

# Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji

---

**Macakanja, Nina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:565835>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-04**



image not found or type unknown *Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Nina Macakanja**

**Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji**

**Završni rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni prijediplomski studij  
Građevinske konstrukcije**

**Nina Macakanja  
JMBAG: 0114034858**

**Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji**

**Završni rad**

**Rijeka, 07/2023.**

## **IZJAVA**

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Nina Macakanja

U Rijeci, 10.07.2023.



# **Tradicionalni ekološki materijali u suvremenoj gradnji**

## **Sažetak**

Pojavom građevinarstva kao djelatnosti, ljudi počinju koristiti prirodne materijale poput kamena, drva, bambusa, opeke i slame za izgradnju svojih utočišta. Ovi materijali su prirodni, održivi i ne izazivaju štetne posljedice na okoliš. Međutim, dolaskom industrijske ere i povećanom potražnjom za građevinskim proizvodima, započela je masovna proizvodnja industrijskih materijala kako bi se ubrzala i optimizirala gradnja. Kao posljedica toga, građevinska industrija postala je jedan od najvećih zagađivača na svijetu. Cilj ovog rada je prikazati tradicionalne materijale i analizirati prednosti i nedostatke njihove upotrebe u građevinskoj industriji. Nadalje, u ovom radu istražuju se suvremene primjene tradicionalnih ekoloških materijala u arhitekturi, čime se pokazuje kako se suvremena arhitektura uspješno može kombinirati s tradicionalnim materijalima.

Ključne riječi: kamen, opeka, drvo, slama, bambus, održivost, ekološki materijali

# **Traditional Ecological Materials in Modern Construction**

## **Abstract**

Ever since construction began as an activity, people have turned to natural materials such as stone, wood, bamboo, brick, and straw to build their shelters. These materials are natural, sustainable, and do not cause harmful effects on the environment. However, with the onset of the industrial era and the increased demand for construction products, mass production of industrial materials began to accelerate and optimize construction. As a result, the construction industry has become one of the world's largest polluters.

The aim of this paper is present traditional materials and to analyze the advantages and disadvantages of their use in construction industry. Furthermore, this paper explores contemporary use of traditional ecological materials in architecture, which shows how contemporary architecture can be successfully combined with traditional materials.

Keywords: stone, brick, wood, straw, bamboo, sustainability, ecological materials

# SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	DRVO .....	3
2.1.	Prednosti drva za gradnju.....	3
2.2.	Nedostatci drva za gradnju.....	6
2.3.	Primjeri korištenja drva u visokogradnji.....	8
2.3.1.	Stambena zgrada „Treet“ .....	9
2.3.2.	Stambena zgrada „Forte“ .....	10
2.3.3.	Poslovna zgrada „Tamedia“ .....	11
3.	BAMBUS.....	13
3.1.	Prednosti bambusa za gradnju.....	13
3.2.	Nedostatci bambusa za gradnju.....	15
3.3.	Primjeri korištenja bambusa u visokogradnji.....	16
3.3.1.	Sportska dvorana škole „Panyaden“ .....	17
3.3.2.	„Green school“ škola .....	18
3.3.3.	Paviljon od bambusa .....	19
4.	SLAMA .....	20
4.1.	Prednosti slame za gradnju.....	20
4.2.	Nedostatci slame za gradnju.....	22
4.3.	Primjeri korištenja slame za gradnju.....	22
4.3.1.	Sveučilište u Nottinghamu.....	23
4.3.2.	Kazalište „Straw Theatre“ .....	25
5.	KAMEN.....	26
5.1.	Prednosti kamena za gradnju .....	26
5.2.	Nedostatci kamena za gradnju .....	28



5.3.	Primjeri korištenja kamena u visokogradnji .....	29
5.3.1.	Zgrada „Getty“ centra .....	30
5.3.2.	Kuća „La Dinda“ .....	31
6.	NABIJENA ZEMLJA.....	32
6.1.	Prednosti nabijene zemlje za gradnju.....	32
6.2.	Nedostaci nabijene zemlje za gradnju.....	33
6.3.	Primjeri korištenja nabijene zemlje u visokogradnji.....	34
6.3.1.	Obiteljska kuća „Moonah Tree House“ .....	34
6.3.2.	Dječje odgajalište.....	35
7.	OPEKARSKA GLINA .....	36
7.1.	Prednosti gline za gradnju.....	36
7.2.	Nedostaci gline za gradnju .....	37
7.3.	Primjeri korištenja glinene opeke u visokogradnji.....	38
7.3.1.	Kuća od opeke „Zahorske Sady“ .....	38
7.3.2.	Kuća s crijepom od opeke „Distracted House“ .....	39
8.	ZAKLJUČAK .....	41
9.	LITERATURA .....	42

## POPIS SLIKA

Slika 1: Deformacije nastale kao posljedica nepravilnog sušenja drva [7] .....	7
Slika 2: Stambena zgrada „Treet“ u Bergen, Norveška [10] .....	9
Slika 3: Stambena zgrada „Forte“ u Brisban, Australija [11].....	10
Slika 4: Poslovna zgrada „Tamedia“ u Zurich, Švicarska [12] .....	11
Slika 5: Interijer zgrade „Tamedia“ [12] .....	12
Slika 6: Oštećenje bambusa od gljivica i izloženosti atmosferilijama nakon otprilike 10 godina [16].....	15
Slika 7: Sportska dvorana škole „Panyaden“ u Chiang Mai, Tajland [17].....	17
Slika 8: „Green school“ škola u Bali, Indonezija [18] .....	18
Slika 9: Paviljon od bambusa u Taichung, Tajvan [19] .....	19
Slika 10: Sveučilište u Nottingham, Velika Britanija [24] .....	23
Slika 11: Korištenje slame kao izolacija u panelima od križno lameliranog drva [24] ...	24
Slika 12: „Straw theatre“ u Tallinn, Estonija [25].....	25
Slika 13: Dijagram naprezanje - deformacija za prirodni kamen [32] .....	29
Slika 14: Zgrada „Getty center“ u Los Angeles, California [33].....	30
Slika 15: „Casa La Dinda“ u Itu, Brazil [34] .....	31
Slika 17: Obiteljska kuća „Moonah Tree House“ u Moonah, Australija [42].....	34
Slika 18: Dječje odgajalište u Pariz, Francuska [43] .....	35
Slika 19: Pukotine nastale pri sušenju [35].....	37
Slika 20: Kuća „Zahorske Sady“ u Zahorska Bystrica, Slovačka [38].....	38
Slika 21: „Distracted House“ u Jakarta, Indonezija [39].....	39

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1: Prikaz vlačnih čvrstoća različitih vrsta drva. [6] .....	4
Tablica 2: Prikaz tlačnih čvrstoća različitih vrsta drva. [6] .....	5
Tablica 3: Usporedba toplinske provodljivosti drva s drugim građevinskim materijalima [6].....	6
Tablica 4: usporedba tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće i modula elastičnosti drva, čelika i bambusa [14].....	14
Tablica 5: Korištenje slame kao izolacijskog materijala zidu [23] .....	21
Tablica 6: usporedba mehaničkih svojstava kamena s različitim materijalima [31] .....	27

## 1. UVOD

Prije nekoliko tisuća godina, ljudi su počeli koristiti različite prirodne materijale kao što su kamen, zemlja, slama i drvo kako bi izgradili skloništa koja bi ih štitila od nepogoda poput vremenskih uvjeta ili grabežljivaca. Međutim, trajnost nekih od prirodnih materijala stvara problem, stoga su ljudi morali pronaći nove načine kako bi produžili njihov vijek trajanja. Primjerice, korištenje topline poput pečenja gline za proizvodnju opeke postao je jedan od prvih primjera poboljšanja svojstava materijala. U današnje vrijeme sve više se ističe važnost očuvanja i zaštite okoliša. Posljedica je to onečišćenja okoliša koje je rezultiralo ekološkim katastrofama čiji se utjecaj odražava na sve sfere života. Paralelno s porastom globalne osviještenosti o nepovoljnim posljedicama šteta nanesenih okolišu, raste i broj aktivnosti koje je potrebno provoditi s ciljem smanjenja štete nanesene planeti, kao i prevencije daljnjeg nastanka šteta. Neke od tih aktivnosti uključuju sortiranje i recikliranje otpada, smanjenje emisije štetnih plinova, korištenje obnovljivih izvora energije i ostale.

U ovom radu govori se o upotrebi ekoloških materijala u visokogradnji. Brojni materijali koji se uobičajeno koriste u građevinarstvu nepovoljno utječu na očuvanje okoliša. Najveće probleme prilikom njihove upotrebe predstavljaju velika potrošnja energije tijekom proizvodnje, znatne količine otpada nakon proizvodnog procesa te onečišćenje zraka. Upravo iz tog razloga, noviji pristupi u sektoru građevinarstva usmjereni su na reduciranje upotrebe energije uz smanjenje troškova gradnje s pomoću upotrebe prirodnih i lokalno dostupnih materijala. Primarni ciljevi upotrebe održivih materijala podrazumijevaju uštedu energije, očuvanje Zemljinih resursa, smanjenje količina otpada nastalog pri proizvodnji, osiguravanje sigurnosti konstrukcije za korisnike te smanjenje zagađivanja i stvaranja otpada pri procesu gradnje. Uporabom ekoloških materijala smanjuje se emisija ugljika i količina otpada, što doprinosi očuvanju prirodnih resursa planete i njihovom korištenju na ekološki prihvatljiv način. Jedna od značajnih prednosti

ekološki održivih materijala je i mogućnost recikliranja koja, osim što omogućuje smanjenje količine otpada, pruža uštedu Zemljinih resursa i energije.

Pojedini ekološki materijali, kao što su drvo ili kamen, u upotrebi su već tisućljećima. Napretkom građevinske industrije nastoje se pronaći alternative materijalima korištenim u 20. stoljeću zbog općeg uvjerenja kako su fizikalna i mehanička svojstva ekoloških materijala smanjene kvalitete u odnosu na klasične materijale. U ovom radu analizirat će se prednosti i nedostaci upotrebe tradicionalnih materijala u suvremenoj gradnji te njihovi primjeri.

