

BETON S DODATKOM OPTIČKIH VLAKANA

Zanimljive primjene prozirnog betona

PRIPREMILA:
Anđela Bogdan

Prozirni, svjetlopropusni beton patent je mađarskog arhitekta Árona Losoncziya, a jedan je od najinovativnijih primjera upotrebe stakla u betonu

Uvodne napomene

Tijekom obilaska štandova na nedavno održanome sajmu BAU u Münchenu pogled nam je zapeo za jednu upečatljivu svjetleću betonsku ploču. To ne bi bilo čudno da nismo doznali da je riječ o prozirnome betonu. Radi se o transparentnome betonu koji sadrži optička vlakna i koji prenosi svjetlost. Odmah smo se zapitali kako je netko uopće došao na ideju stvoriti nešto takvo, s obzirom na to da se beton oduvijek doživljava kao hladan, rigidan i taman materijal, pa je to bio i povod da napišemo nešto više o toj specifičnoj, ali estetski vrlo zanimljivoj vrsti materijala.

Primjena stakla u betonu

Danas više nego ikada prije u industriji betona veliki udio imaju tzv. posebni betoni izrađeni po specijalnim sustavima ugradnje i recepturama s dodatkom aditiva koji osiguravaju najoptimalnije osobine za svaki od specifičnih slučajeva upotrebe. Jedna od najzanimljivijih takvih primjena odnosi se na upotrebu staklenih vlakana u betonu. U zemljama diljem svijeta staklo se skuplja i reciklira već dugi niz godina. Budući da je tržišna cijena otpadnog stakla u SAD-u postala prihvatljiva za upotrebu u proizvodnji betona, napušten je tradicionalni način izbjegavanja mješanja tih dvaju materijala jer je primarni problem bio rješavanje negativnih kemijskih utjecaja stakla u betonu, tj. alkalnosilikatne reakcije. U proizvodnji betona s recikliranim staklom trebalo je paziti na način na koji će se projektirati i spravlja-



Pregradni zid od transparentnog betona

ti mješavine. Naime, staklo ne apsorbira vodu pa se mijenjaju reološka svojstva betona, a time i sastav betonske mješavine. Posebnim dodacima betonu takav utjecaj stakla može se neutralizirati. Uz aditive optimizacija tečenja i zbijanja betona može ukloniti negativne utjecaje na njegova mehanička i kemijska svojstva te traj-

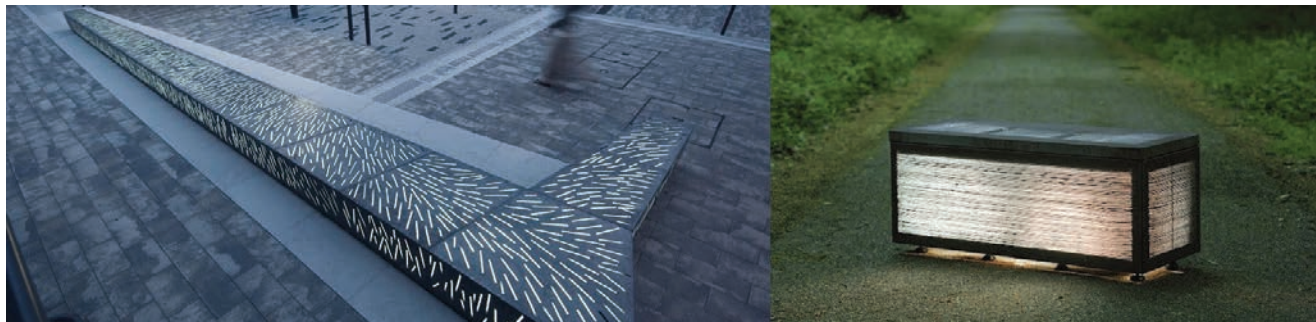
nost. Unatoč problemima s alkalnosilikatnom reakcijom staklo kao agregat za beton ima niz prednosti, ponajprije tu da je apsorpcija vode u staklu gotovo jednaka nuli pa je staklo jedan od najtrajnijih materijala poznatih čovjeku i u skladu s time može biti trajan i unutar samog betona. Uostalom, istraživanja su pokazala to da je beton s dodatkom stakla otporan na procese smrzavanja i odmrzavanja te da ima visoku otpornost na požar i UV zračenje. Štoviše, staklo sortirano po bojama može imati vrlo dobar utjecaj na estetska svojstva betona, primjerice prilikom postavljanja tzv. višebojnih fasada.

