

# Gradnja prirodnim materijalima

---

**Glavaš, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:330223>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-12**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marko Glavaš

# GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Marko Glavaš

# GRADNJA PRIRODNIM MATERIJALIMA

ZAVRŠNI ISPIT

prof. dr. sc. Nina Štirmer

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Marko Glavaš

# CONSTRUCTION WITH NATURAL MATERIALS

FINAL EXAM

prof. dr. sc. Nina Štirmer

Zagreb, 2024

## ZAHVALE

Najveće zahvale pripadaju mojim roditeljima i bratu na konstantnoj bezuvjetnoj potpori i motivaciji u ove 3 godine studiranja. Također jako sam zahvalan mojima didu i noni na bodrenju, motiviranju i svakodnevnoj podršci za vrijeme studiranja.

Osim njih, zahvalio bih se i mojim kolegama i prijateljima bez kojih bi studiranje bilo nezamislivo teže. Oni su motivacija da budem bolji iz dana u dan i na tome sam im neizmjereno zahvalan.

Naposljetku, zahvalio bih se mentorici Nini Štirmer na potpori za vrijeme pisanja ovog završnog rada i na odobrenju da si sam odaberem temu koja me zanima.

## SAŽETAK

Prirodni materijali imaju veliki potencijal masovnije upotrebe. Ovisno o materijalu i primjeni, svojstva su usporedna s učestalijim umjetnim materijalima, a prirodni učinak njihove proizvodnje i korištenja je neusporedivo bolji. Takvi materijali imaju mogućnost upijanja ugljičnog dioksida iz atmosfere, recikliranja nakon korištenja te ugradnje u novu građevinu ili se jednostavno razgrade u prirodi bez zagađivanja okoliša. Ubrzano se razvijaju novi sustavi predgotovljenih montažnih elemenata te istražuju novi načini upotrebe prirodnih materijala, a sve je to opisano u ovom radu.

**Ključne riječi:** prirodni materijali, slama, hempcrete, glina, vapno

## SUMMARY

Natural materials have a great potential for mass use in construction. Depending on material and use, they have comparable properties to more popular synthetic materials, but their environmental impact is much lower. These types of materials can absorb carbon dioxide from the atmosphere, can be recycled and re-used in a new construction, or can simply decompose without contaminating the environment. New systems of prefabricated elements are extensively developed, also research is being conducted into new uses of natural materials, which are all described in this review paper.

**Key words:** natural materials, straw, hempcrete, clay, lime

---

## SADRŽAJ

<b>ZAHVALE .....</b>	<b>i</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>ii</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>iii</b>
<b>SADRŽAJ .....</b>	<b>iv</b>
<b>1 UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2 SLAMA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Upotreba slame u građevinarstvu .....	2
2.2. Svojstva te sustavi od slame .....	2
2.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu.....	4
<b>3 KONOPLJA .....</b>	<b>5</b>
3.1. Upotreba konoplje u građevinarstvu.....	5
3.2. Svojstva te procesi proizvodnje betona od konoplje .....	5
3.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu.....	6
<b>4 TRSKA .....</b>	<b>7</b>
4.1. Upotreba trske u građevinarstvu .....	7
4.2. Svojstva trske i sustavi od trske.....	7
4.3. Karakteristike proizvoda od trske .....	8
<b>5 DRVENI PODOVI .....</b>	<b>9</b>
5.1. Upotreba drva u građevinarstvu .....	9
5.2. Drveni podovi za različite svrhe .....	9
5.2.1. Industrijski prostori .....	9
5.2.2. Društveno-kulturni prostori .....	9
5.2.3. Sportski objekti .....	10
5.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu.....	10
<b>6 PRIRODNE BOJE ZA ZIDOVE S BILJNIM VEZIVIMA .....</b>	<b>11</b>
6.1. O bojama za zidove .....	11
6.2. Svojstva boja za zidove s biljnim vezivima.....	11
6.3. Pregled dostupnih prirodnih boja s biljnim vezivima.....	12



---

<b>7</b>	<b>GLINA</b> .....	<b>13</b>
7.1.	Upotreba gline u građevinarstvu.....	13
7.2.	Ekološka upotreba gline .....	13
7.2.1.	Glinena žbuka.....	13
7.2.2.	Zidna ispunjena od gline i slame.....	14
7.3.	Pregled dostupnih proizvoda na tržištu .....	15
<b>8</b>	<b>VAPNENI MATERIJALI</b> .....	<b>16</b>
8.1.	Upotreba vapna u građevinarstvu.....	16
8.2.	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> u proizvodnji vapnenih materijala .....	16
8.3.	Vapneni materijali .....	16
8.4.	Pregled dostupnih proizvoda na tržištu.....	17
<b>9</b>	<b>PRIMJERI GRADNJE PRIRODNIM MATERIJALIMA</b> .....	<b>18</b>
9.1.	Primjer gradnje drvenim elementima ispunjenih slamom, Nanikon, Švicarska .....	18
9.2.	Primjer gradnje elementima od konoplje, Crossy-Beaubourg, Francuska .....	20
9.3.	Primjer gradnje drvenim elementima ispunjenih slamom i glinenom žbukom Vrapče, Hrvatska.....	22
<b>10</b>	<b>ZAKLJUČAK</b> .....	<b>24</b>
	<b>POPIS LITERATURE</b> .....	<b>25</b>
	<b>POPIS SLIKA</b> .....	<b>30</b>
	<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>30</b>

## 1 UVOD

Prirodni se materijali u gradnji upotrebljavaju od samih početaka ljudske civilizacije. Prva skloništa su bila vrlo jednostavna od naslaganih kamena, lišća ili grana. Svrha im je bila zaštita od atmosferskih utjecaja poput kiše, snijega i vjetra te je kroz povijest to ujedno i ostao jedan od osnovnih razloga izgradnje građevina. Razvitkom civilizacije, također se razvijala i tehnologija gradnje. Tako se prešlo s jednostavnih na složenije konstrukcije koje su bile građene na način da iskorištavaju povoljna svojstva materijala. Primjer takve gradnje su sojenice. To je vrsta građevine koja se gradila u područjima uz obale gdje je bila velika mogućnost nastanka poplava. Iz tog razloga pod sojenice je izdignut od tla te se oslanja na drvene temeljne stupove koji su zabijeni u zemlju [1].

U moderno vrijeme razvila se i proširila upotreba novijih materijala poput čelika i betona, čime se smanjila primjena prirodnih materijala. No, povećanjem ekološke osviještenosti stanovništva te težnjom za održivom gradnjom, materijali poput drva, slame, gline i konoplje opet postaju sve češći odabir u gradnji.

Cilj ovog rada je detaljnije istražiti materijale i sustave za ekološku gradnju kako bi se prikazale prednosti i mogućnosti njihove primjene u graditeljstvu.

Rad je podijeljen u 10 poglavlja. Prvo će se pojedinačno u svakom poglavlju opisati zidovi od drveta s toplinskom izolacijom od slame i konoplje, drveni podovi, trska, prirodna boja za zidove s biljnim vezivima te glineni i vapneni materijali. Za svaki materijal će biti navedena bitna svojstva, opis materijala te područje i načini primjene u gradnji. U predzadnjem poglavlju prikazat će se primjeri postojećih suvremenih građevina izgrađenih upotrebom prethodno navedenih materijala i tehnologija, a u zadnjem poglavlju će se iznijeti zaključak ovog rada.