## **2. DRVO**

Drvo kao građevni materijal koristi se već dugi niz godina te je njegova primjena vrlo široka - od nosivih elemenata poput greda ili stupova, sve do završnog uređenja interijera raznim drvenim namještajem ili podnim oblogama. U prošlosti, u Hrvatskoj su se najčešće gradile drvene kuće od hrasta i bukve. Kuća izgrađena od hrasta uz pravilnu izvedbu i održavanje može potrajati i do 500 godina [1], dok su kuće od bukve bile građene zbog toga što je bukva vrlo dostupan materijal, a uz to i spada među najtvrdje vrste drva na svijetu. Korištenje drva u visokogradnji je oduvijek bilo aktualno zbog mnogih pozitivnih karakteristika koje drvo posjeduje. Njegova čvrstoća, fleksibilnost i prirodna ljepota ga čine idealnim materijalom za izgradnju različitih vrsta građevina. Nekoć je drvo bilo najdostupniji materijal za gradnju namijenjen za izradu nosivih konstrukcija, na primjer za kuće ili mostove. Kako je tehnologija gradnje napredovala, i primjena je postajala sve šira, te se danas drvo koristi čak i za gradnju nebodera (Slika 1). Napretkom tehnologije, drvo kao ekološki materijal postaje sve popularniji. Inovacije u gradnji omogućuju izgradnju izuzetno izdržljivih, sigurnih i energetski učinkovitih građevina [2].

„Drvo je kao materijal za nosive konstrukcije izazov za dalju uporabu pri izgradnji zgrada. Pritom treba razvijati i upotrebljavati sve vrste drva i drvnih proizvoda od oblog drva, piljenih profila, sve do spregnutih konstrukcija, a također lamelirano lijepljeno drvo, slojevito furnirano drvo LVL (Laminated Veneer Lumber), sastavljeno drvo, nosive vrste PSL (Parallel Strand Lumber), LSL (Laminated Strand Lumber) itd., ponajprije u kombinaciji s drugim materijalima“ [3: 314].

### **2.1. Prednosti drva za gradnju**

Drvo kao građevinski materijal ima mnoge pozitivne karakteristike koje ga čine odličnim odabirom za ekološku gradnju. Obnovljiv je, lako dostupan i cjenovno pristupačan materijal [4]. Drvo kao građevinski materijal, ima vrlo visoku vlačnu čvrstoću paralelno s vlaknima, dok je vlačna čvrstoća okomito na vlakna nekoliko puta manja [7]. Drugim riječima, ako je cilj opterećenje drva na vlačnu čvrstoću, potrebno je to učiniti u smjeru

paralelno s vlaknima. Primjer primjene visoke vlačne čvrstoće drva paralelno s vlaknima može biti u konstrukciji drvenih greda [5]. Drvene grede se često koriste u izgradnji krovnih konstrukcija, podova i mostova. Kada se opterećuju ili izlažu silama koje djeluju duž njihove duljine, drvene grede s visokom vlačnom čvrstoćom paralelno s vlaknima mogu pružiti stabilnost i nosivost potrebnu za nosivu konstrukciju (Tablica 1).

Tablica 1: Prikaz vlačnih čvrstoća različitih vrsta drva. [6]

Vrsta drva	Volumenska masa kod 15% vlage (t/m <sup>3</sup> )	Čvrstoća na vlak (N/cm <sup>2</sup> )		Naziv drva
		∥ vlaknima	⊥ na vlakna	
Jela, omorika, smreka i meki borovi	0,40-0,50	9000-12000	150-200	Lagane četinjače
Bor, ariš	0,50-0,70	10000-15000	200-300	Poluteške četinjače
Topola, vrba, lipa, breza	0,45-0,65	8000-10000	200-250	Vrlo lagane listače
Hrast, bukva, jasen, brijest	0,65-0,80	10000-15000	250-350	Poluteške listače
Bagrem, šimšir i tvrda egzotična drva	0,80-1,00	12000-18000	350-600	Teške listače

Pri ispitivanju čvrstoće na tlak paralelno s vlaknima dolazi do sloma izvijanjem vlakana, dok kod ispitivanja okomito na vlakna, lom nastaje kao posljedica gnječenja. Vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima je nekoliko puta veća od tlačne čvrstoće paralelno s vlaknima (Tablica 2), dok pri opterećivanju drva okomito na vlakna, tlačna je čvrstoća nekoliko puta veća od vlačne. Najveću čvrstoću imaju drvene vrste koje spadaju u teške listače, to su drva poput graba, šimšira i hrasta, s toga ta drva su najpovoljnija za izradu nosivih elemenata konstrukcija.

Tablica 2: Prikaz tlačnih čvrstoća različitih vrsta drva. [6]

Vrsta drva	Tlak <sub>  </sub> (N/cm <sup>2</sup> )	Tlak <sub>⊥</sub> (N/cm <sup>2</sup> )	Naziv drva
Jela, omorika, smreka	3000-4500	600	Lagane četinjače
Bor	3500-5000	750	Poluteške četinjače
Ariš	4000-5500	1000	Teške četinjače
Topola, vrba, lipa, breza, javor	2500-3500	900	Vrlo lagane listače
Bukva, orah, hrast (meki)	3500-5000	1100	Lagane listače
Hrast, bukva, brijest, jasen, bagrem	5000-7000	1300	Poluteške listače
Grab, šimšir, hrast, oskoruš	6000-8000	1500-2500	Teške listače

Drvo također ima malu gustoću, što ga čini značajno lakšim od drugih materijala poput betona ili opeke, posebice kada je suho. Prosječna vlažnost drva iznosi od 6% do 12% u idealnim uvjetima - grijanim i dobro zračenim prostorima. [6] To rezultira smanjenjem vlastite težine konstrukcije i omogućuje smanjenje njihovih dimenzija, što dalje omogućuje upotrebu manje količine materijala. Drvo se može lako rezati, oblikovati i spajati, te postoje mnoge mogućnosti oblikovanja poprečnog presjeka. Drvo se može prilagoditi različitim oblicima i veličinama kako bi zadovoljio zahtjeve konstrukcije, te time olakšao izgradnju složenih konstrukcija. Odabirom optimalnog presjeka i smanjenjem količine otpadnog materijala moguće je postići veću iskoristivost drva i smanjiti troškove proizvodnje. Još jedna značajna prednost drva je njegova mala osjetljivost na visoke temperature. Za razliku od čelika, drvo je vrlo otporno na visoke temperature. Dok čelik omekšava pod utjecajem visokih temperatura, drvo se ne deformira te rijetko dolazi do pucanja. Osim navedenog, drvo ima nisku toplinsku provodljivost [6], što ga čini i vrlo dobrim toplinskim i zvučnim izolatorom čime se indirektno utječe na smanjenje potrošnje električne energije za grijanje i hlađenje unutarnjih prostora (Tablica 3). Estetska svojstva drva su također velika prednost.



Mogućnost obrade drva omogućuje raznoliko oblikovanje koje može poboljšati estetiku svakog prostora. Raznolikost vrsta drva omogućuje različite izbore boja, uzoraka i tekstura što nam omogućuje širok spektar odabira dizajna [5].

Tablica 3: Usporedba toplinske provodljivosti drva s drugim građevinskim materijalima [6]

Materijal	Toplinska provodljivost (W/mK)
Aluminij	216
Čelik	45
Beton	2,0
Staklo	1,0
Gips	0,7
<b>Drvo</b>	<b>0,15</b>
Mineralna vuna	0,04

## 2.2. Nedostatci drva za gradnju

Unatoč mnogobrojnim prednostima, drvo kao i svaki materijal ima određene nedostatke koje treba uzeti u obzir prilikom njegove upotrebe u gradnji. Hidrofilnost je svojstvo privlačenja vlage ovisno o okolišu. To može predstavljati problem jer vlaga može uzrokovati deformacije i truljenje drvenih konstrukcija. Sadržaj vlage u drvu također negativno utječe na čvrstoću drva - što je veći sadržaj vode, to je manja čvrstoća drva[6]. Drvo može bubriti i skupljati se pod utjecajem promjena količine vlage [5], što može dovesti do deformacija elemenata uslijed nepravilnog sušenja (Slika 1). Drvo se pri sušenju može smanjiti, deformirati ili raspucati, što sve utječe na njegova mehanička svojstva, ali i na estetiku. Iz tog razloga vrlo je važno pridržavati se postupaka pravilnog sušenja drva (Slika 2).

Slika 1: Deformacije nastale kao posljedica nepravilnog sušenja drva [7]



Drvo također zahtijeva zaštitu od atmosferilija i biotičkih uzročnika propadanja. UV zračenje može izbljediti boju drva, dok kiša i vlaga mogu potaknuti rast plijesni, gljivica i truljenje drva [8]. Nadalje, insekti i drugi nametnici mogu napadati drvo i uzrokovati značajnu štetu. Kako bi to spriječili, potrebno je koristiti sredstva za zaštitu od nametnika i atmosferilija, koja je potrebno redovito obnavljati [8]. Još jedan značajan nedostatak drva je njegova laka zapaljivost. Premda je drvo otporno na deformacije pri visokim temperaturama, ono je prema kemijskom sastavu lako zapaljiv materijal [9]. Upravo zbog toga potrebno je primjenjivati zaštitne premaze kako ne bi se spriječila mogućnost zapaljenja. S druge strane, masivno drvo ima bolja svojstva nego čelik pri utjecaju topline, a koeficijent toplinske provodljivosti mu je manji, što rezultira manjim deformacijama materijala, te manjim smanjenjem čvrstoće materijala. Ipak, najveći nedostatak drva kao materijala za gradnju je njegova visoka cijena. Cijena može ovisiti o mnogo faktora, od čega se izdvaja dostupnost drva visoke kvalitete koja je vrlo često ograničena. Osim navedenog, drvo, zbog svojih nepovoljnih svojstava, mora proći kroz mnogo obrada i zaštita, a svi ti procesi rezultiraju povećanom cijenom [5]. Transport drva također nepovoljno utječe na cijenu drva, s obzirom na to da vrlo često se uvozi iz udaljenih područja. Cijena drva može biti značajno viša u usporedbi s materijalom kao što je beton,

stoga se mnogo ljudi odlučuje koristiti beton umjesto drva unatoč njegovoj ekološkoj neodrživosti.

