

# UTICAJ MIKROORGANIZAMA NA KOROZIJU BETONA

Ljiljana Tadić<sup>1</sup>  
Milan Kekanović<sup>2</sup>

UDK:

**Režime:** U radu se prikazuju mehanizmi delovanja mikroorganizama na beton, odnosno uslovi koji su neophodni za njihov nastanak i razvoj.

Analizom napred navedenih mehanizama došlo se do zaključka da se degradirajuće delovanje mikroorganizama na konstrukciju, na najbolji način, može spričiti primenom mera koje podrazumevaju da se, u svim uslovima eksploracije i za neograničeno dugi period, obezbedi što veća bazičnost sredine. Ovo bi podrazumevalo novi pristup u tehnologiji proizvodnje betona.

U ovom radu se ukazuje na mogućnost primene betona na bazi keramičkih agregata, kao jednog od mogućih rešenja za obezbeđivanje veće otpornosti konstrukcije na agresivna mikrobiološka dejstva.

**Ključne reči:** beton, mikroorganizmi, korozija, keramički beton

## 1. UVOD

Sve do nedavno je vladao stav da je beton materijal koji ne iziskuje značajnije održavanje. Osim toga što je smatran ekonomičnim, beton je smatran i trajnim materijalom, pa, tokom svih tih godina, osim što nisu razvijane mere za postizanje veće trajnosti betona adekvatne potrebi, one nisu ni propisivane kao obaveza pri gradnji.

Trajnosi betona se posvećuje više pažnje posebno u zadnje vreme, kada sve više činjenica potvrđuje da agresivna okolina podstiče, odnosno pospešuje propadanje betona. Zato se već pri projektovanju, a posebno za objekte veće važnosti, koristi taj koncept, po kojem objekat treba da pokaže odgovarajuću sigurnost, upotrebljivost, nosivost i trajnost.

Trajinost konstrukcija ne zavisi samo od kvaliteta projekta, izvođenja radova i održavanja konstrukcije, već zavisi i od agresivnosti okruženja u kojem je konstrukcija sagrađena, a konstrukcije se u toku eksploracije mogu naći u veoma različitim uslovima sredine i u kontaktu sa mnogim agresivnim materijama iz okruženja.

I betonske konstrukcije u specifičnim uslovima eksploracije imaju ograničen vek trajanja. One su obično izložene istovremenom razornom delovanju niza faktora fizičke i hemijske prirode iz okruženja usled kojih vremenom degradiraju. Da bi se obezbedila

<sup>1</sup> mr Ljiljana Tadić, dipl. građ. inž., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel. 554-300, e-mail: tadic@gf.uns.ac.rs

<sup>2</sup> Docent dr Milan Kekanović, dipl. građ. inž., Građevinski fakultet Subotica, Kozaračka 2a, tel. 554-300, e-mail: kekec@gf.uns.ac.rs

trajnost betonske konstrukcije, potrebna je adekvatna analiza svih mogućih dejstava iz okruženja u kojem će se konstrukcija nalaziti i mehanizma delovanja na beton i armaturu i adekvatna rešenja.

S obzirom na specifičnost delovanja na beton, sva dejstva se mogu svrstati u četiri grupe, a to su: mehanička (erozija, preopterećenje), fizička (ekstremne temperature, požar), hemijska, biološka (školjke, bakterije) i ostala dejstva.

Najslabije istražena, ali ne i najmanje opasna, su biološka dejstva. U literaturi se pod biološkim dejstvima podrazumeva delovanje vegetacije i mikroorganizama, koji, pod određenim uslovima, mogu nastati u betonu (dejstva bakterija, mahovina, lišajeva, školjki, morskih trava, većih životinja i dr.). Rast vegetacije (lišajevi, mahovina, alge, a i korenje biljaka) na površini betonskih konstrukcija, radi prodiranja u unutrašnjost betona, izaziva stvaranje raspuklina, a time i propadanje materijala. Osim toga, usled sposobnosti zadržavanja vode, vegetacija može izazvati visok sadržaj vode na površini, a to opet povećava rizik od procesa propadanja povezanih sa vodom (smrzavanja). Na betonu, koji je u stalnom dodiru s vodom mogu se pojaviti i školjke, a one prodiru duboko u strukturu betona potpuno uništavajući zaštitni sloj betona oko armature.

Najčešći i nešto detaljnije istraženi vidovi biološke korozije betona su sulfobakterijska i ferobakterijska korozija betona. One su posledica delovanja mikroorganizama koji prilikom rasta i promene stvaraju sulfate i kiseline koje razjedaju cementni kamen, uzrokujući tako slabljenje mehaničkih svojstava betona a time i nastanak prslina.

U praksi je najvažnije i najintenzivnije biološko djelovanje u kanalizacionim vodama (bakterijska korozija koja se odvija u okruženju raznih prehrambenih i sličnih preradivačkih industrija-industrija mesa, šećera, pivarska, kožarska, mlečna i dr.) bez oslobođenog kisconika. Bakterije, kojima za metabolizam ne treba kisconik, stvaraju produkte koji u određenim uslovima prelaze u sumpornu kiselinu, a ona dovodi do razgradnje čvrstih komponenti betona.

Da bismo mogli preduzeti adekvatne mere za zaštitu betonskih konstrukcija od nepovoljnog delovanja mikroorganizama, potrebno je poznavati uslove koji su neophodni za njihov nastanak i razvoj.

Dakle, degradaciju betonskih konstrukcija, i konstrukcija uopšte, možemo preduprediti poznavanjem okruženja kojima su one izložene i mehanizma mogućih procesa propadanja.

## 2. EKOLOGIJA MIKROORGANIZAMA

Danas možemo samo da pretpostavimo kakvi su bili uslovi spoljašnje sredine u dalekoj prošlosti kada su se na našoj planeti pojavili mikroorganizmi. Njihovi potomci rasejani su po celoj Zemljinoj površini i živc u najrazličitijim uslovima. Mnoga staništa koja mikroorganizmi danas nastanjuju (kao što su npr. biljke i životinje) nisu ni postojala u protoeojskoj eri, što nas navodi da pretpostavimo da se u toku evolucije vršila selekcija mnogobrojnih mikroorganizama, tako da su ostajali samo oni koji su bili sposobni da žive u novonastalim uslovima. »Savremenii« mikroorganizmi su sposobni da se hrane materijama koje izgledaju neupotrebljive, kao što su npr. sumpor, karbolna kiselina, a mogu se razmnožavati u najudaljenijim i nepristupačnim mestima: na dnu mora i okeana, u kanalizaciji, u toplim sumpornim izvorima i dr. Mikroorganizmi su se potpuno prilagodili na uslove staništa, tako da ako se prenesu u druge uslove gube životnu

sposobnost. Veza mikroorganizama sa spoljnom sredinom je veoma jaka. Izloženi su neposrednjem uticaju spoljne sredine nego viši organizmi, što je izazvalo i stvaranje različitih formi mikroorganizama (prilagođenih određenim spoljnim činiocima).

Niz činilaca spoljne sredine, kao što su pH, temperatura, osmotska aktivnost itd., uticali su da se mikroorganizmi prilagode ovim uslovima, menjajući se i stvarajući određene vrste. Tako npr. klimatski činioci dovode do stvaranja »geografskih vrsta« mikroorganizama, koji se razlikuju po nizu osobina koje se prenose sa generacije na generaciju.