## 2 SLAMA

### 2.1. Upotreba slame u građevinarstvu

Prema izvješću Europske komisije [2] globalno najpopularniji toplinskoizolacijski materijali su mineralna vuna (staklena i kamena), ekspanzirani polistiren (EPS), ekstrudirani polistiren (XPS) te poliuretan (PUR). Zajedno ti materijali čine oko 90% ukupnog svjetskog tržišta, dok ostali materijali među kojima se nalazi i slama sačinjavaju preostalih 10%. Prednost slame u odnosu na ostale popularnije materijale očituje se znatno manjim utjecajem na okoliš. Istraživanjem [2] se usporedio zid napravljen od slame te zid od opeke sa EPS izolacijom. Mjereni su parametri GWP (engl. Global Warming Potential, kgCO<sub>2</sub>eq), PEI (engl. Primary Energy Input, MJ) i AP (engl. Acidification Potential, kgSO<sub>2</sub>eq) kojima se određuje utjecaj na okoliš. Zidovi su konstruirani na način da imaju isti koeficijent prolaska topline ( $U=0,12$  W/m<sup>2</sup>K). Rezultati istraživanja dani su u tablici 1.

Tablica 1: Usporedba zidova od slame i opeke, Izvor: [3]

Materijal	SLAMA	OPEKA
Debljina [cm]	47,0	56,5
GWP [kgCO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ]	-50,0	61,5
PEI [MJ]	104,83	985,65
AP [kgSO <sub>2</sub> eq]	0,052275	0,216688

Iz rezultata je vidljivo da za proizvodnju zida od slame treba uložiti 9 puta manje energije te se tijekom projektiranog vijeka trajanja od 100 godina iz atmosfere upije 50 kilograma CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> zida.

### 2.2. Svojstva te sustavi od slame

U preglednim radovima [4, 5] opisani su rezultati različitih eksperimenata provedenih na blokovima od slame kako bi se ustanovili mjerodavni iznosi fizikalnih parametara materijala.

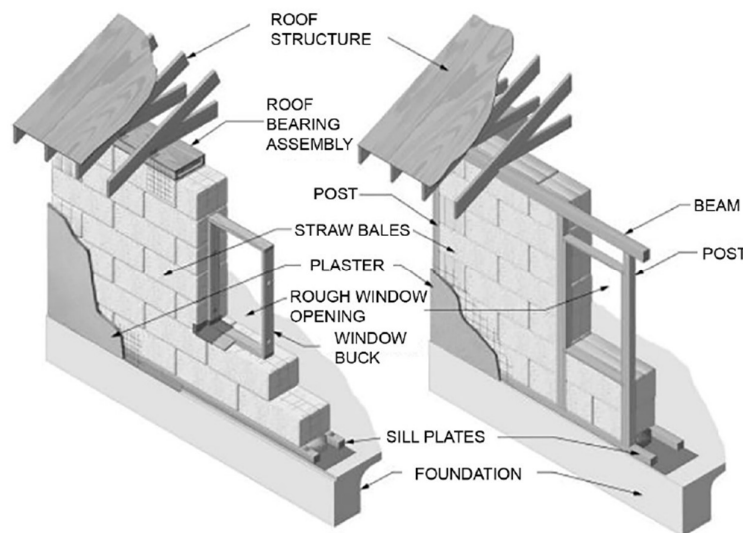
Zaključeno je da toplinska provodljivost ( $\lambda$ ) raste linearno s porastom gustoće elementa. Osim o gustoći, toplinska svojstva ovise i o smjeru vlaknaca slame u bloku u odnosu na smjer kretanja topline. Blokovi u kojima su vlaknaca paralelna sa smjerom kretanja topline imat će veću toplinsku difuzivnost, u odnosu na blokove gdje su vlaknaca okomito ili

nasumično postavljena s obzirom na smjer kretanja topline. Toplinska provodljivost slame iznosi od 0,053 do 0,065 W/mK, dok za mineralnu vunu, EPS i XPS iznosi od 0,030 do 0,040 W/mK.

Trajnost slamnatog elementa znatno ovisi o njegovoj relativnoj vlažnosti. Bainbridge preporuča, prema istraživanju Cascone i dr. [5] da relativna vlažnost bude ispod 15% kako bi se spriječilo propadanje elementa.

Slama u raspršenom obliku lako je zapaljiva, ali kada je prešana u blokove vatrootpornost je usporediva s ostalim građevinskim materijalima te ispunjava potrebne zahtjeve za ugradnju u građevinu. Marković i Milić [6] proveli su eksperiment na zidu izgrađenom od slamnatih blokova. Površina zida je ožbukana s 2 sloja vapnene žbuke (svaki debljine 2cm). Zid je bio izložen temperaturi od 800°C u trajanju od 85 minuta. Temperatura slame nije premašila 200°C te za vrijeme trajanja eksperimenta nije došlo do gubitka nosivosti ili sloma konstrukcije.

Prema Cascone i dr. [5] dvije glavne vrste konstrukcija od slame su nosivi sustav slamnatih blokova te drveni okviri ispunjeni slamom (slika 1). U prvoj vrsti konstrukcije opterećenje preuzimaju slamnati blokovi u kombinaciji sa žbukom. Kod drugog načina gradnje, opterećenje se preuzima drvenim okvirom, a slama služi samo kao izolacijski materijal. Žbuka koja se koristi na zidovima mora dozvoljavati „disanje“ zidova. Također se preporuča izbjegavanje metalnih elemenata kako bi se spriječila kondenzacija vlage unutar slame što bi utjecalo na vijek trajanja građevine.



Slika 1: Nosivi sustav (lijevo) i drveni okvir sa ispunom od slame (desno), izvor: [7]

Prijevod pojmova:

roof structure = krovna konstrukcija, roof bearing assembly = sustav za preuzimanje opterećenja krova, post = stup, beam = greda, straw bales = bale od slame, plaster = žbuka, rough window opening = otvor za prozor, window buck = okvir prozora, sill plate = podložna greda, foundation = temelj

### 2.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu

U tablici 2. navedena su svojstva proizvoda od slame različitih proizvođača koji su dostupni na tržištu.

*Tablica 2: Usporedba svojstava proizvoda od slame iz kataloga različitih proizvođača*

Proizvođač	EcoCocon <sup>(1)</sup> [8]	Iso-Stroh [9]	Modulina [10]
Gustoća slame [kg/m <sup>3</sup> ]	115	105	100
Toplinska provodljivost [W/mK]	0,0645	0,041	0,059
Vatrootpornost [min]	30	Nije navedeno	Nije navedeno
Razred zapaljivosti	B-s1,d0 <sup>(2)</sup>	E <sup>(3)</sup>	B-s1,d0
Toplinski otpor [(m <sup>2</sup> K)/W]	8,1	Nije navedeno	Nije navedeno
Zvučna izolacija [dB]	54	42	57
Faktor otpora difuziji vodene pare [μ]	1,4	2,8	Nije navedeno

