

# Mogućnost korištenja bambusa kao građevinskog materijala

---

Pal, Tea

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:157:841169>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-31**



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**

**Tea Pal**

**Mogućnost korištenja bambusa kao građevinskog materijala**

**Završni rad**

**Rijeka, 2023.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Stručni prijediplomski studij  
Građevinski materijali**

**Tea Pal  
JMBAG: 0114033044**

**Mogućnost korištenja bambusa kao građevinskog materijala**

**Završni rad**

**Rijeka, veljača 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.

\_\_\_\_\_  
Tea Pal

U Rijeci, 27.02.2023.



## SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Poznato je da je primjena ekološki prihvatljivih materijala posljednjih godina, koje je moguće reciklirati, sve poželjnija. Izuzetak tome nije ni građevinarstvo. Uz stalna istraživanja i pokuse pronalaze se razni materijali kao alternativa klasičnima. Jedan od njih je i bambus, biljka iz porodice trava, čija je primjena veoma raznolika. Bilo da se koristi kao vanjsko ili unutrašnje uređenje ili dio konstrukcije. Cilj završnog rada je istražiti svojstva bambusa kao građevinskog materijala. Prikazati njegova svojstva i ponašanje te analizirati već gotove konstrukcije uz primjenu raznih sadržaja, literature i laboratorijskih istraživanja.

Ključne riječi: bambus, konstrukcije od bambusa, vlačna čvrstoća, tlačna čvrstoća

## ABSTRACT AND KEYWORDS

It is known that the use of more environmentally friendly materials, which can be recycled, is increasingly desirable in recent years. Construction is no exception to this. With constant research and experiments, various materials are found as an alternative to the classic ones. One of them is bamboo a plant from the grass family, whose application is very diverse. Whether is bit used as external or internal decoration or part of the structure. The aim of the final year project is to investigate the properties of bamboo as a building material. Show its properties and behavior and analyze already made constructions with the application of various contents, literature and laboratory research.

Keywords: bamboo, bamboo constructions , tensile strength, compressive strength

## Sadržaj

1. UVOD.....	2
2. O BAMBUSU .....	4
3. BAMBUS KROZ POVIJEST.....	6
3.1. Azija .....	6
3.2. Amerika .....	9
3.3. Europa .....	9
4. PRIMJENA I SVOJSTVA.....	10
4.1. Prerada .....	10
4.2. Primjena općenito .....	10
4.3. Primjena u građevinarstvu .....	13
4.3.1. Konstruktivni elementi .....	14
4.4. Svojstva bambusa.....	15
5. POZNATE KONSTRUKCIJE OD BAMBUSU.....	20
5.1. Objekti tvrtke Ibuku kao vodeće u primjeni bambusa u visokogradnji.....	20
5.1.1. Alchemy tilem dome .....	20
5.1.2. Moon House .....	22
5.1.3. Aura House .....	23
5.1.4. The Sanctuary area 15.....	24
5.2. Drugi poznati objekti od bambusa .....	25
5.2.1. Najveća gospodarska građevina.....	25
5.2.2. Casa Bambu .....	25
5.3. Primjena bambusa na objekte u niskogradnji.....	26
5.3.1. Jednostavni most od bambusa.....	26
5.3.2. Most kod ušća (Bangladeš) .....	27
5.3.3. Cijevi za vodu.....	28
6. STANDARDI.....	29
7. SPREGNUTE KONSTRUKCIJE SA BAMBUSOM.....	34
7.1. Bambusova vlakna u cementnoj žbuci .....	34
7.2. Bambus prerađen u armaturne šipke .....	35
7.3. Bambus kao oplata.....	36
7.4. Ojačanje tla.....	37
8. PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE BAMBUSOM .....	38

8.1.	Primjer izvođenja jednostavne konstrukcije od bambusa .....	38
8.2.	Usporedba djelovanja vjetra na stup od čeličnog profila i na stabljiku bambusa.....	41
8.3.	Usporedba dimenzioniranja grede sa čeličnom armaturom i armaturom od bambusa .....	43
8.3.1.	Prosta greda sa čeličnom armaturom .....	43
8.3.2.	Prosta greda sa armaturom od bambusa.....	49
8.3.3.	Zaključno .....	51
9.	ZAKLJUČAK .....	52
10.	LITERATURA I IZVORI .....	53

## POPIS SLIKA

Slika 1:	Bambus u prirodi (wikipedia) .....	4
Slika 2:	Rast bambusa kroz godine (Wilson Bros Gardens) .....	4
Slika 3:	Bolesne stabljike bambusa (Gardening know how).....	5
Slika 4:	Produkti bambusa na području Kine (wikipedia).....	6
Slika 5:	Tradicionalna obiteljska kuća (My Pfilippine Life).....	7
Slika 6:	Obiteljska kuća u Indiji (Bamboo House India) .....	8
Slika 7:	Proizvodi od bambusa (izradila autorica) .....	11
Slika 8:	Prerada bambusa po koracima (Desining buildings, the construction wiki).....	13
Slika 9:	Dijelovi bambusa (University of Maryland).....	15
Slika 10:	Mikroskopski prikaz unutrašnjosti presjeka bambusa (Research Gate) .....	16
Slika 11:	Usporedba tlačnih čvrstoća materijala (izradila autorica).....	18
Slika 12:	Usporedba vlačnih čvrstoća materijala (izradila autorica).....	19
Slika 13:	Alchemy tilem Dome [6] .....	21
Slika 14:	Moon House [6] .....	22
Slika 15:	Aura House [6].....	23
Slika 16:	The Sanctuary area 15 [6] .....	24
Slika 17:	Casa Bambu [8].....	25
Slika 18:	Improvizirani most od bambusa [9] .....	26
Slika 19:	Završni izgled mosta [10] .....	27
Slika 20:	Skica sustava za navodnjavanje (IJSR Traditional Irrigation System: Bamboo Dripping System in Meghalaya).....	28
Slika 21:	Oplata od bambusa [12] .....	36
Slika 22:	Izgubljena oplata [16] .....	36
Slika 23:	Potporna konstrukcija od bambusa [13].....	37
Slika 24:	Tlocrt i poprečni presjek (izradila autorica).....	39
Slika 25:	Tlocrt krovišta i uzdužni presjek (izradila autorica) .....	40
Slika 26:	djelovanje vjetra na stabljiku bambusa (izradila autorica).....	41
Slika 27:	Prosta greda sa dijagramima (izradila autorica).....	43
Slika 28:	T presjek [14].....	44
Slika 29:	Prosta greda sa dijagramima (izradila autorica).....	49



## POPIS TABLICA

Tablica 1: Tehnike prerade bambusa [4].....	10
Tablica 2: Primjena bambusa (izradila autorica).....	11
Tablica 3: Oblici bambusa dobiveni različitim tretiranjem tokom rasta [4] .....	12
Tablica 4: Usporedba materijala (LLD GL24h (HRN EN 14080:2013, Gukov I.:Betonske konstrukcije 1, Eurocod applied) .....	18
Tablica 5: Karakteristike komercijalnog i nekomercijalnog korištenja bambusa (izradila autorica).....	31
Tablica 6: Norme i propisi za testiranje (Hindawi) .....	32
Tablica 7: Norme i propisi za projektiranje (Hindawi) .....	33
Tablica 8: Usporedba čvrstoća materijala (Gharpedia: Use of Bamboo as Reinforcement in Building Construction, Gukov I.: Betonske konstrukcije 1).....	35
Tablica 9: Ulazni parametri (izradila autorica) .....	41

## 1. UVOD

Građevinarstvo u modernom dobu nalazi se pod konstantnom potražnjom za novim, bržim, ekonomičnijim i ekološki prihvatljivijim načinima gradnje i materijalima. Održiva gradnja temelji se na iskorištavanju materijala iz prirode, a da se pritom ista ne uništava već se minimalno koristi i štiti. Zbog klimatskih promjena nailazi se na sve više poteškoća u gradnji. Dolazi po potresa i odrona, što rezultira slabljenjem i destabilizacijom tla. Današnja tehnologija omogućava lakše otkrivanje obnovljivih materijala koji su lako dostupni i pritom ne uništavaju okoliš. Jedan od najperspektivnijih materijala je upravo bambus. Biljka rasprostranjena po cijelom svijetu sa dobrim svojstvima i različitim načinim primjene, ali još uvijek ne tako popularna. Prikladna je za vanjsko i unutrašnje uređenje interijera te kao obnovljivi materijal ima veliki potencijal za izgradnju energetski učinkovitih i održivih građevina. Upotreba bambusa mogla bi znatno smanjiti količinu emisija u odnosu na mnoge tradicionalne materijale i odigrati

veliku ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. Uzgoj bambusa ne zahtjeva previše truda, a biljka veoma brzo raste. Isto tako bambus je puno jeftiniji od drva ili betona te sadrži bolja svojstva. Primjenjuje se u raznim granama gospodarstva. Preko kulinarstva do građevinarstva. U građevinarstvu je za sada najpoznatiji po podnim oblogama i skelama. No to ne znači da se u budućnosti neće češće koristiti i kao konstruktivni element. Cilj ovog rada je prikazati bambus kao moderno i efikasno rješenje pristupačno svima, sa svojim boljim i ne tako dobrim stranama.

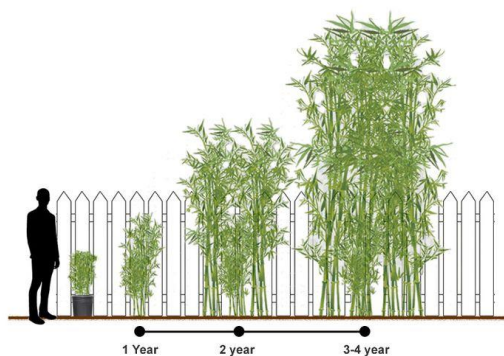
## 2. O BAMBUSU

Bambus je biljka iz obitelji trava iako izgledom ne podsjeća na istu. Kao vrsta je izrazito prilagodljiv. Uspijeva u gotovo svim klimama i jedan je od najraširenijih vrsta (Slika 1). Ime je dobio po nizozemskoj ili portugalskoj inačici malajskog naziva „mambo“. Za vrijeme povoljnih uvjeta doseže prosječnu visinu od 90cm unutar jednog dana.



Slika 1: Bambus u prirodi (wikipedia)

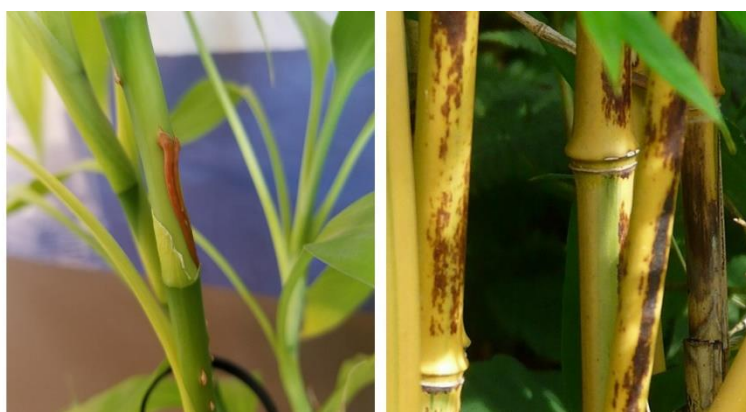
Nema korijenje već rizome koji se šire u zemlji i omogućuju mu rast. Mlade stabljike imaju meku unutrašnjost te su okružene oštrim i uspravnim listovima. Tokom rasta stabljika odrveni i raste kao spoj dijelova prstenastog oblika (Slika 2). Vrijeme sazrijevanja seže između 7 i 10 godina, dok nakon 12 godina njegov životni vijek završava te se stvara prostor za novu biljku. Stabljike tokom rasta mijenjaju boju. Od zelene u početku, preko žute, zelene i smeđe u kasnijem rastu. Listovi su oštri, uskog oblika te se sužavaju prema vrhu. Bambus je trava koja cvjeta jednom u nekoliko desetljeća [1].



Slika 2: Rast bambusa kroz godine (Wilson Bros Gardens)

Cvijet mu je smeđe boje, a nakon cvatnje biljka odumire. Zbog svoje prilagodljivosti rasprostranjen je po svi kontinentima. Autentično raste na područjima tropske klime. Moguće ga je pronaći u oko 1500 različitih vrsta [1].

Iako je veoma izdržljiv, nije potpuno otporan. Najviše ga napadaju gljivične bolesti koje se mogu rasprostraniti po svim dijelovima biljke. Temperature i vanjski uvjeti, za razliku od gljivičnih bolesti, mogu uzrokovati bolesti pojedinih dijelova (Slika 3).



Slika 3: Bolesne stabljike bambusa (Gardening know how)

Možemo reći da je bambus jedna od najznačajnijih komercijalnih biljaka. Jako je izdržljiv, brzo raste i ima ga u velikim količinama. Zbog svega navedenoga i ekonomskog faktora počeo je zamjenjivati druge materijale. Dodatni vjetar u leđa korištenju ovog materijala daje i činjenica da je razgradiv i ekološki prihvatljiv. Kina i Indija su za sada države koje prednjače u njegovom korištenju.

### 3. BAMBUS KROZ POVIJEST

#### 3.1. Azija

Azija je najveći svjetski kontinent sa prisutnim velikim vjerskim utjecajem na arhitekturu i gradnju. Od davnina je okrenuta upotrebi prirodnih, održivih i lako dostupnih materijala za održavanje tamošnjeg ekosustava. U tome prednjači bambus kao biljka sa mnogim prednostima i šarolikom upotrebom.

