koroziju,
- mogućnost pojave korozije kada se kombinira s drugom armaturom.

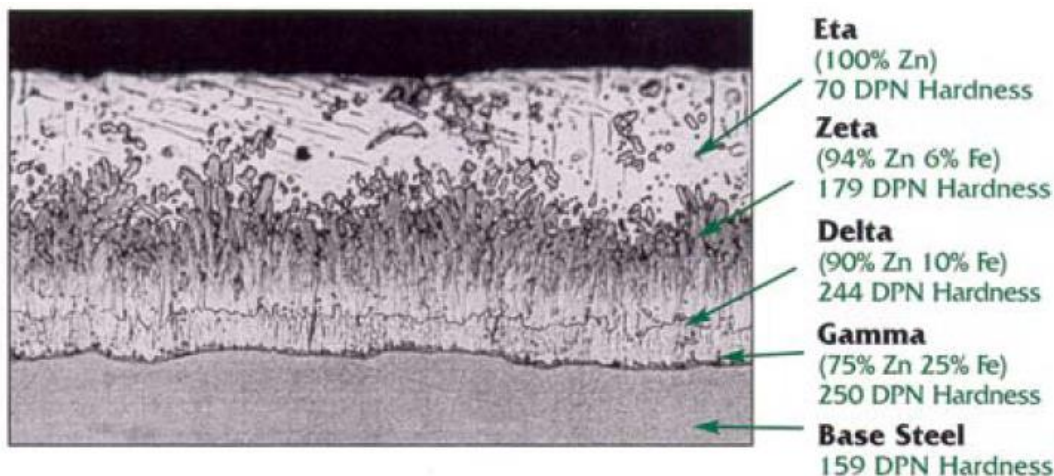


ZAŠTITA CINKOM

Barijera, metalurški spojena presvlaka

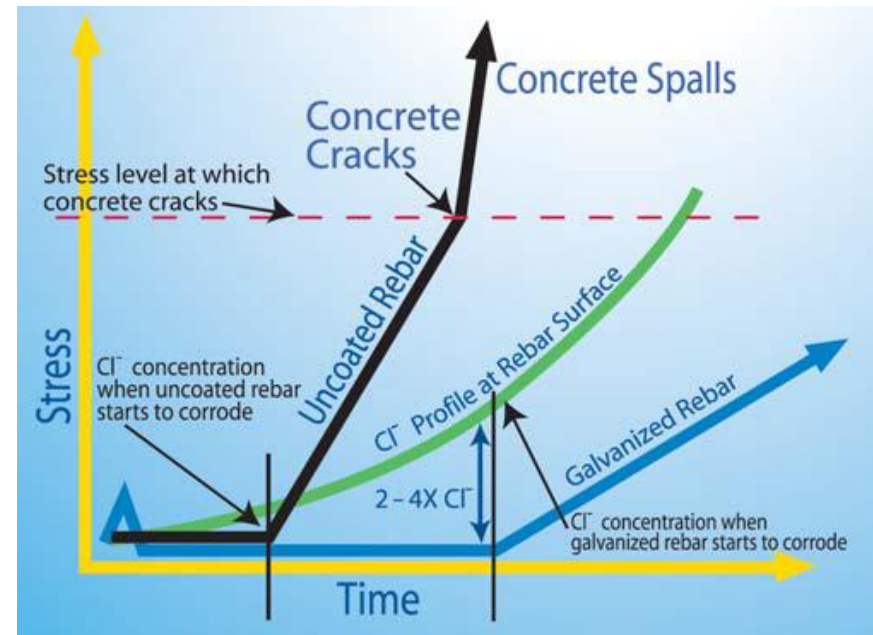
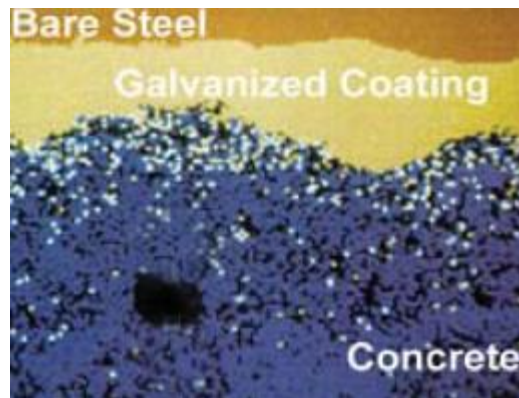
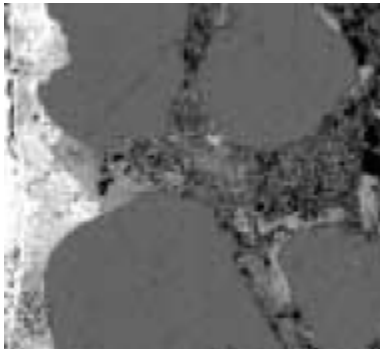
Žrtvujuća anoda

- cink -0,83 do -0,76 Eoc/V
- ugljični čelik -0.48 do -0.21 Eoc/V
 - Veća otpornost na kloride (2-4 puta)
 - Veća otpornost na niski pH
 - Brzina korozije je sporija



ZAŠTITA CINKOM

Produkti korozije migriraju u beton
Štite beton od raspucavanja
Poboljšavaju vezu beton-čelik
Popunjavaju pore



SVOJSTAVA U UPORABI GALVANIZIRANE I EPOKSIDNIM PREMAZIMA ZAŠTIĆENE ARMATURE



Galvanizirana armatura	Uvjeti upotrebe	Epoksi armatura
Ne	Specijalno rukovanje	Veoma
Ne	Osjetljivo na UV zračenje	Da
Da	Dorada nakon ugradnje	Da
kao ugljični čelik	Duljina preklapanja	Veće duljine
Da	Proizvodnja nakon presvlake	Da
Odlična	Veza s betonom	Slaba
No	Korozija ispod presvlake	Da
Da	Katodna zaštita	Ne
Odlična	Otpornost na abraziju	Slaba

PRIMJENA GALVANIZIRANE ARMATURE



Lukobran - Port Phillip Bay, Australia

Izvor: HOT DIP GALVANIZED REINFORCING STEEL FOR CONCRETE STRUCTURES,
HOT DIP GALVANIZED STEEL
February 2011

NEHRĐAJUĆI ČELIK

ARMATURNI ČELICI

KOROZIJSKI OTPORNI ČELICI

KORODIRAJUĆI ČELICI

"Visokolegirani" nehrđajući čelici

Granične vrijednosti
 $Cr > 10,5\%$ (minimalno)
Tipične vrijednosti
 $Cr = 18\% - 22\%$
 $Ni = 3,5\% - 12\%$
 $Mo = 2\% - 7\%$
 $C = 0,03\% - 0,07\%$

Primjeri

AISI 304
AISI 304L
AISI 316

"Niskolegirani" nehrđajući čelici

Granične vrijednosti
 $Cr > 10,5\%$ (minimalno)
Tipične vrijednosti
 $Ni < 5\%$

Primjeri

TOP12
204Cu
24100
LDX 2101
UGIGRIP 4362
SAE/UNS S3 2205

Niskolegirani čelici

Granične vrijednosti
 $Ceq \leq 0,53\%$
Tipične vrijednosti
 $Cr = 0,1\% - 2\%$
 $Ni \leq 0,8\%$
 $Mn \leq 1,5\%$
 $P \leq 1,5\%$
 $Si \leq 0,45\%$
 $Mo \leq 0,5\% \dots$

