

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav základního zpracování dřeva

Návrh konstrukce bambusového krovu zahradního domku
Bakalářská práce

2014/2015

Pavel Zralý

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem práci: Návrh konstrukce bambusového krovu zahradního domku zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona. Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne: 2.5.2015..... podpis studenta

ABSTRAKT

Pavel Zralý

Návrh konstrukce bambusového krovu zahradního domku

The Design of bamboo truss for garden house

Bakalářská práce zpracovaná na téma „*Návrh konstrukce bambusového krovu zahradního domku*“ se zabývá využitím nekonvenčního materiálu pro zastřešení zahradních domků o malých půdorysných rozměrech.

V práci jsou shrnuty základní poznatky o bambusu, jeho morfologii, pěstování, fyzikální a mechanické vlastnosti, ochrana bambusu a následné zpracování se zaměřením na krovky. V praktické části práce je vypracován 3D model konstrukce krovu z bambusu. Dále je vytvořen kusovník, který slouží jako vstupní data pro výpočty hmotnosti a ceny konstrukce. Celkové výsledky jsou porovnány s ekvivalentem v podobě klasického krovu ze smrku s hambalkovou konstrukcí a zároveň tvoří výsledný výstup práce.

Klíčová slova: bambus, krov, hambálek, věšadlová soustava, porovnání

Bachelor thesis is elaborated on the theme „*The Design of bamboo truss for garden house*“ and it is focused on using unconventional material for roofing, garden houses with small ground dimensions.

In the thesis are compiled knowledge about bamboo and his morphology, cultivation, physical and mechanical properties, protection of bamboo and the subsequent processing with a focus on the bamboo trusses. In practical part of the thesis is formed 3D model of the structure of the roof frame from bamboo. Furthermore, it is created by the bill of material, which is used as input data for the calculations of the weight and price of construction. The overall results are compared with the equivalent in the form of a classical truss of spruce with collar beam structures and at the same time to form the resulting output of the thesis.

Key words: bamboo, truss, collar beam, king-post, comparison

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE	9
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1	Základní informace o bambusu	10
3.2	Odrůdy bambusu	10
3.2.1	Rod Phyllostachys	11
3.2.2	Dendrocalamus	12
3.2.3	Arundinaria	12
3.2.4	Oddenkový systém	13
3.2.5	Kořenový systém	14
3.2.6	Stonek	14
3.2.7	Větve	15
3.2.8	Pochvy	16
3.3	Pěstování bambusu	17
3.3.1	Zimovzdornost bambusů	17
3.3.2	Hnojení	18
3.4	Fyzikálně-mechanické vlastnosti bambusu	18
3.4.1	Anatomické elementy	18
3.4.2	Chemické složení	18
3.4.3	Fyzikální vlastnosti	18
3.4.4	Mechanické vlastnosti	19
3.4.4.1	Pevnost v tlaku	19
3.4.4.2	Pevnost v tahu	20
3.4.4.3	Pevnost v ohybu	21
3.5	Ochrana bambusu	21
3.5.1	Ochrana živých porostů	22
3.5.2	Ochrana vytěženého materiálu	22
3.5.2.1	Přírodní ochrana	22
3.5.2.2	Chemická ochrana	23
3.5.2.3	Ochrana před ohněm	23

3.6	Těžba bambusu	24
3.6.1	Odvětvení	24
3.6.2	Sušení bambusových tyčí	25
3.6.2.1	Horkovzdušné sušení v sušárnách	25
3.6.2.2	Přirozené sušení	25
3.7	Zpracování a obrábění bambusu	26
3.7.1	Základní opracování	26
3.7.2	Štípání na latě	26
3.7.3	Výroba pásů	27
3.7.4	Výroba pásků	28
3.7.5	Konstrukční spoje	29
3.7.6	Tuhé spoje	29
3.7.7	Pružné spoje	30
3.7.8	Napojení na zděný věnec	30
3.7.9	Střešní krytiny	30
3.8	Příklady bambusových domů	32
3.8.1	Celobambusové domky	32
3.8.2	Zděné domky	32
3.9	Dostupnost bambusových tyčí v ČR	33
3.9.1	Import	33
4	MATERIÁL A METODIKA	35
4.1	Volba typu konstrukce	35
4.1.1	Finkova konstrukce typu W	35
4.1.2	Janssenova konstrukce krovu	36
4.1.3	Hambálková konstrukce s vaznicemi	37
4.1.3.1	Věšadlová konstrukce	37
4.2	Volba typu spojů	38
4.2.1	Úhlové spoje	38
4.2.2	Vodorovné spoje	40
5	VÝSLEDKY	42
5.1	Určení rozměrů konstrukce	42

5.1.1	Výpočet rozměrů dílů štítu	42
5.1.2	Vzdálenost krokví	44
5.1.3	Počet a umístění vaznic	44
5.1.4	Počet a umístění střešních latí	44
5.2	Ochrana bambusu a impregnace	45
5.2.1	Sušení	45
5.2.2	Impregnace	45
5.3	Výkresová dokumentace	46
5.4	Výběr odrůdy	46
5.5	Kusovník	47
5.6	Kalkulace ceny konstrukce	48
5.6.1	Cena bambusových tyčí	48
5.6.2	Cena spojovacího materiálu.	49
5.6.2.1	Cena zhotovení	49
5.6.2.2	Celková cena krovu i se zhotovením	50
5.7	Hmotnost	51
5.7.1	Určení hustoty	51
5.7.2	Výpočet objemu 1 metru tyče	52
5.7.3	Výpočet hmotnosti spojovacího materiálu	54
5.7.4	Celková hmotnost konstrukce	55
5.8	Porovnání s konstrukcí ze dřeva	55
5.8.1	Základní parametry dřevěného krovu	55
5.8.2	Srovnání ceny konstrukce	56
5.8.2.1	Srovnání celkových cen konstrukcí	58
5.8.3	Srovnání hmotnosti konstrukce	58
6	DISKUZE	60
7	ZÁVĚR	62
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64

1 ÚVOD

V posledních letech se po celé Evropě stále více rozšiřuje pěstování bambusů, především okrasné odrůdy ale i odrůdy bambusu vhodné pro průmyslové zpracování. Bambus se dostává do popředí především díky jeho vysoké schopnosti se adaptovat na růstové podmínky evropského mírného pásu. Druhá výhoda bambusu je nesčetnost jeho využití na nejrůznější výrobky nebo ve stavebnictví.

V oblastech typických pro výskyt bambusů se objevují celé vesnice postavené z bambusu, což dokládá všestranné možnosti vhodného použití bambusových stébel ve stavebnictví, kde je největší výhodou jeho nízká hmotnost a snadné zpracování.

Při aplikaci poznatků z pěstování a zpracování bambusu můžeme navrhnout konstrukci krovu pro zahradní domek, který bude použitelný v našich klimatických podmínkách, bude dostatečně stabilní, odolný, s dostatečnou životností a únosností. Návrh krovu vychází z klasické koncepce tuzemských typů krovů, kde hlavním prvkem je vazník nesoucí váhu zastřešení. U samotného návrhu je nejdůležitější řešení konstrukčních spojů a rozměry jednotlivých prvků s ohledem na odlišné vlastnosti bambusu od tuzemských dřev.

V práci je porovnáván návrh krovu z bambusu, s jeho ekvivalentem z domácích dřevin. Bambus jako ekonomicky nenákladný materiál může být únikovou cestou jak snadno a rychle zastřešit malý zahradní domek.

2 CÍL PRÁCE

Tato práce se zabývá problematikou Návrhu konstrukce bambusového krovu. Práce je především zaměřena na praktický návrh konstrukce, jeho dimenzování, výpočet hmotnosti a ceny to vše je porováno s ekvivalentem z hambálkové konstrukce ze smrku. Dále je v práci shrnutá rešerše poznatků o morfologii, pěstování, zpracování, mechanicko-fyzikálních vlastnostech bambusu vhodných pro konstrukce krovů. Hlavním cílem práce je navrhnout vhodnou konstrukci z bambusu, která by mohla být adaptována do našich podmínek a porovnání s jejím ekvivalentem z tuzemských dřevin.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Základní informace o bambusu

Bambusy patří do skupiny jednoděložných rostlin, do čeledi lipnicovitých a dále se řadí do samostatné podčeledi bambusovité. Ta se dále dělí na dva kmeny: dřevité a bylinné. Z rozdělení a zařazení bambusu do rostlinné říše je zřejmé, že se jedná o travu. Trávy jsou jedním z nejrozmanitějších a druhově nejpočetnějších zástupců rostlinné říše. Pro trávy jsou charakteristické znaky, které se vyskytují u všech trav, tudíž i u bambusu. Pro bambus je tedy charakteristické stéblo s kolénky, listy, skládající se z listových pochev obepínajících stébla, a čepelí, které volně vyrůstají ze stébla. Kolénka se pravidelně střídají s články (Rezl 2006).

Bambusy můžeme definovat jako štíhlé nebo křovité trávy se zdřevnatělými dutými stvoly kruhovitého, výjimečně oválného tvaru. Bambusy se v přirozených podmínkách chovají jako celoročně stále zelené neopadavé rostliny (Rezl 2006).

Bambusy se oproti ostatním travám vyvíjely v prostředí lesů. Proto, aby se mohly adaptovat na život v lese (konkurenční boj o světlo a růstový prostor), se vyvinul u travin stromový růst do výšky větví ostatních stromů. Aby takto vysoká stébla byla stabilní, došlo k změně struktury zeleného pletiva a zdřevnatění stébla, na kterých vyrůstají postupně větve (Kocourek 2015).

Jelikož je bambus tráva, tak je zřejmé, že stejně jako tráva musí dříve nebo později vykvést, což znamená ve většině případů smrt pro celý porost, který po kvetení začne postupně odumírat. Kvetení bambusů je však neprozkoumaná věc, a pokud ke kvetení dojde, bývá většinou nahodilá a nedá se mu předcházet. Vykvetení může docházet jak v intervalu 10, tak i 100 let (McClure 1989).

3.2 Odrůdy bambusu

Základní rozdělení odrůd bambusů je na tropické bambusy, bambusy mírného pásma a vysokohorské bambusy. Jelikož se bakalářská práce zabývá návrhem krovu pro zahradní domek situovaný v našich podmínkách, budu se podrobněji zabývat jen odrůdami z mírného pásma. (McClure 1989).

Bambusy mírného pásma se musely adaptovat na extrémnější podmínky a především na čtyřfázový roční cyklus, který ovlivnil způsob růstu bambusů.

Podzemní kořenová část se prodloužila, aby se zlepšila schopnost získávat vodu a živiny z půdy. Díky rozsáhlým kořenovým systémům je tedy bambus schopen postupně kolonizovat celou plochu, kde se vyskytuje. Takto adaptované bambusy dobře snášejí mráz a nedostatek vláhy v zimních měsících. Nejčastější výskyt odrůd mírného pásma je v středně vysokých hornatých oblastech Číny, Koreje a Japonska. V těchto oblastech je silně kontinentální podnebí (léta jsou velice horká a parná, zimy mrazivé a suché). Srážky jsou nejčtenější v letních měsících, což zaručuje dostatek vláhy pro celý kořenový systém a urychluje růst nových výhonků vyrašených na jaře (Rezl 2006).

Vybral jsem 3 hlavní odrůdy, které přímo vyhovují mé BP. Jsou jednak vhodné pro velké nosné konstrukce, jelikož dorůstají dostatečných rozměrů a zároveň patří do skupiny bambusů mírného pásma, takže jsou schopny přežít zimu i v Evropě. Porosty obou rodů jsou schopny se vegetativně rozmnožovat a rozšiřovat své porosty a jsou schopny vytvořit trvalý porost, který by se stal zdrojem konstrukčního materiálu.

3.2.1 Rod *Phyllostachys*

Toto je nepočtenější a nejrozsáhlejší rod, do kterého spadají především porosty v nížinách v Číně od subtropického po mírné pásmo. Dále se rozšířily do dalších částí Asie, do některých oblastí byl tento rod uměle importován pro jeho ekonomické využití. Nejznámějším a z ekonomického hlediska nejdůležitějším druhem je *Phyllostachys pubescens*, jehož pěstování zejména v Číně je důležitou součástí ekonomiky. Tento rod je velice adaptabilní, jelikož odrůdy zanesené do Japonska se postupem let vyvinuly v nové odrůdy, které se vyskytují pouze v Japonsku. Tento rod má vysokou odolnost a snášenlivost vůči změnám ročního cyklu a vůči vlivu kontinentálního podnebí. Tato odolnost rodu *Phyllostachys* byla využita a začalo se s experimentálním pěstováním v Evropě, kde se bambus uchytil. Při dodržení dostatečného zavlažování lze se tento rod vegetativně rozmnožovat (Wufeng 2005).

Rostliny tvoří vzpřímená stébla, která v intervalu 3 let tvrdnou a postupně dřevnatí a dosahují desetimetrové výšky. Větve vyrůstají v párech vždy tak, že jedna z nich je silnější a nese více listů. Jedná se rostliny výběžkaté, které se velmi snadno rozrůstají do stran, pokud mají prostor (Wufeng 2005).

3.2.2 Dendrocalamus

Z Thajska pocházející rod, který zastupují největší bambusy na světě. Tento rod se vyvíjel v náročných podmínkách Thajska, kde vzhledem ke konkurenci byl nucen vytvářet stébla s větším průměrem (8-20 cm), aby mohly stébla růst do velké výšky (30 m), kde dosáhly svými listy na nestíněnou plochu. I když se jedná o největší stébla, tloušťka stěny stébla se pohybuje od 1 do 2 cm. S rostoucím průměrem se tedy zvyšuje i délka jednotlivých segmentů 0,5 m (Schröder 2010).

Tyto obrovské bambusy jsou nenáročné na pěstební podmínky a navíc jsou mrazuvzdorné, životnost celého porostu se pohybuje od 60 do 100 let.

Oproti předchozímu rodu se jedná o trsovitý bambus, což znamená, že nemá klasické segmentové oddenky, ale systém hlíz, které vždy vyrůstají ze staré nové, a z každé hlízy vyrůstá výhonek. Dochází tak k těsnějšímu prorostení půdy a tedy i vyšší stability rostliny a celého porostu (Schröder 2010).

3.2.3 Arundinaria

Tento rod pochází ze severní Ameriky, kde byl dříve velice rozšířen, ale kolonizací byly zlikvidovány téměř veškeré porosty. Jedná se o rákosovec, má tedy tenčí stébla (2-7 cm) s tenčí stěnou (do 1 cm), ale i tak dorůstá do výšky až 10 metrů. Tento rod patří mezi výběžkaté bambusy, rozmnožuje se vegetativně, porosty se rozrůstají v hlavních osách oddenků (Wufeng 2005).

Největší slabinou pro tento rod je jeho nízká mrazuvzdornost, už při 5 °C začíná mít rostlina problémy s dodávkami vody a živin, při bodu mrazu dochází k postupnému umrznutí a uschnutí nejdříve nadzemních částí a později i oddenkového systému (Wufeng 2005).

3.3 Morfologie a stavba bambusů

Anatomická stavba bambusů je stejná jako u trav, s rozdílem ve schopnosti dorůstat daleko větších rozměrů a v průběhu několika let zdřevnatět. Jelikož je stéblo bambusu duté a neobsahuje žádné kambium, není tedy schopné se dále postupně rozrůstat do šířky ani do výšky. V následujícím období růstu vyrůstají nová silnější a vyšší stébla, aby lépe dosáhla k světelné energii. Jakmile dosáhnou až na světlo, začnou růst stébla stejně vysoká a tlustá. Porost je vždy víceletý a sám se postupně

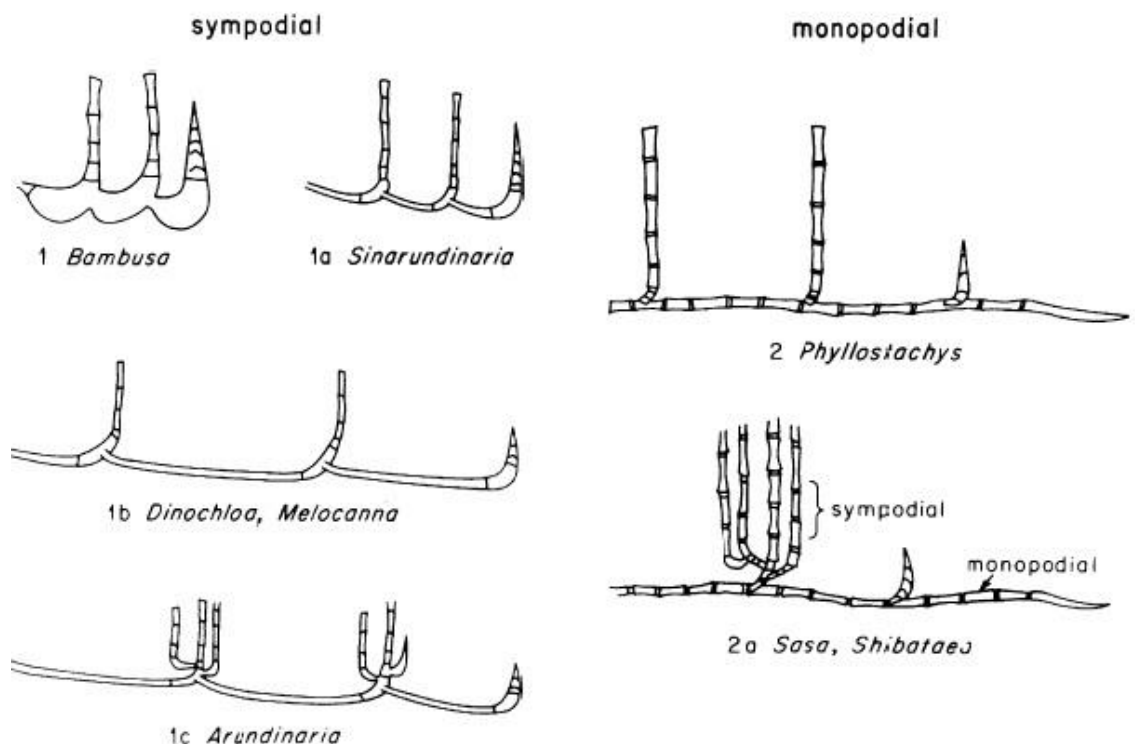
obnovuje, jak postupně nejstarší stébla dřevnatí, tak dorůstají nová stébla stejně dlouhá (Rezl 2006).