Mogućnost razvoja i intenzitet životnih funkcija mikroorganizama su u tesnoj vezi sa uslovima okolne sredine - ukoliko su povoljniji uslovi, utoliko će i njihov razvoj biti intenzivniji.

Uticaj određenog činioца sredine na životnu delatnost mikroorganizama može se izraziti kroz tri *kardinalne tačke*: *minimum*, *maksimum* i *optimum*. Maksimum i minimum su najviša i najniža granica određenog činioца na kojoj se zaustavlja životna delatnost određenog mokroorganizma, dok je optimum veličina činioца na kojoj je aktivnost mikroorganizma najveća. Granične vrednosti nisu smrtonosne za mikroorganizme, pa zato nisu granice života. One se karakterišu kao krajnje tačke aktivnog života i određuju njihovu *biokinetičku zonu*. Da bismo bili u mogućnosti da regulišemo mikrobiološke procese, korisno je znati kardinalne tačke pojedinih činalaca spoljašnje sredine za rast korisnih i štetnih mikroorganizama. Prirodne sredine mikroorganizama su veoma složene i nalaze se pod uticajem najraznovrsnijih činilaca, koji predstavljaju njihove životne činioce. Oni su dinamičke prirode, te se stoga stalno i menjaju. Međutim, veličina kolebanja je u okviru u kome je moguće postojanje mikroorganizama koji nastanjuju tu sredinu. Veličina kolebanja činilaca sredine naziva se *ekološka valenca* ili *amplituda*. Skup svih činalaca čini okvir života za sve mikroorganizme. Čovek takođe spada u važne ekološke činioce u životu mikroorganizama.

Svi činioce spoljašnje sredine dele se na *biotske* i *abioticske*.

U *abioticske* činioce se ubrajaju svi oni ekološki činioci neorganskog porekla, iz nežive prirode, koji uglavnom dejstvuju na mikroorganizme kao spoljašnji činioci. Oni u stvari sačinjavaju fizičko-hemijske uslove sredine za život mikroorganizama. Tu spadaju voda, temperatura, kiseonik, reakcija sredine, hemikalije, svetlost. To su činioci koji su ujedno od značaja i u mikrobiološkim procesima u prirodnom i veštačkom kamenu. Ti činioci će biti u ovom radu izloženi kao odnosi mikroorganizama prema njima, jer i sami mikroorganizmi, sa svoje strane, utiču na te činioce.

## 2.1. Odnos mikroorganizama prema vodi

U sastav čelije mikroorganizama ulazi 90% vode. Spore i druge slične tvorevine sadrže vodu znatno manje. Svi životni procesi su povezani sa njenim prisustvom. Mnoge hranljive materije prodiru u čeliju posle rastvaranja u vodi. Na rast vegetativnih čelija voda ima veliki uticaj, jer je cela razmena materija sa spoljnom sredinom vezana s vodom. Međutim, sadržaj vode varira u sredinama koje mikroorganizmi nastanjuju. Bez prisustva vode mikroorganizmi ne mogu da se hrane, rastu i razmnožavaju. Mnogi mikroorganizmi su osjetljivi prema sadržaju vode u supstratu, dok postoje i takvi koji mogu da opstanu veoma dugo u suvim supstratima. S obzirom na to, veoma je značajno

znati kakva je aktivnost mikroorganizama prema promeni sadržaja vlage u supstratu. Najrezistentnije na nedostatak vlage su spore bakterija i gljiva.

U zavisnosti od toga da li nastanjuju vodene ili suvle sredine, mikroorganizmi se dele u tri grupe: *hidrofilni, mezofilni i kserofilni mikroorganizmi*.

*Hidrofilni mikroorganizmi* se najbolje razvijaju u prisustvu velikih količina vode, a teže podnose suvle supstrate. Među takve mikroorganizme spadaju predstavnici algi i nižih gljivica. Ti mikroorganizmi prvenstveno nastanjuju vodene bazene a tek su se delom prilagodili na vlažne sredine.

*Mezofilni mikroorganizmi* dobro se razvijaju izvan vodenih bazena, na vlažnim supstratima, pa su postali redovni kopneni organizmi. Na prvom mestu ove grupe nalaze se predstavnici bakterija i gljivica, koji su tako jako nastanili kopnenu sredinu kao svoju prirodnu sredinu.

*Kserofilni mikroorganizmi* se razvijaju isključivo u suvljim sredinama - ne postavljaju velike zahteve u pogledu vode. Ovde spadaju uglavnom predstavnici lišajeva, kojih danas uopšte nema kao vodenih stanovnika. Međutim, postoje i izuzetci - pojedine vrste mikroorganizama ne samo da imaju svoje predstavnike u svim ovim tipovima, već kod jednog istog predstavnika čak i pojedini stadijumi razvitički pripadaju raznim tipovima odnosa prema vodi.

S obzirom da je voden režim jako promenljiv u prirodnim sredinama, i mikroorganizmi su se na razne načine prilagodili tim promenama. Tako npr. vegetativni oblici mikroorganizama zahtevaju veće prisustvo vode, ali u slučaju njene nestašice, bilo to isušivanjem ili stvaranjem koncentrovanih sredina, ti mikroorganizmi stvaraju posebne forme organizacije protoplazme, koje će sačuvati njenu osnovnu mikrostrukturu sa što manje vode. Ukoliko takvo stanje nastaje postepeno, u tim novim oblicima mikroorganizmi prelaze u latentni život - prelaze u stanje anabioze. U ovim slučajevima obustavljen je aktivni život mikroorganizama, ali se on potencijalno održava sve dok se održava unutrašnja građa i organizacija žive protoplazme. U tom stanju mikroorganizmi mogu da se održe vrlo dugo vreme, po čitave desetine godina.

Naime, dejstvo vode je tipično posrednog karaktera. Njeno dejstvo zavisi i od dejstva drugih činilaca, tako da ono postaje samo komponenta opšteg rezultantnog činioca u prirodi. To je omogućilo lako prilagođavanje mikroorganizama prema njemu u prirodi, tako da ih nalazimo kako u vodenim sredinama, tako i u najsvljijim predelima zemlje (pustinjama), pa čak i po kamenju, što je karakteristično za lišajeve.

## 2.2. Odnos mikroorganizama prema temperaturi

Toplota, odnosno njen određeni stepen (temperatura), nesumnjivo je jedan od osnovnih činilaca svakog života, pa i mikroorganizama, jer su i životni procesi vezani za kretanje materije s energijom, što je ipak uslovljeno izvesnom temperaturom. Ta je temperaturna amplituda različita za aktivni život mikroorganizama, a različita samo za održavanje mikroorganizama u latentnom stanju. Amplituda temperature za aktivni, normalni život mikroorganizma, ima prilično uske granice, i iznosi svega oko  $50^{\circ}\text{C}$  (od  $10\text{-}60^{\circ}\text{C}$ ) kad su u pitanju prirodni uslovi.

Prema optimalnoj temperaturi za život mikroorganizama, obično se oni dele na tri grupe: *psihrofilni, mezofilni i termofilni mikroorganizmi*.