Primjer

AISI 420

Ugljični (crni) čelik

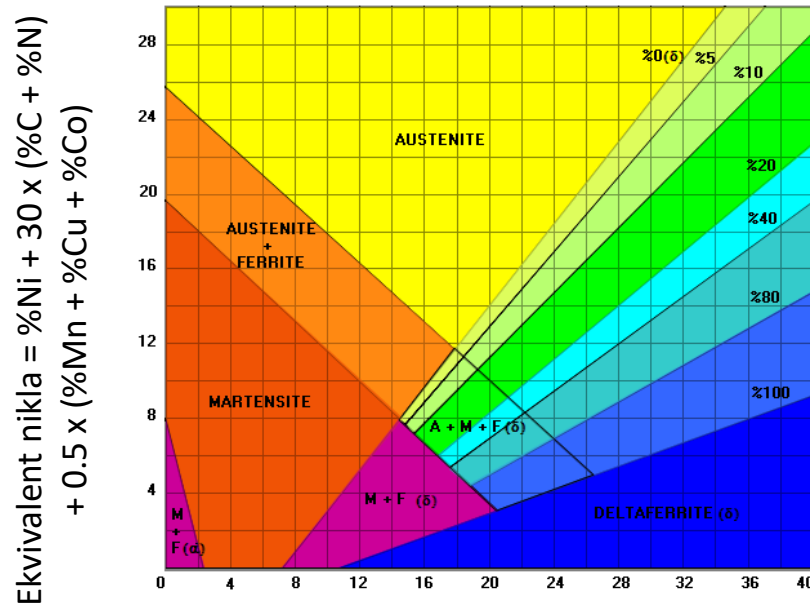
Granične vrijednosti
 $Ceq \leq 0,53\%$
 $C < 0,24\%$

Primjeri

B500B
B500A
B500C

NEHRĐAJUĆI ČELIK

Nehrđajući čelik je po definiciji onaj čelik koji sadrži najmanje 10,5% kroma, sa ili bez dodavanja drugih legirajućih elemenata



Vrste:

- Feritni
- Austenitni
- Martenzitni
- Duplex

NEHRĐAJUĆI ČELIK

- Od četiri navedene grupe **najčešće upotrebljavani u građevinarstvu su feritni, austenitni i dupleks čelici.**
- Feritni čelici se uglavnom upotrebljavaju u blagim okolišima, dok su austenitni čelici prikladniji za upotrebu u agresivnijim okolišima
- Korozijska otpornost visokolegiranih austenitnih čelika kao armature u betonu u agresivnom okolišu je dokazana laboratorijskim istraživanjima i upotrebom u konstrukcijama

NEHRĐAJUĆI ČELIK

Port of Progreso, u Yucatánu, Mexico, 1941.
nehrđajući čelik AISI 304



NEHRĐAJUĆI ČELIK

Upotreba nehrđajućih čelika kao armatura u betonu pokrivena je normama:

- BS 6744 (2001) "Stainless steel bars for the reinforcement and use in concrete - Requirements and test methods"
- ASTM A955/A995M (2004) "Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement"

NEHRĐAJUĆA OBLOGA ARMATURE

Otporna na koroziju i kada su prisutne visoke koncentracije klorida. Upotreba još uvijek ograničena, zbog povećanih inicijalnih troškova konstrukcije.

Prednosti

- visoke čvrstoće,
- vrlo otporna na koroziju.

Nedostatci

- puno skuplja od epoksi ili galvanizirane armature,
- ne postoje terenska ispitivanja karakteristika,
- nije lako dostupna.



NIŽE LEGIRANI NEHRĐAJUĆI ČELICI

Nedavna istraživanja

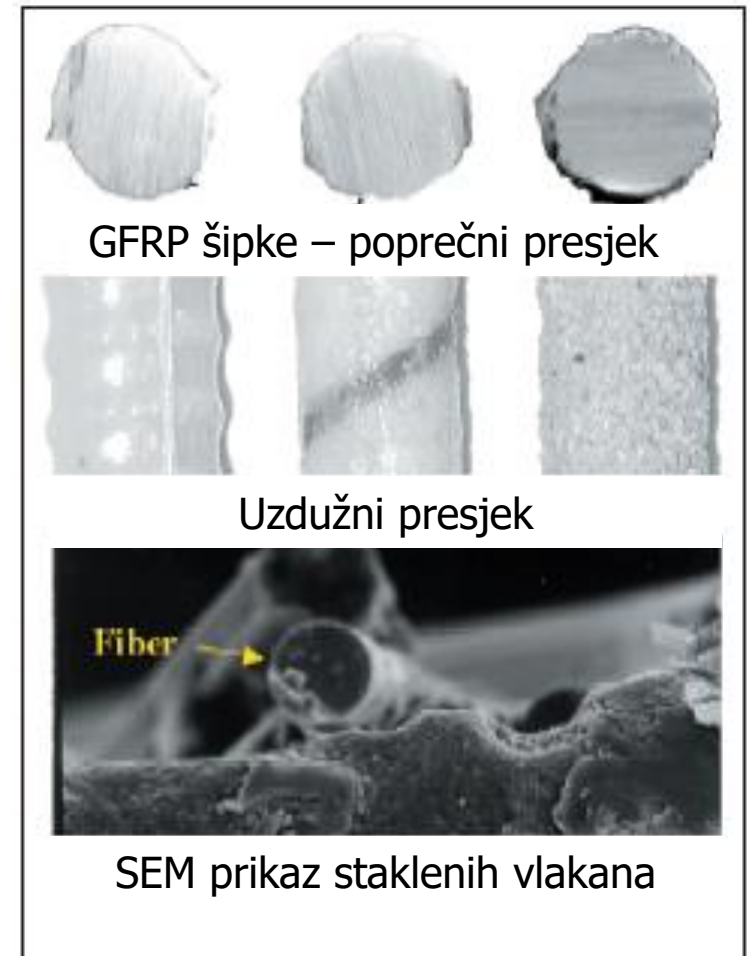
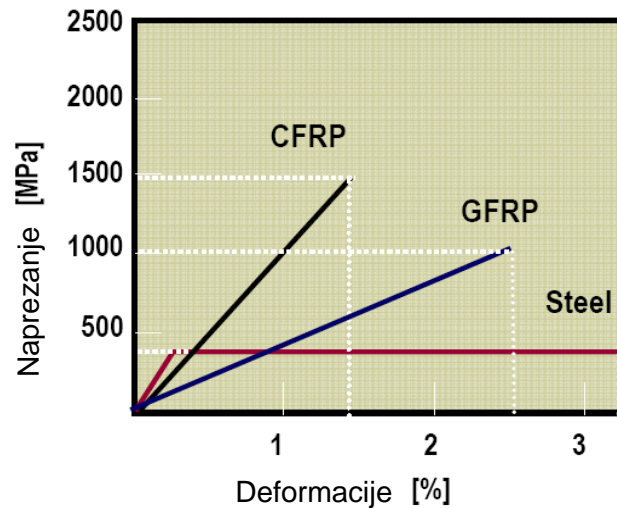
- Određene vrste niže legiranih čelika imaju znatno bolje ponašanje od ugljične armature.
- Cijena ovih čelika je niža od cijene "klasičnih" nehrđajućih čelika čime su ekonomski opravdana alternativa ugljičnom čeliku.