3.2.4 Oddenkový systém

Oddenky rostou v hloubce 15 až 30 cm pod zemí a vytvářejí rozsáhlé kořenové systémy, kterými se postupně v každém vegetačním období rozšiřují do plochy.

Stejně jako stéblo tak i kořeny jsou rozděleny do segmentů a odděleny kolénky, na každém kolénku je pupen, ze kterého se pak dál vyvíjí výhonek nebo pokud se jedná o postranní pupen, tak dojde k vytvoření nového oddenku a určení tak dalšího směru rozrůstání oddenkového systému. Špička oddenku je tuhá a pevná, ale na druhou stranu křehká. Proto jsou oddenky schopny pronikat i tvrdým podložím. Oddenek je schopný se sám zvlhčovat, což mu usnadňuje prorůstání kamenitými a suchými půdami.

Každý rod má vlastní specifický kořenový systém, ve kterém se pravidelně objevují stejné tvary kořenů. Tyto tvary jsou dány úrovní zhutnění půdy, ale především oblastí, ve které daný rod žije (McClure 1989).



Obr. 1: Druhy oddenkového systému (McClure 1989)

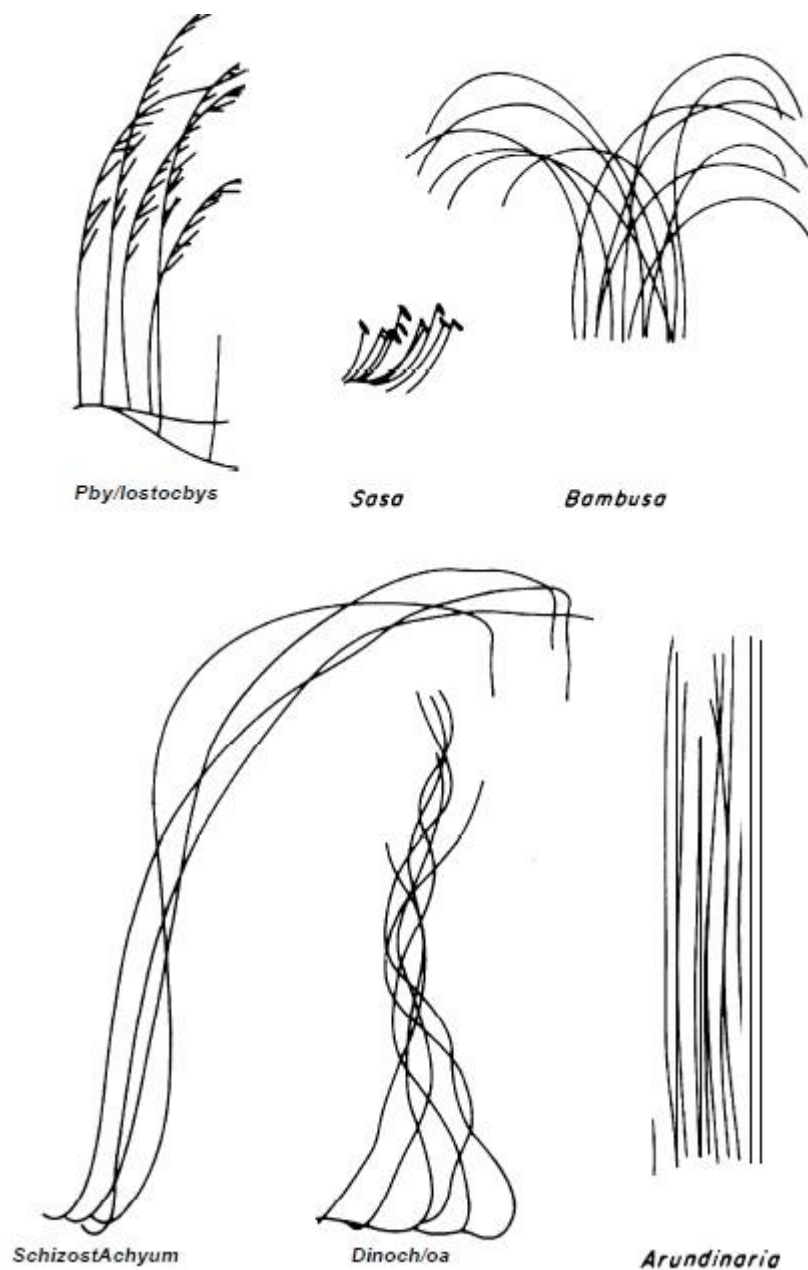
3.2.5 Kořenový systém

Jediná část bambusu, která není segmentována, jsou kořeny, které jsou vláknité se stále stejnou tloušťkou. Všechny kořeny vyrůstají pouze z oddenkových kolének, rostou tedy ve stejné hloubce jako oddenky do 30 cm od povrchu. Rostlina kořeny přijímá z půdy veškeré živiny a potřebnou vodu. Kořeny dále také pomáhají zvyšovat stabilitu výhonu. Ze spodních 2 nejtlustších kolének výhonku také rostou kořeny, ty slouží hlavně pro zvýšení stability výhonu, zvětšují se s velikostí stébla a mají kotvící funkci (McClure 1989).

3.2.6 Stonek

Stonek je tvořen dutými válcovými segmenty, které jsou propojeny tuhými kolénky, které tak tvoří přepážky mezi jednotlivými segmenty, a tak vzniká dutý stonek s výztuhami. V kolénkách má pletivo největší hustotu (s hustotou roste obsah křemíku), zde je tedy bambus nejtvrdší. Stejně zhuštění pletiva je i na povrchu stébla, díky čemuž vzniká tvrdý a hladký povrch, který chrání pletivo vedoucí vodu, živiny a látky potřebné k růstu. U bambusu na rozdíl od stromů dochází k minimálnímu tloušťkovému úbytku s rostoucí výškou. Segmenty mají stejnou délku, šířku i tloušťku stěny stébla. Kolénka jsou největší ve spodní části u oddenku a s rostoucí výškou se zmenšují a postupně snižují výstupky a tvar stébla se více přibližuje válci. Z kolének vyrůstají větve střídavě velká a malá (Rezl 2006).

Dřevnatění stonku začíná ihned po skončení růstu (přibližně po 2 měsících) a postupem času se tvrdost zvětšuje a vrcholí po 3 letech od vyrašení výhonu. K tomu dochází v důsledku zvyšování obsahu křemíku ve stéblech. Životnost takto zdřevnatělých stébel se pohybuje od 5 do 10 let. Vlákniťatá struktura bambusu tuto trvanlivost určuje. Struktura je tvořena z poloviny celulórou a ze zbytku ligninem a křemíkem (McClure 1989).



Obr. 2: Rozdělení stonků dle rodů (McClure 1989)

3.2.7 Větve

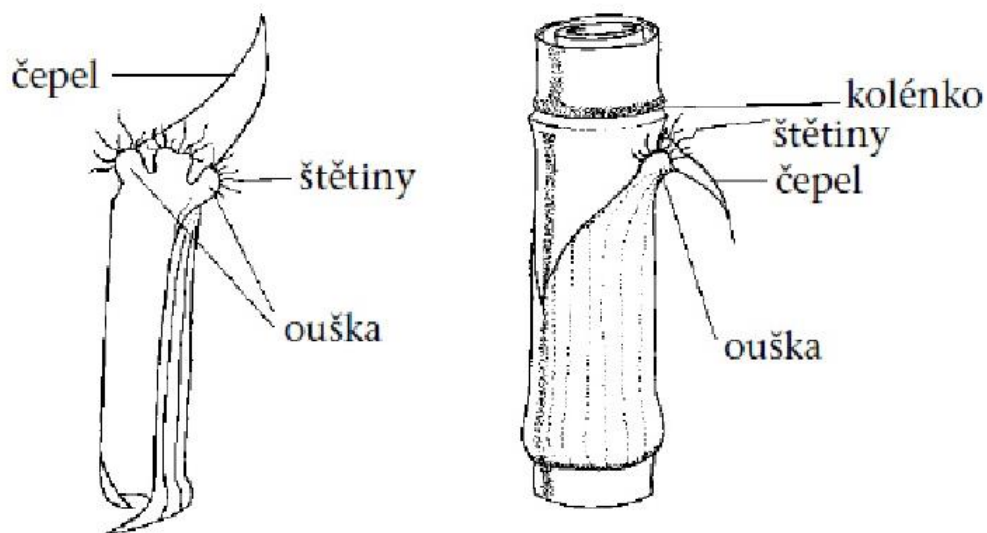
To čím se bambus odlišuje od trav, je schopnost tvořit větve, což trávy nedokážou, jde tedy o specializaci, která se u bambusu vyvinula, aby obstál v konkurenci vyšších rostlin. Jelikož se jedná o vyvinutou specializaci, došlo tedy při vývoji samostatných rodů k vzniku několika základních typů uspořádání větví. Větve rodu *Sasa* rostou samostatně, z každého kolénka roste 1 segmentovaná větev. U rodů *Phyllostachys* se vyvinuly 2 větve, kde je vždy jedna dominantní a větší. U dalších

druhů dochází po vyrašení primárních větví k vyrašení sekundárních malých větví, kterých může být až 13 na jednom kolénku (McClure 1989).

Bambusy jsou dále rodově specializované na dobu a způsob růstu větví, kdy u rodu *Phyllostachys* větve rostou zároveň se stonkem vždy o 1 segment pozadu. Oproti tomu u rodu *Fargesia* první rok vyroste samotný stonek a na jaře dalšího roku začínají teprve růst větve i s listy (Rezl 2006).

3.2.8 Pochvy

Jsou to ochranné obaly oddenků, stébel a větví při růstu, chrání je především proti vlhkosti. Po zakončení růstu nemají další funkci, proto buď odumírají a opadají nebo zůstanou trvale přirostlé. Dle drobných zakončení (ouška, štětiny) na pochvách u stébel se dají dobře určovat jednotlivé druhy. Pochva je zakončena čepelí, která chrání větev. Pochvy oddenků zaručují hladkost špičky oddenku a tím i jeho lepší prorůstání půdou. Listové pochvy jsou dokonalou verzí nevyvinutých stébelných pochev, tvoří totiž samotné listy. Vyrůstají z posledních segmentů u špičky stébla a posledních segmentů větví. Listy jsou připojeny k větvím stopkami zvané řapík, díky němuž jsou listy daleko adaptabilnější na okolní podmínky jako je vítr a déšť, jelikož jsou volnější a nepřenášejí tolik vnějších sil na větev a stébla. Připojení listů bambusu ho zásadně odlišuje od trav, kde je absence řapíku a listy obepínají stébla (McClure 1989).



Obr. 3: Detail pochvy (Rezl 2006)

3.3 Pěstování bambusu

Vhodná půda pro bambusy je dobře prostupná, lehce písčité a suchá. Méně vhodné jsou trvale zamokřené půdy, ztužené, čistě písčité, kamenité a jílovité. Ideální je porost umístit do údolí, kde budou slabší a méně časté poryvy větru, které mají negativní vliv na růst a rovnost stébel bambusů. Půda nesmí být příliš suchá, v oblasti musí být pravidelné srážky nebo je nutné zajistit zavlažování. Zavlažování je nutné i v zimě, kdy dochází k promrzání půdy a to brání rostlině dostat se k vodě a pak usychá. Bambusy potřebují dostatek světla, je tedy nutné, aby v těsné blízkosti porostu nebyli konkurenční stromy a porosty, které by bambusu stínily. Nedostatek světla rapidně zpomaluje růst a dřevnatění stébel.

Při zakládání nového porostu je nutné o porost pravidelně pečovat, hnojit, zalévat, kontrolovat růst nejlépe první 2 roky zakládání porostu. V této době probíhá důležité prokořenění a vytvoření dostatečného oddenkového systému, který se postupně může rozrůstat. Po 2 letech už je porost samostatný a vegetativně se rozmnožuje. Je důležité sledovat možný výskyt chorob a kontrolovat dostatečnou vláhu (Baník 1995).

Nejvhodnější doba sázení bambusu je na jaře od dubna, kdy už nehrozí ranní přízemní mrazíky, které by mohly slabé výhonky zahubit. Bambusy je možné sázet až do srpna, později však ne, jelikož by sazenice nestihly dobře zakořenit a v zimě by uschly, protože by se nedostali k vodě a živinám (Kocourek 2015).

3.3.1 Zimovzdornost bambusů

Z vybraných rodů vhodných na nosné konstrukce s vysokou nosností je rod *Phyllostachys* nejodolnější. Jelikož je nejrozšířenější, existuje řada druhů přizpůsobených na růst v horách a vysočinách Číny, kde v lednu klesá teplota k -25 °C a v srpnu stoupá k $+30\text{ °C}$ (Baník 1995).

Všechny rody druhu *Dendrocalamus* jsou velice robustní rostliny, které jsou zvykle na chladné zimní období a do -10 °C bez ochrany vydrží.

Nejhorší zimovzdornost má americký druh *Arundinaria*, který roste v jižních státech Severní Ameriky, kde bývají zimy mírné a teploty zde jdou pouze k 0 °C . Pro jejich zachování přes zimu je ideální pěstovat je ve skleníku nebo výhonky zakrývat fóliovníky (Wufeng 2005).

3.3.2 Hnojení

Bambus je velice adaptabilní rostlina, která dokáže růst i v písčité, kamenité nebo jílovité půdě a rozrůstá oddenkový systém a vytvářet další výhonky. Pro rostliny je velmi vhodné hnojení ideálně vícesložkovými hnojivy (NPK) podporující růst se standardním obsahem dusíku. Naopak zvýšené dávky dusíku sice zvyšují rychlost růstu, ale nedochází k dostatečnému prorostení a vyzrání pletiv, což značně snižuje ohybovou pevnost. Před zimou se doporučuje dusíkatá hnojiva vynechat úplně a hnojit pouze hnojivy obsahující draslík, který podporuje odolnost proti mrazu. Ponechání spadlého listí pod bambusy vede k samovolnému pohnojování mulčováním (Baník 1995).

3.4 Fyzikálně-mechanické vlastnosti bambusu

Bambus se díky své struktuře, tvaru a rozměrům chová velmi specificky a odlišně od dřeva a dalších kompozitních materiálů. Stébla svým kruhovitým tvarem a tím, že jsou dutá, segmentovaná, dělená jednotlivými kolénky, ve kterých se nachází přepážky, tvoří velice pružnou pevnou, ale zároveň lehkou tyčovinu, která má ve stavebnictví všestranné použití (McClure 1953).

3.4.1 Anatomické elementy

Bambusové stéblo má specifické složení anatomických elementů. Vlákna jsou uložena vertikálně po celé délce stébla a procházejí skrze kolénka. Vlákna zabírají 60 - 70 % hmotnosti stébla a oproti ostatním dřevinám jsou několikrát delší. Délka vláken se v závislosti na rodu pohybuje od 1,5 mm do 3,5 mm (tuzemské dřeviny od 0,1 do 1,2 mm). Procentuální složení anatomických elementů ve stéble je následující: vlákna 40 %, parenchymatické buňky 50 % a 10 % zabírají cévy (Janssen 2000).

3.4.2 Chemické složení

Bambus je tvořen z poloviny celulórou a z druhé poloviny ligninem, ale hlavní tvrdost bambusového stébla dodává křemík, který je ve vláknech obsažen v malém množství. Chemické složení bambusových stébel se na průřezu stébla mění. Směrem od středu k povrchu přibývá obsah křemíku (až 5 %), který se nachází především v sklerenchymatických buňkách (Janssen 2000).

3.4.3 Fyzikální vlastnosti

Bambus se vyznačuje vysokou vlhkostí blízkou 100 %, což je dáno tím, že bambus je stálezelená rostlina a buňky stále udržuje plné vody. Mez hygroskopicity

bambusových stébel se pohybuje okolo 20 – 22 %. Vlhkost se opět mění na průřezu stébla, kde se ohybuje okolo 80 % na povrchu stébla až k 110 % na vnitřní straně stébla. To přímo souvisí s hustotou bambusových stébel, která se mění jak v průřezu, tak i po délce stébla. Nejvyšší hustotu mají stébla na povrchu, kde se vytváří hladká a tvrdá vrstva zajišťující statickou pevnost. Dále vysokou hustotu mají kolénka s přepážkami, které rozdělují stéblo do segmentů a pomáhají přenášet napětí z jednoho bodu do celého stébla. Bambusová stébla mají obecně malou smáčenlivost. Povrch je hladký, tvrdý, s uzavřenými póry a tedy v podstatě nesmáčenlivý. To snižuje difúzi kapalin do dřeva v příčném směru proti vláknům (Janssen 2000).

