

BETONSKI OPLOČNICI KAO INFRASTRUKTURNI ELEMENT KLIMATSKI OTPORNIH GRADOVA

PRIPREMILA:  
Anđela Bogdan

# Tehnička svojstva sustava Pavelock u odnosu na asfaltne površine

**Betonski opločnici Pavelock, koje proizvodi tvrtka Semmelrock, održivo su i klimatski prilagođeno rješenje za urbanu infrastrukturu koje istodobno poboljšava toplinsku ravnotežu, upravljanje odvodnjom oborinskih voda i ekonomsku učinkovitost**

## Uvodne napomene

Sve izraženiji utjecaji klimatskih promjena u urbanim sredinama poput učestalijih toplinskih valova i intenzivnih kratkotrajnih oborina zahtijevaju prilagodbu načina projektiranja i izvedbe prometnih i pješačkih površina. Osim nosivosti i trajnosti, pri odabiru kolničkih materijala sve se više razmatraju njihova toplinska svojstva, mogućnost upravljanja oborinskim vodama te održavanje tijekom životnog vijeka građevine.

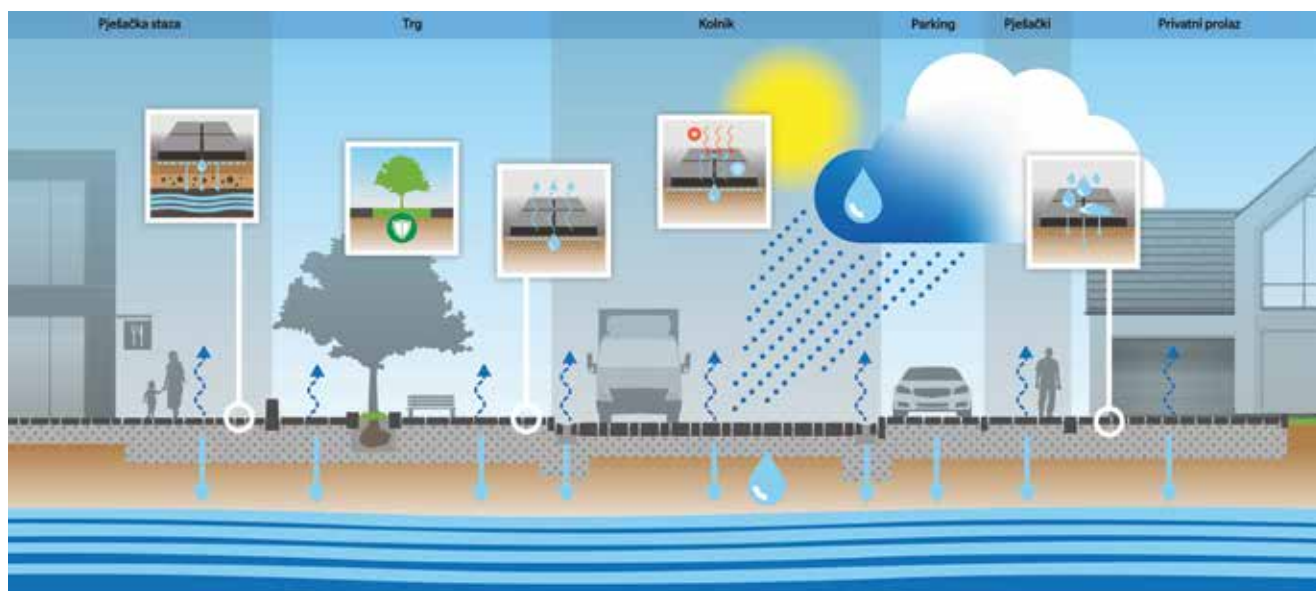
Betonski opločnici Pavelock proizvođača *Semmelrock* sustav su međusobno povezanih betonskih elemenata koji se primjenjuju za izvedbu urbanih prometnih i pješačkih površina te se proizvode u skladu sa zahtjevima norme HRN EN

1338. U usporedbi s tamnim asfaltnim mješavinama, betonski opločnici Pavelock pokazuju višu razinu reflektivnosti i niže zagrijavanje površine. S izmjerenim indeksom solarne refleksije (SRI) od 55 % smanjuju zagrijavanje površine i doprinose većoj toplinskoj ugodnosti vanjskog okoliša. Osim toga sustav omogućuje učinkovito upravljanje oborinskim vodama propusnim PICP izvedbama (engl. *Permeable Interlocking Concrete Pavement - PICP*), znatno smanjujući otjecanje i opterećenje kanalizacije. Konstrukcijske prednosti uključuju visoku razinu nosivosti, stabilnost, modularnost i jednostavnu reparabilnost. U nastavku članka prikazana su tehnička svojstva tog sustava prema podacima proizvođača i dostupnim ispitivanjima.