CIJENA/ŽIVOTNI VIJEK

Vrsta armature	Očekivani životni vijek	Cijena
Obična armatura	1	1
Nehrđajuća armatura	10	7,3
Nehrđajuća obloga armature	7,5	4,3
Galvanizirana armatura	3	1,4
Armatura s epoksi premazom	3	1,3

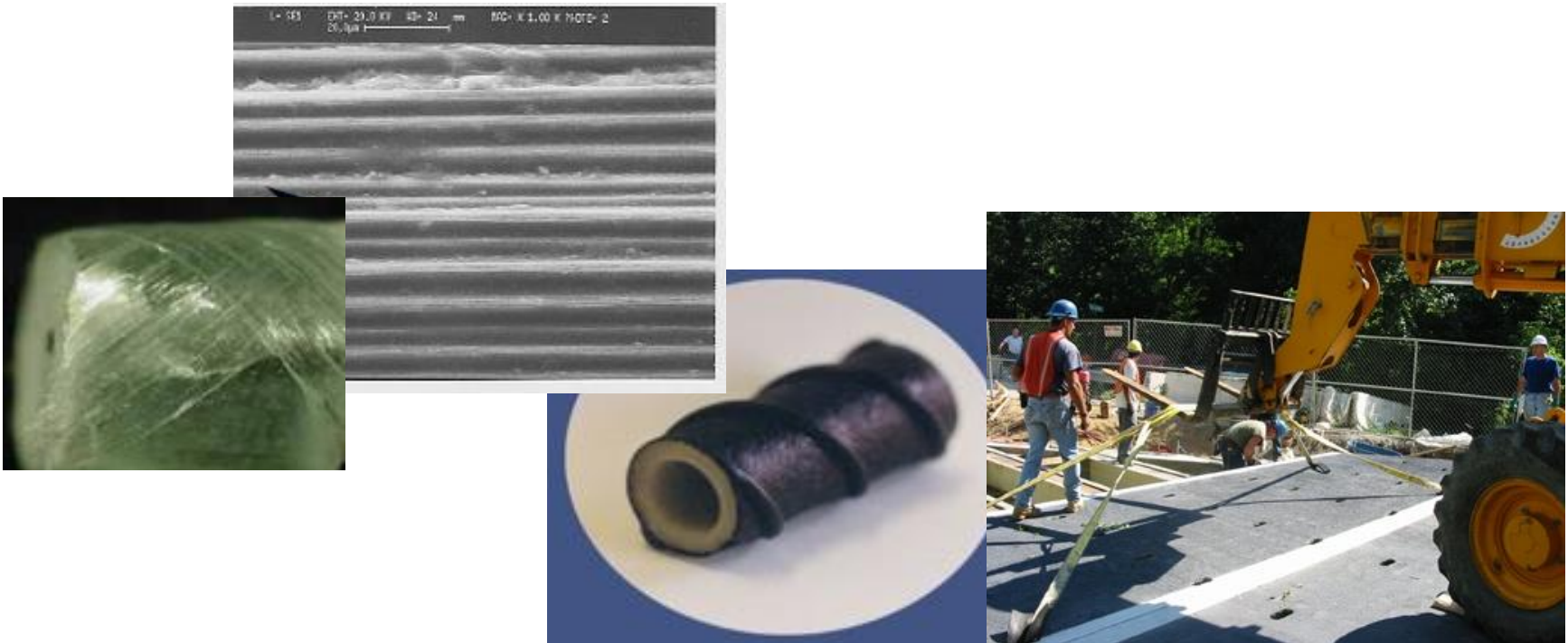
FRP ARMATURA

- Kompozit koji se sastoji od:
 - vlakana, izrađenih od stakla,
 - ugljika u poliesterskoj ili vinilnoj matrici smole.



FRP ARMATURA

FRP armatura se ispituje s namjerom da zamijeni običnu armaturu u betonu. FRP kompoziti su korozijski otporni, lagani i visoke čvrstoće. Jednostavni su za rukovanje i izvođenje.



FRP ARMATURA

Prednosti

- Dobra otpornost na atmosferske utjecaje
- Nepropusni materijal
- Lagan materijal
- Električna otpornost
- Otporan na udare bez loma
- Odlično podnosi umor
- Lako modeliranje i montiranje
- Izvedive u svim bojama i teksturama

Nedostatci

- Mala otpornost na požar
- Osjetljiv na temperaturu
- Mala gustoća
- Veći početni troškovi

INHIBITORI KOROZIJE

Inhibitori korozije metala

- su tvari anorganskog ili organskog porijekla koje u vrlo malim koncentracijama smanjuju brzinu korozije do tehnološki prihvatljivih vrijednosti.

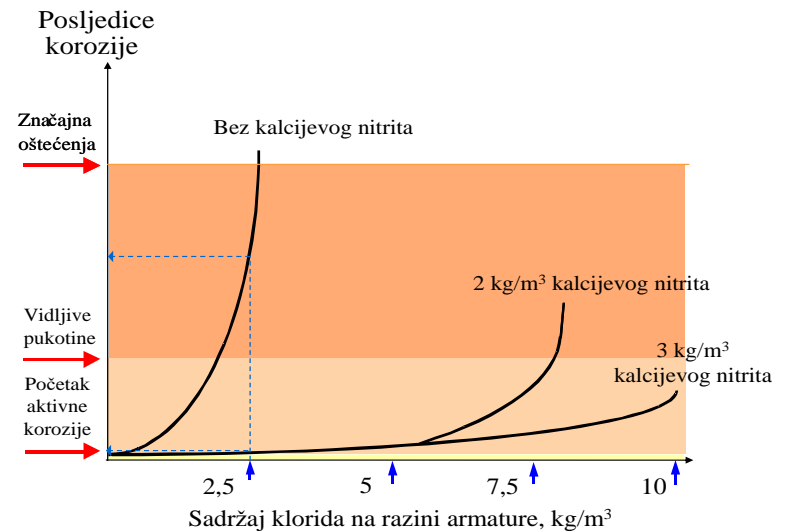
Prema načinu djelovanja mogu biti:

- anodni,
- katodni i
- kombinirani.

INHIBITORI KOROZIJE

Anodni inhibitori

- stvaraju na anodnim mjestima filmove oksida ili slabo topljivih soli te čine barijeru koja izolira temeljni metal.
- Taložni anodni inhibitori
 - stvaraju slojeve netopljivih korozijskih produkata.
- Pasivatori
 - izazivaju pasivizaciju anodne površine,
 - opasni, jer dodani u nepovoljnoj količini uzrokuju jamičastu koroziju.



INHIBITORI KOROZIJE

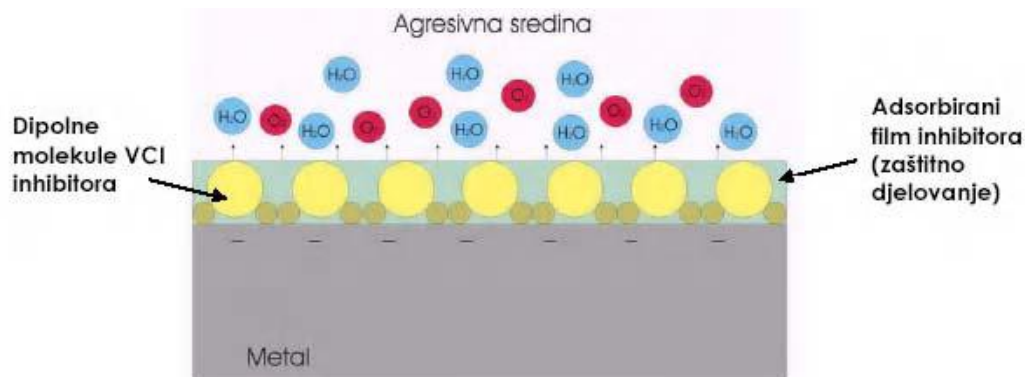
Katodni inhibitori

- smanjenje brzine korozije ostvaruju na dva načina:
 - usporenjem katodne reakcije korozijskog procesa ili
 - smanjenjem površine katodnih dijelova.
- Koče katodni proces djelujući na reakciju izdvajanja vodika ili na reakciju redukcije kisika.
- Katodni inhibitori dodani u bilo kojoj količini smanjuju brzinu korozije i nisu opasni.

