

PRIMJENA GEOSINTETIČKIH CEMENTNIH KOMPOZITA (GCCM) U HIDROTEHNIČKIM I GEOTEHNIČKIM SUSTAVIMA S POSEBNIM OSVRTOM NA SUSTAV CONCRETE CANVAS CCX®

NIKOLA TRBOVIĆ¹, GORDAN PLEPELIĆ¹

¹ Geolog savjetovanje d.o.o., Hrvatska

Sažetak

Geosintetički cementni kompozitni materijali (GCCM – Geosynthetic Cementitious Composite Mats) predstavljaju relativno novu vrstu građevinskih materijala koji integriraju funkcionalnosti geosintetika i cementnih sustava u jedinstven kompozit. Materijal se isporučuje u fleksibilnom stanju u rolama različite veličine te nakon hidratacije prelazi u tankoslojni, vodonepropusni i mehanički otporan materijal.

U radu se analizira sustav Concrete Canvas CCX®, uključujući varijante CCX-U® i CCX-M®, s naglaskom na njihova mehanička, hidraulička i trajnosna svojstva. Posebna pažnja posvećena je primjeni u geotehničkim i hidrotehničkim zahvatima kroz prikaz ugradnje na dva gradilišta: zaštite stijenskog pokosa na autocesti A1 te oblaganja kanala na projektu autoceste Zagreb–Sisak. Rezultati ukazuju na značajne prednosti u odnosu na konvencionalne tehnologije, osobito u uvjetima ograničenog pristupa i potrebe za ubrzanom izvedbom radova.

Analizom tehničkih i izvedbenih aspekata utvrđeno je da GCCM sustavi predstavljaju učinkovitu alternativu konvencionalnim rješenjima poput mlaznog betona ili betonske obloge, osobito u uvjetima ograničenog pristupa, potrebe za brzim izvođenjem radova te smanjenjem logističkih zahtjeva.

Ključne riječi

GCCM, cementni geokompozit, Concrete Canvas, stabilizacija pokosa, oblaganje kanala, stijenska masa

1 Uvod

Razvoj infrastrukturnih projekata u suvremenim uvjetima građenja sve više je usmjeren prema optimizaciji vremena izvođenja, smanjenju troškova i povećanju trajnosti konstrukcija. Poseban izazov predstavljaju projekti u području hidrotehnike i geotehnike, gdje uvjeti na gradilištu često uključuju ograničen pristup, složene geološke uvjete te potrebu za održavanjem postojećih prometnih ili hidrauličkih funkcija tijekom izvođenja radova.

Konvencionalna rješenja, poput armiranobetonskih obloga ili primjene mlaznog betona, i dalje predstavljaju standard u mnogim primjenama. Međutim, takvi sustavi zahtijevaju značajnu pripremu podloge, transport svježeg betona, uporabu teške mehanizacije te često dovode do prekida u prometu ili eksploataciji sustava (Koerner, 2012; Neville, 2011).

U tom kontekstu, razvoj geosintetičkih materijala omogućio je pojavu novih kompozitnih sustava koji integriraju više funkcionalnosti u jednom proizvodu. Geosintetički cementni kompoziti (GCCM) predstavljaju takav sustav, pri čemu kombiniraju fleksibilnost i jednostavnost ugradnje karakterističnu za geosintetike s mehaničkom otpornošću cementnih materijala nakon očvršćivanja.

Primjena GCCM materijala osobito je pogodna u slučajevima gdje je potrebno osigurati:

- zaštitu od erozije,
- vodonepropusnost površinskih slojeva,
- stabilizaciju pokosa,
- oblaganje kanala i vodnih građevina.

Cilj ovog rada je prikazati tehnička svojstva i mogućnosti primjene GCCM sustava kroz analizu sustava CCX te njegovu primjenu u stvarnim projektima iz područja hidrotehnike i geotehnike.