*Psihro(krio)filni mikroorganizmi* su sa prosečno niskim optimumom ( $6\text{--}10^{\circ}\text{C}$ ). Njima pripada većina vodenih mikroorganizama, posebno u još hladnijim predelima. Tu su zastupljene grupe bakterija, protozoa i neki predstavnici algi i lišajeva pod stalnim snegom i ledom.

*Mezofilni mikroorganizmi* se odlikuju srednjom optimalnom temperaturom ( $25\text{--}35^{\circ}\text{C}$ ), te obuhvataju najveći deo mikroorganizama u našim prilikama, posebno među gljivicama i bakterijama.

*Termofilni mikroorganizmi* imaju svoj optimum temperature u gornjem delu temperaturne amplitude ( $45\text{--}65^{\circ}\text{C}$ ), pa ih nalazimo u toplim sredinama i krajevima, i to opet najvećim delom iz grupe bakterija i gljivica, iako ih ima izuzetno i iz ostalih grupa mikroorganizama. Njihova odlika je da brže i energičnije obavljaju procese metabolizma.

Međutim, temperaturna amplituda za održavanje mikroorganizama u životu mnogo je šira, i uglavnom se može reći da se ona prostire od temperature ključanja vode, pa sve do apsolutne nule ( $-273^{\circ}\text{C}$ ), dakle čitavih  $370^{\circ}\text{C}$ , što je teško naći kod ostalih organizama u prirodi. U tom pogledu su mikroorganizmi zaista nenađmašni.

Visoke temperature iznad maksimuma dejstvuju uvek smrtonosno na mikroorganizme, jer one izazivaju zgrušavanje protoplazme. Zgrušavanje ne nastupa za sve mikroorganizme na istoj temperaturi. To zavisi i od drugih činilaca, a posebno od vlažnosti i reakcije sredine. Neki mikroorganizmi podnose temperature i do  $85^{\circ}\text{C}$ , pa se čak i razvijaju na njima.

Za razliku od visokih, niske temperature, ispod minimuma, nemaju uvek smrtonosno dejstvo na mikroorganizme. Snižavanjem temperature neki mikroorganizmi postepeno obustavljaju pojedine životne funkcije i prelaze u jedno anabiotično stanje. Mnogi mikroorganizmi, posebno bakterije i gljivice, mogu da podnesu i dugotrajno hlađenje, pa čak i do temperature tečnog helijuma (oko  $-270^{\circ}\text{C}$ ). U tom stanju koje mora nastati naglo, dolazi do pojave vetrifikacije protoplazme, tj. njenog prelaženja u amorfno, čvrsto staklasto stanje. Tom prilikom, iako se obustavljaju se sve životne funkcije, biva sačuvana mikrostruktura protoplazme, kao bitni uslov života uopšte. Najlakše se vitrifikuju i devitrifikuju (povraćaju u normalan život) mikroorganizmi sa manje vode.

### 2.3. Odnos mikroorganizama prema kiseoniku

Kiseonik nije samo neophodan plastičan biogeni element u izgradnji mikroorganizama, već je istovremeno i jako potreban za metabolizam materije i energije kod mikroorganizama.

Prema slobodnom kiseoniku koji mikroorganizmi uzimaju iz vazduha, mikroorganizmi se obično dele u tri grupe: *aerobne, fakultativno anaerobne i anaerobne mikroorganizme*.

*Aerobni (aerofilni, oksigenofilni) mikroorganizmi (oksibionti)* žive i razvijaju se jedino u prisustvu velikih količina slobodnog kiseonika. Ovom tipu pripada najveći broj mikroorganizama, a njihove predstavnike nalazimo u svim grupama mikroorganizama.

*Anaerobni (aerofobni, oksigenofobni) mikroorganizmi* su starijeg porekla, kao tragovi drevne prošlosti, pa koriste kiseonik u vezanom obliku, dok im prisustvo i minimalnih količina (1%) slobodnog kiseonika omogućava aktivni život u sredini.

Najzad, postoji i čitav niz prelaza između pomenuta dva tipa, koji se obično nazivaju fakultativno anaerobni (*mikroaerofilni*, *mikrooksigenofilni*) mikroorganizmi (*mikroaerobionti*), koji pored vezanog kiseonika mogu da se koriste i slobodnim kiseonikom u neznatnim količinama. Ovde spadaju uglavnom izvesni predstavnici bakterija, gljivica i protozoa. Shodno ovome, treba napomenuti da je kiseonik, isto tako, jedan od presudnih činilaca za tok i pravac mikrobioloških procesa u veštačkom i prirodnom kamenu.

Danas uglavnom postoje dva gledišta o mehanizmu biološke oksidacije (biološka reakcija za dobijanje energije), o mehanizmu disanja kod mikroorganizama: aktivisanje kiseonika ili aktivisanje supstrata (odnosno vodonika).

## 2.4. Odnos mikroorganizama prema reakciji sredine

Pod reakcijom sredine podrazumeva se koncentracija vodonikovih jona (pH). Vrednosti ispod 7 označavaju kiselu reakciju, vrednost iznad 7 alkalnu reakciju, dok je u slučaju pH 7 reakcija neutralna, jer u čistoj vodi ima isti broj vodonikovih i hidroksilnih jona.

I reakcija sredine je jedan od važnih i uticajnih ekoloških činilaca u životu mikroorganizama (i u prirodnim i u veštačkim sredinama). Prema toj reakciji mikroorganizmi se mogu podeliti u tri grupe: *acidofilni*, *neutrofilni* i *alkalofilni* mikroorganizmi.

*Acidofilni mikroorganizmi* pretežno se razvijaju u kiselim sredinama, pa podnose reakcije i do pH3. Ovde uglavnom spadaju predstavnici gljivica i lišajeva, a od drugih mikroorganizama samo pojedine fiziološke grupe. Međutim, sa ovim ne treba mešati acidogene mikroorganizme, koji sami stvaraju kiseline, ali to ne mora da znači da će i sama sredina biti kisele reakcije.

*Neutrofilni mikroorganizmi* za svoj razvoj zahtevaju najviše neutrlnu sredinu, sa vrednostima pH oko 7. Ovde spadaju pre svega bakterije, a onda i pojedini predstavnici ostalih mikroorganizama.

### *Alkalofilni mikroorganizmi pretežno zahtevaju i podnose alkalniju sredinu, do pH 9.*

Postoje tzv. *alkalogeni mikroorganizmi* koji sami stvaraju izvesne proizvode alkalne prirode (najčešće amonijak), i tako delom utiču na promenu reakcije sredine. Njih naročito ima među bakterijama.

## 2.5. Odnos mikroorganizama prema svetlosti

Prema odnosu mikroorganizama prema svetlosti, postoje tri grupe mikroorganizama: *fotofilni*, *fotoindiferentni* i *fotofovni* mikroorganizmi.

*Fotofilni* mikroorganizmi zahtevaju neophodno prisustvo svetlosti za svoj razvoj, jer pomoću sunčeve energije obavljaju sintezu organske materije iz neorganskih jedinjenja. Dakle, njima je svetlost neophodan ekološki činilac. Ovde spadaju mikroorganizmi sa hlorofilom (alge, lišajevi, biljne flagelate) ili bakteriopurpurinom (pururne bakterije, zelene bakterije).