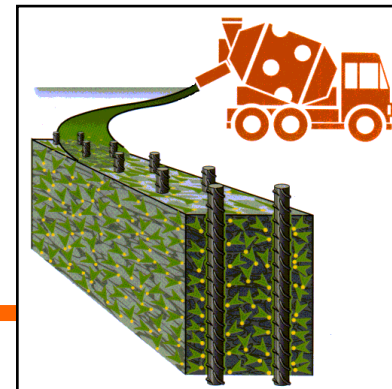
INHIBITORI KOROZIJE

Mješoviti inhibitori

- Imaju dvostruko djelovanje, anodno i katodno.
- Organski spojevi koji se adsorbiraju na metalnu površinu, tvoreći barijeru molekularnih dimenzija i time utječu na smanjenje brzine elektrodnih reakcija.



INHIBITORI KOROZIJE



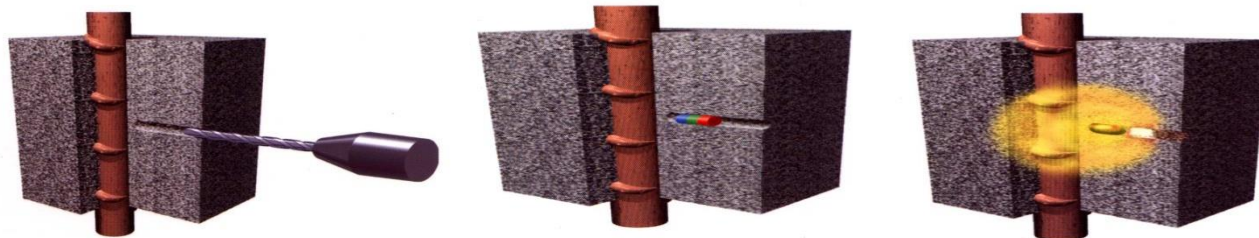
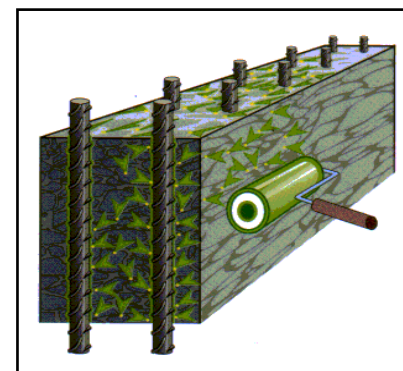
Dodani svježem betonu (kao aditiv)

- rabe se kod novih građevina kao preventivna mjera protiv korozije.

Površinski naknadno nanесeni inhibitori

- uglavnom se primjenjuju na postojećim konstrukcijama kao preventivna mjera

Naknadno ugrađeni



Ugradnja kapsula impregniranih s migrirajućim inhibitorom korozije armature

INHIBITORI KOROZIJE

Prednosti

- Primjenjuju se isto kao i klasična tehnologija pripreme, ugradbe i njegovanja betona.
- Nema potrebe za novim znanjima kod doziranja jer se inhibitori doziraju pri spravljanju betona kao i ostali aditivi za beton.
- Djelovanje migracijskih inhibitora korozije nije ovisno o homogenizaciji betona tijekom spravljanja, jer oni zaštićuju cijelu površinu šipke.
 - Za primjenu migracijskih inhibitora korozije kod novih konstrukcija moguće je sačiniti plan održavanja.

INHIBITORI KOROZIJE

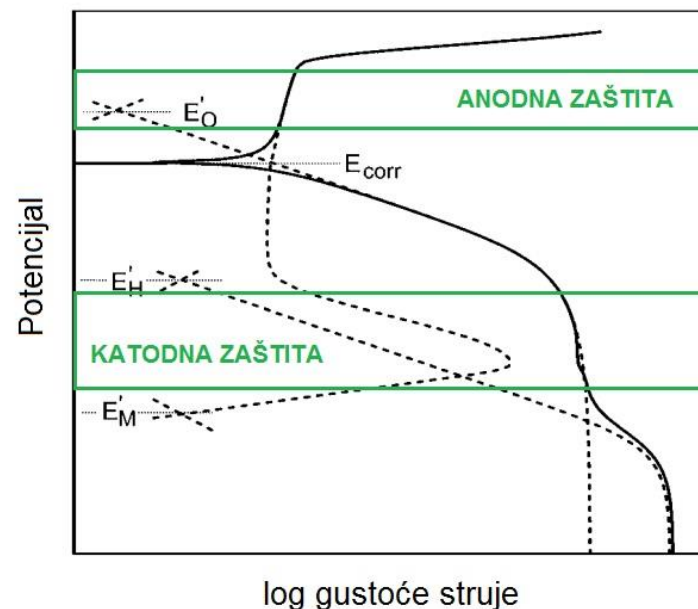
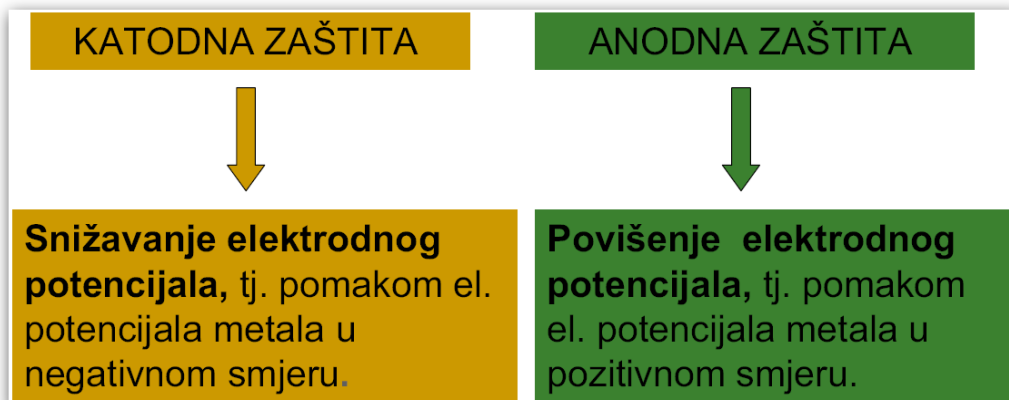
Nedostatci

- Doziranje anodnog inhibitora je ovisno o sadržaju klorida koje je teško unaprijed predvidjeti.
- Anodni inhibitor je potrebno veoma dobro homogenizirati u mješavini kako ne bi došlo do suprotnog efekta.

ELEKTROKEMIJSKE METODE ZAŠTITA

Elektrokemijske metode zaštite primjenjuju se u svrhu kontroliranja korozije armature u betonu.

- Metal se održava ili u pasivnom stanju (u području potencijala pasivacije) ili u imunom stanju (pri potencijalima nižim od stacionarnih) kada ne korodira.



ANODNA ZAŠTITA

Anodna zaštita je tehnika zaštite metala od korozije koja se ostvaruje polarizacijom konstrukcije u anodno područje potencijala u kojem se metal nalazi u stanju pasivnosti.