### **2.3. Primjeri korištenja drva u visokogradnji**

Primjena drva u visokogradnji vrlo je široka. Drvo može podnijeti vrlo visoka opterećenja, zbog čega se najčešće koristi za izradu nosivih elemenata poput greda ili stupova. U tradicionalnoj, ali i u suvremenoj gradnji, vrlo česta je primjena drva za izradu nosivih elemenata raznih vrsta krovišta. Osim nosivih elemenata, uobičajeno je korištenje drva za završne radove. Postavljanje drvenih parketa na podove estetski je privlačno, kao i izrada namještaja od punog drva. Drvo je materijal koji svojoj primjenom dodaje toplinu i sofisticiranost svakom prostoru, te je izvrstan primjer kako se tradicionalni materijal može koristiti na suvremen način.

### 2.3.1. Stambena zgrada „Treet“

Slika 2: Stambena zgrada „Treet“ u Bergen, Norveška [10]



Slika prikazuje stambenu zgradu „Treet“ u Bergenu dovršenu 2015. godine. Projektirao ju je arhitektonski ured Artec Arkitekter. Sa svojih 49 metara visine podijeljenih na 14 etaža, trenutno je jedna od najviših zgrada na svijetu izgrađena od drva [10]. Izgrađena je na armirano betonskoj temeljnoj ploči kako bi se osigurala dovoljno velika nosivost za ovu konstrukciju. Glavni nosivi okvir zgrade napravljen je od lameliranog drva, dok su pregradni elementi i stubišta napravljeni od križno lameliranog drva (CLT). Prednja fasada zgrade je staklena, a bočne fasade su također napravljene od drva. Prikazuje odličan spoj jednog tradicionalnog materijala kao što je drvo, te obilježja moderne arhitekture s ekološkom i održivom gradnjom.

### 2.3.2. Stambena zgrada „Forte“

Slika 3: Stambena zgrada „Forte“ u Brisban, Australija [11]



Slika prikazuje deseterokatnu stambenu zgradu u Brisbanu, Australija, izgrađenu od križno lameliranog drva „CLT“. Projektirao ju je arhitekt Andrew Nieland, a izgrađena 2012 godine. Ova vrsta drvene građe izrađena je od tankih drvenih panela, debljine oko 20 milimetara, spojenih kako bi tvorili slojeve. Svaki panel se postavlja okomito na prethodni kako bi se poboljšala njihova svojstva. Podne ploče prvih dviju etaža građevine

napravljene su od geopolimer betona, zbog velikih raspona potrebnih i zbog toga kako bi izolirali drvo s donje strane radi vlage u tlu. Ostali elementi građevine, poput stubišta, nosivih i pregradnih zidova, podnih ploča su u potpunosti napravljeni od križno lameliranog drva [11]. Procjenjuje se kako se korištenjem drva na ovome projektu, u usporedbi s betonskom ili čeličnom zgradom, smanjila emisija CO<sub>2</sub> kao da smo uklonili 345 auta s cesta na godinu dana [11].

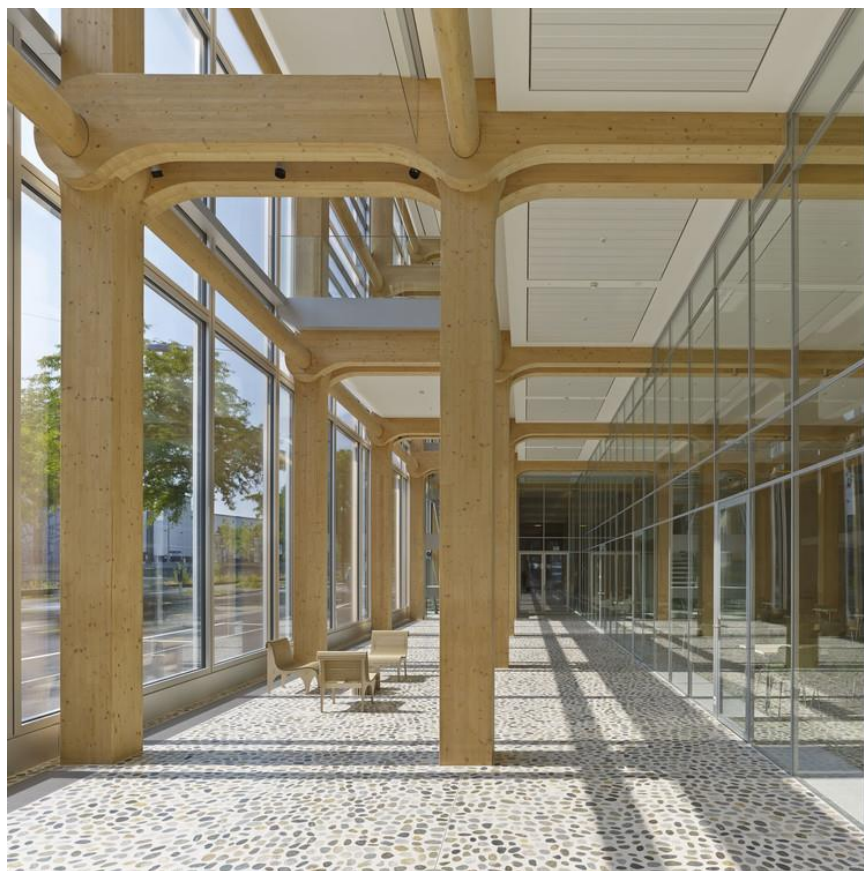
### 2.3.3. Poslovna zgrada „Tamedia“

Slika 4: Poslovna zgrada „Tamedia“ u Zurich, Švicarska [12]



Poslovna zgrada medijske kompanije Tamedia, izgrađena je 2013. godine u Zurichu, a projektirali su je arhitekti ureda „Shigeru Ban Architects“. Cijeli nosivi sustav zgrade napravljen je od prefabriciranih drvenih greda i stupova, a fasada je napravljena od stakla [12]. Površina od 8500 metara kvadratnih se prostire na sedam nadzemnih i dvije podzemne etaže koje se koriste kao uredski prostori kompanije Tamedia. S tehničke i ekološke točke gledišta, ova drvena konstrukcija jedinstven je odgovor na ovu vrstu poslovne zgrade, a činjenica da su konstrukcijski elementi potpuno vidljivi također daje vrlo poseban karakter i visokokvalitetnu prostornost radnoj atmosferi (Slika 5).

Slika 5: Interijer zgrade „Tamedia“ [12]



### **3. BAMBUS**

Bambus se prvenstveno koristi za izgradnju nosivih elemenata u konstrukcijama. Bambusne gredice, stupovi i okviri često se koriste u izgradnju kuća, mostova, paviljona i drugih građevina. Njegova iznimna čvrstoća i fleksibilnost omogućuju stvaranje izdržljivih konstrukcija koje mogu podnijeti različite vrste opterećenja. Osim toga, bambus se sve više koristi i za završno uređenje interijera. Parketi, podne obloge, obloge zidova i drveni namještaj od bambusa pružaju prirodnu ljepotu prostoru, stvarajući ugodnu i toplu atmosferu. Zahvaljujući činjenici da bambus vrlo brzo raste, pri čemu oslobađa gotovo 35 posto više kisika i apsorbira gotovo 35 posto više ugljičnog dioksida od većine stabala, bambus se smatra vrlo povoljnim i lako dostupnim materijalom za gradnju [13]. Bambus je otporan na nametnike te ne iziskuje upotrebu pesticida i kemikalija za zaštitu čime je olakšano njegovo održavanje. Uzimajući u obzir sve ove čimbenike, bambus je odličan izbor za ekološku gradnju izdržljivih, sigurnih i estetski privlačnih građevina. Napretkom tehnologije i inovacije stvaraju se nove mogućnosti primjene bambusa u različitim vrstama projekata visokogradnje, ali i niskogradnje.

#### **3.1. Prednosti bambusa za gradnju**

Bambus i drvo razlikuju se po svojim svojstvima. U bambusu nema pojave „čvorova“ i grešaka rasta što daje bambusu veću mogućnost jednolikog rasprostiranja i naprezanja po njegovoj dužini [13]. Bambus je šuplja cijev, stoga je teže spojiti komade bambusa nego komade drva. Jedna od najistaknutijih prednosti bambusa za gradnju je njegova izvanredna čvrstoća. Bambus posjeduje izvanrednu tlačnu čvrstoću, što ga čini iznimno čvrstim materijalom pogodnim za izgradnju nosivih elemenata raznih konstrukcija [14]. Vlačna čvrstoća u smjeru vlakana je također iznimno visoka, čak do 250 posto veća od vlačne čvrstoće drugih drvnih vrsta (Tablica 4).



Tablica 4: usporedba tlačne čvrstoće, vlačne čvrstoće i modula elastičnosti drva, čelika i bambusa [14]

Materijal	Tlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Vlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	Modul elastičnosti (N/mm <sup>2</sup> )
Drvo smreke	43	89	11000
Čelik	250	410	21000
Bambus	78	233	20000

Bambus također ima vrlo visoki modul elastičnosti, gotovo jednak čeliku. No, za razliku od čelika, bambus ima vrlo nisku gustoću što ga čini vrlo laganim materijalom čime se smanjuje i opterećenje konstrukcije vlastitom težinom što omogućuje upotrebu materijala manjih dimenzija nego što bi bilo potrebno u slučaju gradnje nosive konstrukcije od čelika [14]. Bambus je vrlo fleksibilan, te upravo fleksibilnost bambusa omogućuje stvaranje složenih konstrukcija, prilagođavajući oblik i veličinu materijala specifičnim zahtjevima projekta. Kroz odabir optimalnog presjeka i smanjenje otpadnog materijala postiže se veća iskoristivost bambusa i smanjenje troškova proizvodnje. Niska osjetljivost bambusa na visoke temperature još je jedna od njegovih brojnih prednosti [13]. Otporan je na visoke temperature: za razliku od čelika, ne deformira se pri ekstremnim temperaturama, a zahvaljujući visokom postotku silicija u svojem sastavu, gotovo ga je nemoguće zapaliti, čak i u doticaju s direktnim plamenom [13]. Bambus, kao i druge drvene vrste, ima nizak koeficijent toplinske provodljivosti, što ga čini izvrsnim toplinskim izolatorom. Ova karakteristika pridonosi smanjenju potrošnje energije za grijanje i hlađenje unutarnjih prostora. Estetska svojstva bambusa također su iznimna prednost. Mogućnost oblikovanja bambusa omogućuje raznolikost u dizajnu, a pruža i raznolikost boja, uzoraka i tekstura, pružajući širok spektar mogućnosti za stvaranje atraktivnih i individualiziranih dizajna.