#### Kina

Korištenje bambusa prvi put se pojavljuje u Kini prije 5000 godina. Početci gradnje vezani su uz gradnju drvenih kućica. Nakon tri tisuće godina počinje prerada bambusa za papir što je omogućilo evidentiranje njegovih vrsta. Bolje poznavanje vrste poticalo je želju za prerađivanjem i korištenjem biljke u različite vrste (Slika 4). Dinastija Ming prva počinje koristiti bambus kao unutarnji građevinski materijal. Uz to koristio se za dobivanje tekstila i kao podne obloge u domovima, kako unutarnje tako i vanjske. Sa dinastijom Tang dolazi do prerade bambusa za dobivanje glazbenih instrumenata. U to vrijeme biljka se također počinje koristiti u kulinarnstvu te ima važnu komponentu u kulturnom nasljeđu [2].



Slika 4: Produkti bambusa na području Kine (wikipedia)

## Filipini

Filipinci za sebe tvrde da su otporni i prilagodljivi, čvrsti i izdržljivi. Stoga sebe poistovjećuju sa bambusom koji je važan dio njihove kulture. Isto tako se bambus kroz ranu povijest smatrao simbolom siromaštva kao i život u kućama od te biljke. Koristili su ga u razne druge svrhe kao što su proizvodnja hrane, alata za poljoprivredu i ribolov, čak i kao gorivo za grijanje. Područje Filipina često je pogađano potresima, a konstrukcije od bambusa pokazale su se odličnima za sprječavanje urušavanja i veće štete. Važno je da su pravilno izgrađene, a bambus prije toga dobro obrađen. Kuće su bile izgrađene odignute od razine tla za oko 1m. Za konstrukciju su se koristili masivniji stupovi od bambusa u uzdužnom smjeru i križali su se sa poprečnima. Na njih su se sa unutarnje strane postavljale obloge od izvezenog bambusa manjih primjera pravokutnog oblika. Prozori su bili izbočeni prema van te u potpunosti zatvoreni bambusom obrađenim u raznim oblicima. Tradicionalne kuće imale su visoko dvostrešno krovšte pokriveno lišćem (Slika 5).



Slika 5: Tradicionalna obiteljska kuća (My Pfilippine Life)

## Indija

Bambus se u Indiji smatra „zelenim zlatom“ iz razloga što na području cijele države raste nešto više od 50% vrsta bambusa što čini okvirno 13% cijele površine. Od davnina se koristi u različitim dijelovima te ga smatraju jednim od najstarijih građevinskih materijala. Indija je druga u svijetu po proizvodnji i korištenju bambusa u građevinske i gospodarske svrhe. Na području cijele države raste oko 50% vrsta bambusa. Od čega razlikuju 10 glavnih vrsta koje koriste za zidove, mostove, stupove i ostale ljudske potrebe. Kao i kod filipinskih kuća, indijske su također odignute od razine tla, ali se nalaze na betonskoj ploči. Linije su pravilnije i profinjenije. Okvirnu konstrukciju ispunjuju fino obrađene bambusove ploče, a otvori su jasno definirani. Krov je dvostrešni, puno niži od onog na Filipinima, sastoji se od greda i podrožnica, a pokriven je pločama (Slika 6).



Slika 6: Obiteljska kuća u Indiji (Bamboo House India)

### **3.2. Amerika**

Iako bambus potječe iz Azije, njegova rasprostranjenost je velika. U Americi postoje tri autohtone vrste bambusa [3] poznatiji kao :

- Š Trska
- Š Riječna trska
- Š Brodska trska

Njihova visina je u rasponu 0,5 m-8 m. Razmnožavaju se vegetativno, grupno cvjetaju, a nakon toga odumiru. Domoroci su od bambusa pravili štapove koji su im služili za lov i ribolov kao i izgradnju kuća.

Danas se bambus u Americi pretežito koristi za zaštitu od vjetra i dobivanje privatnosti kombinacijom sa ogradama.

### **3.3. Europa**

Europa nema svoje autohtone vrste, a sve vrste bambusa koje danas rastu dobila je uvozom iz Azije. Bambus je u modernom svijetu počeo biti poznat u prošlom stoljeću te još uvijek nije u čestoj upotrebi u ovom dijelu svijeta iako se sve više prihvaća kao zamjena za druge materijale.



## 4. PRIMJENA I SVOJSTVA

### 4.1. Prerada

Kako bismo bambus mogli koristiti kao građevni materijal potrebno je provesti preradu koja se vrši na nekoliko načina pomoću kojih dobivamo željeni oblik i duljinu (Tablica 1). Obrada je potrebna kako bi zaštili proizvod od truljenja i insekata prije same upotrebe. Postupak koji se najčešće koristi je takozvano kuhanje izrezanog bambusa kako bi se uklonio škrob iz biljke. Kao alternativa može se koristiti mješavina boraksa i borne kiseline.

Tablica 1: Tehnike prerade bambusa [4]

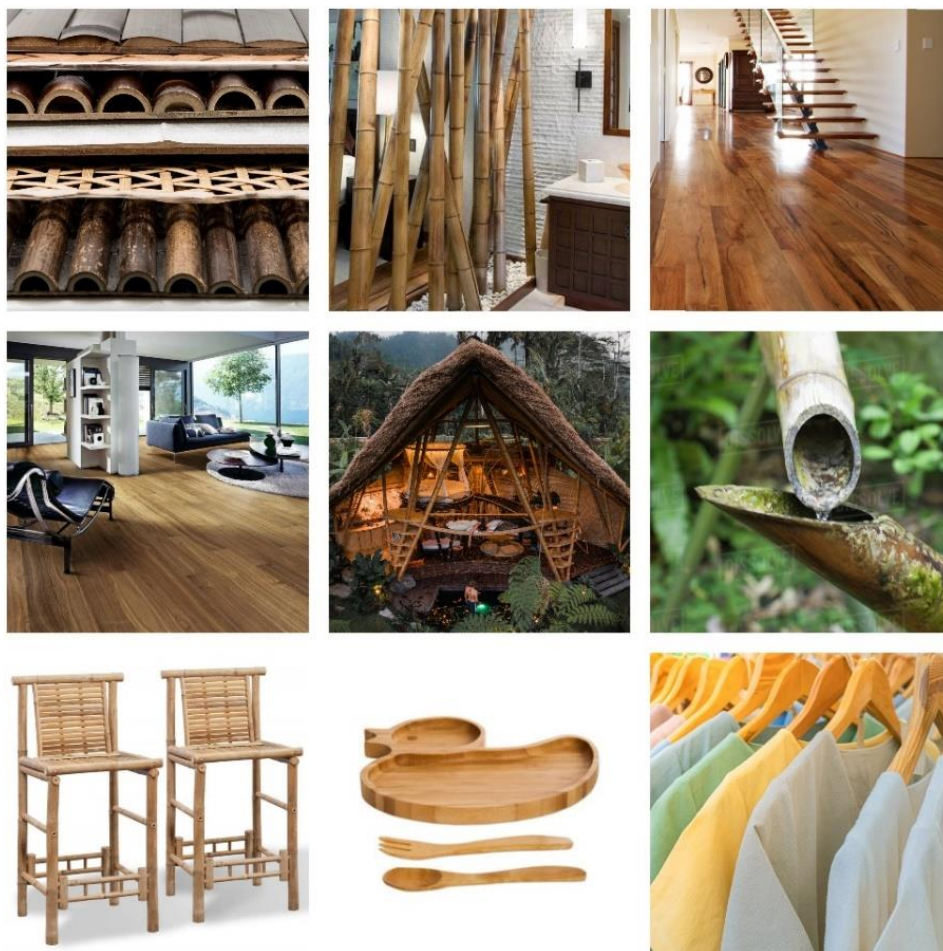
PRERADA BAMBUSA	
cijepanje	Štapovi se dijele na polovine ili četvrtine pomoću noža te se zatim odvajaju klinom. Dobiva se 4 do 8 segmenata po jednom štapu. Finalni proizvod su užadi i strune.
oblikovanje	Bambus je prirodno kvadratnog oblika. Dodatnim oblikovanjem u kvadratnim kutijama dobiva se kvadratni oblik.
savijanje	Savijanje se vrši na sviježe rezanoj biljci zagrijavanjem na 150° C. Oblik će se zadržati nakon sušenja i hlađenja.

### 4.2. Primjena općenito

Danas se bambus koristi na mnoge načine (Tablica 2, Slika 7). Kao zamjena za drvo počeo se primjenjivati u 20.stoljeću uz izbjegavanje nedostataka kada su istraživači pronašli način za izbjeći probleme vezane uz šuplje i uske stabljike tankih stijenki. Rezanjem i blanjanjem stabljika u daske uspjeli su dobiti zamjenu za drvene podove i daske.

Tablica 2: Primjena bambusa (izradila autorica)

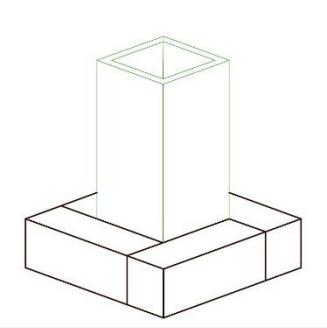



PRIMJENA		
<i>gospodarstvo</i>	<i>visokogradnja</i>	<i>niskogradnja</i>
gastronomija	nosiva konstrukcija	vodovodne cijevi
tekstil	uređenje interijera i eksterijera	žlijebovi
alati	pregrade	mostovi



Slika 7: Proizvodi od bambusa (izradila autorica)

Strukturne oblike dobivene različitim tretiranjem tijekom rasta dijelimo u 4 glavne vrste: kvadratni, lučni zakrivljeni i ravni. Pojašnjenje podjele slijedi u tablici (Tablica 3).

Tablica 3 < " Q d n k e k " d c o d w u c " f q d k x g p k [4] t c | n k

Oblici bambusa dobiveni različitim tretiranjem tokom rasta		
	<p><b>Kvadratni</b></p>	<p>Nastaje kompresijom unutar četvrtastog presjeka. Zahtjeva posebnu tehniku tokom rasta Zbog neobičnog oblika puno je skuplji od klasičnog bambusa</p>
	<p><b>Lučni</b></p>	<p>Dobiven kompresijom biljke tokom rasta u željeni oblik. Takav oblik je jeftiniji u odnosu na isti oblik dobiven iz drveta.</p>
	<p><b>Zakrivljeni</b></p>	<p>Tradicionalni oblik dobiven primjenom topline i pritiska.</p>
	<p><b>Ravni</b></p>	<p>Zakrivljeni oblici bambusa najčešće se koriste u dekorativne svrhe i za namještaj, dok su ravni oblici idealni kao zidne i podne obloge.</p>

### 4.3. Primjena u građevinarstvu

U građevinarstvu se bambus najčešće upotrebljava u obliku pune masivne ploče ili bloka. Od pločastih oblika se kasnije dobivaju različiti proizvodi poput parketa, obloga, letvi, traka i furnira. Moguće ga je koristiti za gradnju objekata, podlogu puteva ili kao armaturu konstrukcija u kombinaciji sa čelikom.

Na sljedećoj slici (Slika 8) prikazan je postupak prerade stabljike bambusa pomoću topline i pritiska u parket, ploče, te lukove.



Slika 8: Prerada bambusa po koracima (Desining buildings, the construction wiki)

#### **4.3.1. Konstruktivni elementi**

##### Ploče

Ploče su debljine 6-7 mm za horizontalno položene trake i do 20 mm za vertikalno slijepljene trake. Duljine i širine ploča moguće je prilagoditi ovisno o potrebama finalnog proizvoda. Ploče se mogu međusobno slijepiti u troslojne ili višeslojne ploče.

##### Temelji

###### Š Vrste temelja

- Temelji u direktnom kontaktu sa površinom tla
- Pričvršćeni na stijene ili betonske temelje
- Kompozitni betonski stupovi ili stupovi od bambusa
- Piloti

###### Š Oblici temelja

- Spljošteni, dobiveni cijepanjem, a zatim valjanjem i ravnanjem
- Prostirke od bambusa dobivene tkanjem

##### Zidne konstrukcije

Bambus se koristi za izgradnju pregrada i zidova. Glavni elementi su stupovi i grede koji daju oblik konstrukciji.

Koristi se kao ispuna između elemenata radi pojačavanja stabilnosti.

##### Krovne konstrukcije

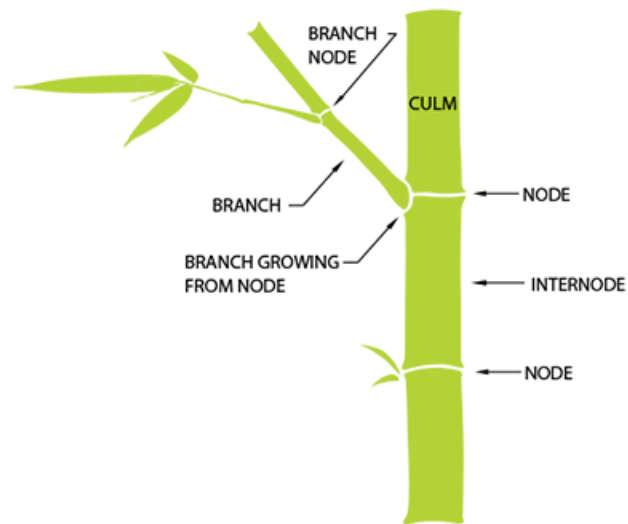
Bambus daje čvrstoću konstrukciji. Lagan je i jednostavan za ugradnju. Krovna konstrukcija se sastoji od greda, rogova i rešetki.

