

Dubinsko hidrofobiranje
Preventivna površinska zaštita
armiranobetonskih objekata

Sadržaj



- 4 **Armiranom betonu je potrebna zaštita**
Stara spoznaja – novi koncept
- 6 **Armirani beton i kloridi**
Problematičan odnos
- 8 **Ekologija i ekonomija**
Primjer izračuna
- 10 **Detaljni prikaz dubinskog hidrofobiranja**
Kemija pomaže pri zaštiti
- 12 **Projektiranje i način postupanja**
Jednostavno i efikasno
- 14 **Korak ispred**
U Švedskoj već danas razmišljaju o budućnosti

Armirani beton treba zaštitu

Stara spoznaja – novi koncept

Armirani beton je sve samo ne dugotrajan. Aktualne brojke o građevinskim oštećenjima kao i sve veći broj popravaka to jasno dokazuju.

Preventivnim, ekološki i ekonomski prihvatljivim mjerama moguće je dugotrajno zaštititi građevine uz podnošljivi tehnički utrošak. Jedna od takvih mjera je **dubinsko hidrofobiranje** armiranobetonskih građevina. Ta je tehnička površinska obrada primijenjena već na mnogo različitih objekata da bi se spriječilo kapilarno upijanje vodenih otopina soli koje su agresivne za beton. Uspješna iskustva iz prakse tijekom posljednjih 12-15 godina to jasno pokazuju.

Pritom hidrofobiranje nije novovremeno dostignuće, već su ga još prije 2000 godina rabili stari Rimljani. I Maje su znale da se dodavanjem prirodnih masnoća i ulja produljuje vijek kamenih pročelja.

Oslanjajući se na rezultate suvremenih istraživanja, hidrofobiranje je kontinuirano usavršavano sve do **dubinskog hidrofobiranja**. Danas dubinsko hidrofobiranje građevinskih elemenata vezanih cementom predstavlja jednu od najučinkovitijih mjera zaštite protiv prodora štetnih tvari otopljenih u vodi u rubno područje betona.



Još su rimski majstori graditeljstva znali zaštititi svoje građevine. I to vrlo uspješno...

Od starih spoznaja do novih zamisli preko suvremene kemije: očuvanje armiranobetonskih elemenata zaštitom površine.



Armirani beton i kloridi

Problematičan odnos



Različiti atmosferski utjecaji osobito jako djeluju na armirano-betonske objekte naše infrastrukture, kao što su primjerice mostovi na autocestama i željeznički mostovi, i oni prije ili kasnije izazivaju korozijska oštećenja, a time dovode i do kraćeg životnog vijeka.

Beton je porozni materijal proizveden od cementa, kamene frakcije (npr. pijeska ili šljunka), vode i eventualno drugih aditiva. Cement reagira s vodom i tako nastaje cementni kamen koji povezuje kamenu frakciju u kompozitni materijal beton. Materijali sa cementom kao vezivom imaju široko razgranati sustav pora, koji može brzo upiti velike količine tekućine. Pritom se jasno razlikuje takozvano rubno područje betona (do 3 cm od površine prema unutra) od betonske jezgre. Osim veće poroznosti, ovo vanjsko područje posjeduje i veću plinu i vodopropusnost.

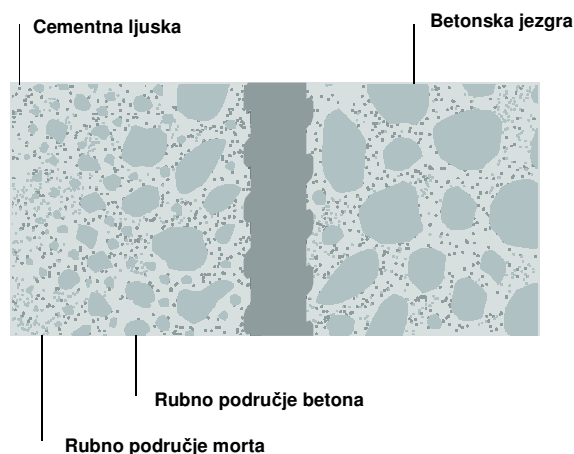
Mnogi mehanizmi oštećenja, kao npr. klorom inducirana korozija armature, povezani su s transportom vode u rubno područje betona.

Tako se, zavisno od okolnih uvjeta i uvjeta korištenja, transportiraju kloridi – primjerice iz otopina soli za posipanje ili morske vode – izvana preko kapilarnih pora cementnog kamena prema rubnom području betona. Kod prekoračenja kritičnog udjela klorida u armiranom betonu i u prisustvu odgovarajućih reaktanata (npr. dovoljne ponude kisika i odgovarajućih vlažnih uvjeta) dolazi do korozije armature.