## Kontekst i normativni okvir

Urbane sredine doživljavaju dvostruki klimatski pritisak: intenzivnije kratkotrajne oborine koje preopterećuju mješovite kanalizacijske sustave i produljene toplinske valove tijekom kojih se nepropusne površine zagrijavaju znatno iznad temperature okolnog zraka. Prema dostupnoj literaturi, mjerenja u europskim gradovima pokazuju da su urbane sredine od 1 °C do 6 °C toplije od okolnih ruralnih područja. Koncept *Schwammstadt* (spužvasti grad) temelji se na zadržavanju oborinske vode na mjestu nastanka radi smanjenja otjecanja i ublažavanja urbanoga toplinskog otoka. Prema logici koncepta *Schwammstadt*, izbor materijala za opločenje postaje primarna infrastrukturna intervencija s mjerljivim učincima na vodnu i toplinsku ravnotežu grada.

Betonski opločnici u EU-u proizvode se prema usklađenoj seriji norma SIST EN 1338 / HRN EN 1338 (opločnici), EN 1339 (ploče) i EN 1340 (rubni elementi), uz krovne norme EN 13369 i EN 206.



Primjena propusnih betonskih opločnika na različitim urbanim površinama



Betonski opločnici Pavelock

Sustav Pavelock proizvođača *Semmelrock stein+design d.o.o.* sukladan je s normom HRN EN 1338:2004.

Ključni zahtjevi norme EN 1338 koje proizvodi moraju ispuniti jesu:

- karakteristična čvrstoća cijepanjem  $\geq 3,6 \text{ N/mm}^2$  (pojedinačno  $\geq 2,9 \text{ N/mm}^2$ )
- otpornost na smrzavanje s desalinizacijskim solima (klasa 3, oznaka D): srednji gubitak mase  $\leq 1,0 \text{ kg/m}^2$  nakon 28 ciklusa
- otpornost na habanje (Böhme, klasa 4):  $\leq 18.000 \text{ mm}^3$  na  $5000 \text{ mm}^2$
- otpornost na klizanje (USRV prema EN 1338 Annex I):  $\geq 60$ .

Asfaltne mješavine ocjenjuju se prema seriji EN 13108, koje ne propisuju zahtjeve koji se odnose na solarnu reflektivnost ili propusnost površine.

### Toplinske karakteristike i indeks solarne refleksije

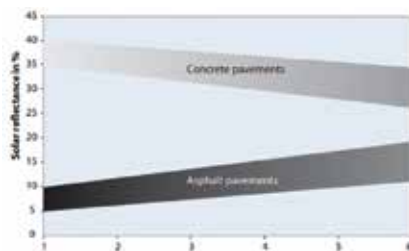
Indeks solarne refleksije (SRI) definiran prema ASTM E 1980-01 standardizirana je mjera sposobnosti horizontalne površine da reflektira sunčevo zračenje i emitira apsorbiranu toplinu. Skala je referirana na standardnu crnu površinu (SRI = 0 %) i standardnu bijelu površinu (SRI = 100 %). SRI objedinjuje albedo ( $\rho$ ) i toplinsku

Tablica 1. Indeks solarne refleksije za betonski opločnik Pavelock

| Parametar                            | Vrijednost                                 |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| Solarna apsorpcija $\alpha$          | 0,514                                      |
| Solarna refleksija (albedo) $\rho$   | 0,486                                      |
| Toplinska emisivnost $\epsilon$      | 0,759                                      |
| <b>Indeks solarne refleksije SRI</b> | <b>54,52 % (<math>\approx 55</math> %)</b> |

emisivnost ( $\epsilon$ ), pa viša vrijednost znači manje zagrijavanje pod istim solarnim opterećenjem.

Tipične vrijednosti albeda za kolničke materijale su sljedeće: svježi asfalt 0,04, istrošeni asfalt 0,12, a novi beton 0,55. LEED v4 u sklopu kredita *Heat Island Reduction* zahtijeva SRI  $\geq 33$  za niskonagibne horizontalne kolničke površine, što konvencionalne tamne asfaltne mješavine (SRI 0–6) ne ispunjavaju.