##### Skele

Moguća je primjena za konstrukcije velike visine. Nastavci od trske se vežu pomoću užadi koja je postavljena tako da se zglobovi uvijek mogu izravnati u pravi kut, ukoliko dođe do pomicanja.

#### 4.4. Svojstva bambusa

Kako bi mogli provoditi ispitivanja potrebno je poznavati samu biljku (Slika 9). Bambus raste iz rizoma (podzemne stabljike). Glavni vanjski dio biljke je drvenasta prstenasta stabljika. Uobičajeno je šuplja i raste u razgranate skupine. Stabljike bambusa imaju čvorove između dva internodija. Njihova uloga je jačanje stabljike. Debljina stijenke bambusa može varirati od tankih do čvrstih te se razlikovati po obliku, boji i mirisu.



Slika 9: Dijelovi bambusa (University of Maryland)

Faktori koji utječu na mehanička svojstva bambusa:

- Smjer vlakana

Uzdužni smjer vlakana poklapa se sa smjerom rasta bambusa i odgovara smjeru bambusovih celuloznih vlakana (Slika 10). Time se povećava njegova vlačna čvrstoća.

- Vlažnost

Što je niži sadržaj vlage u stabljikama to je veća njihova gustoća i snaga.

Visok sadržaj vlage u bambusu onemogućava potpuno sušenje i time pruža otvor za napad gljivica i smanjenje kvalitete. Također prekomjerna vlažnost u bambusu može dovesti do cijepanja betona ili cementne žbuke u unutrašnjosti.

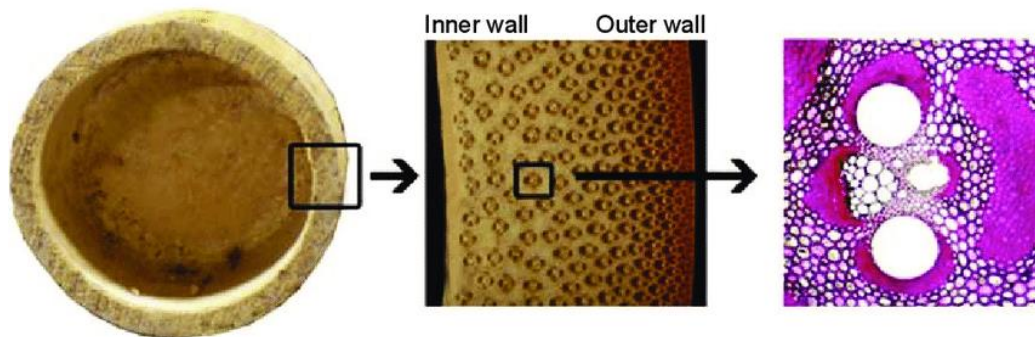
- Debljina i promjer stijenke

Što je stijenka deblja, to ima veću tlačnu čvrstoću.

Za stupove i rešetke promjer bambusa trebao bi biti najmanje 100 mm sa 10 mm debljine stijenke. Debljina i promjer stijenke kod bambusa su različiti na različitim mjestima, stoga je potrebno kod proračuna uzeti njihovu srednju vrijednost.

- Udaljenost između čvorova

Udaljenost između čvorova je različita na različitim visinama stabljike bambusa. Ona se postepeno povećava u smjeru rasta. Također, u čvorovima ima više vlage od ostatka biljke. Oni mogu biti točka slabosti kod tlačnog opterećenja.



Slika 10: Mikroskopski prikaz unutrašnjosti presjeka bambusa (Research Gate)

Prednosti bambusa [5]:

- Š Vlačna čvrstoća

Čvrstoća na vlak je kod bambusa veća od čvrstoće na tlak zbog elastičnih vlakana koja su prisutna u unutrašnjosti biljke, a protežu se aksijalno. U usporedbi s čelikom, vlačna čvrstoća bambusa veća je od vlačne čvrstoće čelika

- Š Tlačna čvrstoća

Bambus ima veliku tlačnu čvrstoću, što je cijev tanja čvrstoća je veća

- Š Elastičnost

Modul elastičnosti jedno je od najvažnijih svojstava bambusa, na njegovu vrijednost utječe nakupljanje jakih vlakana u stijenki bambusove cijevi.

Poželjan je u područjima koja su sklona potresima

Š Vatrootpornost

Sposobnost odupiranju vatri je vrlo visoka. Bambus može izdržati temperature do 4000° C zbog prisutnosti visoke vrijednosti silikatne kiseline i vode.

Š Težina

Zbog male težine lako se premješta time je olakšana izgradnja i transport

Nedostaci bambusa [5]:

Š Skuplja se više u odnosu na drvo i druge materijale pa je važno spriječiti gubitak vode ukoliko se on koristi kao građevinski materijal.

Š Može doći do bubrenja i sakupljanja bambusa u betonu jer može apsorbirati vodu tijekom lijevanja i stvrdnjavanja betona

Š Ukoliko nije dobro tretiran podložan je napadima gljivica ili insekata

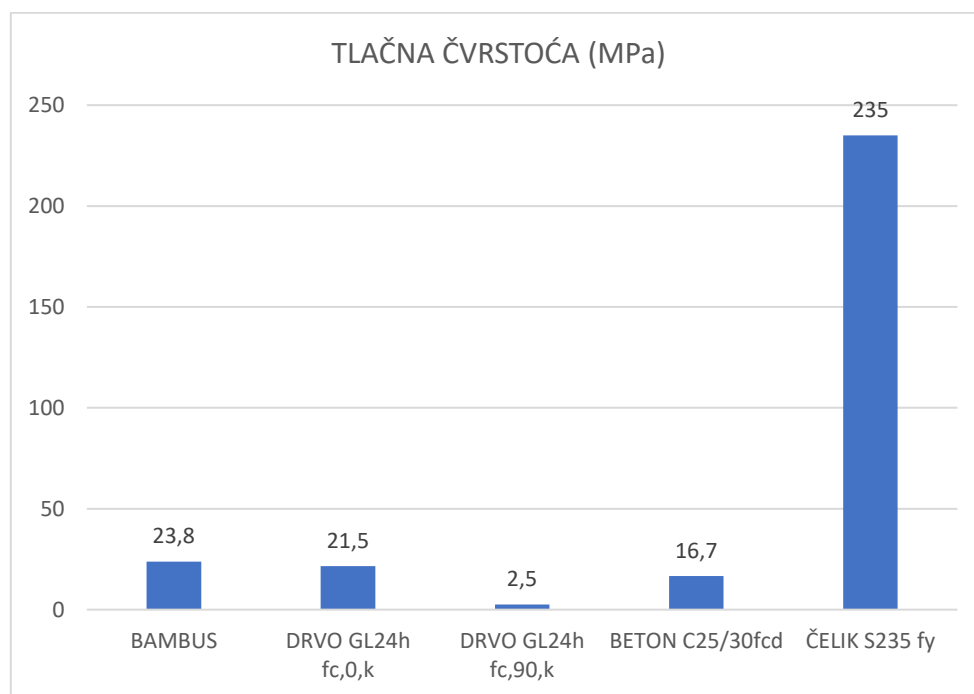
Š Iako ima raznih tehnika izvođenja spojeva od bambusa i sa bambusom trajanje takvih konstrukcija je upitna te ovisi o raznim faktorima

U sljedećoj tablici (Tablica 4) napravljena je usporedba često korištenih građevinskih materijala sa standardnim vrijednostima sa pripadajućim grafom za tlačne čvrstoće (Slika 11) i vlačne čvrstoće (Slika 12). Vrijednosti bambusa nisu detaljno definirane jer bi za svaku vrstu trebalo napraviti zasebno ispitivanje, a njih u prirodi ima previše. Tim više, na našem području je prisutan mali postotak te biljke. Kao što je ranije navedeno na svojstva bambusa utječu razni faktori kao što su smjer vlakana, vremenski uvjeti, područje na kojem raste te sama starost bambusa.

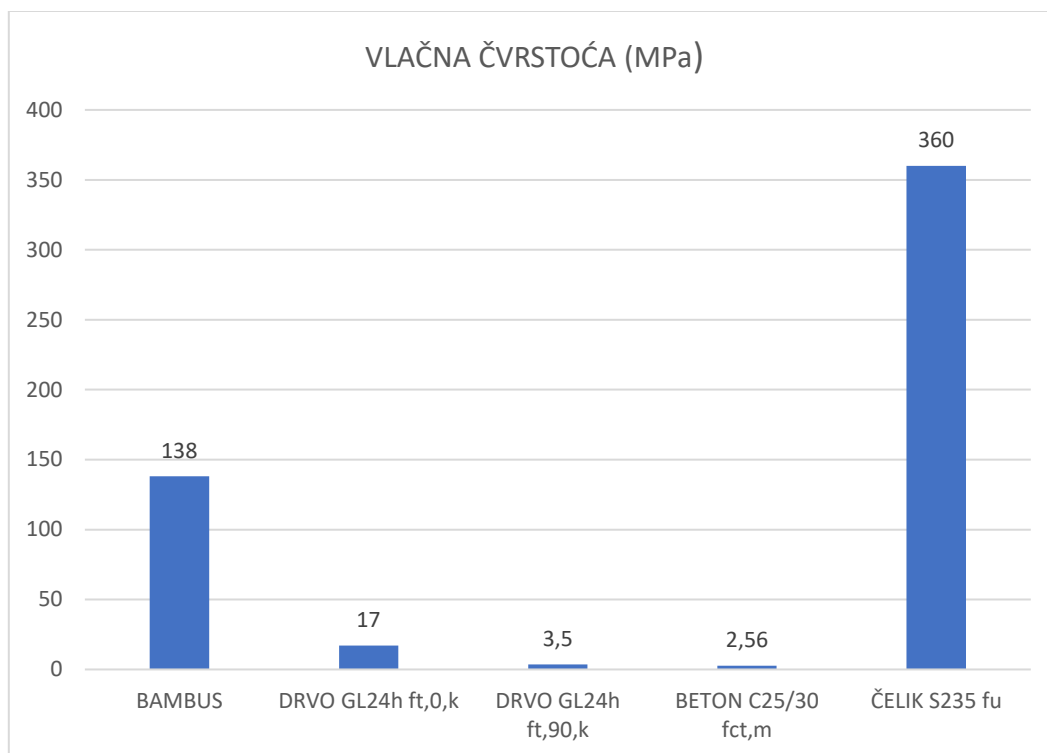


Tablica 4: Usporedba materijala (LLD GL24h (HRN EN 14080:2013, Gukov I.:Betonske konstrukcije 1, Eurocod applied)

Usporedba materijala			
Bambus	Drvo GL24h	Beton C25/30	Čelik S235
Tlačna čvrstoća ≈ 23,8 MPa	$f_{c,o,k}=21,5$ MPa $f_{c,90,k}=2,5$ MPa	$f_{cd}=16,7$ MPa	$f_y=235$ MPa
Vlačna čvrstoća ≈ 138 MPa	$f_{t,0,k}=17$ MPa $f_{t,90,k}=3,5$ MPa	$f_{ct,m}=2,56$ MPa	$f_u=360$ MPa



Slika 11: Usporedba tlačnih čvrstoća materijala (izradila autorica)



Slika 12: Usporedba vlačnih čvrstoća materijala (izradila autorica)

Gdje su:

*GL24h* kombinirano lijepljeno lamelirano drvo

*S235* opći konstrukcijski čelik ( $t \leq 40\text{mm}$ )

$f_{c,0,k}$  karakteristična tlačna čvrstoća paralelno s vlaknima

$f_{c,90,k}$  karakteristična tlačna čvrstoća okomito na vlakna

$f_{t,0,k}$  karakteristična vlačna čvrstoća paralelno s vlaknima

$f_{t,90,k}$  karakteristična vlačna čvrstoća okomito na vlakna

$f_{cd}$  tlačna čvrstoća betona

$f_{ct,m}$  vlačna čvrstoća betona

$f_{v,k}$  karakteristična vrijednosti čvrstoće na posmik

$f_y$  granica popuštanja čelika

$f_u$  vlačna čvrstoća čelika

## **5. POZNATE KONSTRUKCIJE OD BAMBUSA**

U ovom poglavlju analizirat će se neke od poznatijih konstrukcija od bambusa. Poglavlje je podijeljeno na visokogradnju i u niskogradnju sa primjerima.