3.4.4 Mechanické vlastnosti

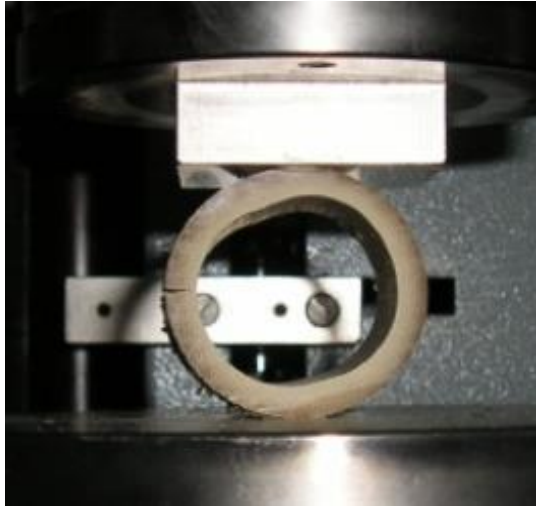
Bambus je nejpružnější zdřevnatělý přírodní kompozitní materiál. Jedinečný tvar stébla a jeho anatomické složení určují pružnost, pevnost, obsah křemíku ve sklerenchymatických buňkách určuje tvrdost stébla bambusu (Janssen 2000).

3.4.4.1 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku napříč vlákny u bambusových stébel je nižší než domácích dřev, při tlaku na stěnu stébla dochází nejprve pružné deformaci, kdy se stéblo zplošťuje. Meze pevnosti dosahuje stéblo těsně předtím, než praskne a zborší se. Mez pevnosti v tlaku napříč vláken cca 10 000 Mpa. Pevnost v tlaku podél vláken je velice ovlivněna segmentací stébla, což rozkládá působící sílu do celého stébla. Pevnost v tlaku podél vláken je 18 000 Mpa (Sebera a kol. 2010).



Obr. 4: Zkouška pevnosti v tlaku – osa působení síly rovnoběžná se směrem vláken (Janssen 2000)



Obr. 5: Zkouška pevnosti v tlaku - osa působení síly kolmá se směrem vláken (Sebera a kol. 2010).

3.4.4.2 Pevnost v tahu

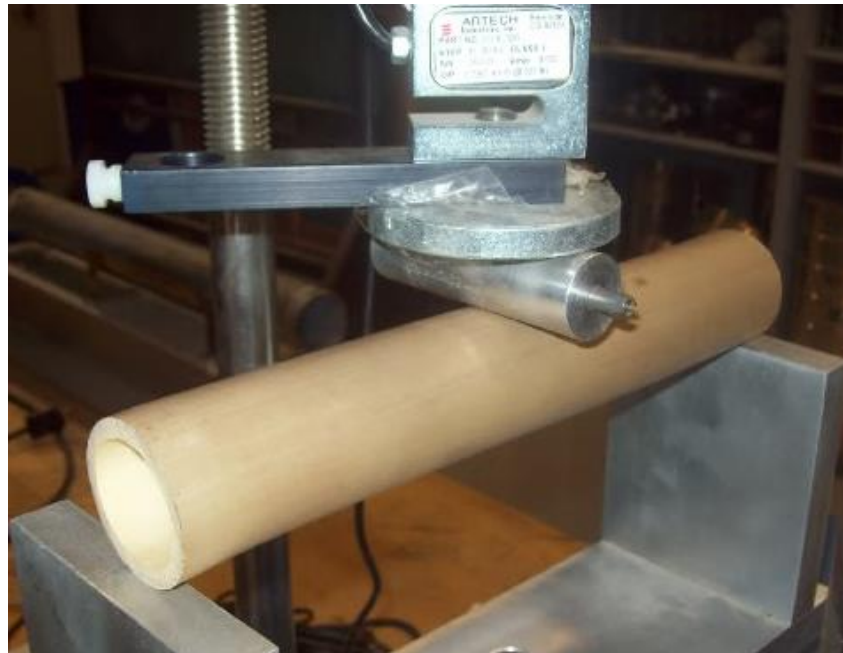
Při zkouškách pevnosti v tahu podél vláken bambus obstál velmi dobře a pevnost je 10x větší v tahu nežli v tlaku. To vše je způsobeno minimálním odklonem vláken od osy namáhání a jejich extrémní délkou. Při zkoušce často dojde k rozdrčení bambusového stébla čelistmi stroje a tím i nepřesného měření a nižších výsledků. Pevnost v tahu napříč vláken je pro bambus kritická, jelikož jeho tvar je kruh a tak při roztahování stébel dojde snadno k narušení vnitřní slabší vrstvy a roztržení vláken od sebe. Této vlastnosti se využívá při štípání bambusových stébel (Sebera a kol. 2010).



Obr. 6: Zkouška pevnosti v tahu – testování pomocí navrtaného šroubu (Janssen 2000)

3.4.4.3 Pevnost v ohybu

Bambus je stálezelená tráva, která má dutý stonek, který neobsahuje kambium. Zelené pletivo pouze po čase zdřevnatí, takže si své pružnosti a ohybové charakteristiky stéblo ponechává. Při ohybu proti směru vláken dochází vždy k velkému průhybu a velkým vratným deformacím. Praktické zkoušky vyvrátili tvrzení, že pevnost v ohybu se zvyšuje přítomností přepážek, což sice pravda je, ale rozdíl je nepatrný. Bambus má tedy velmi vysokou mez pevnosti v ohybu napříč vlákny 200 Mpa a ohybový modul pružnosti 11 000 N (Sebera a kol. 2010).



Obr. 7: Zkouška pevnosti v ohybu - osa působení síly kolmá se směrem vláken (Nelson 2010)

Z porovnání všech možných zatížení se jeví jako nejlepší ohybové, kde se využije především tvar stébla a orientace anatomických elementů ve stéble. Toto je velká výhoda, kterou lze využít při návrhu krovu.

3.5 Ochrana bambusu

Tak jak se zatím jeví bambus jako úžasná rostlina s všestranným využitím, tak má i několik nevýhod, jedna z hlavních a pro tuto práci nejdůležitější je ochrana bambusových stébel, latí a materiálu vyrobených z bambusových stébel. Jelikož se nejedná o dřevo, nemůžeme tedy pracovat stejně jako s dřevem při ochraně před biotickými a abiotickými činiteli. Obecně platí, že nechráněný bambus má v suchém prostředí životnost 10 až 15 let. Po té začínají stébla degradovat, jsou náchylnější na

plísně a houby a na škůdce. Klesá statická únosnost, spoje ztrácí pevnost a soudržnost. Konstrukce se pomalu stává nestabilní (Kumar a kol. 1994).

3.5.1 Ochrana živých porostů

Při pěstování bambusu na plantážích je důležité kontrolovat růst, ale i zdraví porostu, a zdali není napaden dřevokazným hmyzem, houbami nebo plísněmi. Je nutné předcházet vzniku bakteriálních a virových onemocnění, které se mohou rozšířit na celý porost a znehodnotit a v horším případě zlikvidovat celý porost. Bambus vlastní ochranný systém nemá. Chemické látky, které se v bambusu nachází, nejsou toxické pro žádný hmyz ani houby, navíc tyto látky (waxiiny, resiny a taniny) se nachází ve stéblech jen v malém množství (Kumar a kol. 1994).

Účinná ochrana pro bambusové porosty je chemická, tedy použitím pesticidů a toxických postřiků. Postřik porostu je vhodné provádět hned na jaře dříve, než se hmyz probudí a začne s napadáním porostu. Jako účinná látka může být použit 0,2% roztok fenitrothionu nebo 0,1% roztok carbaryl. Tyto látky jsou velmi účinné proti veškerému hmyzu, který se živí listím, a tedy přímo ohrožuje životnost porostu. Pro ochranu stébel před dřevokazným hmyzem je vhodné provést postřik mýdelnou emulzí s petrolejem (Kumar a kol. 1994).

3.5.2 Ochrana vytěženého materiálu

Neméně důležitá je také ochrana vytěžených bambusových tyčí, které bez okamžité ochrany podléhají rychlé degradaci. Na výběr je řada variant ochrany, především přírodní, ale také účinnější chemická ochrana. Také je důležité při stavbě konstrukce správně použít konstrukční ochranu (McClure 1953).

3.5.2.1 Přírodní ochrana

Ihned po vytěžení začínají stébla kácených bambusů okamžitě ztrácet vlhkost a vysychat. V tu chvíli se stávají atraktivním pro dřevokazný hmyz živící se mrtvým dřevem. Hmyz láká především cukr rozpuštěný bambusových stéblech. Proto je nezbytné cukr ze stébel dostat a tím značně snížit riziko napadení hmyzem. Existuje několik postupů, jak snížit obsah cukru ve stéblech. Nejjednodušší je sklízet bambusy v zimě, kdy se obsah cukru rapidně snižuje vůči letním měsícům. Další řešením je pokácená stébla ponechat i s listím ve vzpřímené poloze opřené o stromy. Parenchymatické buňky žijí ještě několik dní po pokácení a spotřebovávají cukr uložený

v zásobách. Další velice účinná metoda je čerstvě pokácená stébla položit do stojaté nebo proudící vody a nechat vodu, aby vyplavila cukr z buněk. Tento proces vyžaduje 1 - 3 měsíce máčení. Pro nejúčinnější odstranění cukru z bambusu je vhodné tyto metody kombinovat (Janssen 2000).

3.5.2.2 Chemická ochrana

Nejjednodušší chemická ochrana, která se běžně používá, je vysušování kouřem. Stébla se nechávají v udících kotlích, kam vede horký kouř z ohně. Kouř jednak barví stébla do tmava, ale též zanechává karbonovou stopu na bambusu a ten se pak stává méně požitelný pro hmyz. Další možným řešením je nátěr hašeným vápnem, které zakonzervuje povrch stébla a hmyz se přes tuto vrstvu ke stéblu nedostane.

Modernější a efektivnější způsob ochrany je tlaková impregnace, kde dochází k impregnaci do hloubky a proimpegnování cév. Jako účinná látka se volí pentachlorophenol nebo PcP ve složení kyselina boritá a borax. Používá se metoda prázdných buněk - zvýšený tlak stlačí kapaliny a vzduch v pórech a následný ještě vyšší tlak natlačí impregnační látku do stébla a přebytek látky je vytlačen roztahující se kapalinou uvnitř pórů. Chemická ochrana je nejúčinnější ze všech, ale zatěžuje přírodní prostředí nejvíce, proto ji volíme jako poslední řešení (Kumar a kol. 1994).

3.5.2.3 Ochrana před ohněm

Další velkou nevýhodou bambusových stébel je jejich hořlavost. Bambusové konstrukce jako je krov a střecha jsou potencionálně velmi náchylné na vznícení. Bambusový krov v kombinaci s ratanovými rohožemi a krytinami neodolává ohni výrazně dlouhou dobu. Po prohoření spojů, dochází ke kompletnímu zborcení konstrukce (Kumar a kol. 1994).

Jediná možná ochrana je chemická a to postřikem běžně využívané sloučeniny, jejíž poměr je v následující tabulce.

Tab. 1: Poměr chemických složek impregnace dle S. Kumara (1994)

	dílů
Voda	100
fosforečnan amonný	3
síran měďnatý	1
chlorid zinečnatý	5
dichroman sodný	3
kyselina boritá	3

3.6 Těžba bambusu

Při těžení bambusových tyčí je nutné dodržovat několik zásadních pravidel pro zachování plantáže a možné další produkce bambusových tyčí. Vždy je důležité zamezit odkopávání oddenkového systému a odkrývání kořenů, což způsobí úhyn plantáže. Porost se nesmí vytěžit celý, u každého trsu musí zůstat minimálně 3 zdravá dospělá stébla a 3 mladé výhonky. Těžbu bambusových tyčí je vhodné neprovádět po deštích, kdy dochází k pučení výhonků nových stébel (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

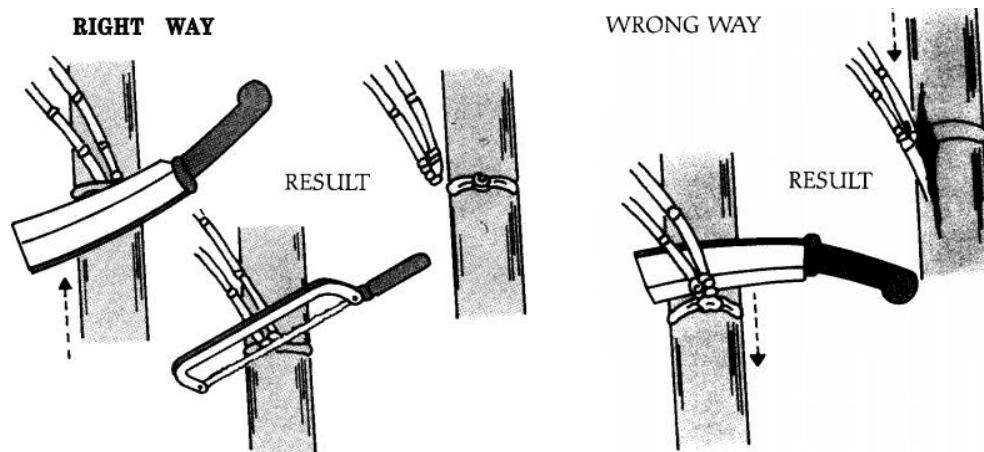
Těžba se zpravidla provádí ručními nástroji, jelikož bambusové porosty bývají velmi husté a jakákoliv manipulace s většími než ručními nástroji je nemožná. Vzhledem k anatomické stavbě stébel je vhodnější použít sekání než řezání. Při sekání se v prostoru mezi koleny snadno přeseke stěna stébla a získáváme tak hladký konec tyče. Při řezání dochází k trhání vláken a roztřepení konce tyče.

Vhodným nástrojem je tedy malá jednoruční sekera s rovným a velmi dobře nabroušeným ostřím, aby byl těžař schopen co nejméně seky utnout stéblo a vytvořit co nejhladší konec. Dalším velice dobře osvědčeným nástrojem je mačeta s delším a těžším ostřím. Mačeta musí být dostatečně těžká, aby s ní těžař mohl vyvinout takovou kinetickou sílu, kterou usekne stéblo jedním úderem (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

3.6.1 Odvětvení

Při odvětvení bambusových stébel vždy postupujeme od paty stébla směrem k vrcholu. Samotné odvětvení provádíme řezem ze spodní strany větve a jejímu seříznutí z kolínka. Směr řezu je důležitý, aby nedošlo k odštípnutí a vytržení tvrdých svrchních vláken ze stébla v oblasti kolena. Jako nástroj na odvětvení je nejvhodnější

nůž s tenkým ostřím nebo ruční pilka, u které je doporučeno 7-10 zubů na 10 mm pilového pásu (Gnanaharan, Mosteiro 1996).



Obr. 8: Správný a špatný postup při odvětvení bambusových stébel (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

3.6.2 Sušení bambusových tyčí

Bambus jakožto travina má vysokou hygroskopicitu dokonce větší než většina dřevin, což výrazně zpomaluje vysychání tyčí, naopak tyče jsou schopné snadno přijímat vlhkost zpátky. Bambus se zpravidla těží sice až je zdřevnatělý, nicméně stále se jedná o zelený rostoucí porost s vysokou vlhkostí. Vlhkost čerstvě skácených bambusových tyčí se pohybuje mezi 100 až 150 % vlhkosti dle druhu. To vše ztěžuje a prodlužuje sušení bambusu, což může mít negativní následky. Při pomalém sušení dochází k výraznému sesychání především nad bodem nasycení vláken. Proto pokud je možno je vhodné sušení urychlit, aby se snížilo seschnutí (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

3.6.2.1 Horkovzdušné sušení v sušárnách

Jedná se o nejrychlejší, ale nebezpečnou variantu sušení, kdy je velmi ohrožena celistvost a původní tvar bambusových tyčí. Díky mírným sušicím podmínkám v kombinaci s vysokými teplotami dochází ke kolapsu stébel a v horším případě k praskání stébel v podélném směru vláken. Toho lze využít jen v případě, kdy vysušené tyče rozstřípeme na latě (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

3.6.2.2 Přirozené sušení

Při zvolení vhodných podmínek umístění skladu a dodržení obecných zásad přirozeného sušení (orientace na jižní stranu svahu, suchá oblast, dostatečný proud

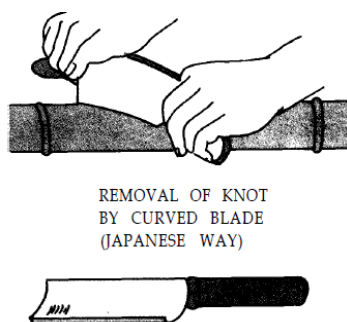
vzduchu, ...) se doba sušení pohybuje okolo dvou až 3 měsíců. Opět může docházet ke kolapsu stébel a tím i rapidní redukci mechanických vlastností stébla. Další nevýhodou je intenzivní sesychání při dlouhodobém sušení. Sesychání je navíc po délce stébel nerovnoměrné a tedy stébla ztratí svoji přirozenou konstantní tloušťku. Toto rapidní sesychání se objevuje především u špatně nebo zcela nevyzrálých stébel. Proto je při těžbě nebo během skladování vyřadit dokonale zdřevnatělé a vyzrálé tyče a od těch nedozrálých. Tím udržíme konstantní jakost suchých tyčí (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

Bambusové tyče je možno sušit ve 2 polohách a to standardně v horizontální poloze v hraních, kde je sušení více rovnoměrné, ale může se zde projevit negativní vlivy prohnutí tyčí, především ve spodní části hraně. Z východu přišla myšlenka sušit tyče vzpřímeně. Zde je nutné zajistit 100% suchý podklad respektive sušit ve stojaté poloze nad zemí (Janssen 2000).

