

# ODRŽIVI MATERIJALI I TEHNIKE U GRADITELJSTVU

**Autor: Vesna Zubčić, Z dizajn, Zadar**

**Stručno povjerenstvo: Tatjana Kos, Alma Pinjić, Danko Jakanović**

Ova publikacija izrađena je uz pomoć Europske unije. Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost Projekta, obrta za dizajn i marketing iz Velike Gorice (Hrvatska) i ni na koji način se ne može smatrati odrazom stajališta Europske unije.

### ***BioDesign Connect – prekogranična suradnja za održivu gradnju i bioarhitekturu***

Projekt BioDesign Connect okuplja tri iskusna i komplementarna partnera iz Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Crne Gore koji dijele zajedničku viziju: jačanje kapaciteta mikro i malih poduzeća u području bioarhitekture, održive gradnje i holističkog dizajna kroz edukaciju, inovativne poslovne modele i jačanje komunikacije s ciljnim skupinama.

Korisnici su Projekt, obrt za dizajn i marketing iz Velike Gorice (Hrvatska), Modular d.o.o. iz Jablanice (Bosna i Hercegovina) te Partner Media d.o.o. iz Nikšića (Crna Gora).

Ukupna vrijednost projekta iznosi **233.889,05 EUR**, od čega se **iz Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE, 2021.–2027. sufinancira 198.805,69 EUR**. Projekt se provodi u razdoblju od **04.02.2025. do 04.12.2025.**

Ukupna vrijednost projekta iznosi **233.889,05 EUR**, od čega se **iz Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE, 2021.–2027. sufinancira 198.805,69 EUR**. Projekt se provodi u razdoblju od **04.02.2025. do 04.12.2025.**

### **ZAŠTO BIOARHITEKTURA?**

U vremenu sve izraženijih klimatskih izazova, rastuće energetske nesigurnosti i promjena u načinu života, bioarhitektura – održiv, zdrav i estetski promišljen pristup oblikovanju prostora – postaje sve važniji smjer u arhitekturi i dizajnu interijera. Međutim, mnogi arhitekti, dizajneri i edukatori na prostoru Jadransko-jonske regije i dalje imaju ograničen pristup kvalitetnim izvorima znanja, alatima i prilagođenim edukacijama. Projekt BioDesign Connect nastoji odgovoriti upravo na tu prazninu.

### **GLAVNI CILJEVI PROJEKTA**

Projekt ima za cilj:

- Jačanje znanja i vještina u bioarhitekturi kod poduzetnika i stručnjaka,
- Razvoj inovativnog poslovnog modela i digitalne platforme za edukaciju,
- Korištenje interdisciplinarnog pristupa u razvoju edukativnih i komunikacijskih alata,
- Poticanje umrežavanja i prekogranične suradnje među dionicima sektora.

### **KLJUČNE AKTIVNOSTI**

U središtu projekta BioDesign Connect nalaze se pažljivo oblikovane aktivnosti koje odgovaraju na ključne potrebe suvremene arhitektonske i dizajnerske prakse u kontekstu održivosti, zdravlja prostora i integracije prirodnih resursa. Svaka od planiranih aktivnosti strateški je osmišljena kako bi doprinijela prijenosu znanja, razvoju kompetencija i dugoročnom utjecaju na tržište održive gradnje u regiji.

Jedan od temeljnih zadataka projekta jest izrada sveobuhvatnog seta stručnih priručnika iz područja bioarhitekture. Ukupno četiri priručnika poslužit će kao referentni alati za arhitekta, dizajnere, edukatore i sve zainteresirane dionike. U svakom od njih obrađuju se ključni aspekti održive gradnje – od upotrebe prirodnih i recikliranih materijala, preko standarda energetske učinkovitosti i zelene gradnje, pa sve do koncepta holističkog oblikovanja interijera i eksterijera. Poseban fokus stavlja se i na modularnu bioarhitekturu kao inovativni pristup koji omogućuje prilagodbu prostora suvremenim potrebama korisnika, uz očuvanje okoliša i smanjenje graditeljskog otiska.

Nakon strukturiranja sadržaja priručnika, projektni tim razvija digitalni e-learning modul koji prenosi znanja iz pisanih materijala u interaktivni, lako dostupni edukativni format. Ovaj online alat namijenjen je arhitektima, studentima i srodnim profesionalcima, a donosi suvremeni, fleksibilan način učenja o održivim praksama u arhitekturi. Platforma je koncipirana tako da omogućuje modularno učenje, interakciju s edukativnim sadržajima i samoevaluaciju znanja, čime se osigurava široka primjenjivost i dugoročna upotreba.

Kako bi se ispitala kvaliteta razvijenih alata i sadržaja, projekt uključuje pilot edukaciju koja će okupiti minimalno dvadeset korisnika iz ciljane skupine. Ova testna faza omogućit će partnerskom konzorciju da evaluiira sadržaj, tehničku funkcionalnost i obrazovni pristup, kao i da prikupi povratne informacije iz stvarnog okruženja. Povratne informacije poslužit će za dodatnu doradu i optimizaciju modula prije njegove javne objave.

Završetak projektnih aktivnosti bit će obilježen organizacijom završne konferencije na kojoj će se predstaviti svi ključni rezultati, uključujući i testnu edukaciju. Konferencija će okupiti stručnjake, predstavnike strukovnih organizacija, obrazovnih institucija i donositelje odluka, čime se osigurava šira diseminacija rezultata i uspostava novih suradničkih veza. Događaj će biti i prilika za demonstraciju rada digitalne platforme, promociju stručnih priručnika i diskusiju o daljnjoj primjeni razvijenih rješenja u različitim kontekstima – od edukacije do prakse.

Kroz ove međusobno povezane aktivnosti projekt BioDesign Connect ne stvara samo resurse i alate, već potiče promjenu paradigme u pristupu arhitekturi – prema održivijem, humanijem i znanstveno utemeljenom djelovanju koje spaja stručnost, edukaciju i regionalnu suradnju.

## **OČEKIVANI REZULTATI**

Projekt BioDesign Connect donosi konkretne i mjerljive rezultate u skladu s ciljevima Interreg programa.

Tri zajednički razvijena rješenja – novi poslovni model, digitalna platforma BioDesign Connect Hub i stručni priručnici za bioarhitekturu – rezultat su suradnje partnera iz tri zemlje. Ova rješenja omogućit će širu primjenu održivih praksi u arhitekturi i dizajnu.

Razvijena je i pilot aktivnost: online edukacija koja će biti testirana na ciljnoj skupini, uz mogućnost daljnjeg usavršavanja na temelju evaluacije korisnika.

Sva tri MSP-a uključena u projekt uvode inovacije u procese i usluge, čime jačaju vlastite kapacitete i konkurentnost u sektoru održive gradnje.

Uz ove ključne ishode, projekt potiče međunarodnu suradnju, vidljivost i razmjenu znanja među stručnjacima iz regije.

## **INOVATIVNOST I DODANA VRIJEDNOST**

Projekt BioDesign Connect inovativan je jer integrira:

- Edukacijske, poslovne i komunikacijske komponente u jedinstven sustav
- Interdisciplinarnu suradnju dizajnera, arhitekata i edukatora,
- Pristup usmjeren krajnjim korisnicima – praktičarima u sektoru.

Umjesto pukog prijenosa znanja, partneri razvijaju alate koji omogućuju primjenu održivih rješenja u realnom okruženju. Pristup je iterativan: priručnici se testiraju, digitalna platforma se razvija kroz korisnički feedback, a poslovni model se prilagođava prema tržišnim uvjetima.

## **KOME JE PROJEKT NAMIJENJEN?**

- **Arhitektima i dizajnerima** koji žele raditi održivo i imati pristup najnovijim znanjima iz bioarhitekture,
- **Studentima** arhitekture, dizajna, građevine i srodnih područja,
- **Obrazovnim i javnim institucijama** koje se bave prostorom, urbanizmom i održivim razvojem,
- **Malim poduzetnicima** koji žele prepoznati potencijal zelene gradnje kao tržišne niše.

## **DUGOROČNA VIZIJA**

Projekt BioDesign Connect postavlja temelje za:

- Nastavak suradnje partnera i širenje mreže korisnika,
- Otvaranje novih tržišta za male poduzetnike u sektoru održive gradnje,
- Uključivanje rezultata projekta u formalne i neformalne obrazovne programe,
- Promjenu načina na koji se promišlja prostor – iz estetskog u održivi, zdravi i humaniji okvir.

**Projekt BioDesign Connect sufinancira Europska unija kroz Interreg IPA program prekogranične suradnje Programa Interreg IPA Hrvatska – Bosna i Hercegovina – Crna Gora, EmBRACE 2021.–2027.**

## SAŽETAK DOKUMENTA

Ovaj priručnik izrađen je u okviru projekta BioDesign Connect, s ciljem pružanja sustavnog pregleda održivih građevinskih materijala i tehnika primjenjivih u suvremenoj bioarhitekturi. Usmjeren je na profesionalce iz područja arhitekture, građevine, dizajna interijera i obrazovanja, kao i na sve koji žele razumjeti ključne principe održive gradnje u kontekstu ekološke, društvene i energetske odgovornosti.

Priručnik se sastoji od četiri tematske cjeline:

1. Osnovni principi održivosti u graditeljstvu, gdje se objašnjava što čini materijal održivim, s naglaskom na cijeli životni ciklus proizvoda, uključujući proizvodnju, uporabu i mogućnost reciklaže.
2. Vrste održivih materijala, s detaljnim opisima prirodnih i obnovljivih resursa (npr. drvo, glina, kamen, konoplja), recikliranih materijala te inovativnih rješenja (poput biomaterijala i materijala dobivenih iz industrijskog otpada).
3. Održive tehnike gradnje, uključujući tradicionalne metode koje se ponovno valoriziraju (npr. gradnja zemljom i balama slame) te suvremene tehnologije koje smanjuju emisije CO<sub>2</sub> i potrošnju energije.
4. Evaluacija i certifikacija materijala, gdje se predstavljaju ključni alati za procjenu održivosti, poput LCA analize (analiza životnog ciklusa), EPD oznaka i međunarodnih certifikacijskih sustava (LEED, BREEAM, DGNB i dr.).

Poseban naglasak stavljen je na lokalni kontekst Jadransko-jonske regije, s preporukama za korištenje dostupnih sirovina i regionalnih dobavljača, čime se promiče kružno gospodarstvo, smanjuje potreba za transportom i potiče lokalno gospodarstvo.

Priručnik također uključuje preporuke za interdisciplinarni pristup u odabiru materijala, važnost suradnje između dizajnera, arhitekata, građevinara i krajnjih korisnika, te prikaz nekoliko inspirativnih primjera dobre prakse. Zaključno, dokument naglašava potrebu za kontinuiranim obrazovanjem, integracijom održivih principa u sve faze projektiranja i gradnje te poticanjem inovacija kao temelja za zelenu tranziciju u građevinskom sektoru.

Ovaj dokument nije samo edukativni materijal, već i alat za praktičnu primjenu održivih rješenja, namijenjen širenju svijesti i znanja među stručnjacima i donositeljima odluka u regiji.

### Document Summary

This manual was developed as part of the **BioDesign Connect** project, with the aim of providing a structured overview of sustainable construction materials and techniques applicable in contemporary bio architecture. It is intended for professionals in architecture, construction, interior design, and education, as well as for all those interested in understanding the core principles of sustainable building in the context of environmental, social, and energy responsibility.

The manual consists of four thematic sections:

1. **Fundamental Principles of Sustainability in Construction**, explaining what makes a material sustainable, with an emphasis on the full product life cycle – including production, use, and recyclability.
2. **Types of Sustainable Materials**, with detailed descriptions of natural and renewable resources (e.g., wood, clay, stone, hemp), recycled materials, and innovative solutions (such as biomaterials and materials derived from industrial waste).
3. **Sustainable Building Techniques**, covering traditional methods being reevaluated and revived (e.g., earth and straw bale construction) and modern technologies that reduce CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption.
4. **Evaluation and Certification of Materials**, presenting key tools for assessing sustainability, such as Life Cycle Assessment (LCA), Environmental Product

Declarations (EPDs), and international certification systems (LEED, BREEAM, DGNB, etc.).

A particular focus is placed on the **local context of the Adriatic-Ionian region**, with recommendations for using locally available raw materials and regional suppliers, thus promoting the circular economy, reducing transportation needs, and supporting local economies.

The manual also emphasizes the importance of an **interdisciplinary approach in material selection**, encouraging collaboration among designers, architects, builders, and end users. It includes several inspiring examples of best practices. In conclusion, the document highlights the need for continuous education, integration of sustainable principles into all stages of design and construction, and the promotion of innovation as the foundation for a green transition in the construction sector.

This manual is not only an educational resource but also a practical tool for applying sustainable solutions, aimed at raising awareness and spreading knowledge among professionals and decision-makers in the region.

**Ovaj vodič istražuje niz ekološki prihvatljivih materijala koji se sve češće koriste u održivoj gradnji. Cilj je pružiti razumijevanje njihove strukture, karakteristika i prednosti koje nude u usporedbi s konvencionalnim građevinskim materijalima. Svaki materijal predstavljen je s osnovnim informacijama, potencijalnom primjenom i utjecajem na okoliš.**

Građevinski sektor danas je jedan od najvećih potrošača prirodnih resursa i jedan od glavnih izvora emisije stakleničkih plinova na globalnoj razini. Prema procjenama međunarodnih tijela, zgrade i građevinske aktivnosti izravno i neizravno sudjeluju u čak 40 % ukupne svjetske potrošnje energije i materijala, a više od trećine emisija CO<sub>2</sub> povezanih je upravo s izgradnjom, uporabom i održavanjem izgrađenog okoliša. Tradicionalni modeli gradnje, koji se oslanjaju na energetske intenzivne procese, sirovine ograničenog vijeka trajanja i linearne koncepte „uzmi–izgradi–odbači“, u sve su većem raskoraku s potrebama našeg vremena i planetarnim granicama.

U posljednjim desetljećima postaje jasno kako transformacija građevinskog sektora u smjeru održivosti nije više opcija, već nužnost. Klimatske promjene, iscrpljivanje resursa, degradacija tla, zagađenje zraka i vode te rastuća količina građevinskog otpada samo su neki od izazova koji potiču arhitekta, inženjere, projektante, investitore i zakonodavce da redefiniiraju standarde gradnje. Suvremeni pristupi temelje se na principima kružne ekonomije, energetske učinkovitosti, smanjenju emisija CO<sub>2</sub>, otpornosti na klimatske promjene i — ne manje važno — na zdravlju i dobrobiti korisnika prostora.

U tom kontekstu, ključnu ulogu ima odabir građevinskih materijala. Njihov utjecaj nije ograničen samo na fazu proizvodnje, već se proteže kroz cijeli životni ciklus građevine: od ekstrakcije sirovina, obrade i transporta, preko faze ugradnje i korištenja (npr. energetska potrošnja za grijanje i hlađenje), pa sve do kraja vijeka i pitanja mogućnosti reciklaže, ponovne uporabe ili biorazgradnje. Stoga se sve više pažnje posvećuje razvoju i primjeni ekološki prihvatljivih, obnovljivih i niskoemisijskih materijala, koji ne narušavaju ekosustave niti zdravlje ljudi.

Uvođenje takvih materijala u projektiranje i izvedbu donosi višestruke koristi. S jedne strane smanjuje se utjecaj na okoliš, kroz manju emisiju ugljika, smanjenu potrebu za rudarstvom, sječom ili kemijskom obradom, dok se s druge strane potiče lokalna ekonomija, inovacije i razvoj novih znanja. Osim toga, prirodni i reciklirani materijali često imaju i povoljne biofizičke karakteristike, poput bolje paropropusnosti, regulacije vlage i zvučne izolacije, a istovremeno pridonose stvaranju zdravih i ugodnih prostora za boravak ljudi.

S obzirom na sve izraženije političke i tržišne poticaje za provedbu Zelenog plana Europske unije, Europskog klimatskog zakona, EU taksonomije i strategije „Val obnove“ (Renovation Wave), jasno je da održiva gradnja postaje novi standard, a ne više niša ili alternativa. Materijali koji su u prošlosti bili zanemareni ili percipirani kao nedovoljno tehnološki razvijeni — poput gline, slame, konoplje ili reciklirane plastike — sada ponovno dobivaju prostor u arhitektonskom diskursu, no u novom, unaprijeđenom obliku, često kombinirani s digitalnim tehnologijama, kompozitima i inovativnim inženjerskim rješenjima.

Ovaj vodič ima za cilj prikazati raznovrsne održive i inovativne materijale koji se sve više koriste u graditeljstvu, kako na globalnoj, tako i na lokalnoj razini. Obuhvaćeni su biomaterijali, reciklirani i prenamijenjeni materijali, kompoziti nove generacije, kao i pametni materijali s dodatnim funkcijama poput samoobnavljanja, regulacije topline ili neutralizacije onečišćenja. Također se razmatraju i primjene u različitim područjima: od nosivih konstrukcija, preko zidova, podova i fasada, pa sve do interijera, izolacija i krajobraznih rješenja.

Cilj vodiča nije samo informirati, već i inspirirati promjene u načinu razmišljanja o materijalima – od njihove estetske i strukturne uloge, prema shvaćanju njihove ekološke i društvene vrijednosti. Materijali nisu neutralni: oni prenose poruku, oblikuju način života, utječu na zdravlje, resurse i budućnost planeta. Izborom odgovarajućih materijala ne gradimo samo objekte – gradimo odgovornu i održivu kulturu stanovanja i stvaranja prostora.

Stoga se ovaj vodič obraća svim sudionicima u procesu građenja – arhitektima, inženjerima, projektantima, izvođačima, studentima, donositeljima politika i krajnjim korisnicima – s ciljem da im pomogne upoznati i razumjeti potencijal novih materijala, kao i pružiti smjernice za njihovu primjenu u praksi. U vremenu koje zahtijeva sinergiju ekologije, tehnologije i estetike, informirani izbor materijala može biti ključna točka promjene.

## 1. BAMBUS

---

Bambus, poznat kao jedan od najbrže rastućih biljnih resursa na svijetu, posljednjih desetljeća sve više dobiva priznanje kao svestran, snažan i izuzetno održiv građevinski materijal. Njegove karakteristike – visoka čvrstoća, niska masa, brz rast, sposobnost obnove i estetska vrijednost – čine ga idealnim kandidatom za korištenje u različitim segmentima moderne i tradicionalne gradnje. U zemljama Azije, Afrike i Latinske Amerike već stoljećima se koristi kao glavni građevinski materijal, no s porastom svijesti o klimatskim promjenama i potrebi za održivim praksama, bambus sve češće pronalazi put i u europsko i sjevernoameričko graditeljstvo.

### 1. Građevinska svojstva bambusa

Bambus pripada obitelji trava, ali njegove mehaničke karakteristike usporedive su s onima nekih vrsta drva, pa čak i čelika. Ima izuzetno visok omjer čvrstoće i težine, što ga čini pogodnim za nosive i nenosive konstrukcije. Ovisno o vrsti (npr. *Guadua*, *Phyllostachys*, *Bambusa vulgaris*), bambus može dostići vlačnu čvrstoću od preko 200 MPa, što ga svrstava uz bok armiranom betonu.

Zbog prirodne šuplje strukture i vlaknaste građe, bambus je vrlo fleksibilan, što je velika prednost u seizmičkim područjima jer može apsorbirati i redistribuirati sile bez pucanja. Istovremeno, lakoća materijala omogućuje jednostavan transport i rukovanje, čak i u zahtjevnim terenima ili pri samogradnji.

### 2. Primjena u konstrukcijama

U građevinarstvu, bambus se koristi u više funkcionalnih uloga:

- **Nosive strukture i okvirne konstrukcije** – U tradicionalnim kućama bambus se koristi kao osnovna struktura za stupove, grede i okvire. U kombinaciji s blatom, slamom ili glinom, takve konstrukcije pružaju dobru termičku zaštitu i otpornost na vlagu.
- **Zidni sustavi i ispune** – Bambus se često koristi kao ispuna između nosivih stupova, bilo u obliku vertikalnih štapova ili pletenih panela (*wattle and daub* sustav). Osim estetske vrijednosti, takvi zidovi omogućuju prirodnu ventilaciju i laganu montažu.
- **Krovne konstrukcije** – Zbog svoje savitljivosti i dugih vlakana, bambus se lako oblikuje u zakrivljene forme, što ga čini prikladnim za tradicionalne i inovativne krovne sustave, osobito u tropskim krajevima.
- **Podne konstrukcije i podovi** – Laminirani bambus koristi se kao podna obloga zbog svoje tvrdoće i otpornosti na habanje. Uz to, nudi visoku estetsku vrijednost zahvaljujući karakterističnom uzorku vlakana.
- **Mostovi i pješačke staze** – U nekim ruralnim područjima, bambus se koristi za izgradnju mostova, zahvaljujući svojoj nosivosti i otpornosti na vlagu kada je pravilno obrađen.

### 3. Inženjerske inovacije i prefabrikacija

Suvremena tehnologija omogućila je izradu **lameliranih bambusovih panela (laminated bamboo lumber - LBL)** i **kompozitnih materijala**, koji imaju poboljšana mehanička svojstva i otpornost na vanjske utjecaje. Takvi materijali konkuriraju industrijskom drvu i koriste se za:

- Proizvodnju montažnih elemenata za modularne kuće
- Zidne i stropne panele visoke čvrstoće
- Namještaj, fasadne obloge i stepeništa

Ovakvi materijali imaju kontrolirane dimenzije, visoku homogenost i dug vijek trajanja, a pritom zadržavaju sve prednosti prirodnog bambusa – obnovljivost, ugljičnu neutralnost i toplinu materijala.

### 4. Ekološke i ekonomske prednosti

Jedna od najvećih prednosti bambusa je njegova **brzina rasta** – neke vrste mogu narasti do jednog metra dnevno, a žetva se može obaviti već nakon 3–5 godina. Za usporedbu, drveću poput hrasta treba i do 80 godina da postigne zrelost. Osim toga, bambus ima sposobnost **regeneracije bez potrebe za ponovnim sadnjama**, čime se čuva tlo i sprječava erozija.

Bambus također ima **snažnu sposobnost sekvestracije ugljika**, jer brzo raste i proizvodi velike količine biomase. Uz to, njegovo korištenje u građevini može znatno smanjiti potrošnju materijala s visokim udjelom ugrađene energije, poput cementa, čelika i opeke.

Ekonomski gledano, bambus je **dostupan, pristupačan i pogodan za lokalnu proizvodnju**, osobito u ruralnim zajednicama. Njegova obrada ne zahtijeva skupu opremu, što potiče razvoj lokalnog gospodarstva i samozapošljavanje.

### 5. Izazovi i ograničenja

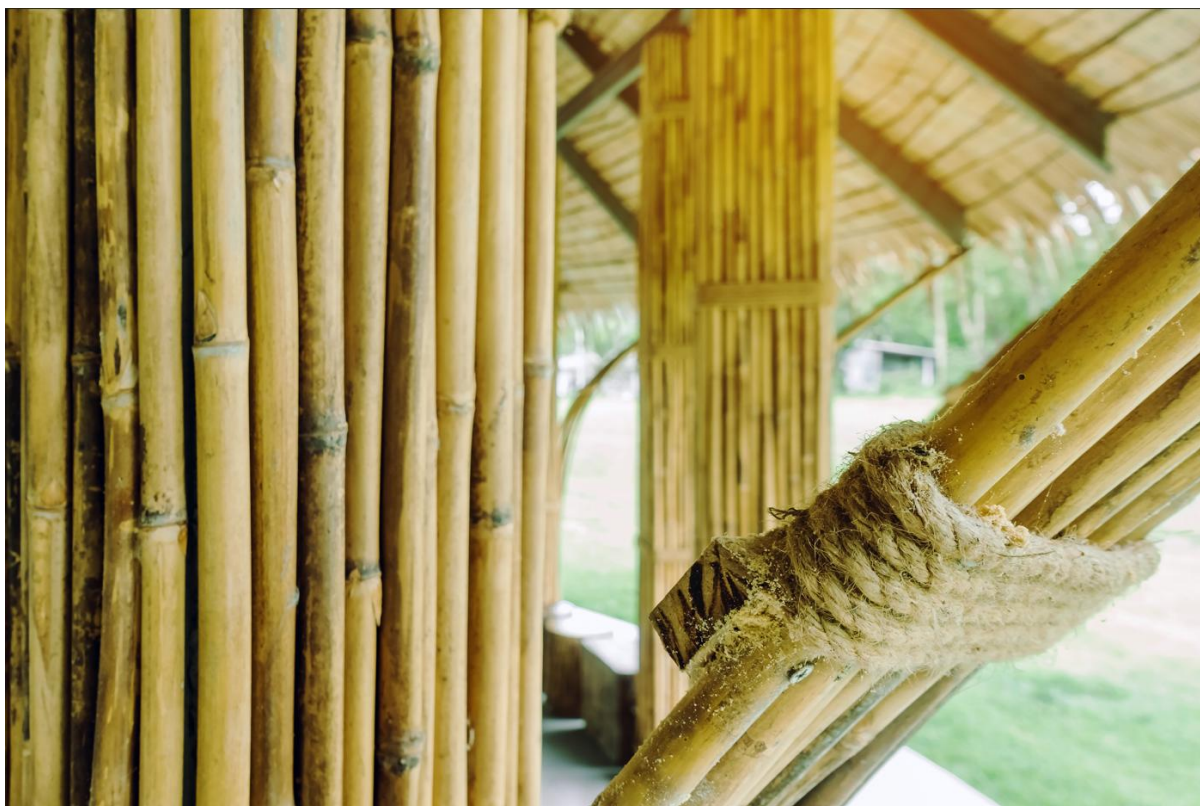
Unatoč brojnim prednostima, postoje i određeni izazovi u široj primjeni bambusa:

- **Otpornost na vlagu, plijesan i insekte** – Neobrađen bambus sklon je propadanju. Potrebna je pravilna obrada (npr. boraksem, toplinska obrada) kako bi se produžio njegov vijek trajanja.
- **Nedostatak normi i standarda u nekim zemljama** – Mnoge države još uvijek nemaju jasno definirane građevinske norme za bambus, što otežava njegovu upotrebu u formalnim projektima.
- **Percepcija materijala** – U nekim kulturama bambus se još uvijek povezuje s privremenim ili siromašnim konstrukcijama, što može ograničiti njegovu upotrebu u urbanim ili luksuznijim objektima.

### 6. Primjeri dobre prakse

Brojni primjeri širom svijeta pokazuju uspješnu primjenu bambusa u arhitekturi:

- **Zeleni kampusi i škole u Indoneziji (Green School Bali)** koriste bambus kao glavni konstruktivni element za zgrade koje su u potpunosti održive.
- **Zaha Hadid Architects** eksperimentirali su s bambusom u projektima za paviljone i inovativne strukture.
- **U Kolumbiji i Ekvadoru**, bambus (*Guadua angustifolia*) koristi se u društvenim i socijalnim projektima, osobito nakon potresa, jer je otporan na seizmička opterećenja.



## 2. SLAMA

---

### Slama u građevinarstvu: Tradicionalni materijal u službi moderne održivosti

Slama, jedan od najstarijih građevinskih materijala na svijetu, doživljava renesansu u sklopu održive gradnje i zelene arhitekture. Kao nusprodukt poljoprivredne proizvodnje (najčešće pšenice, raži, ječma, zobi), slama je prirodan, obnovljiv, jeftin i lako dostupan materijal koji, kada se pravilno koristi, nudi izvrsna izolacijska svojstva, dugotrajnost i vrlo nizak ugljični otisak. U kombinaciji s lokalnim i prirodnim materijalima poput drva, zemlje i vapna, slama postaje važan element kružne gradnje koja poštuje okoliš i korisnika.

#### 1. Građevinske karakteristike slame

Najčešće se koristi **balirana slama** – pravokutne bale slame koje su strojno prešane i zavezane špagom. Takve bale, ovisno o gustoći i načinu prešanja, imaju dovoljno čvrstoće da se koriste kao **nosivi zidni elementi (load-bearing)** ili kao **ispuna između drvenih okvira (infill)**. Sadržaj vlage mora biti manji od 20% kako bi se izbjeglo truljenje i razvoj plijesni.

Slama ima iznimno dobra **toplinska izolacijska svojstva**, s koeficijentom toplinske vodljivosti  $\lambda \approx 0,045 \text{ W/mK}$ , što je usporedivo s konvencionalnim izolacijskim materijalima poput mineralne vune. Također pruža dobru zvučnu izolaciju i otpornost na požar – što se često pogrešno dovodi u pitanje – jer kada je prešana u bale, gustoća zraka je niska, pa je teško zapaljiva, osobito kad je ožbukana.

#### 2. Tehničke i izvedbene metode

Slama se u graditeljstvu koristi kroz dvije glavne metode:

- **Nosiva konstrukcija od bala slame (load-bearing straw bale)**  
U ovoj metodi, same bale slame služe kao nosivi zidovi koji podupiru krov. Ova tehnika pogodna je za jednostavne jednokatnice, zahtijeva preciznu izvedbu i pažljivo dimenzioniranje, a prednost joj je u smanjenju količine drvene građe i jednostavnosti gradnje.
- **Ispuna između drvenih okvira (non-load-bearing / infill metoda)**  
Najčešće korištena metoda u Europi. Slama se umeće kao ispuna između drvenih konstrukcijskih elemenata, dok teret nosi drvena konstrukcija. Zidovi se zatim žbukaju vapnenim ili glinenim žbukama koje štite slamu od vlage i povećavaju njezinu otpornost na požar.

U obje metode, **završna obrada žbukom** ključna je za zaštitu i dugotrajnost. Preporučuju se paropropusne i prirodne žbuke poput vapnenih i glinenih, koje omogućuju "disanje" zida i održavanje ugodne unutarnje mikroklimе.

#### 3. Primjene u gradnji

Slama se koristi u različitim tipovima građevina:

- **Obiteljske kuće i vikendice** – najčešća primjena. Slama omogućuje visoku razinu energetske učinkovitosti i zdrav ambijent za stanovanje.
- **Zgrade za javnu i edukativnu namjenu** – škole, kulturni centri i društveni prostori diljem Europe koriste slamu u kontekstu ekološke edukacije i energetske neovisnosti.
- **Poljoprivredni objekti** – štale, skladišta i spremišta često se grade od slame zbog jednostavne izvedbe i dobre izolacije.
- **Prizemni i višekatni objekti** – iako rjeđe, postoje i višekatne zgrade koje koriste slamu, najčešće s drvenim ili čeličnim nosivim sustavima.

#### 4. Ekološke prednosti

Slama je materijal s izuzetno **niskom ugrađenom energijom** – energijom potrebnom za njezinu proizvodnju, obradu i transport. Kao nusprodukt, inače bi često završila kao otpad ili bila spaljena na poljima, čime bi doprinosila emisiji stakleničkih plinova.

Korištenjem slame u gradnji:

- **Sekvestrira se ugljik** – jedna bala slame može pohraniti i do 12 kg CO<sub>2</sub>.

- **Smanjuje se upotreba industrijskih materijala** poput betona, stiropora i mineralne vune.
- **Podržava se lokalna ekonomija** – slama je dostupna u većini ruralnih područja i ne zahtijeva uvoz.

Slama također doprinosi **zdravlju unutarnjeg prostora**, jer ne ispušta toksine ni hlapljive organske spojeve (VOC), što je čest problem kod sintetičkih izolacija.

### 5. Trajnost i otpornost

Iako često postoji sumnja u trajnost slame, iskustva iz prakse pokazuju da **dobro projektirane i izvedene građevine od slame mogu trajati desetljećima**, pa i više od 100 godina. Ključne pretpostavke su:

- **Zaštita od vlage** – pravilna konstrukcija krova, postava temeljne hidroizolacije i paropropusne žbuke.
- **Ventilacija** – kako bi se zidovi mogli prirodno sušiti.
- **Kvaliteta bala** – guste, suhe i bez znakova oštećenja.

Slama, iako organski materijal, ne privlači glodavce ako nije dostupna kao hrana – bale su prešane, bez zrna, a završna žbuka onemogućuje pristup.

### 6. Primjeri iz prakse

- **Francuska, Njemačka, Velika Britanija i Austrija** imaju razvijene sustave standardizacije i poticaje za gradnju od slame.
- U **Belgiji** i **Nizozemskoj**, cijeli stambeni blokovi i škole izrađeni su od bala slame.
- U **Hrvatskoj**, postoje primjeri obiteljskih kuća u Istri, Slavoniji i okolici Zagreba, koje su izrađene tradicionalno, ali prilagođene suvremenim standardima. Udruge poput “Eko kuće” i “Zelena gradnja” educiraju i promoviraju ovu praksu.

### 7. Izazovi i ograničenja

Iako ima brojne prednosti, slama u građevinarstvu nailazi na nekoliko izazova:

- **Regulativa i standardi** – u nekim zemljama ne postoje precizni građevinski standardi za slamene kuće, što otežava dobivanje dozvola.
- **Potreba za edukacijom izvođača** – pravilna gradnja od slame zahtijeva specifično znanje i pažljivu izvedbu.
- **Percepcija javnosti** – slama se često pogrešno doživljava kao siromašan ili nesiguran materijal.

Slama kao građevinski materijal spaja tradiciju i inovaciju, ekonomičnost i održivost, udobnost i estetsku vrijednost. U doba klimatskih izazova i rastuće potrebe za zelenim građevinama, ona nudi jednostavno, ali moćno rješenje za stvaranje zdravijih i energetski učinkovitih prostora. S obzirom na njezinu dostupnost, ekološke karakteristike i dokazane tehničke performanse, slama zaslužuje svoje mjesto u arhitekturi budućnosti – ne samo kao alternativa, već kao ravnopravan izbor.



### 3. KONOPLJA (HEMPECRETE)

---

Konoplja je jedna od najstarijih i najviše korištenih biljaka na svijetu, koja se koristi za izradu tekstila, hrane, papira, pa čak i građevinskih materijala. S obzirom na njezinu obnovljivost, visoku čvrstoću i nisku energetske-intenzivnu proizvodnju, konoplja se sve češće koristi u građevinskoj industriji, čineći je jednim od najperspektivnijih materijala u održivom građevinarstvu. U prošlim vremenima, konoplja je bila u širokoj upotrebi, ali je njezina primjena u modernoj gradnji doživjela obnovu tek u posljednjim desetljećima, kao odgovor na potrebu za ekološki prihvatljivim materijalima i održivim graditeljstvom.

#### 1. Građevinske karakteristike konoplje

Konoplja ima iznimno visoka mehanička svojstva, s vlaknima koja su snažnija od pamuka i konoplje, što je čini jednim od najjačih prirodnih materijala. Međutim, za graditeljske svrhe, najčešće se koristi **konopljina jezgra**, koja se prerađuje u **konopljin beton (hempcrete)**, materijal dobiven miješanjem konopljine jezgre s vapnenim vezivom. Taj kompozitni materijal ima niz prednosti:

- **Lagano i čvrsto** – Konopljin beton je izuzetno lagan, ali ima dovoljnu čvrstoću za nesamonosive zidne konstrukcije. Vlakna konoplje pomažu apsorbirati vlagu, čime sprječavaju rast plijesni i održavaju zdravo unutarne okruženje.
- **Visoka toplinska i zvučna izolacija** – Konoplja pruža izuzetnu izolaciju. Zgrade izgrađene od konoplje često se koriste u projektima gdje je energetska učinkovitost ključna. Koeficijent toplinske vodljivosti ( $\lambda$ ) konopljinog betona približava se vrijednostima poliesterskih izolacija, a zvučna izolacija je također izvrsna.
- **Otpornost na vlagu i plijesan** – Konoplja ima prirodne antiseptičke karakteristike koje smanjuju šanse za plijesan i bakterijske infekcije.
- **Ekološki prihvatljiv** – Za proizvodnju konoplje potrebno je vrlo malo kemikalija, a ona raste vrlo brzo. Ne zahtijeva pesticide ni herbicide, što čini njezinu proizvodnju ekološki prihvatljivom.

#### 2. Primjena u građevini

Konoplja se koristi na nekoliko načina u građevinarstvu, od kojih su najpoznatiji **hempcrete**, **izolacijski paneli** i **prirodni materijali za završnu obradu**. Primjena konoplje omogućuje smanjenje potrošnje energije, emisije CO<sub>2</sub> i upotrebe sintetičkih materijala.

- **Hempcrete (konopljin beton)**  
Konopljin beton koristi se za izgradnju zidova, podova, krovova i drugih nosivih dijelova objekta. Sastoji se od konopljine jezgre pomiješane s vapnom i vodom, stvarajući lagan i ekološki prihvatljiv materijal koji je istovremeno i čvrst i energetski učinkovit. Zbog svojih svojstava, konopljin beton se može koristiti u pasivnim kućama, niskoenergetskim zgradama i zgradama koje se grade po načelima održivog razvoja.
- **Izolacija i paneli od konoplje**  
Konoplja se koristi za izradu termoizolacijskih ploča i panela. Konopljina vlakna se prešaju u ploče koje se koriste kao izolacija za krovove, zidove i podove. Ova izolacija nudi izuzetnu zaštitu od toplinskih gubitaka, zadržavajući unutarnu temperaturu u zimskim mjesecima, a istovremeno održavajući hladnoću u ljetnim mjesecima. Izolacijski materijali od konoplje također reguliraju vlagu unutar prostora, čineći ga ugodnijim za življenje.
- **Završne obrade i žbuke**  
Konopljina vlakna se mogu koristiti kao dodatak u žbukama, što poboljšava njihovu čvrstoću, termička svojstva i otpornost na vlagu. Konopljina vlakna mogu biti sastavni dio ekoloških žbuka koje se koriste za prekrivanje zidova u pasivnim kućama i zgradama koje teže maksimalnoj energetske učinkovitosti.

### 3. Ekološke prednosti i održivost

Jedna od najvećih prednosti konoplje u građevini je njezina **održivost**. Uz  **smanjenje ugljičnog otiska i redukciju potrošnje energije**, konoplja nudi nekoliko ekoloških prednosti:

- **Brzi rast i obnova** – Konoplja je biljka koja raste vrlo brzo. Za razliku od drveća koje treba desetke godina da dostigne punu zrelost, konoplja se može ubrati nakon samo 4 mjeseca. Osim toga, konoplja se može ubrati više puta s istog zemljišta bez iscrpljivanja resursa.
- **Sekvestracija ugljika** – Konoplja upija značajnu količinu CO<sub>2</sub> iz atmosfere tijekom svog rasta, što čini konoplju izuzetno važnim materijalom za smanjenje emisija ugljičnog dioksida. Korištenje konoplje u građevini može značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova.
- **Biorazgradivost** – Konoplja je potpuno biorazgradiva, što znači da ne stvara dugoročni okolišni otpad. Za razliku od sintetičkih materijala, konoplja se može reciklirati, a na kraju svog životnog ciklusa potpuno se raspada, vraćajući hranjive tvari u tlo.

### 4. Zdravlje i udobnost

Konoplja ima pozitivne učinke na zdravlje unutarnjeg prostora. Materijali od konoplje omogućuju **dobre uvjete za ventilaciju**, smanjujući rizik od plijesni i vlage. Također, **prirodno regulira vlagu** u prostoriji, čime se smanjuje rizik od alergija i respiratornih bolesti. Korištenje konoplje u gradnji također smanjuje izloženost toksičnim kemikalijama koje se često nalaze u industrijskim građevinskim materijalima.

### 5. Primjeri upotrebe konoplje u svijetu

Konoplja se koristi diljem svijeta u projektima zelene gradnje. Primjeri uključuju:

- **Nizozemska** – U Amsterdamu, konoplja se koristi u projektima energetski učinkovitih zgrada, gdje služi kao izolacija i u strukturalnim komponentama zgrada.
- **Francuska** – U Parizu, konopljin vlakna koriste se za izradu inovativnih materijala za izgradnju ekoloških kuća.
- **Kanada i Sjedinjene Američke Države** – U nekim ruralnim područjima, konoplja se koristi za izgradnju niskoenergetskih kuća i u poljoprivrednim zgradama zbog svojih termoizolacijskih svojstava.

### 6. Izazovi u primjeni konoplje

Unatoč brojnim prednostima, postoje i izazovi u širenju primjene konoplje:

- **Visoka početna cijena** – Iako su dugoročne uštede značajne, početna cijena konoplje može biti viša od tradicionalnih materijala.
- **Potrebna edukacija** – Korištenje konoplje zahtijeva specifične vještine i znanje, osobito u pripremi konopljinog betona i obradama.
- **Standardizacija** – Potrebno je razviti jasne norme i standarde koji omogućuju masovnu primjenu konoplje u gradnji.

Konoplja predstavlja izuzetno održiv, ekološki prihvatljiv i svestran materijal za gradnju budućnosti. Njezin brzi rast, sposobnost sekvestracije ugljika, niska energetska potrošnja u proizvodnji i odlična mehanička svojstva čine je ključnim resursom u borbi protiv klimatskih promjena i za održivu gradnju. U kombinaciji s drugim prirodnim materijalima, poput slame, drva i zemlje, konoplja omogućuje izgradnju energetski učinkovitih, zdravih i dugotrajnijih građevinskih objekata.

## 4. GLINA

---

Glina je jedan od najstarijih građevinskih materijala poznatih čovjeku. Korištena tisućama godina u gotovo svim klimatskim zonama, glina danas doživljava svojevrsnu renesansu, osobito u kontekstu održivog graditeljstva. Osim što je ekološki prihvatljiva, glina je lokalno dostupna, obnovljiva, lako obradiva i nudi iznimne mikroklimatske i estetske prednosti. Moderni pristupi građenju sve više prepoznaju njezin puni potencijal, kako u konstrukcijskim tako i u završnim obradama.

### 1. Svojstva gline kao građevinskog materijala

Glina je **sedimentna stijena** nastala trošenjem stijena koje se sastoje od sitnih čestica (najčešće manjih od 0,002 mm). U graditeljstvu se koristi **siromašna glina** s određenim udjelom pijeska i praha, kako bi se postigla stabilnost i lakša obradivost.

Karakteristike koje je čine idealnom za ekološku gradnju:

- **Paropropusnost** – omogućuje „disanje“ zidova, regulaciju vlage i sprječavanje nastanka plijesni.
- **Termička masa** – zbog visoke toplinske akumulacije stabilizira unutarnju temperaturu prostora.
- **Zvučna izolacija** – prigušuje zvukove i doprinosi tihoj unutarnjoj sredini.
- **Biorazgradivost** – na kraju životnog vijeka građevine, glina se može vratiti prirodi bez štetnog otpada.
- **Netoksičnost** – ne sadrži štetne tvari, ne emitira VOC spojeve i pogodna je za osobe osjetljive na alergene.

### 2. Načini primjene gline u građevinarstvu

Glina se u gradnji koristi na različite načine – od konstrukcijskih materijala do završnih obloga.

#### A) Nabijena zemlja (rammed earth)

Jedna od najstarijih metoda gradnje gdje se siromašna glina miješa s pijeskom i šljunkom, zatim se nabija u oplatu sloj po sloj. Rezultat su čvrsti zidovi velike toplinske mase i dojmrljive teksture.

**Prednosti:**

- iznimna dugotrajnost (neke građevine stoje i preko 500 godina),
- otpornost na vatru, vlagu i štetnike,
- spektakularan vizualni efekt slojevitosti.

#### B) Cigle od sirove gline (adobe)

Blokovi izrađeni od mješavine gline, pijeska, vode i biljnog vlakna (npr. slame), suše se na suncu i koriste kao zidni materijal. Ova tehnika je jednostavna i dostupna za samograditelje, osobito u sušim klimama.

**Primjena:** obiteljske kuće, pomoćne zgrade, pa čak i višekatnice (u kombinaciji s drvom).

#### C) Glinene žbuke

Glinene žbuke koriste se kao završna obrada zidova i stropova, bilo na slamnatim, drvenim, ciglenim ili betonskim površinama. Ovisno o granulaciji, boji i vrsti gline, moguće je ostvariti raznolike estetske efekte.

**Slojevi:**

1. Grubi (prijanjajući sloj) – mješavina s više pijeska i vlakana,
2. Srednji (nivelirajući sloj),
3. Završni sloj – često s pigmentima, glatke ili teksturirane površine.

**Prednosti:**

- regulacija vlage i topline,
- prirodna ljepota bez boja i lakova,

- lako popravljive i reciklirajuće.

#### D) Glina kao punilo i termoizolacija

Pomiješana s drvnom sječkom, piljevinom, slamom ili konopljom, glina se koristi kao prirodna izolacija u podovima i zidovima. Takvi materijali imaju dobru toplinsku i zvučnu izolaciju, a zadržavaju prirodnu paropropusnost.

#### 3. Ekološke i zdravstvene prednosti

- **Lokalna dostupnost** – glina se može vaditi na licu mjesta, čime se smanjuju troškovi i emisije povezane s transportom.
- **Niska ugrađena energija** – njezina obrada ne zahtijeva visoke temperature, za razliku od cementa i opeke.
- **Regulacija klime u prostoru** – zidovi od gline mogu apsorbirati i otpuštati vlagu te tako održavati idealnu relativnu vlažnost zraka (40–60%), što je ključno za zdravlje dišnog sustava.
- **Antialergijska svojstva** – ne sadrži štetne kemikalije i ne emitira štetne spojeve (VOC), što je važno za djecu, starije i osobe osjetljive na toksine.

#### 4. Održiva gradnja i kružno gospodarstvo

Jedna od najvećih prednosti gline je to što se **može ponovno koristiti** – sušeni materijal se može namočiti i ponovno primijeniti. U kontekstu kružnog gospodarstva, glina je primjer potpuno reciklabilnog materijala s minimalnim okolišnim otiskom.

U kombinaciji sa slamom, drvom i vapnom, glina postaje temelj zdravih, energetski učinkovitih i vizualno atraktivnih građevina.

#### 5. Primjeri iz prakse

- **Njemačka, Austrija i Francuska** prednjače u sustavnoj uporabi gline u graditeljstvu, uključujući u školama, uredima i javnim zgradama.
- U **Švicarskoj**, novi val arhitekata poput Anna Heringer i Martin Rauch revitalizira glinenu arhitekturu kroz suvremene projekte.
- U **Hrvatskoj**, sve više pojedinaca i udruga (npr. Reciklirano imanje Vukomerić) promoviraju gradnju od prirodnih materijala, uključujući glinu, u kombinaciji s lokalnim znanjima i novim tehnologijama.

#### 6. Izazovi i ograničenja

- **Otpornost na vlagu** – glina je osjetljiva na dugotrajnu vlagu ako nije pravilno zaštićena (npr. širokim krovovima, podignutim temeljima, zaštitnim žbukama).
- **Tehnička regulativa** – unatoč tradiciji, u nekim zemljama, uključujući Hrvatsku, i dalje nedostaju standardizirani tehnički propisi za masovnu primjenu gline.
- **Percepcija javnosti** – još uvijek postoji predrasuda da je glina “primitivan” ili “kratkotrajni” materijal, što nije točno kada se pravilno koristi.

Glina je izniman građevinski materijal koji kombinira ekološke, funkcionalne i estetske prednosti. Korištenjem gline moguće je graditi zdrave, energetski učinkovite i dugotrajne zgrade koje su potpuno u skladu s načelima održive arhitekture. Njezin povratak u suvremeno graditeljstvo ne znači korak unatrag, već **povezivanje tradicije s tehnologijom i prirode s inovacijom**. Upravo u tome leži njezina snaga – u jednostavnosti koja nadilazi vrijeme.

## 5. RECIKLIRANI ČELIK

---

Čelik je jedan od najčešće korištenih materijala u građevinarstvu zahvaljujući svojoj iznimnoj čvrstoći, izdržljivosti i svestranosti. No, njegova proizvodnja iz primarnih sirovina – rude željeza, ugljena i vapnenca – izrazito je energetska intenzivna i odgovorna za značajne emisije stakleničkih plinova. U kontekstu globalnih napora za dekarbonizaciju građevinskog sektora, **reciklirani čelik** postaje ključan materijal za postizanje održivosti, kružnog gospodarstva i smanjenja negativnog utjecaja na okoliš.

Reciklirani čelik nije zamjena u funkcionalnom smislu – on zadržava sva mehanička svojstva primarnog čelika, ali uz znatno manji ugljični otisak, što ga čini **jednim od najvažnijih materijala u održivoj gradnji**.

### 1. Osnovne karakteristike recikliranog čelika

Čelik se može **beskonačno reciklirati bez gubitka kvalitete**, što je rijetka osobina među građevinskim materijalima. U Europskoj uniji, više od 90% čelika iz rušenih objekata završava u procesu recikliranja. Za razliku od primarne proizvodnje, koja koristi visoke peći, **reciklirani čelik se proizvodi u električnim lučnim pećima (EAF)**, pri čemu se koristi do 100% otpadnog metala i troši do 75% manje energije.

#### Ključne prednosti:

- identična čvrstoća i otpornost kao primarni čelik,
- drastično niža emisija CO<sub>2</sub> (do 80% manje),
- niža cijena proizvodnje u ciklusima većeg opsega,
- jednostavno razvrstavanje, obrada i ponovno korištenje.

### 2. Primjene recikliranog čelika u građevinarstvu

Reciklirani čelik ima široku primjenu u građevinskoj industriji, od nosivih konstrukcija do završnih detalja. Njegova preciznost, mogućnost prefabrikacije i otpornost na požar i potrese čine ga idealnim za različite tipove građevina.

#### a) Konstrukcijski elementi

U visokoj gradnji, mostogradnji i industrijskim halama, reciklirani čelik se koristi za:

- **nosive okvire** – grede, stupove i rešetkaste konstrukcije,
- **armaturne šipke** (tzv. rebar) – za armirani beton,
- **sustave suhe montaže** – čelične profile u gips-kartonskim pregradama.

Čelične konstrukcije omogućuju **bržu gradnju, lakšu demontažu i veću fleksibilnost u tlocrtima**, a uz to podržavaju cirkularni dizajn jer se dijelovi mogu ponovno upotrijebiti ili reciklirati na kraju životnog vijeka zgrade.