### **5.1. Objekti tvrtke Ibuku kao vodeće u primjeni bambusa u visokogradnji**

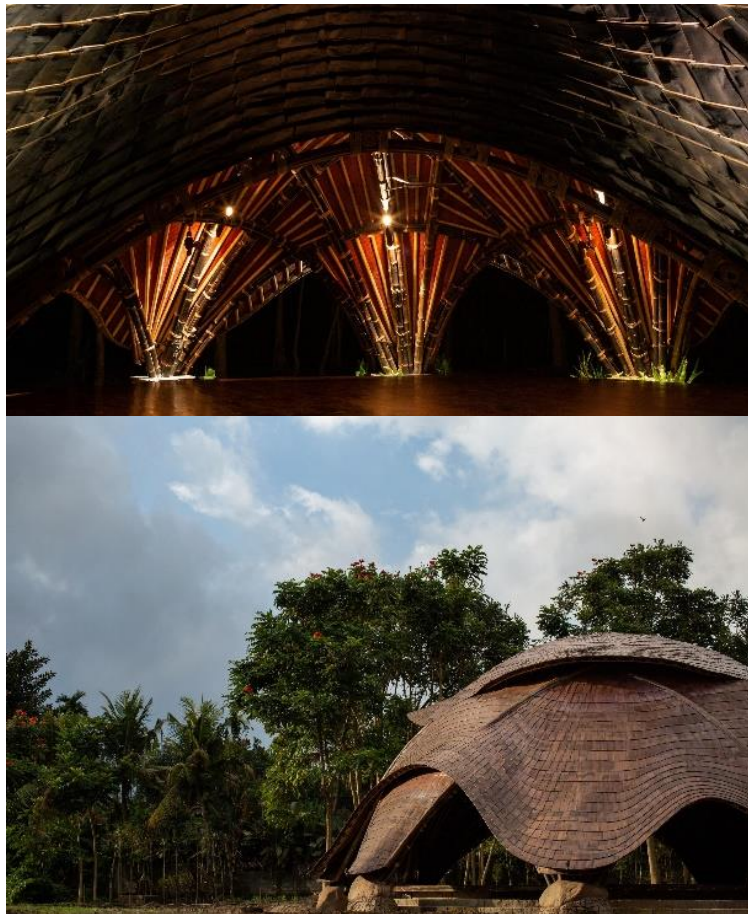
Kao vodeća u svijetu, što se primjene bambusa kao osnovnog materijala tiče, ističe se tvrtka Ibuku koja se primarno bavi konstrukcijama i namještajem od bambusa. Osnovani su 2010. od strane Kanadanke Elore Hardy sa sjedištem u Baliju. Tvrtku čini tim od 25 mladih inženjera, dizajnera i arhitekata koji kontinuirano rade na istraživanjima i novim idejama. Njihovi projekti su inovativni i maštoviti. Spajaju prirodne materijale i luksuzan dizajn. Ostvarili su preko 90 različitih projekata u sjeveroistočnoj Aziji i Africi. Zbog svojih specifičnih konstrukcija i novog pogleda na gradnju postali su globalno poznati.

Osnivači tvrde kako su odabrali bambus zbog njegove snage, ljepote i fleksibilnosti te zbog toga što je radi svojeg četverogodišnjeg ciklusa rasta ekološki najsavjesniji građevinski materijal. Isto tako su svjesni trenda korištenja retro dizajna i tradicionalnih materijala te žele biti manje „loši“ od svih ostalih, a samim time potpuno drugačiji [6]. U nastavku će se analizirati neki od njihovih projekata.

#### **5.1.1. *Alchemy tilem dome***

Jedan od najpoznatijih projekata je Alchemy tilem dome (Slika 13), idealan za posjetitelje koji vole prirodu i yogu. Uključuje dvije sale za yogu, dvije kupaonice, trgovinu i recepciju. Vanjski prostori su uređeni raznim biljem specifičnim za to područje te vodenim vrtovima. Prostor je otvorenog koncepta i nepravilnog oblika bez klasičnih ravnih stupova već lučnih konstrukcija temeljenih na 9 pozicija. Obje sale su ručno izrađene bakrenom šindrom poznatom po svojoj izdržljivosti. Struktura prve sale je načinjena od crnog bambusa sa stropom tamnocrvene boje dok je pod izveden od tamnog drva. Prostor nema prozore ni zidove već se krov spušta do razine poda. Time

je napravljena igra svjetlosti kojima ona prodire iz raznih kutova ovisno o dobu dana. Cilj takvog dizajna bio je nadahnut slobodom kretanja i bistrog uma. Druga sala se razlikuje materijalima od prve, dok je dizajn konstrukcije dosta sličan. Struktura je načinjena od plavog bambusa, a pod je izveden od prirodnog blata dobivenog pomoću vapnenca, zemlje i gline. Dodatni zidovi su izvedeni od iste mješavine. Lukovi bambusa lebde iznad glave i uokviruju pet vrpca krova od rešetke. Sala sadrži krovne prozore kroz koje ulazi sjetlo pa djeluje otvorenije i slobodnije od prve.



Slika 13: Alchemy tilem Dome [6]

### 5.1.2. *Moon House*

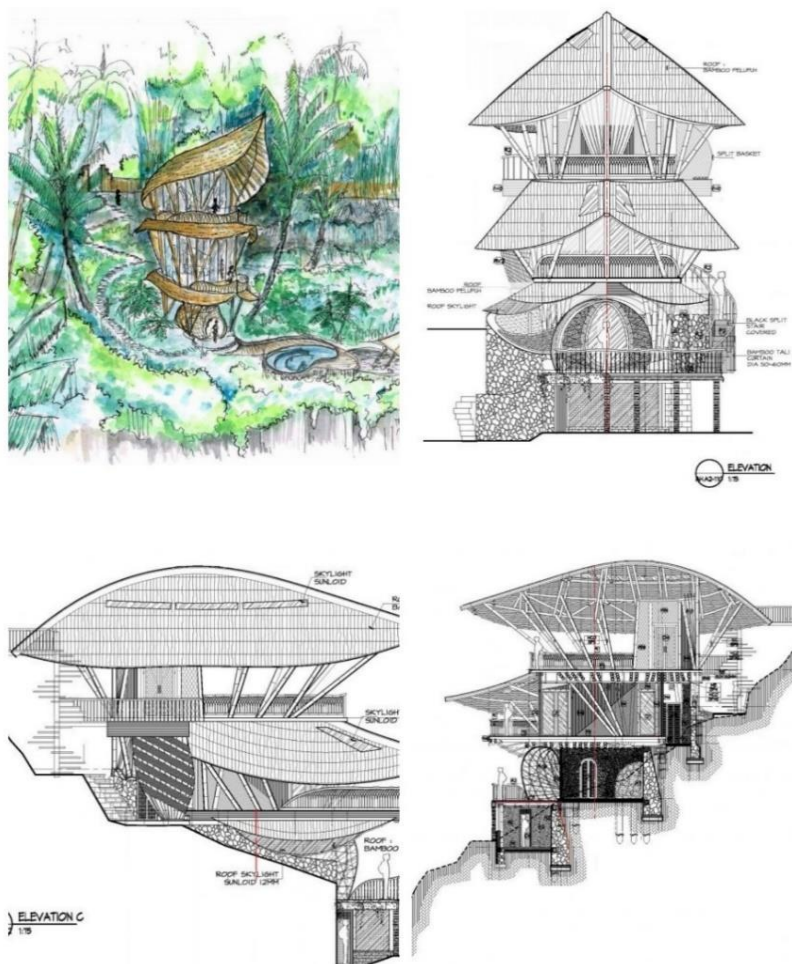
Objekt otvorenog tlocrta sa direktnim pogledom na prirodu uz obalu rijeke. Stvara dojam lebdenja u zraku (Slika 14). Kao što samo ime govori kuća drži oblik polumjeseca. Nema zidova jer se rešetkasti strop pokriven bambusovim pločama spaja u dvije točke sa razinom poda dok je ostatak otvoren i bez zaštite. U objektu se nalazi spavaća soba sa otvorenom terasom koja je napravljena od mreže na kojoj je moguće čak i spavati. U mjesečevu kuću se dolazi kamenim, skoro pa potpuno nepravilnim stepenicama koje su stopljene sa okolišem okolo objekta.



Slika 14: Moon House [6]

### 5.1.3. *Aura House*

Aura je kaskadno izgrađena kuća u šumi visokih stabala sakrivena od vanjskih pogleda. Sa površinom od sto metara kvadratnih i svega dvije spavaće sobe. Izgrađena je od finog plavog bambusa okruglog presjeka gusto poredanog jednog do drugog sa zahtjevnom terasastom konturom [6]. Kuća ima tri strane od koje svaka priča svoju priču, sa ulazom preko drvenog mostića sa gornje strane na otvorenu terasu. Spiralne stube povezuju najgornju terasu sa spavaćim sobama te najnižom manjom terasom dok staklene stijene pružaju zaštitu od vanjskih utjecaja i protežu se od poda do stropa etaže. Strop je nepravilnog oblika sa pridržanjima od kosih stupova sa s svih triju strana te krovnim prozorima na vrhu kako bi se dobivala dovoljna količina prirodne svjetlosti (Slika 15).



Slika 15: *Aura House* [6]

#### 5.1.4. *The Sanctuary area 15*

Ovaj neobičan objekt nalazi se u Las Vegasu. On je četvrtastog oblika koji izgleda kao zatvorena crna kutija [6]. Služi za razna događanja poput koncerata, izložbi i slično. Ideja je bila pomoću bambusa, unutar te crne kutije, napraviti konstrukciju koja izgledom podsjeća na vulkan (Slika 16). Tako da se zapravo govori o objektu unutar objekta. Arhitekti su u dizajnu koristili prijenosne temeljne točke koje su izgrađene od prerađenih spremnika propana, bambusovih greda i membranskog krova. Konstrukcija vulkana je napravljena na Baliiju, gdje je sjedište tvrtke, prije transporta je rastavljena i nakon transporta ponovno sastavljena. Objekt je ispunjen plavim led svjetlima koja upotpunjuju interijer te se dobiva tajanstven ugođaj idealan za namjenu objekta.



Slika 16: The Sanctuary area 15 [6]

## 5.2. Drugi poznati objekti od bambusa

### 5.2.1. Najveća gospodarska građevina

Prema podacima iz Građevinara u Sibangu se nalazi najveća gospodarska građevina od bambusa. Radi se o projektu proizvođača čokolade Big Tree Frame sa sjedištem u jugoistočnoj Aziji. Površine je 8077 m<sup>2</sup>, te se koristi kao uredska zgrada i tvornica čokolade. Cilj projekta bio je stvaranje jeftine i održive proizvodnje zbog preporoda siromašnijih i gospodarski slabijih dijelova svijeta. Građevina se sastoji od tri etaže ukupne visine 15 m. sadrži dva spremnika kišnice i dva jezera puna obrađene vode koja služi kao tehnološka voda za sanitarne prostore. U zgradi se osim uredskih prostora i pogona za proizvodnju nalazi mjesto za odmor, kafić te skladište. [7]

### 5.2.2. Casa Bambu

Casa Bambu je objekt smješten u Brazilu površine 185 m<sup>2</sup> napravljena od betona sa oblogom od bambusovih panela [8]. Objekt je otvorenog tlocrta sa dnevnim boravkom odvojenim od spavaće zone sa tri spavaće sobe i zasebnim kupaonicama. Bočna zaštita osigurana je kamenim zidovima dok je na terasi izvedena nadstrešnica radi hladovine (Slika 17). Veći dio je napravljen od bambusa. Svi unutarnji zidovi i namještaj, te podne obloge dok su vanjski zidovi obloženi. Specifično je to što je orijentacija kuće napravljena tako da se kao prirodna ventilacija može koristiti energija vjetra.



Slika 17: Casa Bambu [8]



### 5.3.Primjena bambusa na objekte u niskogradnji

Mostovi od bambusa najčešći su na području Azije. Izvode se od štapova, užadi i motki. Za razliku od klasičnih mostova, bambusov je manje izdržljiv te manje ljudi može prolaziti njime u isto vrijeme. Prije se uništava zbog slabe otpornosti na kišu i vlagu. Bambus je također poznat za izradu sustava za navodnjavanje u manje razvijenim područjima. Unatoč tome korištenje ovog materijala je i dalje aktualno zbog cijene i dostupnosti.

#### 5.3.1. Jednostavni most od bambusa

Most je izgrađen od strane šestero mladih turista koji su željeli pomoći lokalnom stanovništvu koje je imalo problema sa prelaženjem rijeke(*Slika 18*). Pošto ovo nije bio službeni projekt most nema ime. Izvedba je bila improvizirana, bez proračuna. Koristi su bambus za strukturu mosta. Povezivali su sve dijelove užadi te su koristili drvene daske kao bazu. Dužina mosta iznosi 400m. Most služi za prijelaz pješacima, kolima sa teretom i nekoliko manjih automobila [9].



Slika 18: Improvizirani most od bambusa [9]

### 5.3.2. *Most kod ušća (Bangladeš)*

Prije izgradnje novog mosta, stanovnici su se koristili tradicionalnim mostom izgrađenim od bambusa. Takav most mogli su prelaziti samo ljudi, jedan iza drugog zbog malih dimenzija. Stoga je krenula izgradnja novog, većeg mosta. Bambus se rušio u šumi kraj sela te nije bilo tvorničke obrade. Rezan je na pola i uklonjeno je lišće kako bi ostala samo tvrda kora. Za potrebe mosta srušeno je oko 70 komada bambusa [10].

#### - Izgradnja

Prvi korak je postavljanje armirano betonskih stupova dimenzija 15 x 15 cm, sa dvije armaturne šipke, na svaka tri metra. Stupovi imaju utor za gredu koja se stavlja poprečno na njih. Postupak je ponavljan na svakom rasponu. Njihov spoj veže se žicom u nekoliko slojeva. U sredinu raspona širine mosta dodana je greda. Poprečne i uzdužne grede povezane su čavlima. Tako je dobiven kostur mosta. Ispod se dodaju dijagonalna ojačanja koja služe i za stabilizaciju konstrukcije. Pod mosta izražen je od prepolovljenih dijelova bambusa koji su ispleteni u cjelinu. Nakon što je most stabilan pod se spaja na ostatak konstrukcije čavlima. Na kraju je dodana ograda visine 1m povezana na isti način (Slika 19).



