



## Povzetek projekta Po kreativni poti do znanja 2017 – 2020, 2. odpiranje, za namen objave in predstavitve na spletni strani sklada

### 1. Polni naslov projekta: \_\_\_Razvoj samopopravljivega betona\_\_\_

- V katero področje na prvi klasifikacijski ravni KLASIUS-P-16 se uvršča projekt glede na vsebinsko zasnovo (neustrezno področje izbrišite):

07 - Tehnika, proizvodne tehnologije in gradbeništvo

**2. V sodelovanju z:** (navede se univerza oz. samostojni visokošolski zavod, ki je prijavil projekt in članica, ki je nosilka projekta ter partner/ja – podjetje/ji oz. organizacija, ki je/sta bilo/i vključeno/i v projekt)

**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Večna pot 113, 1000 Ljubljana**

**Salonit Anhovo d.d., Anhovo 1, 5210 Deskle**

### 3. Besedilo:

- Opredelite problem, ki se je razreševal tekom izvajanja projekta

Beton je za vodo druga najpogostejše uporabljena snov na Zemlji. Beton mora biti odporen, uporaben, trajen, ekonomičen, robusten in estetski, izkazovati pa mora tudi možnost minimalnega vzdrževanja in recikliranja ter sposobnost vgradnje odpadnih snovi in prijaznost okolju. V modernem času se razmišlja o možnosti priprave t.i. samopopravljivega betona (SPB). Samopopravljivi beton je zmes, ki ima enake sestavine kot običajen beton, tej zmesi pa je dodan reagent, ki omogoča samopopravljivost. Naloga reagenta za samopopravljivost je, da ostane med mešanjem in vlivanjem nedotaknjen, aktivira pa se, kot posledica nekih sekundarnih kemijskih reakcij ali, ko pride beton v stik z vodo ob razpoki.

V sklopu projekta smo obravnavali možnost priprave SPB betona kot modernega gradbenega materiala. Projekt smo usmerili predvsem v dve področji: i) odgovorili smo na vprašanje, ali lahko t.i. alkalno karbonatno reakcijo (ACR), ki poteka ob degradaciji nekaterih komponent betona, razumemo tudi kot mehanizem samopopravljivosti ter ii) efekt samopopravljivosti v biobetonu.

ACR reakcija vključuje procese dedolomitizacije in nato nastanka nekaterih novih trdnih faz, kot posledico reakcije med različnimi ioni v staranih sistemih betonov z dolomitnim agregatom. V prvem delu projekta tako poskušamo razjasniti, ali lahko nastanek sekundarnih faz med ACR reakcijo sčasoma zvišuje trdnost betona zaradi zmanjšanja poroznosti okoli dolomitnega agregata, kar je princip samopopravljivosti.

V biobetonih bakterije proizvajajo kristale kalcijevega karbonata in z njimi napolnijo razpoke, ki se pojavljajo na površini betona. Neaktivne bakterije se aktivirajo, ko pridejo v stik z vodo in kisikom. Hranijo se navadno s kalcijevim laktatom in med presnovo proizvajajo kalcijev karbonat, ki tesni razpoke. Poraba kisika med delovanjem bakterij pa ne pomaga le pri bakterijski pretvorbi kalcijevega laktata v kalcijev karbonat, temveč se tako tudi zmanjša količina kisika v betonu, ki ustvarja pogoje za korozijo. Zaradi bakterijske pretvorbe se kisik porabi in s tem podaljša

obstojnost betonske infrastrukture

Vendar pa si ugotovitve avtorjev, ki opisujejo sisteme SPB, v mnogih pogledih še razlikujejo (predvsem v smislu določiti najboljšo vrsto bakterije in organskega hranila ter primerne opisa ACR sistemov z dolomitnim agregatom).