#### b) Krovne i fasadne obloge

Tankostijeni limovi i paneli izrađeni od recikliranog čelika koriste se za:

- **fasadne obloge** – često perforirane, u raznim završnim obradama,
- **krovne panele i ploče** – valoviti lim, trapezni lim i sendvič paneli,
- **ventilirane fasade i sustavi zasjenjivanja**.

Ovi elementi doprinose energetske učinkovitosti objekta, a čelik može biti dodatno obrađen da postane otporan na koroziju i UV zračenje.

#### c) Modularna i montažna gradnja

Reciklirani čelik je izuzetno pogodan za **prefabrikaciju i montažne sustave**, jer omogućuje serijsku proizvodnju i brzu montažu na terenu. U suvremenoj modularnoj arhitekturi koristi se za izradu čeličnih modula, potkonstrukcija i spremnih objekata (npr. kontejnerski smještaj, mobilne kuće, paviljoni).

#### d) Završni elementi i detalji

Reciklirani čelik koristi se i za unutarnje elemente:

- **stubišta i rukohvate**,

- **pregradne zidove i konstrukcije za instalacije,**
- **dizajnerske detalje** u interijerima i urbanim prostorima (npr. ograde, stalci, tende).

### 3. Ekološke i gospodarske prednosti

Korištenje recikliranog čelika ima izravan utjecaj na okoliš, ali i na ekonomsku učinkovitost projekata:

- **Smanjenje emisija stakleničkih plinova** – reciklirani čelik značajno smanjuje emisije CO<sub>2</sub> u fazi proizvodnje. Za svaku tonu recikliranog čelika uštedi se oko 1,5 tone CO<sub>2</sub>.
- **Niža potrošnja energije i resursa** – reciklirana proizvodnja troši i do 75% manje energije od primarne.
- **Manje otpada i promicanje kružnog gospodarstva** – stari čelik se ne odbacuje, već vraća u sustav.
- **Lokalna dostupnost i niži transportni troškovi** – metalni otpad se može prikupiti i preraditi lokalno, što smanjuje potrebu za uvozom i troškovima logistike.

Uvođenje recikliranog čelika u projekte može pomoći pri **dobivanju zelenih certifikata** kao što su LEED, BREEAM ili DGNB.

### 4. Održivost u praksi: primjer kružnog projektiranja

Reciklirani čelik se savršeno uklapa u filozofiju **“design for disassembly”** – projektiranja zgrada koje se mogu lako rastaviti i reciklirati. Sve više arhitekata i investitora nastoji koristiti čelične sustave koji omogućuju:

- ponovno korištenje bez obrade (npr. grede, limovi),
- označavanje materijala radi lakše reciklaže,
- spajanje elemenata vijcima umjesto zavarivanja radi brže demontaže.

Takve prakse produljuju životni ciklus materijala, čine projekte fleksibilnijima i otvaraju mogućnosti za **sekundarno tržište građevinskih komponenti**.

### 5. Izazovi i ograničenja

Unatoč brojnim prednostima, postoje i određeni izazovi u širem prihvaćanju recikliranog čelika:

- **Kontrola kvalitete i sastava** – ovisno o izvoru otpada, moguće su nečistoće koje zahtijevaju dodatno taljenje i filtriranje.
- **Cijena i tržište** – cijena recikliranog čelika ovisi o ponudi, potražnji i kvaliteti otpada, što može biti nestabilno.
- **Potrebna infrastruktura** – učinkovito recikliranje zahtijeva razvijenu logistiku, sortiranje, postrojenja i regulativu.

Unatoč tome, razvoj tehnologije i rastući pritisak na dekarbonizaciju sektora dovode do ubrzanog razvoja tržišta recikliranog čelika.

Reciklirani čelik predstavlja savršen spoj funkcionalnosti, otpornosti i održivosti. Njegova sposobnost beskonačnog recikliranja bez gubitka kvalitete čini ga jednim od ključnih materijala za budućnost građevinarstva. U kontekstu kružnog gospodarstva, zelene gradnje i klimatske odgovornosti, reciklirani čelik je mnogo više od tehničkog rješenja – on je strateški izbor za graditelje koji žele ostaviti pozitivan trag u prostoru i vremenu.

## 6. RECIKLIRANO DRVO

---

Drvo je jedan od najstarijih i najčešće korištenih građevinskih materijala u povijesti čovječanstva. Iako je prirodno obnovljiv resurs, neodrživa sječa šuma, klimatske promjene i rast potrošnje doveli su do potrebe za alternativnim rješenjima. Jedno od najodrživijih rješenja jest **reciklirano drvo** – materijal dobiven preradom i ponovnim korištenjem već iskorištenog drva iz raznih izvora. U kontekstu zelene gradnje, reciklirano drvo nudi spoj ekološke odgovornosti, estetske vrijednosti i tehničke funkcionalnosti.

### 1. Što je reciklirano drvo?

Reciklirano drvo odnosi se na **drvo koje je prethodno bilo u upotrebi**, najčešće u obliku:

- starih greda, dasaka i podova iz rušenih kuća, skladišta, štala i tvorničkih hala,
- otpadnog namještaja,
- paleta i ambalažnog materijala,
- viškova iz pilana i tvornica namještaja.

Za razliku od obnovljenog drva (koje se samo obrađuje), reciklirano drvo može se **preformirati, rekonstruirati ili koristiti u kompozitnim materijalima**, ovisno o stupnju oštećenja i načinu obrade. Važno je naglasiti da se prije ponovne uporabe drvo mora pregledati, obraditi (brušenje, sušenje, dezinfekcija) i često certificirati za sigurnost i mehaničku pouzdanost.

### 2. Primjena recikliranog drva u građevinarstvu

Reciklirano drvo koristi se u nizu građevinskih i interijerskih rješenja – kako u nosivim, tako i u dekorativnim komponentama.

#### a) Konstrukcijski elementi i okviri

U tradicionalnim i suvremenim projektima, staro drvo, osobito **masivne grede od hrasta, jele, smreke ili bora**, koristi se za:

- krovne grede i rogove,
- stropne grede u rustikalnim i industrijskim prostorima,
- vanjske i unutarnje okvire, pergole, nadstrešnice.

Starije drvo često ima **bolju gustoću, manju osjetljivost na uvijanje i bolju otpornost na vlagu**, osobito ako je bilo stoljećima izloženo. To ga čini osobito vrijednim u obnovi kulturne baštine i restauracijskim projektima.

#### b) Podne i zidne obloge

Jedna od najčešćih primjena recikliranog drva je u:

- **podnim oblogama** (parketi, daske),
- **zidnim i stropnim panelima**,
- **fasadnim oblogama** (osobito kod drva s prirodnom patinom).

Ovakve površine odišu karakterom i unikatnošću jer svaka daska nosi tragove prošlog vremena – od sitnih pukotina, boja do izbljedjelih tonova. U kombinaciji s modernim materijalima, stvaraju kontrast koji je danas vrlo tražen u **biofilnom i industrijskom dizajnu**.

#### c) Namještaj i elementi interijera

Reciklirano drvo koristi se za izradu:

- stepenica i rukohvata,
- kuhinjskih ploča i stolova,
- ormarića, polica i kreveta,
- dekorativnih zidnih panela, obloga i stropnih greda.

Takvi komadi često imaju **visoku estetsku i emocionalnu vrijednost**, pogotovo ako su ručno izrađeni i dolaze iz zgrada s povijesnim kontekstom.

#### d) Vanjski prostori i urbani elementi

Otporno reciklirano drvo (npr. staro brodsko drvo) koristi se za:

- **terase i decking** sustave,
- vrtne konstrukcije (klupe, sjenice),
- ograde, drvene staze i drvene obloge na pročeljima.

U vanjskim uvjetima važno je da reciklirano drvo bude **zaštićeno prirodnim uljima ili voskovima**, a ne kemikalijama, kako bi se sačuvala njegova održiva vrijednost.

### 3. Ekološke i gospodarske prednosti

Korištenjem recikliranog drva ostvaruju se višestruke koristi za okoliš i društvo:

- **Smanjenje sječe stabala** – svaka tona ponovno upotrijebljenog drva štedi više kubičnih metara šume.
- **Manje otpada i emisija** – drvo koje bi završilo na otpadu ili bilo spaljeno vraća se u sustav bez dodatne emisije CO<sub>2</sub>.
- **Manja potrošnja energije** – za reciklažu i obradu drva troši se neusporedivo manje energije nego za proizvodnju novih materijala (beton, plastika, čelik).
- **Očuvanje baštine i identiteta prostora** – stara drva iz lokalnih izvora često imaju simboličku i emocionalnu vrijednost, osobito u revitalizaciji starih zgrada.
- **Niži troškovi materijala** – iako može zahtijevati više ručne obrade, reciklirano drvo često je povoljnije od novog, osobito u većim količinama ili kad se koristi u gotovim panelima.

### 4. Tehnički izazovi i rješenja

Uporaba recikliranog drva zahtijeva pažljivu pripremu i poznavanje mogućih izazova:

- **Prisustvo čavala i metala** – mora se detektirati i ukloniti radi sigurnosti pri obradi.
- **Varijabilna kvaliteta i dimenzije** – često nije standardizirano, pa se mora prilagoditi na licu mjesta.
- **Oštećenja i trošnost** – kod nosivih elemenata potrebno je dodatno testiranje čvrstoće.
- **Kemijska obrada iz prošlosti** – staro drvo može biti tretirano toksinima (npr. olovne boje), pa je potrebna analiza i dekontaminacija ako se koristi u zatvorenom prostoru.

Zato je preporučljivo koristiti reciklirano drvo koje dolazi od **certificiranih proizvođača** koji provode obradu, kontrolu i dokumentaciju prema važećim standardima.

### 5. Uloga u kružnoj i održivoj gradnji

Reciklirano drvo savršeno se uklapa u načela **kružnog gospodarstva** jer produljuje životni vijek materijala, omogućuje ponovnu upotrebu i smanjuje pritisak na prirodne resurse. U suvremenoj praksi sve se više koristi u projektima koji žele ostvariti:

- **nZEB (nearly Zero Energy Building)** ciljeve,
- **zelene certifikate** (LEED, BREEAM),
- **niskouglične strategije** u javnim i privatnim zgradama.

U nekim slučajevima, korištenje recikliranog drva postaje i **estetski potpis projekta**, jer se unikatnost i nepravilnosti materijala percipiraju kao dodana vrijednost.

Reciklirano drvo u građevinarstvu predstavlja spoj tradicije, održivosti i suvremenog dizajna. Ono ima dušu prošlosti, ali i jasnu ulogu u budućnosti gradnje – kao materijal koji ne iscrpljuje prirodu, već joj se vraća. Njegova upotreba omogućuje realizaciju prostora koji su ne samo funkcionalni, već i emocionalno i ekološki vrijedni. U vremenu kad tražimo pametnija rješenja za izazove klimatskih promjena, reciklirano drvo stoji kao **tiha, ali snažna** komponenta arhitekture otpornosti i odgovornosti.

## 7. Pluto

### Pluto u građevinarstvu: Održivost, izolacija i prirodna elegancija

Pluto, prirodni materijal dobiven iz kore hrasta plutnjaka (*Quercus suber*), stoljećima se koristi u raznim industrijama, ali tek u novije vrijeme doživljava punu afirmaciju u građevinskom sektoru.

Njegove jedinstvene karakteristike – elastičnost, toplinska i zvučna izolacija, otpornost na vlagu i plijesan, antialergijska svojstva te sposobnost upijanja CO<sub>2</sub> – čine ga iznimno vrijednim materijalom u kontekstu održive gradnje. Osim toga, riječ je o materijalu koji se dobiva **bez sječe stabla**, čime predstavlja izvanredan primjer regenerativnog korištenja prirodnih resursa.

### 1. Svojstva pluta kao građevinskog materijala

Pluto je lagan, elastičan i izuzetno porozan materijal – 50% njegovog volumena čini zrak zatvoren u mikroćelije. Ova struktura mu omogućuje iznimna fizikalna i izolacijska svojstva:

- **Toplinska izolacija** – niska toplinska vodljivost ( $\lambda \approx 0,037-0,040$  W/mK) čini ga odličnim izolatorom za zidove, podove i krovove.
- **Zvučna izolacija** – pluto upija vibracije i buku, te se koristi u sustavima za akustičnu izolaciju.
- **Otpornost na vlagu i plijesan** – prirodna voštana supstanca (suberin) čini pluto vodoodbojnim i otpornim na mikroorganizme.
- **Otpornost na vatru** – iako je prirodni materijal, pluto ima visoku točku zapaljenja i ne otpušta toksične plinove.
- **Biološka neutralnost** – ne privlači insekte ni glodavce, antialergijski je i bez emisije štetnih spojeva (VOC).

Zbog ovih karakteristika, pluto je idealan materijal za zdrave, energetske učinkovite i dugotrajne građevine.

### 2. Oblik i formati u kojima se koristi u gradnji

Pluto se u građevinarstvu najčešće koristi u sljedećim oblicima:

- **Eksandirano pluto (crno pluto)** – izrađuje se termičkom obradom granulata bez dodatnih veziva. Koristi se za toplinsku i zvučnu izolaciju, posebno u ekološkim kućama.
- **Agglomerirani paneli** – komprimirani granulati s dodatkom prirodnih smola koriste se za zidne i podne obloge, stropove i dekorativne elemente.
- **Plutene ploče i rolo materijali** – tanke ploče ili valjci koriste se kao podloge za parkete, laminat ili keramičke pločice.
- **Dekoratívne obloge i 3D paneli** – često korišteni u interijerima zbog estetskog dojma, taktilnosti i akustičnih svojstava.

### 3. Primjene u građevinarstvu

#### a) Termoizolacija zidova, podova i krovova

Pluto se koristi za **unutarnju i vanjsku izolaciju zidova**, posebno kod niskoenergetskih i pasivnih kuća. Zahvaljujući svojoj sposobnosti da „diše“, omogućuje regulaciju vlage bez gubitka toplinske učinkovitosti. Idealno je rješenje i za **izolaciju podova**, jer pruža elastičnost, ublažava udarce i štiti od hladnoće iz tla.

Kod krovova, koristi se ispod završnog sloja, jer **podnosi ekstremne temperaturne razlike** i pridonosi stabilnosti unutarnje klime.

#### b) Akustična izolacija

Zbog elastične strukture i sposobnosti upijanja vibracija, pluto je iznimno učinkovit **materijal za smanjenje buke** – bilo da je riječ o zvuku udaraca (stepene buke) ili prostornoj akustici. Koristi se:

- u zidovima između stanova,
- kao podna podloga ispod parketa ili keramičkih pločica,
- u studijima, kinima, dvoranama i školama.

#### c) Završne podne i zidne obloge

Plutene obloge dostupne su u mnogim bojama i uzorcima – od prirodnih do obrađenih varijanti koje imitiraju drvo, beton ili kamen. Kao **podna obloga**, pluto je topliji i tiši od klasičnog laminata, a pruža i veću udobnost prilikom hodanja. U **zidnim aplikacijama**, koristi se kao dekorativni i akustični panel u uredima, hotelima, učionicama i kućnim interijerima.

#### d) Izolacija u montažnim i modularnim objektima

Pluto je izuzetno lagan, što ga čini idealnim za **prefabrikaciju i montažnu gradnju**. Koristi se kao izolacija u sendvič panelima, mobilnim kućama, kamp kućicama i kontejnerskim objektima. Njegova otpornost na vlagu i biološku razgradnju čini ga pogodnim i za sanitarne prostore, kuhinje i kupaonice.

#### 4. Ekološke i društvene prednosti

Pluto je jedan od najodrživijih građevinskih materijala:

- **Regenerativna sirovina** – kora hrasta plutnjaka ljušti se svakih 9–12 godina bez oštećenja stabla, koje može živjeti i do 200 godina.
- **Sekvestracija CO<sub>2</sub>** – plutnjaci apsorbiraju i do 5 puta više CO<sub>2</sub> nakon svake berbe, čime pomažu u borbi protiv klimatskih promjena.
- **Bez otpada** – svi dijelovi kore se iskorištavaju, a proizvodnja se odvija s vrlo niskom potrošnjom energije.
- **Podržava lokalne zajednice** – najviše pluta dolazi iz Portugala, Španjolske i sjeverne Afrike, gdje je proizvodnja tradicionalna i ekonomski važna za ruralne zajednice.

Korištenje pluta u građevini doprinosi **postizanju zelenih certifikata** (LEED, BREEAM, DGNB) i ciljeva kružnog gospodarstva.

#### 5. Izazovi i ograničenja

Unatoč brojnim prednostima, pluto ima i određena ograničenja:

- **Viša cijena** – u usporedbi s konvencionalnim izolacijama (npr. stiropor, mineralna vuna), pluto je skuplje po m<sup>2</sup>, no to se nadoknađuje kroz dugotrajnost i dodatne prednosti.
- **Dostupnost u većim količinama** – u nekim regijama potrebna je uvozna logistika.
- **Potreba za pravilnim ugradnjom** – za optimalna svojstva (npr. u akustici) važno je pridržavati se propisanih slojeva i tehnika ugradnje.

Pluto je izvanredan prirodni materijal koji u sebi spaja funkcionalnost, estetiku i održivost. Njegova sposobnost da štiti od buke, topline, vlage i plijesni, uz ugodnu taktilnost i prirodnu ljepotu, čini ga idealnim izborom za sve koji žele graditi ili renovirati na zdrav, ekološki i dugotrajan način. U eri u kojoj se traže **niskoenergetska rješenja, kružno gospodarstvo i zdraviji prostori**, pluto zauzima važno mjesto kao materijal **budućnosti – koji dolazi iz prošlosti**.



## 7. OVČJA VUNA

---

### Ovčja vuna u građevinarstvu: Topla, prirodna i održiva izolacija

Ovčja vuna, jedan od najstarijih i najprirodnijih materijala koje čovjek koristi, u posljednjim desetljećima sve više dobiva priznanje i u građevinskom sektoru, posebno u kontekstu održive gradnje. Riječ je o materijalu koji se tradicionalno koristi za izradu odjeće i tekstila, ali zbog svojih iznimnih toplinskih, zvučnih i higroskopskih svojstava, ovčja vuna postaje sve traženiji izbor za **ekološku izolaciju zgrada**. Osim što se radi o obnovljivom i biorazgradivom resursu, korištenjem ovčje vune u građevinarstvu istovremeno se podupire lokalno stočarstvo i smanjuje količina otpada u ruralnim zajednicama.

#### 1. Fizikalna i tehnička svojstva ovčje vune

Ovčja vuna se sastoji od keratinskih vlakana koja imaju sposobnost savijanja, rastezanja, upijanja i otpuštanja vlage bez gubitka izolacijskih svojstava. Ta vlakna su prirodno uvijena i među sobom tvore zračne džepiće koji zadržavaju toplinu i prigušuju zvuk.

##### Ključna svojstva:

- **Toplinska izolacija:**  $\lambda \approx 0,035-0,045$  W/mK  
Slično kao staklena vuna ili konvencionalne izolacije, ali uz prirodnu regulaciju vlage.
- **Regulacija vlage:** Može apsorbirati i do 33% vlastite mase u vodi, bez gubitka izolacijskih svojstava – što smanjuje kondenzaciju i rizik od plijesni.
- **Zvučna izolacija:** Odlična sposobnost apsorpcije buke, osobito za frekvencije govora i kućanskih uređaja.
- **Otpornost na vatru:** Kada je tretirana prirodnim sredstvima (npr. boratima), vuna postaje teško zapaljiva (klasa E ili C prema europskim normama).
- **Antibakterijska i antialergijska svojstva:** Prirodni lanolin djeluje antimikrobno, a materijal ne sadrži toksične spojeve (VOC).

#### 2. Priprema i oblik proizvoda

Ovčja vuna se za potrebe gradnje prerađuje i obrađuje na specifičan način:

- **Pranje i čišćenje** – uklanjanje prljavštine, lanolina, bakterija i organskih tvari.
- **Mehaničko češljanje** – kako bi se dobila jednolična struktura vlakana.
- **Tretiranje protiv moljaca i zapaljivosti** – najčešće se koriste netoksične otopine borata.
- **Formiranje u proizvode:**
  - **Ploče** različite gustoće za zidove, stropove i krovove,
  - **Rolo izolacija** za podove i kosine,
  - **Labavi filc** za ispunu teško dostupnih mjesta.

Ovčja vuna se često kombinira s prirodnim vezivima (poput lateksa) ili se koristi u čistom obliku (100% vuna), što ovisi o namjeni i proizvođaču.

#### 3. Primjena u građevinskim sustavima

##### a) Zidna izolacija

Ovčja vuna se koristi za **ispunu vanjskih i unutarnjih zidova**, bilo da je riječ o masivnim zgradama (sustav ETICS) ili drvenim konstrukcijama (SIP paneli, skeletni sustavi). Postavlja se između greda, unutar okvira, a često i kao dodatna izolacija s unutarnje strane zidova u postojećim objektima.

##### b) Krovna izolacija

U krovovima s kosinama, vuna se ugrađuje između rogova, kao i ispod dodatne letvene konstrukcije. Idealna je za sanaciju tavana i rekonstrukcije potkrovlja jer diše i smanjuje rizik od pregrijavanja ljeti.

##### c) Podna izolacija

Koristi se kao **zvučna i toplinska barijera** ispod drvenih podova, plivajućih podloga i čak ispod estriha. Vuna ublažava udarce, smanjuje šumove i daje osjećaj ugone prilikom hoda.

#### d) Akustična rješenja

Zbog sposobnosti apsorpcije zvučnih valova, koristi se u:

- glazbenim studijima i učionicama,
- uredima i konferencijskim dvoranama,
- zidovima između stanova ili soba u kućama.

#### 4. Ekološke i društvene prednosti

##### Održivost:

- **Obnovljivi resurs:** Ovce se šišaju svake godine – proizvodnja vune ne šteti životinji ni okolišu.
- **Niska ugrađena energija:** Za razliku od sintetičkih izolacija, proizvodnja vune troši minimalno energije.
- **Biorazgradivost i mogućnost reciklaže:** Na kraju vijeka trajanja, vuna se može kompostirati ili ponovno preraditi.
- **Lokalna dostupnost:** U mnogim zemljama (uključujući Hrvatsku), vuna iz manjih stočarskih gospodarstava često se baca – njezinom uporabom podupiru se lokalne zajednice i gospodarstva.

##### Zdravlje i udobnost:

- Vuna ne ispušta štetne tvari, za razliku od mineralne vune koja može izazvati iritacije kože i dišnih puteva.
- Pogodna je za osobe s alergijama i osjetljivim dišnim sustavom.
- Regulira vlagu u prostoru, poboljšavajući kvalitetu zraka i mikroklimu.

#### 5. Izazovi i rješenja u primjeni

Unatoč brojnim prednostima, postoje i specifični izazovi:

- **Viša cijena u odnosu na konvencionalne izolacije** – no dugoročne energetske uštede i zdraviji interijer opravdavaju ulaganje.
- **Percepcija kao "mekog" materijala** – korisnici ponekad pogrešno smatraju da nije dovoljno čvrst, iako je otpornost na deformacije visoka ako se koristi u pravilnom obliku (npr. ploče od prešane vune).
- **Zaštita od štetnika** – neprerađena vuna može privlačiti moljce, no tretirana vuna je zaštićena i potpuno sigurna.
- **Standardizacija i certifikacija** – u nekim regijama još uvijek nije široko prihvaćena u građevinskim normama, iako brojni proizvođači imaju CE i Natureplus certifikate.

#### 6. Inspirativni primjeri iz prakse

- **Austrija i Njemačka** – vuna se koristi u projektima pasivne gradnje, školama, vrtićima i turističkim objektima (eko-hoteli, planinske kolibe).
- **Francuska i Velika Britanija** – razvijene su inicijative koje otkupljuju višak vune od lokalnih uzgajivača i prerađuju je za ekološku gradnju.
- **Hrvatska** – postoji potencijal u Dalmaciji, Lici i Gorskom kotaru gdje se ovce tradicionalno uzgajaju, ali se vuna često ne koristi. Održivi projekti u ruralnim sredinama mogli bi iskoristiti taj potencijal u obnovi i novogradnji.

Ovčja vuna predstavlja savršen primjer materijala koji spaja **prirodu, tradiciju i suvremenu tehnologiju**. Kao obnovljiva, zdrava i učinkovita izolacija, pruža ne samo termičku i zvučnu zaštitu, već i osjećaj topline i povezanosti s prirodom. U kontekstu zelene gradnje i kružnog gospodarstva, ovčja vuna nudi rješenja koja su istovremeno funkcionalna i duboko etična – osnažuju lokalnu zajednicu, štite okoliš i stvaraju prostore koji dišu i žive s korisnikom.

## 8. RECIKLIRANI PLASTIČNI BLOKOVI

---

### Reciklirani plastični blokovi u građevinarstvu: Inovacija na sjecištu otpada i održivosti

Plastika je jedan od najvećih globalnih ekoloških izazova – svakodnevno se proizvodi ogromna količina plastike, od čega značajan dio završava u okolišu. Istovremeno, potreba za održivim, pristupačnim i dugotrajnim građevinskim materijalima raste, osobito u područjima pogođenim klimatskim promjenama, stambenim krizama i infrastrukturnim nejednakostima. U tom kontekstu, **reciklirani plastični blokovi** predstavljaju inovativno i visoko učinkovito rješenje koje spaja smanjenje otpada s funkcionalnošću, otpornošću i dostupnošću u građevinskoj industriji.

#### 1. Što su reciklirani plastični blokovi?

Reciklirani plastični blokovi izrađuju se prešanjem, lijevanjem ili ekstruzijom plastičnog otpada (najčešće polietilena, polipropilena, PET-a i ostalih termoplastika) u čvrste, modularne jedinice koje oblikom i funkcijom mogu zamijeniti klasične građevinske materijale poput cigle, betona ili drva.

Postoji nekoliko tehnologija i pristupa u izradi:

- **Komprimirani blokovi:** izrađeni prešanjem plastike visoke gustoće (HDPE) u kalupe;
- **Lijevani blokovi:** koriste se za kompleksnije oblike s integriranim funkcijama (npr. izolacija, kanalice);
- **Sklopivi modularni sustavi:** slični LEGO kockama, omogućuju montažu bez cementa ili žbuke;
- **Sendvič-panel blokovi:** kombiniraju recikliranu plastiku s izolacijskim jezgrom (npr. od EPS-a ili drugih materijala).

#### 2. Mehanička i fizikalna svojstva

Reciklirani plastični blokovi imaju specifična svojstva koja ih čine pogodnima za određene primjene:

- **Otpornost na vlagu, koroziju i insekte** – plastika ne trune, ne oksidira i ne privlači štetočine;
- **Lagana masa** – znatno lakši od betona, što olakšava transport i montažu;
- **Dobra toplinska izolacija** – ovisno o strukturi, mnogi blokovi imaju izolacijska svojstva slična drvu ili šupljim betonskim blokovima;
- **Otpornost na udarce** – zbog fleksibilnosti plastike, blokovi su otporni na mehanička oštećenja;
- **Dugotrajnost** – procijenjeni vijek trajanja može biti preko 50 godina, bez degradacije u uobičajenim klimatskim uvjetima.

#### 3. Primjena u građevinarstvu

##### a) Izgradnja stambenih i pomoćnih objekata

Reciklirani plastični blokovi sve se češće koriste u izgradnji:

- **modularnih kuća** (posebno u hitnim slučajevima – npr. nakon potresa, poplava, u izbjegličkim kampovima),
- **školskih i zdravstvenih objekata** u ruralnim sredinama,
- **spremišta, garaža, sjenica i gospodarskih zgrada.**

Njihova **brza montaža** bez potrebe za vezivima (u nekim sustavima) omogućuje smanjenje ukupnih troškova i potreba za visoko kvalificiranom radnom snagom.

##### b) Privremene i pokretne strukture

Zbog male težine i mogućnosti ponovnog sastavljanja, idealni su za:

- sajamske i izložbene prostore,
- kamp-kućice i paviljone,
- montažne urede ili prodajne prostore.

##### c) Potporni i ne-nosive elementi

Plastični blokovi se koriste kao:

- **fasadni ili unutarnji zidovi**, koji ne nose težinu konstrukcije ali pružaju izolaciju i estetski izgled;
- **ograde, pregrade, cvjetne gredice i urbani elementi**.

U nekim sustavima, plastični blokovi se koriste kao **oplata za beton** koja ostaje u strukturi (tzv. ICF – insulated concrete forms), čime se kombiniraju izolacija, čvrstoća i brzina izvođenja.

#### 4. Ekološke i društvene prednosti

**Ekološki učinci:**

- **Smanjenje plastičnog otpada** – recikliranjem starih boca, vrećica, ambalaže i industrijskog otpada smanjuje se količina plastike na odlagalištima i u prirodi.
- **Smanjenje emisija CO<sub>2</sub>** – proizvodnja plastičnih blokova troši znatno manje energije nego cement ili cigla.
- **Mogućnost kružnog korištenja** – neki sustavi omogućuju da se blokovi ponovno rastave i upotrijebe na drugoj lokaciji.

**Društveni učinci:**

- **Pristupačno stanovanje** – rješenja s recikliranim blokovima mogu smanjiti trošak gradnje i do 60%.
- **Stvaranje lokalnih radnih mjesta** – mnoge inicijative uključuju sakupljanje i preradu plastičnog otpada na licu mjesta.
- **Podrška zajednicama u razvoju** – programi poput Conceptos Plásticos (Kolumbija) i Gjenge Makers (Kenija) pomažu marginaliziranim skupinama da dobiju dostojanstveno stanovanje.

#### 5. Izazovi i ograničenja

Unatoč prednostima, reciklirani plastični blokovi suočavaju se s nekoliko izazova:

- **Otpornost na UV zračenje** – plastika može s vremenom degradirati ako nije zaštićena; često se dodaju UV stabilizatori ili koristi premaz.
- **Ograničena nosivost** – većina sustava nije prikladna za visoke zgrade bez dodatne armature.
- **Percepcija materijala** – još uvijek postoji nepovjerenje prema plastici kao “jeftinom” ili “neozbiljnom” građevinskom rješenju.
- **Zakonodavni okvir i certifikati** – u nekim zemljama reciklirani plastični blokovi još nisu standardizirani ni uključeni u građevinske propise.

#### 6. Inspirativni primjeri iz svijeta

- **Conceptos Plásticos (Kolumbija):** proizvode LEGO-slične blokove od mješavine reciklirane plastike i gume te izgrađuju škole i domove u marginaliziranim zajednicama.
- **Gjenge Makers (Kenija):** koriste plastični otpad za izradu građevinskih cigli koje su 5x otpornije od betona i znatno jeftinije.
- **ByFusion (SAD):** razvili su “ByBlock” – građevinske blokove koji se proizvode bez sortiranja plastike i bez veziva, samo termičkim prešanjem.
- **Block Solutions (Finska):** proizvode modularne sustave od reciklirane plastike za brzu i pristupačnu gradnju diljem svijeta.

Reciklirani plastični blokovi predstavljaju revolucionarnu sintezu između otpada i građevinskog resursa. Njihova uporaba ne rješava samo problem prekomjerne plastike, već stvara i nove mogućnosti za priuštivo, brzo i održivo stanovanje – osobito u regijama koje trpe posljedice klimatskih promjena, siromaštva i stambenih deficita. U vremenima kada graditeljstvo mora biti pametnije, fleksibilnije i ekološki osvještenije, plastični blokovi pokazuju da rješenja često već postoje – samo ih treba prepoznati, standardizirati i primijeniti.

## 9. BETONSKI AGREGATI OD RECIKLIRANOG MATERIJALA

---

Umjesto korištenja novih prirodnih agregata (kamen, šljunak), sve se češće koriste reciklirani agregati dobiveni mljevenjem stare opeke, betona i asfalta. Koriste se u temeljima, cestama i sekundarnim betonskim komponentama. Smanjuju vađenje sirovina i trošak transporta.

### **Reciklirani betonski agregati: Održiva alternativa za graditeljstvo budućnosti**

Građevinski sektor odgovoran je za preko 30% ukupnog otpada u EU, a znatan dio tog otpada čine srušeni ili oštećeni betonski i zidani objekti. U tom kontekstu, reciklirani betonski agregati (RBA) – dobiveni preradom građevinskog otpada poput stare opeke, betona i asfalta – sve se više prepoznaju kao **ekološki i ekonomski prihvatljiva alternativa** prirodnim agregatima poput šljunka i drobljenog kamena. Njihova uporaba omogućuje zatvaranje kružnog toka materijala u građevinarstvu i pridonosi smanjenju eksploatacije prirodnih resursa.

### **1. Što su reciklirani betonski agregati (RBA)?**

RBA su **zrnat materijal dobiveni mehaničkom obradom građevinskog otpada**: lomljenjem, prosijavanjem i odvajanjima neželjenih frakcija poput metala, plastike, drva ili stakla. Najčešći izvori su:

- **Stari beton** – srušene ploče, temelji, armirani elementi;
- **Opeka i blokovi** – iz zgrada s tradicionalnom zidnom konstrukcijom;
- **Asfalt** – stari kolnici, parkirališta i prometnice.

Rezultirajući agregat klasificira se po veličini zrna (npr. 0–4 mm, 4–8 mm, 8–16 mm itd.), a često se dijeli na:

- **Reciklirani betonski agregat (RCA)** – dominantno beton;
- **Reciklirani miješani agregat (MRA)** – mješavina betona, opeke, žbuke i asfalta;
- **Reciklirani asfaltni agregat (RAA)** – drobljeni asfaltni slojevi.

### **2. Fizikalna i tehnička svojstva**

Reciklirani agregati imaju specifična svojstva koja se razlikuju od prirodnih:

- **Niža gustoća** – zbog poroznosti, osobito kod opeke i žbuke;
- **Veća vodupojnost** – utječe na potrebe za korekcijom količine vode u svježem betonu;
- **Nešto niža tlačna čvrstoća** – osobito pri zamjeni >30% prirodnog agregata;
- **Dobra vezivost** – grublja i hrapavija površina omogućuje bolje prijanjanje cementne paste.

Za većinu primjena, reciklirani agregat **mora zadovoljiti normu EN 12620** (za agregate u betonu), uključujući zahtjeve za štetne tvari, kloride, sulfate i organske nečistoće.

### **3. Primjena recikliranih agregata u gradnji**

#### **a) Nenosive i manje zahtjevne betonske strukture**

Reciklirani agregati koriste se za izradu:

- **temeljnih slojeva podova i podložnih betona** (npr. C8/10 – C16/20),
- **betonskih staza, vrtnih i urbanih elemenata,**
- **zidova i pregrada u objektima niskih zahtjeva** (garaže, spremišta, objekti za privremenu uporabu).

#### **b) Cestogradnja i infrastruktura**

Najšira primjena je u slojevima ispod asfaltnih kolnika i cesta:

- **tampon slojevi i podloge** – reciklirani agregati savršeni su za formiranje nosivih slojeva ispod asfaltnih površina, čime se zamjenjuju prirodni šljunak i pijesak;
- **stabilizacija tla** – dodavanje recikliranog materijala poboljšava nosivost i drenažu tla;
- **izrada bankina, putova i servisnih pristupa.**

#### **c) Proizvodnja sekundarnih betonskih proizvoda**

- **betonski opločnici, rubnjaci i blokovi** – koriste se reciklirani agregati do 50%,

- **betonske cijevi i elementi za oborinsku odvodnju,**
- **prefabricirani zidni i fasadni paneli** – osobito u projektima s ekološkim ciljevima.

#### d) Urbana obnova i krajobrazna arhitektura

Zahvaljujući estetsici lomljenog materijala i sirovog izgleda, reciklirani agregati često se koriste u:

- **šoder stazama i vrtnoj arhitekturi,**
- **zidovima za potporu i zadržavanje zemljišta,**
- **gabionskim zidovima** – rešetke punjene recikliranim kamenjem.

#### 4. Ekološke i ekonomske prednosti

##### Ekološke koristi:

- **Smanjenje građevinskog otpada** – reciklažom se smanjuje količina materijala koji završava na odlagalištima;
- **Očuvanje prirodnih resursa** – smanjuje se potreba za vađenjem šljunka, pijeska i kamena;
- **Smanjenje emisija CO<sub>2</sub>** – manji utrošak energije u odnosu na vađenje i obradu prirodnog agregata;
- **Kraći transportni putevi** – agregat se često proizvodi lokalno, iz ruševina u neposrednoj blizini.

##### Ekonomske koristi:

- **Niža cijena materijala** – osobito kod većih količina i lokalne prerade;
- **Niži troškovi zbrinjavanja otpada** – reciklaža umanjuje troškove odvoza i odlaganja;
- **Pogodnost za javne i infrastrukturne projekte** – pri gradnji škola, cesta, parkova i javnih prostora, u skladu s EU zelenim kriterijima.

#### 5. Izazovi u primjeni i standardizaciji

Unatoč očitim prednostima, široka primjena recikliranih agregata nailazi na niz izazova:

- **Varijabilna kvaliteta** – sastav otpada može biti neujednačen, pa je važna kontrola i klasifikacija materijala;
- **Potrebna dodatna obrada** – kako bi se uklonile neželjene frakcije i postigla stabilna granulometrija;
- **Ograničenja u konstrukcijama visoke čvrstoće** – u armiranom betonu visoke klase najčešće se koristi do 20–30% recikliranog agregata, iz sigurnosnih razloga;
- **Nepovjerenje izvođača i projekatata** – iako neopravdano, često postoji sumnja u dugotrajnost i pouzdanost materijala;
- **Normativni okviri** – iako postoje europske norme, nacionalne regulative nisu svugdje usklađene.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Nizozemska i Danska** – lideri u korištenju RBA u cestogradnji, s udjelom do 90% recikliranog materijala u slojevima ispod asfaltnih površina.
- **Njemačka** – u urbanim sanacijama često koristi RBA za temeljne slojeve i prefabricirane betonske proizvode.
- **Francuska i Austrija** – javni projekti potiču reciklirani beton kroz obavezne “zelene kvote” u javnim natječajima.
- **Hrvatska** – primjeri iz prakse uključuju rekonstrukciju prometnica i sanaciju objekata uz korištenje RBA u podlogama i kolničkim slojevima, iako su regulacija i tržišna prisutnost još u razvoju.

Reciklirani betonski agregati predstavljaju važan alat za ostvarivanje ciljeva **zelene tranzicije** u građevinarstvu. Njihova upotreba ne samo da smanjuje količinu otpada i emisije CO<sub>2</sub>, već omogućuje racionalnije korištenje resursa, smanjenje troškova i poticanje kružne ekonomije. S obzirom na rastuću potražnju za održivim rješenjima i razvoj normi i tehnologija, reciklirani

agregati sve će više zauzimati ključno mjesto u budućim infrastrukturnim i građevinskim projektima.



## 10. DRVENI KOMPOZITNI MATERIJALI

---

### Drveni kompozitni materijali (WPC): Hibrid prirode i tehnologije za održivu gradnju

Drveni kompozitni materijali, poznati kao **WPC (Wood Plastic Composites)**, predstavljaju inovativnu kategoriju građevinskih materijala koji nastaju miješanjem **drvnih vlakana (brašno, piljevina, strugotina)** i **polimernih smola** – najčešće recikliranog polietilena (HDPE), polipropilena (PP) ili PVC-a. Ovaj spoj prirodnih i sintetičkih komponenti rezultira materijalom koji kombinira **izgled i toplinu drva s trajnošću i otpornošću plastike**.

WPC materijali sve se više koriste u građevinskom sektoru zbog svoje dugotrajnosti, otpornosti na vlagu i štetnike, jednostavnog održavanja te mogućnosti recikliranja, što ih čini **idealnim izborom u održivoj arhitekturi i urbanom dizajnu**.

#### 1. Sastav i proizvodnja WPC-a

Standardni WPC sadrži:

- **55–70% drvene komponente** (vlakna, brašno, piljevina),
- **30–45% plastične matrice** (najčešće reciklirana plastika),
- te dodatke poput UV stabilizatora, boja, maziva i usporivača gorenja.

Proizvodnja uključuje miješanje i zagrijavanje sirovina, nakon čega slijedi **ekstruzija** (istisnuće) u željeni oblik: ploče, letve, profili, pločice i drugi modularni elementi.

Konačni produkti mogu biti **kompaktni ili šuplji, puni ili s rebrastom strukturom**, ovisno o namjeni, nosivosti i estetskim zahtjevima.

#### 2. Tehnička svojstva i prednosti

WPC materijali nude kombinaciju prednosti prirodnog drva i polimera:

- **Otpornost na vlagu i truljenje** – idealno za vanjsku upotrebu bez dodatne impregnacije.
- **Stabilnost dimenzija** – minimalna deformacija uslijed promjena temperature i vlage.
- **Otpornost na štetnike** – termite, gljivice i buđ ne utječu na WPC kao na prirodno drvo.
- **UV stabilnost** – uz dodatke, otporni su na izbljeđivanje i pucanje pod utjecajem sunca.
- **Nisko održavanje** – ne zahtijevaju lakiranje ni premazivanje, dovoljni su voda i sapun.
- **Protuklizna površina** – često se koristi u zonama s visokom razinom vlage.
- **Mogućnost recikliranja** – mogu se ponovno preraditi i koristiti kao sekundarna sirovina.

#### 3. Primjene u građevinarstvu

##### a) Vanjske površine (decking)

Jedna od najraširenijih primjena WPC-a je u **terasama, balkonima, vrtovima i šetnicama**:

- Zamjena za klasične drvene daske uz znatno veću trajnost;
- Otporan na kišu, sunce, snijeg i sol – idealno za obalne i vlažne regije;
- Dostupan u različitim teksturama i bojama – često imitira hrast, tikovinu, bor i sl.

##### b) Fasade i ventilirani sustavi

WPC se koristi za **oblaganje pročelja i sustave ventiliranih fasada**, čime se postiže:

- estetski dojam drvene fasade bez rizika od propadanja,
- dodatna toplinska izolacija,
- otpornost na atmosferilije i UV zračenje bez potrebe za bojanjem.

##### c) Ograde i zaštitne barijere

Kompozitne letve i profili koriste se za:

- ograde u urbanim sredinama i privatnim objektima,
- pregrade i zaslone za privatnost,
- zaštitne barijere u okolišu bazena i terasa.

##### d) Namještaj i urbano opremanje

Zbog otpornosti i dugotrajnosti, WPC se koristi za:

- **urbani namještaj** (klupe, stolovi, stalci za bicikle),

- **vrtni namještaj** i sjenice,
- **elemente javnih površina** (kontejnerski oblozi, podesti, rukohvati).

#### e) Građevinske strukture i montažni sustavi

U lakim montažnim konstrukcijama, WPC profili se koriste za:

- **nosive okvire manjih nadstrešnica i sjenica,**
- **prefabricirane zidne ili podne panele,**
- **sustave za brzo postavljanje podova i zidova u montažnim objektima** (npr. mobilne kuće, kontejneri, sajamski prostori).

#### 4. Ekološke i gospodarske prednosti

##### Ekološki aspekt:

- **Uporaba recikliranih sirovina** – mnogi WPC materijali izrađeni su od reciklirane plastike i drva iz otpada pilana, čime se smanjuje potreba za novim resursima;
- **Smanjenje emisija CO<sub>2</sub>** – manja potreba za obradom i transportom u usporedbi s egzotičnim vrstama drva;
- **Dug vijek trajanja bez dodatnih premaza** – smanjuje se broj kemikalija koje ulaze u okoliš;
- **Reciklabilnost proizvoda** – WPC se može mehanički preraditi na kraju životnog vijeka.

##### Gospodarski aspekt:

- **Dugoročna ušteda** – iako početna cijena može biti viša od običnog drva, WPC zahtijeva minimalno održavanje;
- **Brža montaža** – standardizirani profili i sustavi “klik” montaže skraćuju vrijeme rada;
- **Višegodišnja jamstva proizvođača** – često 10–25 godina na boju, stabilnost i strukturu.

#### 5. Izazovi i ograničenja

- **Toplinska osjetljivost** – WPC se može zagrijati na suncu više od prirodnog drva, što zahtijeva pažljiv odabir u područjima s ekstremnim temperaturama.
- **Nosivost** – nije prikladan za teške nosive strukture bez dodatne armature.
- **Ekspanzija i kontrakcija** – u zonama velikih temperaturnih razlika potrebno je ostaviti dilatacijske fuge.
- **Ekološka kontroverza kod nekih proizvoda** – jeftiniji WPC može sadržavati mješavine nereciklirane plastike i ljepila koja nisu ekološki certificirana.

#### 6. Primjeri iz prakse i tržišni potencijal

- **Skandinavske zemlje i Njemačka** koriste WPC za javne šetnice uz rijeke, obalu i parkove;
- **Francuska i Španjolska** uključuju WPC u gradski mobilijar i fasade javnih zgrada;
- **Hrvatska:** sve češća upotreba u oblaganju terasa na turističkim objektima, obalnim šetnicama i urbanim rekonstrukcijama (npr. projekti uređenja riva i marina).

Tržište WPC-a bilježi dvoznamenkasti rast godišnje, a predviđa se da će se njegova uloga u građevinarstvu višestruko povećati u narednim desetljećima zahvaljujući poticanju kružnog gospodarstva i ekološke gradnje.

Drveno-plastični kompoziti (WPC) predstavljaju **savršenu sintezu prirodnog i tehnološkog**, nudeći materijal koji je otporan, estetski, održiv i dugotrajan. Njihova sposobnost da zamijene egzotične vrste drva bez sječe šuma, te istovremeno zbrinu plastični otpad i piljevinu, čini ih **jednim od najvažnijih materijala kružne ekonomije u graditeljstvu**. WPC nije samo trend – on je evolucija načina na koji gradimo s resursima koji su već tu, samo trebaju novi život.



## 11. ALGE I BIOPLASTIKA

---

U vrijeme kada građevinski sektor traži inovativne, obnovljive i biorazgradive materijale kako bi odgovorio na izazove klimatskih promjena, sve više pažnje usmjerava se prema **algama** – brzorastućim morskim i slatkovodnim organizmima s iznimnim biokemijskim i strukturnim potencijalom. Alge se već koriste u prehrambenoj, farmaceutskoj i kozmetičkoj industriji, no najnovija istraživanja i pilot-projekti otkrivaju njihove **moćnosti u graditeljstvu**, osobito u obliku **bioplastike, izolacijskih materijala, fasadnih panela i bio-kompozita**.

### 1. Zašto alge? Osnovna svojstva i prednosti

Alge su autotrofni organizmi koji fotosintezom uklanjaju CO<sub>2</sub> iz atmosfere i proizvode kisik. Za razliku od kopnenih biljaka, **ne zahtijevaju poljoprivredno zemljište ni pitku vodu**, rastu vrlo brzo i mogu se uzgajati na degradiranim ili morskim područjima.

Ključna svojstva algi za građevinsku upotrebu:

- **Brza regeneracija i obnovljivost** – neke vrste rastu i do 30 cm dnevno;
- **Visok udio polisaharida i proteina** – temelj za proizvodnju biopolimera;
- **Učinkovita apsorpcija CO<sub>2</sub>** – do 10 puta veća od nekih kopnenih biljaka;
- **Biorazgradivost i neotrovnost** – pogodno za unutarnje i vanjske prostore;
- **Lokalna proizvodnja** – može se integrirati u održive, decentralizirane sustave gradnje.

### 2. Bioplastika od algi: materijal nove generacije

Bioplastika na bazi algi proizvodi se preradom **smeđih i zelenih algi**, najčešće vrsta poput *kelpa*, *spiruline* ili *chlorelle*. Ključni sastojci su **alginat, agar, karagenan** i drugi polisaharidi koji se mogu oblikovati u čvrste, fleksibilne ili poluprozirne materijale.

**Proizvodni proces uključuje:**

- ekstrakciju polisaharida iz algi,
- miješanje s plastifikatorima (npr. glicerolom),
- lijevanje, prešanje ili ekstruziju u različite forme.

Rezultirajući materijal ima izgled sličan PET plastici, no s višestruko manjim ekološkim otiskom i mogućnošću **biološke razgradnje**.

### 3. Primjene u građevinarstvu

#### a) Dekorativni i funkcionalni paneli

Bioplastika od algi koristi se za izradu **unutarnjih zidnih i stropnih panela**, često u kombinaciji s LED rasvjetom, teksturama i pigmentima. Zahvaljujući prozirnosti, fleksibilnosti i mogućnosti oblikovanja, materijal se koristi u:

- recepcijama i ulaznim prostorima,
- izložbenim prostorima,
- konferencijskim salama i uredima.

U nekim projektima koristi se i za **dijeljenje prostora** pomoću laganih, poluprozirnih pregrada koje filtriraju svjetlost i stvaraju prirodan ambijent.

#### b) Biokompozitne ploče i završne obloge

Kombinacijom algi s drvenim vlaknima, konopljom, glinom ili biorazgradivim smolama, nastaju **biokompozitne ploče** za:

- namještaj,
- unutarnje obloge,
- lagane pregradne zidove,
- dekorativne elemente fasada.

Ove ploče su otporne na vlagu, lagane, estetski privlačne i bez emisije štetnih tvari (VOC-free).

#### c) Izolacijski materijali od sušenih algi

Neke vrste morskih algi (npr. *Zostera marina*) prirodno sadrže zračne džepiće i vlaknastu strukturu, što ih čini **prirodnim termoizolatorom**.

Primjena:

- izolacija krovova i zidova,
- punjenje zidova u drvenim i skeletnim konstrukcijama,
- akustična izolacija u uređenju interijera.

Prednosti uključuju otpornost na vatru, vlagu i glodavce te **dug vijek trajanja bez kemijske obrade**.

#### **d) Fotobioreaktorske fasade i „žive zgrade”**

Jedan od najnaprednijih koncepata primjene algi u arhitekturi je **integracija živih algi u fasadne sustave**, tzv. *algae façades* ili *bio-solar façades*. Te fasade sadrže cijevi ili panele ispunjene vodom i mikroalgama koje:

- apsorbiraju sunčevu svjetlost i proizvode biomasu,
- zasjenjuju zgradu i reguliraju unutarnju temperaturu,
- proizvode kisik i uklanjaju CO<sub>2</sub>,
- mogu se koristiti za proizvodnju energije i goriva (biomasa).