Polarizacija metalne konstrukcije može se provesti:

- Izvorom istosmjerne struje (spajanje s pozitivnim polom)
- Katodnim protektorima (spajanje s elektropozitivnijim metalom, grafit, Pt)

ANODNA ZAŠTITA

Primjenjuje se samo na metalima kod kojih postoji prijelaz u pasivno stanje:

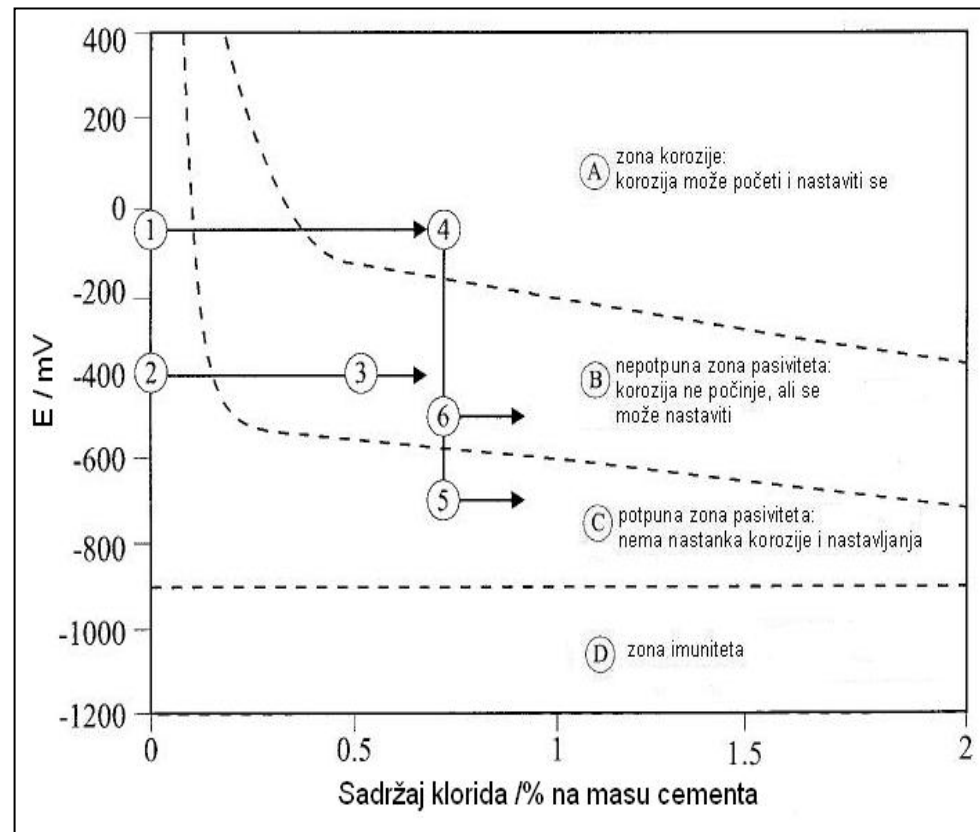
- nehrđajući čelici
 - aluminijeve legure
 - kromove i titanove legure.
-
- Anodna zaštita se zbog svojih ograničenja i skupe instalacije (potencijostata) ne upotrebljava često.

KATODNA ZAŠTITA

Princip rada temelji se na usporavanju korozije katodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala (armaturni čelik) u negativnom smjeru.

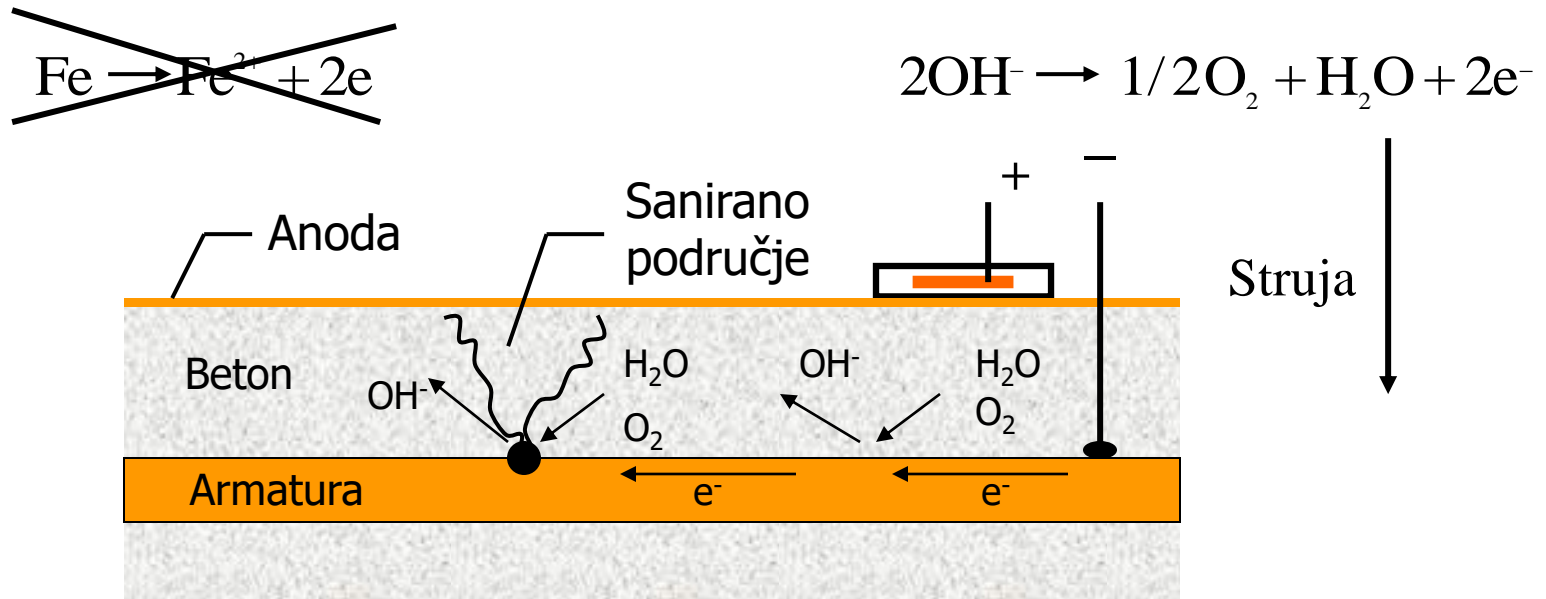
- dakle prema potencijalima nižim od korozijskog, odnosno potencijala otvorenog kruga.

KATODNA ZAŠTITA



KATODNA ZAŠTITA

Na površini metala koji se katodno (negativno) polarizira nastaje višak elektrona koji ubrzavaju katodnu reakciju, a usporava anodnu reakciju otapanja metala.