### 3.2. Nedostatci bambusa za gradnju

Unatoč mnogobrojnim prednostima, bambus ima i određene nedostatke prilikom upotrebe u visokogradnji. Hidrofilnost bambusa je jedno od svojstava koje može predstavljati izazov. Bambus ima tendenciju apsorbirati vlagu iz okoline, što može uzrokovati deformacije i truljenje konstrukcija od bambusa. Povećanje ili smanjenje vlage može dovesti do promjena u dimenzijama bambusa, što može rezultirati deformacijama elemenata uslijed nepravilnog sušenja [13]. Apsorbiranjem vlage smanjuje se i čvrstoća bambusa, stoga je važno pažljivo pratiti postupke sušenja bambusa kako bi se smanjili potencijalni problemi. Osim toga, bambus zahtijeva adekvatnu zaštitu od atmosferilija i biotičkih uzročnika propadanja [15]. Izloženost UV zračenju može dovesti do izbjeljivanja boje bambusa, dok kiša i vlaga mogu potaknuti rast plijesni, gljivica i truljenje (Slika 6). Održavanje redovite zaštite i tretmana bambusa protiv nametnika i atmosferskih uvjeta ključno je kako bi se očuvala njegova trajnost.

Slika 6: Oštećenje bambusa od gljivica i izloženosti atmosferilijama nakon otprilike 10 godina [16]



Unatoč ekološkoj održivosti, cijena bambusa može biti visoka. Dostupnost visokokvalitetnog bambusa često je ograničena, što može rezultirati višim troškovima. Uz to, transport bambusa iz udaljenih područja može dodatno utjecati na njegovu cijenu, ali i na količinu ispušnih plinova proizvedenih tokom transporta koji negativno utječu na okoliš.

### **3.3. Primjeri korištenja bambusa u visokogradnji**

Bambus je materijal koji je najprisutniji u regijama tropske i suptropske klime. Sukladno navedenom, najviše je građevina od bambusa koncentrirano u područjima s tom vrstom klime. Ove regije pružaju optimalne uvjete za rast i razvoj bambusa što dovodi do širokog i čestog korištenja bambusa u građevinske svrhe. U azijskim zemljama može se pronaći izniman broj građevina napravljenih od bambusa [14]. Koristi se za izgradnju različitih konstrukcija, uključujući stambene kuće, mostove, paviljone, škole i raznih drugih objekata. Nalazi se i u Južnoj Americi, gdje se često kombinira s drugim prirodnim materijalima poput gline ili trske kako bi se stvorile izdržljive i ekološki prihvatljive konstrukcije. U Africi, bambus je također lako dostupan i često korišten za izgradnju stambenih kuća.

### 3.3.1. Sportska dvorana škole „Panyaden“

Slika 7: Sportska dvorana škole „Panyaden“ u Chiang Mai, Tajland [17]



Slika prikazuje interijer sportske dvorane škole „Panyaden“ u Chiang Mai, Tajland. Dvorana je izgrađena 2017. godine, a projektirali su je arhitekti arhitektonskog ureda Chiangmai Life Construction. Zbog svoje prozračnosti, dizajn građevine više nalikuje paviljonu nego klasičnoj zgradi, a baziran je na cvijetu lotusa. Nosivi elementi konstrukcije su prefabricirane grede od bambusa s rasponom od preko 17 metara te su napravljeni bez uporabe čeličnih ojačanja ili veza [17]. Bambus korišten za izgradnju je tretiran natrijevim boratom, prirodnim mineralom korištenim za sprječavanje nametnika. Karbonski otisak ove građevine je nula, a očekivani vijek trajanja konstrukcije je minimalno 50 godina.

### 3.3.2. „Green school“ škola

Slika 8: „Green school“ škola u Bali, Indonezija [18]



Na slici je prikazana škola u Baliu. Prikazana slika koja prva je od četiri škole u svijetu izgrađene od strane „Green school“ organizacije. Projektirao ju je arhitektonski ured IBUKU, a izgrađena je 2007. godine. Na površinu od preko 7000 metara kvadratnih, smještene su učionice, teretana, sanitarije, kafići, uredi i svi prostori kako bi njezini učenici i profesori imali sve što im je potrebno za kvalitetan rad. Za gradnju škole korišten je lokalno uzgojen bambus kojim su stvorene inovativni oblici konstrukcije koje pokazuju na njegove arhitektonske mogućnosti. Kampus također uključuje i organski vrt, te koristi brojne sustave obnovljive energije, uključujući sustav tople vode i kuhanja od bambusove piljevine i solarne ploče [18].

### 3.3.3. *Paviljon od bambusa*

Slika 9: Paviljon od bambusa u Taichung, Tajvan [19]



Na slici je prikazan paviljon od bambusa u Taichungu, Tajvan. Projektiran je od arhitektonskog ureda Zuo Studio. Bambus se tradicionalno koristio za gradnju kuća u Tajvanu, ali je zamijenjen uvođenjem modernih građevinskih materijala. Zuo Studio projektirao je paviljon izgrađen 2018. godine, kako bi demonstrirao potencijal bambusa za gradnju [19]. Konstrukcija paviljona izgrađena je u potpunosti od bambusa te je visoka 10 metara, a široka 30 metara. Smještena je u parku, na betonskoj ploči okruženoj vodom bila je dio izložbe „2018. World Flora Exposition“.

## **4. SLAMA**

Slama je materijal koji ima vrlo specifična i jedinstvena obilježja. Karakteriziraju je prirodna svijetlo-žuta boja, čvrsta struktura i izuzetna izolacijska svojstva. Slama kao građevni materijal nudi zanimljiva rješenja u gradnji. Njezina uporaba seže daleko u prošlost: korištena je u drevnim civilizacijama za izradu skloništa, pružajući sigurnost i toplinu svojim stanovnicima. U suvremenom kontekstu, ovaj tradicionalni materijal za gradnju prošao je niz evolucija kako bi se prilagodio potrebama modernog društva. Osim toga, lako se oblikuje i prilagođava različitim uvjetima gradnje, što je čini iznimno prilagodljivim materijalom. Zahvaljujući lakoj obnovi svake godine nakon žetve žitarica, kao i činjenici da je obnovljivi resurs i nusprodukt prirode, slama ima obilježje održivog izvora materijala

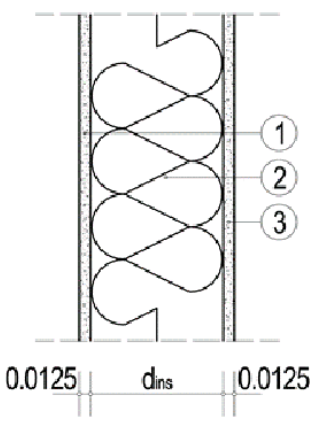
### **4.1. Prednosti slame za gradnju**

Slama, u svojoj primjeni kao građevinski materijal, posjeduje niz značajnih prednosti koje ju profiliraju kao prihvatljivu alternativu za različite građevinske projekte. Proizvedena količina slame veća je od njezine potražnje, stoga veliki dio slame završi kao otpad [20]. Iz navedenog razloga cijena slame vrlo je niska, što ju čini povoljnijom od mnogih drugih (ekoloških ili industrijski proizvedenih) materijala sličnih svojstava. Globalna dostupnost slame čini ju atraktivnim izborom koji minimalizira potrebu za dugotrajnim transportom materijala, što rezultira smanjenim emisijama štetnih plinova [21]. Kao materijal s niskim koeficijentom toplinske provodljivosti (tablica 5), slama je izvrstan toplinski izolator, što uvelike pridonosi optimalnoj regulaciji temperature unutar objekata. Rezultat toga su smanjeni energetske troškovi uz zadržanu ugodnu temperaturu unutar objekta. Osim što je toplinski izolator, slama zbog svoje elastičnosti dobro upija i zvučne vibracije [21].

Zbog svoje niske gustoće, koja je manja u usporedbi s većinom građevinskih materijala, slama omogućava smanjenje opterećenja na nosive elemente konstrukcije. Ovo dovodi do potrebe za manjom nosivošću konstrukcijskih elemenata, a samim time do manjih dimenzija elemenata i smanjene potrošnje materijala. Ono što slami dodatno pridaje na

vrijednosti jest njeno biorazgradivo svojstvo [22]. Po isteku svog životnog vijeka, zgrade izgrađene od bala slame mogu se sigurno razgraditi i vratiti okolišu, čime se smanjuje otpad i potencijalno onečišćenje. Ova svojstva slame ističu njen doprinos u smanjenju poljoprivrednog otpada, kao i u smanjenju emisije stakleničkih plinova. Kao i ostale biljke, slama održava ravnotežu ugljikovog dioksida i kisika u atmosferi tako što koristi ugljikov dioksid za rast, te otpušta kisik nazad u atmosferu [22]. Osim toga, upotrebom slame, koristi se nusproizvod poljoprivredne proizvodnje koji bi inače bio neiskorišten ili bi se uklonio spaljivanjem, procesom koji bi generirao dodatne emisije ugljičnog dioksida.

Tablica 5: Korištenje slame kao izolacijskog materijala zidu [23]

Zid	Slojevi	Vrsta materijala	Debljina sloja [m]	Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	Toplinska provodljivost [W/mK]
	1	Gipskartonska ploča	0.0125	900	0.21
	2	Slama	?	100	0.065
	3	Gipskartonska ploča	0.0125	900	0.21

U estetskom smislu, konstrukcije od bala slame pružaju jedinstveni vizualni dojam, nudeći toplinu i prirodnost, a istovremeno izdržljivost i dugotrajnost. Sama konstrukcija od bala slame, zahvaljujući svojoj strukturi, dopušta kreativnost u dizajniranju, omogućujući različite oblike i strukture pri dizajniranju objekta [21].