**Primjer:** zgrada BIQ u Hamburgu – prva zgrada na svijetu s funkcionalnom algnom fasadom koja proizvodi vlastitu energiju i regulira toplinsku učinkovitost.

## **4. Ekološke i društvene prednosti**

**Ekološki doprinos:**

- **Negativan ugljični otisak** – alge tijekom rasta apsorbiraju više CO<sub>2</sub> nego što se emitira u proizvodnji;
- **Biorazgradivost** – za razliku od fosilnih materijala, bioplastika iz algi se prirodno razgrađuje;
- **Zamjena toksičnih materijala** – mogu zamijeniti PVC, sintetičke smole i plastike u interijerima;
- **Održivo korištenje mora** – uzgoj algi ne konkurira poljoprivredi i potiče očuvanje oceanskog ekosustava.

**Društveni učinci:**

- **Otvaranje novih tržišta** – inovativne tvrtke i startupi razvijaju proizvode za ekološku gradnju;
- **Uključivanje lokalnih zajednica** – priobalne regije mogu koristiti alge kao sirovinu u graditeljstvu;
- **Edukacija i estetika** – bioplastični materijali unose osjećaj prirode u arhitektonske prostore, potičući svijest o održivosti.

## **5. Ograničenja i izazovi**

- **Mehanička otpornost** – bioplastika od algi trenutno još ne može u potpunosti zamijeniti čvrstoću klasične plastike ili laminata u nosivim elementima;
- **Ograničen vijek trajanja u agresivnim uvjetima** – ako nije pravilno zaštićena, može degradirati pod UV i mehaničkim stresom;
- **Viša cijena proizvodnje** – u odnosu na konvencionalne materijale, proizvodnja je još uvijek skuplja, no troškovi padaju s razvojem tehnologije;
- **Nedostatak standardizacije i certifikacije** – tržište još uvijek razvija norme za primjenu ovih materijala u reguliranim sustavima.

## **6. Perspektive razvoja i primjeri**

U tijeku su brojni **istraživački i pilot-projekti** diljem svijeta:

- **Studio Klarenbeek & Dros (Nizozemska)** razvija alge-bioplastiku za namještaj i obloge;

- **ECONcrete** koristi alge za izradu bio-aktivnog betona s funkcijom regeneracije morskih ekosustava;
- **The Shellworks (UK)** proizvodi ambalažu i prototipove građevinskih ploča na bazi alginata;
- **Arup i HyperloopTT** istražuju upotrebu algi u futurističkim građevinskim sustavima.

Alge i bioplastika dobivena iz algi otvaraju sasvim novu dimenziju u građevinarstvu: **žive, biorazgradive, energetske učinkovite i estetski privlačne materijale** koji nadilaze funkcionalnu vrijednost i postaju aktivni sudionici u održivoj urbanoj ekologiji. U vremenima kada resursi kopna postaju sve ograničeniji, alge – tihi saveznici iz mora – mogu postati ključni gradivni elementi arhitekture budućnosti.



## 12. RECIKLIRANO STAKLO

---

Reciklirano staklo koristi se u betonskim mješavinama, staklenim ciglama, Naravno! U nastavku slijedi **detaljan opis primjene recikliranog stakla u građevinarstvu**, dužine oko 5000 znakova. Tekst pokriva najvažnije oblike primjene – od betona, preko dekoracije, do izolacije – i prikladan je za projektne prijave, stručne članke i strategije zelene gradnje.

### **Reciklirano staklo u građevinarstvu: Transparentan korak prema održivoj budućnosti**

Staklo je materijal koji se može gotovo beskonačno reciklirati bez gubitka kvalitete. Iako se najviše koristi u industriji ambalaže i prozora, **reciklirano staklo** sve više ulazi i u građevinski sektor, gdje se pokazuje kao iznimno svestran i održiv materijal. Zbog svojih fizikalnih i estetskih svojstava, reciklirano staklo se koristi u različitim formama: kao  **Dodatak betonskim mješavinama**, u obliku **staklenih opeka i mozaika**, u **dekorativnim završnim oblogama**, pa čak i kao **izolacijski materijal** u obliku ekspaniranog stakla. Time pridonosi kružnom gospodarstvu i smanjenju emisija u građevinskom sektoru.

### **1. Staklo kao građevinski resurs: fizikalna svojstva i prednosti**

Reciklirano staklo, najčešće dobiveno od boca, prozorskih stakala, automobilske i industrijske staklene ambalaže, zadržava svoj kemijski sastav (uglavnom silicijev dioksid) i pri recikliranju se prerađuje u frakcije različite granulacije, boje i oblika. Ovisno o konačnoj primjeni, staklo može biti:

- **drobljeno i prosijano** (za beton i dekoracije),
- **prešano ili lijevano** (za staklene opeke i panele),
- **termalno ekspanirano** (za izolaciju).

Ključne prednosti recikliranog stakla:

- **Otpornost na vlagu, UV i kemikalije,**
- **Nezapaljivost (A1 klasa reakcije na požar),**
- **Estetska vrijednost i refleksija svjetlosti,**
- **Dugotrajnost i inertnost** – ne stari, ne truli, ne oksidira,
- **Smanjena potreba za primarnim sirovinama i energijom.**

### **2. Primjene recikliranog stakla u građevinskim materijalima**

#### **a) Dodatak u betonskim mješavinama**

Jedna od najzanimljivijih i najperspektivnijih primjena recikliranog stakla je njegova upotreba kao:

- **agregata** (zamjena za pijesak i šljunak),
- **puzolanskog materijala** (sitno mljeveno staklo umjesto dijela cementa).

Reciklirano staklo se može koristiti u **arhitektonskom betonu** za dekorativne završne slojeve, kao i u **standardnim konstrukcijskim betonskim mješavinama**, uz kontrolu veličine čestica i kemijske kompatibilnosti. Njegova uporaba doprinosi:

- smanjenju emisije CO<sub>2</sub> (manje cementa),
- većoj refleksiji svjetlosti (smanjuje efekt urbanih toplinskih otoka),
- poboljšanju estetskog dojma (posebno s prozirnim, zelenim ili smeđim fragmentima).

**Napomena:** Sitno mljeveno staklo djeluje po principu pucolanske reakcije – veže slobodni kalcij hidroksid i stvara dodatni C-S-H gel, što može povećati čvrstoću betona, ali zahtijeva kontrolu kako bi se izbjegla alkali-silikatna reakcija (ASR).

#### **b) Staklene cigle i paneli**

**Staklene opeke** koriste se u projektima gdje se želi kombinirati čvrstoća s propuštanjem svjetlosti. One se izrađuju prešanjem ili lijevanjem recikliranog stakla i koriste se u:

- stubištima i hodnicima gdje je potrebna difuzna svjetlost,
- fasadnim zidovima i pregradama,
- dizajnerskim zidovima u javnim prostorima (npr. škole, bolnice, bazeni).

Prednosti uključuju visoku estetsku vrijednost, jednostavno čišćenje i otpornost na vlagu i vatru. Neki proizvodi omogućuju i **integraciju LED rasvjete** unutar strukture.

### c) Dekorativne površine i završne obloge

Reciklirano staklo se koristi kao **ukrasna komponenta** u:

- podovima (npr. terrazzo stilu),
- zidnim pločicama i mozaicima,
- radnim pločama i kuhinjskim oblogama (alternativa granitu i kvarcu),
- namještaju i urbanim elementima (npr. klupe, fontane).

Kombinacijom različitih boja i granulacija stvara se unikatan estetski dojam, često s refleksijom svjetlosti. Površine su izdržljive, vodootporne i jednostavne za održavanje.

### d) Ekspandirano staklo – izolacijski materijal

Ekspandirano staklo proizvodi se zagrijavanjem sitno mljevenog recikliranog stakla s dodatkom ekspandera (npr. ugljika) na 800–900°C. Tako nastaje lagani, porozni materijal koji se koristi kao:

- **toplinska izolacija** (nasipni slojevi u krovovima i podovima),
- **zvučna izolacija** (posebno u plutajućim podovima),
- **lagani agregat u betonu** (tzv. "lightweight concrete"),
- **podatni slojevi ispod prometnica ili zelenih krovova.**

Prednosti ekspandiranog stakla:

- nezapaljivo,
- kemijski inertno,
- vodootporno i otporno na vlagu,
- otporno na glodavce i plijesni,
- stabilno kroz desetljeća bez gubitka volumena ili izolacijskih svojstava.

## 3. Ekološke i gospodarske prednosti

### Ekološki doprinos:

- **Smanjenje otpada na odlagalištima** – staklo je jedan od najtežih materijala za razgradnju u prirodi;
- **Niža emisija CO<sub>2</sub>** – reciklaža stakla troši do 30% manje energije nego proizvodnja novog;
- **Smanjena potreba za rudarenjem** – zamjena za prirodni šljunak, pijesak i glinu;
- **Mogućnost lokalne prerade** – većina otpada se može reciklirati u krugu same građevinske industrije.

### Gospodarski doprinos:

- **Niži troškovi materijala** – reciklirano staklo može biti jeftinije od prirodnih agregata;
- **Stimulacija cirkularnog gospodarstva** – povezuje sektor otpada, reciklaže i građevinarstva;
- **Nova tržišta za dizajnerske i energetske učinkovite proizvode.**

## 4. Izazovi i ograničenja

Unatoč velikom potencijalu, reciklirano staklo suočava se s nekoliko izazova:

- **Alkali-silikatna reakcija (ASR)** – kada se koristi u betonu bez pravilne kontrole, može uzrokovati mikro-pukotine;
- **Potrebna sofisticirana oprema za obradu** – mljevenje i selekcija po granulaciji i boji;
- **Estetska neujednačenost kod nekih aplikacija** – ako se ne koristi standardizirana frakcija i ton;
- **Ograničena uporaba u nosivim konstrukcijama** – posebice u armiranom betonu gdje su traženi točno definirani moduli elastičnosti.

## 5. Primjeri dobre prakse

- **Terrazzo podovi s recikliranim staklom** u luksuznim hotelima i uredima u Italiji i Skandinaviji;
- **Zelene zgrade s ekspandiranim staklom** kao izolacijom i drenažnim slojem ispod zelenih krovova (npr. Beč, Hamburg);
- **Arhitektonski betoni sa staklenim agregatom** u urbanim prostorima (npr. pločnici i trgovi s refleksijom svjetla);
- **Staklene opeke** kao difuzno svjetlosno rješenje u modernim javnim zgradama (npr. knjižnice i muzeji u Francuskoj i Japanu).

Reciklirano staklo postaje ključan materijal održivog graditeljstva: ono je **vizualno privlačno, tehnički pouzdano i ekološki opravdano**. Njegova svestranost – od konstrukcijskog agregata do lagane izolacije i dekoracije – omogućuje ga integraciju u gotovo sve faze i funkcije moderne zgrade. U vremenu kada je odgovorno upravljanje resursima nužnost, reciklirano staklo predstavlja sjajan primjer kako otpad može postati vrijednost – transparentna i trajna.



## 13. CIGLE OD PEPELA (FLY ASH BRICKS)

---

### Cigle od pepela (Fly Ash Bricks) u građevinarstvu: Održiv materijal s potencijalom za globalnu primjenu

Cigle od letećeg pepela, poznate i kao *fly ash bricks*, predstavljaju jedan od najznačajnijih održivih građevinskih materijala razvijenih kao odgovor na globalne izazove vezane uz **upravljanje industrijskim otpadom, emisije CO<sub>2</sub> i potrebu za energetske učinkovitim gradnjom**. Leteći pepeo (engl. *fly ash*) je nusprodukt sagorijevanja ugljena u termoelektranama, a njegovim korištenjem u građevinskoj industriji omogućuje se transformacija otpadnog materijala u vrijednu sirovinu.

#### 1. Što su cigle od letećeg pepela?

Cigle od pepela izrađuju se miješanjem letećeg pepela s drugim komponentama kao što su:

- **vapno** (ili cement) – kao vezivo,
- **gips** – za kontrolu vremena vezanja,
- **pijesak** ili drobljeni agregat – za strukturu i volumen,
- **voda** – za aktivaciju reakcije i formiranje mase.

Mješavina se oblikuje u kalupe i **komprimira pod visokim tlakom**, a zatim se **ostavlja da sazrije** u kontroliranim uvjetima (obično 21 dan) – bez potrebe za pečenjem, čime se znatno smanjuje potrošnja energije.

Ova metoda ih čini **energetski štedljivijom alternativom** u odnosu na tradicionalne pečene glinene cigle, koje zahtijevaju visoke temperature i često koriste drvo kao gorivo.

#### 2. Fizikalna i tehnička svojstva

Cigle od pepela imaju brojne tehničke prednosti:

- **Visoka tlačna čvrstoća** – u rasponu od 7,5 do 12 MPa, veća od klasičnih glinenih cigli (3–5 MPa),
- **Manja težina** – do 25% lakše, što smanjuje opterećenje na konstrukciju,
- **Niska vodupojnost** – 6–12%, što ih čini otpornima na vlagu i kapilarno podizanje,
- **Visoka dimenzijska točnost i ravnost** – omogućuje tanje slojeve žbuke (do 6 mm),
- **Otpornost na vatru, insekte i gljivice** – ne sadrže organski materijal i ne gore,
- **Dobre toplinske i zvučne izolacijske karakteristike** – ovisno o sastavu i gustoći.

#### 3. Primjena u građevinarstvu

##### a) Nosivi i nenosivi zidovi

Zbog visoke čvrstoće, cigle od pepela koriste se u izgradnji:

- **nosivih zidova** u niskogradnji,
- **nenosivih zidova** u višekatnicama i zgradama sa skeletnim sustavom,
- **zidova za pregradne prostore**, hodnike, stubišta i fasadne slojeve.

Njihova preciznost u obliku omogućuje lako slaganje, što smanjuje vrijeme zidanja i potrebu za dodatnom obradom.

##### b) Vezne i ispunjene strukture

Cigle se koriste i kao ispuna u:

- **željezobetonskim skeletima** (ispuna okvira),
- **modularnim i montažnim sustavima** gdje je potrebna lagana ali čvrsta komponenta.

##### c) Obnova i energetska učinkovitost

Zbog dobre izolacije i male vodupojnosti, pogodne su za:

- **zgrade koje zahtijevaju nZEB (nearly Zero Energy Building) standard**,
- **sanaciju starih zgrada** i zamjenu dotrajalih zidova,
- **projekte obnove nakon potresa ili poplava**, gdje je potrebna brza i suha gradnja.

#### 4. Ekološke i gospodarske prednosti

##### Ekološki aspekt:

- **Iskorištavanje industrijskog otpada** – svake godine milijuni tona letećeg pepela završe na odlagalištima, zagađujući tlo i vodu; upotreba u ciglama pomaže u njegovom zbrinjavanju.
- **Nema potrebe za pečenjem** – smanjuje emisije CO<sub>2</sub> i potrebu za drvom ili fosilnim gorivima.
- **Smanjena eksploatacija glinenih nalazišta** – čuva prirodne resurse i poljoprivredna zemljišta.
- **Manje građevinskog otpada** – cigle se mogu reciklirati i koristiti u proizvodnji betona ili podložnih slojeva.

##### Gospodarski aspekt:

- **Niži troškovi proizvodnje** – manji utrošak energije i dostupnost sirovina;
- **Brža gradnja i manji trošak žbuke** – zbog ravnih površina cigli;
- **Manje logističkih troškova** – lakše cigle smanjuju troškove transporta i rukovanja;
- **Poticaji i subvencije** – u mnogim državama proizvodi s recikliranim komponentama imaju regulatorne prednosti u javnim projektima.

#### 5. Ograničenja i izazovi

Unatoč brojnim prednostima, postoje i izazovi:

- **Ovisnost o lokalnoj dostupnosti letećeg pepela** – nije svaki pepeo prikladan za upotrebu; kvaliteta ovisi o tipu ugljena i procesu sagorijevanja;
- **Potrebna kontrola kvalitete** – nečistoće u pepelu mogu utjecati na vezanje i dugoročnu stabilnost;
- **Percepcija tržišta** – u nekim regijama korisnici još uvijek favoriziraju tradicionalne cigle, unatoč tehničkoj nadmoćnosti fly ash cigli;
- **Sporija apsorpcija žbuke i boje** – zbog glatke površine ponekad je potrebna dodatna priprema prije završne obrade.

#### 6. Primjeri iz prakse i globalne primjene

- **Indija** je globalni lider u korištenju fly ash cigli – više od 30% proizvedenih građevinskih cigli koristi leteći pepeo, osobito u urbanim područjima;
- **SAD** koristi mljeveni leteći pepeo kao dodatak u betonskim mješavinama (kao SCM – *Supplementary Cementitious Material*), a sve više i za zidane jedinice;
- **Kina i Bangladeš** ulažu u industrijalizaciju proizvodnje fly ash blokova kao alternativu pečenim ciglama, radi smanjenja zagađenja zraka;
- **Europa:** u Njemačkoj i Nizozemskoj provode se istraživanja za standardizaciju fly ash opeke u pasivnim kućama i zgradama s niskim emisijama.

Cigle od pepela nude rješenje koje istovremeno odgovara na ekološke, tehničke i ekonomske zahtjeve suvremene gradnje. One **transformiraju industrijski otpad u građevinski resurs**, čime zatvaraju krug između energetike i građevinarstva. Njihova uporaba doprinosi smanjenju emisija CO<sub>2</sub>, energetske potrošnje i eksploatacije tla, a pritom pruža visoku mehaničku otpornost, uštedu u radu i dugotrajnost. U doba kružnog gospodarstva i zelene tranzicije, cigle od pepela sve više postaju ne samo logičan, već i strateški izbor za gradnju budućnosti.

## 14. BIO-BETON (SAMOZACJELJUJUĆI BETON)

---

Bio-beton u građevinarstvu: Samozacjeljujući materijal koji produžuje život zgrada  
Bio-beton, poznat i kao **samozacjeljujući beton**, predstavlja jednu od najznačajnijih inovacija u građevinskoj industriji u posljednja dva desetljeća. Riječ je o betonu koji ima sposobnost **samostalnog popravka pukotina** bez potrebe za ljudskom intervencijom, zahvaljujući **biološkim ili kemijskim mehanizmima**. Osim što produžuje vijek trajanja konstrukcija, značajno smanjuje potrebu za održavanjem, te time doprinosi **ekonomskim i ekološkim ciljevima** održive gradnje.

### 1. Što je bio-beton i kako djeluje?

Bio-beton se temelji na ugradnji **bioloških agenasa**, najčešće **bakterija otpornih na ekstremne uvjete**, u betonsku mješavinu zajedno s hranjivim tvarima i specijalnim kapsulama koje se aktiviraju u prisutnosti vode.

Najpoznatiji oblik bio-betona koristi **bakterije roda *Bacillus*** (npr. *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus sphaericus*) koje preživljavaju u stanju hibernacije unutar betonske strukture. Kada se u betonu pojavi pukotina i u nju uđe vlaga, bakterije se aktiviraju, konzumiraju hranjive tvari (npr. kalcijev laktat) i proizvode **kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )** – mineral koji ispunjava i zatvara pukotinu. Tako se **sprječava daljnje prodiranje vode i zraka**, čime se značajno **smanjuje degradacija armature** i produžuje vijek trajanja konstrukcije.

### 2. Tehnička svojstva i komponente

Ključni elementi bio-betona uključuju:

- **Mikroinkapsulirane bakterije** – zaštićene kako bi preživjele visoku alkalnost svježeg betona;
- **Hranjiva tvar** – najčešće kalcijev laktat, fosfat ili urea;
- **Vlakna i dodatke** – koji kontroliraju širinu pukotina i potiču uvjete za aktivaciju;
- **Matrica betona** – sastav klasične mješavine (cement, agregat, voda) ostaje, ali se optimizira za biološku kompatibilnost.

Bio-beton može **zacjeljivati pukotine širine do 0,8 mm**, a u nekim slučajevima i do 1 mm, ovisno o sustavu.

### 3. Primjena bio-betona u građevinarstvu

#### a) Infrastrukturne konstrukcije

Mostovi, tuneli, podvožnjaci, kanali i ceste izloženi su vlazi, soli i promjenama temperature koje ubrzavaju nastanak mikropukotina. Bio-beton se koristi za:

- **kritične zone betonskih konstrukcija,**
- **zidove u kontaktu s vodom (npr. obaloutvrde, brane, odvodni kanali),**
- **spojna i prijelazna područja koja su podložna mikro-pomicanjima.**

#### b) Podzemne i vlažne strukture

Podrumi, parkirališta, metro stanice, spremnici i sustavi za odvodnju često su pogođeni oštećenjima zbog infiltracije vlage. Bio-beton pomaže u:

- **zaštiti armature od korozije,**
- **smanjenju prodora vode bez potrebe za dodatnim hidroizolacijama,**
- **dugoročnom smanjenju troškova održavanja u teško dostupnim prostorima.**

#### c) Zgrade visokih performansi i pasivne kuće

Bio-beton se koristi i u vertikalama visoke održivosti, gdje je **dugotrajnost i minimalno održavanje** imperativ. Njegova primjena uključuje:

- **vanjske zidove, parapete i lođe izložene kiši i smrzavanju,**
- **sustave ventiliranih fasada s armiranobetonskim elementima,**
- **inovativne fasadne panele s estetskom funkcijom i zaštitom od mikrooštećenja.**

#### d) Zaštita kulturne baštine i sanacija povijesnih objekata

Zbog svoje **nenametljive i pasivne funkcije**, bio-beton se koristi i za **sanaciju starih betonskih zgrada i spomenika**, osobito ondje gdje je očuvanje izvornog izgleda važno, a dodatne obloge nisu poželjne.

#### 4. Ekološke i ekonomske prednosti

##### *Ekološke koristi:*

- **Smanjenje potrebe za reparacijom i zamjenom betona** – manje građevinskog otpada i manja potrošnja novih materijala;
- **Niža emisija CO<sub>2</sub> tijekom životnog ciklusa** – jer se produžuje uporabni vijek objekta;
- **Mogućnost integracije s recikliranim agregatima** – dodatna ekološka vrijednost;
- **Zatvaranje mikrooštećenja sprječava curenje otrovnih tvari u okoliš** – osobito važno u industrijskim pogonima i odlagalištima otpada.

##### *Ekonomske koristi:*

- **Smanjenje troškova održavanja** – za 25–40% tijekom životnog vijeka građevine;
- **Manje potrebe za ručnim sanacijama** – osobito u teško dostupnim dijelovima konstrukcije;
- **Povećanje trajnosti kritičnih infrastruktura** – što znači bolji povrat ulaganja;
- **Privlačnost za zelene investitore i certifikate (LEED, BREEAM).**

#### 5. Izazovi i ograničenja

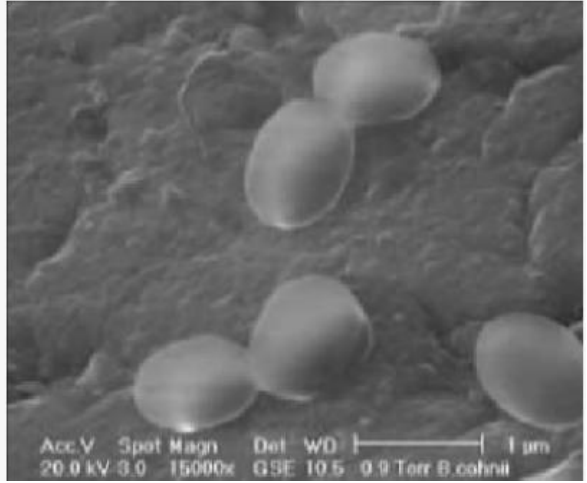
Unatoč velikom potencijalu, bio-beton se suočava s nizom izazova:

- **Viša početna cijena** – u prosjeku 30–50% skuplji od standardnog betona, iako se dugoročno isplati;
- **Ograničenja u širini pukotina koje se mogu samostalno zatvoriti** – za veće pukotine potrebne su dodatne metode;
- **Potrebna specijalizirana znanja i kontrola kvalitete** – mješavina mora biti točno pripremljena i testirana;
- **Nedostatak standardizacije i regulative** – još uvijek se radi na razvoju europskih normi za primjenu ovog materijala.

#### 6. Primjeri primjene i istraživački projekti

- **Nizozemska** – pionir u razvoju bio-betona zahvaljujući istraživanjima na Tehničkom sveučilištu u Delftu (prof. Henk Jonkers). Testirani su dijelovi obalnih zidova i kanala.
- **Norveška i Danska** – testiranje bio-betona u morskim uvjetima s ciljem povećanja otpornosti na sol i smrzavanje.
- **Singapur i Japan** – pilot projekti u podzemnim objektima i spremnicima vode.
- **Hrvatska** – potencijalna primjena u sanaciji starih obalnih konstrukcija, kanalizacijskih sustava i infrastrukturnih objekata s visokom vlagom.

Bio-beton predstavlja **inteligentan, dugotrajan i održiv materijal** koji odgovara na potrebe modernog građevinarstva: otpornost, automatizacija održavanja i smanjenje emisija. Njegova sposobnost da „zacjeljuje sam sebe“ ne samo da produžuje životni vijek konstrukcija, već simbolički otvara vrata **biološki inspiriranom inženjerstvu**, gdje materijali postaju aktivni sudionici, a ne pasivni elementi prostora. U vremenu kada je održivost imperativ, bio-beton ne predstavlja samo materijal budućnosti – već i temelj nove građevinske paradigme.



## 15. ZELENE FASADE I KROVOVI

---

Zelene fasade i krovovi u građevinarstvu: Živa arhitektura za otpornije gradove

Zelene fasade i krovovi sve se češće koriste u suvremenom građevinarstvu kao ključni elementi **održivog urbanog planiranja i bioklimatske arhitekture**. Riječ je o arhitektonskim sustavima koji integriraju **biljni pokrov na vertikalnim i horizontalnim površinama zgrada**, stvarajući sinergiju između građevine i prirode. Osim što unapređuju estetski dojam objekata, oni značajno doprinose  **smanjenju utjecaja urbanih toplinskih otoka**, poboljšanju kvalitete zraka i energetske učinkovitosti zgrada.

### 1. Definicije i osnovne vrste

*Zeleni krovovi (Green Roofs):*

Sustavi koji uključuju **vegetacijski sloj postavljen iznad vodonepropusne membrane** na krovu zgrade. Dvije glavne kategorije su:

- **Ekstenzivni krovovi** – lagani sustavi (10–15 cm podloge), s niskim raslinjem poput mahovina, seduma i trava, koji zahtijevaju minimalno održavanje.
- **Intenzivni krovovi** – deblji supstrat (20+ cm), s većim biljkama, grmljem, pa čak i drvećem; zahtijevaju navodnjavanje i održavanje, ali omogućuju stvaranje vrtova, staza i rekreacijskih prostora.

*Zelene fasade (Green Walls / Living Walls):*

Vertikalne strukture na kojima raste vegetacija. Mogu biti:

- **Zelene zavjese** – biljke (penjačice) koje rastu uz potpurnu mrežu ili rešetku, s korijenjem u tlu ili žardinjerama.
- **Sistemi s modularnim panelima** – predgotovljeni moduli s biljkama, supstratom i sustavom navodnjavanja, koji se montiraju na pročelje zgrade.
- **Bioaktivne fasade** – fasadni elementi koji integriraju vegetaciju sa sustavima filtracije zraka ili proizvodnje energije (npr. algne fasade).

### 2. Tehnička struktura i slojevi

*Zeleni krovovi uključuju:*

- hidroizolacijski sloj,
- sloj protiv korijenja,
- drenažni i filtracijski sloj,
- supstrat (zemljišni medij),
- vegetaciju,
- opcionalno: navodnjavanje, zaštitu od vjetra.

*Zelene fasade uključuju:*

- noseću strukturu ili panel,
- džepove ili module sa supstratom,
- sustav za navodnjavanje i odvodnju,
- biljne vrste prilagođene mikroklimi i ekspoziciji.

### 3. Primjene u građevinarstvu

*a) Rezidencijalni objekti*

Zeleni krovovi i fasade sve se više primjenjuju u obiteljskim kućama, stambenim zgradama i vilama:

- krovne terase pretvaraju se u **zelene vrtove ili rekreacijske zone**,
- pročelja se oplemenjuju penjačicama koje **smanjuju toplinsko opterećenje** ljeti,
- dodatak balkonskim strukturama s biljkama stvara **prirodnu zaštitu od pogleda i buke**.

*b) Poslovne i javne zgrade*

Sve veći broj ureda, škola, bolnica i trgovina integrira zelene sustave u:

- **fokusne zidove i atrije**, koji poboljšavaju unutarnju mikroklimu i estetiku,
- **krovne površine** koje smanjuju energetske potrebe zimi i ljeti,
- **reprezentativne fasade** koje podržavaju brendiranje kroz održive vrijednosti.

c) *Infrastruktura i javni prostor*

- **autobusna i željeznička stajališta s zelenim krovovima**,
- **pješački mostovi i parkirališta s vegetacijskim oblogama**,
- **zeleni zidovi u podzemnim prolazima** – za filtraciju zraka i estetski dojam.

4. Ekološke i energetske prednosti

a) *Smanjenje urbanih toplinskih otoka*

Vegetacija na krovovima i fasadama **apsorbira sunčevu energiju**, isparava vlagu i hladi zrak, smanjujući temperaturu okolnog prostora do 3–5 °C.

b) *Poboljšanje energetske učinkovitosti zgrada*

Zeleni slojevi djeluju kao **toplinska barijera**, čime se:

- smanjuju potrebe za klimatizacijom ljeti,
- poboljšava izolacija zimi,
- štite krovne membrane od UV zračenja i temperaturnih oscilacija.

Procjene pokazuju da zeleni krov može smanjiti **energetsku potrošnju i do 30%**.

c) *Apsorpcija CO<sub>2</sub> i filtracija zraka*

Biljke apsorbiraju CO<sub>2</sub>, hlapljive organske spojeve (VOC) i lebdeće čestice (PM10), poboljšavajući kvalitetu zraka, osobito u gusto naseljenim područjima.

d) *Upravljanje oborinskim vodama*

Zeleni krovovi zadržavaju 50–90% oborinskih voda, smanjujući opterećenje kanalizacijskog sustava, sprječavajući poplave i poboljšavajući lokalnu hidroregulaciju.

5. Društveni i ekonomski učinci

a) *Povećanje vrijednosti nekretnine*

Objekti sa zelenim krovovima i fasadama često imaju veću tržišnu vrijednost zbog:

- estetskog dojma,
- manjih troškova energije,
- usklađenosti s ESG standardima i certifikatima (LEED, BREEAM).

b) *Psihološki i zdravstveni benefiti*

Povezanost s prirodom (tzv. **biophilic design**) dokazano smanjuje stres, potiče produktivnost i stvara ugodnije radno i životno okruženje.

c) *Urbanistička integracija*

Zelene površine na zgradama nadoknađuju **nedostatak zemljišta za parkove** u gusto izgrađenim sredinama i mogu se uključiti u **zeleno-plavu infrastrukturu** gradova.

6. Izazovi i ograničenja

- **Veća početna investicija** – osobito kod intenzivnih krovova i aktivnih fasadnih sustava;
- **Opterećenje konstrukcije** – potrebno je statičko prilagođavanje, osobito kod rekonstrukcija;
- **Održavanje** – sustavi zahtijevaju redovitu njegu, gnojidbu i sustav za navodnjavanje;
- **Odabir biljnih vrsta** – mora biti usklađen s mikroklimom, ekspozicijom i nosivošću.

7. Primjeri dobre prakse

- **Zgrada Općine Linz (Austrija)** – zeleni krov s edukativnim vrtom dostupan građanima;
- **Bosco Verticale (Milano, Italija)** – dvije stambene kule s više od 900 stabala i 20.000 biljaka na fasadama;
- **Fakultet tehničkih znanosti u Splitu (Hrvatska)** – pilot projekt zelene fasade s automatskim navodnjavanjem;

- **Zelena autobusna stajališta u Utrechtu (Nizozemska)** – zeleni krovovi na 300 nadstrešnica, s ciljem poboljšanja bioraznolikosti i kvalitete zraka.

Zelene fasade i krovovi predstavljaju spoj **arhitekture, ekologije i inženjerstva**, pružajući niz koristi za zgrade, korisnike i širu urbanu zajednicu. Oni nisu samo estetski dodatak, već **strateški alat za klimatsku otpornost gradova**, poboljšanje kvalitete zraka i vode, te stvaranje zdravijih, humanijih prostora za život i rad. U svijetu u kojem prostori moraju biti istodobno funkcionalni i regenerativni, živa arhitektura nudi rješenja koja rastu – doslovno i simbolično – zajedno s gradom.

## 16. TERMOIZOLACIJA OD RECIKLIRANIH TRAPERICA

---

### Termoizolacija od recikliranih traperica u građevinarstvu: Od otpada do održive topline

U potrazi za održivim, zdravim i visokoučinkovitim građevinskim materijalima, termoizolacija od recikliranih traperica sve više privlači pažnju projektanata, investitora i stručnjaka za zelenu gradnju. Riječ je o materijalu koji se proizvodi od postindustrijskog ili postpotrošačkog tekstilnog otpada – najčešće pamuka iz starih traperica – te se koristi kao toplinska i zvučna izolacija u zidovima, krovovima i podovima. Osim što pomaže u zbrinjavanju tekstilnog otpada, ova izolacija pruža niz prednosti u pogledu zdravlja, ugodnosti stanovanja i energetske učinkovitosti.

#### 1. Sastav i proizvodnja izolacije od recikliranih traperica

Glavni sastojak ovakve izolacije je **pamuk**, koji čini 80–90% sastava većine traperica. Uz dodatak vezivnih vlakana (npr. poliestera) i **prirodnih ili recikliranih vlakana**, izolacijski materijal se oblikuje u **ploče, rolo trake ili rasuti materijal**.

Proces proizvodnje uključuje:

- prikupljanje starih traperica i tekstila,
- usitnjavanje i razvlaknjavanje materijala,
- dodavanje veziva i sredstava protiv plijesni i vatre,
- formiranje u željeni format i gustoću.

Mnogi proizvođači koriste **neotrovne retardante plamena** (npr. borate) kako bi osigurali sigurnost bez utjecaja na zdravlje korisnika.

#### 2. Tehnička svojstva i prednosti

Izolacija od recikliranog traperica ističe se sljedećim karakteristikama:

- **Toplinska provodljivost ( $\lambda$ -vrijednost):** 0,037–0,040 W/mK – usporediva s mineralnom vunom ili staklenim vlaknima.
- **Zvučna izolacija:** izvrsna apsorpcija zvuka, osobito u srednjim i višim frekvencijama.
- **Paropropusnost:** materijal diše i omogućuje prirodnu regulaciju vlage, smanjujući rizik od kondenzacije i plijesni.
- **Sigurnost za zdravlje:** ne iritira kožu, oči ni dišne puteve – može se postavljati bez zaštitne opreme.
- **Otpornost na plijesan i štetočine:** zahvaljujući obradi prirodnim sredstvima (npr. borom).
- **Otpornost na vatru:** ovisno o dodatku retardanata – često zadovoljavaju klase B-s1,d0 prema europskoj normi EN 13501-1.
- **Dugotrajnost:** stabilan materijal, bez gubitka izolacijskih svojstava kroz desetljeća.

#### 3. Primjena u građevinarstvu

##### a) Vanjski zidovi i pregradni zidovi

Izolacija se ugrađuje u:

- **ventilirane fasade** – kao sekundarni sloj iza parne brane,
- **sustave suhe gradnje** (gips-kartonske pregrade),
- **zidove drvenih montažnih kuća** – odlično se kombinira s prirodnim materijalima poput drva i gline.

##### b) Krovne konstrukcije

Idealan je materijal za:

- **naģibe potkrovlja** – jednostavna ugradnja bez iritacije koģe,
- **ravne krovove** – u kombinaciji s dodatnim hidroizolacijskim slojevima,
- **zeleni krovovi** – kao paropropusna toplinska podloga.

##### c) Podne konstrukcije

Zbog akustičnih svojstava koristi se u:

- **zvukoizolaciji međukatnih konstrukcija,**
- **plivajućim podovima** – ispod OSB ploča, laminata ili parketa.

#### d) Obnova i sanacija zgrada

Zbog fleksibilnosti i lake obrade, izvrsno se koristi u:

- **rekonstrukciji povijesnih objekata** – gdje su klasični materijali preteški ili neprikladni,
- **unutarnjoj izolaciji bez promjene izgleda fasade** – osobito u zaštićenim starogradskim jezgrama.

#### 4. Ekološki i društveni aspekti

##### Ekološke prednosti:

- **Smanjenje tekstilnog otpada** – godišnje se u EU generira više od 4 milijuna tona tekstilnog otpada, a traperice čine velik dio.
- **Niska potrošnja energije pri proizvodnji** – znatno manja od mineralne vune ili poliuretanskih materijala.
- **Mali ugljični otisak** – CO<sub>2</sub> emisije tijekom životnog ciklusa značajno su niže nego kod sintetičkih izolacija.
- **Reciklabilnost i biorazgradivost** – pamuk i prirodna vlakna razgrađuju se bez štetnih ostataka.

##### Društvene koristi:

- **Zdravlje korisnika i radnika** – bez staklenih vlakana i kemijskih iritansa.
- **Mogućnost lokalne proizvodnje i zapošljavanja** – obrada tekstilnog otpada može se organizirati na regionalnoj razini.
- **Povezivanje građevinskog i tekstilnog sektora** – doprinos kružnom gospodarstvu i inovacijama.

#### 5. Usporedba s klasičnim izolacijskim materijalima

Materijal	$\lambda$ -vrijednost (W/mK)	Paropropusnost	Zdravstveni utjecaj	Reciklabilnost
Reciklirane traperice	0,037 – 0,040	visoka	bez iritacije	da
Mineralna vuna	0,035 – 0,040	srednja	može iritirati	djelomično
EPS (stiropor)	0,030 – 0,040	vrlo niska	bez utjecaja	ograničeno
Drvena vlakna	0,038 – 0,043	visoka	prirodni materijal	da

#### 6. Izazovi i ograničenja

- **Dostupnost i cijena** – ovisno o količini dostupnog tekstilnog otpada i skalabilnosti proizvodnje, cijena može biti viša od standardnih izolacija.
- **Otpornost na vlagu** – iako paropropusna, materijal mora biti pravilno zaštićen od direktnog kontakta s vodom.
- **Standardizacija i certifikacija** – još uvijek je manji broj proizvođača certificiran prema svim građevinskim normama.
- **Zastupljenost na tržištu** – u Hrvatskoj i regiji tek u fazi upoznavanja i pilot-projekata.

#### 7. Primjeri iz prakse

- **Izgradnja pasivnih kuća u Njemačkoj i Austriji** – korištenje traperica kao unutarnje izolacije u zidovima i krovovima.
- **Zelene škole i vrtići u Nizozemskoj** – izabrana kao “nultoksična” alternativa mineralnoj vuni.
- **Obnova povijesnih drvenih kuća u Sloveniji i Češkoj** – koristi se u kombinaciji s glinenim žbukama i drvenim vlaknima.

Termoizolacija od recikliranih traperica utjelovljuje sve što održiva gradnja treba biti: **zdrava, učinkovita, ekološki odgovorna i socijalno korisna**. Ovaj materijal pretvara tekstilni otpad u toplinsku i zvučnu ugodu, štiteći okoliš i zdravlje ljudi. U kombinaciji s prirodnim građevinskim tehnikama i visokim energetske standardima, izolacija od traperica nudi pametno rješenje za gradnju budućnosti – u kojoj ono što je nekad bio otpad postaje ključni element ugodnog, toplog i dugotrajnog doma.



## 17. GUMA IZ RECIKLIRANIH GUMA

---

### **Reciklirana guma u građevinarstvu: Otporan, fleksibilan i održiv materijal nove generacije**

Reciklirana guma, najčešće dobivena od otpadnih automobilskih i kamionskih guma, sve se više koristi kao građevinski materijal u kontekstu održive gradnje i kružnog gospodarstva. Zahvaljujući svojoj izdržljivosti, elastičnosti, otpornosti na vlagu i zvuk, guma je prilagodljiva širokom spektru primjena u graditeljstvu: od protukliznih i udobnih podloga, preko akustične i toplinske izolacije, do specijaliziranih ploča, fasada, obloga i asfaltnih mješavina. Njena reciklaža ne samo da rješava veliki ekološki problem odlaganja guma, već i generira proizvode visoke dodane vrijednosti za građevinsku industriju.

#### **1. Sirovina: Što je reciklirana guma?**

Reciklirana guma najčešće dolazi iz:

- otpadnih automobilskih guma (najveći izvor),
- industrijske i sportske opreme,
- gumenih traka i proizvoda.

Proces obrade uključuje:

- **mehaničku separaciju** (drobljenje, granulacija),
- **odvajanje metala i tekstila**,
- formiranje gumenih granula, praha ili panela koji se mogu oblikovati u nove građevinske komponente.

Ovisno o primjeni, reciklirana guma se koristi samostalno ili u kombinaciji s drugim materijalima kao što su poliuretanske smole, plastika, drvo ili beton.

#### **2. Tehnička svojstva i prednosti reciklirane gume**

- **Elastičnost i otpornost na udarce** – upija energiju, smanjuje oštećenja i štiti korisnike;
- **Protuklizna površina** – savršena za mokra i prometna područja;
- **Otpornost na vodu, UV zračenje i kemikalije** – dugotrajnost i stabilnost u vanjskim uvjetima;
- **Izvrсна zvučna i vibracijska izolacija** – upija buku i vibracije;
- **Otpornost na trošenje** – čak i kod velikih opterećenja;
- **Fleksibilnost u montaži i oblikovanju** – može se rezati, savijati i lijevati;
- **Nizak trošak sirovine** – jer je dobivena iz otpada.

#### **3. Ključne primjene reciklirane gume u građevinarstvu**

##### **a) Gumene podloge i pločice za interijere i eksterijere**

Jedna od najraširenijih primjena je u obliku **gumenih podnih ploča**, koje se koriste u:

- **dječjim igralištima i školskim dvorištima** – zbog amortizacije padova i otpornosti na vremenske uvjete;
- **teretanama i fitness dvoranama** – podovi otporni na udarce utega, neklizajući i zvučno izolirani;
- **industrijskim halama i skladištima** – otpornost na habanje i vibracije strojeva;
- **javnim površinama i pješačkim zonama** – dugotrajne, vizualno raznolike i sigurne za hodanje;
- **balkonima i terasama** – otporne na smrzavanje i UV zračenje, ugodne za hodanje.

Dostupne su kao **ploče, rolne ili modularni elementi**, u različitim bojama, debljinama i teksturama.

##### **b) Izolacijski materijal (toplinska, zvučna i vibracijska izolacija)**

Zahvaljujući gustom i elastičnom sastavu, reciklirana guma ima izuzetna izolacijska svojstva:

- **u podnim konstrukcijama** – za zvučnu izolaciju (tzv. "floating floors"),

- **u stropovima i zidovima** – kao barijera protiv buke u hotelskim, uredskim i stambenim zgradama,
- **u industrijskim zgradama i radionicama** – za redukciju vibracija strojeva i udarne buke,
- **u tehničkim prostorijama (liftovi, strojarnice)** – ublažavanje širenja zvuka i vibracija kroz konstrukciju,
- **kao podloga ispod estriha i laminata** – za povećanje udobnosti i smanjenje prijenosa buke.

U obliku granula, guma se dodaje i u **zvučno-izolacijske žbuke i panele**, osobito u kombinaciji s vlaknima celuloze, drva ili konoplje.

#### c) Građevinski paneli, moduli i elementi

Reciklirana guma se koristi i za izradu:

- **fasadnih obloga i dekorativnih panela** – često u kombinaciji s drvenim vlaknima i recikliranom plastikom (WPC-Gum),
- **pregačnih zidova u javnim prostorima** – zbog akustičnih i sigurnosnih karakteristika,
- **ploča za zaštitu zidova i stubišta u školama, bolnicama i sportskim objektima**,
- **protupotresnih slojeva između konstrukcijskih elemenata** – posebno u zgradama otpornima na seizmičke udare.

#### d) Asfaltne i betonske mješavine

Reciklirana guma se melje u prah i dodaje u asfalt, čime se dobiva tzv. **gumeni asfalt**, koji:

- smanjuje buku prometa do 50%,
- povećava elastičnost i otpornost na pucanje,
- produžava vijek trajanja prometnica.

Sličan princip koristi se i kod **gumenog betona** – gdje se manji udio agregata zamjenjuje granuliranim gumom, osobito u ivičnjacima, podlogama i urbanim pločnicima.

## 4. Ekološke i društvene prednosti

### Ekološki doprinos:

- **Smanjenje otpada guma** – jedna guma razgrađuje se i do 100 godina; reciklažom se izbjegava njihovo spaljivanje ili odlaganje;
- **Ušteda resursa** – guma zamjenjuje sirovine poput plastike, cementa i pijeska;
- **Niže emisije CO<sub>2</sub>** – pri proizvodnji građevinskih komponenti;
- **Podrška kružnom gospodarstvu** – sektor reciklaže i građevinarstva djeluju u sinergiji.

### Društveni učinak:

- **Sigurniji prostori** – otpornost na klizanje i udarce važna je u školama, vrtićima, sportskim i javnim prostorima;
- **Udobniji interijeri** – zahvaljujući boljoj akustici i mekoći podova;
- **Mogućnost lokalne proizvodnje i upošljavanja** – obrada gume i proizvodnja komponenti mogu se provoditi regionalno.

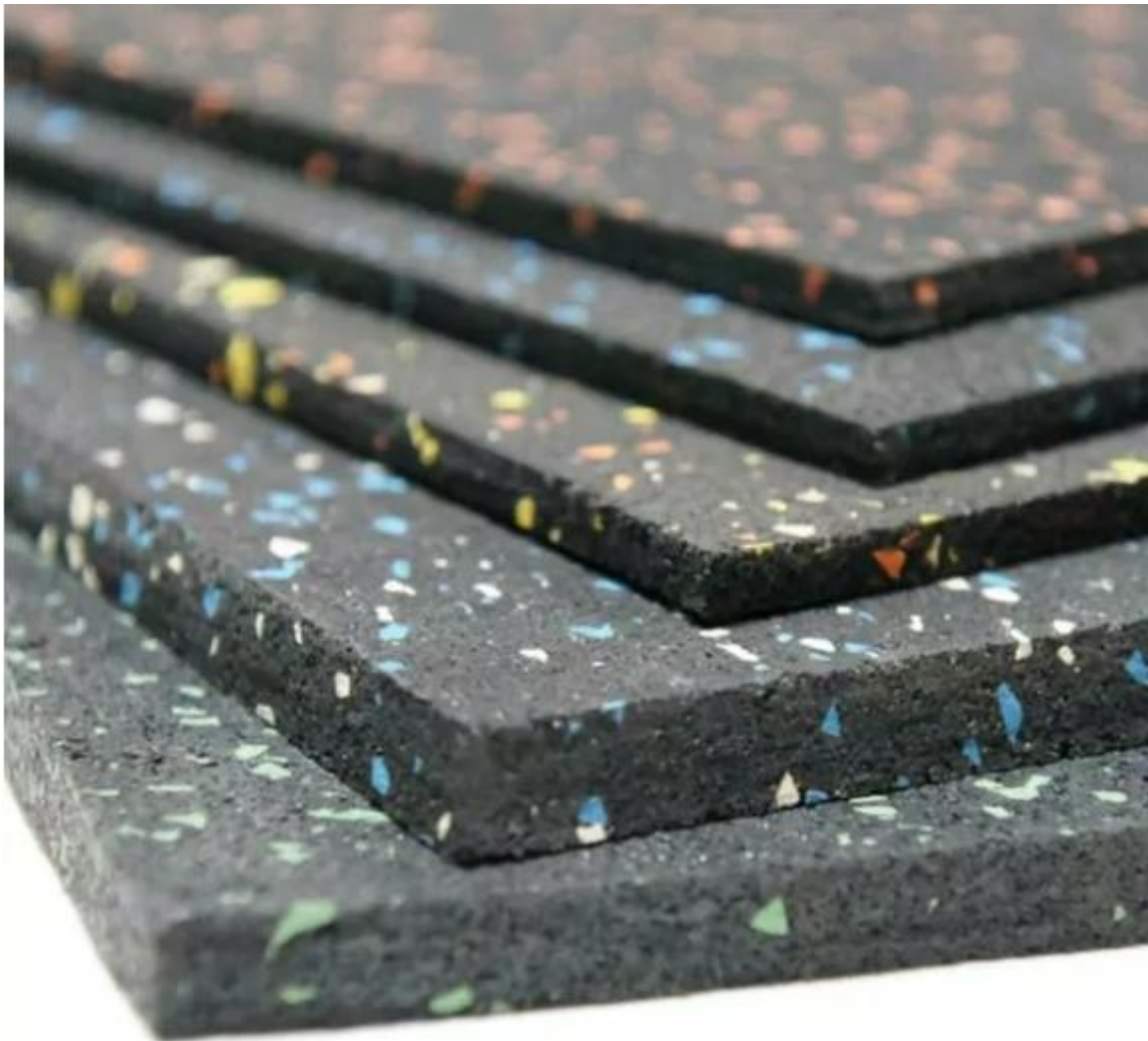
## 5. Izazovi i ograničenja

- **Ograničena otpornost na visoke temperature** – zbog sastava guma, primjena nije preporučljiva blizu izvora topline;
- **U nekim slučajevima – emisija mirisa** – posebno u zatvorenim prostorima loše ventiliranim, ako guma nije pravilno obrađena;
- **Potreba za certificiranjem** – kako bi materijali zadovoljili građevinske i sanitarne standarde;
- **Nedovoljna tržišna edukacija** – potencijal još uvijek nije dovoljno prepoznat u standardnim projektima.