KATODNA ZAŠTITA

Ovisno o vrsti anode koji koristimo razlikujemo katodnu zaštitu:

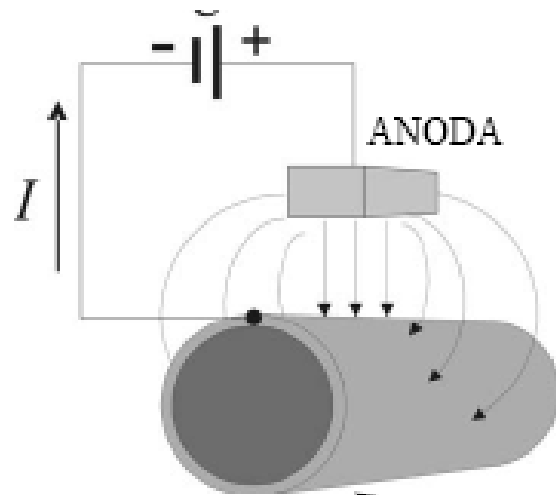
- sa kontaktom zaštićenog metala s neplemenitijim metalom
 - metoda žrtvujućih (galvanskih) anoda
- djelovanjem vanjskog izvora struje
 - metoda upuštene struje

Izbor tipa katodne zaštite ovisi o svakom konkretnom slučaju:

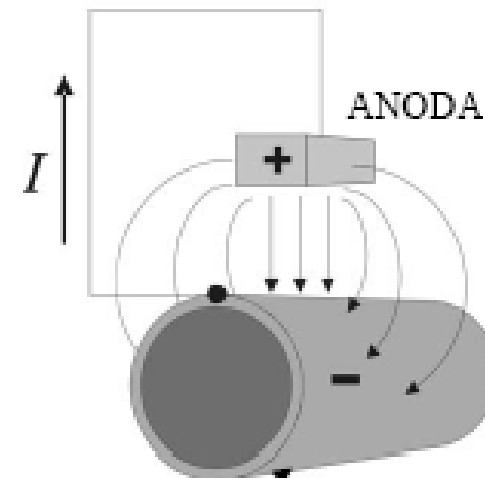
- Kod stacionarnih objekata primjenjuje se zaštita s vanjskim izvorom,
- Metoda žrtvujućih anoda se upotrebljavaju na pokretnim objektima i na mjestima gdje prijeti opasnost da iskra izazove požar ili eksploziju.

KATODNA ZAŠTITA

SUSTAV S VANJSKIM
IZVOROM



SUSTAV S ŽRTVOVANOM
ANODOM



ŠTIĆENA
KONSTRUKCIJA -
KATODA

ELEKTROLIT

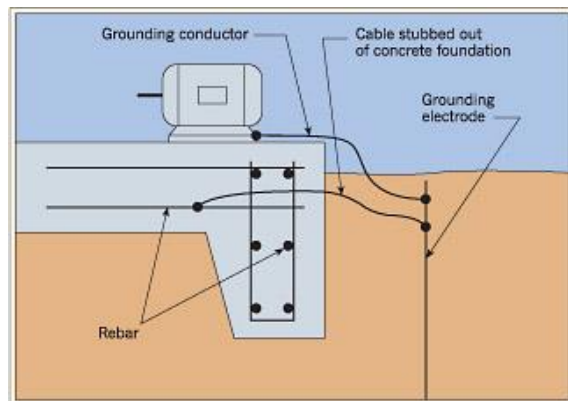
KRITERIJI

- Kriteriji katodne zaštite su zaštitni potencijal i zaštitna gustoća struje.
- Njihove se vrijednosti za različite uvjete eksploatacije znatno razlikuju.
- Stacionarni potencijal čelika u prirodnoj sredini je u prosjeku oko $-0,55$ V, a kao kriterij za potpunu katodnu zaštitu utvrđena je vrijednost potencijala od $-0,85$ V.
- Ove se vrijednosti dostižu određenim gustoćama struja koje se kreću od $20-40$ mA/m² za ugljični čelik.
- Zaštitni potencijal čelika je negativniji ($-0,95$ V) samo u anaerobnim sredinama, u kojima bakterije reduciraju sulfate u sulfite.

KATODNA ZAŠTITA

Metoda žrtvujućih anoda

- Objekt koji želimo štititi spajamo sa metalom koji ima manji elektrokemijski potencijal od objekta.
- Metal korodira i na taj način štiti objekt od oštećenja.



<i>Materijal</i>	<i>E_{oc}/V</i>
Magnezij	-1.45 do -1.36
Cink	-0.83 do -0.76
Aluminij s 99% al	-0.66 do -0.53
Uglični čelik	-0.48 do -0.21
Olovo	-0.31 do -0.26
Nikl	0.02
Bakar	0.10 do 0.28
Krom	0.23
Srebro	0.30
Titan	0.37
Grafit	0.70
Zlato	0.70
Platina	0.80

KATODNA ZAŠTITA

Žrtvujuće anode su uobičajeno od magnezija, cinka ili aluminija

Koriste se različite legure ovisno o vrsti elektrolita

Svaka vrsta žrtvujuće anode predstavlja katodnu zaštitu zbog velike razlike potencijala između anode i štićene konstrukcije

KATODNA ZAŠTITA

Žrtvovana se anoda nakon spajanja počinje otapati, a na konstrukciji se uspostavlja elektrodni potencijal pri kojem se odvija katodna reakcija – površina konstrukcije postaje katoda.

Prilikom rada ovakvog sustava, anode se troše te ih je potrebno povremeno mijenjati



KATODNA ZAŠTITA

Metoda upuštene struje

- Djeluje pomoću izvora istosmjerne struje kojim potiče tečenje struje od anode prema metalu kojega štitimo i time ga pretvara u katodu.
- Struja potrebna za zaštitu konstrukcije dobiva se iz električne mreže, solarnom energijom ili kombinacijom.

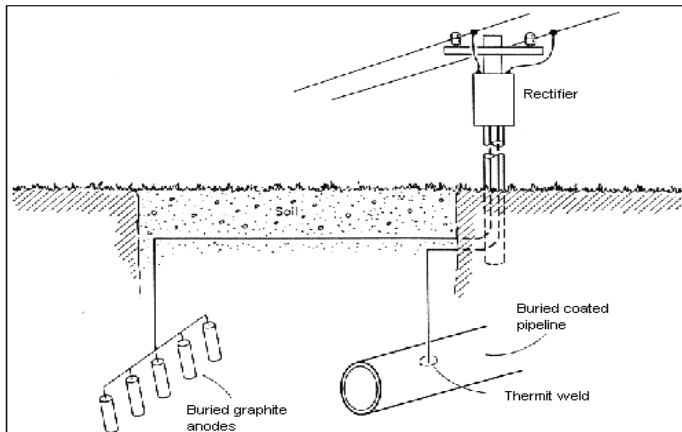
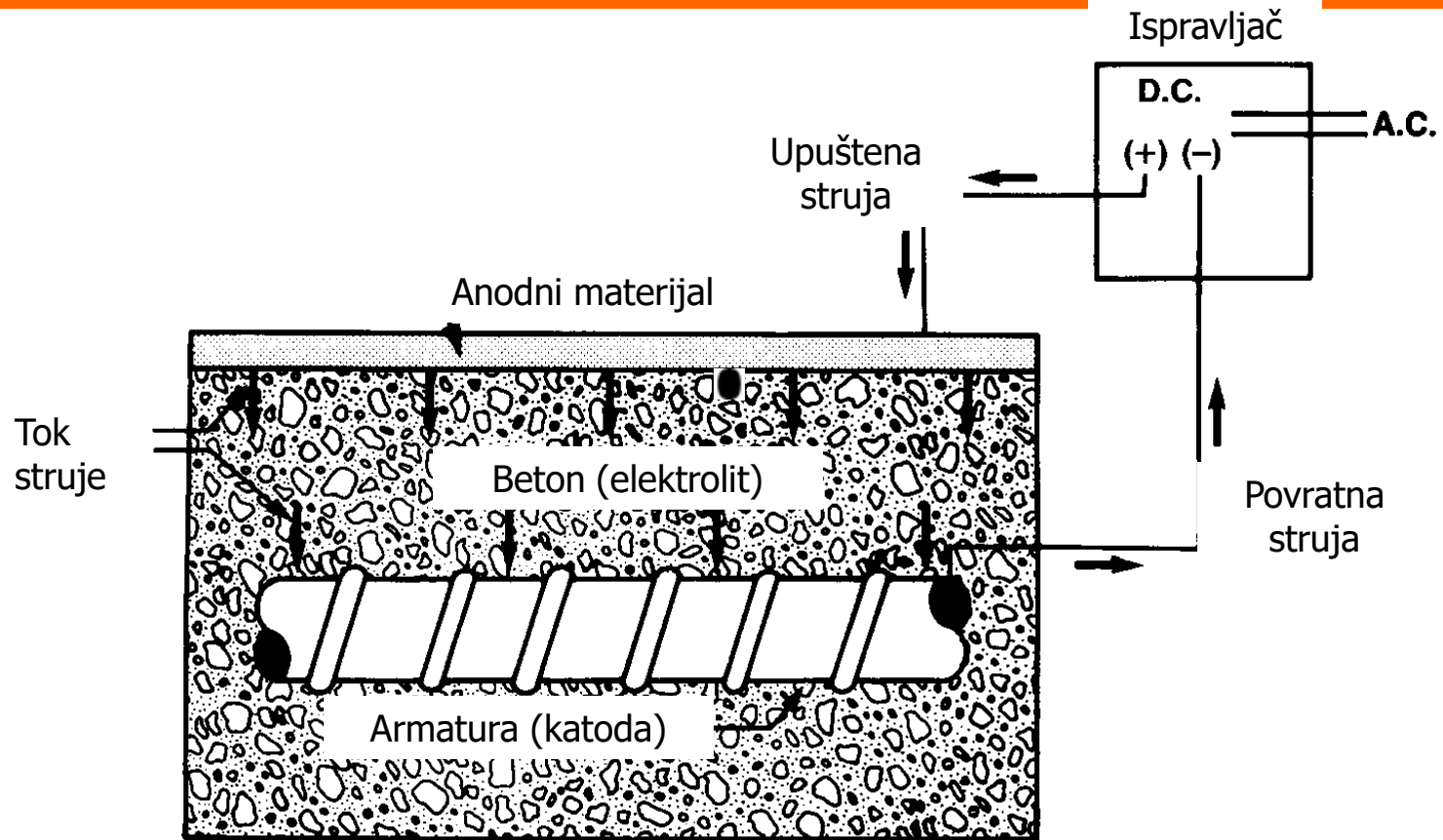