<sup>(1)</sup> Navedena svojstva se odnose na EcoCocon Straw Wall System

<sup>(2)</sup> Ispitivanje provedeno prema normi EN ISO 11925-2

<sup>(3)</sup> Prema normi EN 13501-1

## 3 KONOPLJA

### 3.1. Upotreba konoplje u građevinarstvu

Konoplja je još jedan u nizu prirodnih materijala koji se sve više koriste u građevinarstvu. Konoplja svojim karakterističnim mirisom odbija glodavce, čime se smanjuje opasnost od njihove pojave i nastanjivanja po zidovima građevine. Također, pri zagrijavanju građevine, u sloju konoplje u zidu zadržava se toplina čime se unutarne prostorije sporije zagrijavaju te se toplina postepeno ispušta u građevinu pri nižim temperaturama. Time se smanjuje potreba za korištenjem uređaja za hlađenje i grijanje [11]. Konoplja svoju primjenu pronalazi kao sastojak betona od konoplje (engl. hempcrete). Beton od konoplje ima više područja primjene, ali najčešće se koristi kao ispuna drvenih okvira kao toplinska izolacija građevine [12]. Prednost u odnosu na tradicionalne materijale ostvaruje znatno manjim ugljičnim otiskom u procesu proizvodnje te mogućnošću recikliranja i ponovne upotrebe u nekoj drugoj građevini. [11]

### 3.2. Svojstva te procesi proizvodnje betona od konoplje

Beton od konoplje mješavina je konoplje, vapna i vode. Ovisno o mjestu ugradnje, koriste se različiti omjeri sastojaka. Manji udio veziva se primjerice koristi pri izolaciji krovista, dok se više veziva koristi pri ugradnji u zidove zbog potrebe za boljim mehaničkim svojstvima.

Postoje tri načina proizvodnje: predgotovljeni elementi, proizvodnja na gradilištu te mlazno nanošenje. Ovisno o ciljanim rezultatima, bira se metoda proizvodnje. Najbrža metoda gradnje je predgotovljenim elementima, a mlaznim nanošenjem smanjuje se brzina sušenja u odnosu na proizvodnju na gradilištu.

Udio pora može biti i do 80% čime se postižu odlična akustična svojstva, ali u slučaju neadekvatne zaštite materijala u porama može doći do skupljanja vode čime se smanjuju ostala svojstva materijala. Voda koja se nalazi u porama može povećati masu uzorka i do 5 puta u odnosu na masu suhog uzorka.

U preglednom radu [12] navedeni su rezultati provedenih eksperimenata kojima je utvrđeno da gustoća betona od konoplje iznosi između  $300 \text{ kg/m}^3$  i  $600 \text{ kg/m}^3$ . Najmanja izmjerena poroznost je bila 65%, a toplinska provodljivost između 0,07 i 0,20 W/mK. Koeficijent apsorpcije zvuka može biti u granicama od 0,5 do 0,9. Na slici 2 prikazani su elementi betona od konoplje različitih debljina.



*Slika 2: Hempcrete, izvor: [13]*

### 3.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu

U tablici 3. dana je usporedba proizvoda dvaju europskih proizvođača betona od konoplje: IsoHemp (Belgija) i Schönthaler (Italija). Proizvođači u svojem asortimanu imaju elemente debljine 7-38cm, a u tablici su navedena svojstva za elemente debljine 20cm.

*Tablica 3: Usporedba svojstava proizvoda od konoplje proizvođača IsoHemp i Schonthaler*

Proizvođač	IsoHemp [14]	Schönthaler [15]
Debljina [cm]	20	20
Dimenzije bloka [cm]	20x60x30	20x55x22
Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	Nije navedeno	300
Vatrootpornost [min]	120	Nije navedeno
Toplinska provodljivost [W/mK]	0,071	0,07
Koeficijent apsorpcije zvuka	0,85	0,80

## 4 TRSKA

### 4.1. Upotreba trske u građevinarstvu

Primjeri upotrebe trske u izgradnji nastamba datiraju unazad više od dvije tisuće godina [16]. Trska se najčešće povezuje s nizinskim i brežuljkastim krajevima uz rijeke ili močvare gdje su joj najbolji uvjeti za uzgajanje, dok se u planinskom području više upotrebljavalo drvo. Najčešće se može vidjeti na krovovima i stropovima starih kuća, ali i nešto rjeđe u zidovima kao toplinska izolacija [17]. U moderno vrijeme sve rjeđe ima funkcionalnu namjenu, ali kao dekorativni element sve se češće koristi. U Hrvatskoj je pokrivanje krovova trskom u prošlosti bilo vrlo popularno, posebice u Slavoniji, a danas se pretežito koristi kod obnove građevina zaštićene kulturne baštine kako bi se zadržao tradicionalni izgled.

### 4.2. Svojstva trske i sustavi od trske

Trska je biljka iz porodice trava. U Europi raste kozmopolitska trska sa stabljikom visine do 4 metra. Stabljika je šuplja, glatka i ravna [18, 19].

Istraživanjem provedenom u Portugalu [20], znanstvenici su proveli ispitivanja različitih svojstava trske. Uzorci su uzeti iz regije Serpa koja se nalazi na jugu Portugala. Nakon žetve uzorci su se čuvali u kontroliranim uvjetima 6 mjeseci.

Zaključci tog istraživanja bili su da trska ima toplinsku provodljivost 0,06 W/mK što zadovoljava kriterije za toplinsku izolaciju, ali u usporedbi s toplinskoizolacijskim materijalima poput ekspaniranog polistirena (EPS) ili mineralne vune ima nešto slabija svojstva.

Također, pri upotrebi trske treba pripaziti na razvoj gljivica u uvjetima visoke relativne vlažnosti od 85% do 95%, čime može doći do značajnog gubitka trajnosti materijala.

Trska koja se ugrađuje u krovove dolazi u obliku panela ili snopova koji se u dva sloja postavljaju na krovnu konstrukciju koja mora biti pod nagibom kako bi se osiguralo pravilno otjecanje vode. Prvi sloj privezuje se za krovnu konstrukciju, dok se drugi glavni sloj veže za donji sloj trske (slika 3). Ugradnja gornjeg sloja ide od dna prema vrhu krova kako bi se postiglo pravilno preklapanje trske te otjecanje vode za vrijeme kiše [20].

Kod trske koja se ugrađuje u zidove potrebno je pripaziti da su stabljike okrenute vertikalno te se paneli međusobno povezuju žicama. [20]



### 4.3. Karakteristike proizvoda od trske

U tablici 4 navedena su svojstva trske proizvođača Hiss Reet (Njemačka). Proizvođač u svojem katalogu ima dostupne panele dimenzija 2500x1000 mm te varijabilne debljine 30/60/80/120 mm.

Tablica 4: Karakteristike trske proizvođača Hiss Reet, izvor: [21]

Proizvođač	Hiss Reet
Toplinska provodljivost [W/mK]	0,055
Gustoća [kg/m <sup>3</sup> ]	155
Razred zapaljivosti	B2
Čvrstoća [MPa]	750



Slika 3: Kuća sa krovom od trske, izvor: [22]

## 5 DRVENI PODOVI

### 5.1. Upotreba drva u građevinarstvu

Drvo je među popularnijim materijalima koji se koriste u građevinarstvu. Ima raširenu primjenu, od nosivih konstrukcija do estetskih ukrasa. Provedena su mnoga istraživanja i ispitivanja svojstava različitih vrsta drva. Općenite prednosti drva su njegov povoljni estetski dojam, mala gustoća, relativno velika čvrstoća paralelno s vlakancima, mogućnost oblikovanja različitih oblika te jednostavna obradivost. Također, kao i svaki materijal drvo ima i svoje nedostatke, a to je pretežito potreba za njegovim održavanjem kako bi se spriječilo propadanje drvene građe. Najveće opasnosti drvu kroz projektirani vijek predstavlja razvoj gljivica i napad insekata kojima pogoduju uvjeti veće relativne vlažnosti unutar drveta [23].