## 6. Primjeri dobre prakse

- **Dječja igrališta u skandinavskim zemljama** – koriste isključivo gumene ploče iz reciklaže za podloge;
- **Niskobučne prometnice u Nizozemskoj i SAD-u** – s gumiranim asfaltom;
- **Zgrade s pasivnim akustičkim zidovima u Austriji i Njemačkoj** – koriste gumene izolacijske slojeve ispod estriha;
- **Reciklirani gumeni moduli** kao zidne i fasadne obloge u eksperimentalnim arhitektonskim projektima u Francuskoj, Belgiji i Japanu.

Reciklirana guma nudi kombinaciju **otpornosti, fleksibilnosti, izolacijskih svojstava i ekološke vrijednosti**, koja ju čini izuzetno korisnom u suvremenom građevinarstvu. Njezina svestranost omogućuje upotrebu u gotovo svim segmentima zgrade – od poda do krova, od igrališta do fasade. U vremenu u kojem se održivost i zdravlje korisnika sve više nalaze u središtu arhitektonskih rješenja, **guma postaje ne samo alternativa, već i predvodnik materijala budućnosti**, koji štite i okoliš – i čovjeka.



## 18. MAGNEZIJEVA PLOČA (MgO board)

---

Magnezijeva oksidna ploča je građevinski panel visoke otpornosti na vatru, vlagu i plijesan. Koristi se kao zamjena za gipskarton u zidovima i stropovima. Ima manji utjecaj na okoliš, dugotrajan je i lako se reciklira. Idealna je za područja s visokom vlagom.

### **Magnezijeva ploča (MgO board) u građevinarstvu: Svestrani materijal nove generacije**

Magnezijeva ploča, poznata i kao **MgO ploča**, predstavlja inovativni građevinski materijal koji se koristi kao zamjena za gips-kartonske ploče, cementne ploče i čak OSB ploče, osobito u projektima koji zahtijevaju **otpornost na vlagu, vatru, plijesan i štetnike**. Riječ je o višeslojnoj, čvrstoj i laganoj ploči izrađenoj na osnovi **magnezijevog oksida i magnezijevog klorida** ili sulfata, armirane staklenim vlaknima, prirodnim punilima i aditivima koji poboljšavaju mehanička i vatrootporna svojstva.

Zahvaljujući svojoj strukturi i ekološkoj prihvatljivosti, MgO ploče sve češće nalaze primjenu u modernom građevinarstvu – kako u **novogradnji**, tako i u **rekonstrukciji** te **interijerima visoke razine sigurnosti i higijene**.

### **1. Sastav i proizvodni proces**

MgO ploče izrađuju se na bazi:

- **Magnezijevog oksida (MgO)** – prirodni mineral dobiven kalcinacijom magnezita,
- **Magnezijevog klorida (MgCl<sub>2</sub>) ili sulfata (MgSO<sub>4</sub>)** – djeluju kao veziva,
- **armature od staklenih vlakana** – za dodatnu mehaničku stabilnost,
- **drvenih vlakana, perlita, vermikulita ili celuloze** – za poboljšanje izolacije i obradivosti.

Smjesa se lijeva u kalupe, suši u kontroliranim uvjetima i reže u različite formate. Konačni proizvod je **glatka, ravna, čvrsta i vatrootporna ploča**, spremna za obradu, bojenje, žbukanje ili oblaganje.

### **2. Tehnička svojstva i prednosti**

MgO ploče se ističu nizom korisnih karakteristika:

- **Otpornost na vatru:** klasa A1 prema EN 13501 – ne gori, ne dimi i ne ispušta toksične plinove.
- **Otpornost na vlagu i plijesan:** ne upija vodu trajno, ne propada, ne bubri, idealna za kupaonice, podrumi i kuhinje.
- **Otpornost na štetnike:** ne sadrži organski materijal, odbija glodavce i insekte.
- **Mehanička čvrstoća:** bolja nosivost od gipsa, otpornost na udarce.
- **Dimenzijska stabilnost:** ne savija se i ne mijenja dimenzije pod utjecajem vlage ili temperature.
- **Paropropusnost:** omogućuje disanje zidova, važna u prirodnoj gradnji.
- **Ekološka prihvatljivost:** bez formaldehida, VOC-a, azbesta i sintetičkih ljepila.
- **Jednostavna obrada:** može se piliti, bušiti, glodati i bojati kao drvo ili gips-ploča.

### **3. Primjene u građevinarstvu**

#### **a) Suha gradnja: zidovi i stropovi**

MgO ploče se koriste kao zamjena za gips-kartonske ploče u sustavima suhe gradnje:

- **unutarnje pregradne zidove** (stanovi, hoteli, škole, bolnice),
- **obloge postojećih zidova** za povećanje protupožarne otpornosti,
- **spuštene stropove i podglazene konstrukcije**.

Zbog svoje čvrstoće omogućuju i **završnu obradu bez dodatnih ploča**, a zbog otpornosti na vlagu pogodne su za kupaonice i kuhinje.

#### **b) Vanjske obloge i fasade**

U laganoj gradnji, MgO ploče se koriste kao:

- **osnovni nosivi sloj ispod završne fasade (ETICS sustav),**

- **vanjski zidni paneli** u drvenim ili čeličnim konstrukcijama,
- **vjetrobranske obloge i međuslojevi** koji štite od atmosferskih utjecaja.

Zahvaljujući otpornosti na vlagu i mraz, dugotrajan su izbor bez potrebe za dodatnim kemijskim zaštitama.

#### c) Podloge za podove i keramiku

- **Podloge za pločice** u kupaonicama, kuhinjama i prostorima s visokom vlagom,
- **podkonstrukcije** za vinilne podove, parkete i tepihe,
- **terase i balkoni** – kao baza ispod hidroizolacijskih sustava.

#### d) Protupožarne pregrade i obloge

Zbog visoke otpornosti na vatru, MgO ploče se koriste u:

- **protupožarnim zidovima i stropovima** (npr. između stanova ili između poslovnih prostora),
- **liftovskim oknima i izlazima u nuždi,**
- **industrijskim objektima, skladištima i garažama.**

### 4. Ekološke i energetske prednosti

#### Ekološki doprinos:

- **Niski ugljični otisak** – proizvodnja MgO troši manje energije nego cement;
- **Prirodne sirovine** – bez toksičnih dodataka, pogodna za zelene zgrade;
- **Rekultivacija otpada** – MgO se može drobiti i koristiti kao dodatak u cementu ili kao punilo.

#### Energetski doprinos:

- **Povećanje energetske učinkovitosti zgrada** – u kombinaciji s termoizolacijom smanjuje toplinske mostove;
- **Stabilnost u zahtjevnim klimatskim uvjetima** – ne gubi svojstva pod utjecajem vlage, sunca i promjena temperature.

### 5. Usporedba s drugim pločastim materijalima

Svojstvo	MgO ploča	Gips-karton	Cementna ploča	OSB ploča
Vatrootpornost	A1 (ne gori)	ograničena	dobra	goriva
Otpornost na vlagu	izvrsna	slaba	izvrsna	slaba
Mehanička čvrstoća	visoka	srednja	visoka	visoka
Toksini / VOC	nema	moguć	ovisno	može sadržavati
Laka obrada	da	da	nešto teže	da
Ekološka prihvatljivost	visoka	srednja	srednja	niska

### 6. Izazovi i ograničenja

- **Cijena** – viša od gips-kartonskih ploča, ali s duljim vijekom trajanja i većom otpornošću;
- **Nedovoljna prisutnost na tržištu** – osobito u srednjoj i jugoistočnoj Europi, gdje je edukacija o materijalu još u tijeku;
- **Kloridne varijante mogu uzrokovati koroziju metala** – u visokovlažnim uvjetima preporučuje se korištenje MgO ploča na bazi **magnezijevog sulfata**, koje su stabilnije;
- **Zahtjev za ispravnim pričvršćivanjem** – zbog čvrstoće potrebno je koristiti odgovarajuće vijke i alate.

### 7. Primjeri iz prakse

- **Pasivne kuće u Švicarskoj i Njemačkoj** koriste MgO ploče kao vanjske i unutarnje zidne obloge zbog otpornosti i ekoloških svojstava.
- **Zelene škole i vrtići u Skandinaviji** koriste MgO zbog nepostojanja VOC-a i lakoće čišćenja.

- **Visokogradnja u SAD-u i Kanadi** koristi MgO kao protupožarnu zaštitu u hotelskim i bolničkim objektima.
- **Drvene montažne kuće u Sloveniji i Austriji** koriste MgO kao multifunkcionalni zamjenski sloj za OSB i gips-karton.

Magnezijeve ploče (MgO) predstavljaju **suvremeni građevinski materijal koji spaja otpornost, sigurnost, ekološku prihvatljivost i dugotrajnost**. Njihova višestruka primjena – od interijera do eksterijera, od zidova do podova – čini ih pogodnima za objekte svih namjena: stambene, javne, industrijske i montažne. U kontekstu sve veće potrebe za građevinskim rješenjima koja su otporna, zdrava i održiva, MgO ploča nije samo alternativa – već pametan izbor za arhitekturu budućnosti.

## 19. RECIKLIRANI ALUMINIJ

---

**Reciklirani aluminij u građevinarstvu: Lagan, trajan i održiv materijal s brojnim prednostima**  
Aluminij je jedan od najvažnijih metala u građevinskoj industriji – poznat po svojoj **otpornosti na koroziju, lakoći, čvrstoći i trajnosti**. No ono što ga čini posebno vrijednim u kontekstu održive gradnje je činjenica da se **može reciklirati gotovo beskonačno, bez gubitka kvalitete**. U građevinskoj praksi sve se češće koristi **reciklirani aluminij**, čime se znatno smanjuje potreba za eksploatacijom primarne sirovine (boksita) te se drastično snižava **energetski i ugljični otisak proizvodnje**.

### 1. Aluminij kao građevinski materijal: osnovne prednosti

Bez obzira je li riječ o primarnom ili recikliranom aluminiju, ovaj metal u graditeljstvu donosi niz prednosti:

- **Izuzetno niska gustoća** – aluminij je gotovo tri puta lakši od čelika;
- **Visoka otpornost na koroziju** – osobito u kombinaciji s anodizacijom ili praškastim premazima;
- **Otpornost na UV zračenje i vremenske uvjete;**
- **Izvrсна mogućnost oblikovanja i precizna izrada profila;**
- **Dobra toplinska i električna vodljivost;**
- **Rekordna reciklabilnost** – čak 75% ukupno proizvedenog aluminija još je uvijek u upotrebi;
- **Nezapaljivost i otpornost na toplinu** – važno za protupožarne sustave.

Zahvaljujući tim svojstvima, aluminij se koristi u velikom broju građevinskih komponenti – od fasada i krovnih sustava do prozora, vrata, pregrada, nosivih konstrukcija i dekorativnih elemenata.

### 2. Reciklirani aluminij: proizvodnja i okolišna vrijednost

**Reciklirani aluminij** dobiva se taljenjem starog aluminija iz otpada – najčešće iz napuštenih građevinskih komponenti, limenki, elektroničke opreme i automobilske industrije. Proces zahtijeva:

- **do 95% manje energije** u usporedbi s proizvodnjom primarnog aluminija iz boksita,
- **znatno niže emisije CO<sub>2</sub>** (procjenjuje se da je emisija kod recikliranog aluminija oko 0,5 t CO<sub>2</sub> po toni, dok je kod primarnog 10–12 t CO<sub>2</sub>/t),
- **manje otpadnih produkata** i opterećenja okoliša (nema potrebe za iskopima niti kemijskom preradom rude).

S obzirom na ove brojke, korištenje recikliranog aluminija smatra se **jednim od ključnih načina smanjenja ugljičnog otiska građevinskog sektora**.

### 3. Primjena recikliranog aluminija u građevinarstvu

#### a) Prozorski i fasadni sustavi

Reciklirani aluminij široko se koristi u:

- **aluminijским profilima za prozore i vrata** – s mogućnošću ugradnje termo-prekida za povećanje energetske učinkovitosti;
- **sustavima staklenih fasada** (tzv. curtain walling) – u uredskim zgradama, trgovačkim centrima, bolnicama;
- **venecijanerima, roletama i zaštitnim ekranima** – zbog lagane konstrukcije i otpornosti na atmosferilije.

Njegova elastičnost i mogućnost precizne izrade omogućuju sofisticirane dizajnerske rješenja, dok je dugotrajan i jednostavan za održavanje.

#### b) Krovni sustavi i limarija

Reciklirani aluminij koristi se za:

- **limene krovove i oluk-sustave** – aluminijski limovi otporni su na koroziju i ne zahtijevaju dodatnu zaštitu;
- **krovne panele i solarne nosače** – zbog male težine ne opterećuju konstrukciju;
- **obloge streha, vijenaca i krovnih obruba** – dugovječni i estetski.

Aluminijski krovovi od recikliranog materijala izdržavaju desetljećima, a u kombinaciji sa solarnim sustavima dodatno povećavaju održivost objekta.

#### c) Nosive i polunosive konstrukcije

U lakim konstrukcijama, poput modularnih ili montažnih objekata, aluminijski profili koriste se za:

- **skele, pergole, nadstrešnice i pješačke mostove,**
- **modularne fasadne okvire i nosače staklenih ploča,**
- **vanjske stubišne konstrukcije i balustrade.**

Zbog male mase, lako se transportira i sklapa na terenu, što značajno skraćuje vrijeme izgradnje.

#### d) Unutarnja oprema i dekoracija

Reciklirani aluminijski nalazi mjesto i u:

- **unutarnjim pregradama i staklenim zidovima,**
- **profesionalnim rasvjetnim tijelima, ventilacijskim rešetkama, stropnim konstrukcijama,**
- **rukohvatima, okvirima i elementima interijera** (npr. u javnim prostorima poput aerodroma ili bolnica).

Vizualna elegancija, mogućnost anodizacije ili obrade u mat/sjajnim varijantama čini ga atraktivnim dizajnerskim materijalom.

## 4. Ekološki i gospodarski učinci primjene recikliranog aluminija

### Ekološki doprinos:

- **Znatno smanjenje emisije stakleničkih plinova** – ključni doprinos zelenoj gradnji i nZEB standardima;
- **Smanjena potrošnja primarnih resursa** – manje eksploatacije ruda i manji utjecaj na okoliš;
- **Potpuna reciklabilnost** – aluminijski elementi mogu trajati 50+ godina bez gubitka kvalitete;
- **Dugotrajnost** – aluminijski elementi mogu trajati 50+ godina bez zamjene.

### Gospodarski doprinos:

- **Uštede u troškovima održavanja** – aluminijski ne zahtijeva bojenje, zaštitu ni posebnu njegu;
- **Laganost = niži troškovi transporta i montaže;**
- **Vrijednost na sekundarnom tržištu** – aluminijski ima trajnu vrijednost kao sekundarna sirovina;
- **Pogodan za prefabrikaciju i modularnu gradnju** – smanjuje troškove radne snage i ubrzava izvedbu.

## 5. Izazovi i ograničenja

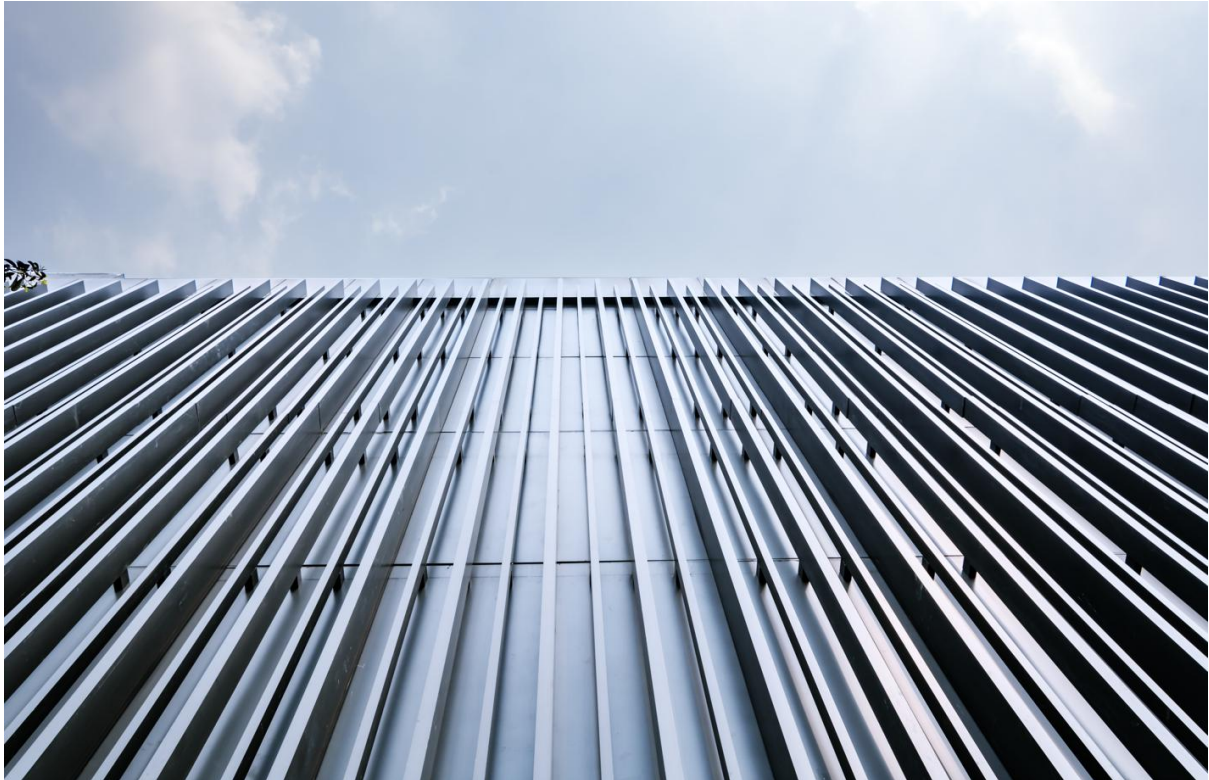
- **Viša početna cijena** u odnosu na čelik ili PVC (iako se dugoročno isplati);
- **Toplinska vodljivost** – aluminijski je vodljiviji od drva ili PVC-a, pa se mora koristiti u kombinaciji s termo-prekidima;
- **Potreba za preciznom ugradnjom** – zahtijeva kvalitetne brtvene sustave kod fasadnih i prozorskih sustava;
- **Ovisnost o kvaliteti reciklaže** – potrebno je kontrolirati udio legura i nečistoća kod recikliranog aluminija da bi se osigurala mehanička svojstva.

## 6. Primjeri dobre prakse

- **Zračna luka Heathrow (London)** – reciklirani aluminijski u fasadnim i krovnim elementima;

- **Apple Park (Kalifornija)** – koristi aluminijske panele izrađene iz recikliranog materijala;
- **Pasivne kuće u Njemačkoj i Švicarskoj** – aluminijski prozori i okviri s termo-prekidima izrađeni od recikliranih profila;
- **Modularni paviljoni i montažne škole u Nizozemskoj** – aluminijski skeletni sustavi za brzu i mobilnu gradnju.

Reciklirani aluminij u građevinarstvu spaja najbolje od dva svijeta: **tehničku izvrsnost i ekološku održivost**. Njegova široka primjena – od prozorskih sustava, preko fasada i krovova, do unutarnje opreme i nosivih struktura – čini ga ključnim materijalom u arhitekturi budućnosti. U vremenu kada se graditeljstvo mora usmjeriti prema **cirkularnim, zdravim i energetske učinkovitijim rješenjima**, reciklirani aluminij nudi jasan, lagan i trajan odgovor na izazove moderne izgradnje.



## 20. VAPNENA ŽBUKA

---

### Vapnena žbuka u građevinarstvu: Tradicionalni materijal za zdravu i održivu arhitekturu

Vapnena žbuka predstavlja jedan od najstarijih, ali i danas visoko cijenjenih građevinskih materijala koji se koristi u graditeljstvu zbog svojih iznimnih **ekoloških, higijenskih i tehničkih svojstava**. Sastoji se uglavnom od **gašenog vapna** (kalcijev hidroksid), agregata (najčešće pijeska) i vode, uz moguće dodatke kao što su vlakna, zemlja, glina ili prirodni pigmenti. Njena primjena seže tisućama godina unatrag, no u suvremenoj arhitekturi i restauraciji sve se više vraća kao **alternativa cementnim žbukama**, osobito u objektima s visokom razinom očuvanja kulturne baštine, prirodne gradnje i zdravog stanovanja.

#### 1. Osnovne karakteristike vapnene žbuke

Vapnena žbuka dobiva se miješanjem:

- **gašenog vapna ( $\text{Ca(OH)}_2$ )** – osnovno vezivo koje karbonatizira u dodiru sa zrakom;
- **mineralnog agregata** (pijeska odgovarajuće granulacije);
- **vode** – kao sredstvo za aktivaciju i obradivost.

Po potrebi se dodaju:

- **prirodna vlakna** (konoplja, slama) – za ojačanje;
- **pucolanski dodaci** (npr. glina, cigleni prah) – za otpornost u vlažnim uvjetima;
- **pigmenti i vapnene boje** – za estetsku završnu obradu.

Proces stvrdnjavanja vapna temelji se na **karbonatizaciji** – reakciji s  $\text{CO}_2$  iz zraka, čime se vapno pretvara u **kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )**, tvar slična prirodnom kamenu.

#### 2. Tehnička i ekološka svojstva

- **Paropropusnost** – omogućuje zidovima da “dišu”, što sprečava kondenzaciju i plijesan;
- **Visoka alkalnost ( $\text{pH} > 12$ )** – prirodna otpornost na razvoj gljivica i bakterija;
- **Regulacija vlage** – sposobnost upijanja i isparavanja vlage iz zraka;
- **Otpornost na UV zračenje i vremenske uvjete;**
- **Samozacjeljujući učinak kod mikrooštećenja** – karbonatizacija može “popraviti” manje pukotine;
- **Nezapaljivost** – idealno za povećanje protupožarne zaštite;
- **Ekološka neutralnost** – vapno je prirodni materijal, razgradiv i bez štetnih emisija;
- **Niski ugljični otisak** – osobito kod vapna iz lokalne proizvodnje.

#### 3. Primjena vapnene žbuke u građevinarstvu

##### a) Povijesne i zaštićene građevine

Vapnena žbuka je **standard u konzervatorskim radovima**, gdje se naglašava kompatibilnost s izvornim materijalima:

- **restauracija kamenih i zidanih fasada,**
- **unutarnje žbukanje povijesnih objekata,**
- **uklanjanje cementnih slojeva koji sprječavaju disanje zidova.**

Vapno je kompatibilno s poroznim materijalima (opeka, kamen, glina), jer ima **sličnu paropropusnost** i ne stvara napetosti između slojeva.

##### b) Prirodna i održiva gradnja

U ekološkoj i biološkoj gradnji, vapnene žbuke koriste se u kombinaciji s:

- **slamnato-zemljanim zidovima,**
- **balama slame i drvenim konstrukcijama,**
- **glinenim i konopljinim ispunama.**

Zahvaljujući otpornosti na vlagu i plijesni, odličan je izbor za prostore visoke vlažnosti – npr. **kuhinje, kupaonice i podrum**.

##### c) Moderni objekti visoke energetske učinkovitosti

Iako tradicionalni materijal, vapnena žbuka se uspješno integrira u suvremene objekte:

- **unutarnje paropropusne žbuke u pasivnim i nZEB kućama,**
- **kombinacija s vapnenim ili glinenim bojama** za potpuno prirodne interijere,
- **primjena na zidovima s difuzijski otvorenim termoizolacijama** (npr. drvena vlakna, konoplja, pluto).

Zbog sposobnosti regulacije vlage i toplinske mase, vapnene žbuke poboljšavaju mikroklimu i udobnost prostora.

#### 4. Načini nanošenja i vrste vapnene žbuke

- **Gruba vapnena žbuka** – s krupnijim agregatom (do 4 mm), koristi se kao osnovni sloj;
- **Fina završna žbuka (štukatura)** – s vrlo finim pijeskom ili marmornim prahom, može se glačati do visoke glatkoće;
- **Dekorativna žbuka** – strukturalne, rustikalne i trodimenzionalne teksture;
- **Vapnena žbuka s pucolanskim dodacima** – otpornija na vlagu i kiseline (npr. za vanjske zidove ili bunare);
- **Tadelakt** – vodootporna tehnika na bazi vapna, polirana kamenjem i maslinovim sapunom (tradicionalno u Maroku).

#### 5. Ekološke i zdravstvene prednosti

- **Netoksičnost** – ne sadrži sintetička veziva, konzervanse ni plastifikatore;
- **Prirodna dezinfekcija zraka** – alkalna svojstva neutraliziraju spore i mikroorganizme;
- **Zdrava unutarnja klima** – bez emisija VOC-a, idealno za alergičare i osjetljive osobe;
- **Održivost** – obnovljiv materijal s niskim emisijama u proizvodnji i reciklaži.

#### 6. Ograničenja i izazovi

- **Sporiji proces stvrdnjavanja** – karbonatizacija traje danima, osobito u zatvorenim prostorima;
- **Osjetljivost na mraz u ranim fazama** – zimi zahtijeva zaštitu i kontrolu temperature;
- **Manja mehanička otpornost** od cementnih žbuka – nije prikladna za visokopterećene površine (npr. hodnici u školama);
- **Potrebno stručno znanje** – priprema i nanošenje zahtijeva iskustvo u obradi prirodnih materijala;
- **Potrebno više slojeva** – standardno 2–3 sloja s vremenom sušenja između.

#### 7. Primjeri dobre prakse

- **Dubrovnik, Trogir i Split** – vapnene žbuke su standard u obnovi kamenih fasada;
- **Eko-sela i prirodne kuće u Hrvatskoj i Sloveniji** – koriste vapno u kombinaciji s glinom i slamom;
- **Restauracija dvoraca i sakralnih objekata u Italiji i Austriji** – tradicionalne tehnike štukature i dekorativne vapnene žbuke;
- **Pasivne kuće u Njemačkoj i Švicarskoj** – unutarnje paropropusne žbuke s čistim vapnom.

Vapnena žbuka je materijal koji na jedinstven način povezuje **graditeljsku tradiciju i suvremene zahtjeve održivosti**. Njena prirodna svojstva – od disanja zidova, regulacije vlage i otpornosti na plijesan, do estetike i ekološke prihvatljivosti – čine je nezaobilaznim izborom za zdraviju, otporniju i dugotrajniju arhitekturu. Bilo da se koristi u obnovi kulturne baštine, prirodnoj gradnji ili suvremenim energetski učinkovitim objektima, vapnena žbuka ostaje **živa koža zida** – koja diše, štiti i oplemenjuje prostor.

## 21. GLINENA ŽBUKA

---

### Prirodna zaštita i regulacija mikroklimе

Glinena žbuka je jedan od najstarijih građevinskih materijala koji se i danas koristi zbog svojih iznimnih **ekoloških, higijenskih i regulacijskih svojstava**. Sastavljena od prirodnih sastojaka – **gline, pijeska, vode**, te po potrebi **vlakana i drugih dodataka**, glinena žbuka se nanosi na zidove i stropove kako bi se stvorila površina koja **diše, regulira vlagu, apsorbira zvuk i doprinosi zdravlju prostora**. Osobito je važna u kontekstu **prirodne gradnje**, ali sve češće nalazi mjesto i u suvremenoj arhitekturi koja teži održivosti i biokompatibilnosti.

### 1. Sastav i vrste glinene žbuke

Osnovni sastojci glinene žbuke uključuju:

- **glinu** – koja djeluje kao prirodno vezivo, s visokim kapacitetom upijanja i otpuštanja vlage;
- **pijesak ili šljunak** – za strukturu i stabilnost;
- **voda** – za aktivaciju i obradu smjese.

Mogući dodaci:

- **vlakana (slama, konoplja, vlakna trske, životinjska dlaka)** – povećavaju otpornost na pucanje i mehaničku čvrstoću;
- **šljaka, cigleni prah, kreč** – za poboljšanje prionjivosti i izdržljivosti;
- **pigmenti, glazure, prirodne boje** – za dekorativnu završnu obradu.

Glinene žbuke dijelimo na:

- **grube glinene žbuke** – s većom granulacijom, koriste se kao osnovni (nosivi) slojevi;
- **fine završne glinene žbuke** – s finim pijeskom i pigmentima, koriste se za završnu estetiku;
- **specijalizirane žbuke** – poput glinenih štukatura, reljefnih ili dekorativnih površina.

### 2. Tehnička svojstva glinene žbuke

- **Paropropusnost** – omogućuje „disanje“ zidova i prevenciju kondenzacije;
- **Regulacija unutarnje vlage** – glina može apsorbirati i do 30% svoje težine u vlagi, koju kasnije postepeno otpušta;
- **Akumulacija topline** – visoka toplinska masa doprinosi stabilizaciji temperature;
- **Zvučna apsorpcija** – porozna struktura upija zvuk i smanjuje odjek u prostoru;
- **Antistatička svojstva** – ne privlači prašinu, idealno za alergičare;
- **Netoksičnost i biološka neutralnost** – ne sadrži formaldehide, plastifikatore ni VOC;
- **Reciklabilnost** – može se ponovno umiješati i koristiti bez gubitka kvalitete.

### 3. Primjena glinene žbuke u građevinarstvu

#### a) Prirodna gradnja i ekološki objekti

Glinena žbuka je standardni izbor u:

- **kućama od balirane slame** – osigurava paropropusnu i fleksibilnu zaštitu;
- **zemljanim građevinama (npr. cob, adobe)** – radi kompatibilnosti s osnovom;
- **drvenim konstrukcijama** – izvrsno prijanja na letve i trsku bez potrebe za sintetičkom mrežicom.

Njena sposobnost da regulira vlagu i temperaturu doprinosi ugodnoj mikroklimi bez potrebe za aktivnim sustavima ovlaživanja ili odvlaživanja zraka.

#### b) Unutarnji zidovi i stropovi u suvremenoj arhitekturi

Sve se češće koristi i u konvencionalnim objektima, posebno:

- **u interijerima koji traže zdrav okoliš** (vrtići, škole, joga dvorane, stanovi alergičara),
- **na zidovima s difuzijski otvorenim izolacijama** (npr. drvena vlakna, konoplja, celuloza),
- **kao dekorativna završna obrada** – u kombinaciji s pigmentima i prirodnim voskovima.

Glinena žbuka nije samo funkcionalna, već i **vizualno topla i taktilno ugodna**, s prirodnim mat finišem koji oplemenjuje prostor.

### c) Restauracija povijesnih objekata

Zahvaljujući svojoj **kompatibilnosti s tradicionalnim materijalima**, koristi se za:

- **unutarnju obnovu starih kuća, ambara, štala i gospodarskih objekata**,
- **zaštićene spomenike kulture**, osobito tamo gdje se nalaze zidovi od kamena, nepečene opeke ili vapna,
- **popravak zidova bez kemijskih dodataka**, gdje su tradicionalne tehnike obavezne.

## 4. Ekološke i zdravstvene prednosti

### Ekološke koristi:

- **Potpuno prirodan i lokalno dostupan materijal** – glina je pristupačna i često prisutna na samom gradilištu;
- **Niski ugljični otisak** – ne zahtijeva pečenje niti kemijsku obradu;
- **Reciklabilnost bez otpada** – ostaci žbuke mogu se ponovno koristiti ili kompostirati;
- **Podržava kružno gospodarstvo i lokalnu ekonomiju.**

### Zdravstvene koristi:

- **Bez emisije štetnih tvari (VOC)** – ne ispušta nikakve kemikalije u prostor;
- **Stvara zdravu i uravnoteženu mikroklimu** – stabilizira vlagu na razini idealnoj za ljudski organizam (40–60%);
- **Otpornost na plijesni i alergene** – zahvaljujući regulaciji vlage i pH vrijednosti;
- **Poboljšava akustiku i psihološku ugodu** – zbog apsorpcije zvuka i meke vizualne estetike.

## 5. Tehnički zahtjevi i obrada

- Glinena žbuka se nanosi **u više slojeva**: grubi osnovni sloj (1,5–2 cm), zatim izravnavajući i fini sloj (2–5 mm);
- Površina se može ostaviti **grubo ili glatko obrađena**, ovisno o estetskim zahtjevima;
- Za bolje prijanjanje koristi se **trska, drvena letva ili prirodna mreža** kao podloga;
- Potrebno je **kontrolirati sušenje** – prebrzo sušenje može uzrokovati pucanje (posebno ljeti ili kod izravnog sunca);
- Kod viših zahtjeva za čvrstoćom, može se dodati **vapno, cement ili pucolanski dodaci**, no to smanjuje prirodnost i paropropusnost.

## 6. Ograničenja i izazovi

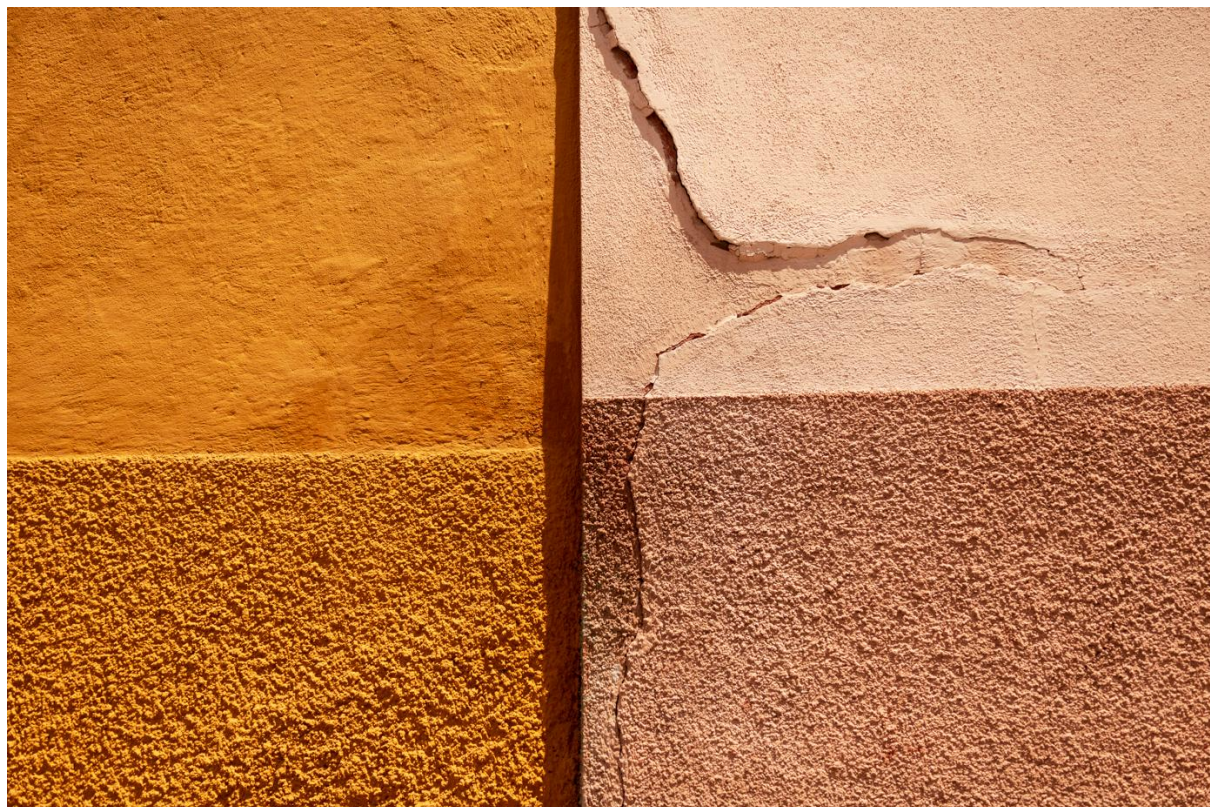
- **Osjetljivost na vodu u nezavršnom stanju** – ne smije ostati nezaštićena na mjestima izloženima prskanju ili kapima;
- **Manja mehanička otpornost od cementa** – nije pogodna za hodne površine ili zone s jakim mehaničkim opterećenjem;
- **Potrebno stručno znanje** – obrada glinenih žbuka zahtijeva iskustvo i poznavanje ritma sušenja;
- **Produženo vrijeme rada** – potrebno više slojeva i više vremena za potpuno sušenje.

## 7. Primjeri dobre prakse

- **Eko-sela u Hrvatskoj i Sloveniji** – koristi se kao standard u prirodnim kućama (glina + slama);
- **Pasivne kuće u Njemačkoj i Austriji** – unutarnje obloge od glinene žbuke zbog kapaciteta za regulaciju vlage;
- **Edukativni i terapijski centri** – zbog zdravlja korisnika i psihološkog učinka prirodnog materijala;

- **Obnove seoskih kuća i drvenih kuća u Lici, Zagorju i Gorskom kotaru** – koristi se kao autentična žbuka kompatibilna s izvornim materijalima.

Glinena žbuka je **višestruko koristan građevinski materijal**: istovremeno **regulira vlagu, doprinosi zdravlju, čuva okoliš, štiti zidove i oblikuje ugodnu atmosferu**. Njena upotreba povezuje graditeljsku tradiciju s potrebama suvremene, održive i humane arhitekture. Bilo da se koristi u prirodnim kućama, pasivnim zgradama, restauracijama kulturne baštine ili modernim interijerima, glinena žbuka ostaje dokaz da su **najzdravija rješenja često i najjednostavnija** – doslovno iz zemlje na zid.



## 22. ZEMLJANE CIGLE (COMPRESSED EARTH BLOCKS)

---

Cigle od lokalnog tla – često nazvane **zemljane cigle**, **nepečene cigle** ili **adobe** – predstavljaju jedan od najstarijih i najprirodnijih građevinskih materijala u povijesti čovječanstva. Izrađuju se **miješanjem lokalne zemlje, vode i često prirodnih vlakana (kao što su slama ili konoplja)**, zatim oblikuju u kalupima i **suše na suncu**. Za razliku od industrijskih pečениh cigli, ovaj materijal ne zahtijeva visokotemperaturnu obradu, čime značajno smanjuje svoj ugljični otisak. U kontekstu održive i lokalno prilagođene gradnje, cigle od lokalnog tla ponovno dobivaju na važnosti – osobito u zajednicama koje traže **ekološki, kulturno i klimatski integrirana rješenja**.

### 1. Sastav i proizvodnja cigli od lokalnog tla

Osnovni sastojci uključuju:

- **Zemlja s prikladnim omjerom gline i pijeska** (idealno 20–30% gline);
- **Voda** – za povezivanje i oblikovanje;
- **Vlakna** – najčešće **slama, konjska dlaka, konoplja ili vlakna korova** – za dodatnu čvrstoću i otpornost na pucanje;
- Po potrebi: **dodatak vapna ili stajskog gnoja** – poboljšava otpornost na vlagu i štetnike.

Postupak izrade:

1. **Miješanje sastojaka** – ručno ili mehanički, dok se ne dobije homogena smjesa;
2. **Formiranje u kalupe** – drveni kalupi u željenim dimenzijama (npr. 30 × 15 × 10 cm);
3. **Sušenje** – na suncu tijekom više dana ili tjedana, ovisno o klimi i vlazi;
4. **Skladištenje** – na suhom i prozračenom mjestu do upotrebe.

Rezultat su **nepečene, masivne i difuzno otvorene cigle** koje se ugrađuju kao nosivi ili ispunjeni zidni elementi.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

- **Visoka toplinska masa** – akumulira i polako otpušta toplinu, pridonosi termalnoj stabilnosti prostora;
- **Paropropusnost** – omogućuje zidovima da “dišu”, regulira vlagu u interijeru;
- **Zvučna izolacija** – masa i poroznost materijala učinkovito apsorbiraju zvuk;
- **Otpornost na vatru** – glineni materijal ne gori i ne ispušta toksične plinove;
- **Zdrav okoliš** – ne sadrži kemikalije, plastifikatore, ljepila ni toksične tvari;
- **Biološka neutralnost** – ne stvara statički elektricitet, ne privlači prašinu;
- **Reciklabilnost** – mogu se ponovno navlažiti i oblikovati bez otpada.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Tradicionalna gradnja i ruralna arhitektura

Cigle od lokalnog tla su stoljećima korištene u:

- **ruralnim domaćinstvima i gospodarskim objektima** (štale, staje, ambari);
- **obiteljskim kućama u panonskoj, slavonskoj i ličkoj regiji**;
- **kućama od “čerpiča”** – posebno poznatima u Baranji i istočnoj Slavoniji.

Zidovi izgrađeni od zemljanih cigli bili su **zdravi, topli zimi, hladni ljeti**, a zahvaljujući jednostavnoj tehnologiji – i **dostupni širokom sloju stanovništva**.

#### b) Održiva i prirodna gradnja

U suvremenim kontekstima, cigle od lokalne zemlje koriste se u:

- **ekološkim i energetski učinkovitim kućama** – često u kombinaciji s glinenim žbukama;
- **pasivnim i nZEB zgradama** – za regulaciju toplinskog opterećenja;
- **ekološkim turizmima i resortima** – zbog autentičnosti i estetske vrijednosti;
- **javnim objektima** (škole, dvorane, centri) – koji žele ispuniti LEED ili BREEAM kriterije.

#### c) Restauracija i revitalizacija baštine

U obnovi starih sela i kulturne baštine, cigle od lokalnog tla koriste se za:

- replikaciju zidova izvorne strukture,
- spajanje novih i starih elemenata na autentičan način,
- dodavanje ekološki prihvatljivih proširenja postojećih objekata.

#### 4. Ekološki i društveni doprinos

##### Ekološke koristi:

- **Niski ugljični otisak** – nema potrebe za pečenjem, kemijskom obradom ni transportom sirovine;
- **Očuvanje lokalnih resursa** – koristi se zemlja dostupna u blizini gradilišta;
- **Potpuna biorazgradivost** – kada više nije u upotrebi, materijal se vraća prirodi;
- **Nema štetnih emisija** – zdrav materijal za stanare i okoliš.

##### Društveni doprinos:

- **Dostupnost i uključivost** – tehnologija dostupna lokalnim zajednicama;
- **Mogućnost samoizgradnje i edukacije** – poticanje participativne arhitekture;
- **Očuvanje tradicijskih znanja i vještina** – prijenos između generacija;
- **Estetska integracija** – cigle od lokalnog tla vizualno se uklapaju u krajolik i nasljeđe.

#### 5. Tehnička izvedba i kombinacije

- **Nosivi zidovi** – cigle se postavljaju u mort od zemlje ili vapna;
- **Ispuna između drvenih okvira (fachwerk)** – popularno u kombinaciji s drvenim kosturima;
- **Unutarnje pregradne zidove** – za akumulaciju topline i zvučnu barijeru;
- **Dekoratívni elementi** – niše, svodovi, zakrivljeni zidovi.

Za završnu obradu koriste se najčešće **glinene ili vapnene žbuke**, koje ne narušavaju paropropusnost.

#### 6. Ograničenja i izazovi

- **Otpornost na vlagu** – ne preporučuje se za donje zone koje su u kontaktu s vodom ili bez zaštitnog vijenca;
- **Potrebna zaštita od direktne kiše** – obavezno je predvidjeti istake krova i kvalitetne podloge;
- **Nije prikladna za podrumске i podzemne zidove;**
- **Veća širina zidova za istu nosivost** – zbog niže tlačne čvrstoće u odnosu na beton;
- **Dugotrajno sušenje** – proces ovisi o vremenskim uvjetima;
- **Nedostatak standardizacije** – zahtijeva stručnu procjenu tla i ručne vještine.

#### 7. Primjeri dobre prakse

- **Eko-sela u Europi i Latinskoj Americi** – kuće od nepečene zemlje i slame;
- **Cultural Center 'Earthship' u Francuskoj** – koristi lokalnu zemlju za izgradnju zidova;
- **Baranjske ćerpičane kuće** – primjer uspješne ruralne arhitekture koja koristi zemljane cigle više od stoljeća;
- **Moderne škole u Africi i Indiji** – građene od tla na licu mjesta, uz sudjelovanje lokalne zajednice.

Cigle od lokalnog tla pružaju **rješenje koje je u potpunosti u skladu s prirodom, tradicijom i principima održivosti**. Njihova jednostavna proizvodnja, izvrsna regulacija unutarnje mikroklima, mala energetska potrošnja i izuzetna mogućnost integracije u okoliš čine ih savršenim izborom za graditelje koji teže autentičnosti, zdravlju i ekološkoj odgovornosti. U doba kada se ponovno otkriva snaga lokalnog i prirodnog, cigle od zemlje postaju **temelj za gradnju koja poštuje prošlost i stvara otpornu budućnost**.

## 23. ŠINDRA OD DRVETA ILI RECIKLIRANIH MATERIJALA

---

Šindra predstavlja **pločasti pokrovni materijal** koji se koristi prvenstveno za pokrivanje krovova, ali i za oblaganje fasada. Tradicionalno izrađena od drveta, šindra se danas proizvodi i od **recikliranih materijala poput plastike, gume, stakla ili metala**, uz zadržavanje vizualne estetike i funkcionalnosti drvenog originala. Bez obzira na izvorni materijal, šindra se u suvremenoj gradnji koristi kao izraz **arhitektonske senzibilnosti, poštovanja prema okolišu i povratka prirodnim teksturama**.

### 1. Drvena šindra – povijest i karakteristike

Drvena šindra je **tradicionalni pokrovni materijal** koji se stoljećima koristio u mnogim regijama Europe, uključujući i Hrvatsku (Lika, Gorski kotar, Međimurje, Baranja, Zagorje), gdje su **ručnim cijepanjem smrekovine, ariša, hrasta ili kestena** izrađivane tanke pločice koje su se zatim redale u preklop na krovu.

Vrste drvene šindre:

- **Cijepana (klana) šindra** – tradicionalna, rustikalna, estetski izrazito vrijedna, otpornija na vlagu zbog strukture vlakana;
- **Piljena šindra** – modernija izvedba, jednostavnija za proizvodnju, nešto slabija otpornost zbog presječenih vlakana;
- **Tretirana šindra** – impregnacijom ili termo-obrađom produljuje joj se vijek trajanja i otpornost na gljivice.

### 2. Reciklirana šindra – nova generacija materijala

Zbog potrebe za održivijim građevinskim praksama, razvijene su šindre izrađene od:

- **Reciklirane plastike** – često u kombinaciji s drvenim vlaknima (kompozitna šindra);
- **Reciklirane gume** – otporna na vlagu i UV zrake;
- **Recikliranog aluminija i bakra** – vizualno atraktivne, vrlo dugovječne;
- **Recikliranog stakla** – estetski efektne, koriste se uglavnom na fasadama;
- **Papirno-bitumenskih ostataka** – u obliku asfaltne šindre (popularna u SAD-u i Kanadi).

Ove vrste šindre reproduciraju izgled drva ili kamena, ali uz povećanu izdržljivost i manje održavanja.

### 3. Tehnička svojstva i prednosti

**Drvena šindra:**

- **Toplinska izolacija** – drvo je prirodni izolator, osobito kod dvostrukog prekrivanja;
- **Zvučna izolacija** – tiha u usporedbi s limenim ili keramičkim pokrovima;
- **Lagana konstrukcija** – manji zahtjevi za nosivost krova;
- **Estetska vrijednost** – toplina i struktura prirodnog materijala;
- **Paropropusnost** – omogućuje difuziju vlage iz unutrašnjosti.

**Reciklirana šindra:**

- **Visoka otpornost na vlagu, UV zračenje, gljivice i insekte;**
- **Dugotrajan vijek trajanja** – često i preko 50 godina;
- **Nisko održavanje** – ne zahtijeva premazivanje ni dodatnu zaštitu;
- **Reciklaža i kružna ekonomija** – izrada iz postpotrošačkog otpada;
- **Otpornost na ekstremne klimatske uvjete** – tuča, snijeg, vjetar.

### 4. Primjena šindre u građevinarstvu

#### a) Krovni pokrovi

Šindra se koristi kao **glavni pokrovni materijal za krovove**, osobito:

- **u tradicionalnim drvenim kućama i kolibama,**
- **na ekološkim objektima i pasivnim kućama,**

- u planinskim i šumskim područjima – zbog integracije s krajolikom,
- na pomoćnim objektima – sjenici, nadstrešnicama, paviljonima,
- u eko-turizmu – kampovi, glamping kućice, edukacijski centri.

Drvena šindra se obično postavlja u **dvostrukom preklopu** kako bi se osigurala vodonepropusnost, dok se reciklirane šindre proizvode s tvornički preciznim mehanizmima za slaganje (jezičci, utori).

#### b) Fasadne obloge

Sve češće se koristi i za **vertikalne površine** – osobito u suvremenoj i skandinavskoj arhitekturi:

- **Oblaganje pročelja** – za postizanje prirodne i teksturirane estetike;
- **Dekoratívni detalji** – npr. na zabatima, ulazima, šankovima, pročeljima poslovnica;
- **Otpornost na atmosferilije** – pravilnim tretmanima i ventiliranom podkonstrukcijom.

Drvena i kompozitna šindra daje fasadi **dinamičan, ručno izrađen izgled**, a s vremenom razvija **plemenitu patinu**, osobito kod ariša i hrasta.

#### c) Ekološki i inovativni objekti

- **Pasivne i nZEB kuće** – zbog male mase i prirodnih svojstava;
- **Objekti kulturne i turističke vrijednosti** – gdje je potrebno očuvati tradiciju uz suvremenu izvedbu;
- **Zelene škole, vrtići, centri za posjetitelje** – šindra kao edukativni element koji promiče održivost;
- **Paviljoni i mobilne jedinice** – zbog laganosti i jednostavne montaže.

### 5. Ekološke i društvene prednosti

#### Drvena šindra:

- **Obnovljiv materijal** – ako je drvo iz certificiranih šuma (FSC, PEFC);
- **Biološki razgradiva** – nema otpada nakon isteka životnog vijeka;
- **Lokalna izrada** – može se izrađivati ručno, čime se čuva obrtnička tradicija i ruralno znanje;
- **Niska energetska potrošnja u proizvodnji** – nema pečenja ni kemijskih obrada.