Svjetlopropusni beton

Ideja o nosivome, prozračnome i transparentnome materijalu, odnosno prozirnome betonu, javila se još 1935. u Kanadi na arhitektonsko-tehničkim sajmovima i konferencijama, ali radi nedovoljnog razvoja tehnologije u to vrijeme, proces pronalaženja takvog materijala dugo nije davao zadovoljavajuće rezultate. Koncept o pripremi transparentnog betona prvi put ozbiljno je razrađen tek 2000., a već sljedeće godine na Tehničkom sveu-



Uzorak betonskog bloka s optičkim vlaknima



Klupe od transparentnog betona

čilištu u Mađarskoj uspješno je i izrađen prvi uzorak tog materijala. Godine 2000. student arhitekture Aron Losonczi dobio je ideju da napravi betonske blokove koji će izgledati vizualno privlačnije pa je proveo eksperiment u kojemu je betonskoj mješavini dodao optička vlakna.

Rezultat je bio propuštanje svjetlosti kroz beton, odnosno prozirni beton koji svijetli. Unutar potpuno neporozne, predgotovljene betonske ploče Losonczi je položio optička vlakna koja su završavala na unaprijed određenim mjestima.

Izvor svjetlosti bile su uglavnom klasične LED svjetiljke postavljene na bočnim stranama betonske ploče ili prirodna sunčeva svjetlost. Integrirana optička vlakna preuzela su svjetlost i prenijele ju izravno na betonsku površinu, što je dalo zanimljiv vizualni efekt. U sljedeće dvije godine Losonczi je razvio tehnologiju za proizvodnju koju su podržali inženjeri s Tehnološkog sveučilišta u Budimpešti i transformirao svoj prototip u prodajni proizvod koji se može proizvoditi u serijskim količinama.

Godine 2003. njegov izum nazvan *LiTra-Con* (skraćena od engleskog naziva *Light Transmitting Concrete*) predstavljen je na nekoliko izložbi, što je izazvalo veliki interes javnosti. Proizvod je patentiran 2004. godine, a potom je u Čongradu osnovana tvrtka, čime je Mađarska postala zemlja proizvodnje prozirnog betona, a ujedno i glavno tržište koje taj proizvod izvozi širom svijeta.

Svjetlopropusni beton tvornički je proizveden građevni materijal na bazi pijeska i veziva s mogućnošću prenošenja