- Opišite potek reševanja problema oz. kratek povzetek projekta

Z namenom izpopolnitve znanj s področij alkalno karbonatnih reakcij (v nadaljevanju ACR) in samopopravljivih betonov se je potek reševanja problema začel z prebiranjem literature, kar je omogočilo lažje razumevanje projekta. Z uporabo novo pridobljenih znanj smo lažje začrtali smernice in se posvetili pripravi betona. V prvi fazi smo na podlagi izračuna potrebnih snovi izdelali testne vzorce v obliki prizem (4 x 4 x 16 cm). Oblikovali smo tudi manjše vzorce, ki so omogočali analitske preiskave. Za betonske strukture na katerih smo opazovali ACR učinek smo uporabili dolomitni agregat in cementno vezivo CEM I42,5N. Vzorce smo po pripravi, ki je obsegala vse od mešanja do brušenja, starali v 1 M NaOH na 60 °C ali v deionizirani H<sub>2</sub>O pri sobni temperaturi. Po ustrezni dobi smo na vzorcih izvajali razne preiskuse, kjer smo preverjali tlačno in upogibno trdnost. Manjše vzorce smo pregledovali z mikroskopom, kar nam je omogočilo opazovanje sprememb v mikrostrukturah. Tekom izvajanja del povezanih z ACR učinkom smo ugotavljali način, kako stroškovno ovrednotiti ACR učinek in prišli do formule, ki glede na mm celjenja pripiše določen prihranek pri stroških. Tudi za biobeton smo uporabili pripravljeno recepturo, ki smo ji dodali še komercialni produkt podjetja Basilisk (Nizozemska), ki vsebuje samopopravljiv učinek. Za vzorce biobetona smo uporabili dolomitni agregat in CEM I42,5N. Vzorce smo starali v različnih okoljih, kar nam je ustvarilo širšo sliko glede okolij, v katerih so rezultati najboljši. Po ustrezni dobi staranja smo tudi v teh vzorcih opazovali napredek samopopravljivega učinka. Pri tem smo si pomagali z mikroskopom, kar omogoča natančen pregled mikrostruktur in napredka celjenja zaradi vključenih bakterij. Tekom oblikovanja ter negovanja vzorcev smo se ukvarjali tudi z ekonomskim vidikom biobetona. Izračunali smo lastno ceno, ki izhaja zgolj iz direktnih stroškov, kar pomeni, da določen del stroškov povezanih s potencialno proizvodnjo ni upoštevan. Prav tako smo na podlagi treh metod poskusili določiti možno prodajno ceno. V zaključnih fazah smo vse pridobljene rezultate ustrezno ovrednotili in interpretirali, kar je celoten projekt smiselno zaključilo. V okviru projekta smo obiskali tudi sodelujoče podjetje Salonit Anhydro, kjer smo se zblížali s samo proizvodnjo betona. Prav tako je sodelujoče podjetje pripravilo predavanje na FGG, kjer je bilo naše znanje dodatno obogateno.

- Navedite in opišite rezultate projekta ter njihov doprinos k družbeni koristnosti

Med prebiranjem literature smo našli na mnogo kakovostnih in dodelanih del, ki so povezani bodisi z ACR reakcijo ali samopopravljivim betonom. Ta literatura lahko mnogim služi kot opora pri nadaljnjih raziskavah.

Z ugotavljanjem ACR učinka smo prišli do ugotovitve, da alkalno karbonatna reakcija prispeva k samopopravljivosti. Vzorce, ki so bili starani v NaOH so na podlagi testov v povprečju izkazali nekoliko višje stopnje tlačne trdnosti. Le ta tekom napredujoče ACR reakcije narašča. To dejstvo poleg slik narejenih s pomočjo mikroskopa, služi kot dokaz, da ima ACR samopopravljiv efekt. Biobeton pripravljen s preparatom podjetja Basilisk je pokazal visoke stopnje celjenja razpok. Same bakterije iz preparata, ki so bile vključene v betonsko zmes, so sprožile efekt zapolnjevanja razpok s CaCO<sub>3</sub> že po nekaj urah v ustreznem okolju. Stopnja zapolnitve razpok je močno odvisna od okolja. Največi učinki celjenja so bili opaženi v razmerah, kjer je bila visoka prisotnost vlage oz. vode ali raztopin. Vzorce, na katerih smo opazovali napredek celjenja biobetona so po 28 dneh in pri delno polni razpoki kazali višje vrednosti tlačne trdnosti in nižje vrednosti upogibne trdnosti. V slikah narejenih z mikroskopom so vidne tudi same bakterije in samopopravljiv učinek. Iz tega lahko zaključimo, da je biobeton uspešen vrši celjenje predvsem v vlažnem okolju.

Finančno ovrednotenje ACR reakcije je na podlagi zasnovane formule, ki je podprta s strani treh vhodnih podatkov (čas po katerem je potrebno betonske konstrukcije popravljati, stroški popravila

na kubičen meter in povprečno celjenje razpok zaradi ACR reakcije), pripeljalo do rezultata, da je vsak milimeter celjenja betona (v 10 letih) zaradi ACR reakcije zaslužen za zmanjšanje direktnih stroškov popravila za 4,63%. Sama cena biobetona, ki vključuje zgolj direktne stroške in je pripravljena po optimalni recepturi znaša 162,36 EUR na kubični meter. V tej ceni niso vključene nekatere ključne postavke kot so npr. splošni stroški, davek, stroški dela in transporta ter pričakovana marža. Ob primerjanju navadnega betona in biobetona, je biobeton v časovnem horizontu 10 let in ob upoštevanju zgolj direktnih stroškov bolj stroškovno primeren.