3.7 Zpracování a obrábění bambusu

3.7.1 Základní opracování

Při primárním opracování zpravidla začistujeme tyče a jejich konce a sjednocujeme průměr celé tyče, tedy odstraníme vystouplá kolénka. Existuje několik technik jak kolénka odstranit, ale u většiny dochází k zbytečně velkému poškození celé tyče. Nejlepší metoda pochází z Japonska a využívá speciálního zahnutého nože, díky kterému se kolénko snadno a hladce seřízne a dojde jen k minimálnímu poškození tyče (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

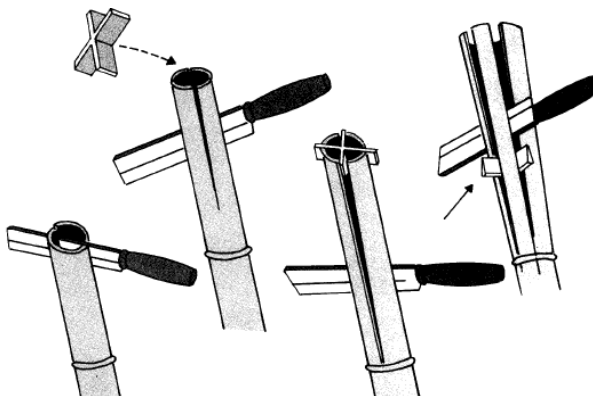


Obr. 9: Japonský nůž se zakřivenou čepelí pro odstraňování kolínek (Gnanaharan, Mosteiro 1996)

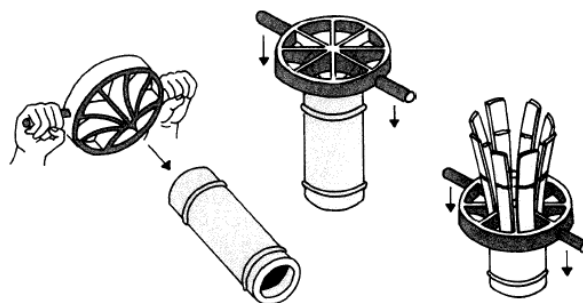
3.7.2 Štípání na latě

Nejčastějším produktem z bambusových tyčí bývají naštípané bambusové latě. Jejich profil se pohybuje od pravidelného obdélníkového rozměru přes rovnoběžníkový

profil až k latím, jenž zaujímají $\frac{1}{4}$ celé bambusové tyče. Ve východních zemích se vyvinulo mnoho způsobů jak bambusové tyče štípat. Techniky se postupně zdokonalovaly, až se z jednoduchých křížových rozpěrek vyvinuly důmyslné štípací hlavice, přes které se protlačí celé bambusové tyče. K naštipání bambusových tyčí není potřeba žádné speciální zařízení ani nástroj, stačí nůž s širším ostřím, kterým nařizneme mezery na naštipnutí a vložíme do zářezů klínky. Pak už stačí jen nůž protlačit jednotlivými zářezy, dokud se tyč nerozštípne na latě (Gnanaharan, Mosteiro 1996).



Obr. 10: Štípaní bambusové tyče pomocí širokého nože a štípacího profilu (Gnanaharan, Mosteiro 1996)

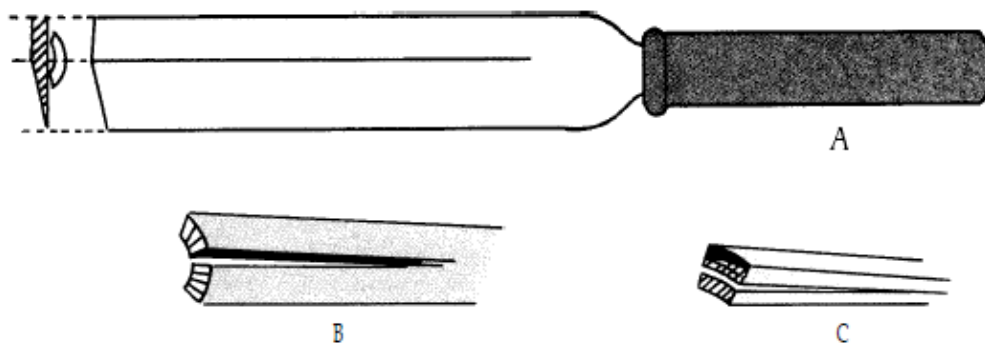


Obr. 11: Štípaní bambusové tyče na osminy protáčením štípacího profilu (Gnanaharan, Mosteiro 1996)

3.7.3 Výroba pásů

Pokud budeme bambusové tyče dále štípat na tenčí latě, získáme tím tenké pružné pásy, se kterými se dá velmi dobře manipulovat a jsou tedy přímo vhodné pro pletení bambusových rohoží nebo pevnějších tenkých pletených zdí, které většinou slouží jako základ pro podlahy nebo zdi. Pásy můžeme vyrábět buď štípaním latí v radiálním směru, nebo v tangenciálním směru. Dochází ke vzniku dvou odlišně chovajících se pásů. Radiální pásy jsou tužší, ale dříve se zlomí, kdežto při tangenciálním štípaní

vznikne velice pružný a ohebný pás, který už nedrží stálý tvar. Pro výrobu pásů je nejvhodnější ruční nářadí a o dlouhý těžký nůž, který má na jedné straně rovnou čepel a na druhé straně zkosené ostří. Díky tomuto tvaru nože dochází k velmi snadnému štípání latí na pásy vlastní vahou nože (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

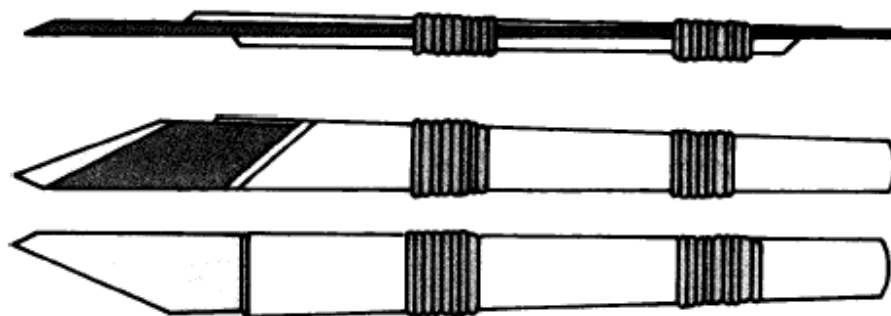


Obr. 12: Nůž na výrobu pásů se zkoseným ostřím na jedné straně (Gnanaharan, Mosteiro 1996)

3.7.4 Výroba pásků

Dalším dělením bambusových pásů získáme úzké a tenké, ale velice pevné pásky, které slouží jako přírodní náhrada za spojovací materiál. Pásky jsou zpravidla široké do 1 cm a tlusté jsou pouze několik mm, ale vzhledem k orientaci vláken, která procházejí celou délkou pásky, ji dodávají vysokou pevnost při působení v tahu podél vláken, což je hlavní způsob a směr namáhání bambusových pásek. Díky těmto vlastnostem jsou bambusové pásky velmi oblíbené jako spojovací materiál jak u drobného vybavení domu, tak i u velkých bambusových konstrukcí, které mají zůstat dostatečně pružné a nepotřebují tuhé spoje. Na východě je bambusová páska často používána jako náhrada za veškerá lana při výrobě dřevěných a bambusových konstrukcí (Gnanaharan, Mosteiro 1996).

Pásky se vyrábí jak manuálně tak mechanicky, ale vzhledem k tradicím a životní úrovni se preferuje ruční výroba. K tomu stačí pouze dřevěná podložka a tenký pracovní nůž podobající se skalpelu. Stlačením pásu mezi skalpel a dřevěnou podložku a následným protažením odřezáváme postupně jednotlivé pásky o stejné tloušťce (Gnanaharan, Mosteiro 1996).



Obr. 13: Nůž na výrobu pásek s tenkým ostřím 2 mm (Gnanaharan, Mosteiro 1996)

3.7.5 Konstrukční spoje

Další problematikou při práci s bambusem je řešení konstrukčních spojů. V našich podmínkách vždy musíme volit vhodné řešení, které zaručí dostatečnou pevnost a stabilitu konstrukce. Konstrukci nesmí spoje oslabit, aby unesla nejen střešní krytinu, ale i určitou vrstvu sněhu, která může při špatných podmínkách zatížení konstrukce zdvojnásobit. Spoje tedy nemohou být moc pružné, protože by mohlo dojít při nerovnoměrném zatížení k deformaci a zkřivení konstrukce krovu. Je tedy nutná kombinace různých typů spojů (Janssen 2000).

3.7.6 Tuhé spoje

Bambus jako konstrukční materiál má díky svému tvaru řadu výhod, ale také nevýhod a to v podobě pevných a tuhých spojů. Pokud při výrobě konstrukčních spojů stébel zvolíme sesazování a zadlabávání, tak extrémně oslabíme celistvou strukturu a drasticky snížíme mechanické vlastnosti bambusových tyčí. Tento problém lze částečně řešit provrtáním a kolíkovými spoji. Při vyvrtání otvoru, který svým průměrem nepřesahuje $\frac{1}{4}$ průměru bambusové tyče se pevnost v tlaku podél vláken nesníží, oproti tomu zadlabání do poloviny tyče sníží pevnost v tlaku o 75 – 95 % (Janssen 2000).

U ohybové pevnosti musíme brát v potaz, zdali ohybová síla působí podél osy vyvrtaných otvorů nebo kolmo na osu vyvrtaných otvorů. Působí-li síla v rovnoběžném směru s osou, tak se ohybová pevnost zmenší přibližně o 10 %. Naopak působí-li síla kolmo na osu, dochází k rozdělení napětí na 2 složky. Pod osou stébla vzniká tlakové napětí a nad osou tahové napětí. V místě otvoru vzrůstá napětí a dochází k odtrhávání vláken od sebe v podélném směru a rozštípnutí tyče. To je způsobeno tím, že v místě

otvoru, kde je tyč oslabená, působí největší síla kolmo na vlákna, která jsou mezi sebou spojena jen slabými vazbami. Na molekulární úrovni dochází k porušování slabých vazeb vodíkových můstků. Ohybová pevnost ve směru kolmo na osy otvorů se tedy může snížit až o 40 %, proto pokud je to konstrukčně realizovatelné, se snažíme vždy otvory vrtat v předpokládaném směru působení sil (Janssen 2000).

3.7.7 Pružné spoje

Jelikož bambus sám o sobě je pružný a dobře absorbuje napětí, tak se přímo nabízí pružné spoje svazováním nebo zaplétáním, které také dobře absorbují napětí. Tím vznikne konstrukce, která se při větším zatížení prohne, ale nedojde k jejímu zborcení nebo případnému porušení jednotlivých spojů nebo dílů konstrukce krovu. Na druhou stranu takováto konstrukce je méně stabilní a je nutné tomu přizpůsobit způsob upevnění a typ střešní krytiny. Jako spojovací materiál je vhodné použít bambusové pásky (viz literární přehled strana 28 kapitola 3.7.4. výroba pásek), dále je možné použít motouz ošetřený proti škůdcům a impregnovaný proti vlhkosti. V úvahu také přicházejí moderní polymerové stahovací pásky (Janssen 2000).

3.7.8 Napojení na zděný věnec

Spojování jednotlivých tyčí konstrukce se může jevit jako složité, nicméně je potřeba vyřešit upevnění na zděný věnec, kde je důležitá především tuhost spoje, a zároveň nesmí narušit strukturu tyčové pozednice, která nese váhu celé konstrukce krovu.

Vhodné řešení problému napojení vazby konstrukce krovu k zděnému věnci můžeme nalézt v kovových spojovacích materiálech. Pokud nesmíme porušit strukturu tyče vrtáním otvorů, tak jsme nuceni hledat alternativu v podobě přetažení kovovým plátem a jeho přišroubováním do betonového věnce. Je sice zmenšena pevnost spojení krovu s budovou, ale nedochází k porušení konstrukce samotného krovu. Zvýšením počtu těchto spojů eliminujeme oslabení spojení budovy a krovu a zajistíme tuhost celé střechy.

3.7.9 Střešní krytiny

Výběr vhodné střešní krytiny u vaznicové konstrukce z bambusových tyčí je nezbytné pro dostatečnou trvanlivost střechy a předcházení případných problémů se

zatékáním nebo škůdci. Dále musíme brát v potaz hmotnost krytiny a tedy zatížení krovu.

Jako základní možnost zastřešení krovu může být použity poloviny stébel s odstraněnými přepážkami. Poloviny bambusových tyčí jsou vyskládány ve dvou řadách na sobě tak, že vždy jedna polovina tyče v horní řadě překrývá mezeru mezi dvěma polovinami ve spodní vrstvě. Jednotlivé poloviny jsou ve spodní vrstvě umístěny hřbetem dolů, v horní vrstvě jsou poloviny tyčí umístěny hřbetem nahoru. Po délce jsou tyče propojeny tenkou bambusovou latí (Janssen 2000).



Obr. 14: část přichystané střešní krytiny (Pixgood 2014)

Mezi další alternativy střešní krytiny vhodné pro bambusový krov lze zařadit pozinkovaný plech připevněný pomocí drátu nebo lanek ke konstrukci. Plech je nutné provrtat pro připevnění nebo je nutné jednotlivé kusy plechu opatřit z vnitřní strany oky pro navázání ke konstrukci, čímž se předejde zatékání. Výhoda plechu je především jeho nižší hmotnost než u taškové krytiny a zároveň delší životnost než u krytiny z bambusových tyčí.

Pokud zvolíme jako krytinu tašky z pálené hlíny nebo břidlici, tak je nutné přizpůsobit celou konstrukci krovu, aby byla schopna nést hmotnost krytiny. Jednotlivé latě v krovu musí mít přesné rozměry, aby bylo možné tašky nebo břidlici pokrýt celou střechu.

3.8 Příklady bambusových domů

Domy postavené z bambusu byly odjakživa specifické a už na první pohled odlišné od ostatních typů domů. Celobambusové domy nikdy netvoří pravidelnou zástavbu, zpravidla bývají osamocené s přilehlým pozemkem pro zemědělství nebo chov dobytka. U bambusových domků se předem nepočítá s možnostmi používání pro další generace a tomu tedy přímo odpovídá i životnosti domků z bambusu (Janssen 2000).

3.8.1 Celobambusové domky

Jelikož je bambus na východě velice snadno dostupný v neomezeném množství, rozměru a téměř zadarmo, tak se z něj stává nejdostupnější stavební materiál pro stavbu levného domu. Pro nižší venkovskou třídu jsou tedy bambusové domy často jedinou možností, jak si zajistit bydlení. Tyto domy se pravidelně v časových intervalech obměňují, ať už postupně jednotlivé části domu nebo jako celý dům. Tyto vesnické domy bývají zpravidla vysuté nad zemí, aby držely obyvatele od vlhkosti a chladu země. Domy mají většinou 1 nebo 2 místnosti oddělené tenkými bambusovými nebo ratanovými rohožemi. Životnost těchto nejjednodušších domků se pohybuje okolo 15 let, kdy se postupně rozpadají nejdříve základy a pak postupně celá stavba (McClure 1953).



Obr. 15: bambusový domek Indonésie (Janssen 2000)

3.8.2 Zděné domky

V bohatších částech východní Asie se objevují domky s kostrou z bambusových tyčí a stěny už jsou zděné, zpravidla jde o kombinaci vápna a jílu, který je pro vyšší pevnost upěchován a spojen s bambusovými rohožemi. Povrch bývá často omítán, díky

čemuž domek dostává vzhled zděného domku. Takovéto domky bývají vybaveny už prosklenými okny a rámovými dveřmi. Stavba je tedy celkově pevnější a stabilnější a díky propracovanější konstrukci a kombinaci materiálu má delší životnost. V domech se zděnými zdmi se většinou už pracuje s impregnovaným bambusem, což rapidně prodlužuje životnost namáhaných bambusových částí. Díky zdem je možné zvětšit půdorys a na domek osadit větší a složitější krov, který nabídne větší světlost výšku místností a další úložné místo na půdě (McClure 1953).



Obr. 16: Hrázděný domek s bambusovou střechou Costa Rica (Janssen 2000)

3.9 Dostupnost bambusových tyčí v ČR

3.9.1 Import

Do ČR se dováží bambusové tyče z Indonésie, Vietnamu, Sumatry a Číny. Nej kvalitnější jsou bambusy ze severní Číny, které rostou pomaleji a mají tedy větší pevnost. Nákupní ceny bambusových tyčí jsou nízké a liší se dle odrůdy a pohybují se od 100 Kč za tyč až po 800 Kč za tyč. Od nejlevnějších tyčí vhodných na další zpracování (např. štípání na latě) až po silné tyče se cena zvyšuje s větší požadovanou délkou a průměrem tyčí. Zpravidla jsou dostupné tyče opatřené buď chemickou, ale častěji však tepelnou ochranou v podobě okuřování v udících pecích (Růžička 2012).