#### Reciklirana šindra:

- **Korištenje otpadnih resursa** – npr. guma, plastika, staklo;
- **Produženje životnog vijeka materijala** – sprječava odlaganje na deponije;
- **Energetska efikasnost** – mogućnost reflektirajućih slojeva za smanjenje pregrijavanja krovova;
- **Nizak trošak održavanja** – ekonomična dugoročno.

### 6. Izazovi i ograničenja

#### • Drvena šindra:

- Potreba za **redovitim održavanjem** (impregnacija, pregled);
- **Osjetljivost na vlagu i štetočine** ako nije pravilno postavljena ili tretirana;
- **Skraćeni vijek trajanja** u vlažnim i toplim klimama bez ventilacije;
- **Viši trošak izrade** ako se koristi ručna izrada.

#### • Reciklirana šindra:

- **Estetska ograničenja** – ne postiže uvijek prirodan izgled;
- **Neprirodan materijal** – unatoč reciklaži, riječ je o plastici ili gumi;
- **Pitanje mikroplastike i otpornosti na reciklažu** – neki tipovi teško se dalje obrađuju.

### 7. Primjeri dobre prakse

- **Tradicijaska arhitektura u Gorskome kotaru i Lici** – krovovi crkava, koliba i planinskih domova s drvenom šindrom;

- **Eko-resorti u Sloveniji i Austriji** – drvene kuće sa šindrom kao glavnim pokrovom i fasadom;
- **Skandinavska stambena arhitektura** – koristi šindru od recikliranih kompozita za energetske učinkovite fasade;
- **Javni objekti u Njemačkoj i Belgiji** – reciklirane šindre na školama i centrima za posjetitelje.

Šindra, bilo drvena ili izrađena od recikliranih materijala, nudi **rješenja koja objedinjuju arhitektonsku ljepotu, održivost i funkcionalnost**. Drvena šindra evocira povezanost s tradicijom i krajolikom, dok reciklirana šindra pokazuje inovaciju i brigu za okoliš kroz pametno korištenje resursa. U eri u kojoj građevinarstvo mora biti ekološki odgovorno, energetske učinkovito i estetski smisljeno, šindra postaje **simbol gradnje koja poštuje prošlost, ali gradi za budućnost**.



## 24. PANELI OD RECIKLIRANOG PAPIRA (paneli od celuloznih vlakana)

Paneli izrađeni od **recikliranog papira i celuloznih vlakana** predstavljaju inovativan građevinski materijal s visokim ekološkim i funkcionalnim potencijalom. U eri kada građevinarstvo traži rješenja s niskim ugljičnim otiskom, dobrim izolacijskim svojstvima i jednostavnom obradom, papirnati paneli postaju sve češći izbor u raznim segmentima gradnje. Zahvaljujući **niskoj masi, visokoj toplinskoj i zvučnoj izolativnosti, ekološkoj prihvatljivosti te mogućnosti prilagodbe obliku i dizajnu**, ovi paneli danas se koriste za izradu pregradnih zidova, stropova, namještaja, akustičnih obloga i izolacijskih sustava.

### 1. Sastav i proizvodnja

Paneli od recikliranog papira izrađuju se prvenstveno od:

- **recikliranog novinskog papira ili kartona**,
- **celuloznih vlakana dobivenih preradom otpadnog papira**,
- **veziva** – najčešće prirodnog (škrob, lateks na biljnoj bazi) ili sintetskog (npr. PVA ljepila),
- **aditiva** – koji poboljšavaju otpornost na vlagu, vatru i gljivice (borat, gips, soda).

Postupak proizvodnje uključuje:

1. Usitnjavanje papira i stvaranje celulozne mase;
2. Oblikovanje u ploče – prešanjem u kalupe ili valjanje u panele različite debljine;
3. Sušenje, dodatna obrada i eventualna impregnacija;
4. Rezanje u standardne formate ili modularne ploče.

Rezultat je **lagan, krut i funkcionalan materijal** koji se može koristiti kao konstruktivni ili nekonstruktivni element.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

- **Izvrсна toplinska izolacija** – koeficijent  $\lambda$  često ispod 0,040 W/mK;
- **Vrlo dobra zvučna apsorpcija** – osobito kod perforiranih akustičnih panela;
- **Niska masa** – omogućuje brzu i jednostavnu montažu;
- **Fleksibilnost u oblikovanju** – moguće savijanje, rezanje, obrada ručno ili strojno;
- **Paropropusnost** – omogućuje disanje konstrukcije i regulaciju vlage;
- **Vatrootpornost** – ovisno o dodatku retardanata, može doseći B-s1,d0 klasifikaciju;
- **Netoksičnost** – izrađeni od prirodnih i recikliranih materijala, bez formaldehida i VOC-a;
- **Ekološka neutralnost** – biorazgradivi, reciklabilni i proizvedeni s malim utroškom energije.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Suhomontažne pregradne i obložne ploče

Paneli od recikliranog papira koriste se kao:

- **unutarnje obloge zidova i stropova** – u stambenim, uredskim i javnim prostorima;
- **pregradni zidovi** u montažnim ili privremenim konstrukcijama;
- **alternativa gips-kartonskim pločama** – s manjom masom i boljim ekološkim profilom.

Zahvaljujući jednostavnoj obradi, prikladni su za **modularnu gradnju, izložbene prostore i privremene strukture**, a mogu se kombinirati s drvenim ili metalnim podkonstrukcijama.

#### b) Toplinska i zvučna izolacija

U formi **kompaktnih ili poroznih ploča**, koriste se za:

- **unutarnju toplinsku izolaciju zidova i stropova** (kod sanacija zgrada bez fasadne izolacije);
- **izolaciju međukatnih konstrukcija** – zbog akustičkih svojstava;
- **zvučno-izolacijske panele** u glazbenim dvoranama, školama, uredima i studijima.

Zbog svoje strukture, ovi paneli **ne samo da zadržavaju toplinu, već i smanjuju prijenos buke**, osobito pri kombinaciji s ostalim prirodnim materijalima poput pluta, drvene vune ili konoplje.

#### c) Akustične i dekorativne obloge

Specijalno dizajnirani **perforirani ili oblikovani paneli** koriste se kao:

- **akustične stropne ploče** u školama, kazalištima i radnim prostorima;
- **zidne obloge** koje istodobno služe kao dekoracija i akustična kontrola;
- **modularni sustavi za prostorno zoniranje** u open-space uredima.

Njihova površina može biti **bojano obložena, teksturirana ili čak ispisana**, što im daje veliku **estetsku fleksibilnost**.

#### d) Elementi interijera i namještaj

Zbog lakoće i mogućnosti oblikovanja, paneli od recikliranog papira koriste se i za:

- **izradu mobilnih pregrada** (folding screens, pregrade na kotačićima);
- **namještaj** – npr. stolovi, police, zidne obloge;
- **dekorativne elemente** – niše, moduli za izložbe i sajmove, privremene konstrukcije.

#### 4. Ekološke i zdravstvene prednosti

- **Smanjuju potrebu za mineralnim i sintetskim materijalima** – posebno cement, plastika i gips;
- **Zatvaraju ciklus otpada** – koriste papir koji bi završio na odlagalištu;
- **Bez emisija formaldehida i VOC-a** – osiguravaju zdrav okoliš za korisnike;
- **Lagana konstrukcija = manji CO<sub>2</sub> otisak transporta i montaže**;
- **Mogu se ponovno reciklirati** nakon korištenja, ili kompostirati ako su bez dodataka.

Za razliku od sintetskih ploča, **paneli od celuloze ne stvaraju mikroplastiku**, ne emitiraju kemikalije i ne zagađuju unutarnji zrak.

#### 5. Ograničenja i izazovi

- **Otpornost na vlagu** – potrebno je površinsko tretiranje za prostore s povećanom vlagom (npr. kupaonice, kuhinje);
- **Nosivost i čvrstoća** – nisu prikladni za nosive konstrukcije ili visokoopterećene dijelove;
- **Otpornost na požar** – može varirati ovisno o sastavu i zaštitnim slojevima;
- **Mogućnost biološke razgradnje** – ako nisu pravilno ugrađeni ili zaštićeni, mogu biti podložni raspadanju u uvjetima visoke vlage;
- **Standardizacija i dostupnost** – još uvijek ograničena ponuda u nekim regijama.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Zelene škole i vrtići u Austriji i Švicarskoj** – koriste papirnate akustične ploče u učionicama;
- **Edukativni centri u Nizozemskoj i Njemačkoj** – stropne i zidne obloge od recikliranih papirnatih vlakana;
- **Paviljoni za sajmove i kulturne događaje** – brzo sklopive strukture od papirnatih panela;
- **Modularne stambene jedinice u Japanu** – korištenje valovitih papirnih panela za lagane pregrade;
- **Interijeri coworking prostora i start-up ureda** – akustičke pregrade i zidni dekor izrađeni od celuloznih ploča.

Paneli od recikliranog papira i celuloznih vlakana predstavljaju **izvrsnu alternativu konvencionalnim građevinskim materijalima** – osobito u kontekstu unutarnjih obloga, akustike, izolacije i lakih pregrada. Kombiniraju **ekološku odgovornost, nisku potrošnju resursa, zdravlje korisnika i jednostavnu primjenu**, što ih čini idealnima za suvremene zelene zgrade, škole, urede i ekološke projekte. U svijetu koji teži kružnoj ekonomiji i smanjenju otpada, **paneli od papira nisu samo rješenje – već poruka**: da građevinarstvo može biti i inteligentno i održivo.

## 25. RECIKLIRANI BETON

---

Beton je najkorišteniji građevinski materijal na svijetu, no njegova proizvodnja – osobito cementa – predstavlja značajan izvor emisija CO<sub>2</sub>. Istodobno, građevinski otpad, posebice od rušenja i renovacija, stvara velike količine starog betona koji često završava na odlagalištima. Rješenje za oba izazova donosi **reciklirani beton** – materijal dobiven **drobljenjem postojećeg betona** i njegovim **ponovnim korištenjem kao agregata u novim smjesama ili infrastrukturnim projektima**.

Ova praksa sve se više promovira kao ključna strategija u **kružnom gospodarstvu u građevinarstvu**, uz smanjenje korištenja prirodnih resursa, zaštitu okoliša i smanjenje ukupnog ugljičnog otiska.

### 1. Kako nastaje reciklirani beton

Reciklirani beton proizvodi se obradom starog betona, a osnovni koraci uključuju:

1. **Prikupljanje otpadnog betona** s gradilišta (srušeni objekti, pločnici, temelji, mostovi);
2. **Drobljenje betona** u mobilnim ili stacionarnim postrojenjima;
3. **Separacija nečistoća** – uklanjanje armature, plastike, drva i neželjenih tvari;
4. **Sortiranje agregata po granulaciji** – za različite namjene;
5. **Korištenje kao reciklirani agregat (RCA)** u novim betonskim mješavinama ili za temeljenje.

Rezultat je **reciklirani agregat (grubi i fini)** koji se može djelomično ili potpuno koristiti umjesto prirodnog šljunka, pijeska ili drobljenog kamena.

### 2. Tehnička svojstva i karakteristike

Reciklirani beton pokazuje različita svojstva ovisno o:

- **porijeklu materijala** (starost, vrsta betona, sadržaj armature);
- **načinu drobljenja** i granulaciji;
- **čistoći i prisutnosti stranih tvari**;
- **proporciji zamjene u novoj mješavini**.

Općenito, reciklirani agregat ima:

- **nižu gustoću** – zbog poroznijih čestica;
- **višu apsorpciju vode** – treba prilagoditi recepturu betona;
- **nižu tlačnu čvrstoću** ako se koristi u velikim udjelima bez optimizacije.

Međutim, pravilno obrađen RCA može **dosegnuti standarde za mnoge vrste betonskih radova**, uključujući temelje, podloge, ceste i konstrukcijske elemente manje zahtjevnosti.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Zamjena prirodnog agregata u betonskim smjesama

Reciklirani agregat se koristi kao:

- **djelomična zamjena (npr. 10–50%)** grubog agregata u betonu za temeljne ploče, zidove, staze, pločnike;
- **puna zamjena** u nenosivim elementima – betonske ograde, vrtni zidovi, kanalizacijske cijevi;
- **predgotovljeni betonski elementi** – rubnjaci, kanalice, prefabrikati male nosivosti.

U kombinaciji s odgovarajućim aditivima i kontrolom u proizvodnji, **moguće je dobiti beton usporediv s konvencionalnim**, osobito za niskogradnju i sekundarne elemente.

#### b) Temeljenje i podloge u cestogradnji

Reciklirani beton je iznimno pogodan za:

- **tamponske slojeve ispod cesta i pločnika**;
- **pješачke staze, biciklističke staze i parkirališta**;
- **pristupne puteve, radne površine i privremene prometnice**.

Njegova prednost u ovom kontekstu je **niska cijena, dostupnost i mehanička stabilnost**, uz ekološki učinak kroz smanjenje eksploatacije prirodnog kamenog agregata.

### c) Ispunjavanje i nivelacija

Reciklirani beton koristi se i za:

- **ispune jama, rovova i temelja;**
- **nivelaciju terena u urbanim i industrijskim zonama;**
- **izradu tamperkih podloga ispod montažnih objekata** (npr. kontejneri, hale, kamp kućice).

Također je čest **materijal za punjenje gabiona**, izgradnju protupožarnih barijera i protupoplavnih nasipa.

## 4. Ekološki i gospodarski doprinos

### Ekološke prednosti:

- **Smanjenje građevinskog otpada** – reciklirani beton omogućuje ponovnu uporabu materijala koji bi inače završio na odlagalištu;
- **Manje iskorištavanje prirodnih resursa** – zamjenjuje šljunak i drobljeni kamen;
- **Niže emisije CO<sub>2</sub>** – zbog smanjenja transporta i energetske obrade;
- **Doprinos kružnom gospodarstvu** – materijal ostaje u lokalnom građevinskom ciklusu;
- **Manje opterećenje okoliša** – manje odlagališta, manje emisija iz vađenja i obrade kamena.

### Gospodarske prednosti:

- **Niža cijena po toni** u odnosu na prirodni agregat;
- **Manji troškovi transporta i zbrinjavanja** otpada;
- **Brža dostupnost** na gradilištima gdje se beton reciklira lokalno;
- **Poticanje lokalne ekonomije i inovacija** – otvaranje reciklažnih postrojenja, mobilnih drobilica.

## 5. Ograničenja i izazovi

- **Nedostatak standardizacije i povjerenja** – neki izvođači i investitori još uvijek izbjegavaju korištenje RCA zbog percepcije o nižoj kvaliteti;
- **Potrebna kontrola kvalitete** – udio neželjenih tvari (npr. cigla, asfalt, metal) mora biti minimalan;
- **Smanjena čvrstoća kod velikih udjela** – naročito u visokopterećenim konstrukcijama;
- **Povećana apsorpcija vode** – zahtijeva prilagodbu receptura i dodatke za očuvanje konzistencije;
- **Potencijalno veća abrazija i habanje** – ako nije dobro klasificiran i očišćen.

No, **sve veći broj istraživanja i uspješnih projekata** potvrđuje da je reciklirani beton **siguran i pouzdan** kada se pravilno koristi.

## 6. Primjeri dobre prakse

- **Austrija i Njemačka** – više od 80% građevinskog otpada reciklira se, uključujući beton koji se koristi u infrastrukturi;
- **Skandinavske zemlje** – koriste RCA u izgradnji škola, bolnica i stambenih kompleksa uz potporu državnih zelenih politika;
- **Zagreb i Rijeka** – postoje postrojenja za drobljenje građevinskog otpada, a reciklirani agregat koristi se za pristupne puteve i temeljenje;
- **Zeleni certifikati (LEED, BREEAM)** – nagrađuju korištenje recikliranih materijala, uključujući beton, u projektima održive gradnje.

Reciklirani beton utjelovljuje **ideju održivog građevinarstva**: zatvara krug materijala, štedi resurse, smanjuje emisije i doprinosi lokalnim gospodarstvima. Iako postoje izazovi u

standardizaciji i percepciji, brojna istraživanja i uspješne implementacije diljem svijeta pokazuju da je **RCA pouzdana, dostupna i ekonomski isplativa alternativa** prirodnim agregatima. U kontekstu klimatskih promjena, kružnog gospodarstva i sve strožih zahtjeva za održivost, **reciklirani beton nije samo opcija, već nužnost** u modernoj gradnji. Njegova primjena je jasan korak prema arhitekturi koja poštuje prošlost, odgovara sadašnjosti i gradi održivu budućnost.

## 26. AEROGEL

---

Aerogel je jedan od najinovativnijih i najučinkovitijih toplinskih izolatora na svijetu. Razvijen još početkom 20. stoljeća, a usavršen za svemirske i vojne potrebe, aerogel je danas dostupan i u građevinskom sektoru kao **vrhunski materijal za toplinsku izolaciju prozora, fasada, zidova i drugih dijelova zgrada** gdje su energetska učinkovitost, prostor i estetika jednako važni. Iako je skuplji od tradicionalnih izolatora, **njegove iznimne performanse u tankim slojevima omogućuju značajne uštede energije**, veću fleksibilnost dizajna i primjenu u projektima gdje druge metode izolacije nisu moguće.

### 1. Što je aerogel?

Aerogel je porozna krutina nastala uklanjanjem tekuće komponente iz gela, pri čemu se stvara **nanostrukturirana mreža čestica** s visokim udjelom zraka (čak do 99,8%). Struktura aerogela je **labirint sitnih pora**, koje ograničavaju prijenos topline konvekcijom, vodljivosti i zračenjem.

Osnovna svojstva:

- **Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ) između 0,012–0,016 W/mK** – niža od većine konvencionalnih materijala;
- **Vrlo mala gustoća** – aerogel je izuzetno lagan;
- **Poluprozirnost** – omogućuje prolaz svjetlosti uz očuvanje izolacije;
- **Vatrootpornost** – ne gori, ne ispušta toksične plinove;
- **Hidrofobnost** – otporan na vlagu i vodu;
- **Kemijska stabilnost** – ne trune, ne degradira, otporan na UV.

Vrste u građevinarstvu:

- **Silikatni aerogel** – najčešće korišten u građevini;
- **Kompozitni aerogel** – kombiniran s armaturom (npr. staklena vlakna, tekstilne mreže);
- **Granulirani ili panelni oblici** – za jednostavniju montažu.

### 2. Primjena aerogela u građevinarstvu

Zbog svojih jedinstvenih svojstava, aerogel se primjenjuje **tamo gdje su prostorna ograničenja, estetski zahtjevi i energetska učinkovitost u prvom planu.**

#### a) Izolacija prozora i staklenih površina

Jedan od najvećih izazova u energetske učinkovitoj gradnji su **prozori**, koji su ujedno i **najslabija točka u toplinskoj ovojnici zgrade**. Aerogel se koristi za:

- **ispunu između stakala (glazing units)** – značajno smanjuje gubitak topline, a istodobno propušta svjetlost;
- **prozore u pasivnim kućama i nZEB zgradama** – gdje je važan svaki centimetar izolacije;
- **staklene fasade u visokim zgradama** – zadržavaju estetsku transparentnost i energetske performanse.

Usporedbom: dok dvostruko staklo bez plina ima U-vrijednost oko 2,7 W/m<sup>2</sup>K, staklo s aerogel ispunom može imati **U-vrijednost manju od 1,0 W/m<sup>2</sup>K**.

#### b) Toplinska izolacija zidova i fasada

Aerogel se koristi u:

- **unutarnjoj toplinskoj izolaciji** – gdje se ne smije ili ne može intervenirati na vanjskoj ovojnici (npr. zgrade kulturne baštine);
- **tankim ventiliranim fasadnim sustavima** – osobito kod rekonstrukcija i prenamjene;
- **kombinaciji sa žbukama (aerogel žbuke)** – za sanacije zidova gdje je potrebna visoka učinkovitost u minimalnoj debljini.

Npr., sloj aerogel žbuke debljine **3 cm može zamijeniti klasičnu mineralnu izolaciju od 10 cm.**

#### c) Izolacija krovova i stropova

- **U ravnim krovovima** gdje je prostor ograničen;
- **Na povijesnim objektima** gdje se originalna visina prostorija mora zadržati;

- **U industrijskim halama i transportnim objektima**, gdje je potrebna brza i tanka izolacija.

#### d) Specijalne primjene

- **Izolacija cijevi i instalacija** – sprječava gubitke topline čak i u ekstremnim uvjetima;
- **Kontejnerski i modularni objekti** – lagani, mobilni i izolirani;
- **Zelena i pametna arhitektura** – kombinacija s fotonaponskim panelima i pasivnim sustavima.

### 3. Prednosti korištenja aerogela

- **Vrhunska toplinska izolacija** – u minimalnom prostoru;
- **Ušteda korisnog prostora** – idealno za stanove, potkrovlja i montažne objekte;
- **Otpornost na vlagu i vatru** – može se koristiti u zahtjevnim uvjetima;
- **Dug vijek trajanja bez degradacije** – nema skupljanja, truljenja ni pucanja;
- **Jednostavna primjena u složenim geometrijama** – fleksibilne forme, tkanine, žbuke;
- **Zdrav okoliš** – bez emisija štetnih tvari, ne sadrži vlakna opasna za dišni sustav.

### 4. Ekološki i energetski učinak

Iako je **proizvodnja aerogela energetski zahtjevnija** od uobičajenih izolatora, njegova **dugoročna učinkovitost višestruko nadmašuje početni utjecaj na okoliš:**

- **Uštede energije od 30–50%** u objektima s ugrađenim aerogel izolacijama;
- **Smanjenje emisija CO<sub>2</sub> kroz cijeli životni vijek objekta;**
- **Pogodno za LEED, BREEAM, DGNB i druge zelene certifikate;**
- **Mogućnost recikliranja i ponovne upotrebe u nekim sustavima;**
- **Smanjena potreba za grijanjem i klimatizacijom**, što direktno utječe na troškove i okoliš.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Visoka cijena materijala** – do nekoliko puta skuplji od klasičnih izolatora (XPS, mineralna vuna);
- **Ograničena dostupnost i proizvođači** – još uvijek prisutno samo kod specijaliziranih dobavljača;
- **Osjetljivost na mehanička oštećenja** kod nekih verzija bez armature;
- **Potrebna specijalizacija izvođača** – osobito kod nanošenja aerogel žbuka i rukovanja kompozitnim panelima;
- **Manja otpornost na jako sabijanje** – kod granuliranih varijanti.

Ipak, u projektima gdje su ušteda prostora, energetska učinkovitost i održivost prioriteti, investicija u aerogel dugoročno se isplati.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Svemirska agencija NASA** – koristila aerogel za zaštitu sonde i astronauta;
- **Pasivne kuće u Švicarskoj i Njemačkoj** – aerogel žbuke i prozori s aerogel ispunom;
- **Obnova povijesnih zgrada u Beču i Parizu** – očuvanje fasada bez povećanja debljine zida;
- **Inovativne škole i laboratoriji** – kombinacija dnevnog svjetla i energetske izolacije;
- **Zgrade s neto nultom potrošnjom energije** – gdje je svaki centimetar izolacije ključan.

Aerogel predstavlja **tehnološki iskorak u građevinskoj izolaciji** – s performansama koje daleko nadilaze klasične materijale. Unatoč višoj cijeni, njegova primjena se širi, osobito u objektima s **visokim zahtjevima za energetska učinkovitost, prostor i estetiku**. Bilo da se koristi za prozore, zidove, krovove ili posebne aplikacije, aerogel omogućuje projektantima i izvođačima **veću slobodu, bolju učinkovitost i manji okolišni otisak**.

U vremenu kada energetska kriza, klimatske promjene i potreba za zelenom tranzicijom oblikuju građevinsku industriju, **aerogel ne predstavlja luksuz – već odgovor na izazove arhitekture budućnosti**.

## 27. RECIKLIRANI POLISTIREN (EPS/XPS)

---

**Polistiren**, najčešće u obliku **ekspandiranog (EPS)** ili **ekstrudiranog (XPS)** polistirena, spada među najčešće korištene toplinske izolacijske materijale u građevinarstvu. Njegove prednosti uključuju **nisku toplinsku vodljivost, malu masu, jednostavnu ugradnju i otpornost na vlagu**, što ga čini pogodnim za izolaciju krovova, temelja, zidova i fasada. Iako se radi o materijalu na bazi nafte, **polistiren je potpuno reciklabilan**, a **reciklirani EPS/XPS** sve više ulazi u praksu kao odgovor na zahtjeve kružnog gospodarstva i smanjenja građevinskog otpada.

### 1. Što je reciklirani EPS/XPS i kako nastaje?

**Ekspandirani polistiren (EPS)** i **ekstrudirani polistiren (XPS)** razlikuju se po strukturi i postupku proizvodnje:

- **EPS:** sastoji se od ekspandiranih kuglica koje su spojene u blokove (popularno zvan "stiropor");
- **XPS:** ima homogenu, zatvorenu ćelijsku strukturu, kompaktniji je i otporniji na vlagu.

**Reciklirani polistiren** može nastati na dva osnovna načina:

1. **Mehanička reciklaža** – otpadni EPS/XPS se melje, čisti i ponovno koristi u obliku granula za proizvodnju novih izolacijskih ploča ili se dodaje kao punilo u druge materijale (npr. lagani beton, blokove);
2. **Kemijska reciklaža** – polistiren se razgrađuje do osnovnog monomera (stiro), koji se potom koristi za proizvodnju novog polistirena.

Najčešće se u građevinarstvu koristi **mehanički reciklirani EPS/XPS**, čime se ostvaruje zatvaranje materijalne petlje u sektoru izolacija.

### 2. Tehnička svojstva i performanse

Reciklirani EPS/XPS zadržava ključna svojstva izvornog materijala:

- **Toplinska vodljivost ( $\lambda$ ):** 0,030 – 0,040 W/mK;
- **Otpornost na vlagu i kapilarno upijanje** – osobito kod XPS-a;
- **Mala masa i lako rukovanje;**
- **Visoka tlačna čvrstoća** – osobito važno za izolaciju podova i krovova;
- **Otpornost na starenje i truljenje** – dug životni vijek (30–50 godina);
- **Prilagodljivost obliku i dimenzijama** – rezanje, bušenje i oblikovanje bez specijaliziranih alata.

Važno je napomenuti da kvaliteta ovisi o **čistoći reciklata**, udjelu dodatnih materijala i **kontroli proizvodnog procesa**.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Termoizolacija podrumskih i temeljnih zidova

Reciklirani XPS idealan je za **izolaciju u dodiru sa zemljom**, jer:

- zadržava toplinsku učinkovitost čak i u vlažnim uvjetima;
- sprječava toplinske mostove u donjoj zoni objekta;
- koristi se ispod temeljnih ploča, uz temelje, u podrumu i garaže.

#### b) Izolacija ravnih i kosih krovova

- Pogodan za **invertne krovove** gdje se izolacija postavlja iznad hidroizolacije;
- Primjenjuje se i u **zelenim krovovima**, jer podnosi opterećenja tla i bilja;
- U kosim krovovima smanjuje gubitke topline kroz krovšte.

#### c) Fasadne sustave (ETICS)

- Reciklirani EPS se koristi kao dio kontaktnih fasadnih sustava, gdje se lijepljenjem i tiplanjem postavlja na vanjsku ovojnicu;
- Može se koristiti u kombinaciji s prirodnim žbukama za ekološki prihvatljivije sustave;

- Sve češće se koristi i u **obnovi postojećih objekata**, gdje se postižu visoki standardi energetske učinkovitosti (nZEB, pasivne kuće).

#### d) Izolacija podova i međukatnih konstrukcija

- Zbog male težine i dobre nosivosti, koristi se za **izolaciju ispod estriha**;
- Kompatibilan je s **plivajućim podovima**, podnim grijanjem i lakim montažnim konstrukcijama.

#### e) Specijalne primjene

- **Ispuna laganih betona** – EPS granulati se miješaju s cementom za izradu **laganih i toplinski učinkovitih betonskih slojeva**;
- **Ambalaža, šuplji zidovi, ukrasni elementi** – reciklirani polistiren se koristi kao punilo i jeftina alternativa u niskobudžetnim rješenjima.

#### 4. Ekološke prednosti

- **Smanjenje otpada** – EPS i XPS čine značajan udio građevinskog otpada, a reciklaža im daje novi život;
- **Smanjena potreba za novim sirovinama** – štedi sirovine i energiju iz nafte;
- **Produženi životni vijek materijala** – moguće je više ciklusa reciklaže bez značajnog pada kvalitete;
- **Manji ugljični otisak** – osobito ako se reciklira lokalno i ponovno koristi na licu mjesta;
- **Podržava kružno gospodarstvo u građevinarstvu** – transformira otpad u vrijedan resurs.

#### 5. Izazovi i ograničenja

- **Zagađenost otpada** – EPS s ostacima žbuke, ljepila ili boja teže je reciklirati;
- **Nedostatak infrastrukture za reciklažu** u nekim regijama;
- **Regulatorne barijere** – u određenim zemljama još uvijek nedovoljno standardiziran za širu primjenu;
- **Percepcija niže kvalitete** – kod investitora i izvođača koji nemaju iskustva s recikliranim materijalima;
- **Gorivost** – iako se koristi s dodacima za usporavanje gorenja, EPS/XPS nije nezapaljiv (klasa E ili D ako nije zaštićen).

No, uz primjenu odgovarajućih zaštitnih slojeva i projektiranje prema važećim normama, **svi tehnički i sigurnosni zahtjevi mogu biti zadovoljeni**.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Njemačka, Nizozemska, Skandinavija** – široka primjena recikliranog EPS-a i XPS-a u stambenim i komercijalnim objektima;
- **Austrijska zadruga za zbrinjavanje stiropora** – lokalno prikuplja, reciklira i vraća na tržište izolacijske ploče;
- **Zagrebačka sanacija višestambenih zgrada** – pilot projekti korištenja recikliranog EPS-a u fasadama;
- **Modularne i montažne kuće u Sloveniji i Italiji** – koriste reciklirani XPS kao osnovni izolacijski sloj temelja i zidova.

Reciklirani EPS i XPS materijali nude rješenje koje spaja **visoke izolacijske performanse, lakoću ugradnje i ekološku odgovornost**. Unatoč tome što su derivati nafte, njihovo **ponovno korištenje značajno doprinosi smanjenju otpada, štednji resursa i ukupnoj održivosti građevinskog sektora**.

U vrijeme kada se građevinska industrija mora prilagoditi klimatskim izazovima i principima kružne ekonomije, **reciklirani polistiren više nije alternativna opcija – već ključni alat za zelenu tranziciju**. Njegova dostupnost, isplativost i dokazana učinkovitost čine ga **važnim dijelom buduće održive gradnje**.

## 28. MATERIJALI NA BAZI GLJIVA (mycelium)

---

Mycelium – korijenski sustav gljiva – koristi se za stvaranje biokompozita koji se mogu koristiti kao izolacija, opeke i dekorativni elementi. Lagan je, vatrootporan, biorazgradiv i raste u kalupima bez dodatne energije. Može zamijeniti plastiku i stiropor u pakiranju i gradnji.

**Mycelium**, podzemna mreža niti korijenskog sustava gljiva, otkriva fascinantan potencijal kao građevinski materijal budućnosti. Korištenjem **mikoloških biokompozita** – dobivenih kombinacijom micelija i poljoprivrednog otpada – moguće je stvoriti **lagane, vatrootporne, izolacijske i biorazgradive komponente** koje se mogu koristiti u graditeljstvu na inovativan i održiv način. Ovi materijali rastu unutar nekoliko dana bez potrebe za kemikalijama, visokom temperaturom ili složenom obradom, što ih čini iznimno **energetski učinkovitim i ekološki prihvatljivim**.

### 1. Što je mycelium i kako se koristi kao građevinski materijal?

**Mycelium** je mreža hifa (nitastih struktura) koja čini glavninu gljive, iako je oku najčešće vidljiv samo njezin plod (npr. gljiva šampinjon). U kontroliranim uvjetima, **mycelium može rasti unutar kalupa napunjenih biljnim otpadom (npr. slama, piljevina, kukuruzovina, ljuške žitarica)**, hraneći se njime i tvoreći **čvrstu, homogenu strukturu**.

Proces izrade materijala:

1. **Priprema supstrata** – biljni otpad se sterilizira i navlaži;
2. **Inokulacija micelijem** – dodaje se micelij koji počinje razlagati i povezivati čestice;
3. **Rast u kalupu** – micelij raste 4–7 dana, popunjava kalup i stvara kompaktan materijal;
4. **Sušenje** – materijal se termički obrađuje kako bi se zaustavio rast i osigurala stabilnost.

Dobiveni produkt može se koristiti u obliku **ploča, opeka, panela, izolacijskih blokova, dekorativnih elemenata ili modularnih jedinica**.

### 2. Tehnička svojstva i karakteristike

- **Lagana masa** – do 80% lakši od betona, lako se transportira i postavlja;
- **Toplinska izolacija** –  $\lambda = 0,03\text{--}0,05\text{ W/mK}$ , usporediva s konvencionalnim izolatorima;
- **Zvučna izolacija** – porozna struktura apsorbira zvukove;
- **Vatrootpornost** – samogasiv, ne ispušta otrovne plinove pri izloženosti vatri;
- **Biorazgradivost** – razgrađuje se u tlu za 45–90 dana bez emisije štetnih tvari;
- **Otpornost na plijesan i štetočine** – prirodna antimikrobna svojstva;
- **Fleksibilnost oblikovanja** – raste unutar bilo kojeg kalupa, pogodan za slobodne forme.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Izolacijski paneli i ploče

Mycelium se koristi za izradu:

- **unutarnjih toplinskih izolacija zidova i stropova** – zahvaljujući niskoj vodičnosti i malo težini;
- **zvučnih izolacijskih slojeva** – između međukatnih konstrukcija ili u studijima i javnim prostorima;
- **"sendvič" panela** – s vanjskim slojevima od drva ili metala, a jezgrom od micelija.

Zbog svoje prirodne vatrootpornosti i neemitiranja toksina, idealan je za **zgrade s visokim sigurnosnim zahtjevima**.

#### b) Građevne opeke i blokovi

Eksperimentalno i prototipno, razvijaju se **micelijske cigle** koje se koriste za:

- **gradnju privremenih objekata i paviljona;**
- **unutarnje zidove i pregrade** u niskogradnji;
- **lagane konstrukcije za ekološke kampuse, glamping kuće, sajamske prostore.**

Ove opeke nisu trenutno nosive kao klasične cigle, ali se mogu koristiti kao **ispuna, dekoracija ili izolacijski zid**.

#### c) Dekorativni i estetski elementi

Mycelium se koristi za:

- **akustične zidne i stropne panele** – često dizajnirane u valovitim ili perforiranim oblicima;
- **namještaj i 3D elemente** – lako se oblikuje i može sadržavati organske uzorke;
- **zidne instalacije i fasadne umetke** – koji ističu bio-estetiku zgrade.

#### d) Alternativa plastici i stiroporu u građevini

- **Ambalaža građevinskih elemenata** – zaštita opreme, stakla i osjetljivih dijelova;
- **kalupi i izolatori za zračne komore**;
- **potporni elementi za privremenu montažu**.

Zahvaljujući maloj težini i mogućnosti **lokalne proizvodnje iz otpadnih resursa**, materijali na bazi gljiva sve se više istražuju za **samogradnju i lokalne inicijative** u kontekstu niskobudžetne gradnje.

### 4. Ekološki i društveni doprinos

**Ekološke koristi:**

- **Bez emisije CO<sub>2</sub> tijekom proizvodnje** – rast ne zahtijeva toplinu, kemikalije ni cement;
- **Biološki zatvoren krug** – proizvodi se iz organskog otpada, a vraća se tlu kao humus;
- **Zamjena plastike i petrokemijskih izolatora** – eliminira štetan otpad;
- **Nema otpada nakon kraja vijeka trajanja** – proizvod se razgrađuje u prirodnim uvjetima.

**Društvene koristi:**

- **Lokalna proizvodnja** – jednostavna tehnologija koja se može razvijati u zajednicama;
- **Nova radna mjesta i ekosustavi inovacija** – spajanje biotehnologije, arhitekture i održivosti;
- **Obrazovna i kulturna vrijednost** – poticanje svijesti o biomaterijalima i održivoj gradnji.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Nenosivost** – ne može zamijeniti armirani beton ili nosive zidove u višekatnicama;
- **Otpornost na vlagu** – potrebno dodatno površinsko tretiranje u vanjskoj uporabi;
- **Standardizacija** – još nije rašireno certificiran u građevinskim normama (EN, ISO);
- **Ograničena industrijska proizvodnja** – većina aplikacija još je u razvoju i pilot-fazi;
- **Kratki rok skladištenja sirovina** – micelij mora rasti u strogo kontroliranim uvjetima.

Ipak, za **unutarnje elemente, izolacije, dekoraciju i eksperimentalnu arhitekturu**, mycelium je već sada održiva i ekološki superiorna opcija.

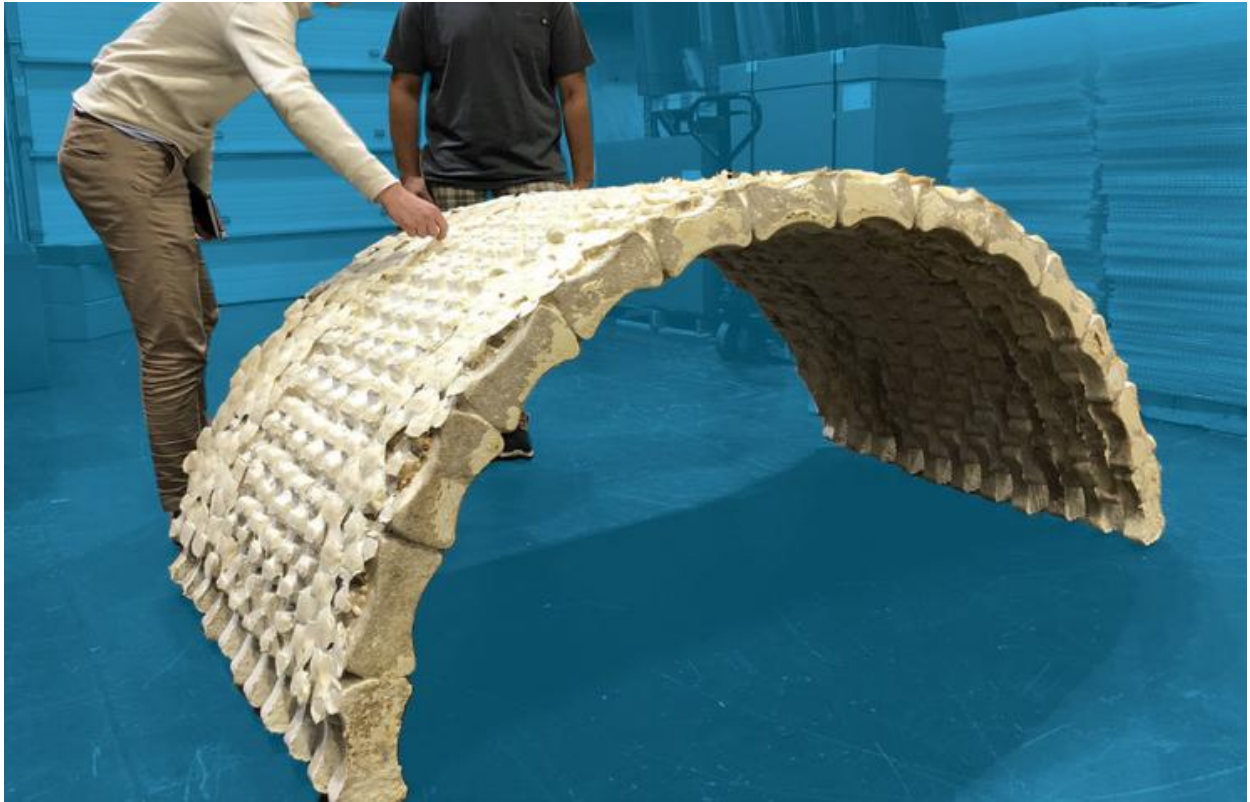
### 6. Primjeri dobre prakse

- **Hy-Fi Pavilion (New York, 2014.)** – privremena struktura izgrađena u cijelosti od cigli na bazi micelija;
- **MycoTree (Seul)** – skulpturalna struktura izrađena bez čelika i betona;
- **Ecovative Design (SAD)** – globalni lider u razvoju mycelium materijala za pakiranje i arhitekturu;
- **Zeleni paviljoni u Danskoj i Nizozemskoj** – koriste ploče od micelija za izolaciju i akustiku;
- **MycoFoam i MycoBoard** – komercijalni proizvodi od micelija za građevinsku industriju.

Materijali na bazi gljiva predstavljaju **revolucionarni iskorak u bioarhitekturi**. Potpuno biorazgradivi, energetski neutralni, vatrootporni i lagani, oni donose mogućnost stvaranja građevinskih rješenja koja **ne troše prirodu, već surađuju s njom**. U vrijeme kada industrija traži

rješenja za ekološku tranziciju, mycelium se nameće kao **odgovor koji raste – doslovno – iz zemlje.**

S daljnjim razvojem tehnologije, regulative i tržišne dostupnosti, **materijali na bazi gljiva postat će ključni segment zelene gradnje 21. stoljeća.**



## 29. SLAMA U PANELIMA (straw SIP panels)

---

Strukturalni izolacijski paneli sa slamom u jezgri kombiniraju visoku nosivost s izvrsnom izolacijom. Slama je prešana između drvenih ploča i koristi se za izgradnju zidova i krovova. Brza montaža, niska cijena i održivost čine ih sve popularnijima u prirodnoj gradnji.

Strukturalni izolacijski paneli sa slamom, poznati kao **Straw SIP Panels**, predstavljaju suvremenu interpretaciju tradicionalne upotrebe slame u graditeljstvu. Kombinirajući **prešanu slamu** kao izolacijsku jezgru s **nosivim oblogama od drvenih ili vlaknastih ploča**, ovi paneli nude **visoku konstrukcijsku čvrstoću, izvrsnu toplinsku i zvučnu izolaciju, te jednostavnu i brzu montažu**. Zahvaljujući tim karakteristikama, sve su češći izbor u projektima prirodne gradnje, pasivne i nZEB arhitekture, ali i u održivoj komercijalnoj gradnji.

### 1. Što su SIP paneli sa slamom i kako se proizvode?

SIP paneli sa slamom sastoje se od tri osnovna sloja:

- **Jezgre od prešane slame** – najčešće pšenična, ražena ili ječmena slama, balirana i dodatno prešana u tvorničkim uvjetima;
- **Vanjske obloge** – najčešće OSB ploče (Oriented Strand Board), šperploča, vlaknastocementne ploče ili prirodne vlaknaste ploče;
- **Ekološka veziva** – ljepila i preše koje osiguravaju mehaničku stabilnost i homogenost.

Paneli se izrađuju **industrijski pod nadzorom** kvalitete i isporučuju na gradilište kao gotovi elementi **precizno izrezani prema nacrtima**, što omogućuje **brzu montažu bez otpada**.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

- **Toplinska izolacija** – koeficijent toplinske vodljivosti ( $\lambda$ ) slame iznosi 0,045–0,055 W/mK, a ukupni panel ima U-vrijednosti usporedive s debelim slojevima mineralne vune;
- **Nosivost** – zbog sendvič-strukture paneli su iznimno čvrsti i stabilni, pogodni za nosive zidove i krovove;
- **Zvučna izolacija** – prešana slama učinkovito prigušuje zvukove, što doprinosi akustičkoj udobnosti;
- **Otpornost na požar** – pravilno komprimirana i zatvorena slama ima **visoku otpornost na gorenje** zbog ograničenog pristupa kisiku;
- **Paropropusnost** – paneli “dišu” i reguliraju vlagu unutar prostora;
- **Otpornost na vlagu i plijesan** – uz pravilno projektirane detalje i ventilaciju;
- **Lagana konstrukcija** – smanjuje opterećenje temelja, pogodna za montažnu i mobilnu gradnju;
- **Životni vijek** – paneli mogu trajati više od 100 godina ako su pravilno zaštićeni.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Zidni i krovni elementi

Straw SIP paneli se najčešće koriste za:

- **nosive vanjske zidove** – omogućuju visoku čvrstoću i odličnu izolaciju bez dodatnih slojeva;
- **unutarnje pregradne zidove** – odlična zvučna izolacija i brza montaža;
- **krovne panele** – smanjuju potrebu za dodatnim slojevima izolacije i omogućuju jednostavno pričvršćivanje pokrova.

Zahvaljujući mogućnosti prefabrikacije, mogu se koristiti u **modularnoj i montažnoj gradnji** s vrlo kratkim vremenom izgradnje.

#### b) Pasivne i nZEB zgrade

Straw SIP paneli zadovoljavaju stroge zahtjeve za:

- **toplinsku učinkovitost i zrakonepropusnost,**
- **nisku energetska potrošnju,**
- **konstrukcijsku otpornost uz smanjeni ugljični otisak.**

Često se koriste u kombinaciji s prirodnim završnim materijalima – glinenim i vapnenim žbukama, drvenim oblogama ili zelenim krovovima.

### c) Održiva i ekološka gradnja

Pogodni su za gradnju:

- **eko-kuća i prirodnih domova,**
- **turističkih objekata (glamping, resorti, edukacijski centri),**
- **školskih i vrtićkih objekata,**
- **javnih paviljona, kampusa i edukacijskih centara.**

### 4. Ekološki doprinos

- **Korištenje lokalnih i obnovljivih materijala** – slama je nusprodukt poljoprivrede i u većini slučajeva dostupna u lokalnom okruženju;
- **Zamjena cementa, plastike i umjetnih izolatora** – značajno smanjuje emisije CO<sub>2</sub>;
- **Reciklabilnost i biorazgradivost** – paneli se mogu razgraditi ili prenamijeniti na kraju životnog vijeka;
- **Niska energetska potrošnja u proizvodnji** – slama ne zahtijeva procesnu toplinu, za razliku od staklene ili kamene vune;
- **Uštede tijekom korištenja objekta** – manje potrebe za grijanjem i hlađenjem.

Paneli sa slamom podržavaju **kružnu ekonomiju u građevinarstvu** i omogućuju **karbonski negativne objekte** kada se kombiniraju s drugim prirodnim materijalima.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Standardizacija i regulativa** – iako postoji sve više certificiranih sustava, u nekim zemljama paneli sa slamom još nisu uvršteni u normativne priručnike;
- **Otpornost na vlagu** – nužno je projektirati detalje spojeva, zaštite temelja i krovnih prevjesa;
- **Percepcija korisnika i izvođača** – i dalje postoji predrasuda o “slami kao zastarjelom materijalu”;
- **Ograničen broj proizvođača** – iako raste, tržište još nije rašireno poput konvencionalnih materijala.

No, uz kvalitetan projekt i izvođenje, svi tehnički zahtjevi mogu biti ispunjeni, uključujući statiku, protupožarnu otpornost i energetska učinkovitost.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **ModCell (UK)** – jedan od najpoznatijih proizvođača certificiranih Straw SIP panela u Europi;
- **BaleHaus (Velika Britanija)** – višekatni stambeni objekt izrađen u cijelosti od panela sa slamom;
- **Eko-edukativni centri u Njemačkoj i Austriji** – koriste Straw SIP za gradnju škola i dječjih vrtića;
- **Hrvatski primjeri** – u razvoju su lokalne radionice za gradnju objekata sa slamom u Slavoniji i Međimurju;
- **Pasivne kuće u Nizozemskoj** – integriraju slamne SIP-ove s ventiliranim drvenim fasadama i solarnim sustavima.

Strukturalni izolacijski paneli sa slamom spajaju **tradicionalne vrijednosti prirodnih materijala s tehnološkom preciznošću suvremene gradnje**. Njihova čvrstoća, energetska učinkovitost, brzina ugradnje i ekološki profil čine ih idealnim rješenjem za **arhitekturu budućnosti koja poštuje okoliš, zdravlje korisnika i lokalnu zajednicu**.

Kao materijal koji je istodobno **prirodan, obnovljiv, dostupan i visokih tehničkih performansi**, slama u panelima otvara vrata gradnji koja je **jednostavna, održiva i otporna na izazove 21. stoljeća**.

## 30. TERRAZZO OD RECIKLIRANIH MATERIJALA

---

**Terrazzo** je kompozitni materijal koji se koristi za izradu podova, zidova i dekorativnih površina, a nastaje miješanjem komadića kamenja, stakla, keramike i drugih agregata s vezivom poput **cementa ili epoksidne smole**. Korijene vuče još iz antičke Italije, no danas doživljava veliku obnovu interesa – osobito u održivoj arhitekturi. Kada se kao agregati koriste **reciklirani materijali**, terrazzo ne samo da pruža **vizualno dojmljivo i dugotrajnu površinu**, već i **doprinosi smanjenju građevinskog otpada** i podržava principe **kružnog gospodarstva**.

### 1. Sastav i proizvodnja terrazza od recikliranih materijala

U klasičnom terrazzu, agregati su bili mramor i prirodni kamen, ali u suvremenoj, održivoj verziji koriste se:

- **Reciklirano staklo** – raznih boja i tekstura, često iz bočica, prozora i neiskorištenih staklenih proizvoda;
- **Keramički otpad** – komadići pločica, porculana, sanitarija;
- **Mramorni i granitni ostaci** – iz kamenoloma, tvornica za obradu kamena;
- **Metalni otpaci** – aluminij, bronca, bakar u dekorativnim čipsovima;
- **Reciklirani plastični fragmenti** – u eksperimentalnim ili dizajnerskim verzijama;
- **Prirodni materijali** – školjke, bambus, reciklirano drvo.

Ti se agregati miješaju s **cementnim ili smolastim vezivom** i lijevaju u željeni oblik (na licu mjesta ili kao gotove ploče). Nakon očvršćivanja, površina se **polira i brusi** do glatke završne teksture.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

- **Otpornost na habanje i udarce** – terrazzo je iznimno tvrd i dugotrajan materijal;
- **Otpornost na kemikalije i vlagu** – osobito verzije s epoksidnim vezivom;
- **Visoka estetika** – široka paleta boja, tekstura i uzoraka;
- **Niska poroznost** – lakše čišćenje i održavanje;
- **Pogodnost za visoko frekventne prostore** – škole, bolnice, trgovine;
- **Podobnost za LEED i druge zelene certifikate** – ako se koristi lokalno i s visokim udjelom recikliranog sadržaja;
- **Dug vijek trajanja** – i preko 50 godina bez potrebe za zamjenom.