*Fotoindiferentni (fototolerantni) mikroorganizmi* ne zahtevaju prisustvo svetlosti za svoj život, ali im ona, posebno difuznog karaktera, ne nanosi ni posebne štete. Ovde spadaju predstavnici praživotinja i gljivica, posebno u prirodnim sredinama.

*Fotofovni mikroorganizmi* ne samo da ne zahtevaju svetlost za svoj život, već im je ona izrazito štetan činilac, posebno ako se radi o direktnoj sunčevoj svetlosti. Ovoj grupi

pripadaju uglavnom predstavnici bakterija, pa bilo da se hrane gotovom organskom materijom, bilo pak da je sami sintetišu uz pomoć hemosinteze.

Postoјi i posebna grupa *fotogenih mikroorganizama*, koja otpušta višak energije u vidu svetlosti, mikroorganizmi koji svetlucaju, među kojima nalazimo predstavnike bakterija i protozoa (u vodama) i gljivica (na zemljištu, panjevima, kamenju).

## 2.6. Odnos mikroorganizama prema hemikalijama

Hemijska jedinjenja su od neobične važnosti u životu mikroorganizama, jer se jedna pojavljaju kao neophodni činioci u izgradnji njihovog tela i u dobijanju energije, dok se druga ponašaju kao najveći otrovi za njih. Odnos mikroorganizama prema njima izražen je u *hemotaksisu*, osobini da privlače ili odbijaju mikroorganizme od sebe (*Pfefer*). Ali ta osobina je često uslovljena i drugim činiocima, a ne samo prirodnom jedinjenja, npr. njihovom koncentracijom, jer se jedna ista jedinjenja mogu različito ponašati s obzirom na njihovu koncentraciju (dozu).

Jedinjenja koja pokazuju pozitivni hemotaksis prema mikroorganizmima pripadaju neophodnim materijama za ishranu organizama, iako svaka ta materija ne mora da ima izraziti hemotaksis.

Jedinjenja koja pokazuju negativni hemotaksis obično štetno i otrovno dejstvuju na mikroorganizme, što opet zavisi od njihove koncentracije i vremena delovanja. Ta jedinjenja nose naziv mikrobiostatična sredstva, ako samo zadržavaju množenje mikroorganizama, ili pak mikrobicidna sredstva, kad potpuno uništavaju mikroorganizme.

## 2.7. Ishrana mikroorganizama

**Sastav hrane.** Sasvim je razumljivo da ima izvesne podudarnosti u hemijskom sastavu hrane i samog sastava mikroorganizama, jer oni baš iz te hrane i izgrađuju svoje telo. Ali to više važi za elementarni sastav. U pogledu pojedinih jedinjenja, to već nije slučaj, ne samo kod nekih mikroorganizama, nego u potpunosti ne važi ni za jedne mikroorganizme. To dolazi otuda što su mikroorganizmi u stanju da sintetišu i nova jedinjenja, nove materije, za svoje potrebe, kojih u tom obliku ne mora biti u samoj hrani, kod nekih čak ni u elementarnom pogledu.

Elementarni sastav hrane kod mikroorganizama se većim delom poklapa sa onim elementima koji su neophodni i višim organizmima. Tu se uglavnom radi o deset poznatih elemenata: *Ca, Mg, Fe, O, H, P, S, N, K, C*. Neki od navedenih elemenata pripadaju plastičnim elementima (*C, O, H, N, S i P*), jer su to biogeni ili organogeni elementi, koji sačinjavaju građu i akumulativne materije u mikroorganizama, dok su drugi delom plastični, a delom katalitički elementi (prelazni: *K, Ca, Mg i Fe*), pored mnogih drugih katalitičkih elemenata, koji u neznatnim količinama stimulišu procese fiziološke prirode (mikroelementi, oligodinamički elementi: *Zn, Pb, Al, Ni, Ti, Mb*, itd). Većina vrsta bakterija zahteva za svoj rast jone kalijuma, magnezijuma i gvožđa, dok su nekima potrebni i joni kalcijuma, cinka i bakra. Postoje i takve bakterije kojima su potrebni i joni aluminijuma, nikla, kobalta, molibdena, germanijuma i dr. metala. Oni služe bakterijskoj ćeliji pri oksido-reduktivnim procesima, za ekonomisanje energijom, kao funkcionalni delovi enzima i koenzima i za mnoge vitalno važne funkcije. Kao izvori tih jona bakterijama mogu poslužiti najrazličitije materije.

*Ugljenik (C)* je ne samo sastojak svake organske materije, pa i tela mikroorganizama, već iz njegovih raznovrsnih jedinjenja najveći deo mikroorganizama crpi potrebnu energiju za održavanje te građe i samog života. Otuda se prema načinu iskorišćavanja pojedinih ugljenikovih jedinjenja, odnosno prema izvorima ugljenika, mikroorganizmi mogu podeliti u dve glavne i jednu prelaznu grupu: *heterotrofni*, *miksotrofni* i *autotrofni* mikroorganizmi.

*Heterotrofni mikroorganizmi* koriste ugljenik većinom iz njegovih organskih jedinjenja. *Autotrofni mikroorganizmi* sposobni su da koriste ugljenik iz njegovih neorganskih jedinjenja, najviše iz ugljendioksida i bikarbonata. Za sinteze kod ovih mikroorganizama potrebna je energija spolja, jer je redukcija ugljendioksida do organske materije izrazito endoenergetičan proces. Prema načinu dobijanja te energije danas postoje uglavnom dve grupe autotrofnih mikroorganizama: *hemotrofni* i *fototrofni* mikroorganizmi.

*Hemotrofni mikroorganizmi* dobijaju tu energiju iz oksidacije neorganskih jedinjenja, dakle hemijsku energiju, pa se i ceo proces sinteze naziva hemosinteza. Prema jedinjenjima iz kojih se dobija potrebna energija, ovde spadaju *nitrifikacione bakterije* (oksiđu amonijak odnosno nitrate), *sulfotifikacione bakterije* (oksiđu sumporvodonik, odnosno elementarni sumpor), *gvožđevite bakterije* (oksiđu ferojedinjenja), itd.

*Fototrofni mikroorganizmi* su najsavršeniji tip među svim mikroorganizmima, jer potrebnu energiju dobijaju od sunčeve svetlosti, zahvaljujući dejstvu odgovarajućih boja u svom telu (alge, lišajevi).

*Miksotrofni mikroorganizmi* stope na prelazu između dve pomenute grupe, koji redovno mogu da budu autotrofi, ali pod izvesnim prilikama postaju i heterotrofi (gvožđeve i vodonične bakterije).

*Azot (N)* je takođe bitan element u građi i ishrani mikroorganizama. Odnosi mikroorganizama prema ovom elementu su jako složeni, jer mogu postupno da ga koriste u svim njegovim oblicima. Neorganske oblike azota koristi nekoliko grupa bakterija. Najsavršeniju grupu predstavljaju *azotofiksacione bakterije*, koje su u stanju da sintetišu svoje belančevine iz molekularnog, elementarnog azota iz vazduha. Ogroman broj predstavnika bakterija i gljivica koriste amonijumova jedinjenja (*amonski mikroorganizmi*). Pored njih, tu su i *nitratni mikroorganizmi*, koji koriste nitratni oblik azota.