### 5.2. Drveni podovi za različite svrhe

U znanstvenom radu [24], navedene su različite konstrukcije drvenih podova ovisno o primjeni. Podna konstrukcija ovisi o parametrima poput vrste prostora i namjene prostora te vrsti i intenzitetu opterećenja. Osim što sama konstrukcija poda ovisi o tim parametrima, o njima ovisi i vrsta upotrijebljenog drva.

#### 5.2.1. Industrijski prostori

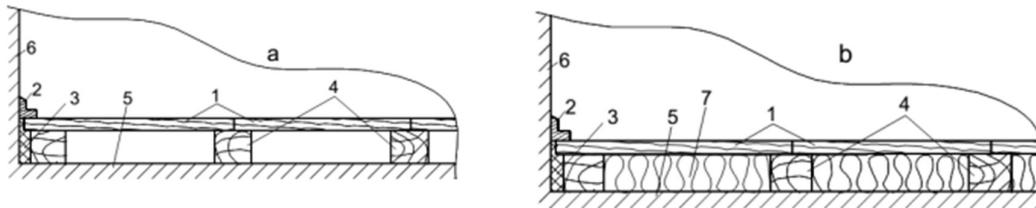
Karakteristika podova u industrijskim postrojenjima i sličnim okruženjima su velika opterećenja. Također, javljaju se i vibracije koje je potrebno ublažiti. To se postiže izvedbom podova od blokova punog drva dobrih mehaničkih svojstava poput hrasta ili bagrema postavljenih na podlogu od bitumena ili sličnog materijala.

#### 5.2.2. Društveno-kulturni prostori

Podovi društveno-kulturnih zgrada (škole, vrtići, trgovine, hoteli) trebaju imati dobru otpornost na habanje zbog velikog prometa. Autor [24] i ovdje navodi primjer poda od hrasta ili bagrema kao povoljan izbor zbog dobre otpornosti na habanje. Također, pri odabiru elemenata za pod potrebno je obratiti pažnju na jednostavnost čišćenja.

### 5.2.3. Sportski objekti

Kod prostora namijenjenih za rekreaciju i bavljenje sportom poput dvorana potrebno je projektirati pod na takav način da se maksimizira udobnost korisnika te minimizira mogućnost povrede. U obzir je potrebno uzeti vrstu sporta, karakteristike sportaša, optimalnu elastičnost, trajnost te jednostavnost održavanja. Primjer dvaju rješenja takvog poda dan je na slici 4.



Slika 4: Primjer poprečnog presjeka drvenog poda u sportskoj dvorani, Izvor: [24]

Oznake: 1. Podnice; 2. Lajsna; 3. Zvučna izolacija; 4. Gredica; 5. Pod; 6. Zid; 7. Elastično punjenje

### 5.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu

Na hrvatskom tržištu dostupni su proizvodi od drva proizvođača poput Exportdrvo iz Hrvatske [25], Hasslacher [26] iz Austrije te Hamberger [27] iz Njemačke. Svaki od proizvođača ima dostupne drvene podove od različitih vrsta drva poput ariša, hrasta, bukve, jasena i smreke. Podne obloge dolaze u različitim kvalitetama ovisno o različitim nedostacima kao što su kvрге ili nejednolika boja po površini elementa. Na slici 5 prikazan je drveni pod unutar kuće.



Slika 5: Drveni pod unutar kuće, Izvor: [28]

## 6 PRIRODNE BOJE ZA ZIDOVE S BILJNIM VEZIVIMA

### 6.1. O bojama za zidove

Do nedavno, većina dostupnih boja za zidove sadržavalo je visoke razine hlapljivih organskih spojeva (engl. Volatile Organic Compounds, VOC). To su kemikalije koje se dodaju u procesu proizvodnje boje, a mogu imati štetne posljedice za ljudsko zdravlje. Hlapljivi organski spojevi isparavaju iz boje nedugo nakon nanošenja na zid, što se može primijetiti karakterističnim mirisom nakon bojanja zidova [29]. Iz tog razloga potrebno je obojane prostorije dobro prozračiti i ventilirati kako se u prostoriji ne bi zadržavali štetni plinovi. Razvojem procesa proizvodnje, u bojama su se smanjile razine VOC-a te čak sada postoje boje i bez VOC-a. Takve boje u proizvodnji nemaju umjetno proizvedene dodatke već prirodne poput gline, krede ili biljaka [30].

### 6.2. Svojstva boja za zidove s biljnim vezivima

Uporaba prirodnih boja s biljnim i organskim vezivima ima znatne prednosti u odnosu na tradicionalne boje za zidove proizvedene miješanjem različitih kemikalija. Osim što ne štete zdravlju korisnika, one su CO<sub>2</sub> neutralne. Također, uz pravilnu uporabu i proizvodnju nastaje proizvod koji je u potpunosti razgradiv te nakon vijeka trajanja neće naštetiti okolišu. U prirodnim bojama se kao razrjeđivač koristi voda, a veziva biljnog podrijetla koja se upotrebljavaju u proizvodnji su celuloza, ulja različitih biljaka poput ricinusovog ulja te pluto. Uz navedene primjere kao vezivo se također može koristiti i prirodna smola. [31] Na slici 6 prikazan je primjer zida obojanog prirodnom bojom.



*Slika 6: Zid obojan prirodnom bojom, Izvor: [32]*

### 6.3. Pregled dostupnih prirodnih boja s biljnim vezivima

Na europskom tržištu postoji nekoliko proizvođača prirodnih boja za zidove s biljnim vezivima. Dvoje od tih proizvođača su Auro [33] iz Njemačke koji u svojem asortimanu ima više različitih vrsta boja s različitim prirodnim sastojcima te Diasen [34] iz Italije koji se bavi proizvodnjom proizvoda na bazi pluta, a između ostalog proizvodi i boje.

Svojstva navedena u Diasenovom katalogu [34] prikazana su u tablici 5.

*Tablica 5: Svojstva boje od proizvođača Diasen*

	Vrijednost/razred	Norma
Toplinska provodljivost [W/mK]	0,086	Nije navedeno
Paropropusnost ( $\mu$ )	15	Nije navedeno
Propusnost CO <sub>2</sub>	C1	EN 1062-1
Prijenos vodene pare	V3	EN 1062-1
Sjaj	G3	EN 1062-1
Veličina zrna	S1	EN 1062-1
Debljina	E5	EN 1062-1

## 7 GLINA

### 7.1. Upotreba gline u građevinarstvu

Glina je sirovina koja je prisutna u gradnji tisućama godina. Dostupna je na mnogim lokacijama te je zbog jednostavnosti prijevoza bila često korišten materijal mnogih antičkih civilizacija. Ovisno o udjelu kaolina i primjesa u sastavu, glina se dijeli na: porculansku, lončarsku i opekarsku. Porculanska glina je vrlo čista glina s puno kaolina i malo primjesa te se kao takva koristi u proizvodnji fine keramike. U građevinarstvu konkretnu primjenu pronalazi u proizvodnji sanitarnih proizvoda poput umivaonika. Opekarska glina sadrži malo kaolina te služi za proizvodnju različitih keramičkih materijala poput opeke, crijepova i dimnjačkih elemenata [35]. Iako je glina prirodni široko dostupni materijal, proizvodnja keramičkih materijala poput opeke ili crijepa ima izrazit utjecaj na okoliš. Kako bi glina postigla potrebna mehanička svojstva, ona se mora peći na visokim temperaturama koje se kreću oko 1000 °C čime se kao nusproizvod u atmosferu ispuštaju mnogi štetni plinovi [36]. Iz tog razloga ključno je pronaći ekološki prihvatljiviju uporabu gline kako bi se mogao iskoristiti potencijal tog materijala s manje štetnim utjecajem na okoliš.