Usporedba solarne refleksije betonskih i asfaltnih kolničkih površina

### Mjerenje SRI sustava Pavelock

Ispitivanje za uzorak Pavelock (sivi, kvarcna završna obrada, dimenzije  $20 \times 20 \times 10 \text{ cm}$ ) provedeno je u Institutu za fiziku Univerziteta u Beogradu, u Laboratoriju za fiziku atmosfere i optičku metrologiju, prema standardu ASTM E 1980-01. Mjerenja su provedena od 25. do 27. kolovoza 2016. u 24 mjerne točke (9.00 – 15.00 sati). Tijekom mjerenja kontinuirano su praćeni intenzitet sunčeva zračenja ( $499,5 - 855,8 \text{ W/m}^2$ ), temperatura ambijentnog zraka ( $18,4 - 27,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) i brzina vjetra ( $0,6 - 2,2 \text{ m/s}$ ). Iterativnim postupkom propisanim normom izračunane su vrijednosti prikazane u tablici 1. Proširena mjerna nesigurnost rezultata iznosi 5 % ( $k = 2$ , pouzdanost približno 95 %). Izmjereni SRI od 55 % smješta Pavelock unutar prihvatljivog raspona za hladne

kolničke površine prema LEED HIR kriteriju ( $\geq 33$ ). U usporedbi s tipičnim tamnim asfaltnim mješavinama (SRI 0 – 6), razlika u sposobnosti odbijanja sunčeva zračenja višestruka je. Ispitivanja su pokazala da povećanje albedo-površine s 0,2 na 0,4 može sniziti temperaturu površine tla i do  $7,9 \text{ }^\circ\text{C}$  u podnevnim satima. Izmjereni albedo od 0,486 pozicionira Pavelock iznad tog praga.

### Pavelock – patentirani sustav povezanih opločnika

Sustav Pavelock patentirani je sustav povezanih opločnika s integriranim rješenjem rasterećenja tereta. Od konvencionalnih opločnika razlikuje se prema dvama ključnim konstrukcijskim detaljima:

**Kružni sustav utora i reški** omogućuje automatsko i precizno pozicioniranje po-



Primjeri ugrađenih betonskih opločnika na trajektnome pristaništu

jedinačnih elemenata tijekom polaganja, što rezultira geometrijski stabilnom površinom otpornom na horizontalne pomake pod prometnim opterećenjem.

**D-dodirna točka materijala za fuge** sprječava izravan kontakt susjednih elemenata i osigurava ujednačenu širinu fuge, što je preduvjet za optimalno punjenje i ravnomjeran prijenos opterećenja.

Sustav je dimenzioniran za znatno (kamionsko) prometno opterećenje i zato je primjeren za gradske ulice s teretnim prometom, kružne tokove, pristupne i servisne ceste, parkirališta teretnih vozila i intenzivno opterećene zelene površine (interventni i vatrogasni pristupi). Tehnički listovi proizvođača jamče sukladnost s HRN EN 1338:2004 i otpornost na smrzavanje i desalinizacijske soli.

### Upravljanje oborinskim vodama

Modularnost betonskih opločnika omogućuje izvedbu propusnih varijanti sustava PICP. U PICP izvedbi proširene fuge ispunjavaju se otvorenim agregatom (2/5

mm) na drenirajućoj nosivoj konstrukciji (frakcije 4/8 mm i 16/32 mm, debljina 30 do 50 cm). Karakteristični projektni parametri su sljedeći:

- početna stopa infiltracije 2500 do 7500 mm/h; nakon 5 do 10 godina 250 do 1000 mm/h
- korisni volumen zadržavanja 30 do 40 % volumena agregata
- koeficijent otjecanja  $\psi = 0,1$  do  $0,3$  (asfalt:  $\psi \approx 0,9$ ). Za srednjoeuropske projektne 100-godišnje kratkotrajne oborine (100 do 150 mm/h) pravilno dimenzioniran PICP sustav može omogućiti zadržavanje znatnog dijela projektne oborine, ovisno o dimenzioniranju sustava i lokalnim hidrološkim uvjetima.

### Modularnost i analiza troškova životnog ciklusa

Ugrađena asfaltna kolnička konstrukcija ne dopušta lokalnu intervenciju bez freziranja, ponovne ugradnje i diskontinuiteta. Betonski opločnici omogućuju demontažu pojedinačnih elemenata bez utjecaja na okolne površine, pristup pod-

zemnim instalacijama uz minimalan otpadni materijal, ponovnu ugradnju istih elemenata i naknadnu prilagodbu prometnog režima.

U stručnoj literaturi za betonske opločnike navodi se da je uobičajeni uporabni vijek od 30 do 50 godina, u odnosu na 15 do 20 godina za asfaltnu kolničku konstrukciju. Iako je inicijalna investicija viša, prema pojedinim analizama troškova životnog ciklusa, analiza troškova uporabnog vijeka od 30 godina tipično pokazuje 15 do 40 % niže ukupne troškove održavanja, ovisno o intenzitetu prometa i učestalosti intervencija na podzemnim instalacijama. U kontekstu kružnoga gospodarstva, betonski opločnici omogućuju ponovnu uporabu pojedinačnih elemenata nakon demontaže, dok se u slučaju oštećenja materijal može drobiti te koristiti kao reciklirani betonski agregat u drugim građevinskim konstrukcijama.