Existuje řada dodavatelů bambusových tyčí, avšak společnost Bamboodesign s.r.o. dodává bambusové tyče určené především na konstrukce jako je například krov. Jejich minimální objednávka je 5 ks tyčí, přičemž každá má cenu okolo 150 korun. Jedná se o spolehlivého dodavatele, který bambusové tyče dováží přímo ze

Sumatry a severní Číny. Tyče jsou buď zkrácené na konkrétní délku, nebo jsou ponechané v původní délce. Je tedy možné si zakoupit i dvanáctimetrové tyče. Dodávky jsou v řádu několika dnů, pokud se jedná o množství a rozměry, co má dodavatel na skladě. Pokud nejsou na skladě, tak dodávka může trvat i několik týdnů (Růžička 2012).

Jelikož v Česku neexistuje jediná plantáž, kde by se bambus pěstoval pro těžbu a zpracování je jedinou možností získat bambus od dovozců bambusových tyčí. Tím získávají výhodu dovozci, že mohou určit cenu, čehož se naštěstí nezneužívá a v rámci Evropy je cena bambusových tyčí stále přiměřená.

4 MATERIÁL A METODIKA

Pro splnění cíle práce, tedy návrhu bambusové konstrukce krovu, byl použit program Inventor 2015 od Autodesku, ve kterém byl narýsován a vytvořen 3D model krovu a veškerou příslušnou výkresovou dokumentaci. Jelikož se jedná pouze o návrh konstrukce, nikoliv její statické dimenzování, jako ekvivalenty bambusových tyčí byly použity modelové duté trubky v odpovídajících rozměrech vnější průměr tyče 10 cm vnitřní průměr 8 cm.

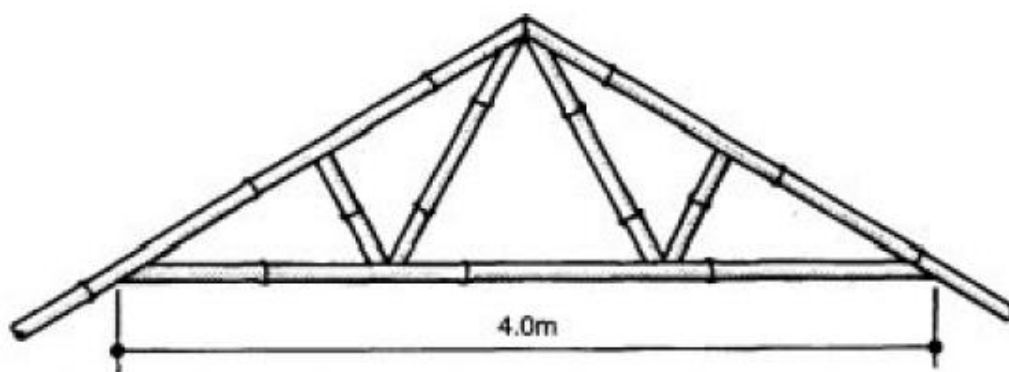
Konstrukce byla rozdělena nejprve na jednotlivé podsestavy a ty poté na jednotlivé prvky konstrukce, které byli zjednodušeny a vytvořeny je pomocí 2D náčrtu, kde na společný střed byli narýsovány kruhy 8 a 10 cm. Následně byl prostor mezi kruhy vysunut do prostoru a tím určen třetí rozměr prvku konstrukce. Takto vzniklé prvky byli postupně složeny do jednotlivých podsestav. Zvlášť je vytvořen štít a zvlášť vazník s vaznicemi. Tyto podsestavy byly vloženy do nové sestavy a pevně ukotveny mezi štítem a vazníkem a s vaznicemi a druhý štít. Nakonec byla konstrukce spojena v jeden celek a dostala jednotnou vhodnou barvu.

4.1 Volba typu konstrukce

Na výběr byli 3 základní varianty pro konstrukci krovu pro sedlovou střechu. Zvolena byla tedy nejstabilnější a zároveň nejjednodušší konstrukci. Konstrukce musí být snadno realizovatelná, proto je důležitá jednoduchost konstrukce. Při výběrů typů konstrukce je možno vybírat jak z konstrukcí používaných na východě, ale i z evropských typů konstrukcí, nebo jejich částečnou kombinací.

4.1.1 Finkova konstrukce typu W

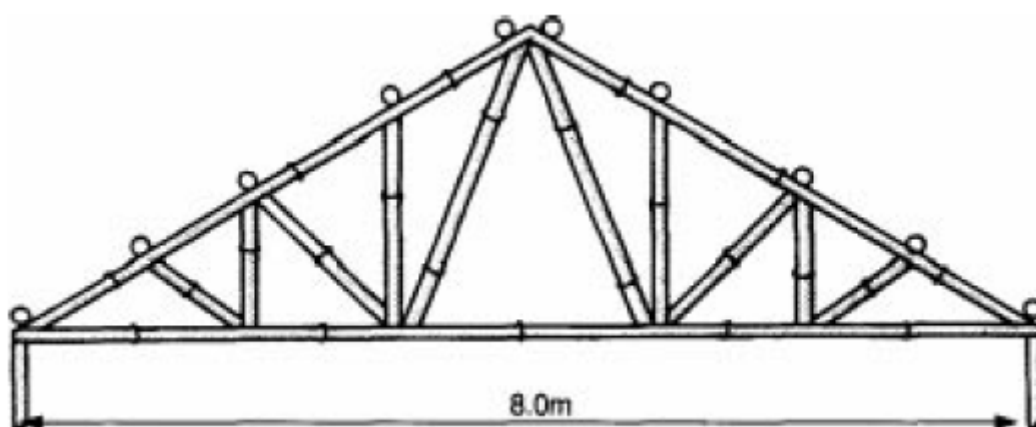
Tato konstrukce pochází z Německa z 19. století a je pojmenovaná po jejím objeviteli. Tato konstrukce se rychle rozšířila po celé Evropě ale i na východ, kde se začala konstrukce používat jak ve zděných tak i v bambusových domech. Vytvoříme-li tuto konstrukci z bambusu, dostaneme lehký a pružný krov, který má dobrou stabilitu ale nižší únosnost, která v tamních podmínkách je důležitá. Další nevýhodou této konstrukce je nutnost komplexnějších a složitějších spojů při vytváření vaznicových vzpěr ve štítu krovu (Janssen 2000).



Obr. 17: Finkova konstrukce typu W (Jayanetti, Follet 1998)

4.1.2 Janssenova konstrukce krovu

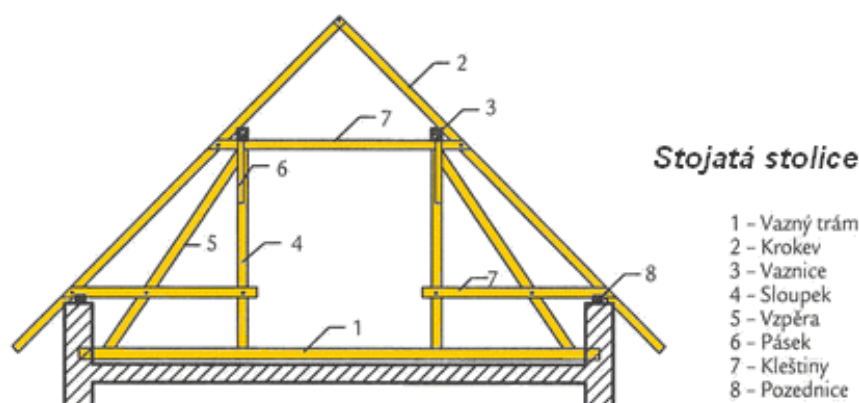
V roce 1995 navrhl Janssen novou konstrukci krovu, vhodnou pro větší objekty kde chceme použít klasickou sedlovou střechu. U takovéto konstrukce je potřeba delších vazníků, pozednic a nosníků, které jsou limitovány průměrnou délkou stébla a její použitelnou částí, která se z pravidla pohybuje mezi 4 až 8 metry. Pro větší vzdálenost mezi vzpěrami je nutné použít složitou Janssenovu konstrukci, která je zpevněná aby přenášela lépe zatížení, a dlouhé nastavované tyče jsou tak méně namáhány ve spojích, kde jsou nejslabší místa konstrukce krovu. Janssenova konstrukce je spíše vhodná do tropických a subtropických oblastí kde je jako střešní krytina zpravidla použity opracované části bambusových tyčí, jelikož má opět menší stabilitu a nosnost. Při použití tohoto typu krovu se doporučuje nedělat půdu, aby vznikl tak velký vzdušný prostor s dobrou cirkulací vzduchu (Jayanetti, Follet 1998).



Obr. 19: Janssenova konstrukce (Janssen 2000)

4.1.3 Hambálková konstrukce s vaznicemi

Jako třetí typ konstrukce krovu je vybrána hambálková konstrukce s vaznicemi, která je také nakonec použita pro porovnání krovu. Tato konstrukce je rozšířená po celém světě a je velmi oblíbená. Konstrukce má několik výhod, díky kterým ji lze využít prakticky všude, a lze ji vyrobit z různých materiálů včetně bambusu. Hambálková konstrukce může být dle místních podmínek, tradic a zvyků upravena a modifikována, aby splnila svůj účel. Při použití bambusových tyčí je nutné předpokládat nižší mechanickou pevnost než u masivních smrkových trámů, a proto je dobré zvolit modifikaci v podobě věšadlové konstrukce (Kadaně 2005).



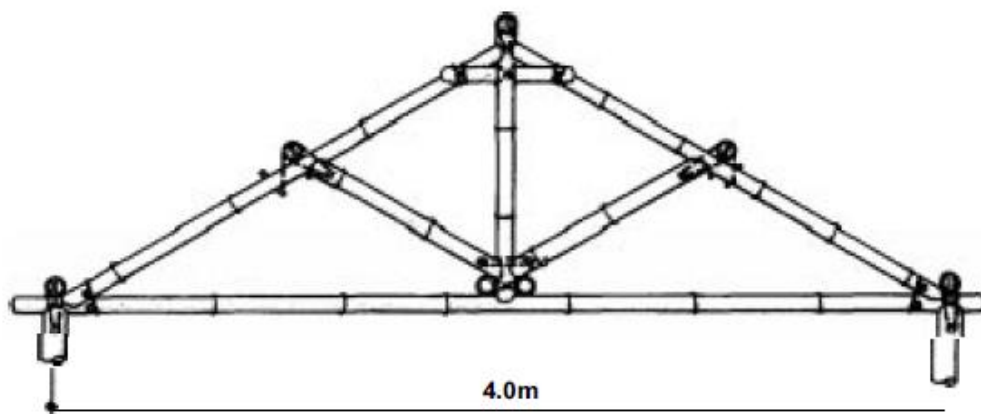
Obr. 20: Hambálková konstrukce (Kadaně 2005)

4.1.3.1 Věšadlová konstrukce

Nejpevnějším a nejstabilnějším typem konstrukce je věšadlová konstrukce, která vychází z hambálkové konstrukce je, však určena pro velké rozpory mezi pozednicemi, kde vzniká velké prohnutí vazných trámů. Věšadlo nadnáší vazný trám. Celá konstrukce funguje především díky správným spojům, kdy se zadlabávají krokve do vazného trámu, který tak namáhají na tah, a dále se zadlabávají do věšáku. Vodorovná rozpěra nahrazuje klasický hambálek a zároveň pomáhá přenášet sílu z krokví na věšák. Poslední nezbytná část konstrukce jsou vzpěry, které propojují spodní konec věšáku a poloviny krokví. Tyto vzpěry napomáhají věšáku nadnášet vazný trám (Jayanetti, Follet 1998).

Při zvolení vhodných spojů, kdy vzpěry věšadla zadlabáme do věšadla, získáme velmi pevný a stabilní krov, který je schopen nést větší zatížení těžší střešní krytinou,

než je z bambusových tyčí, a navíc je tato konstrukce pod dostatečným úhlem schopna udržet hmotnost sněhu, dokud nesklouzne ze střechy.



Obr. 21: vేశadlová konstrukce krovu (Jayanetti, Follet 1998)

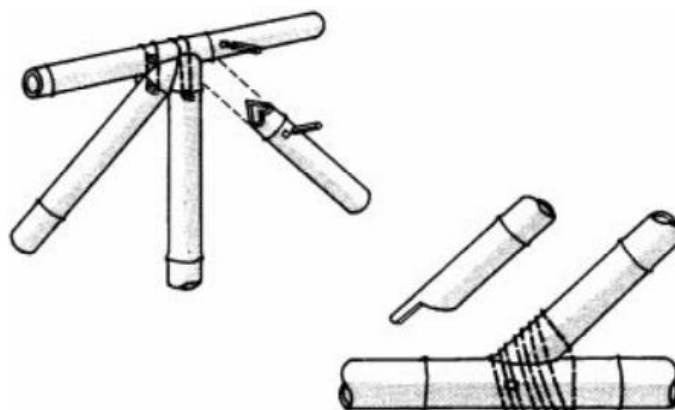
4.2 Volba typu spojů

Při stavbě vేశadlové konstrukce je nutné použít kombinaci několika typů různých spojů. Pro konstrukci štítu jsou použity především tuhé spoje zadlabávané, pojištěné svázáním bambusovými pásky. Tuhé spoje budou také potřeba při nastavování délky vazníku a pozednic, kde bude nutné zachovat maximální tuhost spoje. Dále jsou použity pružné spoje při přivazování střešních latí. Svazováním pojišťuje všechny spoje v konstrukci.

4.2.1 Úhlové spoje

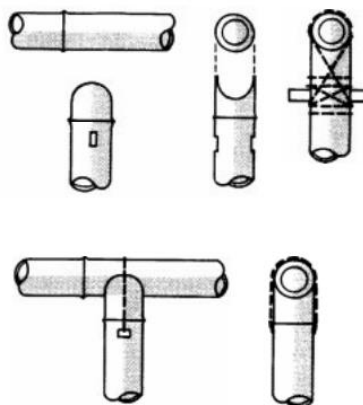
V konstrukci se vyskytují jak kolmé tak i pod menším úhlem. Jelikož řešení těchto spojů je z pravidla složité, tak bylo nutné zvolit několik různých typů spojů.

Pro spoje s úhlem pod 90° bylo zvoleno seřezávání s použitím čepů a svazování. U těchto spojů je nutné uvažovat kompromis mezi úplným zadlabáním a spojením na tupo. Zvolená konstrukce vyžaduje úhlové spoje zadlabané, ale průměry tyčí použitých na vazné trámy, krokve a vేశák není možné zadlabat celým průměrem, protože by se příliš snížily mechanické vlastnosti. Naopak není možné použít tupé spoje, protože by vేశadlo nenadnášelo vazný trám. Možností řešení může být částečné zadlabání a vyvrtání otvoru na čep a svazání spoje ideálně bambusovou páskou (Jayanetti, Follet 1998). Příklad tohoto spoje je vidět na obrázku 22.



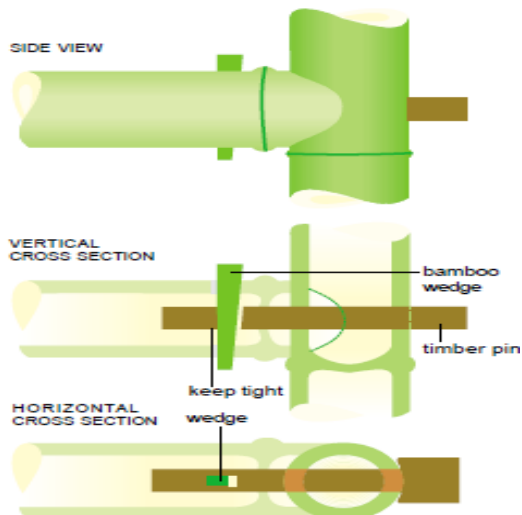
Obr. 22: úhlový spoj částečně zadlabaný s čepem (Jayanetti, Follet 1998)

Mezi běžně používané kolmé spoje patří nejjednodušší sedlový spoj pojištěný čepem a svázaný bambusovými páskami. Tento spoj má velkou výhodu především v tom, že nesnižuje mechanickou pevnost tyče, ale také jednoduchost výroby spoje a následná snadná modifikace. Zařízení pro tupé napojení je dobré umisťovat co nejbližší kolénku, aby se zabránilo případnému rozštípnutí tyče v důsledku působení kolmých sil na osu tyče (Jayanetti, Follet 1998). Řešení spoje a umístění čepu je vidět na obrázku 23.



Obr. 23: kolmý spoj sedlový (Jayanetti, Follet 1998)

Další variantou kolmého spoje je vylepšená varianta sedlového spoje pomocí vložené rybiny z tvrdého dřeva, do které je zaklesnutý čep. Dřevěná rybina přenáší většinu zatížení, proto je na ni kladen vysoký nárok na pevnost a životnost. Tento spoj je tedy ovlivněn materiálem použitým na rybinu a také velikostí děr, ve kterých působí síly smykově na směr růstu vláken a dochází tak ke snadnějšímu porušení spoje (Janssen 2000). Detail provedení spoje je vidět na obrázku 24.