Posljedica je prskanje površinskog betona uz otkrivanje armaturnog čelika.

Ako kloridna fronta dospije do armaturnog čelika, nastaje hrđa koja dovodi do povećanja volumena i odvaljuje

beton koji se nalazi iznad toga – pritom prijeti opasnost da će armirano-betonski dijelovi izgubiti svoju nosivost.





Posebno ugroženi građevinski elementi su npr. središnji potpornji mostova, izgrađeni iznad autocesta. Ovi središnji potpornji su bez zaštite izloženi prskanju vode koja sadrži sol za posipanje, što u zimskim mjesecima dovodi do velikih opterećenja kloridima. Ova velika opterećenja kloridima izazivaju zatim u najkraćem vremenu jaka korozivna oštećenja na armiranom betonu. Zbog toga su potrebni popravci, koji su vrlo zahtjevni u tehnološkom, ekonomskom i ekološkom pogledu.

Tehnološki

Za popravak je potrebno skinuti oštećeni rubni dio betona do armature. Čelik se mora očistiti i premazati antikoroziivnom zaštitom. Zatim se odvojeni beton ponovno reprofiliira. Nanošenjem novog betona na stari beton nastaje nova granična površina. Ako oba materijala nisu optimalno međusobno usklađena, može se dogoditi da već nakon nekoliko godina ponovno nastanu oštećenja, što se i u praksi potvrdilo.

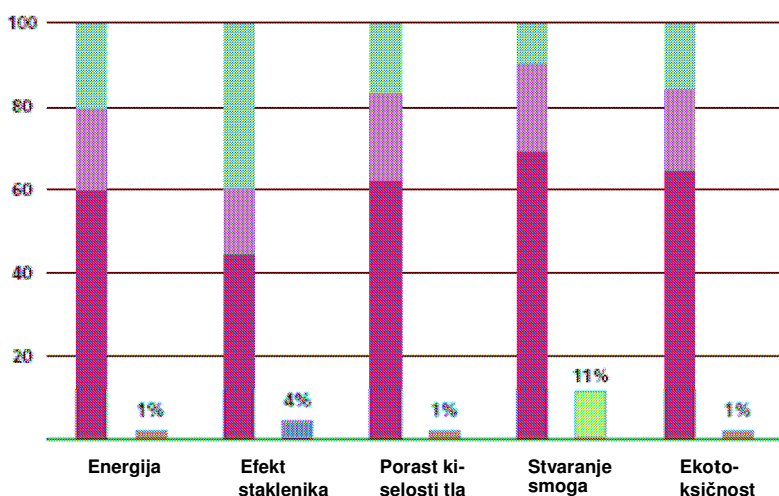
Ekonomski

Ispitivanja su pokazala da kod popravka takvih nosnih stupova nastaju troškovi, koji višestruko premašuju prvobitne troškove izrade stupova. Tako financijski troškovi sanacije stupa iznose oko 30.000 €. Troškovi usmjeravanja prometa mogu iznositi oko 100.000 € do 120.000 €. Pritom uopće nisu uzeti u obzir indirektni troškovi zbog zastoja prometa (npr. dodatni troškovi benzina i utrošak vremena odnosno negativne posljedice za nacionalno gospodarstvo).

Ekološki

Pored visokih financijskih troškova, popravci predstavljaju u pravilu građevinske mjere intenzivne potrošnje energije i resursa. Stoga su dijelom povezani i sa značajnim ekološkim utjecajima. Tako se ispostavilo da ekološka opterećenja popravka mogu biti tri puta veća od onih koje bi proizročila proizvodnja tog elementa (npr. stupova).

Popravak i dubinsko hidrofobiranje na primjeru objekta mosta kod 25-godišnjeg korištenja



Popravak

- Visokotlačni vodeni mlaz
- Pjeskarenje i antikoroziivna zaštita
- Prskani beton i naknadna obrada

Dubinsko hidrofobiranje

- Hidrofobiranje uklj. izradu proizvoda
- Utjecaj na okoliš zbog dugotrajne razgradnje
- Oslobođanje etanola tijekom stvaranja filma