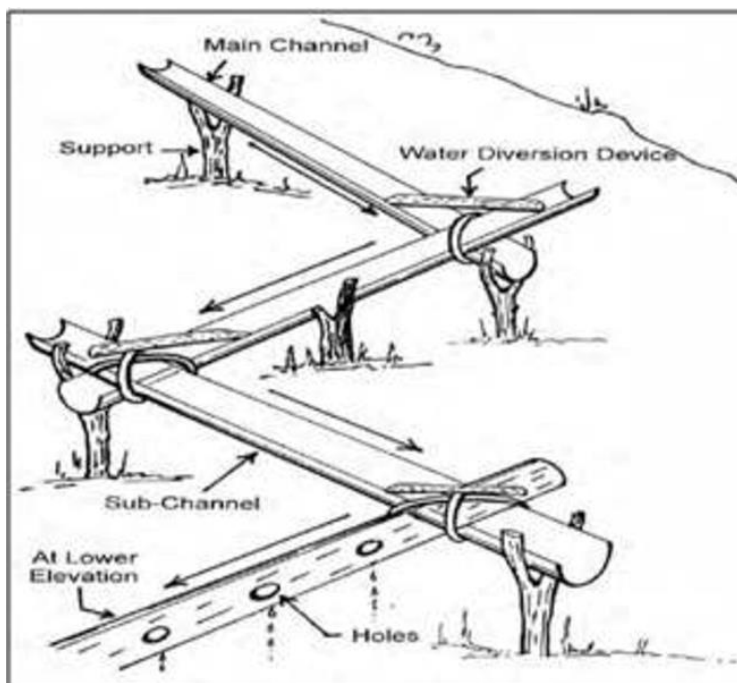
Slika 19: Završni izgled mosta [10]

### 5.3.3. Cijevi za vodu

Bambusova vlakna su visoke vlačne čvrstoće. Radi poravnanja tih vlakana po obodu cijevi, dobivamo proizvod visoke čvrstoće koji je duktilan i otporan na tlak. Za izgradnju kanala i odvodnih cijevi koriste se bambusi različitih promjera.

Stabljike bambusa prerezane su na pola u uzdužnom smjeru. Služe kao kanali i skretnice za vodu. Kanali se postavljaju iznad razine tla u obliku slova Y. Povezani su užetom ili trakama. Sustav se temelji na gravitaciji. Omjer primarnog kanala sa tercijarnim određuje količinu vode koju će biljke na kraju dobivati (Slika 20).

Ovakav sustav jednostavan je za izgradnju, ekonomičan i ekološki prihvatljiv. Unatoč svim pozitivnim karakteristikama i dalje se većinom koristi u Azijskim siromašnim krajevima.



**Figure 1:** Construction Sketch of the system

Slika 20: Skica sustava za navodnjavanje (IJSR Traditional Irrigation System: Bamboo Dripping System in Meghalaya)

## 6. STANDARDI

Sastavni dio svakog projekta su standardi (norme) i propisi po kojima se gradi sa ciljem zaštite potrošača, radnika i okoliša. Oni daju uvid u materijale, strukturu i način izrade nekog objekta. Želimo li da bambus bude međunarodno priznati materijal, potrebno ih je detaljno definirati.

Zahtjevi koje je potrebno ispunjavati [5]:

- Zaštita potrošača
- Zaštita okoliša
- Smanjenje troškova proizvodnje
- Zadovoljeni minimalni standardi rada, zaštita na radu
- Zaštita stanovnika
- Zahtjevi tržišta

Ciljevi kojima se teži u standardima [5]:

- Prihvatanje za određeno tržište
- Gradnja u skladu sa tradicijom
- Korištenje što više materijala sa odabranog područja
- Usklađivanje potreba masa
- Usklađivanje sa ekonomskim potrebama i mogućnostima
- Sprječavanje prenapučenosti

Možemo zaključiti kako bi standardi trebali definirati barem minimalnu razinu kvalitete zbog sprječavanja katastrofa i smanjenja zdravstvenih rizika. Također bi trebali biti prilagođeni određenome području.

Problem sa bambusom je taj što se međunarodni standard za bambus pojavljuje tek početkom 2000.godine. poznato je da se bambus koristi od davnina, ali mu manjak propisa ne ide u prilog. Time se smanjuje njegova popularnost i želja za uvođenjem u gradnju te mu je ograničen razvoj. Želimo li u top pogledu izjednačiti bambus sa ostalim

materijalima potrebno je postignuti konsenzus sa Međunarodnom organizacijom za standardizaciju ( ISO- The International Organization for Standardization) .

Prednosti standarizacije bambusa:

- Inženjersko priznanje
- Ugovorne prednosti
- Trgovačke prednosti

Priznati model trebao bi sadržavati [5]:

- Filozofski aspekt
- Strukturnu sigurnost
- Ispitivanje materijala sa definiranim postupkom i navedenom vrstom testova i dobivena svojstva materijala
- Utvrđena pravila za proračun konstrukcijskih elemenata
- Način izvedbe spojeva
- Mogućnost korištenja bambusa kao armature
- Ponašanje za vrijeme prirodnih katastrofa
- Sustav ocjenjivanja koji je važan za razvoj tržišta materijala
- Trajnost i očuvanje konstrukcije
- Transport materijala

Kako bi definirali sve navedeno potrebno je veoma dobro poznavanje biljke što još uvijek nije moguće radi prevelikog broja različitih vrsta bambusa.

Također su prisutne razlike u cijevima u komercijalnom i nekomercijalnom korištenju koje su navedene u sljedećoj tablici (Tablica 5).

Tablica 5 < " M c t c m v g t k u v k m g " m q o g t e k l c n p a q i z r a d i l k a " p g m q o g t a u t o r i c a )

Karakteristike komercijalnog korištenja bambusa	Karakteristike nekomercijalnog korištenja bambusa
Osiguravanje zdravog okoliša	Poboljšanje standarda higijene
Smanjenje strukturnih i funkcionalnih kvarova	Smanjenje štete od prirodnih katastrofa
Poboljšanje kvalitete i ekonomičnost građenja	Zadovoljavanje potreba vlasnika
Očuvanje interesa zajednice	Edukacija o materijalu i njegovim mogućnostima

Iako sve gore navedene činjenice otežavaju standardizaciju bambusa do sada je objavljen dovoljan broj standarda i kodova kako bambus kao materijal ne bi bio toliko zanemaren. Svakodnevno se radi na ispitivanjima i proučavanju te biljke.

U nastavku su navedene tablice sa popisom, do sada poznatih, standarda i kodova vezanih uz korištenje i ispitivanje sa godinom izdavanja i područjem na kojem su odobreni (Tablica 6 , Tablica 7).

Norme i propisi za testiranje (tablica 6):

Tablica 6: Norme i propisi za testiranje (Hindawi)

Internacionalne	
2004	ISO 22157-1 Bamboo—Determination of Physical and Mechanical Properties—Part 1: Requirements (ISO, 2004b) ISO
2004	ISO 22157-2: Bamboo—Determination of Physical and Mechanical Properties—Part 2: Laboratory Manual
Kina	
2007	JG/T 199: A testing method for physical and mechanical properties of bamboo used in building [15]
1995	GB/T 15780: Testing methods for physical and mechanical properties of bamboo
Indija	
2012	IS 6874: Method of tests for bamboos
2010	IS 6874: Method of tests for round bamboos [16]
2008	IS 6874: Method of tests for round bamboos [17]
1976	8242: Method of test for split bamboo
1973	IS:6874: Method of test for round bamboo
Kolumbija	
2007	NTC 5525: Me' todos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Meca' nicas de la Guadua angustifolia Kunth (methods and tests to determine the physical and mechanical properties of Guadua angustifolia Kunth)
Sjedinjene Američke Države	
2013	ASTM D5456: Standard specification for evaluation of structural composite lumber products

Norme i propisi za projektiranje (tablica 7)

Tablica 7: Norme i propisi za projektiranje (Hindawi)

Internacionalne	
2004	ISO 22156 Bamboo—Structural Design
2018	ISO 19624 Bamboo structures—Grading of Bamboo Culms—Basic Principles and Procedures
Kina	
2014	GB/T 30762: Quality grading standards of main bamboo shoot
2011	JGJ 254: Technical code for the safety of bamboo scaffold in construction
2000	GB/T 2690—Bamboo timber
Indija	
2005	The National Building Code of India—developed a Code of Practice for Bamboo Design-Section 3—Timber and Bamboo: 3B
1994	13958: Specification for bamboo mat board for general purposes
1979	9096: Code of practice for preservation of bamboo for structural purposes
Kolumbija	
2010	Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente—chapter G.12 Estructuras de Guadua (Guadua Structures)
2006	NTC 5407: Uniones de Estructuras con Guadua angustifolia Kunth (structural unions with Guadua angustifolia Kunth)
Ekvador	
2011	Norma Ecuatoriana de la Construcción—chapter 17 Utilización de la Guadua Angustifolia Kunth en la Construcción (Use of Guadua angustifolia Kunth in construction) [13]
1976	INEN 42: Bamboo Caña Guadua (bamboo cane Guadua)
Peru	
2012	Reglamento Nacional de Edificaciones, Section 3. Code E100—Diseño y Construcción con Bamboo (ICG) [14]



## **7. SPREGNUTE KONSTRUKCIJE SA BAMBUSOM**

Spregnute konstrukcije definiraju se kao građevne konstrukcije u kojima su glavni nosivi dijelovi nastali sprežanjem dvaju građevnih materijala. U ovom poglavlju proučavat će se bambus u kombinaciji sa drugim materijalima poput drva, čelika i betona. Kao materijal bambus ima odlična svojstva no ona nisu dovoljna da bi samostalno držao kompleksnije konstrukcije u različitim podnebljima.

Poznato je da se armirani beton sastoji od armaturnih šipki i betona. Tako je konstrukciji omogućeno nošenje vlačnih i tlačnih opterećenja. Zbog utjecaja ekonomskog i ekološkog aspekta teži se što većoj zamjeni tradicionalnih materijala sa ekološki prihvatljivijima.

Upotreba bambusa kao ojačanja dijeli se u 4 kategorije:

### **7.1. Bambusova vlakna u cementnoj žbuci**

Dodavanje vlakana materijalima na bazi cementa pokazalo se kao učinkovit način za poboljšanje njihove lomljivosti i pucanja tokom sakupljanja. Dokazano je da duljina bambusovih vlakana ima veliki utjecaj na čvrstoću na lom i čvrstoću žbuke na tlak.

Na temelju čvrstoće, dokazano je kako se najbolji učinak postiže kada je duljina vlakana  $1,5 \text{ kg/m}^3$  i debljina 10 mm.

Konkretno, bambusova vlakna mogu poboljšati plastično sakupljanje morta i smanjiti područje pucanja. Međutim ta svojstva će se smanjivati dodavanjem i sušenjem vode. Alkalnom obradom trajnost vlakana moguće je poboljšati [11].

## 7.2. Bambus prerađen u armaturne šipke

Beton i čelik su najčešće korišteni materijali u građevinarstvu. Beton ima visoku tlačnu čvrstoću, ali nisku vlačnu pa se za njegovo jačanje koristi čelik. Za razliku od betona njegova vlačna čvrstoća je vrlo visoka. Potražnja za čelikom je sve veća na dnevnoj bazi u većini razvijenih zemalja. Njegovu proizvodnju karakterizira visoka potrošnja energije i troškovi same proizvodnje. Čeliku ne ide u prilog ni to što je on neobnovljiv resurs i tijekom proizvodnje dolazi do velikog zagađenja okoliša. S druge strane bambus je brzorastuća biljka koja se u prirodi nalazi u izobilju i ima mehanička svojstva koja uvelike konkuriraju čeliku. Iako se bambus kao građevinski materijal koristi stoljećima, većinom je korišten za manje objekte u zemljama Azije. Za izgradnju kompleksnijih objekata još uvijek nije moguće koristiti bambus kao jedini armaturni materijal stoga znanstvenici i inženjeri istražuju kako da još više poboljšaju svojstva bambusa kao ekološki održivog materijala. U sljedećoj tablici navedene su opće vrijednosti kao usporedba svojstava materijala (Tablica 8) .

Tablica 8: Usporedba čvrstoća materijala (Gharpedia: Use of Bamboo as Reinforcement in Building Construction, Gukov I.: Betonske konstrukcije 1)

	Bambus (MPa)	Čelik (MPa)	Beton C25/30 (MPa)
Modul elastičnosti	199 948	206 842,77	30 471
Tlačna čvrstoća	62,05-97,08	137,9	33
Vlačna čvrstoća	148,24-384,04	158,58	2,6
Čvrstoća na savijanje	75,84-275,79	139,96	
Čvrstoća na smicanje	19,99	91,70	

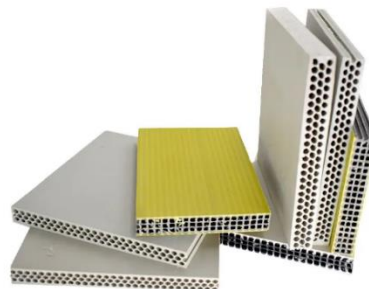
)

### 7.3. Bambus kao oplata

Korištenje bambusa kao oplata nema veze sa armaturom i ojačanjem, ali je često korištena verzija ovog materijala. Oplata je kalup sastavljen od dasaka, ploča ukočenog drva ili čeličnih limova te od drvenih ili čeličnih gredica, u koji se ulijeva svježi beton kako bi stvrdnjavanjem poprimio željeni oblik. Nakon određenog vremena ona se skida. Ovisno o materijalu, oplatu je moguće koristiti više puta. Ukoliko je unaprijed definirano, oplata može ostati dijelom konstrukcije zbog postizanja željenih estetskih efekata, tako postaje izgubljena, tj. jednim dijelom ugrađena u ili na beton (Slika 22).