Figure 3: Impressed-current cathodic protection of a buried pipeline using graphite anodes

<i>Materijal</i>	<i>E_{oc}/V</i>
Magnezij	-1.45 do -1.36
Cink	-0.83 do -0.76
Aluminij s 99% al	-0.66 do -0.53
Uglični čelik	-0.48 do -0.21
Olovo	-0.31 do -0.26
Nikl	0.02
Bakar	0.10 do 0.28
Krom	0.23
Srebro	0.30
Titan	0.37
Grafit	0.70
Zlato	0.70
Platina	0.80

KATODNA ZAŠTITA



izvor: Report No. FHWADP-
34-3 12/88, CONCORR, Inc. 1993

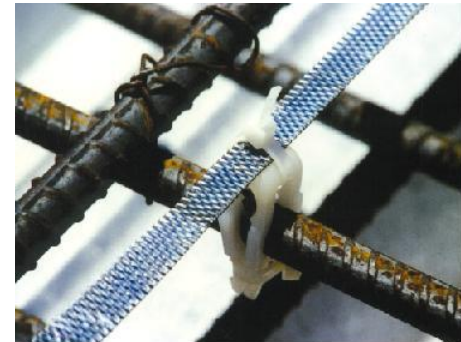
KATODNA ZAŠTITA

Vanjski izvor istosmjerne struje osigurava utisnutu struju u sustav katodne zaštite putem inertnih anoda

Anode su napravljene od materijala poput grafita, legura metalnih oksida presvučenih titanom, legure platine – niobija i sl.

Anode mogu biti različitih veličina i oblika uključujući žicu, šipke, tube i sl

Odabir anode radi se ovisno o vrsti elektrolita



KATODNA ZAŠTITA – VRSTE ANODA

	Površinski premazi	Zatvoreni sustav	Uronjene
Utisnuta struja	Vodljivi premaz Lučno špricani cink Lučno špricani titan	Anodna titanova mreža Mreža titanovih traka, sustav s rascjepom Diskretni anodni sustav	Lijeivano željezo ili titanove anode
Žrtvujuće (galvanske)	Lučno špricani cink Lučno špricani Al-Zn-In Cinkove adhezijske anode	Cinkova mreža	Lijeivani cink ili aluminijske anode

KATODNA ZAŠTITA

Trajnost

- Očekivano vrijeme trajanja sustava katodne zaštite je 10 - 40 godina, ovisno od odabranog sustava i uvjeta okoliša.
- Trajnost ugrađenih anoda (npr. titanska mreža) procijenjene su i do 120 godina.
- Sustav napajanja električnom energijom i sustav nadgledanja (monitoringa) traju znatno kraće.

KATODNA ZAŠTITA



KATODNA ZAŠTITA



Adhezivna cinkova anoda, nanošenje na stup mosta, Florida
(<http://www.epicuro.co.uk/uploads/cp1-4.pdf>)



Lučno špricanje Al-Zn-In na most u Teksasu

KATODNA ZAŠTITA

Prednosti katodne zaštite

- Tretira glavni uzrok korozije.
- Usporavaju ili zaustavljaju proces korozije, bez potrebe za uklanjanjem betona koji je kontaminiran kloridima ili karbonatiziran.
- Sprečava koroziju duž cijele konstrukcije.
 - za razliku od klasičnih vrsta popravaka koji
 - Tretiraju simptome korozije, ali ne i uzroke
 - Često rezultiraju novom korozijom uz mjesta popravaka, što samo ubrzava koroziju i unutar nekoliko godina uzrokuje velike štete na konstrukciji

KATODNA ZAŠTITA

Nedostatci katodne zaštite

- Prolazak visokih razina el. struje može imati nepovoljan učinak na čelik,
- Ne može se primijeniti duž el. izoliranih slojeva ili površina,
- Ne može se upotrebljavati kod korozije prednapetih betonskih konstrukcija.
- Cijela konstrukcija mora biti vodljiva.

USPOREDBA SUSTAVA KATODNE ZAŠTITE

	Sustav utisnute struje	Sustav žrtvujućih anoda
Prednosti	<ul style="list-style-type: none">•Dulji životni vijek anode•Struju je moguće kontrolirati•Dugotrajni zapisi	<ul style="list-style-type: none">•Jednostavni sistem•Bez monitoringa i održavanja•Nema potrebe za električnom izolacijom•Minimalan rizik od vodikove krtosti
Nedostatci	<ul style="list-style-type: none">•Zahtijeva monitoring i održavanje•Potrebna izolacija između anode i čelika•Potrebne su izolacijske cijevi i sustav žica•Detaljan monitoring i kontrola prednapregnutog betona	<ul style="list-style-type: none">•Kratki životni vijek anode•Anodna struja je ovisna o kemijskom sastavu i okolišu•Struja se ne može kontrolirati

KATODNA PREVENCIJA

Zasniva se na principima katodne zaštite, ali služi kako bi se unaprijed spriječili štetni utjecaji okoline.