### 7.2. Ekološka upotreba gline

#### 7.2.1. Glinena žbuka

Održiva upotreba gline postiže se njenom ugradnjom uz što manje prerađivanja. Jedan od primjera takve uporabe u graditeljstvu je glinena žbuka. Ona se najčešće koristi u unutarnjim prostorima za žbukanje zidova i stropova, osim u prostorijama poput kupaona gdje bi bila u čestom kontaktu s većim količinama vode i vlage. Također, potrebno je pripaziti na koju se podlogu postavlja glinena žbuka. Kompatibilna je s većinom često korištenih podloga poput gipsanih ploča, ali se treba izbjegavati direktno postavljanje na metal ili drvo. Osim što je glinena žbuka povoljna s ekološke strane, prednosti njezine upotrebe ostvaruju se i zbog ugodnog estetskog izgleda te reguliranja unutarnje klime. Žbuka upija višak vlage u zraku te ju ispušta natrag u prostoriju kako se zrak unutar nje suši čime se postiže regulacija vlažnosti koja varira između 40 i 60%. S druge strane, nedostaci uporabe glinene žbuke su nešto teža ugradnja u odnosu na tradicionalne žbuke, zbog čega je potrebno veće iskustvo radnika te veća cijena [37]. Na slici 7 se mogu vidjeti unutarnji zidovi ožbukani glinenom žbukom.



*Slika 7: Unutarnji zidovi ožbukani glinenom žbukom, Izvor: [38]*

### 7.2.2. Zidna ispuna od gline i slame

Mješavina gline i slame može se koristiti kao ispuna zidova. Na slici 8 prikazan je jedan takav primjer. Glina u ovom kontekstu služi kao vezivno sredstvo stabljika slame te se ugrađuje u drveni okvir. Različitim omjerima sastojaka postiže se različita gustoća i toplinska provodljivost zida. Optimalan omjer ovisi o željama korisnika te klimatskom prostoru u kojem se nalazi građevina. Osim dobrih toplinsko izolacijskih svojstava, istraživanjima se pokazalo da je mješavina slame i gline vrlo teško zapaljiva te da ne pridonosi u širenju plamena. Pri odabiru ovakve vrste gradnje potrebno je znati da je potreban duži period sušenja koji može trajati i do 10 tjedana prije nego se na zid mogu postaviti završni slojevi. Vrijeme sušenja proporcionalno je s debljinom samog zida [39].



*Slika 8: Zidna ispuna od gline i slame, Izvor: [40]*

### 7.3. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu

Na tržištu su dostupni proizvodi na bazi gline od nekoliko proizvođača i dobavljača, među koje spadaju Gnezdo iz Slovenije te ProLEHM iz Austrije.

Slovensko Gnezdo u svojem asortimanu ima glinenu boju za zidove. U tehničkoj dokumentaciji navodi se kako je boja namijenjena za bojanje unutarnjih zidova građevina. Boja ne sadrži hlapljive organske spojeve te ju karakterizira visoka razina paropropusnosti. Ovisno o dodatku različitih prirodnih pigmentata mogu se postići različite nijanse boje (slika 9). Prije nanošenja same boje na podlogu, ona mora biti očišćena i suha, a preporuča se nanošenje boje u dva ili tri sloja [41].

ProLEHM je austrijska tvrtka koja se bazira na proizvodnji proizvoda od gline. Dostupne su glinene boje za unutarnje i vanjske zidove te glinena žbuka. U tehničkoj dokumentaciji za glinenu žbuku navodi se kako je glineni prah potrebno pomiješati s vodom kako bi se dobila homogena smjesa, a zatim špatulom nanijeti na zid u sloju debljine do 3mm da bi se izbjegle pukotine. Tekstura može biti glatka ili hrapava ovisno o željama klijenta [42].



Slika 9: Nijanse glinenih boja, Izvor: [43]



## 8 VAPNENI MATERIJALI

### 8.1. Upotreba vapna u građevinarstvu

Vapneni materijali i proizvodi, kao i neki od prethodno spomenutih materijala koriste se već tisućama godina. Najstariji nalazi uporabe vapnenog morta datiraju sve do 14 000 g. pr. Kr., a od tada je vapno u gradnji koristila većina civilizacija uključujući Grke i Rimljane [44]. Vapno ima raširenu primjenu i izvan građevinarstva poput pročišćavanja voda, a u graditeljstvu se koristi pri izradi mortova i žbuka, bojanju zidova te za stabilizaciju glinenih tla [45]. Najčešće korišteni vapneni proizvodi su „živo vapno“ ( $\text{CaO}$ ) i „gašeno vapno“ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Živo vapno dobiva se pečenjem čistog vapnenca na visokim temperaturama pri čemu se oslobađaju velike količine  $\text{CO}_2$ . Gašeno vapno dobiva se dodavanjem vode živom vapnu pri čemu se oslobađaju veće količine topline [46]. Slično kao i kod glinenih proizvoda, proces proizvodnje najčešće korištenih vapnenih proizvoda ima značajan učinak na prirodu te je potrebno istražiti kako se proizvodnja vapnenih materijala može učiniti ekološki prihvatljivijom.

### 8.2 Smanjenje emisija $\text{CO}_2$ u proizvodnji vapnenih materijala

Vapneni materijali nakon ugradnje u građevinu imaju sposobnost apsorpcije  $\text{CO}_2$  tijekom vijeka trajanja građevine, ali se ne smije zanemariti emisija  $\text{CO}_2$  u procesu proizvodnje. Provedenim istraživanjima [47] otkriveno je kako se pri proizvodnji tone vapna, u zrak ispusti oko 1,2 tone  $\text{CO}_2$ . Znanstvenici sa Sveučilišta u Wuhanu [47] predložili su mjere u proizvodnji kojima bi se mogle smanjiti emisije  $\text{CO}_2$  u atmosferu te samim time učiniti vapno ekološki prihvatljivijim materijalom. Prva predložena mjera je uporaba CCS (Carbon Capture and Storage) sistema kojim se nastali ugljični dioksid spremi te transportira na izolirane lokacije gdje se trajno skladišti duboko ispod površine Zemlje [48]. Druga predložena mjera je korištenje alternativnih goriva za peći u procesu proizvodnje.

### 8.3. Vapneni materijali

Postoji više načina prikazivanja utjecaja proizvodnog procesa materijala na okoliš, a jedan od tih je izračun udjela karbonizacije (engl. Carbonation rate). Pojmom „Carbonation rate“ prikazuje se omjer zahvaćenog ugljičnog dioksida i ispuštenog ugljičnog dioksida u

proizvodnom procesu. Za vapno u prosjeku iznosi oko 33%, ali u nekim vapnenim materijalima dostiže i 80%.

U 3. poglavlju u kojem su se spominjali proizvodi od konoplje, naveden je proizvod pod nazivom „hempcrete“ koji je mješavina konoplje, vode i vapna. Carbonation rate takvog materijala iznosi 55% tijekom uporabnog vijeka.