Fasada od prozirnih betonskih ploča na stambenoj zgradi

svjetlosnih zraka. Protok svjetlosti omogućen je optičkim vlaknima koja se ugrađuju u betonsku mješavinu. Optička su vlakna transparentna vlakna izrađena od staklene mase ili silikatnoga gela, a tek su milimetar deblja od ljudske dlake. Najčešće se primjenjuju za prijenos svjetlosti s jednog kraja vlakna na drugi, s minimalnim gubicima u intenzitetu osvijetljenja. Također se primjenjuju i kao optički senzori u laserima, LED lampama i drugdje. Vlakno se sastoji od transparentne jezgre s približno jednako transparentnim omotačem niskog indeksa refrakcije. Primjena svjetlost zadržava se u jezgri pojavom fenomena totalne interne refleksije (zraka udara u srednju granicu površine pod upadnim kutom koji je veći od kritičnog kuta), zbog čega se stvara dojam da se vlakno ponaša kao usmjerena svjetlosna zraka. Ta pojava rezultira prenošenjem svjetlosti i njezinim usmjeravanjem pod željenim kutom. Prednosti su optičkih vlakana te što su lako savitljiva, lako se režu skalpelom ili škarama, nisu osjetljiva na elektricitet, mogu biti raznih boja te pri prijenosu imaju minimalni gubitak intenziteta svjetlosti. S druge strane mane su im što su vlakna izrazito tanka i lako pucaju pa zahtijevaju pažljivo rukovanje prilikom ugradnje u beton. Osim toga cijena im je viša od cijene nekih drugih vrsta vlakana koja se inače dodaju betonu. Mješavina transparentnog betona sastoji se od 96 posto betona i četiri posto optičkih staklenih vlakana. Optička vlakna prenose svjetlost vrlo efektivno, gotovo bez gubitka intenziteta. Relativni gubici približno su 0,1 posto, što je gotovo zanemarivo. To rezultira određenim svjetlosnim uzorcima koji se ponavljaju, a providnost pregrade ovisi o udjelu optičkih vlakana u samome betonu. Zbog paralelnog položaja staklenih vlakana svjetlo na svjetlijoj strani zida pojavljuje se nepromijenjeno i na tamnijoj strani. Najzanimljiviji oblik toga fenomena vidljiv je prikaz sjena s druge strane betonskog zida, dok boja svjetlosti ostaje ista. Ti elementi mogu se koristiti u zatvorenim prostorima, ali i na otvorenome kao dekorativni elementi poput fasadnih zidova, pregradnih zidova, podova i drugog. Mogućnosti su beskrajne.



Priprema betona s optičkim vlaknima



Fasada džamije Al Aziz u Abu Dhabiju

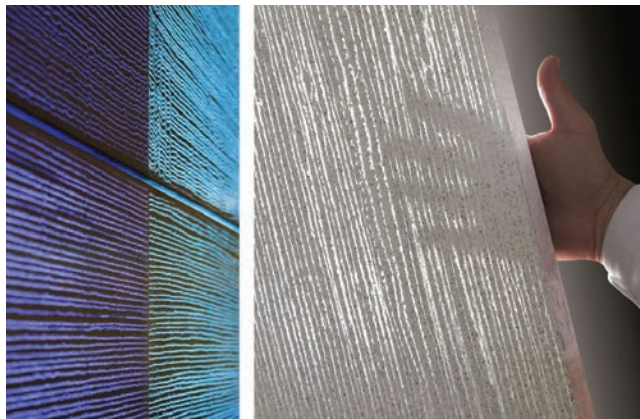
Paneli od transparentnog betona uglavnom se izrađuju u dvije standardne boje: sivoj i bijeloj. Postupak izrade panela od transparentnog betona jest sljedeći:

- 1. korak: izrada i montaža oplata za panele željenih dimenzija
- 2. korak: priprema betonske mješavine betona
- 3. korak: pripremanje oplata i ugrađivanje tankog sloja betona (do nekoliko milimetara debljine)
- 4. korak: određivanje dimenzija optičkih vlakana, rezanje i postavljanje

u oplatu (utiskivanje svih vlakana pojedinačno u svježu mješavinu betona)

- 5. korak: ugradnja preostale betonske mješavine
- 6. korak: njegovanje betona
- 7. korak: skidanje oplata
- 8. korak: završna obrada betona.

S prednje strane panela objekti koji se nalaze sa stražnje strane transparentnoga betonskog panela izgledaju poput silueta. Iako udio optičkih vlakana u betonu iznosi samo četiri posto, svjetlost