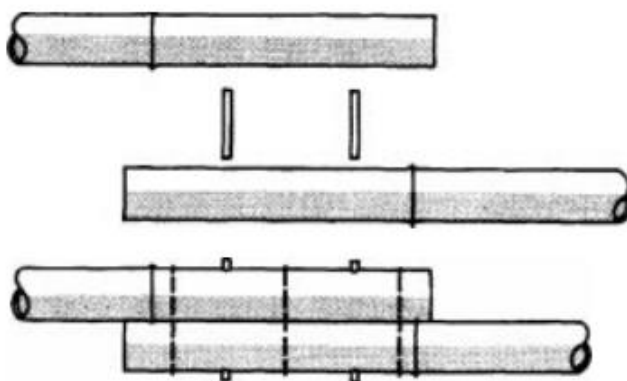


Obr. 24: kolmý spoj s vloženou rybinou (Janssen 2000)

4.2.2 Vodorovné spoje

Tyto spoje slouží především pro nastavení délky tyčí, jež je omezena dodavatelem. Jelikož maximální dodávaná délka je 6 m, je nutné u konstrukcí s větší délkou použít nastavení.

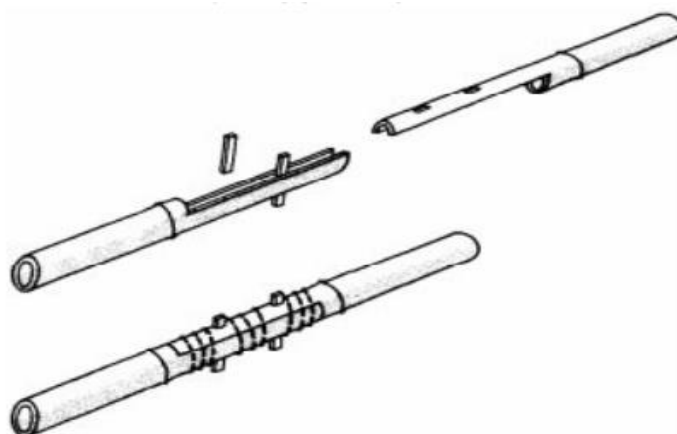
Existuje několik druhů spojů pro nastavení délky, uvedu zde 3 příklady typu spoje. První spoj se nazývá celopřekrývaný, kdy se 2 tyče překryjí o celou jednu sekci až po kolénko. V této sekci se obě tyče provrtají minimálně na dvou místech. Do otvorů se zasunou čepy, které vytváří spojení tyčí, jenž je vidět na obrázku 25. Tento spoj je pevný, ale jeho nevýhodou je jeho velikost a nesouměrná výška konců prodloužené tyče. Tento spoj tedy nelze použít v této konstrukci (Jayanetti, Follet 1998).



Obr. 25 ukázka nastavení délky tyče – překrývaný spoj (Jayanetti, Follet 1998)

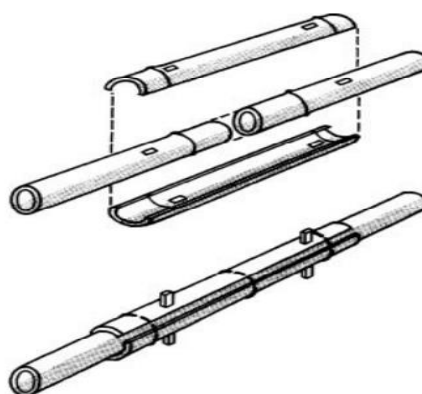
Druhý typ spoje zvaný lehké uložení je založený na stejném systému jako předešlý spoj, ale je vylepšený o redukci polovin překrývaných částí a tím vytvoření

nastavení délky bez změny rozměru průměru tyče. Tento spoj je daleko více oslaben, jelikož seříznutím části poloviny tyče se sníží mechanická pevnost a tuhost tyče, dochází k častějšímu praskání tyče podél vláken na hraně spoje. Tento typ spoje je vhodný pro nastavení délky tyčí slabších průměrů, kde je předpokládáno malé zatížení (Jayanetti, Follet 1998).



Obr. 26 ukázka nastavení délky tyče – lehké uložení (Jayanetti, Follet 1998)

Třetí typ spoje je tupý s bočními spojovacími pláty. Tyče jsou uloženy za sebou a každá je na konci provrtána pro zasunutí klínu. Na spojovací pláty je potřeba rozpůlit bambusovou tyč o délce dvou sekcí, aby překrývaly tupý spoj. Pláty se musí také provrtat, aby bylo možné tyče spojit pláty a čepy. Tento spoj je velmi tuhý a pevný. Jelikož se nesnižuje mechanická pevnost prodloužené tyče, jedná se o nevhodnější spoj pro nastavování délky vaznic (Jayanetti, Follet 1998). Detail spojení je vidět na obrázku 27.



Obr. 27 ukázka nastavení délky tyče – tupý spoj s bočními pláty (Jayanetti, Follet 1998)

5 VÝSLEDKY

5.1 Určení rozměrů konstrukce

Půdorys zděného domku bude představovat obdélník s rozměry delší strany 8 metrů a kratší strany 5 metrů. Konstrukce bude ukotvena v rozích betonového věnce domku. Je tedy potřeba spočítat přesah pozednic a vazných trámů.

Šíře spojů:

Průměr tyče 100 mm

Rozteč čepů 50 mm od spoje

Celková šíře spoje je 200 mm na každém konci tyče

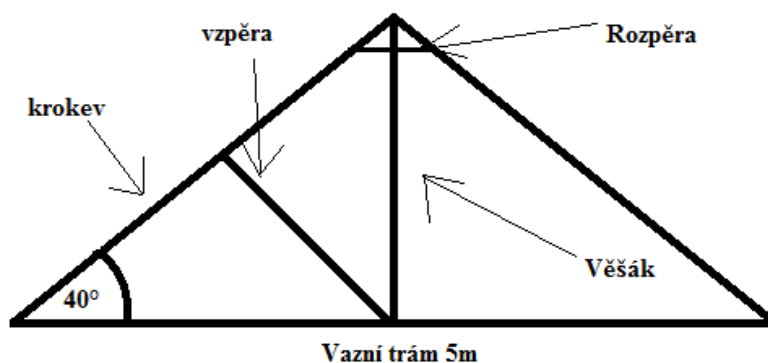
Vzdálenost konce tyče od čepu 100 mm na každém konci tyče

Celková délka, která přesahuje je 150 mm, tedy vzdálenost od spoje. Tuto délku je nutno nastavit na obou stranách. Jelikož bambusové tyče se dodávají po celých metrech a pro všechny dílce, které tvoří rozměry a tvar konstrukce je nutné počítat o 300 mm více, tak musíme objednat tyče o 1000 mm delší.

Rozměry konstrukce ve spojích tedy budou v půdorysu 8 x 5 metrů. Celkové rozměry konstrukce budou 8,3 x 5,3 m.

5.1.1 Výpočet rozměrů dílů štítu

Úhel sklonu krokví volíme nižší, jelikož není potřeba vysoké půdy, nebude vhodné používat vysoký krov s velkým úhlem sklonu krokví. Pro věšákovou konstrukci je také vhodnější úhel mezi 30° a 45°. Vezmeme-li v potaz hlediska tuzemského podnebí, tak je lepší volit vyšší úhel střechy. Úhel svíraný mezi krokví a vazným trámem je 40°.



Obr. 22: Náčrt konstrukce pro výpočty rozměrů dílů

Pro výpočty délky jednotlivých dílců konstrukce štítu jsou použity základní goniometrické funkce. Tyto výpočty vycházejí z předem zvoleného úhlu krokví a délky vazného trámu.

Výpočet délky věšáku

$$\operatorname{tg} 40^\circ = \frac{x}{2,5}$$

$$x = 2500 * \operatorname{tg} 40^\circ = 2097\text{mm} \cong 2100\text{mm}$$

Délku věšáku je nutno zkrátit, aby bylo možné provést zavěšení vazního trámu. Věšák tedy zkrátíme o 50 mm. Délka věšáku bude 2050 mm.

Výpočet délky krokve

$$\cos 40^\circ = \frac{2500}{x}$$

$$x = \frac{2500}{\cos 40^\circ} = 3264\text{mm} \cong 3260\text{mm}$$

Každá krokev musí být delší, jelikož je nutné vytvořit přesah střechy minimálně 500 mm, aby bylo napojení střechy na budovu chráněno před deštěm, větrem a slunečním zářením. Celková délka krove je tedy 3760 mm.

Výpočet délky vzpěry

$$\operatorname{tg} 40^\circ = \frac{x}{1600}$$

$$x = \operatorname{tg} 40^\circ * 1600 = 1343\text{mm} \cong 1350\text{mm}$$

Výpočet délky rozpěry

Rozpěra je umístěna 500 mm od napojení věšáku a hlavních krokví. Jelikož se jedná o podobnost trojúhelníků, je úhel stejný u krokve jako u předešlých výpočtů.

Výpočet poloviny rozpěry

$$\operatorname{tg} 40^\circ = \frac{500}{x}$$

$$x = \frac{500}{\operatorname{tg} 40^\circ} = 636\text{mm} \cong 640\text{mm}$$

$$x_c = x * 2 = 640 * 2 = 1280\text{mm}$$

Jelikož je rozpěra pouze přivázána k hlavním krokvím, je zredukován přesah na každé straně rozpěry na 100 mm. Celková délka rozpěry bude tedy 1480 mm.

5.1.2 Vzdálenost krokví

U klasické věšadlové konstrukce krovu vyrobené ze dřeva se krokve umísťují vedle sebe s mezerami mezi jednotlivými krokvemi 1 m. Jelikož se jedná o stabilní konstrukci určenou pro větší půdorysné plochy, než na kterou je konstrukce určena. Tím tedy může být zanedbána nižší pevnost u bambusu, který si vyžaduje u konstrukcí s větší délkou krokve nad 5 m maximální mezery 50 cm. Rozteč mezi jednotlivými krokvemi bude 1 m.

5.1.3 Počet a umístění vaznic

Vaznice spojují jednotlivé vazby konstrukce k sobě a zároveň na nich leží jednotlivé krokve. Je tedy důležité určit počet vaznic a jejich umístění. U konstrukcí, kde délka krokve nepřesahuje 4,5 m, postačí jedna vrcholová vaznice tvořící hřeben konstrukce. Další vaznice se dále umísťují do poloviny vzdálenosti mezi dolní vaznicí a horní vaznicí. Jelikož krokev mého domku nepřesahuje tuto délku, bude stačit ponechat 2 dolní vaznice a jednu vrcholovou vaznici.

5.1.4 Počet a umístění střešních latí

Střešní latě nemají vliv na pevnost konstrukce, jejich hlavní účel je nést střešní krytinu, proto se jejich počet a rozteč odvíjí od typu krytiny. Při použití bambusových tyčí jako střešní krytiny nás limituje rozteč mezi kolénky bambusových tyčí a sklon střechy. Zvolený úhel 40° nám dovoluje použít delší tyče, tedy až 1m. Použitá odrůda bambusu má kolénka zpravidla ve vzdálenosti od 100 do 200 mm.

Pro výpočet byla zvolena nejvhodnější délka střešní krytiny 900 mm. Délka krytiny přesahuje rozteč mezi střešními latěmi na každé straně o 100 mm. Velikost rozteče střešních latí bude 700 mm.

Z délky krokve jde tedy snadno vypočítán počet střešních latí

$$x = \frac{3760}{700} = 5,4 \quad \text{latí}$$

Při použití 6 střešních latí je nutné přepočítat rozteč mezi latěmi

$$x = \frac{3760}{6} = 627\text{mm} \cong 630\text{mm}$$

Délku střešní krytiny můžeme po této korekci ponechat 700 mm. Je však nutné si uvědomit, jaké bude napojení střešní krytiny na hřeben střechy. Zde se bude krytina přímo napojovat na hlavní vazník. Můžeme tedy počet střešních latí snížit na 5.

5.2 Ochrana bambusu a impregnace

Bambusové tyče musí být před umístěním do konstrukce řádně chráněny, aby se zajistila jejich dostatečná životnost. Dále je důležité zajistit vodotěsnost střešní krytiny, což může do značné míry zjednodušit nutnou ochranu bambusových tyčí.

Zvolená konstrukce krovu je tvořená jako neutěsněná s volnou cirkulací vzduchu. Není zateplená a nebude určena k obývání. V prostředí konstrukce tedy bude nízká vlhkost vzduchu 20 – 40 % s výkyvy do 80 % způsobené deštěm nebo zimním obdobím, kdy roste vlhkost vzduchu mimo konstrukci. Konstrukce bude volně přístupná pro možnost pravidelné kontroly jednotlivých prvků, spojů a kritických bodů konstrukce, kde by mohlo docházet k degradaci bambusových tyčí.

5.2.1 Sušení

Bambusové tyče od zvoleného dodavatele Bamboodesign s.r.o. jsou sušeny dvěma metodami. Bambusové tyče ze Sumatry jsou vyskladňovány do volných proložených hrání a sušeny pod širým nebem bez další pomoci. Sušení je delší, ale dostatečně účinné aby zajistilo dlouhou životnost u střešní konstrukce. V Číně se bambusy suší v pecích a tím rovnou získávají ochranu okuřováním. Tato metoda je značně rychlejší, ale je ekonomicky náročnější. Sušením v pecích dochází ke sterilizaci a okuřováním ke konzervaci bambusových tyčí. Tato ochrana je dostatečná pro podmínky uvnitř konstrukce.

5.2.2 Impregnace

Impregnaci bambusových tyčí je volena v krajním případě a to jen u utěsněných a zateplených konstrukcí, kde dochází ke kondenzaci par a růstu vlhkosti uvnitř konstrukce. Pokud také není možné kontrolovat stav konstrukce, tak je nutné ji dostatečně naimpregnovat.

Při použití chemické impregnace pentrachlorophenolem je zvýšena životnost teoreticky o 20 až 30 let, ale vzhledem k vysoké ceně impregnačního oleje (100 Kč/1 litr a spotřeba 25 kg/m³) a nutnosti použití chemické impregnace se jeví pentrachlorophenol jako zbytečná ochrana konstrukce, která je zajištěna použitím vysušených bambusových tyčí přímo od dodavatele.

Konstrukční ochrana je zajištěna správným uložením střešní krytiny a zamezení zatékání v oblasti hřebenu střechy.

5.3 Výkresová dokumentace

Součástí práce je i výkresová dokumentace obsahující hrubý výkres celého krovu ve třech základních pohledech a 3D pohledu. Další výkresy obsahují jednotlivé detaily spojů vyskytujících se v konstrukci. Výkresy jsou vytištěny ve formátu A2, proto jsou umístěny ve vložené kapse na konci práce.

5.4 Výběr odrůdy

Při výběru vhodné odrůdy byl omezen výběr dostupností odrůd. Na stavbu konstrukce je nakonec nutné použít všechny 3 odrůdy bambusu, jež jsou zmíněny v literárním přehledu na straně 10 – 12 v kapitole 3.2. Odrůdy bambusu.

Na tenké střešní latě a na vzpěry ve věšadlové konstrukci jsou zvoleny bambusové tyče tenčího průměru tedy 50 mm. Tomu přímo vyhovují tenké a dlouhé tyče odrůdy *Arundinaria*.

Na prvky štítů byl zvolen větší průměr 100 mm, aby byla zachována pružnost konstrukce štítu, byl zvolen rod *Phyllostachys*, který má lehčí a pružnější stébla než odrůda *Dendrocalamus*, která byla použita pro vodorovné prvky konstrukce a pro krokve. Bambusové tyče rodu *Dendrocalamus* se méně prohýbají a hůře se štípou, tedy vyřezávané spoje jsou pevnější než u rodu *Phyllostachys*. Jelikož je konstrukce delší, než je maximální délka dodávaných tyčí je nutné použít tupé spoje pro prodloužení tyčí. Tyto spoje jsou velice křehké, a proto je nutné volit rod *Dendrocalamus*, který má nízkou tendenci se štípat.

5.5 Kusovník

Dalším krokem práce bylo sestavení kusovníku, ve kterém jsou shrnuty všechny prvky konstrukce z bambusu a také i spojovací a kotevní prvky z bambusu a z dalších materiálů především z oceli.

Tab. 2: Kusovník bambusové tyče

Bambusové tyče				Rozměry [mm]		
Název dílce	Odrůda	Množství	Jakost	Vnější průměr	Vnitřní průměr	Délka
Vazný trám	Phyllostachys	3	A	100	80	5300
Vrcholová vaznice	Dendrocalamus	1	A	100	80	8300
Dolní vaznice	Dendrocalamus	2	A	100	80	8300
Věšák	Phyllostachys	3	A	100	80	2100
Rozpěra	Phyllostachys	3	B	100	80	1480
Vzpěra	Arundinaria	6	B	50	40	1350
Podpěra věšáku	Dendrocalamus	6	A	100	80	3260
Hřebenová krokev	Dendrocalamus	18	A	100	80	3760
Střešní lať	Arundinaria	12	B	50	40	8300

V tab. 2 je vidět, jaké množství bambusových tyčí a v jakých rozměrech je nutno použít ke konstrukci krovu. Odrůdy bambusu nám určují zároveň průměr tyčí, proto je použita Arundinaria na užší vzpěry, které je nutné zadlabat do širších krokví a na střešní latě, kde není potřeba silné tyče.