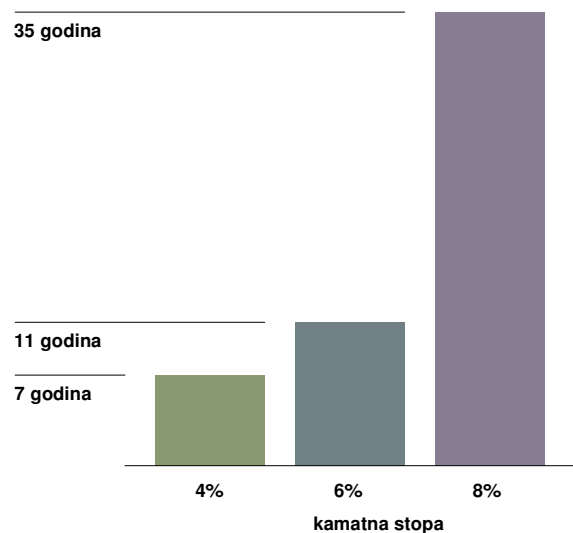
Efikasan način kako unaprijed spriječiti takva oštećenja je površinska zaštita dubinskim hidrofobiranjem.

Primjer

Neki objekt mosta planiran tako da ga se 100 godina ne mora popravljati, mora se ipak nakon 25 godina popraviti. Opterećenja okoliša koja nastaju prilikom popravka, zabilježena su u ekobilanci (vidi grafikon na stranici 8). Radi usporedbe unesena su i ekološka opterećenja uslijed dubinskog hidrofobiranja. Iz ovih pokazatelja je jasno da se dubinsko hidrofobiranje može izvesti do devet puta, da bi ekološki utjecaji ove dvije mjere bio usporedivo velik (stvaranje smoga). Iz toga proizlazi da kod popravka nakon 25 godina ekološki opravdano minimalno trajanje utjecaja dubinskog hidrofobiranja mora iznositi samo 3 godine. Međutim, u stvarnosti je prema današnjim saznanjima dubinsko hidrofobiranje učinkovito oko 15 do 20 godina.

To ima i svoje ekonomske učinke. Da je građevinski objekt bio, počevši od njegovog dovršenja, dubinski hidrofobiran u redovnim vremenskim razmacima, oštećenja su se mogla spriječiti. Usporede li se troškovi popravka s investicijama za preventivno učinkovito dubinsko hidrofobiranje, moguće je procijeniti ekonomski opravdano trajanje djelovanja zahvata hidrofobiranja.

Osim toga, kapital uloženi za popravak odnosno dubinsko hidrofobiranje mora se ukamatiti. Usporedbom troškova kapitala moguće je odrediti kod primjene različitih kamatnih stopa minimalno trajanje djelovanja dubinskog hidrofobiranja. Kod kamatne stope od 4-6 % dubinsko hidrofobiranje izvedeno svakih 7 do 11 godina više je nego ekonomično, ako se njime može izbjeći popravak nakon 25 godina.



Detaljni prikaz dubinskog hidrofobiranja

Kemija pomaže pri zaštiti



Kod dubinskog hidrofobiranja radi se o vodoodbojnoj impregnaciji mineralnog građevinskog materijala. Da bi se uopće mogla procijeniti načelna opterećenost armirano-betonskih objekata i potrebne mjere zaštite, razvijen je trostupanjski koncept koji se temelji na «efektivnoj dubini prodora». Ova vrijednost predstavlja debljinu rubnog područja betona, u kojoj je udio djelatne tvari dovoljan da se u potpunosti spriječi kapilarna vodoupojnost.

Pomoću trostupanjskog koncepta najprije se praktički ocjenjuje situacija u pogledu opterećenosti, da bi se utvrdili zahtjevi u pogledu hidrofobiranja. Izbor prikladnih proizvoda vrši se na temelju sljedeće klasifikacije:

1. stupanj ► grundiranje

Kod upotrebe sustava površinske zaštite (OS 2) predviđeno je grundiranje podloge sredstvom za hidrofobiranje. Proizvodi koji se pritom koriste postižu efektivnu dubinu prodora od oko 1-1,5 mm. Pritom se upotrebljavaju ili takozvani koncentri silikonske mikroemulzije (StoCryl GW 100) ili sustavi razrjeđeni otapalom s udjelom djelatne tvari < 20 % (StoCryl HP 100).

2. stupanj ► područje raspršene maglice

Ovdje je u prvom redu riječ o elementima koji su izloženi jakom opterećenju kloridima, kao što su npr. upornjaci mostova. Efektivna dubina prodora treba iznositi preko 4,0 mm. Za ovaj se stupanj upotrebljavaju naprimjer proizvodi tipa viskoviskoznih, vodenastih emulzija poput StoCryl HC 100, ili višestruko naneseeni niskoviskozni silani s koncentracijom djelatne tvari od oko 100%, kao što je StoCryl HP 200.