Slika 22: Izgubljena oplata [16]



Slika 21: Oplata od bambusa [12]

Primjer ploče za betonsku oplatu od bambusa (Slika 21)

Karakteristike ovakve ploče [12]:

- Mala težina (prosječno 8,3 kg/m<sup>2</sup>)
- Visoka čvrstoća, tvrdoća i otpornost na udarce
- Jednostavno vađenje iz kalupa zbog glatke i čiste površine
- Veća žilavost
- Vodootpornost
- Otpornost na kiseline, lužine i koroziju

#### 7.4. Ojačanje tla

Bambus se smatra jednim od najučinkovitijih materijala, prirodno dostupnih, za ojačavanje tla zbog svojih mehaničkih i inženjerskih svojstava. Tehnike numeričkog modeliranja često se koriste u geotehničkom inženjerstvu za rješavanje problema koji uključuju složenu geometriju.

Odabir odgovarajuće tehnike temelji se na procjeni specifične lokacije i dizajnu. Lokalni klimatski uvjeti, topografija, tlo, hidrološki uvjeti i relevantni procesi erozije definiraju skup tehnika izvedivih za određeno mjesto. Također je važno uzeti u obzir lokalna i ekonomska ograničenja [13].

Upotreba bambusa za izradu potpornih konstrukcija prakticira se dug vremenski period na raznim mjestima diljem svijeta (Slika 23). Najčešće korištene tehnike su ograda od pletera, nanošenje slojeva od živice i zidovi od bambusa.



Slika 23: Potporna konstrukcija od bambusa [13]

## **8. PROJEKTIRANJE I DIMENZIONIRANJE BAMBUSOM**

U ovom poglavlju prikazana su 3 primjera.

1. Primjer izvođenja jednostavne konstrukcije od bambusa
2. Progib na stupu od bambusa i čelika
3. Dimenzioniranje proste grede sa čeličnom armaturom i armaturom od bambusa

### **8.1. Primjer izvođenja jednostavne konstrukcije od bambusa**

U sljedećem primjeru prikazan je redoslijed izvođenja uobičajene obiteljske kuće, prizemnice, u Indiji sa označenim dijelovima. Prikazan je tlocrt prizemlja i konstrukcija krovišta sa dva karakteristična presjeka (Slika 24, Slika 25).

Redoslijed izvođenja:

1. Betoniranje temelja
2. Postavljanje stupova na prethodno određenom razmaku
3. Postavljanje greda za izradu stropa
4. Ispuna zidova izvedena je od bambusovih ploča
5. Izvedba krovne konstrukcije koja se sastoji od nosivih greda, rogova i podrožnica
6. Postavljanje stolarije- prozori i vrata
7. Postavljanje prostirki od bambusa kao oblik izolacije i krovnog pokrova

Raspored prostorija:

A spavaća soba 1

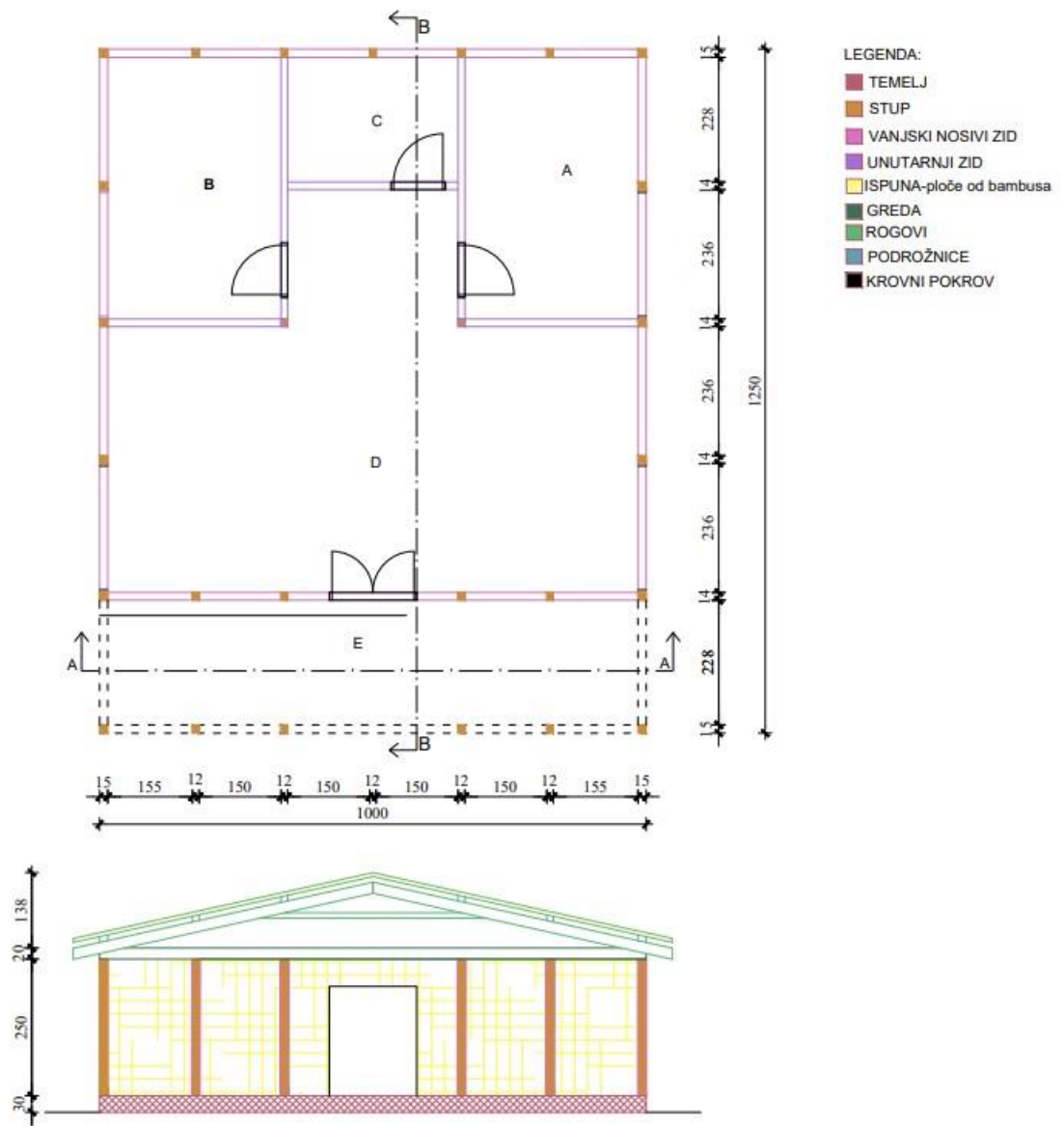
B spavaća soba 2

C kupaonica

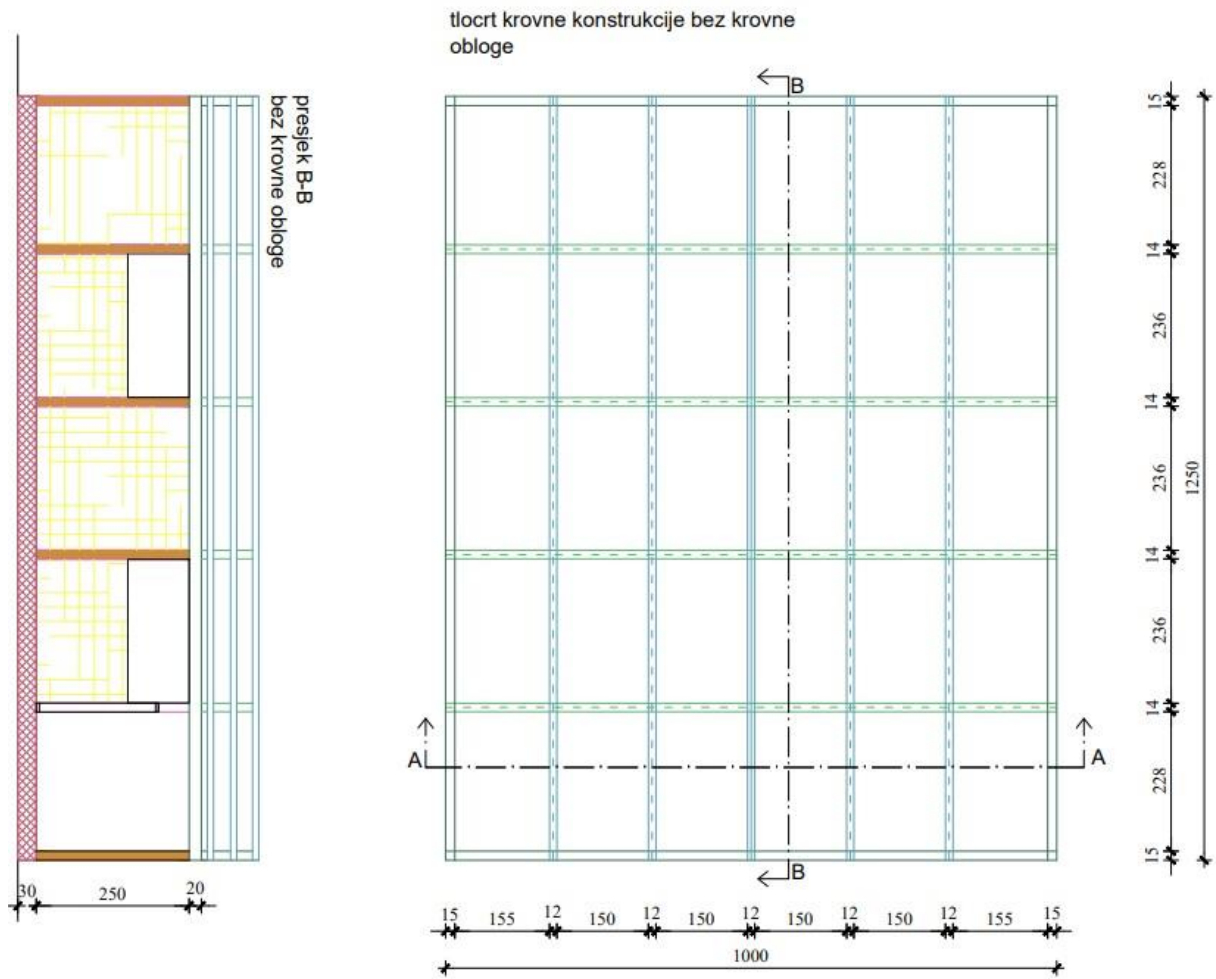
D kuhinja + dnevni boravak

E ulazni trijem

Važno je napomenuti kako je primjer objekta samo idejni projekt sa okvirnim dimenzijama svih elemenata kako bi se prikazao način izvođenja.



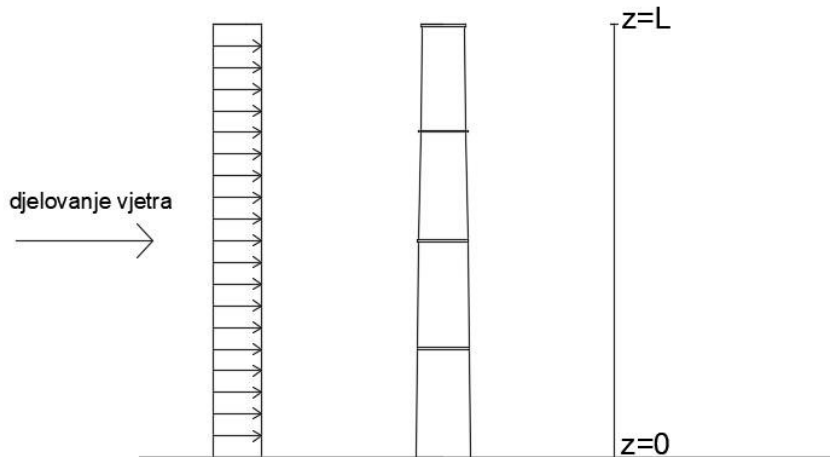
Slika 24: Tlocrt i poprečni presjek (izradila autorica)



Slika 25: Tlocrt krovništa i uzdužni presjek (izradila autorica)

## 8.2. Usporedba djelovanja vjetra na stup od čeličnog profila i na stabljiku bambusa

U ovom primjeru uspoređuje se progib na kraju konzolnog sustava. Na stabljiku bambusa duljine  $L=3,0$  m djeluje vjetar koji je pretpostavljen kao kontinuirano opterećenje  $W=1,9$  kN/m (Slika 26). Isto opterećenje djeluje na stup čeličnog IPE 120 profila klase čelika S235. Potrebno je utvrditi koji materijal daje manji progib.