*Gvožđe (Fe)* je neophodan hranljivi element. Ono ulazi u sastav hemina, aktivne grupe velikog broja fermenta. Bez gvožđa bi bila veoma ograničena aktivnost procesa disanja kod aerobnih mikroorganizama. Oksiđi ugljenika zadržavaju disanje, jer vezuju atome gvožđa u oksidazu i na taj način ih inaktivisu. Gvožđe aktivira mnoge fermente. Mehanizam učešća u oksidoreduktionim procesima zasniva se na njegovoj osobini da lako prelazi iz redukovanih oblika u oksidovani, koji nastaje izdvajanjem jednog elektrona i energije. U prisustvu gvožđa neke gljive počinju da usvajaju, osim jona amonijuma, i jone nitrata. Gvožđe u prisustvu cinka naročito stimuliše rastenje. Kao izvor gvožđa mogu da se koriste jedinjenja sa sumporom, hlorom i druge soli.

Nije poznato koliko je *Kalcijum (Ca)* neophodan mikroorganizmima. Ako se povećava sastav Ca u ćeliji, povećava se i suva težina micelije. Na osnovu toga se može pretpostaviti da utiče na bolju produktivnost procesa sinteze. Najčešće kalcijum ima ulogu neutralizatora organskih kiselina koje stvaraju mikroorganizmi. Kalcijum je neophodan element za rast bakterija, npr. azotobakteria, ali višak kalcijuma utiče štetno, jer izaziva koagulaciju belančevina protoplazme.

Mehanizam delovanja kalcijuma u prometu materija mikroorganizama nije poznat, ali se pretpostavlja da Ca smanjuje propustljivost protoplazme.

*Magnezijum (Mg)* je element koji je veoma neophodan za razvoj mikroorganizama. Magnezijum je neophodan u procesu oksidacije i ne stvara stabilna organska jedinjenja. Optimalne koncentracije magnezijuma vezane su sa optimalnim koncentracijama fosfora. Smatra se da je ovo uslovljeno njegovom ulogom u aktivaciji nekih fermentata, fermentacija i disanja.

*Kalijum (K)* je element neophodan za normalan rast mikroorganizama, pa ga ne može zameniti natrijum. Uloga kalijuma je značajna u transformacijama ugljenih hidrata i u biosintezama ćelije. Npr. gljivice bez kalijuma stvaraju više ćilibarne kiseline nego u podlozi koja je bogata kalijumom.

*Sumpor (S)* ima značajnu ulogu u strukturi ćelije jer ulazi u sastav aminokiselina. Osim toga nalazi se u jedinjenjima sa SH grupom kao izvorom vodonika u procesima dehidrogenacije. Postoje mikroorganizmi koji mogu da koriste sumpor u redukovanim obliku i elementarni sumpor, npr. *sumporne bakterije*.

*Fosfor (P)* ulazi u sastav nukleoproteida i učestvuje u prenošenju naslednih osobina mikroorganizama. Osim toga, on učestvuje i u procesu fermentacija, disanja, kao i u prometu ugljenika. Mikroorganizmi najčešće usvajaju fosfor u oksidisanom obliku, i to iz različitih soli fosforne kiseline.

## 2.8. Disanje mikroorganizama

Pod disanjem mikroorganizama podrazumevaju se svi oni procesi enzimske razgradnje u živoj bakterijskoj ćeliji koji dovode do produkcije energije. Takvi procesi se jednim imenom nazivaju *biološke oksidacije*. One su, u stvari, biološki oksido-reduktivni procesi. U toku procesa disanja, ili bioloških oksidacija, stalno dolazi do naizmeničnih oksidacija i redukcija supstanci koje u njima učestvuju, uz oslobađanje energije.

*Oksido-redukcije*. Poznato je da će neka supstanca biti oksidisana: ako primi kiseonik, ili ako oda vodonik, ili ako oda jedan elektron. Oksidacija se, dakle, može odigravati u prisustvu i bez prisustva kiseonika. Suprotno oksidaciji, neka će supstanca biti redukovana: ako oda kiseonik, ili ako primi vodonik, ili ako primi jedan elektron.

Proces u kojem od dve materije, koje međusobno reaguju, jedna od njih biva oksidisana a druga istovremeno redukovana, naziva se oksido-redukcija.

U toku oksido-reduktivnih procesa jedna od dve materije koje međusobno reaguju, mora da otpušta vodonik, odnosno kiseonik, odnosno jedan elektron, i da ga predaje drugoj materiji. Da bi do toga došlo, mora da postoji određeni oksido-reduktivni potencijal koji omogućuje to odavanje i prenošenje.

Prilikom oksidacije neke materije oslobađa se energija koja je u njoj deponovana. Prema tomu, oksido-redukcije su reakcije koje dovode do gencrisanja energije.

Bakterijama je, u odnosu na viša živa bića, potrebno mnogo energije. Ali, one ne mogu odjednom utrošiti velike količine energije. Bakterijskoj ćeliji je neprekidno potrebno i ona neprekidno troši određene male količine energije. Procesi bioloških oksidacija odigravaju se tako što se u podesnom oksidabilnom supstratu aktivise vodonik. On zajedno sa jednim elektronom može preći na neki drugi supstrat samo ako postoji dovoljan oksido-reduktivni potencijal. Aktivisani vodonik ili elektron se stalno prenose s jednog supstrata na drugi posredstvom enzima u lancu reakcija. Pri tome ona materija koja odaje vodonik biva oksidisana, a ona koja ga prima biva redukovana. Iz hemijskih

veza supstrata koji se oksidiše, oslobađa se energija. To se tako nastavlja naizmenično oksidacijom i redukcijom supstrata i enzima uz etapno oslobađanje malih količina energije, sve dok vodonik ne bude primljen od krajnjeg primaoca vodonika. On će u aerobnim uslovima biti kiseonik, a u anaerobnim neko drugo jedinjenje u ćeliji ili van nje. Za vreme tih lančanih i naizmeničnih oksidacija i redukcija od komplikovanih i u energiji bogatih jedinjenja formiraju se sve jednostavnija jedinjenja, koja sadrže sve manje količine energije u svojim hemijskim vezama. Na kraju ostaju samo takva jedinjenja koja bakterijska ćelija ne može dalje razgrađivati svojim raspoloživim enzimima.

*Aerobno disanje bakterija.* Ako se disanje odvija u prisustvu kiseonika i ako bakterijska ćelija raspolaže potrebnim enzimima, disanje će biti aerobno. U tom će slučaju krajnji primalac vodonika biti molekularni kiseonik vazduha, a oksidacija će biti kompletan. Kao krajnji produkti oksido-reduktivnih procesa ostaće sasvim jednostavna jedinjenja kao što su voda i CO<sub>2</sub>. Ona sadrže sasvim male količine energije. Njih ćelija ne može više koristiti kao izvore energije i izlučuje ih kao krajnje proekte svoje razgradnje. Aerobna oksidacija može biti i nekompletna, ali je u tom slučaju količina oslobođene energije znatno manja.