Tab. 3: Kusovník spojovací materiál

Spojovací materiál				Rozměry [mm]		
Název	Materiál	Množství	Profil	Šířka/průměr	Tloušťka	Délka
Čep	Bambus-Dendrocalamus	117	válec	20	-	150
Lano	Lýko/bambus	72	obdélník	10	3	1000
Lano	Lýko/bambus	36	obdélník	10	3	2000
Lano	Lýko/bambus	9	obdélník	10	3	4000
Kotvicí šroub	Ocel	32	válec	30	-	400
Stahovací pás	Ocel	8	obdélník	200	6	1000
Věšadlo	Ocel	3	obdélník	60	4	950
Šroub	Ocel	6	válec	10	-	150

Jako svazovací materiál jsou voleny bambusové pásy v délkách 1 m, 2 m a 4 metry. Možnou náhradou může být klasický motouz ve stejných délkách.

Kotvicí šrouby a stahovací pásy slouží k ukotvení konstrukce krovu k železobetonovému věnci. Na každé straně bude konstrukce upevněna 4 stahovacími pásy a každý pás budou kotvit 4 šrouby.

Na kovovém třmenu bude zavěšen vazný trám, proto připevnění věšadla k věšáku bude řešeno dvěma šrouby 150 mm procházející naskrz věšákem.

5.6 Kalkulace ceny konstrukce

Do celkové kalkulace konstrukce je zahrnuta cena materiálu, dále cena za obrobení bambusových tyčí na požadované dílce a také cena za sestavení konstrukce krovu. Jelikož se jedná o práci s bambusem, tak bude cena vyšší než u standardních krovů, protože je nutné si připlatit odborníka nebo tesařům dát přesný plán a pracovní postup, dle kterého se budou řídit.

5.6.1 Cena bambusových tyčí

Při kalkulování ceny materiálu se vychází z kusovníku, odkud je získáno množství tyčí o daném průměru. Zvolený dodavatel Bamboodesign s.r.o. dodává tyče jen v celých délkách, tyče o velkém průměru 100 mm a více v délce 6000 mm a slabší tyče o průměru 50 mm v délce 4000 mm. Tato skutečnost velmi ovlivnila výslednou kalkulaci, do které je zahrnuto rozpočítání délky jednotlivých dílců na délky celých tyčí. Tento fakt navyšuje celkový počet tyčí a tím i cenu konstrukce.

Tab. 4: Cena dílců konstrukce z bambusových tyčí

Název dílce	Odrůda	Množství	Délka	Rozměr [mm]	Cena 1m [Kč]	Cena dílce [Kč]	Cena celkem [Kč]
Vazný trám	Phyllostachys	3	5300	8-10x6000	130	780	2340
Hřebenová vaznice	Dendrocalamus	1	8300	10-12x6000	130	1560	1560
Pozednice	Dendrocalamus	2	8300	10-12x6000	130	1170	2340
Věšák	Phyllostachys	3	2100	8-10x6000	100	400	1200
Rozpěra	Phyllostachys	3	1480	8-10x6000	100	200	600
Vzpěra	Arundinaria	6	1350	5x4000	48	96	576
Hlavní krokev	Dendrocalamus	6	3260	10-12x6000	130	780	4680
Hřebenová krokev	Dendrocalamus	18	3760	10-12x6000	130	780	14040
Střešní lať	Arundinaria	12	8000	5x4000	48	384	4608
Celková cena bambusových tyčí bez DPH							31944
Celková cena bambusových tyčí s DPH							38652

Z tab. 4 je vidět, že téměř polovinu ceny zabírají hřebenové krokve 14 040 Kč. To je způsobeno především tím, že se jedná o nejpočetnější prvek konstrukce, ale také vzniklým vysokým odpadem při krácení na požadovanou délku a následném obrábění. Tento odpad bohužel nelze v konstrukci dále využít pro jeho nevhodnou délku.

5.6.2 Cena spojovacího materiálu.

Pro spojovací materiál je co nejvíce využít bambus, proto jsou využity bambusové čepy a bambusové pásky na spoje. Tento materiál je možné si zhotovit vlastní výrobou, ale dosáhneme jen nižší kvality a těžko dodržíme rozměrovou stálost. Nákupem od zkušených výrobců tak sice zaplatíme větší cenu, ale získáme tak kvalitně opracovaný materiál, kde všechny čepy a pásky budou mít stejný průřez.

Stahovací pásy jsou vyrobené na zakázku, jelikož se jedná o atypicky tvarovaný díl. To také zvyšuje jeho cenu, na druhou stranu takto vyrobené pásy přesně splní požadavky na ukotvení konstrukce. Každý pás bude připevněn dvěma kotevními šrouby k železobetonovému věnci domku.

Tab. 5: Cena spojovacího materiálu konstrukce

Název	materiál	množství	rozměr [mm]	cena za jed. [Kč]	cena celkem bez DPH [Kč]	cena s DPH [Kč]
Čep	Bambus-Dendrocalamus	117	20x150	30	3510	4247
Lano	Lýko/bambus	72	10x3x1000	40	2880	3485
Lano	Lýko/bambus	36	10x3x2000	90	3240	3920
Lano	Lýko/bambus	9	10x3x4000	150	1350	1634
Kotvicí šroub	Ocel	32	30x400	240	7860	9293
Stahovací pás	Ocel	8	200x6x1000	930	7440	9002
třmen	Ocel	3	60x4x950	300	900	1089
Šroub	Ocel	6	10x150	50	300	363
			celková cena spojovacího materiálu Kč		34980	33490

Z tabulky 5 je patrné, že nejdražší (9293 Kč) jsou kotevní šrouby do betonu 12 x 55/160 AN 9003/A4, které jsou jednak drahé (240 Kč/kus), ale také je jich potřeba při kotvení konstrukce 32 kusů.

5.6.2.1 Cena zhotovení

Další položka, která do značné míry ovlivní cenu konstrukce, bude vlastní zhotovení a instalace krovu na domek. Jelikož se nejedná o tradiční krov, je nutné u tesařských prací dohlížet na kvalitu opracování a šetrnost k materiálu. Na veškeré spoje je potřeba počítat dvakrát více času na zhotovení než u klasických dřevěných krovů, proto i dvojnásobnou peněžní zátěž.

Tab. 6: Cena pracovního výkonu – bambusový krov

tesař mistr				
úkon	hodin	cena za 1h	cena celkem bez DPH	cena celkem s DPH
cesta	2	250 Kč	500 Kč	575 Kč
tesařské práce	10	200 Kč	2 000 Kč	2 300 Kč
práce ve výšce	18	300 Kč	5 400 Kč	6 210 Kč
celkem			7 900 Kč	9 085 Kč
tesař				
úkon	hodin	cena za 1h [Kč]	cena celkem bez DPH	cena celkem s DPH
cesta	2	250 Kč	500 Kč	575 Kč
tesařské práce	10	180 Kč	1 800 Kč	2 070 Kč
práce ve výšce	18	250 Kč	4 500 Kč	5 175 Kč
celkem			6 800 Kč	7 820 Kč
cena práce	60	282 Kč	14 700 Kč	16 905 Kč

Z tab. 6 je vidět celková cena výkonu 16 905Kč. Tato částka je počítána na 2 pracovníky, mistra tesaře a jeho pomocníka se stejným vyučením. Práce na krovu vychází zhruba na 60 hodin, z toho 2 hodiny cesta, 20 hodin tesařských prací (příprava bambusových tyčí, dlabání, vrtání, zářezy) a 38 hodin prací na sestavení krovu a umístění na strop domku.

5.6.2.2 Celková cena krovu i se zhotovením

Po sečtení ceny bambusových tyčí, spojovacího materiálu a ceny práce se dostáváme na částku 89 047 Kč. Tato částka je vysoká především díky drahému a složitému spojovacímu materiálu a také vyšší ceně materiálu zapříčiněnou vysokým odpadem.

5.7 Hmotnost

Pro výpočet hmotnosti celé konstrukce je nejprve nutné stanovit hmotnost jednotlivých tyčí dle odrůd. Pro zjednodušení je zvoleno určení hmotnosti 1 metru bambusové tyče každé odrůdy a z toho je vypočtena hmotnost jednotlivých dílů a následně celé konstrukce.

Pro určení hmotnosti 1 metru bambusové tyče je nutné stanovit hustotu suchého bambusu, se kterou budeme dále počítat. Hustotu udává literatura po každé jinak, ale průměr zůstává stále stejný a to tedy od 300 kg/m^3 až 420 kg/m^3 . Tato hustota odpovídá hustotě bambusu sušeného 1 sezónu přirozeným sušením. Hodnoty jsou odpovídající pro rod *Phyllostachys*, který má tedy průměrnou hodnotu hustoty suchých tyčí 350 kg/m^3 s vlhkostí maximálně 15 %.

Další parametr potřebný pro výpočet hmotnosti je objem bambusových tyčí. U této hodnoty je nutné počítat s tím, že bambus je dutý a je tedy zapotřebí od spočítaného vnějšího objemu tyče odečíst vnitřní objem dutých částí. Takto zjistíme přesně objem a z určené hustoty vypočítáme přímo hmotnost 1 metru bambusové tyče.

5.7.1 Určení hustoty

Pro střešní latě a vzpěry je zvolen rod *Arundinaria* s nižší průměrnou hustotou 300 Kg/m^3 . Bambusové tyče tohoto rodu mají nižší hustotu a tedy i nižší hmotnost. S menším průměrem tyče se snižuje i tloušťka stěny bambusové tyče.

Rod *Phyllostachys*, má průměrnou hodnotu hustoty 350 kg/m^3 , tyto tyče jsou použity na prvky konstrukce, kde je vyžadována velká pružnost a pevnost.

Nejvyšší hustotu mají tyče rodu *Dendrocalamus*, které jsou hodně tuhé a méně pružné. Průměrná hustota těchto tyčí je 420 kg/m^3 .

5.7.2 Výpočet objemu 1 metru tyče

$$r_1 = 50mm$$

$$r_2 = 40mm$$

$$r_1 = 25mm$$

$$r_2 = 20mm$$

$$s = 1000mm$$

$$V_c = V_1 - V_2$$

$$V_1 = \pi * r_1^2 * s$$

$$V_1 = \pi * 50^2 * 1000 = 7853982mm^3 = 0,00785m^3$$

$$V_2 = \pi * r_2^2 * s$$

$$V_2 = \pi * 40^2 * 1000 = 5026548mm^3 = 0,0051m^3$$

$$V_c = V_1 - V_2 = 7853982 - 5026548 = 2827434mm^3 = 0,00283m^3$$

$$V_A = V_1 - V_2$$

$$V_1 = \pi * r_3^2 * s$$

$$V_1 = \pi * 25^2 * 1000 = 1963495mm^3 = 0,00196m^3$$

$$V_2 = \pi * r_4^2 * s$$

$$V_2 = \pi * 20^2 * 1000 = 1256637mm^3 = 0,001257m^3$$

$$V_A = V_1 - V_2 = 1963495 - 1256637 = 706858mm^3 = 0,00071m^3$$

Při výpočtu je nutné započítat kolénka s přepážkami, kde je vyšší hustota a také hmota nezahrnutá v předešlém výpočtu. Vzhledem k nutnosti úpravy výpočtu je voleno násobení koeficientem objemu stébla. Jelikož podobný koeficient neexistuje, bylo nutné ho odvodit. Zohledníme-li počet kolének na metr stébla a hmotnostní podíl výřezu s kolénkem a bez kolénka, tak je možné odvodit koeficient pro každý rod specifický.

Tab. 7: Vstupní hodnoty pro odvození koeficientu objemu

rod	počet kolének na 1m	šířka kolénka [mm]	podíl kolének na délce [%] G	poměr hmotnosti H
Arundinaria	6	70	42	1,4
Phyllostachys	3	100	30	1,7
Dendrocalamus	2	150	30	2

Pro každý rod je spočítán procentuální podíl sekcí s kolénkem ku sekcí bez kolének a získán koeficient G. Dále byl odvozen poměr hmotnosti H z hustoty a průměru.

Výpočet hmotnosti 1 metru tyče bez koeficientu objemu

$$m_A = V_A * \rho_A$$

$$m_A = 0,00071 * 300 = 0,213kg$$

$$m_B = V_c * \rho_B$$

$$m_B = 0,00283 * 350 = 0,9905kg$$

$$m_C = V_c * \rho_C$$

$$m_C = 0,00283 * 420 = 1,1886kg$$

Odvození koeficientu a výpočet skutečné hmotnosti 1 metru bambusové tyče

Rod Arundinaria

$$m_{A2} = (m_A * G) / H$$

$$m_{A2} = (0,213 * 0,42) / 1,4 = 0,119$$

$$m_{A3} = m_A * 0,58$$

$$m_{A3} = 0,213 * 0,58 = 0,124$$

$$m_{AX} = m_{A2} + m_{A3}$$

$$m_{AX} = 0,119 + 0,124 = 0,2485kg$$

$$k_o = \frac{m_A}{m_{AX}}$$

$$k_o = \frac{0,213}{0,2485} = 1,166 \cong 1,17$$

Rod Phyllostachys

$$m_{B2} = (m_A * G) / H$$

$$m_{B2} = (0,9905 * 0,3) / 1,7 = 0,505$$

$$m_{B3} = m_A * 0,7$$

$$m_{B3} = 0,9905 * 0,7 = 0,69335$$

$$m_{BX} = m_{B2} + m_{B3}$$

$$m_{BX} = 0,505 + 0,69335 = 1,1985kg$$

$$k_o = \frac{m_A}{m_{BX}}$$

$$k_o = \frac{0,9905}{1,1985} = 1,21$$

Rod Dendrocalamus

$$m_{C2} = (m_A * G) / H$$

$$m_{C2} = (1,1886 * 0,3) / 2 = 0,713$$

$$m_{C3} = m_A * 0,7$$

$$m_{C3} = m_A * 0,7 = 0,832$$

$$m_{CX} = m_{A2} + m_{A3}$$

$$m_{CX} = 0,713 + 0,832 = 1,545 \text{ kg}$$

$$k_o = \frac{m_A}{m_{AX}}$$

$$k_o = \frac{1,545}{1,1886} = 1,3$$

Tab. 8: Výpočet celkové hmotnosti bambusových tyčí

rod	délka tyčí [m]	hmotnost 1 m [kg]	hmotnost tyčí
Arundinaria	107,7	0,2485	26,764
Phyllostachys	26,64	1,1985	31,928
Dendrocalamus	112,44	1,545	173,72
		celková hmotnost [kg]	232,411

Celkovou hmotnost bambusových tyčí vychází ze součtu celkové délky tyčí jednotlivých odrůd a následným vynásobením hmotností 1 metru tyčí. Hmotnost tyčí je velmi nízká 233 kg.

5.7.3 Výpočet hmotnosti spojovacího materiálu

Dále je také nutné připočítat k celkové hmotnosti konstrukce hmotnost spojovacího materiálu vyrobeného z oceli. Největší hmotnost zaujímají stahovací pásy zmiňované v literárním přehledu na straně 28 v kapitole 3.7.8. ukotvení na zděný věnec, které jsou jednak rozměrné a navíc vyrobené z tlustého plechu. Také je nutné připočítat hmotnost 32 kotvicích šroubů, kdy jeden šroub má hmotnost 1,41kg. Věšadlo je také hmotnostně snadno vyjádřitelné, proto je také zahrnuto do výpočtu, navíc svojí hmotností také ovlivní celkovou hmotnost konstrukce. Hmotnost dalšího spojovacího materiálu je zanedbatelná oproti hmotnosti zbytku konstrukce, proto je při výpočtu vynechána.

Rozměry a, b, c determinují stahovací pás a rozměry d, e, f věšadlo, pro oba prvky je počítáno se stejnou hustotou oceli.

$$a = 200\text{mm}$$

$$b = 6\text{mm}$$

$$c = 1000\text{mm}$$

$$d = 60\text{mm}$$

$$e = 4\text{mm}$$

$$f = 950\text{mm}$$

$$\rho = 7850\text{kg/m}^3$$

$$m = \rho * a * b * c$$

$$m = 7850 * 0,2 * 0,006 * 1 = 9,42\text{kg}$$

$$m_1 = \rho * d * e * f$$

$$m_1 = 7850 * 0,06 * 0,004 * 0,95 = 1,79\text{kg}$$

$$m_x = (m * 8) + (m_1 * 3) + (1,4 * 64)$$

$$m_x = (9,42 * 8) + (1,79 * 3) + (1,41 * 64) = 170,97\text{kg}$$

5.7.4 Celková hmotnost konstrukce

Po sečtení hmotnosti všech tyčí po opracování a spojovacího materiálu (především kotevní prvky a věšadla) je získána relativně velmi přesná hmotnost konstrukce 405 kg. Výpočet je čistě experimentální a je v něm zahrnuto přibližně 97 % hmotnosti konstrukce. Výpočet by mohl být ještě přesnější, ale pro naše podmínky je tato metoda výpočtu jasně dostačující, jelikož hodnota bude sloužit především k porovnání s hmotností konstrukce ze dřeva.