Gašeno vapno ima široku primjenu u građevinarstvu, a kako je navedeno u istraživanju provedenom od European Lime Association, ima mogućnost postizanja udjela karbonizacije i do 80%. Mjerama za smanjenje emisija ugljičnog dioksida u proizvodnji te uzimajući u obzir prirodno svojstvo vapna da upija ugljični dioksid iz zraka može se postići materijal koji svojom raširenom uporabom neće imati negativan utjecaj na okoliš [49].



*Slika 10: Tvornica vapna proizvođača Fassa Bortolo, Izvor: [50]*

#### **8.4. Pregled dostupnih proizvoda na tržištu**

Vapneni materijali dobro su zastupljeni na tržištu te je moguće nabaviti proizvode od većeg broja proizvođača. Neki od njih imaju i svoje proizvodne pogone u Hrvatskoj, poput Samoborke iz Samobora, GIRK Kaluna iz Drniša te istarske tvornice vapna iz Raše (pod vlasništvom BauMit-a). Među proizvođačima izvan hrvatskih granica ističe se talijanski Fassa Bortolo koji svojom linijom vapnenih proizvoda Puracalce nastoji smanjiti negativni utjecaj na okoliš pri proizvodnji vapna. Peći koje u proizvodnji kao gorivo koriste otpad od obrade drva te iskorištavaju i ostale prethodno navedene sustave za smanjenje emisija u atmosferu. Svaki od prethodno navedenih proizvođača u svojem asortimanu ima vapnene materijale za različite svrhe: vapno za završne radove, premaze, žbuke, mortove, sanacije i sl. [51] Na slici 10 prikazana je proizvodni pogon tvrtke Fassa Bortolo.

## 9 PRIMJERI GRADNJE PRIRODNIM MATERIJALIMA

### 9.1. Primjer gradnje drvenim elementima ispunjenih slamom, Nanikon, Švicarska

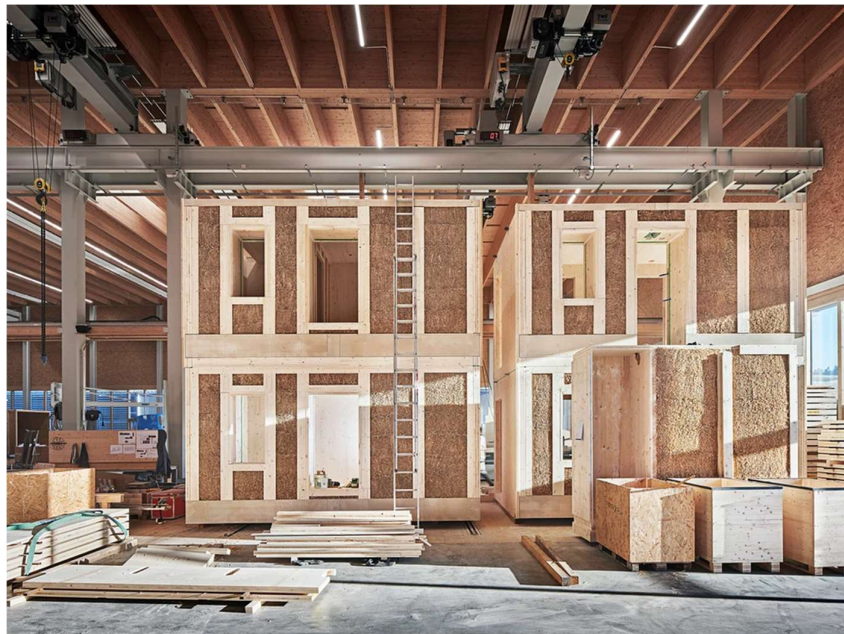
U švicarskom mjestu Nanikon se 2020. godine izgradilo stambeno naselje uporabom prirodnih materijala (slike 11, 12 i 13). Nosiva konstrukcija građevina se sastoji od predgotovljenih drvenih okvira ispunjenih slamom. Za cijelo je naselje iskorišteno 68 drvenih modula, a ukupna težina slamnate ispune je 420 tona. Naselje je izgrađeno na mjestu stare tvornice, a već za vrijeme projektiranja održiva gradnja je bila prioritet. Projektanti su uzeli u obzir energiju potrebnu za proizvodnju materijala, ugradnju materijala u konstrukciju te korištenu energiju tijekom projektiranog vijeka građevina kako bi dobili građevinu sa što manjim ekološkim utjecajem. Osim predgotovljenih slamnatih panela u gradnji su još korišteni glineni i vapneni materijali u svojstvu boja i žbuka te drveni podovi. [52]



*Slika 11: Stambeno naselje izgrađeno primjenom drvenih elemenata ispunjenih slamom, Nanikon, Švicarska, Izvor: [52]*



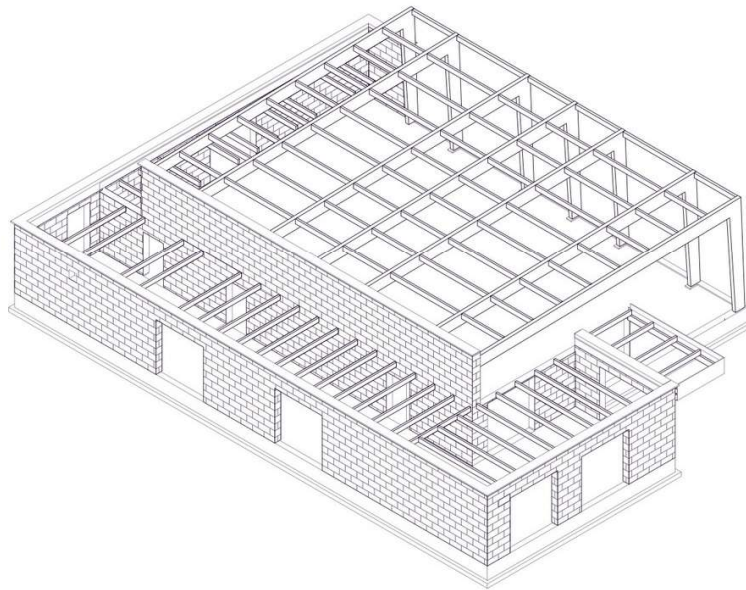
*Slika 12: Interijer, Izvor: [53]*



*Slika 13: Proizvodnja predgotovljenih elemenata, Izvor: [53]*

## 9.2. Primjer gradnje elementima od konoplje, Crossy-Beaubourg, Francuska

U predgrađu Pariza je 2021. godine od betona od konoplje izgrađena sportska dvorana (slika 14). To je prva zgrada javne namjene od betona od konoplje u Francuskoj. Stropna konstrukcija je izgrađena od drva, a oslanja se na betonske blokove od konoplje. Kako bi se što više smanjile emisije tijekom proizvodnje, nastojalo se koristiti lokalno dostupne materijale. Zidovi gotove građevine su s unutarnje strane ostavljeni bez ikakvih premaza kako bi se maksimalno iskoristila odlična akustična svojstva betona od konoplje (slike 15 i 16). Također, zbog samog oblika elemenata nije bilo potrebno koristiti žbuku ili neka druga ljepila između blokova. [54]



*Slika 14: Model sportske dvorane s betonom od konoplje, Izvor: [55]*



*Slika 15: Hempcrete elementi od konoplje, Izvor: [55]*



*Slika 16: Završeni zidovi od konoplje, Izvor: [55]*

### 9.3. Primjer gradnje drvenim elementima ispunjenih slamom i glinenom žbukom Vrapče, Hrvatska

U zagrebačkom kvartu Vrapče 2013. godine izgrađena je stambena kuća uz uporabu drvenih nosivih elemenata ispunjenih slamom. Unutarnji zidovi ožbukani su glinenom žbukom, a fasada je prekrivena daskama od akacije. Bruto površina građevine iznosi 238 m<sup>2</sup>. Glina korištena pri gradnji prikupljena je s iste parcele na kojoj se nalazi građevina. Osim što se tijekom gradnje nastojao smanjiti negativan utjecaj na okoliš, isto se o tome razmišljalo za vrijeme korištenja građevine. Sustav grijanja je kamin koji je povezan na spremnik vode od 1000 l, a na krovu su postavljeni solarni kolektori koji se koriste pri zagrijavanju vode. Također, na krovu se još nalaze i solarni paneli za proizvodnju električne energije. Na slikama 17, 18 i 19 može se vidjeti građevina u različitim fazama projekta [56, 57].