Slika 26: djelovanje vjetra na stabljiku bambusa (izradila autorica)

Stabljika bambusa	Čelični profil
$D=5,9$ cm	$h=120$ mm
$d=3,8$ cm	$b=64$ mm
$t=0,9$ cm	$tw=4,4$ mm $tf=6,3$ mm
$A=13,29$ cm <sup>2</sup>	$A=13,20$ cm <sup>2</sup>
$I=1868773,66$ cm <sup>4</sup>	$I=318$ cm <sup>4</sup>

Tablica 9: Ulazni parametri (izradila autorica)



Gdje je  $D$  vanjski promjer,  $d$  unutarnji promjer,  $t$  debljina stijenke,  $A$  površina poprečnog presjeka,  $I$  moment inercije,  $h$  visina poprečnog presjeka,  $b$  širina poprečnog presjeka,  $t_w$  širina hrpta i  $t_f$  širina pojasnice

Progib na kraju nosača određen je prema izrazu (1):

$$w = \frac{q * l^4}{8EI} \quad (1)$$

Gdje je  $q$  kontinuirano opterećenje,  $l$  duljina sustava,  $E$  modul elastičnosti, a  $I$  moment inercije.

Progib na kraju nosača (bambus):

$$w = \frac{q * l^4}{8EI} = \frac{1,9 * 3^4}{8 * 199948000 * 0,0186877} = 5,15 * 10^{-6} \text{m} = 5,15 * 10^{-3} \text{m}$$

Progib na kraju nosača (IPE 120):

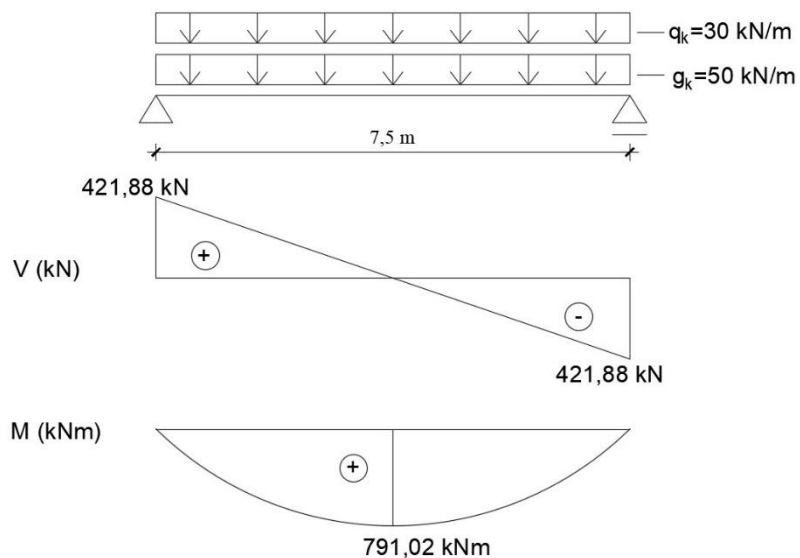
$$w = \frac{q * l^4}{8EI} = \frac{1,9 * 3^4}{8 * 210000000 * 0,00000318} = 0,0288 \text{m} = 28,8 \text{mm}$$

Iz ovog primjera možemo zaključiti kako je pomak stabljike bambusa gotovo zanemariv dok je pomak kod čeličnog profila  $w=28,8$  mm. Razlog tomu je puno veći moment tromosti bambusa nego kod čelika.

### 8.3. Usporedba dimenzioniranja grede sa čeličnom armaturom i armaturom od bambusa

#### 8.3.1. Prosta greda sa čeličnom armaturom

Dimenzioniranje proste grede opterećene jednolikim kontinuiranim opterećenjem  $G=50$  kN/m i  $Q=30$  kN/m (Slika 27). Koristi se beton C25/30 i uzdužna armatura i vilice B500. Širina ležajeva A i B iznosi 30cm sa osnim razmakom grede 430 cm. [14]



Slika 27: Prosta greda sa dijagramima (izradila autorica)

Proračunska čvrstoća betona  $f_{cd}=16,67$  MPa određena je prema izrazu (2) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $f_{ck}= 25$  MPa je karakteristična tlačna čvrstoća betona dobivena ispitivanjem valjka, a  $\gamma_c= 1,5$  je koeficijent sigurnosti za beton.

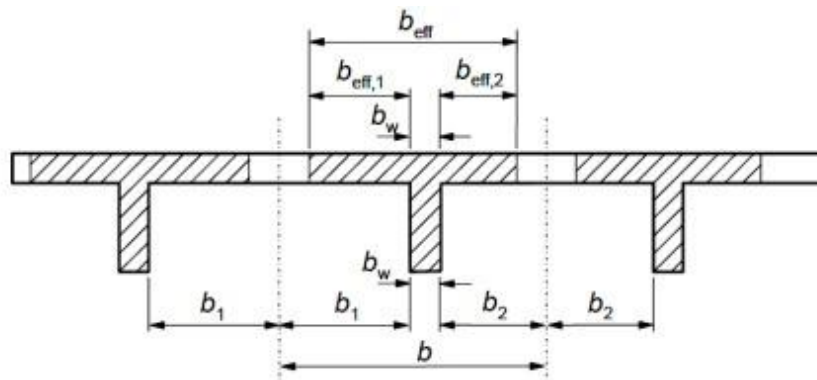
$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2)$$

Proračunska čvrstoća uzdužne armature  $f_{yd}= 434,75$  MPa i proračunska čvrstoća poprečne armature  $f_{ywd}= 434,75$  MPa određena je prema izrazu (3) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $f_{yk}= 500$  MPa granica popuštanja čelika i  $\gamma_s= 1,15$  koeficijent sigurnosti za čelik.

$$f_{yd} = f_{ywd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (3)$$

Razmak između nultočaka momenta  $l_0$  za prostu gredu:

$$l_0 = l_{eff} = 7,5 \text{ m}$$



Slika 28: T presjek [14]

Širina ploče od krajnjeg ruba do ležaja  $b_{eff,1}=b_{eff,2}=150$  cm dana je izrazom (4) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $b_l= 200$  cm je širina od osi polovice raspona do ležaja, a  $l_0=750$  cm je razmak između nultočaka momenata za prostu gredu (Slika 28).

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0,2 * b_l + 0,1 * l_0 \leq 0,2 * l_0 \quad (4)$$

Proračunska širina ploče  $b_{eff}=260$  cm dana je izrazom (5) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $b_{eff,1}=b_{eff,2}=115$  cm je širina ploče od krajnjeg ruba do ležaja, a  $b_w=30$  cm je širina ležaja. (Slika 27)

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w \quad (5)$$

- Dimenzioniranje na savijanje

Maksimalni momenti savijanja  $M_G=351,56$  kNm za stalno opterećenje i  $M_Q=210,94$  kNm za promjenjivo opterećenje određeni su prema izrazu (6) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $q_G= 50$  kN/m je stalno opterećenje,  $q_Q= 30$  kN/m je promjenjivo opterećenje, a  $l_{eff}=7,5$  m je razmak između nultočaka elementa.

$$M = \frac{q * l_{eff}^2}{8} \quad (6)$$

Ukupni maksimalni moment dan je iz izraza (7) preuzetom iz [14] gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $M_{ed}=791,02$  kNm je ukupni maksimalni moment,  $M_G=351,56$  kNm je maksimalni moment za stalno djelovanje,  $M_Q=210,94$  je maksimalni moment za promjenjivo djelovanje,  $\gamma_G=1,35$  je parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje, a  $\gamma_Q=1,5$  je parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje.

Limitirajuće vrijednosti za jednostruko armiranje za betone razreda čvrstoće od C12/15 do C50/60 su:

$$\xi_{lim} = x/d = 0,45 \quad \mu_{Rd,lim} = 0,296 \quad \zeta_{lim} = z/d = 0,813$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $\xi_{lim}=x/d=0,45$  je koeficijent položaja neutralne osi,  $\mu_{(Rd,lim)}=0,296$  je bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja,  $\zeta_{lim}=z/d=0,813$  je koeficijent kraka unutrašnjih sila.

- Pretpostavka je da neutralna os pada u ploču:

Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja dana je izrazom (7) preuzetom iz [14]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} * d^2 * f_{cd}} = \frac{79102}{260 * 53^2 * 1,67} = 0,0648 < \mu_{Rd,lim} = 0,269 \quad (7)$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $M_{ed}=791,02$  kNm je računski moment savijanja,  $b_{eff}=260$  cm je proračunska širina ploče,  $d=53$  cm je statička visina, a  $f_{cd}=16,67$  MPa je računski čvrstoća betona.

Očitanje iz tablice:

$$\varepsilon_{c,ed2} = -2,2 \% \quad \varepsilon_{s1} = 20,00 \% \quad \xi = 0,099 \quad \zeta = 0,962 \quad \mu_{Ed} = 0,066$$

$$x = \xi * d = 0,099 * 53 = 5,247 \text{ cm} < h_f = 15 \text{ cm}$$

→ dokaz da neutralna os pada u ploču

Gdje je :  $\epsilon_{c,ed2} = -2,2 \text{ ‰}$  je deformacija u betonu,  $\epsilon_{s1} = 20,00 \text{ ‰}$  je deformacija u vlačnoj armaturi,  $\xi = 0,099$  je koeficijent položaja neutralne osi, a  $\eta_{Ed} = 0,066$  je bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja.

Površina armature  $A_{s1} = 35,68 \text{ cm}^2$  dana je izrazom (8) preuzetom iz [14]:

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta * d * f_{yd}} = \frac{79102}{0,962 * 53 * 43,478} = 35,68 \text{ cm}^2 \quad (8)$$

Odabire se  $10\Phi 22$  ( $38,01 \text{ cm}^2$ ) za sredinu raspona i  $4\Phi 22$  ( $15,21 \text{ cm}^2$ ) za vođenje preko ležaja

Poprečna sila nad ležajem A od stalnog djelovanja  $V_G = 187,5 \text{ kN}$  i od promjenjivog djelovanja  $V_Q = 112,5 \text{ kN}$  dana je izrazom (9) preuzetom iz [15]:

$$V_q = \frac{q * l_{eff}}{2} \quad (9)$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $q$  je kontinuirano djelovanje, a  $l_{eff}$  je raspon nosača.

Ukupna poprečna sila nad ležajem A dana je izrazom (10) preuzetom iz [14]:

$$V_{Ed,A} = V_G * \gamma_G + V_Q * \gamma_Q = 187,5 * 1,35 + 112,5 * 1,5 = 421,875 \text{ kN} \quad (10)$$

Umanjena ležajna sila na udaljenosti  $(t/2 + d)$  desno od ležaja A:

$$V''_{Ed,A} = V_{Ed,A} - (G * 1,35 + Q * 1,5) \left( \frac{t}{2} + d \right) =$$

$$V''_{Ed,A} = 421,87 - (50 * 1,35 + 30 * 1,5) * (0,3/2 + 0,53) = 345,375 \text{ kN}$$

- Provjera proračunski potrebne armature:

Proračunska vrijednost otpornosti za djelovanje poprečne sile  $V_{Rd,c}$  dana je izrazima (11) i (12) preuzetima iz [14]:

$$V_{Rc,c} = \left[ C_{Rdc} * k(100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \quad (11)$$

$$V_{Rc,c} = \left[ 0,12 * 1,194(100 * 0,00957 * 25)^{\frac{1}{3}} + 0,15 * 0 \right] * 300 * 530 =$$

$$V_{Rc,c} = 65644,75 \text{ N} = 65,644 \text{ kN}$$

Uz minimalnu vrijednost:

$$V_{Rd,c} = [v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (12)$$

$$V_{Rc,d} = [0,228 + 0,15 * 0] * 300 * 530 = 36252 \text{ N} = 36,252 \text{ kN}$$

$$\text{Gdje je: } k = 1 + \sqrt{\frac{20}{d}} \leq 2,0 \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{20}{530}} = 1,194 \leq 2,0 \rightarrow k = 1,194$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w * d} = \frac{1521}{300 * 530} = 0,00957 < 0,02 \rightarrow \rho_1 = 0,00957$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 * f_{cd} \rightarrow \sigma_{cp} = \frac{0}{A_c} = 0 \text{ MPa} < 0,2 * 20 = 4 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$v_{min} = 0,035 * k^{\frac{3}{2}} * f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 * 1,194^{\frac{3}{2}} * 25^{\frac{1}{2}} = 0,228$$

$$k_1 = 0,15$$

Usvaja se veća vrijednost:  $V_{Rc,d}=65,644 \text{ kN}$

$$V_{Ed,A} \leq V_{Rc,d} \rightarrow 354,37 \text{ kN} > 65,644 \text{ kN}$$

- Proračun poprečne armature (vilica):

Odabrane su dvorezne vilice ( $m=2$ )  $\Phi 10$

Površina poprečne armature dana je izrazom (13) preuzetom iz [14]:

$$A_{sw} = m * \frac{\phi^2 * \pi}{4} = 2 * \frac{1,0^2 * \pi}{4} = 1,57 \text{ cm}^2 \quad (13)$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $m=2$  su odabrane dvorezne vilice, a  $\phi = 10$  mm je promjer armature.

$$145^\circ \geq \cot\theta \geq 21,80^\circ \rightarrow \text{usvojeno } \theta = 40^\circ \rightarrow \cot\theta = 1,192$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = 0,9 * d = 0,9 * 530 = 477 \text{ mm}$$

Za elemente s vertikalnom posmičnom armaturom, otpornost na djelovanje poprečne sile dano je izrazom (14) preuzetom iz [14]:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * \cot\theta \quad (14)$$

gdje su simboli i pripadajuće im vrijednosti:  $A_{sw}=1,5708 \text{ cm}^2$  je površina poprečne armature,  $z=477 \text{ mm}$  je krak unutarnjih sila,  $f_{ywd}=434,787 \text{ MPa}$  je proračunska čvrstoća poprečne armature,  $e q \neq 1,192$  je kut između betonskog tlačnog štapa i osi grede okomite na poprečnu silu, a  $X \tilde{e}_{d,A}=354,375 \text{ kN}$  je umanjena ležajna sila na udaljenosti  $(t/2 + d)$ .