U usporedbi s keramičkim pločicama ili drvenim oblogama, terrazzo nudi **minimalne potrebe za održavanjem**, a njegov vizualni identitet ne blijedi ni nakon desetljeća.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Podovi u javnim i komercijalnim prostorima

Terrazzo se najčešće koristi kao:

- **unutarnji podovi** u školama, muzejima, knjižnicama, sveučilištima, bolnicama;
- **podne obloge u trgovačkim centrima, aerodromima, hotelima i restoranima;**
- **ulazni holovi i reprezentativni prostori poslovnih zgrada.**

Zahvaljujući otpornosti na habanje i intenzivno korištenje, terrazzo je često **prvi izbor za prostore s velikim prometom**.

#### b) Zidne i vertikalne obloge

- **unutarnje zidne površine** – osobito kod dizajnerskih interijera ili sanitarnih prostora;
- **repcije, stubišta i liftovi** – gdje je važna izdržljivost uz estetiku;
- **fasadni elementi** – u kombinaciji s ventiliranim sustavima i arhitektonskim detaljima.

Vertikalne aplikacije terrazza omogućuju **vizualnu konzistentnost između podova i zidova**, osobito u javnim ustanovama i galerijama.

#### c) Namještaj i arhitektonski detalji

Terrazzo se koristi i u proizvodnji:

- **radnih ploča, pultova, umivaonika i kuhinjskih otoka;**
- **stepenica, klupa, polica i konzolnih elemenata;**
- **dizajnerskih stolova i dekorativnih panela.**

Zbog svojih estetskih svojstava i mogućnosti prilagodbe boji i obliku, terrazzo je popularan u **boutique hotelima, coworking prostorima i urbanim prostorima visoke estetike.**

#### d) Vanjske površine

- **pločnici, staze, vanjske terase** – terrazzo s cementnim vezivom i grubom završnom obradom koristi se u vanjskim prostorima;
- **urbana oprema** – klupe, ploče, graničnici i obloge zidova u parkovima i javnim prostorima.

Za vanjsku upotrebu ključna je **otpornost na smrzavanje i UV zračenje**, što se postiže pravilnim izborom veziva i aditiva.

#### 4. Održivost i doprinos kružnoj ekonomiji

Terrazzo od recikliranih materijala utjelovljuje **načela održivog dizajna i kružne gradnje:**

- **Smanjuje otpad** – koristi materijale koji bi inače završili na deponiju;
- **Smanjuje potrebu za eksploatacijom prirodnih resursa** – npr. mramora ili granita;
- **Omogućuje lokalnu proizvodnju** – korištenjem lokalnog građevinskog otpada;
- **Povećava vijek trajanja prostora** – dugotrajna površina smanjuje potrebu za zamjenom;
- **Pogodan za obnovljive projekte** – može se obnoviti brušenjem i ponovno koristiti u istom ili drugom prostoru.

Osim što ima nizak ugljični otisak, terrazzo potiče **održivu estetiku** – arhitektonsku ljepotu bez kompromisa s okolišem.

#### 5. Izazovi i ograničenja

- **Veća početna cijena** – osobito za ručno lijevani terrazzo s epoksidnim vezivom;
- **Zahvalna, ali zahtjevnja ugradnja** – traži stručnu izvedbu i završnu obradu;
- **Osjetljivost na vlagu** (kod cementnog terrazza) – nužna impregnacija i zaštita;
- **Masa i statika** – terrazzo je teži materijal, što može zahtijevati jaču podkonstrukciju;
- **Skiskost** – kod visoko poliranih površina, posebice u mokrim uvjetima.

No, uz pažljivo projektiranje, svi tehnički zahtjevi mogu biti zadovoljeni u skladu s lokalnim standardima i sigurnosnim normama.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Google kampusi i Apple Store interijeri** – koriste terrazzo s recikliranim staklom za podove i zidove;
- **Muzeji u Danskoj i Norveškoj** – podne i zidne površine izrađene od terrazza s lokalnim otpadnim materijalima;
- **Zračne luke u Italiji i Nizozemskoj** – terrazzo kao glavni materijal za visoko frekventne podove;
- **Zelene škole u Austriji i Sloveniji** – terrazzo koristi se u hodnicima i učionicama zbog trajnosti i lakoće održavanja;
- **Urbanistički projekti u Hrvatskoj** – eksperimentalna primjena terrazza s recikliranim materijalima u javnim stubištima i recepcijama.

Terrazzo od recikliranih materijala predstavlja **spoj tradicije, estetike i održivosti**. Njegova sposobnost da integrira otpadne resurse u elegantne i dugotrajne površine čini ga **idealnim materijalom za arhitekturu 21. stoljeća**. Bez kompromisa između dizajna i ekološke

odgovornosti, terrazzo nudi rješenje koje odgovara na potrebe **urbanih prostora, komercijalnih objekata i javnih ustanova**, uz pozitivan doprinos okolišu i kulturi prostora. Korištenjem terrazza ne samo da gradimo ljepše, već i **odgovornije**, jer pokazujemo kako **otpad može postati resurs, a reciklirano – poželjno**.



## 31. PRIRODNE TKANINE ZA UNUTARNJE UREĐENJE (lan, konoplja, juta)

Tkanine izrađene od biljnih vlakana koriste se za zavjese, obloge, tapeciranje i druge dekorativne svrhe. Biološki su razgradive, ne sadrže štetne kemikalije i imaju manji ugljični otisak od sintetičkih materijala. Također doprinose toplinskoj i zvučnoj udobnosti prostora.

U suvremenom građevinarstvu, osobito unutar domena **interijera, ekološke arhitekture i biofilnog dizajna**, raste potreba za materijalima koji nisu samo funkcionalni i estetski prihvatljivi, već i **ekološki odgovorni**. Prirodne tkanine izrađene od biljnih vlakana – poput **lana, konoplje i jute** – postaju sve važniji element u uređenju prostora, ne samo kao dekoracija, već i kao **sredstvo za poboljšanje akustike, toplinske udobnosti i kvalitete zraka**.

### 1. Svojstva i prednosti prirodnih tkanina u građevinarstvu

#### Ekološka održivost:

- **Biološka razgradivost** – vlakna lana, konoplje i jute potpuno se razgrađuju u prirodnim uvjetima;
- **Niski ugljični otisak** – za razliku od sintetičkih tkanina, koje se proizvode iz petrokemije;
- **Bez štetnih kemikalija** – biljke se često uzgajaju bez pesticida, a tkanine se ne tretiraju formaldehidom ni sintetskim bojama;
- **Mogućnost lokalne proizvodnje** – posebice konoplje, čime se smanjuje potreba za transportom i podržava ruralna ekonomija.

#### Funkcionalne prednosti:

- **Toplinska regulacija** – prirodna vlakna imaju sposobnost upijanja i otpuštanja vlage, što doprinosi stabilnoj mikroklimi;
- **Zvučna apsorpcija** – tkanine pomažu u smanjenju eha i buke u prostorijama;
- **Antistatičnost i otpornost na prašinu** – za razliku od sintetičkih vlakana, ne privlače prašinu i lakše se čiste;
- **Taktička i vizualna toplina** – stvaraju osjećaj ugone i prirodnog ambijenta.

### 2. Primjena u interijerima i građevinskom kontekstu

#### a) Zavjese i sjenila

Prirodne tkanine idealne su za:

- **zavjese u dnevnim i spavaćim sobama**, gdje difuzno propuštaju svjetlost;
- **rolo i panelne zavjese** u uredima i coworking prostorima;
- **sjenila za staklene fasade**, gdje štite od pregrijavanja i reguliraju svjetlost.

**Lan i konoplja** osobito su učinkoviti jer omogućuju ventilaciju, a istodobno pružaju privatnost. Mogu se kombinirati s drvenim okvirom, što dodatno naglašava prirodni karakter interijera.

#### b) Tapeciranje i obloge namještaja

- **stolice, fotelje i klupe** – laneno i konopljino platno koristi se za presvlake zbog otpornosti i ugodnog dodira;
- **paneli i zidne obloge** – juta i konoplja lijepe se ili napinju preko drvenih ili akustičnih panela;
- **kreveti i uzglavlja** – stvaraju osjećaj prirodne udobnosti i neutralnosti, važno za zdravo spavanje.

Ove tkanine često se kombiniraju s **punjenjem od prirodnih materijala** (kokosova vlakna, lateks, vuna), čime se cijela kompozicija čini zdravijom i održivijom.

#### c) Akustične i dekorativne zidne plohe

Tkanine od lana i jute, zbog svoje poroznosti i teksture, koriste se za:

- **akustične panele u dvoranama, uredima i studijima**;
- **dekorativne obloge u hotelima, restoranima, konferencijskim dvoranama**;
- **mobilne pregrade** koje omogućuju fleksibilno zoniranje prostora uz akustičnu funkciju.

Kombinacijom s recikliranim drvetom ili glinenim površinama, stvaraju se **prostori niskog ekološkog otiska i visoke estetske vrijednosti**.

#### d) Izrada ekološki prihvatljivih sustava za zaštitu od sunca

Konoplja i juta koriste se za:

- **vanjske rolete i sjenila** – prirodne tkanine tretirane biljnim uljima otporne su na UV i vlagu;
- **tende i pergole** – osobito u glamping objektima, eko-kućicama i prirodnim resortima;
- **unutarnje nadstrešnice i zastore** – koji služe kao prostorni akcent i funkcionalna zaštita.

U kombinaciji s drvom ili bambusom, nastaju **bioklimatski elementi** koji smanjuju potrebu za klimatizacijom.

### 3. Uloga u zdravlju i dobrobiti korisnika

Prirodne tkanine igraju važnu ulogu u stvaranju **zdravih interijera**, posebno u:

- **dječjim vrtićima i školama** – gdje je važno izbjegavati sintetske tvari i plastiku;
- **zdravstvenim ustanovama i ordinacijama** – gdje doprinose smanjenju alergena;
- **stanovima i kućama osoba osjetljivih na kemikalije** – lan, juta i konoplja ne ispuštaju VOC spojeve.

Dodatno, mnoge prirodne tkanine imaju **antibakterijska i antimikrobna svojstva**, što ih čini pogodnima za intenzivno korištene prostore poput hotela ili zajedničkih radnih prostora.

### 4. Ekološka i energetska učinkovitost

Prirodne tkanine:

- **povećavaju energetska učinkovitost prostora** jer smanjuju gubitke topline kroz prozore;
- **djeluju kao mikro-regulatori vlage**, što pomaže u smanjenju potrošnje energije za hlađenje ili grijanje;
- **upijaju CO<sub>2</sub> tijekom uzgoja biljaka** – konoplja osobito ima snažan učinak sekvenciranja ugljika;
- **generiraju manje emisije** tijekom proizvodnje i prerade u odnosu na sintetičke materijale (npr. poliester, akril).

Uz to, većina tkanina od lana i jute može se **reciklirati, kompostirati ili ponovno upotrijebiti**, čime se **zatvara ciklus materijala** i smanjuje količina otpada.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Manja otpornost na vlagu i UV zračenje** – potrebno ih je pravilno tretirati u vanjskim prostorima;
- **Skuplja cijena u usporedbi sa sintetikom** – no dulji vijek i zdraviji okoliš nadoknađuju razliku;
- **Osjetljivost na skupljanje i gužvanje** – osobito kod lana, što zahtijeva pažljivo održavanje;
- **Manja raznolikost uzoraka i boja** – jer se često izbjegavaju kemijske boje i tretmani.

Ipak, sve više proizvođača nudi tkanine koje su **certificirane, tehnički prilagođene i dovoljno izdržljive** za komercijalnu upotrebu u građevinskim interijerima.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Nordijske škole i vrtići** – koriste tapecirane panele od lana u učionicama i hodnicima;
- **Glamping resorti i eco-lodge objekti** – koriste lanene zavjese i konopljne tende kao dio dizajna temeljenog na prirodi;
- **Coworking prostori u Berlinu i Amsterdamu** – koriste zidne obloge od jute za akustiku i estetiku;

- **Zdrave kuće i biofilni interijeri** – u kojima prirodne tkanine doprinose umirujućoj atmosferi i boljoj kvaliteti zraka;
- **Zelene bolnice i wellness centri** – gdje se koriste za ležajeve, zavjese i akustične stijenke.

Prirodne tkanine od lana, konoplje i jute donose u interijere **održivost, zdravlje, toplinu i taktilnu ljepotu**. Njihova primjena u građevinskim projektima – od tapeciranja i zavjesa, do akustičnih zidova i dekorativnih elemenata – omogućuje stvaranje **prostorâ koji ne samo da izgledaju prirodno, već se tako i osjećaju**.

U svijetu koji sve više traži odgovorne i ekološki usklađene građevinske prakse, **ove tkanine nude jedinstvenu sinergiju funkcionalnosti, etike i estetike**, čineći ih ključnim dijelom svakog održivog interijera.



## 32. ZEMLJANI PODOVI (earth floors)

---

**Zemljani podovi**, tradicionalni elementi gradnje prisutni u mnogim kulturama diljem svijeta, ponovno dobivaju na važnosti u kontekstu **održive, zdrave i niskouglične gradnje**. U svojoj suvremenoj formi, zemljani podovi izrađuju se od pažljivo **formulirane smjese zemlje, gline, pijeska i prirodnih veziva** poput lanenog ulja i pčelinjeg voska. Rezultat je **topla, estetski privlačna i funkcionalna podna površina** koja doprinosi zdravlju prostora i okolišu.

### 1. Sastav i osnovna svojstva zemljanih podova

Zemljani podovi izrađuju se od **prirodnih sirovina** koje se lako mogu lokalno nabaviti, a tipična receptura uključuje:

- **Glinu** – kao prirodno vezivo koje daje koheziju;
- **Zemlju i pijesak** – za volumen i teksturu;
- **Vlakna (slama, konoplja, piljevina)** – za dodatnu čvrstoću i otpornost na pucanje;
- **Prirodna ulja (laneno ulje)** – za impregnaciju i vodootpornost;
- **Vosak (pčelinji ili biljni)** – za završni zaštitni sloj i blagi sjaj.

Smjesa se **nabija ručno ili strojno** u nekoliko slojeva na podlogu (npr. nabijena šljunčana baza), zatim se površina zaglađuje i suši nekoliko dana. Nakon sušenja slijedi **impregnacija uljem** i eventualna završna obrada voskom, što osigurava **otpornost na vlagu i habanje**.

### 2. Tehničke karakteristike i prednosti

- **Toplinska akumulacija** – zemljani podovi imaju sposobnost **pohranjivanja topline** i postupnog otpuštanja, idealno za objekte s pasivnim solarnim grijanjima;
- **Prirodna paropropusnost** – reguliraju vlagu u prostoru i **pomažu u prevenciji kondenzacije i plijesni**;
- **Zvučna izolacija i masa** – zbog svoje mase učinkovito prigušuju korake i druge zvukove;
- **Udobnost pod nogama** – topli i meki na dodir, ne stvaraju statički elektricitet, pogodni za bose noge;
- **Jednostavno održavanje** – u slučaju ogrebotina ili oštećenja, pod se može **djelomično obnoviti brušenjem i ponovnom impregnacijom**, bez potrebe za kompletnom zamjenom;
- **Estetika** – boje, teksture i neravne nijanse zemlje stvaraju **topao i zemljan ambijent** koji se ne može replicirati sintetičkim materijalima.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Ekološke i niskoenergetske kuće

Zemljani podovi su idealan odabir za:

- **pasivne kuće** – gdje doprinose toplinskoj stabilnosti prostora;
- **prirodne kuće (od slame, balirane zemlje, glinenih blokova)** – jer su kompatibilni s prirodnim materijalima i načelima biološke gradnje;
- **autonome i "off-grid" građevine** – jer ne zahtijevaju energiju ni složenu tehnologiju za postavljanje.

U mnogim slučajevima, mogu se izraditi gotovo u potpunosti **s materijalima dostupnim na gradilištu**.

#### b) Interijeri s naglaskom na prirodnost i zdravlje

Zemljani podovi se koriste u:

- **dnevnim boravcima, spavaćim sobama i hodnicima**;
- **joga i meditacijskim prostorima**, gdje se traži veća povezanost s prirodom;
- **eco-hotelima, wellness centrima i glamping objektima** – gdje se korisnicima želi ponuditi iskustvo boravka u prostoru od "žive" materije;
- **dječjim sobama i vrtićima**, jer su antistatični, mekani i bez otrovnih emisija.

#### c) Javne i edukativne ustanove

Sve je više primjera korištenja zemljanih podova u:

- **ekološkim edukativnim centrima** i bioklimatskim paviljonima;
- **muzejima i galerijama** koji žele povezati sadržaj s kontekstom prirode;
- **alternativnim školama i društvenim centrima**, gdje se promiče održivost i lokalna izgradnja.

#### 4. Ekološki i društveni doprinos

##### Ekološke prednosti:

- **Vrlo nizak ugljični otisak** – nema energetske intenzivne obrade ili transporta materijala;
- **Biorazgradivost** – materijal se u potpunosti može vratiti u prirodu;
- **Zamjena industrijskih podova (cement, epoksi, PVC)** – smanjenje zagađenja u fazi izgradnje i kraja životnog vijeka;
- **Lokalna ekonomija** – korištenjem lokalnih sirovina i ručnog rada potiče se angažman zajednice.

##### Društvene prednosti:

- **Jednostavna izrada** – moguće uključivanje lokalnih radnika i samograditelja;
- **Obnova tradicijskih znanja** – revitalizira se znanje o prirodnoj gradnji;
- **Zdrav prostor za korisnike** – ne ispuštaju hlapive organske spojeve, ne sadrže plastifikatore ni sintetičke ljepila.

#### 5. Izazovi i ograničenja

- **Otpornost na vlagu i vodu** – potrebno je pravilno projektirati sustav odvodnje i podizanje poda iznad razine tla;
- **Manja otpornost na mehaničko habanje** – preporučuju se za prostore s manje frekventnim prometom ili dodatna zaštita u zonama prolaza;
- **Osjetljivost na mrlje** – ne preporučuje se u kuhinjama bez dodatne impregnacije;
- **Vremensko sušenje i ugradnja** – zahtijeva **nekoliko dana za svako sušenje sloja**, što produžuje ukupno trajanje gradnje;
- **Specijalizirani majstori** – iako tehnologija nije složena, traži iskustvo u radu s prirodnim materijalima.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **L'ecocentre du Périgord (Francuska)** – edukacijski centar s glinenim i zemljanim podovima;
- **Haus der Natur (Njemačka)** – zgrada s prirodnom ventilacijom i zemljanim podovima u svim učionicama;
- **Slama.hr kuće (Hrvatska)** – projektirane sa zemljanim podovima u kombinaciji s glinenim žbukama;
- **Komunalni centri u Portugalu i Španjolskoj** – koriste lokalnu zemlju za podove i zidove s niskim troškovima i visokom estetikom;
- **Arhitektonska škola Rural Studio (SAD)** – eksperimenti s nabijenom zemljom i zemljanim podovima u edukativnim projektima.

Zemljani podovi nude **autentičnu, ekološki odgovornu i dugotrajnu alternativu industrijskim podnim oblogama**. Njihova sposobnost **regulacije mikroklima, toplinske akumulacije i estetske integracije s prirodnim materijalima** čini ih savršenim izborom za održivu arhitekturu. Iako nisu univerzalno primjenjivi u svim prostorima, ondje gdje se koriste – donose neponovljivu atmosferu povezanosti s prirodom.

U eri energetske krize, klimatskih promjena i traženja dubljeg odnosa s okolinom, **zemljani podovi nisu povratak prošlosti, već pogled u budućnost** – budućnost gdje gradimo sa zemljom, a ne protiv nje.

## 33. PAPIRNATE IZOLACIJE (celulozna vlakna)

---

Izrađene od recikliranog novinskog papira, celulozne izolacije su ekološki prihvatljive, sigurne i učinkovite. Impregnirane su sredstvima protiv požara i štetnika. Primjenjuju se kao rasuti materijal ili u obliku ploča u zidovima, krovovima i podovima.

**Celulozna izolacija**, često nazvana i **papirnata izolacija**, predstavlja jednu od najozbiljnijih ekoloških alternativa konvencionalnim toplinsko-izolacijskim materijalima poput staklene vune, kamene vune i polistirena. Izrađena gotovo u cijelosti od **recikliranog novinskog papira**, uz dodatak sigurnosnih sredstava protiv požara, glodavaca i plijesni, celulozna izolacija donosi **iznimnu toplinsku i zvučnu zaštitu, prirodan sastav i nisku cijenu**, a pritom **značajno smanjuje ekološki otisak gradnje**.

### 1. Sastav i način proizvodnje

Osnovni sastojak celulozne izolacije je **reciklirani papir**, najčešće novinski, koji se usitnjava i mehanički obrađuje u fine vlaknaste čestice. Potom se dodaju prirodni aditivi:

- **borna kiselina i borni spojevi** – za otpornost na požar i insekte;
- **aluminijev sulfat** – dodatna zaštita od gljivica i plijesni;
- **amorfni silicij** – u nekim verzijama koristi se za pojačanu otpornost na vlagu.

Proizvod se na tržištu pojavljuje u dva glavna oblika:

1. **Rasuti materijal (blow-in insulation)** – koji se pomoću posebnih strojeva upuhuje u šupljine zidova, krovova i međukatnih konstrukcija;
2. **Prešane ploče i filci** – koje se koriste za ugradnju između greda, potkrovlja i drvenih konstrukcija.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Toplinska izolacija

- **Toplinska vodljivost  $\lambda$ :** 0,038–0,041 W/mK – vrlo konkurentna u odnosu na druge izolatore;
- **Toplinski kapacitet:** izuzetno visok (~2100 J/kgK) – materijal dugo zadržava toplinu, što sprječava pregrijavanje prostora ljeti.

#### Zvučna izolacija

Zbog svoje gustoće i vlaknaste strukture, celulozna izolacija **izvršno apsorbira zvuk**, pa je pogodna i za zvučno izoliranje zidova između stanova, ureda, studija i zajedničkih prostora.

#### Otpornost na požar

Unatoč činjenici da je bazirana na papiru, zbog impregnacije boratima i ostalim sredstvima, **celulozna izolacija postiže visoke protupožarne standarde** (klasa B-s2, d0 prema EN normama). Prilikom požara ne gori otvorenim plamenom već tinja, i ne emitira otrovne plinove.

#### Otpornost na vlagu i plijesan

Materijal može **upiti određenu količinu vlage i ponovno je otpustiti**, čime doprinosi regulaciji unutarnje mikroklimе. Osim toga, tretmani sprječavaju razvoj plijesni i mikroorganizama.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Izolacija zidova

Celulozna vlakna se upuhuju:

- **u šuplje zidove montažnih i drvenih konstrukcija;**
- **kod adaptacija i energetske obnove**, gdje se mogu umetnuti kroz manje otvore;
- **u skeletne konstrukcije**, u kombinaciji s prirodnim ili OSB pločama.

Ploče od celuloze se često koriste kao **izravna zamjena za mineralnu vunu** u standardnim instalacijama.

#### b) Izolacija krovišta

- u potkrovnim i krovnim kosinama, gdje se sprječava pregrijavanje ljeti;
- kod ravnih krovova u kombinaciji sa sustavima ventilacije i hidroizolacije;
- kao zvučno izolacijski sloj u gornjim etažama objekta.

Zbog visoke toplinske mase, celuloza **odgađa ulazak topline i do 10 sati**, što je iznimno korisno u ljetnim mjesecima.

#### c) Izolacija međukatnih konstrukcija i podova

- smanjuje prijenos zvuka i vibracija između katova;
- djeluje kao dodatni toplinski štit u energetskim sustavima grijanja i hlađenja;
- prikladna za kombinaciju s drvenim podovima i gredama u renovacijama.

#### d) Eko-kuće, pasivne i nZEB zgrade

Zbog svojih svojstava, celuloza se koristi kao standardna izolacija u:

- kućama od drvene građe i slame;
- objektima s certifikatima kao što su LEED, BREEAM, DGNB;
- energetski učinkovitim projektima koji zahtijevaju nisku emisiju CO<sub>2</sub> i visok komfor stanovanja.

### 4. Ekološki učinak i održivost

Celulozna izolacija spada među **najodrživije izolacijske materijale** dostupne na tržištu:

- **Do 85% recikliranog sadržaja** – koristi otpadni papir koji bi inače završio na odlagalištu;
- **Niska potrošnja energije u proizvodnji** – ne zahtijeva taljenje ni kemijsku obradu;
- **Mogućnost ponovne uporabe** – tijekom rekonstrukcija se može ukloniti i ponovno upotrijebiti;
- **Bez opasnog otpada** – može se sigurno odložiti ili kompostirati uz prethodnu obradu;
- **Podržava kružno gospodarstvo** – pretvara postpotrošački otpad u visokovrijedan građevinski materijal.

Uz to, celulozna vlakna su **neutralna za zdravlje korisnika**, ne sadrže staklena vlakna ni iritirajuće čestice, što je važno za zdravlje radnika i stanara.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Potrebna stručna ugradnja za rasuti materijal** – za optimalnu gustoću i izbjegavanje praznina;
- **Osjetljivost na produljenu vlagu bez ventilacije** – iako podnosi kratkotrajnu vlagu, ne smije biti trajno vlažna;
- **Učinak sleganja** – pri nepravilnoj ugradnji može doći do spuštanja i gubitka izolacijskih svojstava;
- **Ploče su mehanički osjetljivije od tvrdih izolatora** – ne koriste se u nosivim slojevima bez dodatne zaštite;
- **Potrebno osigurati parnu branu ili regulaciju difuzije** u konstrukcijama koje zahtijevaju kontrolu vlage.

Međutim, svi ovi izazovi mogu se riješiti **kvalitetnim projektiranjem i ugradnjom**, a koristi u pogledu udobnosti, ekologije i zdravlja daleko nadilaze ograničenja.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Zelene škole u Njemačkoj i Austriji** – celulozna izolacija kao osnovni materijal u zidovima i krovovima;
- **Pasivne kuće u Sloveniji i Francuskoj** – koriste upuhanu celulozu za postizanje maksimalne energetske učinkovitosti;
- **Obiteljske kuće u Hrvatskoj (npr. Gorski kotar)** – projekti prirodne gradnje i samogradnje koriste celulozu zbog dostupnosti i jednostavnosti ugradnje;

- **Eco-hosteli i glamping naselja** – kombinacija celuloze s drvom i glinenim žbukama za postizanje zdrave i prirodne unutarnje klime;
- **Energetske obnove višestambenih zgrada** – korištenje celuloze u šupljinama zidova bez razbijanja postojeće fasade.

Celulozna izolacija donosi ravnotežu između **izvrsnih izolacijskih performansi, ekološke odgovornosti i zdravlja prostora**. Jednostavna je za obradu, dostupna, financijski isplativa i ima **iznimno nizak okolišni otisak**. Korištenjem ovog materijala, graditelji i investitori dobivaju **prirodno, sigurno i učinkovito rješenje** koje se savršeno uklapa u arhitekturu budućnosti.

U svijetu koji traži ravnotežu između tehnologije i prirode, **celulozna vlakna su tihi saveznik održive gradnje** – nastala iz papira, vraćena prostoru kao toplina i tišina.

## 34. RECIKLIRANE KERAMIČKE PLOČICE

---

Pločice izrađene od ostataka keramičke ili porculanske proizvodnje (ili s građevinskih otpada) smanjuju potrošnju sirovina i energije. Imaju istu funkcionalnost i estetiku kao i klasične pločice, a dostupne su u raznim uzorcima, boji i formama.

**Reciklirane keramičke pločice** predstavljaju elegantno i funkcionalno rješenje koje omogućuje povezivanje tradicionalne estetike s održivim građevinskim praksama. Izrađene su djelomično ili u potpunosti od **otpada iz keramičke industrije** (npr. slomljene pločice, ostaci porculana, škart s proizvodnih traka) ili **recikliranih građevinskih materijala**. Korištenjem ovakvih pločica **smanjuje se potreba za eksploatacijom sirovina, energija potrebna za proizvodnju, kao i ukupna količina građevinskog otpada.**

U vremenu kada je fokus sve više na kružnoj ekonomiji i održivosti građevinskog sektora, reciklirane keramičke pločice postaju izbor koji zadovoljava kako **vizualne, tako i ekološke kriterije.**

### 1. Sastav i način proizvodnje

Reciklirane keramičke pločice izrađuju se uporabom:

- **postindustrijskog otpada** – npr. otpadne mase iz keramičke proizvodnje, lomovi i škart pločice;
- **postpotrošačkog otpada** – stari porculan, keramičke umivaonike, zdjele, građevinske pločice;
- **dodatnih mineralnih sastojaka** – kaolin, glina, talc, feldspat, koji se često dodaju u manjoj količini.

Ti materijali se usitnjavaju, ponovno melju, miješaju s vezivima i pigmentima te **prešaju, glaziraju i peku na temperaturama od 1000–1250°C**. Udio recikliranog sadržaja može iznositi od 30% do čak 100%, ovisno o tipu proizvoda i tehničkim zahtjevima.

Pločice mogu imati **mat, sjajnu ili teksturiranu površinu**, te se izrađuju u različitim dimenzijama, bojama i oblicima – što ih čini jednako konkurentnima kao i klasične keramičke obloge.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

- **Otpornost na habanje i ogrebotine** – posebno kod pločica s tvrdim glazurama i porculanskim sastavom;
- **Vodonepropusnost i otpornost na vlagu** – pogodne za kupaonice, kuhinje, eksterijere;
- **Otpornost na mraz** – kod pločica niskog upijanja (porculanske), mogu se koristiti i za vanjske površine;
- **Laka za održavanje** – ne zadržavaju prljavštinu, kemikalije, ni alergene;
- **Dug vijek trajanja** – više od 30 godina bez gubitka funkcionalnosti;
- **Otpornost na visoke temperature i UV zračenje** – što ih čini pogodnima za kuhinjske plohe, kamine, fasade.

Zahvaljujući tim karakteristikama, reciklirane keramičke pločice ne predstavljaju kompromis u kvaliteti u odnosu na standardne.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Podne i zidne obloge u interijerima

- **kuhinje i kupaonice** – klasična primjena za zidove, podove, tuš-kabine, radne plohe;
- **hodnici, stubišta, dnevni boravci** – zahvaljujući otpornosti na habanje i vizualnoj raznolikosti;
- **komercijalni objekti** – poput hotela, trgovina i restorana koji žele uskladiti dizajn i ekološku odgovornost.

#### b) Vanjske površine

- **terasne obloge, balkoni, lođe** – otpornost na vremenske uvjete čini ih idealnim za eksterijer;
- **vanjska stubišta i fasade** – sve češće se koriste kao **ventilirani fasadni sustavi**, osobito kod sanacije objekata.

#### c) Specijalne primjene u dizajnu

- **mozaici i zidne dekoracije** – kombiniranjem različitih recikliranih agregata;
- **namještaj i površine** – kuhinjski otoci, obloge šanka, stolovi, sanitarni blokovi;
- **urbana oprema** – klupe, podesti, ograda, elementi u javnim prostorima i parkovima.

#### d) Energetske obnove i sanacije

Reciklirane pločice koriste se u:

- **energetskim obnovama zgrada s ekološkim komponentama;**
- **javnim zgradama koje žele ispuniti zelene certifikate (npr. LEED, BREEAM);**
- **kulturnim objektima** gdje je potrebna obnova uz očuvanje stila.

### 4. Ekološki doprinos

Reciklirane keramičke pločice imaju **znatno manji okolišni utjecaj** u usporedbi s novoprodučenim pločicama:

- **Smanjuju potrebu za eksploatacijom sirovina** – glina, kvarc, feldspat;
- **Smanjuju energiju za proizvodnju** – osobito ako se koriste hladni procesi ili niska temperatura pečenja;
- **Korištenje lokalnog otpada** – potiče kružno gospodarstvo i smanjuje troškove transporta;
- **Manje emisije CO<sub>2</sub>** – u proizvodnom i transportnom ciklusu;
- **Mogućnost ponovne reciklaže** – reciklirane pločice mogu se ponovno drobiti i koristiti u novim serijama.

Zbog toga se često koriste u **projektima s ciljem smanjenja ugljičnog otiska**, osobito u kombinaciji s drugim održivim materijalima (reciklirano drvo, prirodne žbuke, termoizolacija od recikliranih vlakana).

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Varijabilnost u boji i teksturi** – ako se koristi visok udio postpotrošačkog otpada, može doći do neujednačenosti u nijansama;
- **Ograničen broj proizvođača s certificiranim sustavima** – dostupnost ovisi o regiji i razini razvoja reciklažne industrije;
- **Potrebna pažnja pri odabiru ljepila i fuga** – da bi se održala ekološka kvaliteta cijelog sustava, poželjno je koristiti **bezcementne, VOC-free spojeve**;
- **Neznanje tržišta i projektanata** – često još nisu uključene u standardne tehničke priručnike, iako tehnički zadovoljavaju sve uvjete.

Međutim, uz ispravnu edukaciju i integraciju u BIM sustave i građevinske specifikacije, ove prepreke se brzo uklanjaju.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Copenhagen International School** – pročelje zgrade obloženo je s 12.000 m<sup>2</sup> pločica od recikliranog porculana;
- **Eco-hotel Treehouse (Njemačka)** – kupaonice i hodnici obloženi su recikliranim keramičkim pločicama lokalnog proizvođača;
- **Zagrebačke energetske obnove škola i vrtića** – uključuju elemente reciklirane keramike u sanitarijama i hodnicima;

- **Sanacija fasada u Istri** – kombinacija ventilirane obloge od recikliranih pločica i toplinske izolacije od pluta;
- **Galerije i kulturni prostori u Francuskoj i Italiji** – koriste unikatne mozaike izrađene iz otpada keramičke industrije.

Reciklirane keramičke pločice predstavljaju **sinergiju između estetike, funkcionalnosti i održivosti**. Njihova otpornost, jednostavno održavanje, bogata vizualna raznolikost i pozitivan okolišni učinak čine ih **idealnim izborom za ekološki osviještene projekte**, bez kompromisa na kvalitetu. U vremenu u kojem građevinarstvo mora preuzeti odgovornost za okoliš, **reciklirane keramičke pločice predstavljaju čvrsti korak prema kružnom građevinskom sustavu**.

Od podova do fasada, od privatnih kuća do javnih ustanova, reciklirana keramika pruža mogućnost da gradimo **lijepo, dugotrajno i s poštovanjem prema resursima**.



## 35. CEMENT S NISKIM UDJELOM UGLJIKA

---

Cement, jedan od najrasprostranjenijih građevinskih materijala na svijetu, istovremeno je i **jedan od najvećih izvora industrijskih emisija CO<sub>2</sub>**, odgovoran za oko **7–8 % globalnih emisija stakleničkih plinova**. Većina emisija dolazi iz proizvodnje **klasičnog portland cementa (OPC)**, gdje se vapnenac kalcinira pri visokim temperaturama uz oslobađanje velikih količina CO<sub>2</sub>. U tom kontekstu, razvoj i primjena **cementa s niskim udjelom ugljika** postaje neizostavan dio zelene tranzicije građevinskog sektora.

Ovi cementi zadržavaju tehničke karakteristike potrebne za nosive i dugotrajne konstrukcije, a istovremeno značajno  **smanjuju emisije CO<sub>2</sub>**, često za **30–80 % u usporedbi s konvencionalnim cementom**. Najčešće vrste uključuju **geopolimerni cement, cemente s dodatkom letećeg pepela (fly ash), granulirane troske iz visokih peći (GGBS), prirodne pucolane i vapnene mješavine**.

### 1. Tipovi niskougljičnih cementa i njihova svojstva

#### a) Geopolimerni cement

- Izrađuje se od **aluminij-silikatnih materijala** (npr. leteći pepeo, metakaolin, troska) koji se aktiviraju alkalnim otopinama;
- Emitira do **80–90 % manje CO<sub>2</sub>**;
- Ima **visoku kemijsku otpornost**, odlična mehanička svojstva i brzo stvrdnjavanje;
- Idealno za industrijske objekte, temelje i sanacije.

#### b) Cement s dodatkom letećeg pepela (FA)

- Leteći pepeo je nusprodukt termoelektrana na ugljen;
- Udio zamjene može biti i do 50 %;
- Povećava trajnost betona, smanjuje potrebu za vodom i poboljšava obradivost;
- Pogodan za masivne konstrukcije i infrastrukturne projekte.

#### c) Cement s granuliranom visokopećnom troskom (GGBS)

- Nusprodukt iz čeličana, samljeven i korišten kao zamjena za klinker;
- Omogućuje bolju otpornost na sulfatne i kemijske napade;
- Produžuje vijek trajanja betonskih konstrukcija u agresivnim uvjetima.

#### d) Mješavine s prirodnim pucolanima

- Vulkanizirane stijene, sedimentni pepeli i glineni minerali;
- Koriste se u tradicionalnim i modernim mješavinama kao **reaktivne komponente**;
- Posebno korisne za objekte kulturne baštine i bioklimatsku arhitekturu.

### 2. Prednosti u građevinskoj praksi

- **Smanjenje emisija CO<sub>2</sub>** – zamjenom dijela klinkera recikliranim ili prirodnim materijalima;
- **Visoka mehanička otpornost i dugotrajnost** – ispitivanja pokazuju čvrstoće usporedive s OPC-om;
- **Poboljšana otpornost na kemikalije, vlagu i koroziju** – posebno kod geopolimera i GGBS-a;
- **Manje skupljanje i pucanje** – zahvaljujući smanjenom generiranju topline tijekom hidratacije;
- **Energijska učinkovitost u proizvodnji** – geopolimeri ne zahtijevaju kalcinaciju na 1450 °C;
- **Podrška kružnom gospodarstvu** – korištenjem industrijskog otpada i nusprodukata.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Infrastruktura i betonske konstrukcije

- **Mostovi, tuneli, ceste i brane** – koristi se beton s geopolimernim ili FA/GGBS cementom zbog trajnosti i otpornosti;
- **Temelji i podzemne strukture** – gdje je važna otpornost na vlagu i korozivne tvari;
- **Željezničke pruge i zračne luke** – koristi se za betonske ploče i nosive elemente.

#### b) Stambene i komercijalne zgrade

- **Nosivi zidovi, stupovi, stropne ploče i temelji** – moguće u cijelosti izraditi s niskougljičnim cementom;
- **Armirani beton i montažni elementi** – kompatibilan s armaturom, čak i u zahtjevnim statičkim uvjetima;
- **Samozbijajući i samorazlivajući betoni** – lakši za ugradnju i bržu izgradnju.

#### c) Sanacije i rekonstrukcije

- **Betonske sanacije i injektiranja** – posebne mješavine s geopolimerima koriste se za obnavljanje nosivosti;
- **Zaštita povijesnih građevina** – pucolanski cementi omogućuju kompatibilnost sa starim materijalima;
- **Protupožarne i antikemijske zaštite** – geopolimerni betoni prirodno otporni na visoke temperature i kiseline.

#### d) Dekorativni i inovativni elementi

- **Podovi i plohe s pigmentiranim geopolimerima;**
- **3D ispisane betonske forme** – korištenjem alternativa koje su lakše i brže za stvrdnjavanje;
- **Prefabricirani elementi** – kao što su fasadni paneli, ograde, stube.

### 4. Ekološki učinak i doprinos zelenim certifikatima

Korištenje niskougljičnih cementa doprinosi:

- **smanjenju ukupne emisije CO<sub>2</sub> na gradilištu;**
- **postizanju LEED, BREEAM i DGNB bodova** – kroz kategorije materijala, inovacija i životnog ciklusa;
- **uvođenju kružnog gospodarstva** – uključivanjem nusproizvoda industrije koji bi inače završili na odlagalištima;
- **reduciranju energetske intenzivne proizvodnje klinkera** – time se smanjuje energetska ovisnost sektora;
- **povećanju otpornosti zgrada** – duljim vijekom trajanja smanjuje se potreba za sanacijom i rekonstrukcijama.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Standardizacija i regulativa** – neki tipovi cementa još nisu uključeni u sve nacionalne norme i Eurokodove;
- **Dostupnost sirovina** – poput letećeg pepela i troske, ovisi o regionalnim industrijskim aktivnostima;
- **Razlika u ugradnji i ponašanju** – zahtijeva edukaciju inženjera i izvođača;
- **Percepcija rizika** – konzervativnost tržišta često koči širu implementaciju;
- **Ograničenja kod ekstremnih vremenskih uvjeta** – geopolimeri mogu zahtijevati posebne uvjete za hidrataciju.

Unatoč izazovima, sve je više proizvođača koji nude **certificirane i provjerene proizvode** spremne za komercijalnu primjenu u svim vrstama gradnje.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Sustavi geopolimernog betona u Australiji i Nizozemskoj** – mostovi, tuneli i stambene jedinice u cijelosti izrađeni od niskougljičnog betona;

- **Cementne tvrtke u EU (npr. CEMEX, LafargeHolcim)** – razvijaju niz proizvoda s do 70 % manjim emisijama;
- **Green Building Projects (Njemačka, Švedska)** – niskougljični cementi koriste se u postizanju NZEB standarda;
- **Gradilišta u Hrvatskoj** – pilot-projekti energetske obnove zgrada koriste zamjene za OPC u vanjskim slojevima i glazurama.

Cement s niskim udjelom ugljika nudi **realnu, učinkovitu i tehnički pouzdanu alternativu tradicionalnom cementu** u svim vrstama građevinskih projekata. U eri klimatskih promjena i regulatornih pritisaka, upravo su ovakvi materijali **ključni za dekarbonizaciju građevinskog sektora**, bez odricanja od kvalitete, sigurnosti ili dugovječnosti objekta.

Kombinacija otpada iz drugih industrija i inovativne formulacije omogućuju razvoj betona koji **doslovno gradi mostove – između industrijske učinkovitosti i ekološke odgovornosti.**



## 36. DRVENA VLAKNA ZA IZOLACIJU

---

### Prirodna barijera za toplinu, zvuk i vlagu

Izolacijski materijali od **drvenih vlakana** spadaju u najvažnije inovacije održivog građevinarstva u posljednjih nekoliko desetljeća. Izrađuju se od **otpada iz drvne industrije**, poput piljevine i strugotine, koji se usitnjavaju, prešaju i oblikuju u ploče ili filce bez uporabe štetnih ljepila i aditiva. Njihova sve veća primjena rezultat je izvanredne **toplinske i zvučne izolacije, prirodne paropropusnosti, sposobnosti regulacije vlage te minimalnog utjecaja na okoliš**.

Izolacija od drvenih vlakana osigurava **zdravu mikroklimu**, pogodna je za pasivne i ekološke kuće, kompatibilna je s prirodnim materijalima, a zahvaljujući suvremenim proizvodnim tehnologijama, dostupna je u različitim oblicima i dimenzijama.

### 1. Sastav i proizvodni proces

Osnovni sirovinski materijal su:

- **drvena vlakna** – dobivena mehaničkim ili termo-mehaničkim postupkom prerade ostataka drveta;
- **prirodna ili minimalna veziva** – u nekim verzijama koristi se parafin, prirodne smole ili lateks, dok mnoge ploče ne sadrže nikakve dodatke;
- **antifungalni i insekticidni dodaci** – u malim količinama, često na bazi prirodnih tvari poput bornih spojeva.

Proizvodi se u dva glavna oblika:

1. **Tvrde i polutvrde ploče** – za vanjske i unutarnje zidove, krovove, podove, fasade;
2. **Mekane i fleksibilne prostirke (filci)** – za ispune između greda, pregradne zidove i slojeve akustične zaštite.

U postupku proizvodnje vlakna se pod visokim tlakom i temperaturom međusobno povezuju vlastitim ligninom, čime se eliminira potreba za sintetičkim ljepilima.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Toplinska izolacija

- Koeficijent toplinske vodljivosti  $\lambda$ : **0,036 – 0,050 W/mK**
- Visoki **toplinski kapacitet (~2100 J/kgK)** – zadržava toplinu zimi i sprječava pregrijavanje ljeti
- Učinkovita u **pasivnim kućama i objektima s velikim staklenim površinama**

#### Zvučna izolacija

- Otvorena struktura vlakana **apsorbira zvučne valove**
- Pogodna za **akustičnu izolaciju među katovima, pregradnih zidova i krovnih kosina**
- U kombinaciji s glinenim žbukama daje izvrsne rezultate u prostoru

#### Paropropusnost i regulacija vlage

- Omogućuje "disanje" konstrukcije – **nema kondenzacije**
- Vlakna mogu **privremeno upiti vlagu i kasnije je otpustiti**, čime se **stabilizira unutarnja mikroklima**
- Sprječava stvaranje plijesni i gljivica u zatvorenim slojevima

#### Ekološke prednosti

- Izrađena od **obnovljivih sirovina**
- Sadrži do **95–100 % prirodnog sadržaja**
- **Biološki razgradiva** i bez emisije VOC spojeva
- **Nizak ugljični otisak** tijekom cijelog životnog ciklusa

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Vanjski i unutarnji zidovi

- Kao **vanjski sloj** u difuzno otvorenim zidovima – služi kao zaštita i izolacija

- Unutar **drvenih skeletnih konstrukcija** – fleksibilni filci se umeću između stupova
- U kombinaciji s drugim prirodnim materijalima (glina, vapno, slama)

#### b) Krovovi i potkrovlja

- **Izolacija između rogova** (mekane ploče)
- **Izolacija iznad rogova** (tvrde ploče) – kao zaštita od ljetnog pregrijavanja
- Idealna za **ventilirane krovne konstrukcije**

#### c) Podne konstrukcije i međukatni slojevi

- Kao **zvučna i toplinska izolacija u međukatnim konstrukcijama**
- Položena ispod podnih obloga – drvenih dasaka, parketa, pluta
- Sprječava prijenos buke i vibracija

#### d) Fasade i ventilirani sustavi

- Tvrde ploče se mogu koristiti kao **podloga za žbuku**
- U difuzno otvorenim fasadama – u kombinaciji s vapnenom ili glinenom žbukom
- **U ekološkim zgradama i pasivnim kućama** često se koristi umjesto EPS-a

### 4. Kompatibilnost i zdravlje korisnika

- Kompatibilna s **drvenim, slamnatim i glinenim sustavima gradnje**
- **Ne izaziva iritacije kože ili dišnih puteva** – pogodna i za DIY projekte i obiteljske kuće
- Bez štetnih kemikalija – nema formaldehida, VOC-a ili mikroplastike
- Povoljna za **osobe s alergijama, dječje prostore, škole i vrtiće**

### 5. Ekološki doprinos

- **Sekvestrira ugljik** – drvo tijekom rasta veže CO<sub>2</sub>, koji ostaje pohranjen tijekom cijelog vijeka proizvoda
- Podržava **kružnu ekonomiju** – koristi otpad iz drvne industrije i može se ponovno upotrijebiti ili kompostirati
- U fazi proizvodnje troši **znatno manje energije** od mineralne vune, XPS-a i PUR-a
- **Dug vijek trajanja** – pri pravilnoj ugradnji traje desetljećima bez gubitka svojstava

### 6. Izazovi i ograničenja

- **Osjetljivost na trajnu vlagu** – treba ih ugraditi u konstrukcije s dobro riješenom paropropusnošću i zaštitom od prodora vode
- **Niža otpornost na kompresiju kod mekih verzija** – ne koriste se kao nosivi slojevi
- **Viša cijena u odnosu na konvencionalne izolatore** – no amortizira se kroz dugoročnu energetska učinkovitost
- **Zahvalna, ali zahtjevna obrada** – rezanje i prilagodba debljine zahtijevaju oštar alat i preciznost

### 7. Primjeri dobre prakse

- **Pasivne kuće u Austriji i Njemačkoj** – drvena vlakna standardno se koriste u kombinaciji s prirodnim žbukama
- **Glamping naselja i eko-resorti** – koriste izolaciju od drvenih vlakana zbog prirodnog izgleda i toplinske udobnosti
- **Edukativni centri i vrtići** – zbog neškodljivosti i zdravog zraka u interijeru
- **Obiteljske kuće u Hrvatskoj** – sve češće se ugrađuje u montažne i niskoenergetske objekte (npr. projekti u Gorskom kotaru, Lici, Istri)
- **Obnove kulturne baštine** – koristi se u difuzno otvorenim sustavima za zgrade s povijesnom vrijednošću

Izolacija od drvenih vlakana pruža **savršenu ravnotežu između prirodnosti, energetske učinkovitosti i zdravog stanovanja**. Njena paropropusnost, termička masa i ekološka kvaliteta

čine je izvrsnim izborom za sve one koji žele graditi **dugotrajno, udobno i odgovorno**. U doba klimatskih promjena i energetske nesigurnosti, materijali poput ovog pokazuju da održivost nije kompromis – već nadogradnja kvalitete življenja.



## 37. RECIKLIRANA OPEKA

---

### Arhitektonska baština u službi održive budućnosti

Reciklirana opeka predstavlja spoj **tradicije i suvremenih ekoloških načela** u građevinarstvu. Umjesto da završava kao otpad pri rušenju zgrada, stara opeka se **pažljivo demontira, čisti, sortira i ponovno koristi** u novim građevinskim i restauratorskim projektima. Na taj način, materijal s često stoljetnim karakterom dobiva **drugi život**, a pritom se  **smanjuje potreba za eksploatacijom novih resursa**, potrošnja energije i količina građevinskog otpada.

Reciklirana opeka nije samo konstrukcijski materijal – ona nosi **estetsku vrijednost, povijesni značaj i simboliku održivosti**. U vremenu kada se graditeljstvo sve više okreće kružnim modelima i smanjenju ugljičnog otiska, njezina primjena sve je češća i poželjnija.