Poleg pozitivnih učinkov za sodelujoče študente (npr. pridobitev potrebnih kompetenc študentov za vključitev v realen razvojni proces) smo s projektom pridobili določene koristne informacije oziroma rešitve pri opisu ACR v betonih z dolomitnim agregatom in pri pripravi sistemov biobetonov, s čemer bi posredno vplivali tudi na varovanje okolja. Priprava hidravličnih veziv ter tudi ustreznega agregata, kot ključnih komponent za betone, je namreč energetske zelo potratna. S tem lahko vsako izboljšanje betona kot gradbenega materiala ali podaljšanje življenjske dobe betona precej zniža celokupno potrebo po energiji za pripravo betonskih izdelkov, kar lahko prispeva k trajnostni uporabi virov. Ker se v procesu priprave hidravličnih veziv potrebe po energiji zagotavljajo predvsem iz surovin bogatih z ogljikom (primarni energetski vir je zemeljski plin, sekundarni energetski vir pa so energetske bogati odpadki), vsaka izboljšava v proizvodnji hidravličnega veziva lahko precej zniža ogljični odtis proizvodnje same. Seveda pa velja, da korekten opis alkalno-karbonatnih reakcij v betonih ponuja nova spoznanja o staranju betonov, kar v lokalnem okolju, kjer se v betonih največ uporablja prav dolomitni agregat, lahko bistveno spremeni napovedi o pričakovanih mehanskih lastnostih betonov. S takšnimi znanji lahko napovemo pričakovano življenjsko dobo betonskih konstrukcij oziroma, opredelimo ključne dejavnike, ki v lokalnem okolju najbolj vplivajo na neželene spremembe v staranih betonih.

#### 4. Priloge:

- Slikovno gradivo: Priložite vsaj dve sliki npr. sliko končnega produkta, sliko študentov pri delu na projektu, sliko s sestankov ipd. Pri pošiljanju slik bodite pozorni, v kolikor gre za končni produkt, da bo zadoščeno zahtevam glede informiranja in obveščanja (ustrezni logotipi itd.).
- 

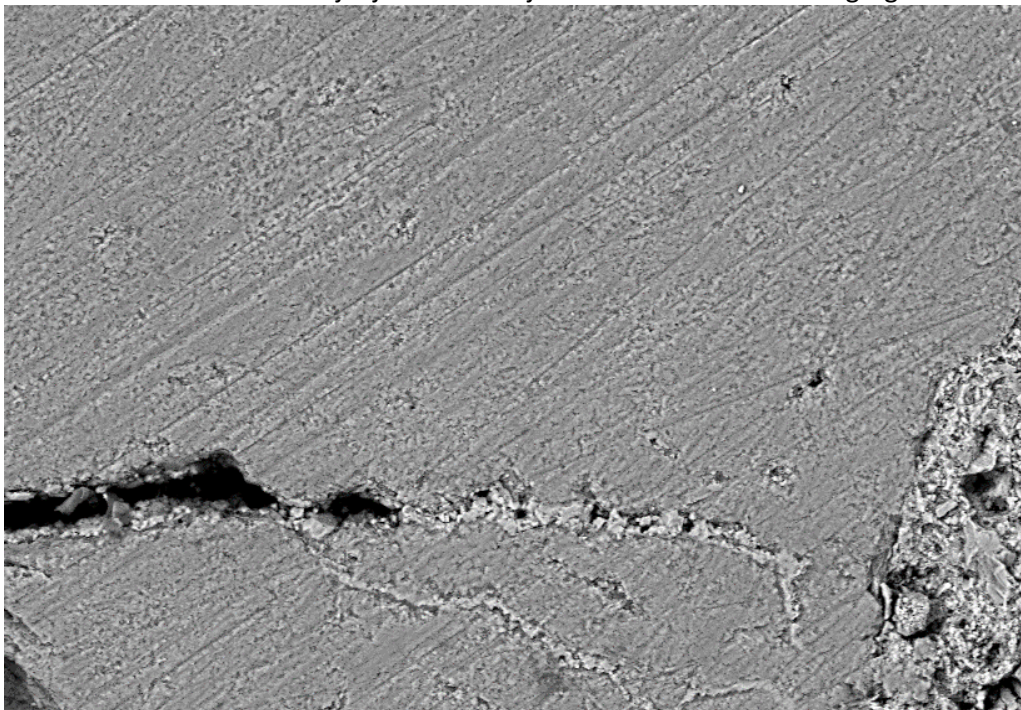
Slika 1: Vzorci betona v obliki prizem



Slika 2: Vzorci betona v obliki valjev za analizo mikrostrukture



Slika 3: Efekt samo-celjenja ACR reakcije v betonu z dolomitnim agregatom



Slika 4: Rezultat samo-celjenja v biobetonu