*Anaerobno disanje bakterija.* Ako se disanje bakterija obavlja bez prisustva kiseonika, krajnji primalac vodonika ne može biti molekularni kiseonik. U tom će slučaju krajnji H-akceptor biti neko drugo jedinjenje koje može primiti vodonik. To mogu biti razni razgradni produkti, koji se nalaze u bakterijskoj ćeliji, ili razna jedinjenja koja se nalaze van bakterijske ćelije.

Proces anaerobnog disanja je nekompletna oksidacija, zbog čega ostaju nerazgrađeni razni razgradni produkti, kao što su npr. organske kiseline i druga jedinjenja, koja sadrže još relativno velike količine energije od one energije koja se nalazila u hemijskim vezama oksidabilne supstance. Njih neke vrste bakterija ne mogu dalje razgrađivati jer ne raspolažu potrebnim enzimima za njihovu razgradnju.

Enzimi disanja su, dakle, aktivatori i prenosioci vodonika i elektrona do krajnjeg primaoca vodonika

### 3. RAZARANJE BETONA MIKROORGANIZMIMA

#### 3.1. Delovanje gvožđevitih bakterija

Iako se gvožđe, kao element, ubraja u grupu elemenata neophodnih za ishranu mikroorganizama, ono tu svoju potrebu zadovoljava minimalnim količinama. Međutim, gvožđa baš ima u neobično velikim količinama u stenama, što opet potvrđuje onu nesrazmeru između nalaženja elemenata u stenama i njihove potrebe u biosferi. Otuda je gvožđe važnije kao katalitički element u živim organizmima, gde ulazi u sastav čitave grupe kofermenata u fermentima oksidazne grupe. Najzad, najviše nas ovde interesuje činjenica, što postoji čitava grupa mikroorganizama, zvanih gvožđeve bakterije, koja dobija hemijsku energiju za sintezu organske materije iz oksidacije jedinjenja gvožđa, tipa fero, u jedinjenja feri tipa.

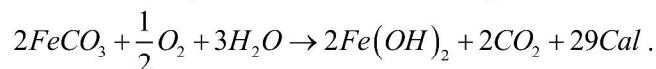
Ovaj proces oksidacije fero u ferijedinjenja ima oksidoreduktioni karakter, pošto gvožđeve bakterije, s jedne strane, obavljaju reakciju oksidacije sa stavranjem ferihidroksida i energije, a s druge strane, obavljaju redukcionu reakciju sinteze organske materije svog tela iz CO<sub>2</sub> ili bikarbonata.

Gvožđeve bakterije (*Ferribacteriales*) mogu biti dvojake: više končaste bakterije ili niže prave bakterije, sa istom osobinom da obavljaju oksidaciju fero u ferijedinjenja.

Končaste gvožđeve bakterije (*Ferritrichaceae*) su višećelijski oblici, često sa lažnim grananjem konaca, a obično naseljavaju vodene sredine u kojima ima ferojedinjenja. Među njima se ističu *Leptothrix ochracea*, čiji se usamljeni tanki končici obavijaju debelim sarama ferihidroksida boje opeke, pa i otuda je naziv vrste; zatim *Crenothrix polyspora*, obično u vodovodnim cevima pričvršćena unutra, pa se razmnožava sporama; i *Clonotrix fusca*, sa tendencijom remifikacije u većoj meri.

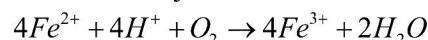
Prave gvožđeve bakterije (*Ferribacteriaceae*) su jednoćelijski oblici, raznovrsnih oblika. Zajednički naziv im je siderobakterije. U ovu grupu se ubrajaju *Gallionella ferruginea*, *Sideromonas sp.*, *Siderococcus sp.*, *Siderobacterium sp.*, itd.

Proces stavaranja ferihidroksida se može prikazati sledećom jednačinom :



Destruktivno dejstvo gvožđevih bakterija na beton može se prikazati na sledeći način:

-  $Fe^2$  oksidacija



$Fe(OH)_3$  (smeđe mrlje)



*beton* → ***Ijuštenje***

- sekundarno nastajanje  $CO_2$  .

Pri ovoj reakciji izdvaja se neznatna količina energije, što uslovljava potrebu da se transformišu ogromne količine ferojedinjenja u ferijedinjenja, da bi sami mikroorganizmi dobili potrebnu količinu energije za sintezu svog tela. To znači da će se taložiti neobično velike količine ferihidroksida koga ove bakterije talože u spoljašnje kapsule, a ove kada se natalože stvaraju crvenkastočrne naslage. Da bi se asimilisao jedan deo ugljenika iz ugljendioksida, potrebno je stvoriti oko 750 delova ferihidroksida. Dakle, delovanjem gvožđevih bakterija nastaje ferihidroksid (ispoljava se pojavom mrlja na površini betona, što uzrokuje ljuštenje betona), uz sekundarno nastajanje ugljendioksida.

### 3.2. Delovanje sumpornih bakterija

Iako sumpor spada u deset neophodnih elemenata u ishrani mikroorganizama i viših organizama, ipak se on u biosferi troši u manjim količinama od azota. Ali zato ga ima mnogo više u podesnijim oblicima nego azota. Poznato je da sumpor ulazi u građu minerala i stena, da ulazi u građu izvesnih organskih jedinjenja, i da se nalazi u zemljištu u obliku pojedinih mineralnih jedinjenja (*sulfata*).

Mikroorganizmi koji izazivaju proces sulfifikacije nazivaju se *sulfifikacione bakterije* ili *sulfifikatori*, a često se nazivaju i *sumporne bakterije* (*Thiobacteriales*). Pretežno su hemotrofi, iako ima i fakultativnih hemotrofa, odnosno mikrotrofa, dok na drugoj strani ima i fototrofa. Svi sulfifikatori dele se u dve grupe: *obojene i bezbojne bakterije*.

*Obojene bakterije* (*Chromobacteria*) takođe mogu biti dvojake. Jedne su purpurne bakterije, (*Rhodobacteria*), s bakteriopurpurinom, pomoću koga obavljaju i hlorofilnu asimilaciju ugljenika iz  $CO_2$ , iako to isto, zahvaljujući energiji sulfifikacionog procesa,

mogu da postignu i hemosintezom. To su vodeni predstavnici, i manjeg su značaja, a sumpor, u obliku koloidnih kapljica, talože u ćelijama (*endotiobakterije*). Među njima su *Chromatium okenii*.

Druge su *zelene bakterije* (*Chlorobacteria*), sa bakteriochlorinom i sumporom u protoplazmi, takođe zastupljene u vodenim sredinama (npr. *Chlorobium limicola*).

*Bezbojne bakterije* (*Achromobacteria*) su većeg značaja. Prema sredinama u kojima žive i ove bakterije mogu biti dvojake, što povlači nekoliko njihovih bitnih odlika.

*Vodeni predstavnici* pripadaju isključivo višećelijskim bakterijama (*Thiotrichaceae*), koje elementarni sumpor talože u samoj protoplazmi (*endosumporne bakterije*, *endotiobakterije*). Kad nestane vodoniksulfida u samoj sredini, one dalje oksidišu koloidni sumpor iz svoje protoplazme i stvaraju sumpornu kiselinu.