*Slika 17: Drvena konstrukcija građevine, Izvor: [58]*



*Slika 18: Unutarnji zidovi ispunjeni slamom te ožbukani glinenom žbukom, Izvor: [58]*



*Slika 19: Građevina nakon završetka radova, Izvor: [58]*



## 10 ZAKLJUČAK

Građevinska industrija jedan je od sektora s najvećim utjecajem na okoliš. Pri proizvodnji uobičajenih građevinskih materijala poput opeke, crijepova i cementa ima za posljedicu emisiju različitih štetnih plinova, nastanak većih količina otpada te korištenje velikih količina energije.

Ovim radom nastojalo se ukazati na mogućnosti uporabe nekih alternativnih materijala koji imaju znatno manji negativni utjecaj na okoliš ili čak i pozitivan kroz dulji vijek trajanja. Kao primjer pozitivnog utjecaja na okoliš, može se spomenuti slama koja u svoju strukturu tijekom vremena upija ugljični dioksid iz atmosfere. Spomenuti materijali imaju potencijal masovnije upotrebe u građevinarstvu. Potrebna svojstva su usporediva, a neka čak i bolja u odnosu na uobičajeno korištene materijale iste namjene. Upotrebu prirodnih materijala karakterizira mogućnost recikliranja ili razgrađivanja bez posljedica za okoliš nakon što se postigne projektirani vijek konstrukcije. Također, zalihe postojećih materijala poput gline i vapnenca te mogućnosti uzgoja biljnih materijala poput slame i konoplje omogućavaju proširenje primjene u bližoj i daljnjoj budućnosti bez opasnosti od manjka resursa ili zaliha materijala. Gradnja prirodnim materijalima ima veliki potencijal, ali je potrebno provesti više istraživanja kako bi se u potpunosti mogao iskoristiti njihov puni potencijal te je potrebno podići osviještenost o njihovoj upotrebi kako bi se uklonile predrasude koje ih prate.

---

## POPIS LITERATURE

[1] *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024.

Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/sojenice>

[2] Pavel, C. C. and Blagoeva, D. T., Competitive landscape of the EU's insulation materials industry for energy-efficient buildings

[3] Brojan L., Petric A. and Clouston L. P., A comparative study of brick and straw bale wall systems from environmental, economical and energy perspectives

Dostupno:

[https://www.researchgate.net/publication/266618563\\_Comparative\\_study\\_of\\_brick\\_and\\_straw\\_bale\\_wall\\_systems\\_from\\_environmental\\_economical\\_and\\_energy\\_perspectives](https://www.researchgate.net/publication/266618563_Comparative_study_of_brick_and_straw_bale_wall_systems_from_environmental_economical_and_energy_perspectives)

[4] Koh C., Dimitrios K., A review of material properties and performance of straw bale as building material

Dostupno: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820323904>

[5] Cascone S., Rapisarda R., Cascone D., Physical Properties of Straw Bales as a Construction Material: A Review

Dostupno: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/12/3388>

[6] Marković V., Milić M., Thermal insulation properties and fire resistance of walls with straw bale filling

Dostupno: <https://www.gf.uns.ac.rs/~zbornik/doc/NS2018.29.pdf>

[7] Slika 20: Nosivi sustav (lijevo) i drveni okvir sa ispunom od slame (desno),

International Code Council. IRC—International Residential Code for One and Two Family Dwellings; International Code Council: Washington, DC, USA, 2018

[8] EcoCocon katalog

Dostupno: <https://ecococon.eu/assets/downloads/ecococon-technical-specifications.pdf>

[9] Iso-Stroh katalog

Dostupno: <https://www.iso-stroh.ch/en/downloads/>

[10] Modulina katalog

Dostupno: <https://www.modulina.eu/straw-panels/>

[11] Gaujena B., Agapovs V., Borodinecs A. i Strelets K., Analysis of Thermal Parametes of Hemp Fiber Insulation

Dostupno: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/23/6385>

[12] Demir I., Doğan C., Physical and Mechanical Properties of Hempcrete

Dostupno: <https://benthamopen.com/FULLTEXT/TOWMJ-13-26#r38>

[13] Slika 21: Hempcrete,

Dostupno: <https://www.quadra-concrete.com/company-description/manufacturing-of-hemp-block-vibrating-press-quadra/?lang=en>

[14] IsoHemp katalog

Dostupno: <https://www.iso hemp.com/en/technical-documentation>

[15] Schönthaler katalog

Dostupno: <https://www.hanfstein.eu/>

[16] Kobbing J. F., Thevs N., Zerbe S., The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review

Dostupno: [http://mires-and-peat.net/media/map13/map\\_13\\_01.pdf](http://mires-and-peat.net/media/map13/map_13_01.pdf)

[17] Zamolyi F., Reed as building material – renaissance of vernacular techniques

Dostupno: [https://publik.tuwien.ac.at/files/publik\\_260464.pdf](https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_260464.pdf)

[18] Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024.

Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/trska>

[19] <https://podravske-sirine.com.hr/arhiva/16290>

[20] RoofThatchers, Thatched Roof Construction Techniques

Dostupno: <https://www.roofthatchers.co.uk/thatch-roof-construction-detail.html>

[21] Hiss Reet katalog

Dostupno: [https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user\\_upload/nachhaltiges-bauen/hiss-reet-platte.pdf](https://www.hiss-reet.de/fileadmin/user_upload/nachhaltiges-bauen/hiss-reet-platte.pdf)

[22] Slika 3: Kuća sa krovom od trske,

Dostupno: <https://www.asznad.hu/hr/index.html>

[23] A. Bjelanović, V. Rajčić Drvene konstrukcije prema europskim normama. Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu; 2007.