### Komparativna analiza: Pavelock i asfaltna površina

U nastavku prikazana je usporedna analiza odabranih tehničkih i funkcionalnih svojstava konvencionalnih asfaltnih kolničkih konstrukcija i sustava betonskih opločnika Pavelock. Prikaz se temelji na dostupnoj stručnoj literaturi, normativnim zahtjevima te podacima proizvođača i laboratorijskih ispitivanja. Cilj te usporedbe jest prikazati razlike u odabranim parametrima koji su relevantni za toplotna svojstva, odvodnju oborinskih voda i eksploatacijska obilježja kolničkih sustava.



Priprema podloge za betonske opločnike Pavelock

Tablica 2. Usporedba tehničkih svojstava asfaltnih kolničkih konstrukcija i betonskih opločnika Pavelock

| Parametar                                         | Asfalt                         | Pavelock (EN 1338)                             |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|
| Albedo $\rho$                                     | 0,04 – 0,12                    | 0,486 (izmjereno)                              |
| SRI                                               | 0 – 6                          | 55                                             |
| Koeficijent otjecanja $\psi$ (klasično polaganje) | $\approx 0,9$                  | 0,7 – 0,8                                      |
| Koeficijent otjecanja (propusna izvedba)          | $\approx 0,7$ (porozni asfalt) | 0,1 – 0,3 (PICP)                               |
| Klasifikacija prometnog opterećenja               | sve klase                      | do klase III.<br>(znatno prometno opterećenje) |
| Tipičan životni vijek                             | 15 – 20 godina                 | 30 – 50 godina                                 |
| Lokalna mogućnost popravka                        | ne                             | da                                             |
| Sukladnost s LEED HIR (SRI $\geq 33$ )            | ne                             | da                                             |

\*Napomena: Prikazane vrijednosti odnose se na tipične literaturne vrijednosti, normativne okvire ili dostupna ispitivanja te mogu varirati ovisno o vrsti materijala, konstrukcijskome sloju, načinu izvedbe i uvjetima eksploatacije.

Prikazani podaci upućuju na razlike između promatranih sustava u nekoliko funkcionalnih aspekata. U pogledu toplinskih svojstava, betonski opločnici imaju višu vrijednost albeda te veći indeks solarne refleksije u odnosu na konvencionalne tamne asfaltna površine, što može utjecati na smanjenje apsorpcije sunčeva zračenja.

U hidrauličkome smislu, razlike u koeficijentu otjecanja upućuju na potencijalnu prednost propusnih izvedbi opločnika u smislu lokalnog zadržavanja oborinskih voda, dok su asfaltna konstrukcije u standardnoj izvedbi u pravilu nepropusne.

S aspekta održavanja i eksploatacije, modularna priroda betonskih opločnika omogućuje lokalne intervencije bez zahvata na cijeloj površini, što je od posebne važnosti u urbanim sredinama u kojima su česte intervencije na podzemnim instalacijama.

### Zaključak

Asfaltna površine, iako tehnološki dobro razvijene, ne zadovoljavaju u cijelosti zahtjeve klimatski prilagođene urbane infrastrukture. Njihova niska reflektivnost (albedo 0,04 do 0,12) izravno doprinosi efektu urbanoga toplinskog otoka, dok nepropusnost preopterećuje mješovite kanalizacijske sustave. Sustav Pavelock kombinira nosivost znatnoga prometnog (kamionskog) opterećenja, modularnost koja olakšava intervencije na podzemnim

instalacijama i potvrđena termička svojstva. Akreditirano mjerenje prema ASTM E 1980-01 utvrdilo je SRI = 55 % za sivu izvedbu sustava Pavelock, što znatno premašuje LEED HIR kriterij. U kontekstu koncepta *Schwammstadt* i analize troškova životnog ciklusa, betonski opločnici infrastrukturni su elementi kojima se istodobno upravlja oborinskim vodama, toplinskom ravnotežom i prostornim identitetom grada.

### Izvori:

- ASTM E 1980-01: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance

Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. ASTM International.

- HRN EN 1338:2004: Betonski opločnici – Zahtjevi i ispitne metode, Hrvatski zavod za norme,
- Institut za fiziku, Univerzitet u Beogradu, Laboratorija za fiziku atmosfere i optičku metrologiju: Izvještaj o stručnom laboratorijskom nalazu br. 013/016 – Mjerenje SRI sustava Pavelock (raniji komercijalni naziv: Behaton Sistem Einstein), Beograd, 2016.
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H.: Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70 (2001) 3, pp. 295–310
- USGBC: LEED v4 Reference Guide for Building Design and Construction – Sustainable Sites: Heat Island Reduction. U.S. Green Building Council, Washington, D.C., 2019.
- Semmelrock stein+design d.o.o.: Tehnički list i opis sustava Pavelock: <https://www.wienerberger.hr/semmelrock/>, [21.4.2026.]
- DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef, 2005.



Sustav betonskih opločnika Pavelock