Prozirni beton primjenjuje se i kao dekorativni element



Medijska fasada na Sveučilištu RWTH Aachen

se propušta kroz beton zbog njihovih paralelnih položaja u matrici na prednjoj i stražnjoj strani betonskog panela. Ta vlakna efektivno prenose svjetlost s jedne strane panela na drugu. Boje i svjetlost ostaju konzistentni kroz cijeli zid betona, a prirodno prelijevanje stvara zanimljiv svjetlosni efekt. S obzirom na to da optička vlakna ugrađena u beton nisu osjetljiva na elektricitet i magnetno djelovanje, osim prirodnog osvjetljenja moguće je koristiti klasičnu sijalicu, LED sijalicu, AMOLED elemente, električne svjetleće ploče (LED panele) i drugo. Vlakna prenose svjetlost preko zida višeg od 15 metara tako što zauzimaju mali postotak betonskog bloka i ne mijenjaju znatno njegova konstrukcijska svojstva. Nosive konstrukcije također se izrađuju od takvih panela jer optička vlakna nemaju negativan utjecaj na čvrstoću betona. Ispitivanja pokazuju to da gustoća prozirnog betona varira između 2100 i 2400 kg/m³, dok savojna čvrstoća takvog materijala iznosi 7,7 N/mm².

Mana transparentnog betona ponajprije je njegova visoka cijena, koja iznosi približno 1300 eura po kvadratnom metru, a proizvodnja panela od takvog materijala zahtijeva i posebne tehničke vještine zaposlenika. To je tvornički predgotovljen proizvod i nije ga moguće napraviti *in situ*.

Medijske fasade

Rezultati nedavnih ispitivanja pokazali su to da fasade od transparentnog betona potencijalno snižuju troškove grijanja i trajnije su od običnog betona.

U Njemačkoj je nedavno predstavljena prva medijska fasada, odnosno sustav ploča od transparentnog betona koje emitiraju svjetlost uz pomoć ugrađenih LED dioda. Taj sustav ne samo da izgleda jedinstveno, već i pomaže održivosti okoliša. Prva medijska fasada postavljena je na Sveučilištu RWTH Aachen gdje betonske ploče dimenzija 150 x 50 cm s ugrađenim optičkim vlaknima počinju emitirati svjetlost i mijenjati boje oko sat vremena prije zalaska sunca. Projekt je razvijen u suradnji s arhitektonskim studijom *Carpus & Partner*, a za kontrolu medijske fasade koristi posebno razvijenu DMX tehnologiju za upravljanje LED rasvjetom putem interneta, koja se odnosi na industrijski protokol namijenjen za kontrolu svjetlosnih uređaja. Sustav je u mogućnosti mijenjati više od 16 milijuna boja, a svaki LED panel može se mijenjati zasebno kako bi se cijela fasada transformirala u golemi, interaktivni zaslon. Mijenjanje boja, teksta i logotipa na fasadi vrlo je jednostavno te se može provesti korištenjem aplikacije na mobilnom uređaju.



Paneli od svjetlopropusnog betona

Fasada na džamiji Al Aziz u Abu Dhabiju također je izrađena od transparentnog betona. Gradila ju je građevinska tvrtka *APG (Architecture and Planning Group)* 2015. u Ujedinjenim Arapskim Emiratima. Dimenzije ugrađenih panela su 140 x 140 x 4,0 cm. Na fasadi su arapskim pismom ispisani stihovi iz Kurana, a na svakom je panelu ispisano po jedan stih na način da su optička vlakna shematski pozicionirana u betonu. Udio vlakana u jednome panelu iznosi 5,4 posto u odnosu na zapreminu panela. Iza svakoga betonskog panela postavljan je po jedan LED panel kao umjetni izvor svjetlosti. Danju fasada ima klasičan izgled betona, a po zalasku sunca LED paneli uključuju se u izvor električne energije koji iznutra osvjetljavaju ispisane stihove na fasadi. Jedan komplet panela, betonski i LED panel, teži čak 320 kilograma. U slučaju kvara nekog od LED panela nemoguće je izvesti samo njegov remont, već je neophodno izraditi i novi betonski panel, što je vrlo skup proces, no proizvođači takvih panela tvrde da će se ubrzo i za to pronaći učinkovito, jeftinije rješenje. Što nam to još projektanti u budućnosti pripremaju od toga čvrstog, a s druge strane prozirnog materijala ostaje za vidjeti, ali moramo priznati da svjetleće fasade od transparentnog betona u očima promatrača stvaraju zaista vrlo zanimljiv estetski doživljaj.

Izvori:

<https://www.lucem.de/en-1/references/lucem-exterior/>

<http://www.designbuild-network.com/projects/litracon/>