3. stupanj ► područje prskanja vode

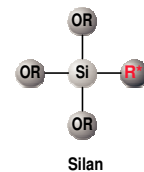
Kod elemenata koji su izloženi jakom opterećenju kloridima, kao naprimjer u području amfibijske zone objekata na obalama ili središnji potpornji mostova iznad autocesta, efektivna dubina prodora trebala bi iznositi već preko 6 mm. Ovdje se govori o «dubinskom hidrofobiranju» kod kojeg se koriste visoko viskozni nevedenasti sustavi poput StoCryl HG 200.

Suvremena sredstva za hidrofobiranje baziraju se na silanima.

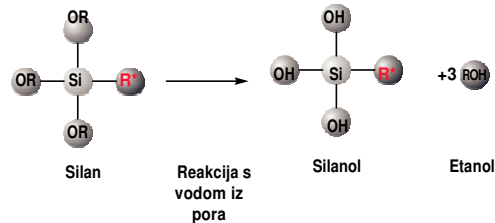
Silani kao i siloksani, silikoni i silikonske smole spadaju u kemijsku skupinu silicijsko-organskih spojeva. Oni se nakon nanošenja transportiraju putem kapilarnog usisavanja u rubno područje betona.

Tijekom transporta silan kemijski reagira s vodom apsorbiranom u unutarnje stijenke pora. Tako na unutarnjoj stijenci pora nastaje tanak vodoodbojni sloj silikona. Stoga je i dalje moguć transport vodene pare između okoline i unutrašnjosti građevinskog materijala. Međutim, transport tvari otopljenih u vodi, koje su agresivne prema betonu, ne može se više odvijati.

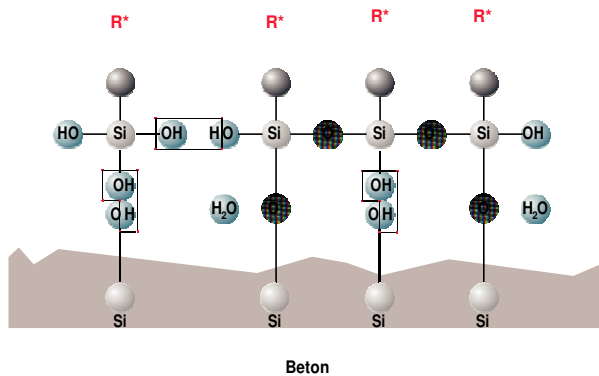
Učinkovitost i trajnost ove mjere zavise između ostalog i o kemiji silana.



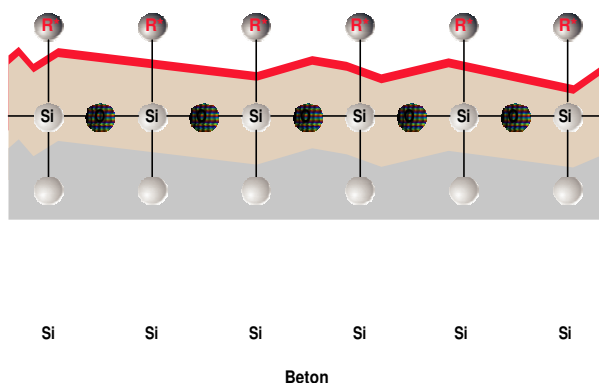
Kemijska struktura silana, koji spadaju u mnogostrane silicijsko-organske spojeve kakvi se upotrebljavaju za hidrofobiranje betonskih građevinskih objekata.



Kapilarnim usisavanjem u rubnom području betona silan kemijski reagira s vodom, apsorbiranom u unutarnje stijenke pora. Pritom cijepanjem etanola nastaje silanol sposoban za reakciju.



Ove silikonske molekule tvore cijepanjem vode veze s betonom. Na unutarnjoj stijenci pore tako nastaje tanki sloj silikonske smole koji ima vodoodbojno djelovanje.



Vodne otopine (npr. voda opterećena kloridima) na betonskoj površini ne mogu se više upijati kapilarnim usisavanjem. No, zbog male debljine sloja, kapilare se ne začepljuju pa je stoga i dalje moguć transport vodene pare.

Projektiranje i način postupanja

Tako jednostavno, a ipak tako učinkovito

Bez ikakvog problema:
Brza ugradnje sredstva za
hidrofobiranje



Izbušeni uzorci u laboratoriju pokazuju dubinu karbonizacije elementa.



Njihov visoki viskozitet omogućuje da djelatne tvari polagano prodru u beton.



Tijekom nanošenja potrebno je stalno provjeravati postiže li se zadana debljine sloja.



Da bi se uspješno izvela preventivna mjera zaštite «dubinskog hidrofobiranja», potrebni su razni koraci koji se poduzimaju tijekom i nakon provedene mjere.