#### **4.2. Nedostatci slame za gradnju**

Unatoč brojnim prednostima, slama kao građevinski materijal posjeduje i određene nedostatke koji mogu ograničiti njezinu primjenu u građevinskoj industriji. Prvi i osnovni od tih nedostataka odnosi se na potencijalnu opasnost od požara. Iako su bale slame, kada su pravilno konstruirane i obrađene, relativno otporne na požar, postoji određeni rizik ako se ne slijede odgovarajuće mjere opreza. Prema tome, potrebno je pravilno zaštititi konstrukcijske elemente napravljene od slame kako bi zadovoljili stroge standarde i regulative vezane uz požarnu sigurnost [23]. Drugi značajan nedostatak je osjetljivost slame na vlagu. Slama mora biti zaštićena od vlage kako bi se sačuvala njezina strukturalna čvrstoća i izolacijska svojstva. Kada je izložena vodi ili visokoj vlažnosti, slama može apsorbirati vlagu, što može dovesti do truljenja i gubitka mehaničkih svojstava [23]. Nadalje, važno je osigurati dobru ventilaciju kako bi se spriječila kondenzacija unutar zidova. Zbog njezinog svojstva apsorpcije vlage, slama nije pogodna za gradnju elemenata koji su u direktnom doticaju s tlom, stoga ju je prilikom uporabe potrebno kombinirati s drugim građevinskim materijalima [23]. Usprkos činjenici da su bale slame lako dostupne u poljoprivrednim područjima, njihova dostupnost može biti ograničena u urbanim područjima, što može povećati troškove transporta. U konačnici, korištenje slame još je uvijek ograničeno. Vrlo rijetko se koristi kao nosivi element, zbog svoje male nosivosti, ali i zbog problema koji se stvara pri korištenju cementa za zidanje: hidratiziranjem cementa slama se dovodi u direktni kontakt s vlagom. Trenutno građenje kuće u potpunosti od slame nije često, no koristi se kao toplinsku izolaciju uz korištenje drugih materijala za nosive elemente [20].

#### **4.3. Primjeri korištenja slame za gradnju**

U visokogradnji slama se koristi na razne načine. Jedan od oblika primjene je izrada zidnih panela od slame, gdje se slama spaja pod pritiskom i pod utjecajem visoke temperature, pri čemu dolazi do ispuštanja prirodnog ljepila koje veže slame u čvrstu ploču koja se nakon toga oblaže čvrstim recikliranim kartonom [22]. Takvi paneli se mogu koristiti za

izgradnju zidova kuća. Ovi zidni paneli nude visoku razinu izolacije, što je posebno važno u klimatski hladnijim područjima. Pored toga, slama se koristi i u izradi izolacije za krovne konstrukcije, gdje se može oblikovati u različite oblike i veličine. Mogu se koristiti i za izradu nosivih elemenata, ali najviše se ističu u primjeni toplinske i zvučne izolacije.

#### **4.3.1. Sveučilište u Nottinghamu**

Slika 10: Sveučilište u Nottingham, Velika Britanija [24]



Zgrada sveučilišta prikazana na slici izgrađena je 2011. godine u Nottinghamu. Projektirali su je arhitekti ureda Make Architects. U ovome projektu komprimirana slama je korištena u svrhu ispune panela dugih 14 metara napravljenih od križno lameliranog drva, pridajući im toplinsku i zvučnu izolaciju (slika 11). S vanjske strane slama je zaštićena vodonepropusnom žbukom kako bi se zadržala njezina svojstva. Iskoristivost

svake etaže ove zgrade je čak 80 posto, s toga su u površinu od 3100 kvadratnih metara smješteni laboratoriji, računalne učionice, uredi i predavaonice [24].

Slika 11: Korištenje slame kao izolacija u panelima od križno lameliranog drva [24]



#### 4.3.2. Kazalište „Straw Theatre“

Slika 12: „Straw theatre“ u Tallinn, Estonija [25]



Na slici je prikazano privremeno kazalište izgrađeno kao dio programa Tallinn, prijestolnica kulture 2011. Projektirali su ga arhitekti ureda Salto AB. Konstrukcija zgrade je jednostavna, napravljena je od glulam panela ispunjenih balama sijena. Vanjska obrada, zbog protupožarne sigurnosti, zahtijevala je posebni protupožarni premaz, a osim toga cijela konstrukcija ostaje vidljiva te je ofarbana u crno [25]. Kako je zgrada izgrađena samo za privremenu namjenu, nije bila izolirana kao što bi obično zahtijevale konstrukcije od slame, već je bila otvorena kako bi se naglasila i promovirala primjena ekološki održivih materijala u suvremenoj gradnji [25].

## **5. KAMEN**

U potrazi za materijalom koji je prirodan, dugotrajan i obnovljiv izvor, kamen se izdvaja kao jedan od optimalnih izbora. Prema Zakonu o rudarstvu, mineralne sirovine se dijele u pet skupina, a jedna od njih je arhitektonsko-građevni kamen. Ona se dalje dijeli na sedam podskupina: graniti, mramori, mekane stijene, travertini, oniksi, škriljavci i pješčenjaci [28]. Njegova robusnost i trajnost, izuzetna estetika i veza s prirodom osiguravaju mu mjesto među najboljim ekološkim materijalima za gradnju. Kroz povijest je uočljivo kako su ljudi davno počeli koristiti kamen za gradnju svojih skloništa i monumentalnih građevina poput Stonehenge-a i egipatskih piramida, koji svjedoče o izdržljivosti kamena za gradnju. S vremenom se kamen, osim za velike, monumentalne građevine, primjenjuje i u svakodnevnim stambenim građevinama. Primjena kamena nije ograničena samo na konstrukcijske, nosive elemente već je prisutan i u zgradama, od pročelja do unutrašnjih zidova, podnih obloga do stepeništa, a također se koristi i za ukrasne detalje postižući visoku estetsku vrijednost. Unatoč činjenici da ne dominira tržištem građevinskih materijala kao nekada, njegova trajnost, robusnost i estetika i dalje ga čine jednim od dobrih prirodnih i ekoloških materijala za gradnju [26].

### **5.1. Prednosti kamena za gradnju**

Različite vrste arhitektonsko-građevnog kamena, kao što su granit ili mramor, posjeduju različita svojstva. Iz tog razloga, bitno je pažljivo odabrati koju vrstu kamena koristiti za koju namjenu. Jedna od prednosti kamena je njegova raznolikost boja. Na boju kamena utječu minerali koji prevladavaju u tom kamenu, njihov raspored, veličina zrna i količina [27]. Bez obzira na to koristi li se za pročelja, unutrašnje zidove, stepeništa ili podove, svaka građevina koja koristi kamen odaje dojam sofisticiranosti i stila. Ove vrste kamena su vrlo otporne na atmosferilije, njihova estetska vrijednost kroz vrijeme se ne mijenja, ne habaju se i ne blijede na suncu. Tlačna čvrstoća arhitektonsko-građevnog kamena iznosi od 80 do 250 Mpa [26], a ovisi o mineralima koji se nalaze u stijenskoj masi, strukturi

kamena, poroznosti i vlažnosti te o trošnosti i raspucanosti kamena [29]. Neke vrste kamena, poput kvarca i granita imaju i vrlo veliku tvrdoću (prema Mohsovoj ljestvici preko 6). Ta dva svojstva čine određene vrste kamena vrlo otpornim na habanje ili pritisak. Te vrste kamena također možemo klasificirati i kao dobro okamenjene stijene. Još jedna od prednosti dobro okamenjenih stijena je vrlo mala poroznost, to svojstvo čini ove kamene vrste gotovo vodonepropusnima [29]. Ima vrlo visoku tlačnu čvrstoću [30], stoga se može opteretiti s vrlo visokim tlačnim pritiskom bez brige da će se oštetiti ili slomiti. Njegova izdržljivost vidljiva je na građevinama kroz povijest koje su preživjele stoljeća, pa čak i tisućljeća. Mnoge vrste kamena, nakon životnog vijeka građevine, moguće je reciklirati i ponovno upotrijebiti. Jedna od primjena recikliranog kamena je kao agregat za beton ili asfalt [26]. Kamen je materijal koji nije zapaljiv, ali pri doticaju s požarom, ovisno o vrsti kamena, može pretrpjeti veća ili manja oštećenja [27]. Nadalje, zbog niskog koeficijenta toplinske provodljivosti (Tablica 6), pri visokim vanjskim temperaturama, kamen odlično održava temperaturu unutarnjeg prostora ugodnom.

Tablica 6: usporedba mehaničkih svojstava kamena s različitim materijalima [31]

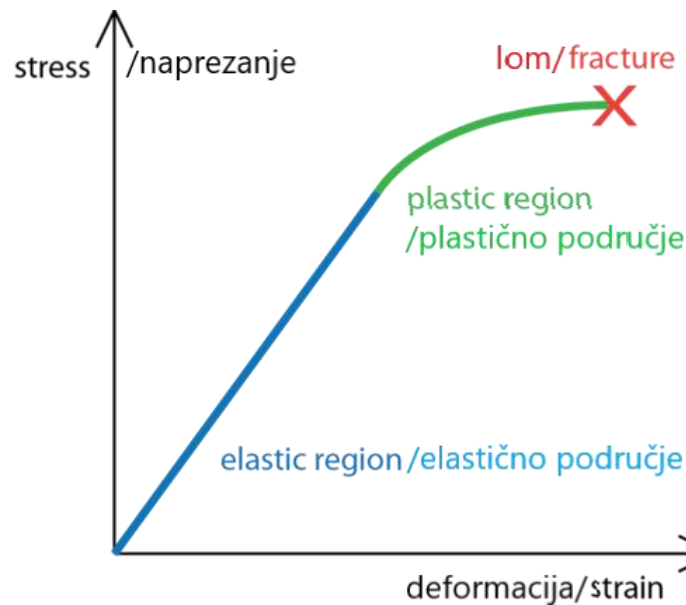
materijal	prostorna masa (kg/m <sup>3</sup> )	tlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	vlačna čvrstoća (N/mm <sup>2</sup> )	toplinska provodljivost (W/mK)
kamen	2.200-3.100	20-400	5-17	1,7-3,5
opeka	1.800-2.200	10-100	7-14	0,3-1,2
drvo	450-1.200	30-80	40-165	0,1-0,4
metali	2.600-11.400	30-1.000	90-900	35-390
beton	2.200-2.600	10-60	2-6	1,2-1,7
staklo	2.200-2.800	4-70	20-155	0,93
asfalt	1.800-2.200	3,5-4,5	-	0,7-0,8
plastične mase	15-2.200	-	4-320	0,02-0,2
voda	1.000	-	-	0,6

Zbog iznimne otpornosti nekih kamenih vrsta, kamen je vrlo trajan materijal, stoga se smanjuje potreba za zamjenom, što smanjuje potrošnju resursa i njegovu eksploataciju, što čini kamen izvrsnim ekološkim odabirom.