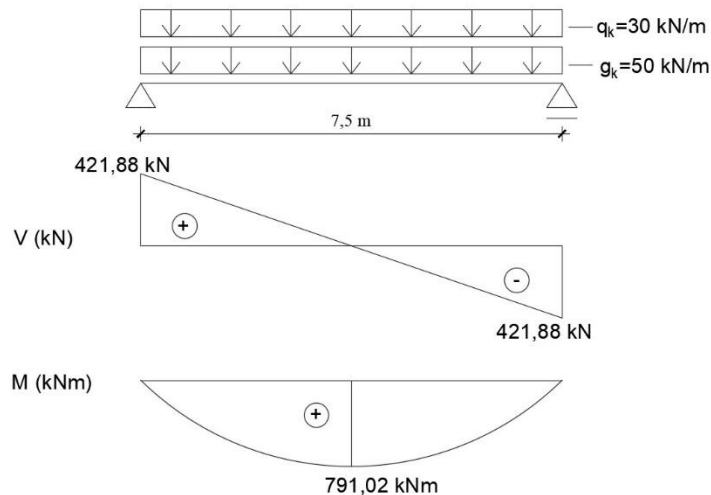
$$s = \frac{A_{sw} * z * f_{ywd} * \cot\theta}{V''_{Ed,A}} = \frac{1,57,08 * 477 * 434,787 * \cot 40^\circ}{345375} =$$

$$s = 112,43 \text{ mm} \rightarrow \text{usvojeno } 110 \text{ mm}$$

$\rightarrow$  računске vilice su dvorezne vilice ( $m = 2$ )  $\phi 10/11 \text{ cm}$

### 8.3.2. Prosta greda sa armaturom od bambusa

Dimenzioniranje proste grede opterećene jednolikim kontinuiranim opterećenjem (Slika 29). Koristi se beton C25/30. potrebno je preračunati uzdužnu i poprečnu armaturu od bambusa. Pretpostavlja se da je krajnja čvrstoća betona 2500 psi (17,24 MPa), dopušteno tlačno naprezanje iznosi  $0,45f_c$  ili 1125 psi (7,757 MPa). Dopušteno dijagonalno vlačno naprezanje u betonu iznosi  $0,03f_c$  ili 75 psi (0,52 MPa). Dopušteno naprezanje zatezanja u bambusu  $s=4000$ psi (27,58 MPa). Dopušteno jedinično naprezanje veze između bambusa i betona je 50 psi (0,35 MPa) [15].



Slika 29: Prosta greda sa dijagramima (izradila autorica)

Ulazni parametri: maksimalni moment  $M=791,02$  kNm=7001118,71 in-lb,  $p=3,1\%$  odabrano jer uzdužna armatura od bambusa treba biti između 3 i 4% presjeka betona, iz toga proizlazi da je koeficijent otpora armiranobetonskih greda od bambusa  $R=115$  preuzeto iz tablice [15]:

Zadana širina presjeka iznosi  $b= 11,02$  in = 28 cm

Visina  $d$  dana je izrazom (15) preuzetom iz [15]:

$$R = \frac{M}{b * d^2} \quad (15)$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $R$  je koeficijent otpora armiranobetonskih greda od bambusa,  $M$  je maksimalni moment,  $b$  je širina presjeka i  $d$  je visina presjeka.



$$bd^2 = \frac{M}{R} = \frac{700118,71}{115} = 6087,99 \text{ in}$$

$$b = 11,02 \text{ in (28 cm)} \rightarrow d = \left(\frac{6087,99}{11,02}\right)^{1/2} = 23,50 \text{ in} \rightarrow \text{poprečni presjek } 28/60 \text{ cm}$$

Ojačanje bambusom određeno je prema izrazu (16) preuzetom iz [15]:

$$A = p * b * d \quad (16)$$

Gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $p=3,1\%$  je odabrani postotak,  $b=11,02 \text{ in}=23 \text{ cm}$  je širina presjeka i  $d=23,50 \text{ in}=60 \text{ cm}$  visina presjeka.

$$A = 0,031 * 11,02 * 23,50 = 8,028 \text{ sq in} = 51,79 \text{ cm}^2$$

Koriste se vilice debljine  $\frac{3}{4} \text{ in}$ , površine  $A=0,563 \text{ sq in}$ , preuzeto iz [15]:

$$\text{Potreban broj vilica: } 51,79/0,563 = 91,99 \rightarrow 92$$

Maksimalno prianjanje na osloncu određeno je prema izrazu (17) preuzetom iz [15]:

$$V = \frac{g_k * l}{2} + \frac{q_k * l}{2} \quad (17)$$

gdje su simboli i pripadajuće im vrijednosti:  $g_k=50 \text{ kN/m}$  je stalno djelovanje,  $q_k=30 \text{ kN/m}$  je promjenjivo djelovanje, a  $l=7,5 \text{ m}$  je osni raspon grede.

$$V = \frac{50 * 7,5}{2} + \frac{30 * 7,5}{2} = 300 \text{ kN} = 67442,68 \text{ lb}$$

Opseg jedne vilice  $4(3/4)=3 \text{ in}$  (7,62 cm), što znači da je ukupni opseg armature  $\varphi 92(3)=276 \text{ in}$  (701,04 cm). Vrijednost  $j=0,925$  uzeta je iz tablice za ojačanje u iznosu 3,1%. Podaci su preuzeti iz tablice [15]

Čvrstoća prianjanja između 2 spojene površine određena je prema izrazu (18) preuzetom iz [15]:

$$u = \frac{V}{\Sigma o * j * d} \quad (18)$$

gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $V=67442,8$  lb je maksimalno pritanjanje na osloncu,  $j=0,925$  vrijednost iz tablice za  $p=3,1\%$  [16],  $d=23,5$  in=60 cm je visina grede,  $\varphi=276$  in (701,04 cm) je ukupni opseg armature.

$$u = \frac{67442,68}{276 * 0,925 * 23,5} = 11,24 \text{ psi} < 50 \text{ psi}$$

Smicanje je određeno prema izrazu (19) preuzetom iz [15]:

$$V'' = v * j * d * b \quad (19)$$

Gdje su simboli i pridružene im vrijednosti:  $j=0,925$  vrijednost iz tablice za  $p=3,1\%$  [16],  $d=23,5$  in=60 cm je visina grede,  $b=11,02$  in (28 cm) je širina grede,  $v=75$  psi je dopušteno dijagonalno vlačno naprezanje u betonu.

$$V'' = 75 * 0,925 * 23,5 * 11,02 = 17966,04 \text{ lb} = 79,92 \text{ kN}$$

Provjera jedne vilice  $\frac{1}{4}$  in. -Površina područja jedne vilice U oblika iznosi  $2(0,1875)=0,375$  sq in (2,42 cm<sup>2</sup>). Podaci preuzeti iz tablica [15].Maksimalni razmak između vilica tada iznosi:

$$s = \frac{A * \sigma * j * d}{V - V''} = \frac{0,375 * 4000 * 0,925 * 23,5}{67442,68 - 17966,04} = 0,66 \text{ in} = 1,67 \text{ cm}$$

### 8.3.3. Zaključno

Nakon usporedbe čelične armature i armature od bambusa možemo zaključiti kako je za armiranje bambusom potrebno puno više materijala kako ne bi došlo do pucanja konstrukcije. Za korištenje klasične armature potrebne su nam dvorezne vilice ( $m=2$ ) 10/11cm dok su nam za gredu sa armaturom od bambusa istog raspona, visine i djelovanja na gredu potrebne 92 vilice . Iako je bambus jeftiniji od čelika, vidimo kako to nije dovoljno da bi pravilnije i jednostavnije izveli konstrukciju.

## 9. ZAKLJUČAK

Bambus brzo raste, u gotovo svim područjima, lako se održava i pruža razne mogućnosti. Iako se koristi od davnina postao je popularan tek u 20.stoljeću što uz činjenicu da postoji oko 1500 vrsta bambusa kojima svojstva značajno variraju, ima za posljedicu nedostatak normi i propisa koji se odnose na projektiranje konstrukcija od bambusa. Veliki broj različitih vrsta bambusa otežava istraživanja. Razlikuju se po debljini stijenke, starosti, promjeru stabljike, području na kojem raste. Sve to direktno utječe na njegova mehanička svojstva. Ipak objavljen je dovoljan broj normi kako bi ga se moglo koristiti u građevinarstvu, iako je većina njih i dalje za područje Azije i Južne Amerike. Postoje razni načini korištenja ovog materijala. U građevinarstvu se koristi kao konstruktivni i dekorativni element. Od prerađenog bambusa se dobivaju stupovi, grede, ploče, podne obloge i razni dekorativni elementi. Zbog svojih mehaničkih svojstava konkurira čeliku, no još uvijek ga se ne preporuča koristiti kao primarni materijal. U ovom radu napravili smo usporedbu korištenja klasične armature i armature od bambusa. Pokazalo se da se kod velikih opterećenja čelik puno bolje ponaša stoga je kod korištenja armature od bambusa poželjno raditi kombinaciju s čelikom kako bi se pojačale karakteristike te se uštedilo na materijalu. Kao zaključak može se reći kako bambus ima nevjerojatan potencijal postati jedan od popularnijih ekološki održivih građevinskih materijala u budućnosti.

## 10. LITERATURA I IZVORI

- [1] M. »Bambus,« [Mrežno]. Available: <https://www.vrtlarica.hr/bambus-sadnja-uzgoj/>. [Pokušaj pristupa 28 11 2022].
- [2] »History of Bamboo and Its Usage,« [Mrežno]. Available: <https://blog.foreverbamboo.com/history-of-bamboo/>. [Pokušaj pristupa 29 11 2022].
- [3] S. »The 3 Native bamboo Species of North America,« 13 1 2020. [Mrežno]. Available: <https://thehappybamboo.com/native-bamboo-species-of-america/>. [Pokušaj pristupa 29 11 2022].
- [4] »Bamboo as a Building Material-its Uses and Advantages in Construction Works,« THE CONSTRUCTOR, [Mrežno]. Available: <https://theconstructor.org/building/bamboo-as-a-building-material-uses-advantages/14838/>. [Pokušaj pristupa 30 11 2022].
- [5] J. J. Janssen, *Designing and Building with Bamboo*, INBAR, 2000.
- [6] »OUR WORK,« ibuku.com, [Mrežno]. Available: <https://ibuku.com/>. [Pokušaj pristupa 3 9 2022].
- [7] T. Vrančić, »Najveća gospodarska građevina od bambusa,« *Građevinar*, 5 2012.
- [8] P. Vada, »Bamboo house/ Vilela Florez,« arch daily, [Mrežno]. Available: <https://www.archdaily.com/891089/bamboo-house-vilela-florez>. [Pokušaj pristupa 8 9 2022].
- [9] »DIY Bamboo Bridge Built By Youngsters Saves Village | NewsMo,« Youtube, [Mrežno]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=y1ZIYt1F-Xc>. [Pokušaj pristupa 3 12 2022].
- [10] »Build Bamboo Bridge For Villagers To Cross Sub River - Chicken Hodgepodge Cooking To Feed Builders,« Youtube, [Mrežno]. Available: [https://www.youtube.com/watch?v=R\\_kl62D55Xo](https://www.youtube.com/watch?v=R_kl62D55Xo). [Pokušaj pristupa 3 12 2022].
- [11] J. Yin, Y. Liu i J. Yang, »Investigation on properties of bamboo fiber reinforced cement mortar,« u *Modern Engineered Bamboo Structures*, eBook ISBN 9780429434990, 2019.
- [12] »bamboo concrete formwork panel plastic formwork for concrete,« Alibaba. [Mrežno]. [Pokušaj pristupa 10 2 2023].
- [13] G. Tardio, S. B. Mickovski, H. P. Rauch, J. P. Fernandes i M. S. Acharya, »The Use of Bamboo for Erosion Control and Slope Stabilization: Soil Bioengineering Works,« intechopen, [Mrežno]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/60430>. [Pokušaj pristupa 12 2 2023].
- [14] Ž. Smolčić, *Betonske konstrukcije, primjer p13-prosta greda*, 2020./2023..

- [15] E. Brink i P. J. Rush, »BAMBOO REINFORCED CONCRETE,« nccabs.org, veljača 1996.. [Mrežno]. Available: <https://nccabs.org/Docs/BAMBOO%20REINFORCED%20CONCRETE%201966.pdf>. [Pokušaj pristupa 10 2 2023.].
- [16] Belen, »Bamboo Formwork and Exposed Concrete in Architectural Projects,« arch daily, [Mrežno]. Available: <https://www.archdaily.com/950090/bamboo-formwork-and-exposed-concrete-in-architectural-projects>. [Pokušaj pristupa 12 2 2023.].