Projektiranje

Izbušeni uzorci minimalnog promjera 70 mm u tu se svrhu uzimaju s elementa kojeg je potrebno zaštititi. Ti se uzorci zatim u laboratoriju ispituju s obzirom na dubinu karbonizacije, poroziteta, udjela klorida efektivne dubine prodora.

Pri određivanju dubine karbonizacije prethodno se mora odrediti napredovanje karbonizacije, da bi se na temelju toga mogao procijeniti rizik od korozije s obzirom na «preostali životni vijek».

I porozitet građevinskog objekta u velikoj mjeri određuje trajnost čeličnih građevina. On je važan i za moguću mjeru površinske zaštite dubinskim hidrofobiranjem. Kapilarni porozitet građevinskih objekata određuje se na izbušenim uzorcima uranjanjem. Rezultati upijanja vode služe za određivanje efektivne dubine prodora sredstva za hidrofobiranje kao referentni uzorak.

Učinkovitost i trajnost mjere uvelike zavisi od ove efektivne dubine prodora. Ona opisuje debljinu rubnog područja betona, u kojem je upijanje vode u potpunosti spriječeno.

Raspored kloridnih iona u objektu odnosno dubina prodora klorida također je važna za trajnost betona. Stigne li kloridna fronta već do armaturnog čelika, tada naknadna mjera površinske zaštite više nije učinkovita.

Izvođenje

Ako postoje svi uvjeti za uporabu dubinskog hidrofobiranja, provodi se određivanje «efektivne dubine prodora» i «minimalnog udjela djelatne tvari». Rezultati se mogu sada fiksirati kao zadana vrijednost u natječaju, a kasnije predstavljaju osnovu za kontrolu kvalitete.

Za trajnu mjeru zaštite mora se na gradilištu provesti provjera zadanih parametara. U građevinski se dnevnik pritom između ostalog unose atmosferski uvjeti tijekom nanošenja i dnevni učinci.

Prednost kod nadzora na licu mjesta je upotreba vrlo viskoznih sredstava za hidrofobiranje, takozvanih krema (StoCryl HC 100) i gelova (StoCryl HG 200). Ovi proizvodi ostaju nakon nanošenja neko određeno vrijeme na površini. Ovdje se sada pomoću tzv. mjerača debljine mokrog sloja može kontrolirati količina nanosa, usporediti je sa zadanim parametrima i unijeti u građevinski dnevnik.

Kontrola kvalitete

Kontrola kvalitete nakon provedenog dubinskog hidrofobiranja analogno se provodi u tri koraka:

1. Kontrola izvedene mjere hidrofobiranja.
2. Uzimanje izbušenih uzoraka iz hidrofobirane površine.
3. Kontrola efektivne dubine prodora i minimalnog udjela djelatne tvari sredstva za hidrofobiranje pomoću FT-IC spektroskopije.

Korak ispred

U Švedskoj se već danas misli na sutra



Dubinsko hidrofobiranje uživa u Švedskoj kao preventivna mjera zaštite vrlo veliki ugled i već se od 90-ih uspješno upotrebljava.

Zbog dobre prihvaćenosti ove mjere zaštite u prošlosti su u Švedskoj izvedene mnogobrojne građevinske mjere dubinskog hidrofobiranja.

Da bi se dobio odgovor na pitanje trajnosti odnosno životnog vijeka dubinskog hidrofobiranja, u Stockholmu je istraženo 28 mosnih stupova, koji su dubinski hidrofobirani uz dubinu prodora > 6 mm.

Pritom su korišteni sljedeći kriteriji izbora:

- Građevine su trebale biti izložene velikom opterećenju kloridima
- Na ispitanim objektima provedeno je u trenutku dubinskog hidrofobiranja određivanje udjela klorida i karbonizacije, kako bi se u usporedbi s aktualnim ispitivanjima prikazao vremenski razvoj opterećenja štetnim tvarima te kako bi se na temelju toga procijenila učinkovitost.
- Da bi se dobili neki podaci o trajanju djelovanja, odabrani su objekti, čije je hidrofobiranje bilo izvedeno prije 2-15 godina.



Strömbrobron, most u Stockholmu

Iz tih su objekata uzeti izbušeni uzorci koji su detaljno ispitani u laboratoriju. Rezultati: Na svim ispitivanim mostovima dubinsko hidrofobiranje spriječilo je prodor klorida i u trenutku ispitivanja bilo je još posve učinkovito.

Izdavač

Sto Ges.m.b.H.

Richtstraße 47

A 9500 Villach

Telefon 04242 33133

Telefax 04242 34347

info@sto.at

www.sto.com