## **5.2. Nedostatci kamena za gradnju**

Usprkos činjenici da je kamen iznimno cijenjen zbog svoje izdrživosti i estetske vrijednosti, potrebno je razmotriti i njegove nedostatke koji mogu stvarati prepreke u građevinskom procesu. Jedan od nedostataka kamena za gradnju je njegova velika težina [29]. Ova karakteristika dovodi do visokog opterećenja konstrukcije vlastitom težinom, što za sobom povlači potrebu za konstrukcijom većih dimenzija i povećanim utroškom materijala. Osim toga, velika težina kamena može dovesti do znatnih troškova pri transportu, uz istovremeno ispuštanje velikih količina štetnih plinova u atmosferu. Štoviše, zbog skupog transporta i eksploatacije, cijena kamena je vrlo visoka, stoga nije isplativo raditi velike konstrukcije od kamena, već se većinom koristi za pomoćne ili dekorativne elemente. Uz to, važno je spomenuti i neka mehanička svojstva kamena koja mogu biti ograničavajuća. Premda je ranije spomenuto kako kamen ima vrlo visoku tlačnu čvrstoću, kamen je kruti materijal [31]. Drugim riječima, to znači da je količina plastične deformacije koja se javlja pri lomu materijala vrlo mala, stoga se javlja kruti lom u kojem se pukotina pojavljuje vrlo naglo i brzo (Slika 13). Čvrstoća na savijanje, koju je potrebno ispitati pri primjeni kamena za oblaganje stuba ili podnih ploča, je znatno manja od tlačne čvrstoće, te iznosi od 7% do 20% vrijednosti tlačne čvrstoće [28]. Vlačna čvrstoća se vrlo rijetko ispituje i redovito je najmanja od svih čvrstoća kamena [29]. Posljednji nedostatak kamena za gradnju je poroznost određenih vrsta kamena, poput vapnenca. Vapnenac, zbog pora u svojoj teksturi, može upijati vodu, što zbog promjene volumena vode pri smrzavanju i otapanju, može dovesti do razaranja strukture kamena iznutra [28].

Slika 13: Dijagram naprezanje - deformacija za prirodni kamen [32]



Vezano uz poroznost i upijanje vode, pri niskim temperaturama može doći do smrzavanja vode u porama kamena, što dovodi do promjene volumena vode i prekomjernog naprezanja unutar kamena koje dovodi do razaranja unutarnjih stijenci kamena [28].

### 5.3. Primjeri korištenja kamena u visokogradnji

Kamen je pretežito korišten za izgradnju nosivih elemenata poput zidova koji nisu zahtijevali nikakvu završnu oblogu, niti iz funkcionalnog (poput zaštite od atmosferilija ili nametnika) niti iz estetskog aspekta. Danas se kamen manje koristi za nosive elemente, a više za dekorativne. Često se koristi za oblaganje podova ili stepenica, gradnju zidova u okolišu ili jednostavno za dekoriranje fasada ili popločenje puteva. Osim toga, koristi se i u interijeru: mramorom se može obložiti kuhinju ili se može obložiti kamin kamenom. Njegova estetika i dalje je vrlo cijenjena, stoga i danas pronalazi vrlo široki spektar primjene, bilo u velikim javnim objektima ili u jednostavnim obiteljskim kućama.



### 5.3.1. Zgrada „Getty“ centra

Slika 14: Zgrada „Getty center“ u Los Angeles, California [33]



Zgrada muzeja umjetnosti „Getty center“ izgrađena je 1997. godine u Los Angelesu. Projektirao ju je arhitekt Richard Meier. Zgrada je izrađena od betona i čelika, dok je vanjska obloga izrađena od vapnenca. Korištenjem čelika za konstrukciju postignuta je veća fleksibilnost oblikovanja konstrukcije i manja težina, dok vapnenac daje posebnu estetiku zgradi. Unatoč tome što bazeni i fontane obiluju cijelim kompleksom, zgrada je dobila jedan od najviših certifikata energetske učinkovitosti [33]. Osim toga, kompleks reciklira polovicu svog ukupnog otpada kako bi ostao što je moguće više energetski učinkovit. Ovaj projekt prikazuje način na koji se kamen uspješno spaja s industrijski proizvedenim materijalima, a istovremeno pozitivno djeluje na okoliš smanjujući uporabu materijala koje nije moguće reciklirati.

### 5.3.2. Kuća „La Dinda“

Slika 15: „Casa La Dinda“ u Itu, Brazil [34]



Kuća „La Dinda“ projektirana je od strane arhitekata ureda Alexandre Chaguri Arquitetura, a izgrađena je 2023. godine u Itu, Brazil. Ova kuća od 1200 kvadratnih metara projektirana je kako bi se iskoristile prednosti krajolika i terena. Prizemnica je te je izgrađena malo ispod razine zemlje osiguravajući privatnost. Kombinacija prirodnih materijala, kamena i drva korištena je u eksterijeru, ali i u interijeru. Posebno se ističe kamena obloga vanjskih zidova, te unutarnji zidovi koji su obloženi kamenim pločama kako bi postigli spoj tradicionalnog materijala s modernim dizajnom. Kuhinjske radne plohe obložene su mramorom koji je izuzetno otporan na oštećenja, što ga čini idealnim izborom za radne površine. Primjenom tradicionalnih materijala poput kamena i drva u ovoj kući postignut je estetski ugođaj koji prostoru pruža dojam topline i ugodnosti.

## 6. NABIJENA ZEMLJA

Metoda građenja nabijenom zemljom počela se koristiti pred nekoliko tisućljeća godina, te se pretpostavlja da potječe još iz doba neolitika. Ova tehnika se koristila u cijelom svijetu, a istaknuti primjeri gradnje nabijenom zemljom vidljivi su u Kini, gdje je bila primijenjena za izgradnju brojnih hramova, a korištena je također i za izgradnju kineskog zida. Međutim, industrijalizacijom i pronalaskom novih materijala, tijekom dvadesetog stoljeća, tehnika gradnje nabijenom zemljom bila je vrlo rijetko korištena. U današnje vrijeme, s porastom potrebe za održivom gradnjom, njezina popularnost ponovno raste. Najčešće se koristi za gradnju zidova, koji se formiraju nabijanjem vlažne zemlje u kalupe, koji se zatim uklanjaju, te se zidovi ostavljaju nekoliko dana kako bi se osušili i stekli svoju maksimalnu čvrstoću [39].

### 6.1. Prednosti nabijene zemlje za gradnju

Jedna od prednosti nabijene zemlje za gradnju je njezina raznolikost boja. Zemlja je dostupna u širokom spektru boja (slika 16), sadržavajući boje poput crvene, žute, smeđe, sive, bijele i crne [40]. time je omogućen širok izbor za estetski izgled prostora [40].

Slika 16: prikaz raznolikosti boja zida od nabijene zemlje [42]



Druga prednost je njezino svojstvo plastičnosti. Plastičnost tla je sposobnost da tlo podnosi nepovratnu deformaciju i dalje pružajući otpor povećanju opterećenja, a označava se indeksom plastičnosti tla. Indeks plastičnosti predstavlja povećanje sadržaja vode (% suhe mase) potrebno da tlo prijeđe iz plastičnog (krutog) stanja u tekuće stanje. Ukoliko tlo ima veći indeks plastičnosti, to je indikator velikog postotka sadržaja gline u tlu, što ukazuje na veće skupljanje bloka nabijene zemlje pri sušenju [40]. Plastičnost tla omogućuje lako oblikovanje tla prilikom dodavanja vode, te zadržavanje tog oblika nakon sušenja. Također, zemlja kao materijal za gradnju, ima nizak koeficijent toplinske provodljivosti. Ukoliko usporedimo zid napravljen od nabijene zemlje debljine 30 centimetara, čiji koeficijent toplinske provodljivosti iznosi između 0,35 i 0,70 m<sup>2</sup>K/W, i zid napravljen od betona, debljine također 30 centimetara, čiji koeficijent toplinske provodljivosti iznosi između 1,1 i 1,2 m<sup>2</sup>K/W, koeficijent toplinske provodljivosti zida od nabijene zemlje je znatno niži. Tim svojstvom pokazano je kako je nabijena zemlja vrlo dobar toplinski izolator. Uz to, vrlo je važno napomenuti kako je nabijena zemlja vrlo lako dostupna diljem svijeta, te osim toga, nakon životnog vijeka građevine, vrlo lako ju je reciklirati i ponovo koristiti. Nabijena zemlja se također smatra iznimno pogodnom za pasivnu gradnju, budući da njezina velika masa i higroskopska svojstva pridonose regulaciji unutarnje temperature i vlage, smanjujući potrebu za aktivnim sustavima grijanja i klimatizacije prostora [40].

## **6.2. Nedostaci nabijene zemlje za gradnju**

Pri odabiru materijala za gradnju, vrlo važno je sagledati i njegove nedostatke. Unatoč tome što nabijena zemlja ima relativno dobru čvrstoću na tlak, čvrstoća na vlak i čvrstoća na smicanje su vrlo niske, posebice kada je zemlja vlažna. Osim toga, čvrstoća nabijene zemlje ovisi o puno čimbenika; u velikoj mjeri ovisi o omjeru praznina u tlu nakon zbivanja, kohezivnoj vezi između čestica, čvrstoći agregata i stanju vlažnosti [40]. Također, gustoća tla je vrlo važan čimbenik za čvrstoću tla, ukoliko koristimo tla s visokom gustoćom za gradnju, njihova čvrstoća će biti veća i obrnuto. Unatoč tome što

građevine od nabijene zemlje imaju poprilično dobru trajnost u područjima s malo kiše i toplom klimom, trajnost građevina je ograničena u područjima s puno kiše. Kiša i mraz su najdestruktivniji čimbenici koji uzrokuju eroziju i propadanje elemenata [40]. Još jedno svojstvo zemlje za gradnju koje ovisi o njezinom sastavu je skupljanje i bubrenje. Ukoliko je postotak zastupljenosti glina u sastavu zemlje koje koristimo za konstrukciju velik, količina bubrenja i skupljanja će biti veća. S toga prilikom sušenja elemenata od nabijene zemlje ukoliko oni sadržavaju veliki postotak glina, može doći do deformacija oblika.