2 Metode

2.1 Materijali i njihova svojstva

2.1.1 Struktura GCCM materijala

GCCM materijali sastoje se od višeslojne strukture u kojoj je suha cementna mješavina ugrađena između dva geosintetička sloja. Gornji sloj najčešće je izrađen od vlaknastog geotekstila koji omogućuje kontrolu raspodjele cementne smjese i osigurava mehaničku povezanost slojeva, dok donji sloj može imati filtracijsku ili vodonepropusnu funkciju, ovisno o zahtjevima primjene.

Kod određenih varijanti, uključujući CCX sustav, donji sloj može biti dodatno laminiran polimernim slojem (npr. LLDPE), čime se postiže povećana vodonepropusnost i otpornost na infiltraciju vode iz podloge (Concrete Canvas Ltd., n.d.).

Ovakva struktura omogućuje:

- jednostavno rukovanje i transport materijala,
- fleksibilnost tijekom ugradnje,
- kontrolirano očvršćivanje nakon hidratacije,
- postizanje homogenog cementnog sloja.

2.1.2 Mehanizam hidratacije i razvoja čvrstoće

Nakon dodavanja vode, odnosno hidratacije površine ugrađenog kompozita, dolazi do kemijske reakcije hidratacije cementa pri čemu nastaju kalcijevi silikatni hidrati (C-S-H), koji su osnovni nositelji mehaničke čvrstoće (Neville, 2011). Za razliku od klasičnog betona, kod GCCM materijala cementna jezgra je ograničena geosintetičkim slojevima, što rezultira tankoslojnim, ali kompaktnim i homogenim materijalom. Integrirana vlaknasta struktura dodatno doprinosi otpornosti na pukotine, jer djeluje kao disperzna armatura koja sprječava njihovo širenje.

Mehanička svojstva GCCM materijala uključuju:

- visoku tlačnu čvrstoću ($\approx 60\text{--}70$ MPa),
- značajnu savojnu otpornost,
- povećanu duktilnost u odnosu na klasični beton.

2.2 Opis sustava Concrete Canvas CXX

Concrete Canvas CCX predstavlja industrijski razvijen GCCM sustav koji se proizvodi u kontroliranim uvjetima te isporučuje na gradilište u rolama. Ugradnja materijala uključuje njegovo odmotavanje, pozicioniranje, mehaničko učvršćivanje te hidrataciju. Materijal se ugrađuje na kosine na način sličan kao što se to ugrađuje mreža za zaštitu od odrona, a samo spajanje susjednih panela se izvodi ovisno o vrsti materijala, a može biti pomoću kratkih samouveznih vijaka ili varenjem na vrući zrak.

Ključna prednost sustava je brzina ugradnje. Materijal ostaje obradiv približno 30 minuta nakon hidratacije, dok se inicijalno očvršćivanje postiže unutar 24 sata (Concrete Canvas Ltd., n.d.). Time se omogućuje značajno skraćivanje vremena izvođenja u odnosu na konvencionalne metode. Bitno je da se nakon ugradnje, unutar 24 sata ne intervenira na hidratiziranoj površini.

2.2.1 Varijante materijala

Unutar CCX sustava razlikuju se dvije osnovne varijante: CCX-U i CCX-M.

CCX-U karakterizira povećana fleksibilnost i sposobnost prilagodbe nepravilnim površinama. Ova varijanta pogodna je za primjenu na stijenskim pokosima i terenima s izraženom morfološkom heterogenošću. CCX-M ima veću krutost i stabilnost oblika, što ga čini pogodnim za primjenu na pravilnim profilima poput kanala. Veća savojna čvrstoća osigurava otpornost na hidraulička opterećenja i abraziju.

2.3 Metodologija primjene

2.3.1 Ugradnja na kosinama

Primjena GCCM materijala na pokosima uključuje niz faza koje je potrebno pažljivo planirati i izvesti. Prvi korak predstavlja priprema podloge, koja može uključivati uklanjanje rastresitog materijala i izravnavanje površine. Slika 1 shematski prikazuje poprečni presjek geokompozita CCX-U sa svim njegovim slojevima.