[24] Cismaru I., Filipascu M., Turcas O., Fotin A., Wooden flooring – between present and future

Dostupno: <https://www.proligno.ro/ro/articles/2015/2/cismaru.pdf>

[25] Exportdrvo Hrvatska

Dostupno: <https://hr.exportdrvo.hr/>

[26] Hasslacher Austrija

Dostupno: <https://www.hasslacher.com/en/from-wood-to-wonders>

[27] Hamberger Njemačka

Dostupno: <https://living.haro.com/de/index.php>

[28] Slika 22: Drveni pod unutar kuće

Dostupno: <https://www.bvg.co.in/solid-wood-flooring/>

[29] EPA, Volatile organic compounds impact on air quality

Dostupno: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>

[30] Organic and natural paint, Zero VOC paint

Dostupno: <https://organicnaturalpaint.co.uk/zero-voc-free-paints/>

[31] Natural Paint UK

Dostupno: <https://www.edwardbulmerpaint.co.uk/>

[32] Slika 23: Zid obojan prirodnom bojom,

Dostupno: <https://www.diasen.com/en/decork-design/>

[33] Auro

Dostupno: <https://auro.de/en/>

[34] Diasen katalog

Dostupno: <https://www.diasen.com/en/cork-based-paints/>

[35] Štirmer N., Banjad Pečur I., Predavanje iz kolegija Građiva

Dostupno: [https://www.grad.unizg.hr/predmet/gra\\_b](https://www.grad.unizg.hr/predmet/gra_b)

- [36] EPA, Brick and Structural Clay Product Manufacturing  
Dostupno: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s03.pdf>
- [37] Metcalf H., Clay Plaster: Pros, Cons and Where to Use It  
Dostupno: <https://www.homebuilding.co.uk/advice/clay-plaster>
- [38] Slika 24: Unutarnji zidovi ožbukani glinenom žbukom,  
Dostupno: <https://clay-works.com/home/141-clayworks-connaught-hotel-interior-clay-plaster-wall-finishes/>
- [39] Light straw-clay  
Dostupno: <https://natural-building-alliance.org/light-straw-clay/>
- [40] Slika 25: Straw-clay zidna ispuna,  
Dostupno: <http://medicineisheart.com/2015/08/natural-wall-systems/>
- [41] Gnezdo.si, Glinena boja  
Dostupno: <https://gnezdo.si/izdelek/ilovnate-barve-nativa/>
- [42] ProLEHM, Glinena žbuka  
Dostupno: <https://www.prolehm.at/technische-daten>
- [43] Slika 26: Nijanse glinenih boja,  
Dostupno: [https://gnezdo.si/wp-content/uploads/2015/03/NIK\\_4284-mala-773x1030.jpg](https://gnezdo.si/wp-content/uploads/2015/03/NIK_4284-mala-773x1030.jpg)
- [44] Časopis Građevinar, Proizvodnja i primjena vapna  
Dostupno: <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-59-2007-04-2.pdf>
- [45] European Lime Association, Benefits of Lime  
Dostupno: <https://eula.eu/benefits-of-lime/>
- [46] *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024., Vapno  
Dostupno: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/vapno>
- [47] Erxi W., Qiaozhi W., Lihua K. Guangquan Z., Study on Carbon Emission Characteristics and Emission Reduction Measures of Lime Production—A Case of Enterprise in the Yangtze River Basin  
Dostupno: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/13/10185>

[48] What is CCS technology

Dostupno: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/what-is-ccs-how-does-it-work>

[49] European Lime Association, Lime as a natural carbon sink

Dostupno:

[https://www.kalk.de/fileadmin/Home/Wissensportal/Pressemitteilungen/2021/EuLA\\_Carbonation\\_Booklet\\_Lime\\_As\\_A\\_Natural\\_Carbon\\_Sink\\_01.pdf](https://www.kalk.de/fileadmin/Home/Wissensportal/Pressemitteilungen/2021/EuLA_Carbonation_Booklet_Lime_As_A_Natural_Carbon_Sink_01.pdf)

[50] Slika 27: Tvornica vapna od proizvođača Fassa Bortolo

Dostupno: <https://www.fassabortolo.co.uk/en/production-sites-and-branches>

[51] Fassa Bortolo Katalog

Dostupno: <https://adriatech.hr/wp-content/uploads/2017/11/FASSA-BORTOLO-KATALOG-PROIZVODA-NA-BAZI-HIDRIRANOG-VAPNA-DEP040-1.pdf>

[52] Gruber H., ESBA, Switzerland's first straw bale settlement

Dostupno: <https://strawbuilding.eu/switzerlands-first-straw-bale-settlement/>

[53] Poffet D., Slike 12. i 13.

Dostupno: <https://www.atelierschmidt.ch/bombasei-naenikon>

[54] ArchDaily, Sports Hall / Lemoal Lemoal Architectes

Dostupno: <https://www.archdaily.com/965794/sports-hall-lemoal-lemoal-architectes>

[55] Dupuis E., Slike 14, 15, 16;

Dostupno: <https://www.archdaily.com/965794/sports-hall-lemoal-lemoal-architectes>

[56] Marina Zajec LinkedIn objava

Dostupno: [https://www.linkedin.com/posts/marina-zajec-53681944\\_arhitekturaeli-marinazajec-strawbuilding-activity-7157658692480385026-t4d4?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/marina-zajec-53681944_arhitekturaeli-marinazajec-strawbuilding-activity-7157658692480385026-t4d4?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

[57] Marina Zajec LinkedIn objava

Dostupno: [https://www.linkedin.com/posts/marina-zajec-53681944\\_arhitekturaeli-marinazajec-strawbuilding-activity-7160563901221199873-vAPN?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/marina-zajec-53681944_arhitekturaeli-marinazajec-strawbuilding-activity-7160563901221199873-vAPN?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

[58] Marina Z., Slike 17, 18, 19

Dostupno: <https://www.marinazajec.com/kuagornjevrpeizvedenoveljaa2013>

## POPIS SLIKA

Slika 1: Nosivi sustav (lijevo) i drveni okvir sa ispunom od slame (desno), izvor: [7] .....	3
Slika 2: Hempcrete, izvor: [13].....	6
Slika 3: Kuća sa krovom od trske, izvor: [22] .....	8
Slika 4: Primjer poprečnog presjeka drvenog poda u sportskoj dvorani, Izvor: [24] .....	10
Slika 5: Drveni pod unutar kuće, Izvor: [28].....	10
Slika 6: Zid obojan prirodnom bojom, Izvor: [32] .....	11
Slika 7: Unutarnji zidovi ožbukani glinenom žbukom, Izvor: [38].....	14
Slika 8: Zidna ispunna od gline i slame, Izvor: [40].....	14
Slika 9: Nijanse glinenih boja, Izvor: [41].....	15
Slika 10: Tvornica vapna proizvođača Fassa Bortolo, Izvor: [50].....	17
Slika 11: Stambeno naselje izgrađeno primjenom drvenih elemenata ispunjenih slamom, Nanikon, Švicarska, Izvor: [52].....	18
Slika 12: Interijer, Izvor: [53].....	19
Slika 13: Proizvodnja predgotovljenih elemenata, Izvor: [54].....	19
Slika 14: Model sportske dvorane s betonom od konoplje, Izvor: [55].....	20
Slika 15: Hempcrete elementi od konoplje, Izvor: [55] .....	21
Slika 16: Završeni zidovi od konoplje, Izvor: [55].....	21
Slika 17: Drvena konstrukcija građevine, Izvor: [58].....	22
Slika 18: Unutarnji zidovi ispunjeni slamom te ožbukani glinenom žbukom, Izvor: [58].....	23
Slika 19: Građevina nakon završetka radova, Izvor: [58].....	23

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Usporedba zidova od slame i opeke, Izvor: [3].....	2
Tablica 2: Usporedba svojstava iz kataloga različitih proizvođača .....	4
Tablica 3: Usporedba svojstava proizvoda od konoplje proizvođača IsoHemp i Schonthaler.....	6
Tablica 4: Karakteristike trske proizvođača Hiss Reet, izvor: [21].....	8
Tablica 5: Svojstva boje od proizvođača Diasen .....	12