5.8 Porovnání s konstrukcí ze dřeva

Jelikož se jedná o návrh alternativního řešení krovového zastřešení domku, je nutné výsledky srovnat s hodnotami srovnatelného krovu ze standardních dřev a standardních konstrukcí u nás běžně používaných.

5.8.1 Základní parametry dřevěného krovu

Pro porovnání je zvolena jednodušší konstrukce s hambálem bez věšadla, jelikož se jedná o malý rozpon (5 m) konstrukce vydrží a není potřeba používat složitou konstrukci věšadla. Konstrukce krovu je ze smrku vysušeného na 15 % s hustotou dřeva 430 kg/m³.

Tab. 9: Rozměry dílů konstrukce

Kusovník - smrk	rozměry [mm]				
Název dílce	množství	jakost	šířka	tloušťka	délka
Vazný trám	3	A	150	150	5300
Hřebenová vaznice	1	A	150	150	8300
Pozednice	2	A	150	150	8300
Hambálek	18	B	150	150	1480
Hřebenová krokev	18	A	150	150	3760
Střešní lať	12	B	50	30	8300

Spojovací materiál	rozměry [mm]				
Název	materiál	množství	profil	šířka/průměr	délka
Šroub	Ocel	30	válec	10	200
Kotvicí šroub	Ocel	16	válec	30	400
Hřebík	Ocel	400	válec	10	100

5.8.2 Srovnání ceny konstrukce

Pokud zjednodušíme výpočet ceny krovu na cenu materiálu a práce, můžeme tyto ceny porovnat s cenami bambusového krovu. Při výpočtu ceny za materiál je nejjednodušší počítat cenu za 1 metr sloupku za 125 Kč vypočítané z kupní ceny 4500 Kč/m³ trámů 150 x 150 mm. Při stejné ceně střešní latě 50 x 30 mm vyjdou cenově na 10 Kč za 1 metr. Ceny za metr jsou už s daní DPH.

Tab. 10: Cena materiálu smrku na konstrukci

Název dílce	množství	rozměry [mm]			cena za kus	cena celkem
		šířka	tloušťka	délka		
Vazný trám	3	150	150	5300	662,5	1987,5
Hřebenová vaznice	1	150	150	8300	1037,5	1037,5
Pozednice	2	150	150	8300	1037,5	2075
Hambálek	18	150	150	1480	185	3330
Hřebenová krokev	18	150	150	3760	470	8460
Střešní lať	12	50	30	8300	83	996
					cena celkem	17886

Z tab. 10 je vidět, že opět největší cenu 8460 Kč mají hřebenové krokev, kterých je stejný počet jako u bambusové konstrukce. Celková cena je však méně než poloviční 17 886 Kč za materiál na dřevěný krov ku 38 652 Kč za bambusový. Cenu materiálu u bambusu výrazně navyšuje nevýhoda dodávek v předem stanovených délkových rozměrech bez možnosti volby, kdy je nutné kupovat celé tyče, a vzniká vysoký odpad.

Tab. 11: Cena spojovacího materiálu dřevěné konstrukce

Spojovací materiál	Rozměry [mm]				
Název	množství	průměr	délka	cena za jed. [Kč]	cena celkem
Šroub	30	10	200	50	1500
Kotvicí šroub	16	30	400	240	3840
Hřebík	400	10	100	10	4000
cena celkem					9340

Spojovací materiál je opět jednodušší a levnější (9340 Kč) než u bambusového krovu (33 490 Kč). Velký rozdíl je zejména v kotevní části, kdy je zapotřebí polovina kotvicích šroubu a navíc odpadá nutné řešení stahovacího pásu na ukotvení konstrukce. U dřevěné konstrukce navíc odpadají výdaje na věšadlo. Drahé bambusové pásky a klíny jsou nahrazeny levnými hřebíky.

Jelikož se jedná o dřevěný krov, tak největší cenová zátěž bude při stavbě konstrukce, jelikož tesařské práce a samotné osazování zabere daleko více času než u bambusové konstrukce. Navíc práce je daleko náročnější, jelikož se pracuje s těžším materiálem.

Tab. 12: Cena pracovního výkonu – smrkový krov

tesař mistr				
úkon	hodin	cena za 1h	cena celkem bez DPH	cena celkem s DPH
cesta	2	250 Kč	500 Kč	575 Kč
tesařské práce	25	200 Kč	5 000 Kč	6050 Kč
práce ve výšce	40	300 Kč	12 000 Kč	14 450 Kč
celkem			17 500 Kč	21 175 Kč
tesař				
úkon	hodin	cena za 1h [Kč]	cena celkem bez DPH	cena celkem s DPH
cesta	2	250 Kč	500 Kč	575 Kč
tesařské práce	25	180 Kč	4 500 Kč	5445Kč
práce ve výšce	40	250 Kč	10 000 Kč	12 100 Kč
celkem			15 000 Kč	18 150 Kč
cena práce	60	282 Kč	32 500 Kč	39 325 Kč

V tab. 12 je vidět, že největší časovou zátěž má práce ve výšce při osazování konstrukce na domek a také je tato činnost oceněna 14 450 Kč pro mistra a 12 100 Kč pro pomocníka za 40 hodin práce.

5.8.2.1 Srovnání celkových cen konstrukcí

Po sečtení ceny za materiál, spojovací materiál a za pracovní výkon dostáváme celkovou cenu konstrukce.

Tab. 13: Srovnání ceny konstrukcí krovu

	smrkový krov	bambusový krov
cena materiálu	17 886 Kč	38 652 Kč
cena spoj. materiálu	9 340 Kč	33 490 Kč
cena prac. výkonu	39 325 Kč	16 905 Kč
celkem	66 551 Kč	89 047 Kč

V tabulce 13 vidíme rozdíl v ceně mezi konstrukcemi, kde klasický krov jasně dominuje nižší cenou o 22 500 Kč. Nejvíce cenou zahýbal rozdíl v ceně spojovacího materiálu, 33 490 Kč u bambusového krovu ku 9 340 Kč u klasického krovu.

5.8.3 Srovnání hmotnosti konstrukce

Pro porovnání hmotnosti bylo nutné vypočítat hmotnost dřevěného krovu. Při výpočtu je použita stejná metoda jako u bambusového krovu, je spočítána hmotnost 1 metru smrkového trámu a smrkové latě.

Výpočet hmotnosti 1 m smrkového trámu

$$a = 150\text{mm}$$

$$b = 150\text{mm}$$

$$c = 1000\text{mm}$$

$$\rho = 430\text{kg} / \text{m}^3$$

$$V = a * b * c$$

$$V = 150 * 150 * 1000 = 22500000\text{mm}^3 \cong 0,0225\text{m}^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 430 * 0,0225 = 9,675\text{kg}$$

Výpočet hmotnosti 1 m smrkového latě

$$a = 50\text{mm}$$

$$b = 30\text{mm}$$

$$c = 1000\text{mm}$$

$$\rho = 430\text{kg/m}^3$$

$$V = a * b * c$$

$$V = 50 * 30 * 1000 = 1500000\text{mm}^3 \cong 0,0015\text{m}^3$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 430 * 0,0015 = 0,645\text{kg}$$

Tab. 14: Hmotnost smrkové konstrukce

Název dílce	množství	rozměry [mm]			hmotnost [kg]
		šířka	tloušťka	délka	
Vazný trám	3	150	150	5300	153,8325
Hřebenová vaznice	1	150	150	8300	80,3025
Pozednice	2	150	150	8300	160,605
Rozpěra	18	150	150	1480	257,742
Hřebenová krokev	18	150	150	3760	654,804
Střešní lať	12	50	30	8300	64,242
celková hmotnost					1371,528

V tab. 14 je vidět že, největší hmotnost zabírají hřebenové krokve 655 kg. Celková hmotnost materiálu (1372 kg) je výrazně vyšší než hmotnost materiálu bambusové konstrukce (234 kg). To je dáno tím, že bambusová konstrukce je v podstatě celá dutá.

Hmotnost spojovacího materiálu u dřevěné konstrukce nemá takový význam jako u bambusové konstrukce. Jedná se pouze o hmotnost 16 kotevních šroubu 22,6 kg.

Celková hmotnost dřevěné konstrukce je 1395kg. Jednoduší konstrukce s hambálkem ze smrku je tedy více jak 3 těžší než bambusová konstrukce, která váží 405kg. V rámci úspory hmotnosti tedy ušetříme a snížíme zatížení zdí domku o 900 kg.

6 DISKUZE

Návrhem bambusové konstrukce jsem vytvořil alternativní řešení zastřešení zahradního domku o půdorysných rozměrech 8 x 5 m. Proto, abych mohl návrh vytvořit, jsem musel vytvořit rešerši literatury týkající se bambusu, díky čemuž jsem získal dostatek informací, které mi posloužily jako podklady pro výběr vhodného typu konstrukce, volbu správných spojů a výběr nejvhodnějších odrůd bambusů.

Pro konstrukci jsem vybral věšadlovou konstrukci. Hlavním důvodem, proč jsem preferoval tento typ konstrukce před ostatními, je především půdorysný rozměr 8 x 5 m. U bambusu musíme brát především v potaz maximální délku dostupných stébel, což je 6 metrů (Růžička 2012) a také jejich maximální mechanickou únosnost. Jak uvádí literatura Jayanetti, Follet 1998, maximální rozpon vazného trámu u bambusové konstrukce nemá přesahovat 4 metry. Tento fakt neplatí pro všechny odrůdy bambusu. Při použití silnostěnných stébel rodu *Dendrocalamus* na vazné trámy a vaznice můžeme zvýšit rozpon až na maximální délku tyče. Rod *Dendrocalamus* má vyšší hustotu a obsahuje větší podíl křemíku než ostatní rody (Schröder 2010).

Hmotnost konstrukce krovu určuje zatížení a spolu s hmotností střešní krytiny určuje tlak na zděný věnec. Bambusová konstrukce je složitější a obsahuje větší množství jednotlivých komponent, ale díky tomu že je prakticky celá dutá, je podstatně lehčí než smrková konstrukce. Při výpočtu hmotnosti jsem dospěl k závěru, že více jak 1/3 hmotnosti zaujímá spojovací materiál a to především profilované stahovací pásy určené k ukotvení konstrukce. Hmotnost konstrukce z bambusu také přímo závisí na použitých odrůdách. Na konstrukci jsem především použil tyče rodu *Phyllostachys* (hustota 350 kg/m³) a rod *Dendrocalamus* (hustota 350 kg/m³). Tyto tyče jsou robustní a tvrdé, ale relativně velmi lehké. Pro určení maximálně přesné hmotnosti jsem odvodil koeficienty hmotnosti kolének. Výpočet koeficientu je řešen experimentálně a vychází z poznatků získaných z nastudované literatury použité při zpracování literárního přehledu.

Cena krovu je určena především cenou za materiál a spojovací prvky a cenou zhotovení. Dále cenu krovu může navýšit impregnace, která však nebyla použita ani u jedné konstrukce. Budeme-li brát v potaz odvětranost konstrukce s možností cirkulace čerstvého vzduchu, tak víme, že konstrukci hrozí jen minimální nebezpečí výskytu

plísni a hniloby, protože bambusové tyče a smrkové trámy jsou dostatečně vysušené. Cenu materiálu především určují dodavatelé, což je pro bambusovou konstrukci značná nevýhoda. Bambus totiž dodává do ČR jen pár spolehlivých dodavatelů, kdežto smrková kulatina je dostupná všude a proto je možné rapidně snížit cenu materiálu. Pro ukotvení konstrukce krovu z bambusu jsem volil vlastní systém ukotvení, kde cenu především ovlivňuje profilovaný stahovací pás, který kotví vazné trámy na zděný věnec. Toto řešení je sice nejdražší, ale zaručí největší pevnost a stabilitu konstrukce.

7 ZÁVĚR

Návrh konstrukce krovu zahradního domku z bambusu je alternativní řešení zastřešení budovy o menších půdorysných rozměrech. Z návrhu jsou provedeny výpočty hmotnosti a ceny a jsou porovnány s vypočtenými hodnotami klasického krovu ze smrku s jednoduchým hambálkem.

Pro volbu typu konstrukce, konstrukčních spojů je využito poznatků získaných při vytváření rešerše literatury týkající se bambusu. 3D návrh konstrukce je vytvořen v programu Inventor AutoCAD 2015, kde jsou použity předem vypočítané rozměry konstrukce. Výstupem je troj pohledový výkres celé konstrukce a výkresy detailů spojů.

Pomocí odvozených koeficientů je spočítána hmotnost konstrukce krovu z bambusu 405 kg. Smrková konstrukce váží 1395 kg bambusová konstrukce je tedy 3,4 krát lehčí než smrková konstrukce. Cena bambusové konstrukce je 89 047 Kč, cena smrkové konstrukce je 66 551 Kč. Bambusová konstrukce je dražší o 22 496 Kč. Pro malé zahradní domky je tedy vhodnější bambus i přes jeho vyšší cenu, která však nemusí být stálá a může klesnout. Práce slouží jako podklad pro rozhodnutí při volbě zastřešení malých zahradních domků. Dle tohoto návrhu může být realizován krov na půdorysy do 8x5 metrů, je však nutno počítat s vyšší finanční zátěží.

SUMMARY

This bachelor thesis is focused on the design of a roof truss of a small garden cottage with alternative use of bamboo as a supporting material in the construction of the roof truss. The main tasks of the work is the design of the structure, including drawings, bill of materials, the calculation of the weight of the structure, the determination of material consumption and its price. The overall output is the comparison of alternative solutions to the standard collar beam structures of spruce beams. For the design of the truss is chosen king-post structure with morticed joints, which is very solid and stable. Selected type of construction was constructed in the program Inventor AutoCAD 2015, where formed 3D models of the truss and details of the individual connections. From the 3D model were created 3-view drawings.

The result of the work is the sizing of the structure and determine the amount of material, which was subsequently calculated the weight of the structure 405 kg and the calculated cost of construction is less than 90 000 Czk and the construction of the. When compared to a bamboo structure with collar beam it was found that the bamboo structure is x lighter than collar beam, but it is 1/3 more expensive.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Wufeng. Bambusy.info. *Přehled druhů: Arundinaria gigantea*. [online]. 2005 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://bambusy.info/?bambus:Arundinaria-gigantea>
- [2] Wufeng. Bambusy.info. *Přehled druhů: Phyllostachys pubescens*. [online]. 2005 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://bambusy.info/?bambus:Phyllostachys-pubescens>
- [3] Stéphane Schröder. *Dendrocalamus asper. Guadua bamboo: Phyllostachys pubescens*. [online]. 25.1.2010 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.guaduabamboo.com/species/dendrocalamus-asper>
- [4] Jan Kocourek. *Pěstování bambusů. bambusy.cz*. [online]. 18.3.2015 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.guaduabamboo.com/species/dendrocalamus-asper>
- [5] A bamboo roof and frame. *pixgood.com*. [online]. 29.11.2014 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://pixgood.com/bamboo-roof-construction.html>
- [6] Matouš Růžička. *Prodej bambusu a exotického dřeva. bamboodesign.cz*. [online]. 2012 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://www.bamboodesign.cz/kontakty>
- [7] Rich Nelson. *Single Rider Human Powered Vehicle: Bamboo Recumbent Bike w/ Full Aerodynamic Fairing. silverfishlongboarding.com*. [online]. 16.5.2010 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <https://www.silverfishlongboarding.com/forum/longboard-board-building-q-a-discussions/139563-single-rider-human-powered-vehicle-bamboo-recumbent-bike-w-full-aerodynamic-fairing.html>
- [8] Josef Kadaně. *Krový – střešní konstrukce vázané. k-woodprojekt.sweb.cz*. [online]. 2005 [cit. 2015-04-13]. Dostupné z: <http://k-woodprojekt.sweb.cz/krovvy.htm>
- [9] REZL, P. *Bambusy a jejich pěstování u nás*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2006. 96 s. Česká zahrada. ISBN 80-247-1528-7.
- [10] MCCLURE, F. A. *A guide to the collection of bamboo*. 1. vyd. IDRC Bamboo & Rattan Research Network, 1989. 24 s

- [11] MCCLURE, F. A. *Bamboo as a Building Material*. 1. vyd. Indiana University: Peace Corps, Information Collection and Exchange, 1953. 52 s
- [12] KUMAR, S a kol. *Bamboo preservation techniques – a review*. 1. vyd. INBAR, 1994. 59 s
- [13] BANIK, R. L. *A manual for vegetative propagation of bamboos*. 1. vyd. INBAR, 1995. 66 s.
- [14] GNANAHARAN, R. MOSTEIRO, P. A. *A Local tools and equipment technologies for procesing bamboo & rattan*. 1. vyd. INBAR, 1996. 76 s.
- [15] JAYANETTI, D. L. a P. R. FOLLET. *Bamboo in construction: An introduction*. 2. vyd. INBAR, 1998. Technical reports. ISBN 1900510030.
- [16] SEBERA, V. -- TIPPNER, J. -- HORÁČEK, P. -- DEJMAL, A. -- BENÍČEK, M. Konečně-prvkový model bambusového článku (*Phyllostachys* sp.) a jeho srovnání s experimentem na dvou mechanických zkouškách. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2010. sv. LVIII, č. 1, s. 153--160. ISSN 1211-8516.
- [17] JANSSEN, Jules J. A. *Designing and Building with Bamboo: TECHNICAL REPORT NO. 20*. INBAR, 2000. Technical reports.