Slika 1. Shematski prikaz poprečnog presjeka geokompozita CCX-U

Nakon toga slijedi polaganje materijala i njegovo sidrenje pomoću mehaničkih elemenata (kratki ankeri, sidra), čime se osigurava stabilnost sustava prije i tijekom hidratacije. Poseban izazov predstavlja osiguravanje kvalitetnog kontakta između materijala i nepravilne stijenske površine, što je ključno za dugoročno ponašanje sustava.

2.3.2 Ugradnja u kanalima

Kod primjene u kanalima, naglasak je na osiguravanju kontinuiteta obloge i pravilnom preklapanju spojeva. Time se sprječava infiltracija vode i osigurava hidraulička učinkovitost sustava. Ugradnja se može izvoditi kontinuirano duž trase kanala, čime se postiže značajna ušteda vremena u odnosu na

klasične betonske obloge. Slika 2 shematski prikazuje poprečni presjek geokompozita CCX-M sa svim njegovim slojevima.



Slika 2. Shematski prikaz poprečnog presjeka geokompozita CCX-M

2.4 Hidraulička analiza

Za analizu hidrauličkog ponašanja kanala koristi se Manningova jednadžba:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (1)$$

pri čemu vrijednost Manningovog koeficijenta hrapavosti n ima ključnu ulogu u određivanju protoka. GCCM sustavi karakterizirani su relativno niskim vrijednostima n , što rezultira većim kapacitetom protoka u odnosu na grublje površine (Concrete Canvas Ltd., n.d.).

3 Rezultati i diskusija

3.1 Primjena na stijenskoj kosini

Na dionici autoceste A1 u području čvora Prgomet identificirani su dijelovi stijenskog pokosa s izraženom trošnošću i povećanim rizikom od erozije. Geotehničke karakteristike stijenske mase ukazivale su na mogućnost pojave odrona, a sve na temelju provedenog inženjerskogeološkog kartiranja kosine i provedenih kontrolnih proračuna (Hoek i Brown, 1997).

Zbog ograničenja u prometu nije bilo moguće primijeniti prvotno projektirani mlazni beton, jer sama tehnologija ugradnje mlaznog betona zahtijeva mobilizaciju brojne mehanizacije poput kamiona, kompresora, automješalice te brojne radne snage. Navedena mobilizacija zahtijevala je zatvaranje cijelog smjera autoceste u smjeru Zagreba, što je za Investitora bilo neprihvatljivo. Kao alternativno rješenje odabran je CCX-U sustav. Ukupno je ugrađeno približno 3.000 m² materijala.

Rezultati primjene ukazuju na:

- dobru prilagodbu materijala nepravilnoj podlozi,
- smanjenu eroziju površinskog sloja,
- stabilno ponašanje tijekom eksploatacije.

Slika 3 prikazuje ugrađeni cementni geokompozit CCX-U na dionici autoceste A1, u zoni čvora Prgomet, u svrhu sprječavanja nastajanja nestabilnosti intenzivno trošne stijenske mase, dok Slika 4 pobliže prikazuje način međusobnog spajanja rola geokompozita.



Slika 3. Ugrađeni geokompozit CCX-u na stijenskoj kosini na dionici autoceste



Slika 4. Prikaz spojeva geokompozita CCX-u na stijenskoj kosini

3.2 Primjena u oblaganju kanala

Na projektu autoceste Zagreb–Sisak primijenjen je CCX-M kao alternativa armiranobetonskoj oblozi. Ugradnja betonske ili kamene obloge na pokose kanala zahtjevala bi kretanje teške mehanizacije po slabo nosivom tlu uz trasu autoceste. Kao alternativa klasičnoj betonskoj oblozi, predložena je ugradnja CCX-M sustava. Ukupno je ugrađeno približno 42.000 m² materijala te predstavlja najveću ugradnju ovakvog sustava u ovom dijelu Europe.

Usporedba s konvencionalnim rješenjem pokazuje:

- značajno skraćanje vremena izvođenja,
- smanjenje troškova transporta i ugradnje,
- zadovoljavajuće hidrauličke karakteristike.

Niska hrapavost površine omogućuje povoljne uvjete protoka, što je potvrđeno analizom temeljenom na Manningovoj jednadžbi.