Potrebno je primijeniti manju jačinu tzv. zaštitne struje u iznosu oko 0,5 – 2,0 mA/m²

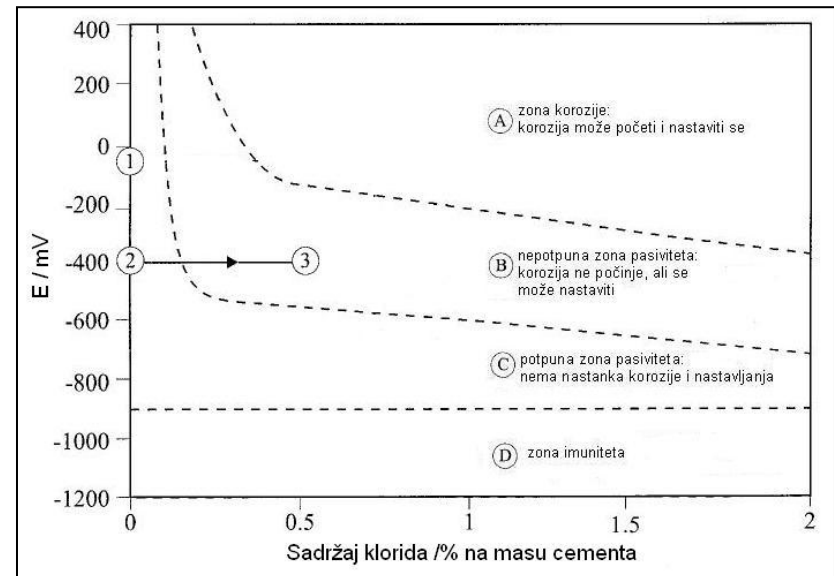
Metoda	Trajanje postupka	Struja	Elektrolit	Anoda
Katodna zaštita	stalno	2 - 20 mA/m ²	-	Ti mreža
Katodna prevencija	stalno	0,5 - 2 mA/m ²	-	Ti mreža

KATODNA PREVENCIJA

- Pomicanje elektrokemijskog potencijala čelika, E u negativnom smjeru, čelik se dovodi u pasivno stanje te nema inicijacije i/ili propagacije korozije.
- Kao posljedica pomaka potencijala duž armature pH ostaje ne promijenjen, stoga će prodor klorida biti minimaliziran elektrodnom potencijalom i pripadajućim tokom struje.



- Primjer katodne prevencije je Opera u Sydney



KATODNA PREVENCIJA

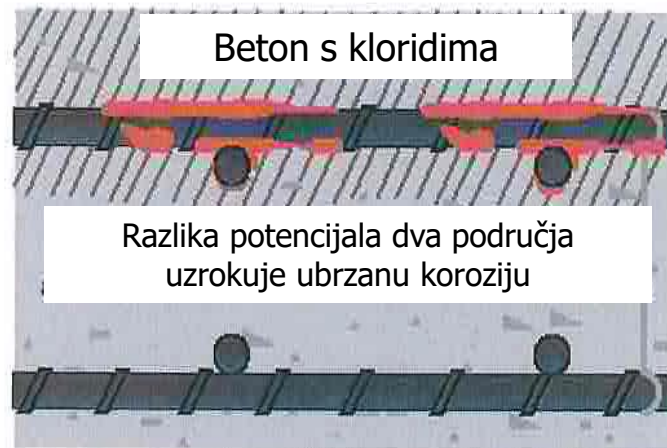
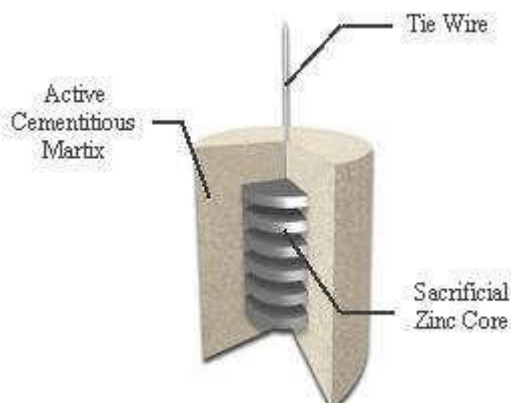
Primjeri katodne prevencije žrtvovanom anodom

- Pojedinačne žrtvujuće cinkove anode pričvršćuju se na armaturu na mjestima gdje se očekuje korozijska aktivnost.

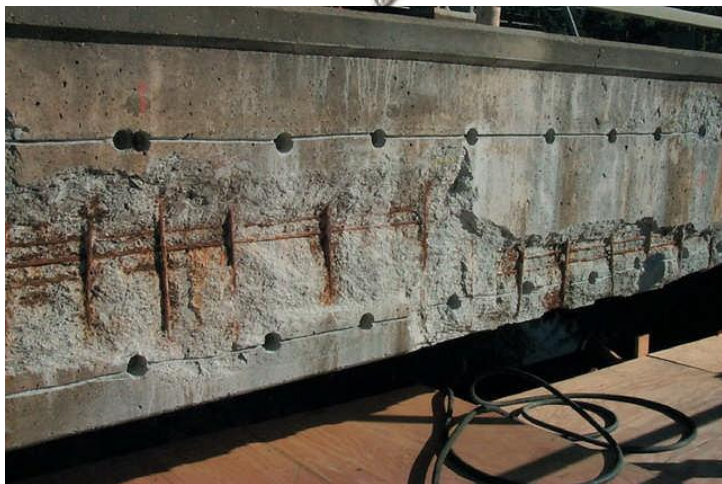


KATODNA PREVENCIJA

PLUG-TYPE ANODES



Chloride contamination causes corrosion in reinforced concrete



Zaštita galvanskim anodama

Galvashield CC mitigates active corrosion

USPOREDBA KATODNE ZAŠTITE S DRUGIM METODAMA

Tehnologija	Životni vijek	Komentar
Katodna zaštita	> 100 godina	Trajna zaštita; najdulji efektivni životni vijek
Armatura od nehrđajućeg čelika	Nepoznato	Visoka cijena; nije prikladno za topla mora
Presvučena armatura	Varijabilno	Osjetljiva za rukovanje
Inhibitori	Varijabilno	Ograničeni životni vijek

LITERATURA

www.corrosion-doctor.com.

www.tti.tamu.edu/documents/9-1520-S.pdf

www.tfhrc.gov/focus/may04/01.htm

www.wonderebar.com/page0/page0.html

555-011, S. (1990). Površinska zaštita čeličnih konstrukcija. Zurich: TK-SZS (Tehnička komisija Švicarske središnjice za čelične konstrukcije).

Fib. (2002). Management, maintenance and strengthening of concrete structures. Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib).

Fib. (2003). Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib).

Ivan Esih, Z. D. (1990). Tehnologija zaštite od korozije. Zagreb: Udžbenici Zagrebačkog sveučilišta.

Stupnišek-Lisac, E. (2007). Korozija i zaštita konstrukcijskih materijala. Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu.

PITANJA

Što sve mora sadržavati projekt zaštite?

Koje vrste zaštite betona poznajete?

Objasnite zaštitu armature putem betona te navedite cilj takve zaštite.

Što su to obložene oplatae?

Koje vrste premaza poznajete? Navedite prednosti i nedostatke zaštite premazima.

Objasnite metodu zaštite betona hidrofobiranjem.

Objasnite izvedbu zaštite betona polimerom.

Navedite koje vrste zaštite armature poznajete.

Objasnite zaštitu armature epoksidnim premazima i navedite kojoj vrsti premaza pripadaju epoksidni premazi.

Navedite prednosti armature s nehrđajućom oblogom i usporedite upotrebom nehrđajuće armature punog presjeka.

Objasnite zaštitu armature inhibitorima, te navedite koje vrste inhibitora poznajete.

Objasnite razliku između katodne zaštite i katodne prevencije.

Hvala na pažnji