#### 1. Podrijetlo i karakteristike reciklirane opeke

Reciklirana opeka najčešće potječe iz:

- **starih obiteljskih kuća i stambenih zgrada;**
- **industrijskih objekata i tvorničkih hala;**
- **gospodarskih objekata (štale, silosi, sušare);**
- **zgrada kulturne baštine koje se djelomično rekonstruiraju.**

Da bi se ponovno upotrijebila, opeka mora biti:

- **ručno vađena, ne oštećena pri rušenju;**
- **mehanički ili kemijski očišćena od morta;**
- **strukturno čitava**, bez pukotina ili iskrzanih rubova;
- **sortirana prema dimenzijama i boji** radi ujednačenosti konačne obloge ili zida.

Njena **estetika (patina, boja, struktura)** znatno se razlikuje od nove opeke, što je čini vrlo traženom kod dizajnera i arhitekata koji žele unijeti **autentičnost i toplinu u prostor**.

#### 2. Tehnička svojstva i prednosti

##### Trajnost i otpornost

- Reciklirana opeka, posebice starija ručno pečena, pokazala se **iznimno otpornom** na vremenske uvjete;
- Zbog **dugotrajnog sazrijevanja i starosti pečenja**, često ima **stabilniju strukturu** od novijih industrijskih varijanti;
- Pogodna je za **nosive i nenosive zidove**, ali uz prethodnu statičku provjeru i sortiranje.

##### Ekološka učinkovitost

- Nema potrebe za novom peći, gorivima i sirovinama – **eliminira se industrijski proces pečenja**;
- Korištenjem reciklirane opeke **sprječava se nastanak građevinskog otpada** koji bi inače završio na odlagalištima;
- Omogućuje smanjenje emisija CO<sub>2</sub> i podržava **niskougljične građevinske strategije**.

#### 3. Primjena u građevinarstvu

##### a) Restauracije i konzervatorski radovi

- Kod **rekonstrukcija povijesnih građevina** (crkve, vile, kurije, gospodarski objekti), korištenje reciklirane opeke osigurava **vizualnu i materijalnu autentičnost**;
- **Zaštita kulturne baštine** često zahtijeva identičan materijal – reciklirana opeka najbliže odgovara izvorniku po sastavu, dimenziji i boji;
- Može se koristiti **za popravke i nadogradnje** starih zidova bez narušavanja kompozicije.

##### b) Arhitektonski detalji i obloge

- **Dekoratívni zidovi** u interijerima (npr. dnevne sobe, restorani, galerije);
- **Zidne obloge i fasade** – posebno kod nZEB kuća s difuzno otvorenim fasadnim sustavima;

- **Podne obloge i vanjske staze** – otporna na trošenje i vremenske utjecaje, posebice kada se koristi u kombinaciji s vapnenim fugama.

#### c) Novi građevinski projekti

- **Nosivi zidovi kod ekoloških kuća** – moguće je koristiti staru opeku u kombinaciji s vapnenim ili glinenim mortovima;
- **Zgrade od opeke i drva** – čest koncept kod hibridnih kuća inspiriranih tradicionalnom gradnjom;
- **Fasade pasivnih i zelenih zgrada** – za stvaranje vizualne slojevitosti i smanjenje industrijskog sadržaja.

#### d) Urbani dizajn i krajobrazna arhitektura

- **Gradski trgovi, parkovi, šetnice** – korištenje reciklirane opeke za klupe, rubnjake, dekorativne zidove;
- **Vrtne instalacije** – zidovi, roštilji, kućice za alat izrađeni od opeke s karakterom;
- **Vertikalni vrtovi** – stare cigle se mogu koristiti kao struktura za sadnju, s prirodnom poroznošću.

#### 4. Ekonomski i estetski učinci

- **Troškovno učinkovit materijal** – iako zahtijeva ručni rad i čišćenje, u većim količinama je često povoljniji od novih, dekorativnih materijala;
- **Estetski jedinstvena** – svaka opeka ima priču, nesavršene linije, staru boju i specifičan osjećaj "žive" površine;
- Stvara dojam **vremenske dubine i plemenitosti prostora**, što se ne može postići novim tvorničkim materijalima;
- **Dodana vrijednost u prodaji nekretnina** – interijeri i fasade s recikliranom opekom doživljavaju se kao luksuzni i autentični.

#### 5. Izazovi i ograničenja

- **Potreba za ručnim radom** – vadenje, čišćenje i skladištenje opeke iziskuju vrijeme i pažnju;
- **Neravnomjerne dimenzije i tolerancije** – potrebno dodatno niveliranje i usklađivanje;
- **Statika i nosivost** – ne preporučuje se za visokoopterećene konstrukcije bez stručne provjere;
- **Ograničena količina na tržištu** – dostupnost ovisi o trenutno dostupnim ruševinama i projektima rušenja;
- **Zahtjevi konzervatorskih institucija** – u povijesnim projektima potreban je nadzor, dokumentacija i odobrenje materijala.

Unatoč izazovima, prednosti – osobito u ekološkom i estetskom smislu – čine recikliranu opeku **iznimno poželjnim materijalom**.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Projekt energetske obnove škole u Bavarskoj** – kombinacija novih struktura i zidova od reciklirane opeke;
- **Eco-hosteli u Sloveniji i Italiji** – fasade i interijeri izrađeni od opeke spašene s obližnjih ruševina;
- **Zagrebačke kuće u Donjem gradu** – rekonstrukcija dvorišnih zidova starom ciglom radi očuvanja urbanog identiteta;
- **Kreativne radionice u Francuskoj** – participativna izgradnja vrtnog zida od lokalno sakupljene cigle;
- **Montažne kuće visoke energetske učinkovitosti** – s dekorativnim ciglenim elementima u kombinaciji s drvom i glinom.

Reciklirana opeka ne predstavlja samo građevinski materijal, već **simbol povezanosti prošlosti i budućnosti**. Njena uporaba u suvremenim projektima doprinosi **smanjenju građevinskog otpada, očuvanju resursa i stvaranju jedinstvenog arhitektonskog izraza**. U svijetu gdje održivost postaje imperativ, reciklirana opeka nudi odgovor koji je i funkcionalan, i estetski, i kulturološki značajan.

Bilo da se koristi u modernoj pasivnoj kući, adaptaciji povijesne vile ili javnoj urbanoj instalaciji, reciklirana opeka postaje **materijal s karakterom i svrhom**.



## 38. GLINA S DODATKOM PIJESKA I SLAME (adobe)

---

**Adobe – glineni blokovi sa slamom i pijeskom: građevinski materijal s tisućljetnim naslijeđem i suvremenom održivošću**

**Adobe**, jedan od najstarijih građevinskih materijala na svijetu, i dalje se koristi u mnogim regijama zahvaljujući svojoj **prirodnosti, energetske učinkovitosti i trajnosti**. Riječ je o **ručno izrađenim blokovima od mješavine gline, pijeska, slame i vode**, koji se **suše na suncu** bez potrebe za pečenjem. Iako je adobe poznat po svojoj primjeni u tradicionalnoj arhitekturi Latinske Amerike, Srednjeg Istoka i Afrike, danas doživljava **ponovnu afirmaciju u kontekstu održive i ekološke gradnje**.

Zbog svojih toplinskih svojstava, dostupnosti sirovina i niskog utjecaja na okoliš, adobe se sve više koristi u suvremenim projektima koji spajaju **tradicionalne tehnike i moderne standarde udobnosti**.

### 1. Sastav i izrada adobe blokova

Adobe se proizvodi od:

- **glinenog tla** – glina djeluje kao prirodno vezivo;
- **pijeska** – osigurava strukturalnu stabilnost i sprječava pucanje;
- **slame ili biljnih vlakana** – jača blokove i sprječava stvaranje pukotina;
- **vode** – služi za aktivaciju veziva i oblikovanje mase.

Smjesa se miješa ručno ili mehanički dok se ne postigne homogena i plastična masa. Oblikuje se u drvene ili metalne kalupe, nakon čega se blokovi suše na otvorenom, najčešće **nekoliko dana do nekoliko tjedana**, ovisno o klimi. Nakon sušenja, blokovi su spremni za ugradnju bez daljnje obrade.

Za zidanje se najčešće koristi **glineni ili vapneni mort**, čime se osigurava **potpuna prirodna kompatibilnost** zidova.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Toplinska masa i izolacija

- Adobe ima **iznimno visoku toplinsku masu** – upija toplinu tijekom dana i otpušta je noću, čime osigurava **termalnu stabilnost prostora**;
- Debljina zidova od 30–50 cm pruža **dovoljnu zaštitu od toplinskih udara** u suhim i toplim klimama;
- U kombinaciji s prirodnim žbukama (glina, vapno) dodatno poboljšava **unutarnju mikroklimu**.

#### Zvučna izolacija

- Zbog svoje mase i strukture, adobe izvrsno **prigušuje zvukove**;
- Idealno za **stanovanje, škole, zajedničke prostore i prostore za opuštanje**.

#### Paropropusnost i regulacija vlage

- **Disanje zidova** omogućuje regulaciju unutarnje vlage bez stvaranja kondenzacije;
- Blokovi mogu **upiti i otpustiti vlagu**, čime se prostor štiti od plijesni i mikroorganizama.

#### Ekološke karakteristike

- Izrađen je **isključivo od prirodnih materijala** dostupnih lokalno;
- Potpuno **biorazgradiv, reciklabilan i bez štetnih emisija**;
- **Bez industrijske obrade**, pečenja ili dodavanja kemikalija – troši se minimalna energija pri proizvodnji.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Obiteljske kuće i stambene zgrade

- Adobe se koristi za **nosive i nenosive zidove** u jednokatnicama i prizemnicama;
- U kombinaciji s **drvenim gredama, trskastim stropovima i glinenim podovima**, stvara se **cjelovit prirodni sustav gradnje**;
- Pogodan je za **niskoenergetske kuće u mediteranskoj i kontinentalnoj klimi**.

#### b) Eko-turizam i glamping

- Koristi se za **gradnju kućica, apartmana, recepcija i restorana** u eko-resortima;
- Njegova **topla tekstura i prirodna estetika** savršeno se uklapaju u filozofiju "povratka prirodi".

#### c) Javne i edukativne zgrade

- Škole, vrtići, biblioteke i edukativni centri izrađeni od adobeja pružaju **zdravu, smirujuću i stabilnu atmosferu**;
- Posebno se cijeni u zajednicama koje promiču **održivost, samodostatnost i lokalnu gradnju**.

#### d) Kulturna i tradicijska arhitektura

- Adobe se koristi u **obnovama ruralne arhitekture**, kao i u **interpretaciji lokalnog graditeljstva u novim projektima**;
- U Hrvatskoj i regiji sve se češće pojavljuje u projektima **održive revitalizacije sela i ekosela**.

#### 4. Izazovi i ograničenja

- **Osjetljivost na vodu** – adobe nije otporan na izravno i dugotrajno kvašenje. Zaštita od kiše i vlage postiže se **krovnim prepustima, žbukama i podignutim temeljima**;
- **Niska tlačna čvrstoća** – zahtijeva **stručno projektiranje i ograničenje visine** objekta (najčešće prizemnice);
- **Potrebna dobra izvedba i zaštita od potresa** – u potresnim područjima koristi se u kombinaciji s drvenim okvirima (npr. seizmički pojasevi);
- **Sporo vrijeme gradnje** – blokovima treba vremena za sušenje i zahtijevaju ručnu obradu;
- **Ograničena primjena u vlažnim i hladnim klimama** – bez odgovarajuće zaštite i dizajna može doći do propadanja materijala.

Unatoč navedenim izazovima, pravilno projektiran adobe objekt može trajati **desetljećima, pa i stoljećima**.

#### 5. Ekološki i društveni doprinos

- Adobe gradnja potiče **lokalnu ekonomiju** – jer koristi **dostupne materijale i lokalnu radnu snagu**;
- **Prenosi tradicijska znanja i vještine** – uključuje zajednicu u gradnju i održavanje;
- **Minimalan ugljični otisak** – nema energetski intenzivne proizvodnje;
- Potpuno **prirodan životni ciklus** – od tla, preko prostora, natrag u tlo.

Korištenjem adobe tehnike ostvaruje se **zatvoren krug gradnje** – od prirode, kroz život, natrag prirodi.

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Adobe škole i bolnice u Africi i Latinskoj Americi** – gdje se koristi zbog dostupnosti, zdravlja i klime;
- **Ekološke kuće u Španjolskoj, Portugalu i Meksiku** – s kombinacijom adobe zidova, drvenih stropova i zemljanih podova;
- **Edukacijski centri u Hrvatskoj i Srbiji** – u kojima se adobe koristi kao dio **radionica prirodne gradnje**;
- **Pasivne kuće u suhim područjima SAD-a i Australije** – koje koriste adobe za masivne akumulacijske zidove;
- **Arhitektonske instalacije i umjetnički paviljoni** – koji istražuju izražajnost gline i prirodnih materijala.

Adobe kao građevinski materijal predstavlja **sinergiju prirode, ljudske ruke i lokalne zajednice**. Njegova visoka toplinska masa, paropropusnost, otpornost na toplinske ekstreme i estetska toplina čine ga idealnim za projekte koji teže **održivoj, zdravoj i društveno uključivoj gradnji**. Iako zahtijeva pažljivo projektiranje, u pravim uvjetima adobe pruža **izniman komfor, trajnost i autentičnost**.

U vremenu klimatskih promjena i resursne krize, **povratak materijalima poput adobeja** ne znači korak unatrag – već **napredak prema dugoročno održivoj budućnosti gradnje**.

## 39. TEKSTILNE PLOČE OD RECIKLIRANIH VLAKANA

---

### ...tišina, udobnost i održivost u jednom materijalu

U sve većoj potrazi za održivim, estetski atraktivnim i funkcionalnim materijalima za uređenje interijera, **tekstilne ploče od recikliranih vlakana** postaju jedno od najsvestranijih rješenja u suvremenom građevinarstvu. Izrađene od **otpadnih tekstilnih materijala** – poput pamuka, poliestera, vune i tehničkih tkanina – ove ploče nude **izvrsna akustična svojstva, toplinsku izolaciju, lakoću obrade i dekorativnu vrijednost**, sve to uz iznimno nizak ekološki otisak.

Nekada zanemaren otpad iz tekstilne industrije i kućanstava sada se pretvara u **visokokvalitetne građevinske komponente**, čime se ostvaruje dvostruka dobit:  **smanjenje otpada i doprinos energetske učinkovitosti prostora.**

### 1. Sastav i proizvodnja

Tekstilne ploče izrađuju se od:

- **recikliranih tekstilnih vlakana** – pamuk, vuna, poliester, viskoza, najlon i njihovi spojevi;
- **mehaničkom obradom** – vlakna se usitnjavaju, čiste i homogeniziraju;
- **veziva** – prirodna (npr. lateks) ili sintetska (npr. poliuretanske smole) u malim količinama;
- **prešanja u kalupe** – postupkom toplinskog oblikovanja ili hladnog prešanja.

Konačan proizvod može biti:

- **akustična ploča** – s perforacijama ili otvorenom strukturom;
- **termoizolacijska ploča** – većih debljina;
- **dekorativna ploča** – s teksturiranim ili tkanim završnim slojem.

Dimenzije se kreću od standardnih (npr. 60x60 cm, 120x60 cm) do ploča velikog formata, a mogu se rezati i oblikovati prema potrebi.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Akustična svojstva

- Apsorbiraju široki spektar zvučnih frekvencija;
- Smanjuju **odjek i buku u prostoru**, posebno pogodno za **otvorene uredske prostore, učionice i javne zgrade**;
- Pogodne za **sustave stropnih panela, zidnih obloga i slobodnostojećih barijera**.

#### Toplinska izolacija

- Koeficijent toplinske vodljivosti: 0,035 – 0,045 W/mK;
- Prikladne za  **dodatnu izolaciju interijera**, osobito u kombinaciji sa sustavima grijanja/hlađenja;
- Povećavaju energetske učinkovitost prostora bez zadiranja u nosivu konstrukciju.

#### Ekološke prednosti

- **Izrađene od postpotrošačkog i postindustrijskog otpada** – smanjuju količinu tekstilnog otpada koji bi završio na odlagalištima;
- Podržavaju principe **kružnog gospodarstva i zero-waste dizajna**;
- **Bez štetnih emisija (VOC-free)** – pogodne za prostore s visokom osjetljivošću na kvalitetu zraka (vrtići, škole, bolnice).

#### Otpornost i trajnost

- Otporne na udarce, habanje i deformacije;
- Lako se čiste i održavaju;
- **Negorive ili usporeno gorive verzije dostupne su za zahtjevne prostore** (prema EN 13501 standardima).
- 

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Interijeri poslovnih i javnih prostora

- **Uredi i coworking prostori** – kao zidne ili stropne obloge koje poboljšavaju akustiku i estetiku;
- **Učionice, dvorane i predavaonice** – smanjuju pozadinsku buku i poboljšavaju razumljivost govora;
- **Javne čekaonice, knjižnice, kulturni centri** – dekorativne i funkcionalne obloge koje doprinose ugodnijem boravku.

#### b) Rezidencijalna gradnja

- **Dnevni boravci i spavaće sobe** – posebno kod tankih zidova u višestambenim zgradama;
- **Glazbene sobe i kućna kina** – za profesionalnu i kućnu akustiku;
- **Stubišta i hodnici** – smanjenje udarnih i reflektiranih zvukova.

#### c) Hoteli, restorani i ugostiteljski objekti

- **Ugradnja u hotelske sobe** za poboljšanje zvučne izolacije;
- **Dekoratívni stropovi i zidovi u restoranima** – gdje je važno stvoriti intimnu i tihu atmosferu;
- **Akustična rješenja za dvorane za sastanke i konferencijske prostore.**

#### d) Modularna gradnja i montažni objekti

- Zbog male težine i fleksibilnosti, idealne su za **unutarnju oblogu montažnih kuća, paviljona i privremenih struktura**;
- Mogu se **kombinirati s prirodnim materijalima (drvo, glina, konoplja)** za održive koncepte.

### 4. Estetska vrijednost i dizajn

- Dostupne u **raznim bojama, teksturama i završnim obradama**;
- Mogućnost **tiskanja uzoraka, logotipa i grafika**;
- Kombiniraju **minimalizam, funkcionalnost i ekološku estetiku**;
- Pogodne za **open space prostore** gdje je važno razbiti monolitnost zidova i stropa.

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Ne preporučuju se za vlažne prostore bez zaštite** – potrebno je osigurati difuzijski otvorene slojeve ili zaštitne premaze;
- **Mekše verzije mogu se deformirati kod mehaničkog opterećenja** – važno je pravilno ih postaviti i zaštititi od udara;
- **Visoka kvaliteta može imati višu cijenu** u usporedbi s klasičnim akustičnim materijalima (npr. mineralna vuna), no koristi u održivosti i zdravlju nadmašuju razliku;
- **Potrebna pravilna montaža** – neki modeli zahtijevaju posebno podkonstrukcijsko učvršćenje.

### 6. Ekološki doprinos i certifikacija

- **LEED i BREEAM bodovi** – doprinos kategorijama recikliranog sadržaja, niskih emisija i inovacije;
- **Zeleni javni projekti i održiva gradnja** – pogodna komponenta za projekte financirane iz fondova koji zahtijevaju "zelene" kriterije;
- **CO<sub>2</sub> neutralnost** – mnoge tvrtke u ovom sektoru koriste energiju iz obnovljivih izvora u procesu proizvodnje.

### 7. Primjeri dobre prakse

- **Skandinavske škole i vrtići** – koriste tekstilne akustične ploče u učionicama radi topline, tišine i zdravlja;
- **Zelene zgrade u Nizozemskoj i Njemačkoj** – implementiraju ih u uredima za akustiku i dizajn interijera;

- **Startup prostori i coworking hubovi** – koriste ih kao vizualno prepoznatljive elemente i zvučne barijere;
- **Kazališta i glazbeni studiji** – zbog kontrole reverberacije i ugodne akustike;
- **Zagrebački glazbeni studio** – koristi panele od recikliranih tekstila za kombinaciju dizajna i funkcije.

Tekstilne ploče od recikliranih vlakana u građevinarstvu predstavljaju **inovativan spoj funkcionalnosti, održivosti i estetike**. One nisu samo dekorativni element – već i **aktivni alat u stvaranju zdravijeg, tišeg i energetski učinkovitijeg prostora**. Korištenjem ovih ploča arhitekti, projektanti i investitori biraju **materijal koji ima pozitivan utjecaj i na ljude, i na okoliš**.

Bilo da se koriste u školama, uredima, domovima ili kulturnim prostorima, tekstilne ploče govore o novom pravcu gradnje: **kružnom, prilagodljivom i humanom**.

## 40. OBLOGE OD PRIRODNOG KAMENA S LOKALNIH NALAZIŠTA

---

### Obloge od prirodnog kamena s lokalnih nalazišta: održivost uklesana u arhitekturu

**Prirodni kamen** jedan je od najstarijih i najtrajnijih materijala korištenih u graditeljstvu. Njegova estetika, čvrstoća i postojanost kroz stoljeća čine ga bezvremenskim izborom za brojne funkcionalne i dekorativne namjene. No u eri održive gradnje, dodatnu vrijednost dobiva **uporabom kamena s lokalnih nalazišta**, čime se značajno smanjuju **troškovi transporta, emisije CO<sub>2</sub>** i negativan utjecaj na okoliš.

Korištenjem lokalnog kamena potiče se **regionalna proizvodnja i tradicija**, čuva se **autentičnost prostora** te doprinosi razvoju **kružnog i otpornog graditeljstva**. Bilo da se radi o vapnencu, pješčenjaku, granitu, škriljevcu ili drugoj vrsti, kamen lokalnog podrijetla nudi brojne mogućnosti primjene, od fasada i podova do detalja koji oplemenjuju interijere i eksterijere.

### 1. Ekološke prednosti lokalnog kamena

#### Smanjen ugljični otisak

- Transportni troškovi i emisije stakleničkih plinova znatno su niži kada se kamen doprema iz **regionalnog kamenoloma**, a ne iz uvoza;
- Proizvodnja kamena zahtijeva **minimalnu energiju** – rezanje i obrada, bez potrebe za pečenjem ili kemijskim tretmanima;
- Otpada gotovo i nema – **neiskorišteni komadi** često se vraćaju u industriju kao lomljeni kamen, drobljeni agregat ili ukrasni šljunak.

#### Prirodni materijal bez kemikalija

- Kamen je **neotrovna i inertna tvar** koja ne ispušta štetne tvari (VOC-ove);
- Ne zahtijeva dodatne premaze, impregnacije ili boje za očuvanje svojstava;
- Pogodan za objekte gdje je važna **kvaliteta unutarnjeg zraka i kontakt s prirodnim površinama**.

### 2. Tehnička svojstva i dugotrajnost

- **Otpornost na habanje, vlagu, mraz i UV zračenje** – čini ga idealnim za vanjsku upotrebu;
- Visoka tlačna i savojna čvrstoća omogućuje **konstrukcijsku ili oblogu funkciju**;
- Jednostavno održavanje – **periodično pranje ili blago četkanje** dovoljno je za očuvanje izgleda;
- Izuzetno dug vijek trajanja – objekti s kamenim elementima traju **desetljećima, pa i stoljećima**.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Fasade

- **Ventilirane kamene fasade** – omogućuju regulaciju temperature i vlage;
- **Lijepljene ili pričvršćene obloge** – pogodne za moderne i tradicionalne zgrade;
- **Suhozidi i rustikalne fasade** – vraćaju duh lokalne arhitekture;
- U kombinaciji s drvom, staklom ili metalom stvaraju **snažan estetski kontrast**.

#### b) Podovi i stepenice

- Kamene ploče pogodne su za **interijere visokih prometnih opterećenja**: hodnici, ulazni prostori, javne ustanove;
- U vanjskom prostoru koriste se za **terase, dvorišta, staze, bazenske zone**;
- **Protuklizne obrade** (pjeskarenje, paljenje) omogućuju sigurnu upotrebu na kiši ili snijegu.

#### c) Radne i kuhinjske ploče

- Kamen se koristi za **kuhinjske radne ploče, kupaonske umivaonike, šankove i stolove**;
- Izuzetno je **otporniji od umjetnih materijala**, ne upija mirise i jednostavno se čisti;
- Moguće je kombinirati različite vrste i završne obrade (polirano, brušeno, grubo).

#### d) Interijerski dekor i obloge

- Zidne obloge u dnevnim boravcima, hodnicima i stubištima;
- Kamin obloge, klupčice, niše i police od kamena;
- Elementi u kombinaciji sa **staklom, metalom i drvom** daju sofisticiran izgled.

#### e) Urbanizam i krajobrazna arhitektura

- Koristi se za **pločnike, zidiće, fontane, urbanu opremu (klupe, cvjetnjake)**;
- Pogodan za **spomen-obilježja, crkvene objekte, restoracije**;
- Daje **toplinsku stabilnost** urbanim površinama i može smanjiti efekt toplinskih otoka.

#### 4. Kulturna i arhitektonska vrijednost

- Lokalni kamen **prati jezik prostora** – koristi se stoljećima u tradicionalnoj arhitekturi regije (npr. brački kamen u Dalmaciji, istarski kanfanar, slavonski pješčenjak);
- Njegova upotreba jača **identitet zajednice i autentičnost objekta**;
- U projektima obnove i adaptacije, lokalni kamen često je **nezaobilazan konzervatorski materijal**.

#### 5. Ekonomija i lokalni razvoj

- Korištenjem lokalnog kamena **potpomaže se rad regionalnih kamenoloma i obrtnika**;
- Često se u projektima održive gradnje koristi **kao lokalna sirovina za smanjenje troškova nabave i CO<sub>2</sub> otiska**;
- **Mogućnost korištenja ostataka i lomljenog kamena** kao dekorativnog ili građevnog materijala (npr. gabioni, ispune, temeljni slojevi).

#### 6. Ograničenja i izazovi

- **Težina** – veća masa može povećati statičke zahtjeve i zahtijevati jaču podkonstrukciju;
- **Cijena ovisno o obradi** – sirov blokovi su jeftiniji, dok su fino obrađene ploče skuplje;
- **Potrebna stručna obrada i montaža** – pogotovo kod fasada i velikih formata;
- **Ograničena dostupnost nekih vrsta kamena** – potrebno planirati unaprijed kod većih projekata.

Međutim, uz dobar projektantski pristup i suradnju s lokalnim dobavljačima, navedene prepreke lako se nadilaze.

#### 7. Primjeri dobre prakse

- **Obiteljske kuće u Istri, Dalmaciji i Gorskom kotaru** – koriste lokalni kamen za fasade, ograde i podne obloge;
- **Zelene javne zgrade** – kombiniraju kamen s drvom i staklom u skladu s nZEB standardima;
- **Muzeji, hoteli i restorani** – koriste kamen iz regije kako bi istaknuli vezu s lokalnom tradicijom;
- **Revitalizacija starih sela i maslinika** – suhozidi i fasade grade se od izvorno vađenog kamena;
- **Ekološki turizam i eko-sela** – kamen se koristi za stvaranje jedinstvenog ambijenta u skladu s prirodom.

Obloge od prirodnog kamena s lokalnih nalazišta nisu samo vizualno impresivan i trajan izbor, već i **etika odgovorne gradnje u praksi**. Kroz manji utjecaj na okoliš, poticanje lokalne ekonomije i povezivanje s tradicijom, kamen ponovno zauzima važno mjesto u modernoj, održivoj arhitekturi.

U vrijeme kada se traži gradnja otporna, dugotrajna i prirodna, **lokalni kamen vraća vrijednosti koje su nekoć bile samorazumljive – poštovanje prema materijalu, mjestu i ljudima**.



## 41. RECIKLIRANI BETON S DODATKOM STAKLA ILI PLASTIKE

---

### Kružna inovacija za održivu izgradnju

U kontekstu globalnih napora za smanjenjem građevinskog otpada i emisija CO<sub>2</sub>, **reciklirani beton s dodatkom zdrobljenog stakla ili plastike** ističe se kao materijal budućnosti. Kroz integraciju sekundarnih sirovina u klasične betonske mješavine, ovaj materijal omogućuje **ponovnu upotrebu otpada**, smanjenje korištenja prirodnih agregata (šljunak, pijesak), poboljšanje estetskih i izolacijskih svojstava, te pridonosi viziji **kružnog građevinarstva**.

Bilo da se koristi za konstrukcijske, dekorativne ili infrastrukturne svrhe, beton s recikliranim komponentama ne samo da ispunjava tehničke zahtjeve, već i **promiče ekološku svijest**, stvarajući pritom atraktivne površine koje vizualno i funkcionalno odskakuju od standardnih rješenja.

### 1. Sastav i vrste dodataka

Reciklirani beton sadrži:

- **Cementno vezivo** – portland cement ili cement s niskim CO<sub>2</sub> otiskom;
- **Reciklirane agregate** – beton, opeka, keramika;
- **Dodano zdrobljeno staklo** – prozirno, obojano, u obliku pijeska ili krupnijih zrna;
- **Recikliranu plastiku** – najčešće PET, HDPE, LDPE u obliku vlakana, granula ili ljuskica;
- **Dodatke za poboljšanje kohezije, obradivosti i trajnosti**.

Dotaci stakla i plastike mogu činiti od 5 do 30 % mase agregata, ovisno o željenim svojstvima i namjeni betona.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Ekološki aspekti

- **Smanjena potrošnja prirodnih agregata** (pijeska i šljunka);
- **Zbrinjavanje teško razgradivog otpada** – posebice stakla i plastike koji bi inače završili na odlagalištima;
- **Niži ugljični otisak** zahvaljujući lokalnim izvorima reciklata i smanjenoj potrebi za eksploatacijom sirovina.

#### Funkcionalna svojstva

- **Zdrobljeno staklo** poboljšava refleksiju svjetlosti i može povećati trajnost betona;
- **Plastični dodaci** doprinose elastičnosti, smanjuju skupljanje i povećavaju otpornost na smrzavanje i odmrzavanje;
- **Izolacijska svojstva** – osobito kod mješavina s šupljikavom plastikom ili pjenastim reciklatima;
- **Niža masa** – beton s plastikom može biti znatno lakši, što je važno za montažne elemente i rekonstrukcije.

#### Estetika i dizajn

- Staklo se može koristiti kao **vidljivi dekorativni agregat**, s efektom terrazza;
- Površine mogu biti **polirane, eksponirane, pjeskarene ili brušene**, čime se postiže jedinstven izgled;
- Plastika u boji stvara **kontrolirane šarene uzorke**, posebno zanimljive u krajobraznoj i urbanoj arhitekturi.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### a) Dekorativne podne i zidne površine

- **Interijeri javnih zgrada, škola, trgovačkih centara i hotela** – zahvaljujući jedinstvenoj vizualnoj teksturi;
- **Vanjske površine** – trgovi, šetnice, pločnici, terase s antikliznim tretmanima;
- **Dizajnerski elementi** – radne plohe, šankovi, stubišta i podesti.

#### b) Urbana i krajobrazna oprema

- **Betonske klupe, žardinjere, staze, rubnjaci i niskogradnja** – osobito u zelenim i javnim projektima;
- **Fasade i ventilirani sustavi** – s eksponiranim agregatima za suvremeni izgled;
- **Betonski moduli i zidne obloge** – koji kombiniraju nosivu funkciju i estetiku.

#### c) Konstrukcijska primjena (uz kontrolu)

- U sekundarnim elementima gdje **visoka tlačna čvrstoća nije ključna** – pregradni zidovi, temelji pomoćnih objekata, elementi ograde;
- **Betonski blokovi, opločnici i paneli** – gdje se reciklat koristi kao dio proizvodnog standarda;
- **Zidni sustavi u montažnim kućama i kontejnerskim konstrukcijama.**

#### 4. Izazovi i ograničenja

- **Alkalna reaktivnost stakla** – ako nije pravilno pripremljeno, može uzrokovati mikropucanje (rješava se upotrebom pozzolana ili niskopH cementa);
- **Ograničena tlačna čvrstoća kod velikog udjela plastike** – plastika ne prenosi sile kao tradicionalni agregati, što ograničava nosivu primjenu;
- **Potrebna pažnja pri miješanju i ugradnji** – neujednačen raspored dodataka može narušiti homogenost;
- **Ograničena dostupnost standardiziranih proizvoda na tržištu** – u nekim regijama još u eksperimentalnoj fazi;
- **Potreba za validacijom kroz laboratorijska ispitivanja** kod većih konstrukcija.

Unatoč ovim izazovima, sve se češće razvijaju **certificirani proizvodi** koji zadovoljavaju i statičke i ekološke kriterije, osobito u dekorativnim i infrastrukturnim projektima.

#### 5. Doprinos kružnom gospodarstvu i održivosti

- Ovaj beton koristi **otpade koji se teško recikliraju konvencionalnim metodama**, osobito staklo i plastiku;
- Uključenje stakla može zamijeniti do **20–30 % prirodnog agregata**, dok plastika zamjenjuje dio finoće i poboljšava izolaciju;
- **Omogućuje lokalno zbrinjavanje otpada i razvoj inovativnih građevinskih rješenja;**
- Doprinosi ostvarivanju **zelene javne nabave, LEED i BREEAM certifikata.**

#### 6. Primjeri dobre prakse

- **Zeleni kampus Sveučilišta u Vancouveru (Kanada)** – koristi pločnike s recikliranim staklom za smanjenje emisija i poboljšanje rasvjete;
- **Ulica “Zelenog betona” u Kopenhagenu** – s pločama od betona s PET vlaknima i staklenim agregatom;
- **Projekt obalnih staza u Kaliforniji** – koristi beton s dodatkom raznobojnog stakla iz lokalne reciklaže;
- **Urbane klupe i opločnici u Rotterdamu** – kombinacija betona i plastike iz otpada (npr. boce i ambalaža).

Reciklirani beton s dodatkom stakla ili plastike nije samo tehnički održiva opcija, već i **simbol pametnog korištenja resursa** u građevinarstvu. Kroz vizualnu privlačnost, ekološku učinkovitost i materijalnu inovaciju, ovaj beton se pozicionira kao **materijal nove generacije**, koji odgovara izazovima današnjice – od smanjenja otpada do kreiranja estetski dojmljivih prostora.

U vremenu kada se sve više traže **pametna, kružna i održiva rješenja**, beton s recikliranim dodacima nudi **betonski dokaz da inovacija može proizaći iz otpada** – i to s dugotrajnim, stabilnim i vizualno atraktivnim rezultatima.

## 42. PRIRODNI MATERIJALI ZA BOJE I PIGMENTE

---

### Održiva estetika u službi zdravlja i okoliša

U suvremenom građevinarstvu, gdje sve veći naglasak stavljamo na kvalitetu zraka, zdravlje korisnika i smanjenje ekološkog otiska, **prirodne boje i pigmenti** postaju sve relevantniji izbor. Za razliku od konvencionalnih sintetskih boja, koje često sadrže štetne kemikalije i hlapive organske spojeve (VOC), **prirodne boje izrađuju se od glinenih, vapnenih, mineralnih i biljnih sastojaka** te predstavljaju zdravu, održivu i estetski privlačnu alternativu.

Prirodne boje nisu samo dekorativne – one su **dio živog zida**, prozračne, biorazgradive i prilagodljive promjenama vlage. Njihova uporaba vraća osjećaj materijalnosti i autentičnosti prostoru te pridonosi stvaranju **ugodnijeg i zdravijeg interijera**.

### 1. Sastav prirodnih boja i pigmentata

Prirodne boje najčešće sadrže:

- **Bazne materijale:** vapno, glinu, škrob, kazein (mliječni protein), biljna ulja;
- **Prirodne pigmente:** zemljane okside (željezo, mangan, krom), biljne ekstrakte (kurkuma, indigo, cikla), spaljeni ostaci (npr. kost za crni pigment);
- **Prirodna veziva:** laneno ulje, pčelinji vosak, kolofonij, sapunice;
- **Dodaci za stabilnost i otpornost:** soda, boraks, prirodni enzimi.

Ne sadrže:

- Hlapive organske spojeve (VOC);
- Formaldehide, akrilne smole, ftalate ni teške metale;
- Sintetske mirise ni stabilizatore.

### 2. Ekološke i zdravstvene prednosti

#### Kvaliteta zraka u interijeru

- Prirodne boje **ne otpuštaju toksične plinove** tijekom i nakon nanošenja;
- Pomažu u održavanju **zdrave razine vlage i prozračnosti zidova**;
- Idealne su za prostore s osjetljivim korisnicima – djeca, starije osobe, osobe s respiratornim tegobama ili alergijama.

#### Nizak ugljični otisak

- Proizvode se **lokalno i ručno**, često s minimalnim energetske inputima;
- Nema kemijskih procesa visoke potrošnje energije kao kod akrilnih boja;
- Ostaci i ambalaža su **biorazgradivi** ili se mogu reciklirati.

#### Kompatibilnost s prirodnim materijalima

- Odlično se vežu za glinene, vapnene, drvene i druge difuzno otvorene podloge;
- Ne zatvaraju pore zidova – omogućuju **zidovima da "dišu"**;
- Djeluju **antibakterijski i protugljivično** – osobito vapnene boje.

### 3. Tehnička svojstva i otpornost

- **Paropropusne** – reguliraju vlagu i sprječavaju stvaranje kondenzacije;
- **Dugotrajne** – iako ne izdržavaju abraziju kao sintetske boje, lako se obnavljaju premazom iste boje bez brušenja;
- **Otporne na UV zračenje** – posebno zemljani pigmenti koji ne blijede lako;
- **Samozacjeljujuće u slučaju vapna** – sitne ogrebotine se same zatvaraju tijekom karbonizacije.

### 4. Primjena u građevinarstvu

#### a) Unutarnje zidne površine

- Koriste se kao **temeljne i završne boje** u stambenim i javnim prostorima;
- Idealne za **spavaće sobe, dječje sobe, dnevne boravke, radionice i joga/studio prostore**;

- Mogu se nanositi na zidove od gline, vapna, drva, opeke i cementnih žbuka.

#### b) Restauratorski i tradicijski objekti

- Korištenje prirodnih pigmenta osigurava **autentičnost boja** povijesnog razdoblja;
- Obavezne u mnogim konzervatorskim projektima kulturne baštine;
- Ne narušavaju izvorni karakter zida i omogućuju "disanje" povijesnih materijala.

#### c) Ekološki i niskoenergetski objekti

- U pasivnim i zdravim kućama prirodne boje su **logičan izbor u skladu s filozofijom gradnje**;
- U kombinaciji s prirodnim žbukama (glina, vapno) osiguravaju **sustav bez emisija**;
- Mogu se koristiti i u **zelenim javnim zgradama, vrtićima, školama i bolnicama**.

#### d) Dekorativne tehnike i finiš obrade

- **Washi efekti, glazure, velature, patine** – moguće izvesti prirodnim pigmentima;
- Boje su često **mat, tople i nenametljive**, stvaraju prirodan ambijent;
- Kombiniranjem pigmenta i mineralne baze mogu se postići **unikatne teksture i tonovi**.

#### 5. Vrste prirodnih boja prema vezivu

- **Vapnene boje** – alkalne, antibakterijske, otporne na vlagu, za unutarnje i vanjske prostore;
- **Kazeinske boje** – temeljene na mliječnim proteinima, otporne, perive, baršunaste teksture;
- **Biljne emulzije** – koriste ulja i smole, pružaju duboke tonove i lakšu ugradnju na drvo;
- **Glinene boje** – tople i mekane boje koje se lako obnavljaju i uklapaju u prirodnu gradnju.

#### 6. Izazovi i ograničenja

- **Kraći rok trajanja** kod nekih vrsta (npr. glinena boja se može kvariti ako se ne potroši);
- **Ograničena otpornost na mehanička oštećenja i vodu** (kod boja bez dodatka voska);
- **Manje sjajni i ujednačeni tonovi** – za mnoge prednost, ali za neke nedostatak u odnosu na industrijski savršene nijanse;
- **Potrebna edukacija za nanošenje** – određene vrste zahtijevaju poznavanje tehnike (npr. vapnena boja ne podnosi rad u vlažnim uvjetima bez karbonizacije);
- **Dostupnost i cijena** – kod ručno rađenih proizvoda može biti viša nego za konvencionalne boje.

#### 7. Primjeri dobre prakse

- **Škole u Švicarskoj, Njemačkoj i Austriji** – koriste glinene i vapnene boje zbog zdravlja djece i prirodne regulacije zraka;
- **Obiteljske kuće u Istri, Lici i Dalmaciji** – koje kombiniraju prirodne žbuke i mineralne pigmente za autentičan ugođaj;
- **Zelene zgrade i pasivne kuće u Skandinaviji** – koriste biljne pigmente i mineralne boje kao standard;
- **Kreativne radionice i studiji** – koriste prirodne pigmente u bojama za jedinstvene murale, patine i dekoracije.

Korištenje **prirodnih materijala za boje i pigmente** predstavlja **održiv, zdrav i estetski osviješten izbor** u svim vrstama gradnje. One nisu samo zamjena za konvencionalne proizvode, već i **izražaj arhitektonske i ekološke filozofije**. U prostorima obojenim glinenim, vapnenim i biljnim pigmentima osjeća se **toplina, tišina i sklad s prirodom** – kvalitete koje sve više prepoznajemo kao ključne za suvremeno stanovanje.

U eri u kojoj tražimo ravnotežu između tehnologije i prirode, **prirodne boje podsjećaju nas da održiva ljepota može nastati iz najjednostavnijih sastojaka – zemlje, vode, biljke i svjetla**.

## 43. PANELI OD LANA I KONOPLJE

---

### Prirodna snaga vlakana za zelenu gradnju

U kontekstu sve veće potrebe za održivim i niskougljičnim rješenjima u građevinskom sektoru, **paneli izrađeni od vlakana lana i konoplje** predstavljaju iznimno učinkovit spoj ekološke prihvatljivosti, tehničke funkcionalnosti i estetske fleksibilnosti. Ove **brzorastuće biljke** ne zahtijevaju pesticide ni intenzivnu obradu tla, a njihova vlakna mogu se jednostavno pretvoriti u **toplinske i zvučne izolacijske ploče, zidne i stropne obloge te elemente montažnih sustava**. Zahvaljujući svojoj **biološkoj razgradivosti, niskoj masi, visokoj paropropusnosti i sposobnosti sekvestracije ugljika**, lan i konoplja savršeno se uklapaju u principe **kružnog gospodarstva, zelene gradnje i zdrave unutarnje klime**.

### 1. Sirovine i proces proizvodnje

**Lan i industrijska konoplja** uzgajaju se diljem Europe i Hrvatske. Njihova vlakna se dobivaju mehaničkom preradom stabljika (dekortikacijom), bez kemijskih tretmana, što dodatno smanjuje utjecaj na okoliš.

Nakon što se vlakna izdvoje:

- **Miješaju se s prirodnim ili sintetskim vezivima** (npr. škrob, poliester na bio-bazi);
- Formiraju se u **ploče različitih debljina i gustoća**;
- Suše se i kalandriraju (valjaju) u odgovarajuće dimenzije.

Gotovi paneli dolaze kao:

- **Fleksibilni izolacijski filci** – za međuprostorne ispune (između greda, u zidovima);
- **Tvrde izolacijske ploče** – za unutarnju i vanjsku primjenu;
- **Obložni paneli** – dekorativne i akustične funkcije u interijeru;
- **Kompozitni elementi** – za montažne sustave u pasivnim i prefabriciranim kućama.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Toplinska izolacija

- Koeficijent toplinske vodljivosti: **0,038 – 0,045 W/mK**
- Visoka specifična toplinska masa osigurava **termalnu stabilnost** – sprječava ljetno pregrijavanje i zadržava toplinu zimi
- Idealno za **niskoenergetske i pasivne objekte**

#### Zvučna izolacija

- Struktura vlakana apsorbira **zračni i udarni zvuk**
- Primjena u pregradnim zidovima, stropovima, studijima i školama
- Pogodno za objekte gdje se traži **akustična udobnost uz prirodne materijale**

#### Paropropusnost i regulacija vlage

- Omogućuju „disanje zidova” – **reguliraju vlagu bez kondenzacije**
- Sprječavaju razvoj plijesni i stvaranje zatvorenih mikroklimatskih džepova
- Poboljšavaju **kvalitetu zraka u zatvorenom prostoru**

#### Otpornost i trajnost

- Otporni na starenje, vibracije, promjene temperature
- Uz odgovarajuću zaštitu (npr. od izravne vlage) **traju desetljećima**
- Dobra mehanička otpornost na savijanje i udarce (posebno konoplja)

#### Ekološke karakteristike

- **Biorazgradivi i reciklabilni**
- Vezanjem CO<sub>2</sub> tijekom rasta biljaka **pomažu u smanjenju emisija stakleničkih plinova**
- Zahtijevaju **malo energije u proizvodnji** – čak i 8 puta manje od mineralne vune
- **Bez štetnih emisija i VOC-ova**

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### Toplinska i zvučna izolacija

- **Unutarnji i vanjski zidovi, krovovi i međukatne konstrukcije**
- U kombinaciji s drvenim okvirima ili prirodnim žbukama (glina, vapno)
- Ugradnja u **ekološke i bioklimatske kuće, modularne sustave i green building** projekte

#### Dekorativne i akustične obloge

- Paneli presvučeni tkaninom koriste se kao **zvučno-izolacijski elementi** u uredima, učionicama, konferencijskim salama
- **Prirodne, tople teksture** uklapaju se u interijere s naglaskom na zdravlje i dizajn
- Idealno za **dizajnerske i “well-being” prostore**

#### Sustavi suhe gradnje

- Koriste se kao **punjenje i ispuna u montažnim panelima** (npr. prefabricirane drvene kuće)
- Lagani su, pa su idealni za **nadogradnje, rekonstrukcije i mobilne objekte**
- Kompatibilni s **CLT i OSB pločama, drvenim konstrukcijama i glinenim žbukama**

### 4. Usporedba s konvencionalnim materijalima

Karakteristika	Lan/Konoplja	Mineralna vuna	Poliuretanska pjena
Toplinska vodljivost	0,038–0,045 W/mK	0,032–0,040 W/mK	0,025–0,035 W/mK
Paropropusnost	☑	☑	✗
Biorazgradivost	☑	✗	✗
VOC emisije	Nema	Moguće	Visoke
Ekološki otisak proizvodnje	Nizak	Srednji	Visok
Ugradnja	Ugodna, bez zaštite	Potrebna zaštita	Zahtjevna

### 5. Izazovi i ograničenja

- **Osjetljivost na vlagu** – potrebno je zaštititi ih od trajnog kvašenja (npr. pravilna ventilacija, parna brana);
- **Cijena može biti viša** od konvencionalnih materijala, no amortizira se energetsom uštedom i zdravijim okruženjem;
- **Standardizacija još uvijek u razvoju** – ovisno o regiji, dostupnost i tehnički listovi variraju;
- **Potrebna pažnja pri skladištenju** – ne preporučuje se dulje izlaganje otvorenom prostoru.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Pasivne kuće u Njemačkoj i Francuskoj** – konopljini paneli se standardno koriste za izolaciju zidova i krovova;
- **Zelene škole i vrtići u Skandinaviji** – paneli od lana i konoplje osiguravaju akustiku, prirodnu regulaciju vlage i sigurnost za djecu;
- **Montažni eko-objekti u Sloveniji i Austriji** – koriste panele kao zamjenu za kamenu vunu u CLT sustavima;
- **Inovativni coworking prostori i glamping naselja** – lan i konoplja korišteni kao vizualno atraktivne obloge i pregrade.

Paneli od lana i konoplje nisu samo izolacijski proizvod – oni su **arhitektonska izjava održivosti**. Njihova proizvodnja ne zagađuje okoliš, njihov životni ciklus ne opterećuje planet, a njihova primjena čini prostore **tišima, zdravijima i energetske učinkovitijima**. Kao dio nove generacije

građevinskih materijala, oni pomažu u oblikovanju gradnje koja nije samo funkcionalna, nego i etična – u skladu s prirodom, klimom i čovjekom.



## 45. OPEKA OD PILJEVINE I CEMENTA - lagana, održiva i učinkovita alternativa klasičnoj zidarskoj cigli

---

U eri u kojoj građevinski sektor traži načine kako smanjiti utjecaj na okoliš i integrirati otpadne resurse u proizvodnju, **opeka izrađena od piljevine i cementa** postaje sve zanimljiviji materijal. Ova kompozitna opeka kombinira **drveni otpad (piljevinu)**, kao obnovljivu i inače slabo iskorištenu sirovinu, s **cementom**, kako bi se stvorio građevinski element koji je **lakši, toplinski učinkovitiji i ekološki prihvatljiviji** od klasične betonske ili glinene opeke.

Piljevina, kao ostatak iz drvne industrije, često se zbrinjava spaljivanjem ili odlaganjem, no u kombinaciji s vezivom poput cementa, ona postaje **vrijedan građevinski resurs**, čime se aktivno doprinosi **kružnom gospodarstvu i smanjenju emisija CO<sub>2</sub>**.

### 1. Sastav i način izrade

#### Sirovine:

- **Piljevina** (najčešće mekog drva: bor, smreka, jela) – djeluje kao organski agregat;
- **Cement** – najčešće portland cement (CEM I), služi kao vezivo;
- **Voda** – omogućuje hidrataciju cementa i aktivaciju veziva;
- **Dodaci (opcionalno)** – vapno, pijesak, boraks (za zaštitu od gljivica), aditivi za ubrzanje ili usporavanje vezivanja.

**Omjeri u smjesi** ovise o željenoj gustoći, čvrstoći i izolacijskim svojstvima, no tipična formula uključuje:

- 60–70% piljevine,
- 20–30% cementa,
- 10–20% vode.

#### Proces izrade:

1. Piljevina se prosijava i po potrebi prethodno natapa kako bi se spriječilo "krađenje" vode iz cementa;
2. Sastojci se miješaju u betonskoj miješalici dok se ne dobije homogena smjesa;
3. Smjesa se ulijeva u kalupe (ručne ili strojne);
4. Opeke se suše na zraku, a zatim se stvrdnjavaju najmanje 7–28 dana, ovisno o uvjetima i vrsti cementa.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Smanjena težina

- Do **40% lakše** od klasične betonske opeke, što olakšava transport, rukovanje i smanjuje opterećenje na konstrukciju;
- Pogodne za **nadogradnje, montažne sustave i lake nosive zidove**.