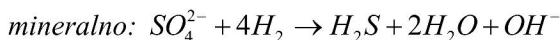
*Zemljišni predstavnici* pripadaju pravim bakterijama (*Thiobacteriaceae*), koji elementarni sumpor talože izvan protoplazme, pa su same bakterije bezbojne ali su im kolonije na čvrstim podlogama žućkaste usled staloženog sumpora. To su tipični hemotrofni predstavnici i smatraju se jakim sulfifikatorima. Ovde spada i *Thiobacterium denitrificans*, anaerobna bakterija, koja istovremeno vrši redukciju nitrata i oksidaciju elementarnog sumpora. Stvorena sumporna kiselina smanjuje alkalnu reakciju date sredine i potpomaže rastvaranje nerastvorljivih fosfata u zemljištu.

### 3.2.1. Stvaranje sumporvodonika (sulfurifikacija)

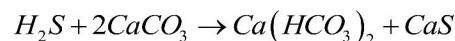
Pod sulfurifikacijom se podrazumeva mikrobiološki proces u kojem se organska jedinjenja sumpora postepeno pretvaraju u sumporvodonik, kao mineralni oblik jedinjenja sumpora. Sumporvodonik koji nastaje je otrovno jedinjenje za sva živa bića, izuzev za jednu posebnu grupu sumpornih bakterija.

#### *Delovanje sulfata koje redukuju bakterije (anaerobne)*

- nastajanje  $H_2S$



- delovanje  $H_2S$  (slaba kiselina) na beton



*topivo → izlučivanje*



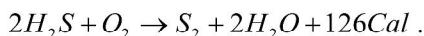
*topivo → izlučivanje*

### 3.2.2. Stvaranje sulfata (sulfifikacija)

Sulfifikacija je mikrobiološki ili biohemski proces u kojem vodoniksulfid oksidiše do sulfata, koje mogu da koriste mikroorganizmi. Ovde se mogu razlikovati dve faze

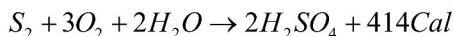
oksidacije, od kojih obe ovim mikroorganizmima pružaju hemijsku energiju za sintezu organske materije iz  $CO_2$  ili bikarbonata sredine. Jedino mikroorganizmi nisu specifični za ove pojedine faze, već isti obavljaju obe faze, iako su one zaista odvojene pod izvesnim okolnostima.

*Prva faza (sumporifikacija)* obuhvata reakciju oksidacije vodoniksulfida do elementarnog sumpora, koji mikroorganizmi talože kao akumulativnu materiju. Ta reakcija ima sledeću hemijsku jednačinu:



S obzirom da izdvojenu energiju ovi mikroorganizmi koriste za sintezu organske materije, to je i ovo, u stvari, oksidoreduktioni proces, pa je ovde elementarni sumpor proizvod oksidacije, a sintetisana organska materija ovih mikroorganizama proizvod redukcije.

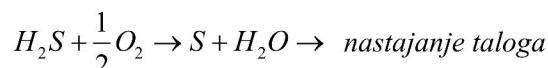
*Druga faza (sulfatifikacija)* obuhvata reakciju oksidacije elementarnog sumpora, preko sulfita do sulfata. U energetskom pogledu za ove mikroorganizme se izdvaja mnogo više energije, pa otuda nastaje i jača sinteza njihove telesne materije. Reakcija se može predstaviti sledećom hemijskom jednačinom:



Prema tome, ovo je oksidoreduktioni proces, jer je sumporna kiselina, odnosno sulfati, proizvod oksidacije, a sintetisana organska materija mikroorganizama proizvod redukcije.

### **Delovanje sulfata, koje stvaraju bakterije (aerobne), na beton**

- oksidacija  $H_2S$



- oksidacija  $S$



izlučivanje-bujanje

## **4. ZAKLJUČCI**

Dakle, posledice delovanja mikroorganizama su razaranje površina, stvaranje sulfata i kiselina koje nagrizaju beton, slabljenje mehaničkih svojstava i nastanak pukotina. Prisustvo mikroorganizama uzrokuje i stvaranje gasnog stanja unutar betona i kamena koje iznutra vrši pritisak što dovodi do destrukcije.

Da bismo preduzeli adekvatne mere zaštite betonskih konstrukcija od nepovoljnog delovanja mikroorganizama, potrebno je poznavati uslove koji su neophodni za njihov nastanak i razvoj, odnosno uslove koji ne pogoduju njihovom razvoju.

Na osnovu napred navedenog, vidi se da razvoju mikroorganizama ne pogoduju alkalne, odnosno bazne sredine. Brzi razvoj mikroorganizama je onemogućen ukoliko je pH sredine veća od 9. Naravno, to ne isključuje mogućnost postojanja mikroorganizama u tim uslovima, ali će njihovo delovanje u tom slučaju biti znatno usporeno. A upravo usporeno delovanje ide u pravcu prilagođavanja date sredine uslovima razvoja mikroorganizama. Drugim rečima, mikroorganizmi su se toliko razvili da su sposobni da trenutno baznu sredinu postepeno približavaju neutralnoj sa tendencijom ulaska u kiselu sredinu.

Konkretno navodimo primer mikroorganizma, tipa gvožđevitih bakterija, koji u procesu disanja stvaraju  $CO_2$  koji hemijski reaguje sa  $Ca(OH)_2$ , pri čemu, kao novi produkt, nastaje  $CaCO_3$ . Ali, istovremeno, sa gubitkom  $Ca(OH)_2$ , opada i pH faktor, što znači gubitak bazičnosti date sredine, koji je jedan od osnovnih uslova usporavanja i onemogućavanja delovanja mikroorganizama na beton.

Kada je u pitanju odnos mikroorganizama prema vodi, odnosno kiseoniku, videli smo da su oni poželjni, ali ne i presudni činioci za njihov razvoj. Međutim, činjenica je da se tokom svog eksploatacionog veka betonska konstrukcija ne može uvek i u svim uslovima zaštiti od vlage, kao što se ne može ni sprečiti prisustvo kiseonika na njenoj površini.

Međutim, iako se ne može uvek i u potpunosti uticati na eksploatacione uslove betonske konstrukcije, može se, u cilju sprečavanja nepovoljnog delovanja mikroorganizama na nju, tj. radi osiguravanja njene trajnosti, promeniti pristup tehnologiji proizvodnje betona. To bi podrazumevalo da se u svim uslovima eksploatacije i za neograničeno dugi period osigura bazičnost sredine sa  $pH > 12$ .

Međutim, bazičnost sredine za dug vremenski period se ne može ostvariti kamenim i neporoznim materijalima. To je moguće postići upotrebom poroznog materijala, tipa pečena glina, sa tehnologijom proizvodnje sitnozrnog pečenog glinenog agregata<sup>3</sup>, koji je sposoban da, u fazi hlađenja, u vidu vodenog rastvora, upije znatnu količinu  $Ca(OH)_2$ .