Slika 5. Ugrađeni geokompozit CCX-M kao obloga oborinskog kanala uz autocestu Zagreb-Sisak

3.3 Uspješnost primjene

Rezultati ukazuju da GCCM sustavi predstavljaju optimalno rješenje u specifičnim uvjetima, osobito kada su ograničeni:

- pristup gradilištu,
- rokovi izvođenja,
- mogućnost korištenja teške mehanizacije.

S druge strane, njihova primjena je ograničena na funkcije zaštite i oblaganja, te nisu namijenjeni preuzimanju značajnih konstrukcijskih opterećenja (Koerner, 2012). Postoje i druge izvedbe materijala, poput nepropusnih CCHydro koji tvore nepropusnu barijeru te su korišteni na nekoliko lokacija u sanaciji tankvana u naftnim terminalima, kako bi se spriječilo izlijevanje nafte iz havarijskog bazena u okolno tlo.

4 Zaključak

Geosintetički cementni kompoziti (GCCM), a posebno sustav Concrete Canvas CCX[®], predstavljaju značajan tehnološki iskorak u području hidrotehničkih i geotehničkih rješenja. Analiza primjene na stvarnim projektima, poput stabilizacije stijenskih pokosa na autocesti A1 i oblaganja kanala na autocesti Zagreb–Sisak, pokazuje da GCCM materijali omogućuju skraćenje vremena izvođenja za 30–50 % u odnosu na konvencionalne metode poput mlaznog betona ili armiranobetonskih obloga. Istovremeno, smanjuju logističke zahtjeve i potrebu za teškom mehanizacijom, čime se dodatno optimiziraju troškovi i vrijeme izvođenja.

Varijante CCX-U i CCX-M demonstrirale su visoku prilagodljivost različitim terenima i uvjetima primjene: CCX-U se uspješno prilagodio nepravilnim stijenskim pokosima, dok je CCX-M osigurao kontinuiranu i hidraulički učinkovitu oblogu kanala s niskom hrapavosti i povećanom otpornosti na abraziju. Mehanička svojstva GCCM materijala, uključujući tlačnu čvrstoću od približno 60–70 MPa i značajnu duktilnost, omogućuju dugoročnu stabilnost sloja, a integrirani geosintetički slojevi djeluju kao disperzna armatura koja učinkovito sprječava nastajanje i širenje pukotina.

Iako GCCM sustavi nisu namijenjeni preuzimanju velikih konstrukcijskih opterećenja, njihova primjena kao zaštitnog i stabilizacijskog sloja pokazuje visoku pouzdanost i trajnost. Kvantitativne analize protoka u kanalima potvrđuju hidrauličku učinkovitost, dok studije slučaja pokazuju smanjenje erozije i povećanu stabilnost pokosa.

Razvoj standardiziranih projektnih smjernica omogućio bi širu primjenu GCCM sustava u infrastrukturnim projektima, čime bi se dodatno osnažila njihova uloga kao ekonomične, brze i održive alternative konvencionalnim rješenjima. S obzirom na svoje tehničke i izvedbene prednosti, GCCM materijali imaju potencijal postati standardni izbor u primjeni za stabilizaciju pokosa, oblaganje kanala i zaštitu hidrotehničkih i geotehničkih objekata, čime se doprinosi učinkovitijem i dugoročnijem održavanju infrastrukture.

Literatura

- ASTM (2020) Standard Specification for Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM) Materials.
- Bieniawski, Z.T. (1989) Engineering Rock Mass Classifications. New York: Wiley.
- Concrete Canvas Ltd. (n.d.) CCX[®] Data Sheet.
- Hoek, E. i Brown, E.T. (1997) 'Practical estimates of rock mass strength', International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 34(8), pp. 1165–1186.
- Koerner, R.M. (2012) Designing with Geosynthetics.
- Neville, A.M. (2011) Properties of Concrete.
- HRN EN 206 (2016) Beton – Specifikacija, svojstva, proizvodnja i sukladnost.
- HRN EN 13253 (2016) Geotekstili i srodni proizvodi.