### **6.3. Primjeri korištenja nabijene zemlje u visokogradnji**

Nabijena zemlja se pretežno koristi za izradu vanjskih zidova građevina pružajući im osjećaj stabilnosti i sigurnosti. Nije pogodna za izradu nosivih elemenata koji bi bili opterećeni velikim opterećenjima, s toga se vrlo često kombinira s drugim materijalima poput drva.

#### **6.3.1. Obiteljska kuća „Moonah Tree House“**

Slika 17: Obiteljska kuća „Moonah Tree House“ u Moonah, Australija [42]



Ova obiteljska kuća izgrađena je u Moonah, Australija, u 2023. godini. Projektirali su je arhitekti ureda Kirby Architects [42]. Vanjski zidovi su napravljeni od nabijene zemlje, pružajući ugodnu atmosferu unutarnjeg prostora. Ostali nosivi elementi, poput stubišta, napravljeni su od drva, te pružaju potrebnu nosivost konstrukciji, čineći zajednički sa nabijenom zemljom ekološki održivu građevinu.

### ***6.3.2. Dječje odgajalište***

Slika 18: Dječje odgajalište u Pariz, Francuska [43]



Slika prikazuje dječje odgajalište u Pariz, Francuska. Izgrađeno je 2022. godine, a projektirali su ga arhitekti ureda Atelier Regis Roudil Architectes. Površina od 308 kvadratnih metara proteže se na jednu prizemnu etažu, osiguravajući lak i siguran pristup djeci. Zidovi su napravljeni u kombinaciji nabijene zemlje i drva, zajedno formirajući zdravu okolinu za svoje korisnike. Sa stražnje strane objekta, nalazi se dvorište, a cilj arhitekata je bio povezati građevinu sa prirodom koja okružuje objekt kako bi stvorili ekološki prihvatljivo okruženje za djecu.

## **7. OPEKARSKA GLINA**

Glinu se svrstava u koherentni materijal prema podjeli materijala s obzirom na vezu između čestica. Ona obuhvaća vrste tla u kojima postoji kohezija između čestica, što znači da su one međusobno povezane čak i bez dodane vode. Stišljivost ovih materijala značajno ovisi o poroznosti i zasićenosti vodom te su vrlo podložni bubrenju i skupljanju pod utjecajem vlage. Iz tog razloga potrebno je osušiti glinu prije nego što se može koristiti kao građevinski materijal. Prije više od 5000 godina, u područjima gdje su kvalitetan kamen i drvo bilo teško dostupni, graditelji su počeli koristiti glinu za izradu svojih kuća [35]. Oni su razvili postupak oblikovanja gline u kalupima i sušenja na suncu, čime su dobivali iznimno dobar materijal za gradnju. Ti početci su označili nastanak današnje opeke. Danas je upotreba građevinske gline vrlo raznolika. Koristi se za proizvodnju opeke, fasadne opeke, zidnih blokova, stropnih blokova i crijepova [36].

### **7.1. Prednosti gline za gradnju**

Glinu se često smatra materijalom s najboljim omjerom cijene i kvalitete zbog njenih širokih mogućnosti primjene u građevinarstvu i iznimnih svojstava. Glavna prednost gline, koja opravdava njezinu široku upotrebu, je plastičnost. Plastičnost je svojstvo gline da se lako oblikuje prilikom miješanja s vodom, a zadržava taj oblik nakon sušenja [36]. Ovo svojstvo omogućuje oblikovanje različitih oblika ciglenih blokova i crijepova. Opekarska glina se također koristi za proizvodnju "inženjerskih" opeka, koje su visoke čvrstoće i niske poroznosti te se koriste u nosivim konstrukcijama i drugim tehnički zahtjevnim situacijama. Opeka namijenjena za popločavanje imaju poseban sastav, malu otpornost i izdržljive su na mraz [36].

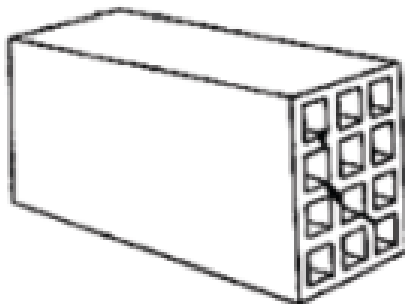
Osim tradicionalne opeke normalnog formata, razvijeni su i drugi oblici opeke kako bi se poboljšala njena svojstva, kao što su zidni blokovi sa šupljinama. Šupljine u blokovima omogućavaju zračni prostor koji poboljšava toplinsku izolaciju. Opeka je izuzetno trajan proizvod, pa zgrade i kuće građene od opeke mogu trajati stotinama godina. Nakon životnog vijeka građevine, opeka se može reciklirati i ponovno koristiti kao agregat za

beton ili za nasipavanje [37]. Važno je napomenuti i da je opeka pristupačna zbog svoje niske cijene, što je čini najčešće korištenim materijalom u gradnji stambenih kuća. Osim toga, opeka je potpuno nezapaljiva i otporna na požar, što ju čini vrlo sigurnim izborom za gradnju.

## 7.2. Nedostaci gline za gradnju

Glina za gradnju ima nekoliko nedostataka. Jedan od najvećih nedostataka je potreba za pečenjem gline u posebnim pećima na visokim temperaturama, što rezultira emisijom plinova koji zagađuju atmosferu. U novije vrijeme situacija s ispušnim plinovima iz peći se poboljšala, budući da se prestao koristiti ugljen kao gorivo. Većina peći sada radi na lož ulje koje je ekološki prihvatljivije. Međutim, problem korištenja velike količine energije za proizvodnju gline i dalje je prisutan. Tijekom procesa sušenja i pečenja gline mogu se javiti različite deformacije [35]. Skupljanje gline tijekom sušenja i pečenja može dovesti do deformacija oblika. Osim toga, brzo hlađenje pečene gline ili sušenje na previsokim temperaturama može rezultirati pukotinama na površini (slika 19), što smanjuje čvrstoću materijala [35].

Slika 19: Pukotine nastale pri sušenju [35]



Prvi korak u proizvodnji gline je eksploatacija mineralnih sirovina. Taj proces može dovesti do trajnih promjena u krajoliku. Osim toga, postoje i drugi negativni utjecaji poput tekućeg i atmosferskog otpada koji potječe od strojeva korištenih za eksploataciju i



prijevoz materijala do tvornica [36]. Uspoređujući opeku s armiranim betonom, opeka ima nižu tlačnu čvrstoću i može podnijeti manja opterećenja, što je čini neprikladnom za izradu temelja u usporedbi s armiranim betonom [38], smanjujući raspon njezine primjene u gradnji.

### **7.3. Primjeri korištenja glinene opeke u visokogradnji**

Primjena opeke vrlo je široka: od korištenja opeke normalnog formata kao fasadnog materijala, sve do zidanja nosivih zidova i stropova sa zidnim i stropnim blokovima. Opeka se nerijetko koristi pri gradnji obiteljskih kuća, budući da pruža izdržljivost, energetska učinkovitost i omogućuje brzu gradnju. Nadalje, često se koristi i u većim i javnim objektima kao dekorativni element koji ističe arhitektonsku ljepotu. Osim primjene u visokogradnji, opeka svoju ulogu pronalazi i u niskogradnji. Može se koristiti za oblaganje prometnica i trgova dodajući estetsku vrijednost i trajnost tim površinama.

#### **7.3.1. Kuća od opeke „Zahorske Sady“**

Slika 20: Kuća „Zahorske Sady“ u Zahorska Bystrica, Slovačka [38]



Na slici je prikazana obiteljska kuća izgrađena 2023. godine u Zahorskoj Bystrici u Slovačkoj. Projektirao ju je arhitektonski ured ARCHITEKTI mikulaj & mikulajova. Opeka je ukomponirana na mnogo lokacija u ovome projektu: opeka na fasadi, opeka na pločniku terasa, opeka na prozorskim daskama, opeka kao poluprozirna zavjesa na otvorima kuće. Omogućeno je eksperimentiranje i široko korištenje opeke. Vanjski zidovi sastoje se od opeke, sloja toplinske izolacije od mineralne vune i ventiliranog zračnog prostora, dok su nosive grede konstrukcije napravljene od armiranog betona kako bi omogućile konstrukciji potrebnu nosivost [38].

### 7.3.2. *Kuća s crijepom od opeke „Distracted House“*

Slika 21: „Distracted House“ u Jakarta, Indonezija [39]



Slika prikazuje obiteljsku kuću u Jakarti (Indonezija) izgrađenu 2023. godine. Projektirali su je arhitekti ureda Ismail Solehudin Architecture. Koristeći krov tradicionalne joglo kuće, pokriven crijepom od gline, stvorena je figura ove građevine. Ostali materijali koji su korišteni su opeka, cement, prirodni kamen i drvo; spajajući tradicionalne materijale s

industrijskim kako bi se stvorila skladna konstrukcija [39]. Kuća ima 420 kvadratnih metara, a u svome središtu sadrži atrij, koji skladno povezuje građevinu s prirodom omogućavajući prirodnu ventilaciju unutarnjih prostora.

## 8. ZAKLJUČAK

U suvremenoj gradnji tradicionalni ekološki materijali opisani u radu zauzimaju važno mjesto. Ti materijali donose brojne prednosti u smislu održivosti, energetske učinkovitosti i očuvanog okoliša. Navedeni tradicionalni ekološki materijali imaju svoje prednosti i ograničenja u kontekstu suvremene gradnje. Kombiniranje ovih materijala s modernim tehnologijama i praksama može rezultirati održivijim građevinama koje istovremeno pružaju udobnost, energetske učinkovitost i smanjeni utjecaj na okoliš.