### Tehnologija izrade i osnovne karakteristike keramičkog agregata i keramičkog betona

Glina vlažnosti 13 % ulazi u vakum presu i izlazi na usnik u obliku glinenih rezanaca prečnika 10 mm, dužine 50-100 mm. Nakon oblikovanja, glineni rezanci se pokretnom trakom odvoze u rotacionu peć na predgrejavanje u trajanju od 30 min, na temperaturama od 80°C (na početku) do 600°C (na kraju) rotacione peći. Nakon faze predgrejavanja masa ulazi u rotacionu peć na fazu pečenja na temperaturama od 1000°C, u trajanju od 40 min. Posle faze pečenja, keramička pečena masa odlazi u rotacionu cev na fazu hlađenja u trajanju od 20 min, pri čemu se istovremeno vrši dezinfekcija i hlađenje. To se postiže tako da se u središnjem delu rotacione cevi, pri temperaturi od 100-200°C, u vidu magle, ubrizgava rastvor  $Ca(OH)_2$  i vode, koji zagrejani keramički materijal veoma brzo upija, gubeći pri tome svoju topotu a **poboljšavajući svoju otpornost na delovanje mikroorganizama**. Nakon hlađenja pečeni keramički materijal pokretnom trakom odlazi na mlevenje u mlinovima sa kuglama, a zatim na prosejavanje

<sup>3</sup> Docent dr Milan Kekanović, Patent PCT/ YU 99/00007, EUROPEAN PATENT, Publication № 1177352

sitima. Čestice dobijenog sitnozrnog keramičkog granulata su veličine: 0-0.09 mm, 0.09-0.5 mm, 0.5-1 mm, 1.0-2 mm. Dobijeni keramički sitnozrni granulat ima sledeći hemijski oksidni sastav:  $\text{SiO}_2$  (61.86%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16.68%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5.76%),  $\text{CaO}$  (7.87%),  $\text{MgO}$  (3.24%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.58%),  $\text{K}_2\text{O}$  (0.83%). Mešanjem ovih granulata sa čistim portland cementom i vodom dobija se keramički sitnozrni beton vrlo visoke otpornosti i trajnosti. Količina potrebne vode određuje se u odnosu na potrebnu konzenstenciju, ali je potrebno dodati i izvesnu količinu vode koju će upiti sam keramički granulat (agregat).

Naime, prilikom mešanja čistog portland cementa sa keramičkim sitnozrnim granulatom, dolazi do hemijskih pucolanskih reakcija između oksida iz keramičkog pucolanskog sitnozrnog agregata ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  i  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), kao jednog od produkata hidratacije klinker cementnih minerala  $\text{C}_3\text{S}$  i  $\text{C}_2\text{S}$ . Kao rezultat tih hemijskih pucolanskih reakcija dolazi do stvaranja nerastvorljivih jedinjenja hidrosilikata, hidroaluminata i hidroferita kalcijuma. Prema tome, vidimo da je kod ovih sitnozrnih keramičkih betona keramički sitnozrni agregat aktivan, što znači da pored čistog portland cementa i on doprinosi povećanju čvrstoće keramičkog sitnozrnog betona. Između cementnog kamena i keramičkog sitnozrnog agregata dolazi do stvaranja izuzetno dobre kontaktne zone, što takođe doprinosi povećanju ukupnog kvaliteta betona.

Jednim delom kalcijum hidroksid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  migrira u sitnozrni keramički agregat, čineći tako ovaj beton baznom sredinom ( $pH \geq 12$ ), što znači da neće doći do korozije čelika u betonu (ukoliko ga u njemu ima).

Dakle, primenom sitnozrnih pečenih glinenih agregata tokom vremena će se obezbediti »hranjenje« betona  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  iz pečenog glinenog agregata, obezbeđujući na taj način bazičnost sredine, onemogućavajući time razvoj mikroorganizama kao jednog od osnovnih uzročnika degradacije betona.

U odnosu na ostale krupnozrne betone, prednost sitnozrnih keramičkih betona je i ta što kod njih ne dolazi do koncentracije napona, što je uobičajena pojava na mestima krupnih zrna kod krupnozrnih betona. Osim toga, ove betone odlikuje i veoma brz prirast čvrstoće.

Pored otpornosti na korozivno dejstvo mikroorganizama, jedna od najbitnijih karakteristika ovih betona je *ekologija*, što je od velikog značaja, posebno ako su u pitanju objekti za stanovanje. S obzirom da je keramički agregat, proizведен prema tehnologiji proizvodnje grube porozne keramike, apsolutno zadovoljavajući po pitanju ekologije, i betoni na bazi takvog agregata bi, s ekološkog aspekta, bili u rangu grube keramike. Osim toga, i mehaničke karakteristike keramičkih betona su na zavidnom nivou. Modul elastičnosti ovakvih betona ne prati čvrstoću, što znači da su deformabilniji od ostalih betona. A vrlo brzi vremenski prirast čvrstoće ukazuje na to da su ovi betoni izuzetno otporni u agresivnim sredinama. Destrukcija usled agresije je manja od prirasta čvrstoće što, takođe, predstavlja garanciju duge trajnosti.

Dakle, eksploracioni vek betonske konstrukcije izložene delovanju agresivnog okruženja sve više zavisi od izdržljivosti betona za ova dejstva.

Verujemo da će sve učestalija istraživanja potvrditi prepostavku da mikroorganizmi zaista spadaju među najveće uzročnike degradacije običnih betona, i da će se morati ići na korekciju tehnologije proizvodnje betona u smislu uzimanja agregata kojima će se obezbediti dugovečnost betona.

## LITERATURA

- [1] Lj. Tadić: Uticaj mikroorganizama na koroziju betona, Seminarски рад, Magistarske studije na Građevinskom fakultetu u Subotici, **2002.** god.
- [2] M. Kekanović: Patent PCT/YU 99/00007, European Patent, Publication N° 1177352
- [3] Ž. P. Tešić: Mikrobiologija šumskog zemljišta sa osnovima opšte mikrobiologije, Naučna knjiga, Beograd **1971.** god.
- [4] B. Karakašević: Mikrobiologija i parazitologija, Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, **1962.** god.
- [5] S. Grković: Prilog projektovanju betonskih mostova sa aspekta zadane trajnosti u agresivnom okruženju, Magistarski rad, GF u Subotici **1999.** god.
- [6] D. Bjegović: Projektiranje betonskih konstrukcija u kemijski agresivnoj okolini, Doktorska disertacija, Fakultet građevinskih znanosti, Zagreb, **1991.** god.
- [7] Z. Sarić: Opšta mikrobiologija, Naučna knjiga, Beograd **1987.** god.
- [8] M. Stojanović: Mikrobiologija, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd **1995.** god.

## EFFECT OF MICROORGANISMS ON THE CORROSION OF CONCRETE

**Summary:** *The paper presents the mechanisms of action of microorganisms on the concrete, or discuss the conditions necessary for their formation and development.*

*The analysis of the above-mentioned mechanisms, it was concluded that the degrading activity of microorganisms on the best structure may prevent the implementation of measures which imply that, in all conditions and for unlimited long period, provide high protection basicity environment. This would imply a new approach to making concrete technology.*

*This paper shows the applicability of concrete on the basis of ceramic aggregates, as one of the possible solutions for greater resistance of the construction to aggressive microbiological effects.*

**Keywords:** concrete, corrosion, microorganisms, ceramic concrete