#### Toplinska izolacija

- Piljevina kao organski materijal ima **niski koeficijent toplinske vodljivosti**;
- Opeke pružaju **dodatni otpor gubitku topline**, osobito kada se koriste u dvostrukim zidnim sustavima ili s izolacijskim jezgrama;
- Prikladne za gradnju u **kontinentalnoj i planinskoj klimi**.

#### Otpornost na vlagu i plijesan

- Dodavanje vapna i boraksa povećava **otpornost na vlagu, gljivice i štetnike**;
- Pravilno izrađene i postavljene, ove opeke **ne upijaju vlagu kao čista drvena masa**;
- Pogodne su za **unutarnje zidove, podrumsku i vanjsku primjenu** uz zaštitne žbuke.

#### Zvučna izolacija

- Heterogena struktura s višestrukim porama doprinosi **upijanju zvuka**;
- Pogodno za **stambene zgrade, škole, uredske prostore i kulturne objekte**.

#### Ekološke i resursne prednosti

- Iskorištava se **drveni otpad koji bi inače bio problematičan za zbrinjavanje**;

- Smanjuje se potrošnja šljunka, pijeska i glinenih resursa;
- Ušteda energije u procesu proizvodnje u usporedbi s pečenjem klasične opeke.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### Zidne konstrukcije

- Nosivi i nenosivi zidovi u **niskogradnji, prizemnicama, vikendicama i pomoćnim objektima**;
- Idealne za kombinaciju s drvenim konstrukcijama i prirodnim žbukama;
- U modulima 10–15 cm debljine mogu služiti kao **unutarnje pregrade s povećanom izolacijom**.

#### Laka montažna gradnja

- Modularne zidne jedinice koje se lako prenose i postavljaju;
- Koriste se u **prefabriciranim sustavima** (npr. montažne kuće, eko-paviljoni, objekti za glamping);
- Dobro se ponašaju u sustavima **suhe gradnje** kada se kombiniraju s drvom, glinom ili panelima.

#### Ekološke i niskoenergetske kuće

- Odgovaraju principima **bioklimatske, pasivne i održive gradnje**;
- Kompatibilne s **paropropusnim i difuzno otvorenim sustavima zidova**;
- Mogu se dodatno kombinirati s **konopljom, glinom i prirodnim izolacijama**.

#### Restauracije i adaptacije

- Zbog male mase i jednostavne obrade, prikladne za **unutarnju obnovu starijih objekata**;
- Daju prostoru **prirodan, rustikalan izgled** kad se ne žbukaju u potpunosti.

### 4. Izazovi i ograničenja

- **Niža tlačna čvrstoća** u odnosu na klasične betonske i glinene opeke – koristi se u zgradama do 2 kata ili s dodatnom statičkom zaštitom;
- **Reakcija piljevine s cementom** može utjecati na vezivanje – zahtijeva dobar omjer i eventualno predtretiranje vlakana;
- **Ne preporučuje se za temeljne konstrukcije bez zaštite** – osjetljivost na trajnu vlagu;
- **Standardizacija i normizacija** još u razvoju – potrebno provesti testove za svaki veći projekt.

### 5. Primjeri dobre prakse

- **Samogradnje i eko-kuće u ruralnim područjima** Hrvatske i Europe – posebno gdje je dostupna lokalna piljevina;
- **Edukacijski centri i paviljoni** – izrađeni za potrebe prikaza kružne gradnje (npr. ekološke radionice);
- **Modularni turistički objekti** – gdje su važni niska težina, izolacija i prirodni dojam;
- **Prigradska naselja u Indiji, Africi i Južnoj Americi** – gdje se koristi lokalni drveni otpad kao osnovna sirovina;
- **Inženjerski fakulteti i istraživački centri** – koji razvijaju mješavine piljevine i cementa s dodatkom pepela, pijeska i prirodnih vlakana.

**Opeka od piljevine i cementa** predstavlja materijal budućnosti ukorijenjen u resursima sadašnjosti. Spaja **prirodni otpad s poznatom građevinskom tehnologijom**, stvarajući materijal koji je lagan, topao, održiv i učinkovit. U kontekstu zelene gradnje, kružnog gospodarstva i pristupačnih rješenja, ova opeka donosi **novi način razmišljanja o otpadu kao vrijednosti**.

Gradnjom s takvim materijalima ne stvaramo samo zidove – stvaramo **održive temelje za buduće generacije**.

## 45. TERMOIZOLACIJA OD OVČJE VUNE U ROLNAMA I PLOČAMA

---

**Ovčja vuna** sve češće zauzima istaknuto mjesto među prirodnim izolacijskim materijalima zahvaljujući svojoj **iznimnoj sposobnosti regulacije topline i vlage, prirodnoj otpornosti na vatru i štetnike**, kao i **zdravstvenoj sigurnosti** za korisnike. Iako se tradicionalno koristila u labavom obliku za ispunu međuprostora, danas je dostupna i kao **prešane ploče i role** koje se jednostavno postavljaju u standardne zidne i krovne konstrukcije.

Kao obnovljiv resurs s niskim ugljičnim otiskom, **ovčja vuna u građevinarstvu objedinjuje principe održivosti, učinkovitosti i ugodnosti**, čineći ju osobito prikladnom za projekte koji žele spojiti visoku razinu tehničke kvalitete s brigom za okoliš i zdravlje korisnika.

### 1. Sastav i obrada ovčje vune za građevinske proizvode

Ovčja vuna namijenjena gradnji prethodno se:

- **mehanički čisti i pere** – kako bi se uklonile nečistoće, masti i lanolin;
- **tretira prirodnim ili netoksičnim sredstvima protiv moljaca** – često borati ili zeolit;
- **kombinira s malim udjelom poliesterskih vlakana (5–15%)** kao vezivom, ili koristi prirodna veziva (npr. lanolin, mliječna kiselina);
- **preša u ploče ili valja u role** – različite gustoće ( $10\text{--}30\text{ kg/m}^3$ ) i debljine (30–200 mm).

Kao gotovi proizvodi, dostupni su u obliku:

- **fleksibilnih rola** za ugradnju u drvene okvire i kose krovove;
- **tvrdih ploča** za zidne sustave, međukatne konstrukcije i stropne izolacije;
- **specijaliziranih akustičnih i toplinskih panela** za interijere i pasivne objekte.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Toplinska izolacija

- Koeficijent toplinske vodljivosti: **0,035 – 0,040 W/mK**
- Zimi **zadržava toplinu**, a ljeti **usporava prodor vrućine**, osobito zbog **visoke toplinske mase i sposobnosti akumulacije energije**
- Učinkovitija od mineralne vune u **ljetnoj zaštiti od pregrijavanja**

#### Regulacija vlage

- Može **apsorbirati do 33% vlastite mase u vlazi** bez gubitka izolacijskih svojstava
- Djeluje kao **prirodni higrometar** – apsorbira suvišnu vlagu iz zraka i otpušta je kada je prostor suh
- Sprječava **kondenzaciju i razvoj plijesni**

#### Zvučna izolacija

- Struktura vlakana i elastičnost vune značajno prigušuju **zračne i udarne zvukove**
- Idealna za pregradne zidove i međukatne izolacije u stambenim objektima

#### Otpornost na vatru i štetnike

- Vuna se teško zapali – **samogasiva**, uz visoku temperaturu izgaranja (oko 560 °C)
- Obrada boratima daje dodatnu **otpornost na insekte, gljivice i bakterije**
- Ne razvija otrovne plinove prilikom izgaranja

#### Zdravstvena sigurnost

- **Bez iritacija kože i dišnog sustava** – za razliku od mineralne vune
- Ne sadrži **hlapive organske spojeve (VOC)** ni sintetske kemikalije
- Pogodna za **vrtiće, škole, bolnice, objekte za osobe osjetljivog zdravlja**

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### Stambene kuće i stanovi

- Izolacija krovišta, međukatnih stropova i potkrovlja;
- Unutarnji pregradni zidovi između prostorija;
- Vanjski zidovi kod drvenih i montažnih kuća (između greda);

- U kombinaciji s paropropusnim folijama i glinenim žbukama za zdrav mikroklimatski sustav.

#### **Niskoenergetske i pasivne kuće**

- U sustavima difuzno otvorene gradnje, gdje je **potrebna kombinacija izolacije i kontrole vlage**;
- Prikladna za slojevite drvene konstrukcije (CLT, okvirna gradnja, paneli).

#### **Javne zgrade i uredski prostori**

- Za izolaciju prostora koji zahtijevaju **akustičnu udobnost i sigurnost korisnika**;
- Idealna za obnovu interijera zgrada s lošom zvučnom izolacijom.

#### **Glamping, mobilni objekti i montažne jedinice**

- Laka i prilagodljiva za gradilišta bez infrastrukture;
- Moguća ručna ugradnja bez zaštitne opreme;
- Povećava **toplinsku stabilnost mobilnih prostora** tijekom svih godišnjih doba.

#### **4. Ugradnja i obrada**

- Jednostavna obrada nožem ili škarama;
- Ne zahtijeva zaštitnu odjeću ni maske;
- Postavlja se **između letava, greda ili u profile suhe gradnje**;
- Uvijek se preporučuje **kombinacija s parnom branom** na toploj strani zida u vlažnijim klimama.

#### **5. Ograničenja i preporuke**

- **Osjetljiva na trajnu vlagu** – nije pogodna za vlažne podrumne bez hidroizolacije;
- **Cijena može biti viša** u usporedbi s konvencionalnim izolacijama, no amortizira se kroz trajnost i zdravlje;
- **Potrebna pravilna pohrana i ventilacija** na gradilištu;
- Kvaliteta varira po proizvođaču – važno koristiti **certificirane materijale (npr. Natureplus, Cradle to Cradle)**.

#### **6. Ekološke prednosti**

- **Obnovljiv i lokalno dostupan materijal** – koristi se vuna koja nije pogodna za tekstilnu industriju;
- **Sekvestracija ugljika** – ovce tijekom života konzumiraju biljke koje vežu CO<sub>2</sub>, a vuna zadržava taj ugljik i nakon prerade;
- **Biorazgradiva i reciklabilna** – ne stvara otpad na kraju životnog vijeka;
- **Doprinos kružnom gospodarstvu** – potiče lokalnu stočarsku i preradbenu djelatnost.

#### **7. Primjeri dobre prakse**

- **Zelene škole u Njemačkoj i Austriji** – koriste ovčju vunu za krovne i pregrade zbog zdravlja učenika;
- **Pasivne kuće u Sloveniji i Švicarskoj** – kombinacija s glinenim žbukama za maksimalnu mikroklimu;
- **Eko-sela i glamping prostori u Istri i Lici** – jednostavna primjena u mobilnim objektima;
- **Uredi i co-working prostori** – obloge zidova s panelima od vune radi akustike i topline interijera;
- **Kreativni projekti** – zvučne obloge s vunom u kombinaciji s prirodnim tkaninama.

**Termoizolacija od ovčje vune u rolama i pločama** predstavlja **sinergiju između prirode, zdravlja i tehničke učinkovitosti**. Njena sposobnost da grije zimi, hladi ljeti i “diše” s prostorom čini je jednim od najpoželjnijih materijala u novoj paradigmi gradnje. U vremenu kada izolacija

više nije samo barijera, već **aktivni dio zdravog životnog prostora**, ovčja vuna daje odgovor koji dolazi iz prirode – i ostaje u skladu s njom.



**MADE IN THE UK  
USING BRITISH WOOL**

## 46. PLOČE OD RECIKLIRANIH KARTONSKIH JEZGRI (honeycomb panels)

U suvremenoj gradnji i dizajnu interijera, gdje su **ekološki prihvatljivost, mobilnost i modularnost** sve važniji, **ploče sa saćastom (honeycomb) strukturom od recikliranog kartona** predstavljaju inovativno, lagano i ekonomski učinkovito rješenje. Iako ih se najčešće povezuje s privremenim konstrukcijama, izložbenim prostorima i namještajem, njihov se potencijal u građevinarstvu širi – osobito u kontekstu **pregradnih zidova, obloga, stropova i elemenata mobilne gradnje**.

Izrađene od **recikliranog valovitog kartona** ili drugih celuloznih vlakana, ove ploče objedinjuju **iznimno malu masu i visoku mehaničku stabilnost**, zahvaljujući unutarnjoj jezgri u obliku saća, koja prenosi opterećenje jednako kao i mnogi konvencionalni materijali.

### 1. Sastav i način proizvodnje

Ploče se sastoje od tri osnovna sloja:

- **Jezgra:** reciklirani karton u **saćastoj (honeycomb) strukturi** – šesterokutni uzorak pruža izuzetnu čvrstoću u odnosu na masu;
- **Pokrivni slojevi (furniri):** reciklirani papir, karton visoke gustoće, MDF, iverica, šperploča, pa čak i tanke aluminijske ili bioplastične obloge;
- **Ljepljivi sloj:** ekološka ljepila (škrobna, PVA) koja ne sadrže formaldehid ni VOC.

Ploče se proizvode u različitim dimenzijama i debljinama – najčešće 10 do 100 mm – ovisno o potrebnoj nosivosti i namjeni.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Ekstremno mala masa

- Težina od 1 do 5 kg/m<sup>2</sup> – do **80% lakše** od MDF-a, gipsanih ploča ili iverice;
- Olakšava **transport, montažu i demontažu**;
- Smanjuje statičko opterećenje na konstrukciju.

#### Mehanička čvrstoća

- Zbog strukture saća, ploče imaju **visok omjer čvrstoće i težine**;
- Otpornost na savijanje i tlačna čvrstoća prilagodljiva su konstrukciji prema debljini i materijalu obloga;
- Pogodne za **samostojeće elemente, viseće obloge i pokretne pregrade**.

#### Održivost

- Izrađene od **100% recikliranih i reciklabilnih materijala**;
- Bez formaldehida, ftalata i teških metala;
- **Ekološka proizvodnja s niskim emisijama CO<sub>2</sub> i potrošnjom energije**;
- Kompatibilne s konceptima **cirkularne ekonomije i dizajna bez otpada**.

#### Jednostavna obrada

- Mogu se rezati, bušiti, farbati, tiskati i laminirati;
- Kompatibilne sa standardnim alatima za obradu drva i papira;
- Idealne za **DIY projekte i brzo prototipiranje**.

#### Dobra zvučna i toplinska svojstva

- Unutarnje ćelije zadržavaju zrak – djeluju kao **prirodni izolator**;
- Ploče se mogu dodatno kombinirati s **akustičnim ili toplinskim slojevima** za poboljšane performanse.

### 3. Primjena u građevinarstvu i uređenju prostora

#### Unutarnje pregrade i zidne obloge

- Idealne za **lagane nenosive zidove u uredima, izložbenim prostorima, sajamskim paviljonima**;

- Mogu se obložiti drvom, tkaninom, bojama ili tiskom – stvarajući vizualno atraktivne površine;
- U kombinaciji s drvenim okvirima ili profilima od aluminija/stakla.

#### Namještaj i modularni sustavi

- Korištenje u izradi **radnih stolova, polica, ormarića, postolja, izložbenih vitrina**;
- Pogodne za **urede, coworking prostore, kreativne studije**;
- Ploče se mogu **kombinirati s LED rasvjetom, kotačićima, metalnim spojnicama**.

#### Dekoratívni i scenografski elementi

- Idealne za **pozadine u dućanima, štandove, izložbe, galerije, sajmove**;
- Lagane strukture omogućuju izradu **visećih panela, svjetlosnih tijela i 3D elemenata**;
- Brza montaža i uklanjanje, bez potrebe za trajnim vezivanjem.

#### Građevinske i edukacijske instalacije

- Korištenje u privremenim paviljonima, festivalskim konstrukcijama i edukativnim laboratorijima;
- Omogućuju **brzu gradnju i demontažu bez otpada**;
- Mogu se reciklirati nakon korištenja ili ponovno upotrijebiti.

#### 4. Usporedba s drugim materijalima

Karakteristika	Kartonske honeycomb ploče	Gipskarton	MDF	Šperploča
Težina	<input checked="" type="checkbox"/> Ekstremno lagane	<input checked="" type="checkbox"/> Teške	<input checked="" type="checkbox"/> Teške	<input checked="" type="checkbox"/> Teške
Održivost	<input checked="" type="checkbox"/> 100% reciklirane	<input type="checkbox"/> Djelomična	<input checked="" type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Srednja
Čvrstoća	<input type="checkbox"/> Umjerena	<input type="checkbox"/> Srednja	<input checked="" type="checkbox"/> Dobra	<input checked="" type="checkbox"/> Dobra
Zvučna izolacija	<input type="checkbox"/> Osnovna	<input checked="" type="checkbox"/> Dobra	<input checked="" type="checkbox"/> Dobra	<input checked="" type="checkbox"/> Dobra
Pogodnost za montažu	<input checked="" type="checkbox"/> Jednostavna	<input type="checkbox"/> Ograničena	<input checked="" type="checkbox"/> Potrebna zaštita	<input type="checkbox"/> Ručno zahtjevna
Reciklabilnost	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Djelomična

#### 5. Ograničenja i preporuke

- **Nisu nosivi elementi** – ne preporučuju se za nosive zidove ili podne sustave;
- **Osjetljivost na vlagu** – kod nezaštićenih ploča preporučuje se izbjegavanje uporabe u vlažnim prostorima bez dodatne zaštite;
- **Mehanička otpornost** – pri velikim opterećenjima potrebno je ojačanje ili laminacija;
- **UV stabilnost** – nezaštićeni karton može s vremenom promijeniti boju ili oslabiti – preporučuje se dodatna obrada za dugotrajnost.

#### 6. Ekološki i društveni doprinos

- Poticanje **upotrebe otpada iz papirne industrije** kao sirovine;
- Promicanje **mobilne, privremene i reciklabilne arhitekture**;
- Ploče su **netoksične, sigurne za korisnike, djecu, životinje i okoliš**;
- Čest izbor u **edukacijskim ustanovama i projektima koji podučavaju održivost**.

#### 7. Primjeri dobre prakse

- **Izložbeni paviljoni i sajmovi** (npr. Salone del Mobile, Expo sustavi) – strukture u potpunosti od honeycomb panela;
- **Uredi i coworking prostori** – mobilni ormari, pregrade i radni stolovi;
- **Trgovački centri i dućani** – štandovi i vitrine za sezonske kampanje;
- **Edukacijske instalacije i muzejski postavi** – jednostavna gradnja, laka zamjena;
- **Zelene škole i kreativne radionice** – djeca sudjeluju u sastavljanju i uređenju prostora.

**Ploče od recikliranih kartonskih jezgri** predstavljaju suvremen, lagan i izrazito održiv materijal koji se ističe svojom **fleksibilnošću, ekološkom vrijednošću i funkcionalnošću**. U vremenu kada su modularnost, mobilnost i smanjenje resursne potrošnje u fokusu, ovakvi materijali omogućuju **inteligentna, estetski dojmljiva i klimatski odgovorna rješenja**.

Iako su im primjene najizraženije u interijerima i privremenim instalacijama, njihov potencijal u širem građevinskom kontekstu tek se počinje otkrivati – **kao lagani temelj za teške izazove budućnosti**.

## 47. BOKOMPOZITNI MATERIJALI (vlakna + prirodne smole)

---

Biokompoziti su novi korak u razvoju građevinskih materijala koji teže **niskom ugljičnom otisku, obnovljivim resursima i ekološkoj sigurnosti**. Riječ je o materijalima izrađenima od **biljnih vlakana** (poput konoplje, lana, jute, kokosa) u kombinaciji s **prirodnim ili biorazgradivim smolama**, koje djeluju kao vezivo i osiguravaju mehaničku stabilnost. Takva kombinacija omogućuje izradu **čvrstih, laganih i estetski prilagodljivih panela i ploča**, koje sve više pronalaze svoju primjenu u interijerima, namještaju, oblogama i eksperimentalnim gradbenim elementima.

Za razliku od klasičnih kompozita temeljenih na staklenim vlaknima i epoksidnim smolama, biokompoziti su **znatno manje toksični, energetski učinkovitiji u proizvodnji te lakše reciklabilni ili biorazgradivi**.

### 1. Sastav i tehnologija izrade

#### Biljna vlakna:

- **Konoplja** – visoka čvrstoća na vlak, brzo raste, otporna na vlagu;
- **Lan** – finoća i fleksibilnost, visoka akustična apsorpcija;
- **Kokosova vlakna** – otpornost na vlagu, elastičnost, izolacijska svojstva;
- Ostala: juta, agava, sisal, bambus.

#### Smole (veziva):

- **Prirodne smole** na bazi škroba, lignina, celuloze;
- **Biorazgradive poliesterske smole** (PLA, PHA, PBS);
- **Biljna ulja (laneno, ricinusovo) u modificiranom obliku**;
- U nekim slučajevima koristi se **epoksi smola s bio-udjelom od 50–70%**.

#### Proces proizvodnje:

- Vlakna se najprije suše, usitnjavaju i oblikuju u slojeve;
- Nanosi se smola, često pomoću vakumske impregnacije;
- Smjesa se **preša ili laminira** pod pritiskom i toplinom;
- Gotovi paneli se režu i oblikuju prema željenoj funkciji.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Lagana masa i čvrstoća

- Gustoća između 1.1 i 1.4 g/cm<sup>3</sup> – znatno lakše od MDF-a, betona ili metala;
- Mehanička čvrstoća dovoljna za primjenu u oblogama, pregradama i namještaju;
- Mogućnost **savijanja i oblikovanja** u zakrivljene forme.

#### Otpornost i dugovječnost

- Ovisno o smoli, otpornost na vlagu, UV zrake i abraziju je vrlo dobra;
- Pogodni za **unutarnju i poluzatvorenu vanjsku primjenu** (npr. natkriveni prostori, terase);
- Uz odgovarajuću obradu, **dugotrajni poput laminata**.

#### Estetika i obrada

- Površine se mogu ostaviti **vidljive i taktilne** (prirodni uzorak vlakana);
- Moguće lakiranje, bojanje, lasersko graviranje, prešanje dekora;
- Omogućuju **custom made dizajn** i organsku estetiku prostora.

#### Ekološka vrijednost

- **Obnovljivi resursi** – vlakna rastu u roku od jedne sezone;
- Znatno niži CO<sub>2</sub> otisak u usporedbi s klasičnim plastifikacijama;
- Moguća djelomična ili potpuna **biorazgradivost** nakon uporabe (ovisno o smoli);
- Bez emisija VOC i teških metala.

### 3. Primjena u građevinarstvu

### Zidne i stropne obloge

- Unutarnji paneli za **oblaganje zidova, stropova, recepcija, ureda, dvorana**;
- Idealno za **prostore gdje se traži prirodan vizualni identitet**, npr. wellness, škole, knjižnice;
- Odlični za **akustične panele** – apsorbiraju zvuk, a ostaju estetski nenametljivi.

### Pregradne ploče i modularni sustavi

- Koriste se za **lagane pregrade u uredima, coworking prostorima, sajmovima**;
- U kombinaciji s drvom, čelikom ili aluminijem;
- Mogu biti **samostojeće ili fiksirane sustavima suhe montaže**.

### Namještaj i oprema interijera

- Izrada ormarića, stolova, polica, kreveta, panela, kuhinjskih fronti;
- Lagan i stabilan materijal za **mobilni i modularni namještaj**;
- Čest izbor u **custom dizajnu za eko-hotele, glamping prostore i kreativne urede**.

### Dekoratívni i arhitektonski elementi

- Zbog mogućnosti oblikovanja – pogodni za **lučne i 3D oblike, teksturirane zidove i skulpturalne intervencije**;
- Mogu se koristiti kao **držači rasvjete, obloge stupova, plafonske instalacije**;
- Kombinacija s LED rasvjetom i prorezima za stvaranje ambijentalnih rješenja.

## 4. Usporedba s konvencionalnim kompozitima

Karakteristika	Biokompozit (vlakna + bio-smola)	Klasični kompozit (staklena vlakna + epoksi)
Izvor sirovina	<input checked="" type="checkbox"/> Obnovljiv	<input checked="" type="checkbox"/> Neobnovljiv
Biorazgradivost	<input type="checkbox"/> Djelomična / potpuna	<input checked="" type="checkbox"/> Nema
Težina	<input checked="" type="checkbox"/> Lagano	<input type="checkbox"/> Srednje
Mehanička čvrstoća	<input type="checkbox"/> Srednja	<input checked="" type="checkbox"/> Visoka
VOC emisije	<input checked="" type="checkbox"/> Nema	<input checked="" type="checkbox"/> Visoke
Reakcija na vlagu	<input type="checkbox"/> Ovisno o smoli	<input checked="" type="checkbox"/> Otporno
Estetska vrijednost	<input checked="" type="checkbox"/> Prirodna tekstura	<input type="checkbox"/> Tehnička površina

## 5. Ograničenja i preporuke

- **Nisu nosivi elementi** – nisu prikladni za konstruktivne funkcije bez dodatnog ojačanja;
- **Osjetljivost na dugotrajnu vlagu** ako smola nije 100% vodootporna – preporučuje se zaštita;
- **Cijena** može biti viša zbog ručne proizvodnje i inovativnih smola;
- Potrebna pažnja pri izboru smole – razlika između „bio-based“ (djelomično biljna) i potpuno biorazgradive varijante;
- Nisu još široko standardizirani – potrebna dodatna validacija u većim građevinskim projektima.

## 6. Primjeri dobre prakse

- **Eko-hoteli i interijeri wellness centara** – zidni paneli od konoplje i smole na bazi ricinusovog ulja;
- **Zeleni coworking prostori** – akustične ploče i pregrade od lanenih vlakana i PLA smole;
- **Inovativni paviljoni i sajamski štandovi** – demontažni paneli s prirodnim uzorcima vlakana;

- **Dizajnerski namještaj u boutique hotelima i glamping kampovima** – lagane, ali čvrste plohe u rustikalno-modernom tonu;
- **Obrazovne institucije** – materijali za projekte gradnje bez otpada i edukacije o biorazgradivim kompozitima.

**Biokompozitni materijali od biljnih vlakana i prirodnih smola** predstavljaju **važan korak prema kružnom i zdravijem građevinskom sustavu**. Kombinirajući obnovljive sirovine, funkcionalne tehničke karakteristike i ekološki neutralnu proizvodnju, oni nude **prirodan odgovor na problem zagađenja plastikom i sintetskim materijalima**.

U interijerima i lakim građevinskim aplikacijama, ovi paneli nisu samo funkcionalni, već i **nositelji identiteta prostora koji poštuje prirodu, korisnika i okoliš**.

## 48. GLINA POMIJEŠANA S PRIRODNIM PIGMENTIMA I VLAKNIMA (ekološke žbuke)

---

U održivoj i prirodnoj gradnji, **glinene žbuke obogaćene prirodnim pigmentima i vlaknima** predstavljaju iznimno važan materijal koji spaja funkcionalnost, estetiku i zdravlje prostora. Njihova uporaba nije nova – tisućama godina ljudi su koristili zemlju kao osnovu za gradnju, ali je u suvremenom kontekstu **obnovljena s novim znanjima, tehnikama i arhitektonskim vrijednostima**.

Ovakve žbuke se koriste kao **završni i dekorativni sloj zidova i stropova**. Osim što osiguravaju visoku razinu ugone i stabilnosti unutarnje mikroklimе, njihova površina može biti **mat, teksturirana, topla i vizualno izražajna**. Prirodni pigmenti omogućuju širok spektar nijansi bez umjetnih bojila, dok vlakna (npr. slama, konjska dlaka, konoplja) doprinose mehaničkoj čvrstoći i estetskoj strukturi površine.

### 1. Sastav glinenih žbuka

#### Bazna smjesa:

- **Glina** – osnovna komponenta; vezivo koje omogućuje adheziju i plastičnost;
- **Pijesak** – osigurava volumen, sprječava pucanje, definira teksturu;
- **Prirodna vlakna** – konjska dlaka, slama, konoplja, sijeno, kokosova vlakna – ojačavaju strukturu, povezuju slojeve, sprječavaju pucanje.

#### Dodaci:

- **Prirodni pigmenti** – željezni oksidi, zemljani tonovi, crvena glina, pepeo, ugljen; dodaju boju bez toksičnih dodataka;
- **Vapno (po potrebi)** – koristi se za dodatnu čvrstoću i otpornost;
- **Biljna ulja ili vosak** – za završnu impregnaciju površine u vlažnijim prostorima.

### 2. Tehnička svojstva i prednosti

#### Paropropusnost i “disanje” zida

- Glinene žbuke reguliraju vlagu u prostoru – **apsorbiraju višak i otpuštaju kada je zrak suh**;
- Sprječavaju kondenzaciju i razvoj plijesni – pogodno za zdrave interijere;
- Idealan izbor za **spavaće sobe, dnevne boravke, škole, vrtiće i wellness prostore**.

#### Toplinska i zvučna regulacija

- Iako nemaju izolacijski učinak u klasičnom smislu, **akumuliraju toplinu i polako je otpuštaju**, stabilizirajući unutarnju temperaturu;
- Zbog svoje mase i poroznosti, djeluju i kao **zvučna barijera i apsorber eha**.

#### Netoksičnost i prirodan sastav

- Bez VOC emisija, formaldehida, sintetskih smola ili plastifikatora;
- Ne izazivaju alergije ni iritacije – pogodna za osjetljivim dišnim sustavom;
- Ekološki prihvatljive tijekom proizvodnje i nakon upotrebe (biorazgradive).

#### Estetika i kreativna sloboda

- Površine su **toplog, mat karaktera, taktilne i “žive”** – mijenjaju se pod svjetlom i dodirrom;
- Mogu se **bojati, modelirati, glazirati i reljefno obrađivati**;
- Velika sloboda u stvaranju **unikatnih, personaliziranih interijera**.

### 3. Primjena u građevinarstvu

#### avršni slojevi unutarnjih zidova i stropova

- Kao **dekorativna žbuka** na glineni, vapneni, betonski ili drveni zid (uz pripremu podloge);
- U kombinaciji s drugim prirodnim materijalima: drvo, kamen, slama, glinene blokove;
- Prikladna za **zidove u interijerima s visokom estetskom i ekološkom vrijednošću**.

### Obnove i restauracije tradicionalne gradnje

- Glinene žbuke su **autentični materijal** za konzervatorske obnove ruralnih kuća, štala, starih škola, crkava i tradicijskih interijera;
- Mogu se izrađivati **na licu mjesta od lokalnih materijala** – glina iz iskopane zemlje, lokalni pijesak i vlakna.

### Ekološke i pasivne kuće

- Koriste se u objektima izgrađenima prema **principima difuzno otvorene gradnje** (gdje zid "diše");
- Idealne u kombinaciji s **slamnatom gradnjom, drvenim skeletima, konopljinim panelima**;
- Povećavaju **toplinsku i akustičnu ugodu**, ali i doprinose estetskoj autentičnosti.

### 4. Izvedba i ugradnja

- Priprema podloge: mora biti **čista, hrapava i navlažena** – idealno je glinena žbuka na glineni zid, ali moguće je i na beton ili ciglu uz kontaktnu žbuku;
- Nanošenje: **u više slojeva (grubi, fini, završni dekorativni)** – može ručno ili strojno;
- Debljina slojeva: od **5 mm do 30 mm**, ovisno o željenom efektu;
- Vrijeme sušenja: prirodno, **uz dobru ventilaciju**, bez forsiranja topline;
- Održavanje: moguće prebojavanje istom smjesom bez brušenja, **prirodno starenje bez ljuštenja**.

### 5. Ograničenja i preporuke

- **Nije pogodna za izravno mokre prostore** (tuševi, bazeni), osim ako nije zaštićena prirodnim impregnacijama;
- **Osjetljiva na mehanička oštećenja** – preporučuje se u prostorima gdje nema intenzivnog dodira;
- **Dulje sušenje** u uvjetima visoke vlage i niske temperature;
- Za vanjsku upotrebu potrebne su posebne mješavine s vapnom ili zaštitnim slojevima.

### 6. Primjeri dobre prakse

- **Eko-sela i ruralni turizam** – sobe i zajednički prostori sa zidovima prekrivenim glinenom žbukom s pigmentima zemlje (oker, terakota, smeđa);
- **Zelene škole i vrtići u Austriji i Sloveniji** – koristi se za tople i sigurne prostore za djecu;
- **Pasivne kuće u Njemačkoj i Francuskoj** – unutarnji zidovi obloženi glinenim žbukama radi mikroklimatske stabilnosti;
- **Wellness centri, joga studiji i retreat kuće** – prirodne, umirujuće teksture koje djeluju terapijski;
- **Moderne kuće** – gdje arhitekti kombiniraju glinu s betonom i drvom za suvremen-rustikalni kontrast.

**Glinene žbuke obogaćene prirodnim pigmentima i vlaknima** predstavljaju više od građevinskog materijala – one su **medij između prostora i korisnika**, stvarajući **toplu, zdravu i ekološki prihvatljivu atmosferu**. Njihova estetska vrijednost, sposobnost regulacije vlage, lakoća obnove i niska ekološka cijena čine ih ključnim elementom održive arhitekture 21. stoljeća.

U svijetu koji traži povratak jednostavnosti i povezanosti s prirodom, **glinene žbuke su tiha revolucija u načinu na koji gradimo i živimo**.

## 49. DRVO IZ CERTIFICIRANIH ODRŽIVIH ŠUMA (FSC, PEFC)

---

### Klimatski odgovorna sirovina za graditeljstvo budućnosti

Drvo je jedan od najstarijih i najsvestranijih građevinskih materijala. No u 21. stoljeću njegova uporaba zahtijeva **etičko, ekološko i dugoročno održivo upravljanje izvorima**. Upravo tu ulogu imaju **certifikati održivog gospodarenja šumama**, poput **FSC (Forest Stewardship Council)** i **PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification)**. Ti certifikati jamče da je drvo došlo iz **šuma kojima se upravlja na način koji čuva bioraznolikost, zdravlje šumskih ekosustava i prava lokalnih zajednica**.

U građevinarstvu, korištenje certificiranog drva omogućuje **trajno skladištenje ugljika, smanjenje utjecaja na okoliš, transparentnost lanca opskrbe i ispunjenje zahtjeva zelenih standarda** kao što su LEED, BREEAM i DGNB.

### 1. Što znači “certificirano drvo”?

**FSC i PEFC** certifikati temelje se na načelima održivosti:

- **Ekološki kriteriji:** nema krčenja šuma, čuvanje rijetkih i ugroženih vrsta, zaštita tla i voda;
- **Društveni kriteriji:** poštivanje prava lokalnog stanovništva i radnika, pravedni radni uvjeti;
- **Ekonomski kriteriji:** dugoročno planiranje sječe i obnove, tržišna konkurentnost.

Certifikat se izdaje ne samo za šumu, već i za **lanac nadzora (chain of custody)** – od posječenog stabla do gotovog proizvoda, što omogućuje **potpunu sljedivost materijala**.

### 2. Primjena certificiranog drva u građevinarstvu

#### Konstruktivni elementi

- **Nosive grede, stupovi, rožnici** – za kuće, hale, nadstrešnice, mostove;
- **CLT (križno lamelirano drvo)** – masivne drvene ploče za zidove i stropove u višekatnicama;
- **GLT i LVL (lamelirano drvo)** – visokih mehaničkih svojstava, stabilno i vizualno atraktivno.

Korištenjem certificiranog drva u nosivoj strukturi smanjuje se CO<sub>2</sub> otisak zgrade za **20–50% u odnosu na beton i čelik**, uz jednakost u nosivosti.

#### Podovi i obloge

- **Parketi, brodski podovi, decking za terase** – estetski ugodni, prirodni, dugotrajni;
- **Unutarnje zidne i stropne obloge** – osobito u objektima s visokim estetskim ili zdravstvenim standardima;
- **Fasade** – npr. drvene šindre, daske, paneli s ventiliranom podkonstrukcijom.

#### Namještaj i interijer

- **Stolovi, ormari, kuhinje, krevetske konstrukcije** izrađeni od lokalnih FSC/PEFC certificiranih vrsta;
- **Akustični paneli, dekorativne pregrade, elementi rasvjete** – funkcionalni i prirodni;
- **Kombinacija sa žbukama od zemlje, vapna ili glinenih boja** stvara skladne i zdrave interijere.

#### Privremene i modularne konstrukcije

- Sajmovi, paviljoni, montažne kuće, mobilni objekti – lakoća i modularnost drva omogućuje **brzu montažu, mobilnost i reciklabilnost**;
- Certificirano drvo jamči **etičku nabavu** čak i za privremene strukture koje će se kasnije reciklirati.

### 3. Ekološke i klimatske prednosti

#### Skladištenje CO<sub>2</sub>

- Tijekom rasta, drvo iz atmosfere veže CO<sub>2</sub> – u 1 m<sup>3</sup> drva se pohrani **do 1 tona CO<sub>2</sub>**;
- Korištenje u dugotrajnim građevinama **odgađa povrat ugljika u atmosferu** desetljećima.

#### **Obnovljivost i niska energija proizvodnje**

- Za razliku od betona i čelika, drvo se obrađuje uz **znatno nižu potrošnju energije**;
- **Ne zahtijeva rudarstvo, visoke peći ni kemijsku obradu** – zagađenje vode i tla je minimalno;
- Kad dođe kraj vijeka trajanja, **drvo se može reciklirati, kompostirati ili koristiti kao energent**.

#### **Biološka razgradivost i zdrav okoliš**

- Prirodni materijal, **bez sintetičkih spojeva ili VOC emisija**;
- Poboljšava **kvalitetu zraka u interijerima**, osobito kada nije lakiran već obrađen uljima i voskom.

#### **4. Doprinos zelenim certifikatima i standardima**

- Projekti koji koriste FSC/PEFC drvo ostvaruju  **dodatne bodove** u certifikacijama poput:
  - **LEED (USGBC)**
  - **BREEAM (UK)**
  - **DGNB (Njemačka)**
  - **WELL (zdravlje korisnika)**
- Certificirano drvo pomaže ispuniti kriterije za **zelenu javnu nabavu (Green Public Procurement)** i **EU taksonomiju održivih ulaganja**.

#### **5. Ograničenja i izazovi**

- **Cijena** certificiranog drva može biti 10–20% viša od necertificiranog, no to se amortizira kroz kredibilitet i prednosti pri prijavama i natjecajima;
- **Dostupnost lokalnih vrsta** može biti ograničena – poželjna suradnja s šumarijama i pilanama koje podržavaju certificiranje;
- **Potrebno provjeravati lanac nadzora** – samo FSC/PEFC oznake s valjanim brojem i statusom jamče sljedivost.

#### **6. Primjeri dobre prakse**

- **Dječji vrtići i škole u Skandinaviji** – građeni gotovo isključivo od FSC drva zbog zdravlja djece;
- **Niskoenergetske i pasivne kuće u Austriji** – CLT konstrukcije od lokalne FSC smreke;
- **Glamping resorti u Istri i Lici** – drvene kućice od certificirane hrastovine i smreke;
- **Sajamski paviljoni i izložbeni prostori** – montažne konstrukcije od PEFC drva koje se ponovo koriste;
- **Zelene javne nabave u EU projektima** – certificirano drvo kao obavezni kriterij za javnu gradnju i opremanje.

**Drvo iz certificiranih održivih šuma** predstavlja **najodrživiji građevinski materijal današnjice** – prirodan, obnovljiv, lagan, s visokom strukturnom vrijednošću i niskim ugljičnim otiskom. FSC i PEFC certifikati nisu samo oznake, već **garancije odgovornog upravljanja prirodnim resursima**, koje su sve češće i zakonski i tržišno prepoznate.

Korištenjem certificiranog drva u gradnji, dizajnu i opremanju prostora, ne doprinosimo samo kvaliteti objekta, već **čuvamo šume, potičemo lokalno gospodarstvo i ostavljamo pozitivan trag za generacije koje dolaze**.

## 50. CLT U ODRŽIVOJ GRADNJI (masivna drvena revolucija u arhitekturi 21. stoljeća)

---

**CLT (Cross-Laminated Timber)**, ili **križno lamelirano drvo**, predstavlja jednu od najvažnijih inovacija u suvremenom građevinarstvu temeljenom na principima održivosti. Riječ je o **masivnim drvenim panelima izrađenima od više slojeva drvenih dasaka**, koje se križno slažu i lijepe pod visokim pritiskom. Takva struktura jamči **veliku nosivost, otpornost na savijanje i stabilnost**, usporedivu s betonom i čelikom, ali uz **neusporedivo niži ugljični otisak**.

Zahvaljujući svojoj modularnosti, preciznosti i ekološkim karakteristikama, CLT postaje ključni materijal za **gradnju pasivnih kuća, višekatnica od drva, škola, vrtića, hotela, montažnih objekata i zgrada mješovite funkcije**.

### 1. Tehnička struktura i proizvodnja

CLT se sastoji od **tri do sedam slojeva drvenih lamela**, najčešće od smreke, jele, bora ili ariša. Svaki sloj je postavljen okomito na prethodni, što rezultira:

- **izuzetnom statičkom stabilnošću** u oba smjera,
- **povećanom otpornosti na torziju i savijanje**,
- **smanjenom osjetljivošću na vlagu i deformacije**.

Daske se međusobno lijepe ekološkim ljepilima bez formaldehida, a paneli se kroje pomoću **CNC strojeva**, čime se postiže **preciznost milimetarske razine i smanjuje građevinski otpad**.

### 2. Prednosti CLT-a u održivoj gradnji

#### Niski ugljični otisak

- CLT je **drveni proizvod koji aktivno skladišti CO<sub>2</sub>** – 1 m<sup>3</sup> CLT panela pohranjuje oko **800–900 kg CO<sub>2</sub>**;
- Njegova proizvodnja zahtijeva **do 80% manje energije** od proizvodnje betona i čelika;
- Odabirom CLT-a za strukturu zgrade, smanjuje se ukupni **ugljik ugradnje (embodied carbon)**, ključan pokazatelj u zelenoj gradnji.

#### Brza, čista i suha gradnja

- CLT elementi se prefabriciraju u tvornici, na gradilištu se samo montiraju – omogućuje **bržu gradnju i manju potrebu za vodom i energijom na licu mjesta**;
- Nema cementne prašine ni mokrih procesa – pogodna tehnologija za **urbane sredine i adaptacije**;
- Minimalni građevinski otpad.

#### Izvrсна energetska učinkovitost

- Masivne drvene stijenke pružaju **visoku toplinsku zaštitu i akumulaciju** – zimi zadržavaju toplinu, ljeti sprječavaju pregrijavanje;
- U kombinaciji s paropropusnim sustavima omogućuju **“disanje” zgrade bez kondenzacije**;
- Prikladno za **pasivne kuće i nZEB (nearly Zero Energy Building)** standarde.

#### Strukturna fleksibilnost

- CLT se koristi za **zidove, stropove, podove i krovove**, čak i u **višekatnicama do 12 i više katova**;
- Kombinira se s drugim materijalima: staklom, čelikom, izolacijama na bazi drva, vapnom, glinom;
- Moguće su **velike rasponske širine bez srednjih nosivih zidova**, što pruža slobodu u oblikovanju tlocrta.

#### Zdravlje i udobnost korisnika

- Drvo stvara **prirodno ugodno mikroklimu**, regulira vlagu i temperaturu;
- Površina CLT-a ostaje vidljiva – **topla, mirisna i taktilna**;
- Ne emitira štetne tvari – idealno za **škole, vrtiće, bolnice i prostore za boravak ljudi**.

### 3. Održivost u širem kontekstu

#### Cirkularna gradnja

- CLT elementi se mogu **demontirati, reciklirati ili ponovno koristiti**;
- Zgrade od CLT-a lakše se prilagođavaju promjenama funkcije i obnove;
- Otvara prostor za **modularnu i reverzibilnu arhitekturu**.

#### Obnovljivost materijala

- Ako se koristi drvo iz **certificiranih šuma (FSC, PEFC)**, CLT predstavlja **100% obnovljiv materijal**;
- Poticanjem lokalne prerade smanjuje se transport i podržava **ruralno gospodarstvo i šumarska održivost**.

#### Zeleni certifikati i EU standardi

- Zgrade koje koriste CLT lakše zadovoljavaju uvjete za:
  - **LEED, BREEAM, DGNB certifikaciju**;
  - **EU taksonomiju održivih ulaganja**;
  - **Zelenu javnu nabavu i energetske učinkovite fondove**.

### 4. Izazovi i preporuke

- **Otpornost na vlagu i požar** zahtijeva pažljivu projektantsku obradu – CLT se ponaša predvidivo u požaru, ali zahtijeva dodatnu zaštitu ili dimenzioniranje;
- **Akustika** – CLT sam po sebi nije dobar izolator buke; kombinira se s plutom, vlaknastim izolacijama, dvoslojnim pregradama;
- **Cijena** može biti viša u početku, no **brzina gradnje, uštede energije i manji troškovi održavanja dugoročno nadmašuju razliku**;
- **Dostupnost** – sve je bolja u Hrvatskoj i regiji, ali veće količine još se često naručuju iz Austrije, Njemačke i Italije.

### 5. Primjeri dobre prakse

- **Škola u Velenju (SLO)** – prva škola u regiji u potpunosti građena od CLT-a;
- **Drvena višekatnica “HoHo Wien” (A)** – jedna od najviših CLT zgrada u Europi (84 m);
- **Montažne CLT kuće u Gorskom kotaru i Lici** – energetske učinkoviti objekti s niskim operativnim troškovima;
- **Glamping resorti i eco-lodge objekti u Istri** – CLT omogućuje brzo postavljanje, toplinu i ekološki karakter;
- **Urbanistički projekti u Francuskoj i Kanadi** – drvene četvrti koje koriste CLT za smanjenje emisija u gradovima.

**CLT nije samo građevinski materijal – on je nositelj nove paradigme u gradnji.** Kombinirajući visoka tehnička svojstva s prirodnim karakteristikama drva, ovaj materijal omogućuje **brzu, zdravu i klimatski odgovornu arhitekturu**. U vremenu kada građevinski sektor mora radikalno smanjiti emisije i otpornost na klimatske promjene, CLT nudi **konkretan, skalabilan i estetski vrijedan odgovor**.

Upravo zato CLT postaje simbol zelene gradnje 21. stoljeća – **gradnje koja ne ostavlja ožiljak, već trag održivosti**.



### Preporučena literatura i izvori:

1. **European Commission.** (2020). *A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives.*
2. **World Green Building Council.** (2021). *Bringing Embodied Carbon Upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon.*
3. **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2022). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction.*
4. **Ellen MacArthur Foundation.** (2021). *Circular Economy in the Built Environment: Opportunities for a regenerative and low-carbon future.*
5. **DGNB – Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.** *Sustainability Criteria for Materials in Buildings.*
6. **LEED v4.1 Reference Guide. Materials and Resources.** U.S. Green Building Council.
7. **Bionova Ltd.** (2020). *One Click LCA – Embodied Carbon Benchmark Database.*
8. **Kibert, C. J.** (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery* (4th ed.). Wiley.
9. **Jones, D. L., & Pritchard, D.** (2020). *Designing with Natural Materials: A Guide to Ecological Architecture.* RIBA Publishing.
10. **Pomponi, F., & Moncaster, A. M.** (2017). *Circular Economy for the Built Environment: A Research Agenda.* Resources, Conservation and Recycling.
11. **Falk, R. H.** (2009). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material.* USDA Forest Service.
12. **Akkerman, R., & Lensink, S. M.** (2019). *Bio-based Building Materials: From Fundamentals to Applications.* Woodhead Publishing.
13. **Ritter, A.** (2018). *Sustainable Materials, Processes and Production.* Thames & Hudson.
14. **Habitat for Humanity International.** (2021). *Green Building Standards and Certification Systems.*
15. **Buildings Performance Institute Europe (BPIE).** (2022). *Whole Life Carbon Roadmap for Buildings.*
16. **IPCC Sixth Assessment Report.** (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* (posebno poglavlje o građevinskom sektoru).
17. **OECD.** (2020). *Greening the Building Sector: A Path to Net Zero Emissions.*
18. **ISO 21930:2017.** *Sustainability in buildings and civil engineering works – Core rules for environmental product declarations of construction products.*
19. **Croatian Green Building Council (CGBC).** *Smjernice za održivu gradnju i zelenu javnu nabavu u RH.*
20. **International Living Future Institute.** *The Red List of Chemicals to Avoid in Building Materials.*

Ovaj popis nudi uravnotežen izbor **međunarodnih i europskih izvora**, kao i **znanstvene i tehničke osnove** za razumijevanje i praktičnu primjenu održivih materijala u graditeljstvu.

**Priručnik je nastao u okviru projekta „BioDesign Connect“ sufinanciranog iz INTERREG IPA Croatia – Bosnia and Herzegovina – Montenegro tijekom 2025. godine.**

The "BioDesign Connect" project focuses on advancing sustainable practices in bio-architecture and holistic interior design in Bosnia and Herzegovina. A common challenge in this region is the lack of sustainable building solutions and eco-friendly design practices, despite the growing demand for solutions that reduce environmental impact and improve quality of life. Additionally, the region lacks sufficient professional connectivity and resources for sustainable architectural practices. The project aims to empower professionals through education and capacity building, promoting broader adoption of sustainable practices.

Projekt „**BioDesign Connect**“ usmjeren je na unaprjeđenje održivih praksi u bioarhitekturi i holističkom dizajnu interijera u Bosni i Hercegovini. Uobičajen izazov u ovoj regiji je **nedostatak održivih građevinskih rješenja i ekološki prihvatljivih dizajnerskih praksi**, unatoč sve većoj potražnji za rješenjima koja smanjuju negativan utjecaj na okoliš i poboljšavaju kvalitetu života. Osim toga, u regiji nedostaje **dovoljna profesionalna povezanost i dostupni resursi** za provedbu održive arhitekture. Cilj projekta je **osnažiti stručnjake kroz edukaciju i razvoj kapaciteta**, potičući širu primjenu održivih praksi.

**Interreg**



**Co-funded by  
the European Union**

**IPA** Croatia – Bosnia and  
Herzegovina – Montenegro

---

**EmBRACE**