Dodatna optimizacija upotrebe tradicionalnih ekoloških materijala u suvremenoj gradnji zahtijeva napore usmjerene prema istraživanju, razvoju i primjeni novih tehnologija i praksi. Ključno je sagledati i unaprijediti ekološke aspekte proizvodnje ovih materijala, smanjiti emisije stakleničkih plinova, racionalno upravljati resursima i koristiti obnovljive izvore energije. Poboljšanje energetske učinkovitosti građevina kroz inovativne tehnologije i prakse može dodatno optimizirati korištenje tradicionalnih ekoloških materijala. Edukacija i podizanje globalne osviještenosti igraju ključnu ulogu u promicanju upotrebe tradicionalnih ekoloških materijala. Građevinska industrija, arhitekti, inženjeri i drugi dionici trebaju biti informirani o prednostima i mogućnostima korištenja ovih materijala kako bi se potaknula veća upotreba i poticale inovacije u njihovoj primjeni.

U konačnici, tradicionalni ekološki materijali igraju važnu ulogu u suvremenoj gradnji, pružajući mogućnost za održivu i ekološki osviještenu arhitekturu. Njihova upotreba zahtijeva pažljivo planiranje, pravilno upravljanje resursima i primjenu suvremenih tehnologija kako bi se postigao optimalan balans između ekološke odgovornosti i građevinske učinkovitosti. Kroz daljnje istraživanje i razvoj, mogu se postići inovacije koje će unaprijediti ove materijale i njihovu primjenu u suvremenom građevinarstvu, vodeći nas prema održivijoj budućnosti.

## 9. LITERATURA

- [1] Xu, Weitao, Yingjie Li, and Baoyu Huang. "Study on the Application of Oak in Wood Structure Building." *Advances in Applied Sciences* 6.3 (2021): 59
- [2] Vugrinec, Helena. *Elementi vode, zemlje, metala, drva i vatre u održivoj arhitekturi*. Diss. Polytechnic of Međimurje in Čakovec, 2021
- [3] Kitek Kuzman, M. (2010). *Drvo kao građevni materijal budućnosti*. *Građevinar*, 62(04.), 313-318. Preuzeto 22.5.2023. s <https://hrcak.srce.hr/52076>
- [4] Štirmer, N. (2012). *Utjecaj građevnog materijala na okoliš*. *Radovi Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Požegi*, (1.), 293-311. Preuzeto 22.5.2023. s <https://hrcak.srce.hr/97380>
- [5] Užar, J. (2013). *Drvo–materijal u suglasnosti s prirodom*. *Tehnički glasnik*, 7(3), 258-262. Preuzeto 22.5.2023. s <https://hrcak.srce.hr/109570>
- [6] Magerle, M. (1996). *Drvene konstrukcije: svojstva drva*. Zagreb: Prehrambeno tehnološki inženjering
- [7] Cai, Zhiyong, Dickens, James R (2004). "Wood composite warping: Modeling and simulation". *Wood and Fiber Science*. Soc Wood Sc Tech. **36** (2): 174–185
- [8] Jirouš-Rajković V, Turkulin H, Živković V. *Metode poboljšanja svojstava građevnog drva*. *Drvna industrija* [Internet]. 2007 [pristupljeno 29.06.2023.];58(1):23-33. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/12812>
- [9] Zachar M, Mitterová I, Xu Q, Majlingová A, Cong J, Galla Š. *Determination of Fire and Burning Properties of Spruce Wood*. *Drvna industrija* [Internet]. 2012 [pristupljeno 29.06.2023.];63(3):217-223. <https://doi.org/10.5552/drind.2012.1141>
- [10] UrbanNext: "Treet Bergen" <https://urbannext.net/treet/>, pristup 29.06.2023.
- [11] Wood Solutions: "Forte Living" <https://www.woodsolutions.com.au/case-studies/forte-living>, pristup 29.06.2023.

- [12] ArchDaily: "Tamedia Office Building / Shigeru Ban Architects" <https://www.archdaily.com/478633/tamedia-office-building-shigeru-ban-architects>, pristup 29.06.2023.
- [13] Xiaobo Li, (2004.) Physical, chemical and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing. M.S. Chinese Academy of Forestry.
- [14] Mechanical properties of different bamboo species, Faculty of civil engineering, Universiti Teknologi Malaysia, (2017.)
- [15] Topaloglu E. Utjecaj ubrzanog izlaganja vremenskim utjecajima na svojstva bambusa, drva bora i drva bukve obrađenih zaštitnim sredstvima na bazi vode. Drvna industrija [Internet]. 2019 [pristupljeno 29.06.2023.];70(4):391-398. <https://doi.org/10.5552/drvind.2019.1855>
- [16] Structural use of bamboo: Part 2: Durability and preservation, (2016.)
- [17] ArchDaily: "Bamboo Sports Hall for Panyaden International School / Chiangmai Life Construction" <https://www.archdaily.com/877165/bamboo-sports-hall-for-panyaden-international-school-chiangmai-life-construction>, pristup 30.06.2023.
- [18] ArchDaily: "The Green School / IBUKU" <https://www.archdaily.com/81585/the-green-school-pt-bambu>, pristup 01.07.2023.
- [19] ArchDaily: CBamboo Pavilion / ZUO STUDIO" <https://www.archdaily.com/905690/bamboo-pavilion-zuo-studio>, pristup 01.07.2023.
- [20] Žakula, B. (2015). Energetska učinkovitost i održiva gradnja (Doctoral dissertation, University of Pula. Faculty of economics and tourism" Dr. Mijo Mirković").
- [21] Tomić, L. (2016). Sigurnost i zaštita stanovanja i okoliša u kući od slame (Doctoral dissertation, Karlovac University of Applied Sciences. The Department of Safety and Protection).
- [22] Ćosić, K. PANELI OD SLAME-EKOLOŠKI I ODRŽIVI MATERIJAL ZA PRIMJENU U PASIVNOJ GRADNJI.
- [23] Marković, D., & Ic (2018). THERMAL INSULATION PROPERTIES AND FIRE RESISTANCE OF WALLS WITH STRAW BALE FILLING.

- [23] Brojan, L., & Clouston, P. L. (2014). PREDNOSTI IN SLABOSTI UPORABE BAL SLAME PRI GRADNJI. *Arhitektura, raziskave Architecture, Research*, 21.
- [24] ArchDaily: "The University of Nottingham - The Gateway Building / Make Architects [https://www.archdaily.com/200413/the-university-of-nottingham-the-gateway-building-make-architects?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/200413/the-university-of-nottingham-the-gateway-building-make-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 01.07.2023.
- [25] Salto architects: "Straw Theatre" <https://salto.ee/projects/no99-straw-theatre/>, pristup 01.07.2023.
- [26] Tadić, M. (2022). *Mogućnosti iskorištenja kamenog otpada prilikom obrade arhitektonsko građevnog kamena* (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering. Department of Mining and Geotechnical Engineering).
- [27] Kotiga, M. (2019). *Primjena kamena u graditeljstvu* (Doctoral dissertation, University of Rijeka. Faculty of Civil Engineering).
- [28] Bočkaj, T. (2020). *Fizikalna i mehanička svojstva stijenskog materijala* (Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering. Department of Mining and Geotechnical Engineering).
- [29] Vlahović, Tatjana (2010): *Geologija za građevinare*. Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split.
- [30] Ashby M F, Jones D R: *Engineering Materials 1*, 4. izdanje (2006.)
- [31] Illston J M, Domone P L J (ed.): *Construction materials – their nature and behaviour* (2001.)
- [32] Rozhko, Alexander. (2007). *Role of seepage forces on hydraulic fracturing and failure patterns*.
- [33] ARCHITECTURE SPOTLIGHT: THE GETTY CENTER, <https://www.museumpalooza.com/blog/2017/3/6/architecture-spotlight-the-getty-center>, pristup 02.07.2023.

- [34] ArchDaily: Casa La Dinda / Alexandre Chaguri Arquitetura, [https://www.archdaily.com/1001938/casa-la-dinda-alexandre-chaguri-arquitetura?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/1001938/casa-la-dinda-alexandre-chaguri-arquitetura?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 02.07.2023.
- [35] (2022.) Opeka - od sirovine do gotovog proizvoda, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale
- [36] Gelo, V. (2020). Minerali glina i njihova primjena s naglaskom na opekarskoj industriji : završni rad (Završni rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:458347>
- [37] Cachim, P. B. (2009). Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1292-1297.
- [38] Mirosavljević, K., Bošnjak-Klečina, M. i Penava, D. (2010). EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA ZIDA OD PUNE OPEKE. *Electronic Journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek-e-GFOS*, 1 (1), 24-33. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/63213>
- [38] ArchDaily: "Brick House Zahorske Sady / ARCHITEKTI mikulaj & mikulajova", [https://www.archdaily.com/998300/brick-house-zahorske-sady-architekti-mikulaj-and-mikulajova?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/998300/brick-house-zahorske-sady-architekti-mikulaj-and-mikulajova?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 02.07.2023.
- [38] ArchDaily: "Distracted House / Ismail Solehudin Architecture" [https://www.archdaily.com/997547/distracted-house-ismail-solehudin-architecture?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/997547/distracted-house-ismail-solehudin-architecture?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 02.07.2023.
- [39] Walker, P., Keable, R., Martin, J., & Maniatidis, V. (2005). *Rammed earth: design and construction guidelines*.
- [40] Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). A review of rammed earth construction. Innovation Project "Developing Rammed Earth for UK Housing", Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, 12.
- [41] Gomaa, Mohamed & Jabi, Wassim & Soebarto, Veronica & Xie, Yi. (2022). Digital manufacturing for earth construction: A critical review. *Journal of Cleaner Production*



[42] ArchDaily: "Moonah Tree House / Kirby Architects"  
[https://www.archdaily.com/1001162/moonah-tree-house-kirby-architects?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/1001162/moonah-tree-house-kirby-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 07.07.2023.

[43] ArchDaily: "Wood and Rammed Earth Nursery / Atelier Régis Roudil Architectes"  
[https://www.archdaily.com/996902/wood-and-rammed-earth-nursery-atelier-regis-roudil-architectes?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab](https://www.archdaily.com/996902/wood-and-rammed-earth-nursery-atelier-regis-roudil-architectes?ad_source=search&ad_medium=projects_tab), pristup 07.07.2023.