

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra mechaniky a strojnictví**



## **Bakalářská práce**

**Přírodní vlákna jako konstrukční materiál**

**Vedoucí práce: Ing. Čestmír Mizera, Ph.D.**

**Autor: David Raffay**

© 2023 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Raffay

Procesní inženýrství  
Technologická zařízení staveb

Název práce

**Přírodní vlákna jako konstrukční materiál**

Název anglicky

**Natural fibers as construction material**

---

### Cíle práce

V souvislosti s rozvojem průmyslu, společnosti a omezené dostupnosti některých zdrojů je třeba hledat alternativní zdroje, které nahradí ty současné. Enviromentální a ekonomické zájmy stimulují výzkum v oblasti navrhování nových materiálů. Zvláště atraktivní jsou nové materiály, u nichž je značná část na bázi přírodních obnovitelných zdrojů. Velmi zajímavým konstrukčním materiálem, který je šetrný k životnímu prostředí, jsou přírodní vlákna. Cílem této bakalářské práce je sestavení literární rešerše, která bude zaměřena na vlastnosti přírodních vláken a jejich využití v technických konstrukcích.

### Metodika

1. Struktura práce musí obsahovat:

- A. Úvod
- B. Materiály a metody
- C. Výsledky
- D. Diskuse
- E. Závěr

V práci rešeršního charakteru je přípustné sloučení bodů B a C. Obdobně může být diskuse zahrnuta do závěru práce.

2. V bakalářské práci by mělo být obecně popsáno samotné dělení přírodních vláken a jejich složení. Dále pak typy rostlinných přírodních vláken a jejich geometrické a mechanické vlastnosti. Důležitou část práce také tvoří popsání oblasti využití přírodních vláken a jejich použití v konstrukci.

3. Práci je vhodné doplnit fotografiemi, schématy, grafy a tabulkami. Jednotlivé kapitoly a podkapitoly práce, rovnice, obrázky a tabulky je nutné číselně označovat a odkazovat se na ně v textu. Součástí práce je také abstrakt v českém i anglickém jazyce, obsah, seznam obrázků, tabulek a citované literatury. Práce může být doplněna přílohami.

4. Při psaní bakalářské práce je nutné dbát a respektovat citační pravidla dle ČSN ISO 690:2011.
5. Vedoucího práce je nutné průběžně informovat s postupem zpracování zadané bakalářské práce.



## Doporučený rozsah práce

35 stran včetně tabulek a obrázků

## Klíčová slova

mechanické vlastnosti, části rostlin, konstruování

---

## Doporučené zdroje informací

1. Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37, 1552–1596.
2. Alves, C., Ferrão, P. M. C., Silva, A. J., Reis, L. G., Freitas, M., Rodrigues, L. B., & Alves, D. E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 313–327.
3. Ren, D., Yu, Z., Li, W., Wang, H., & Yu, Y. (2014). The effect of ages on the tensile mechanical properties of elementary fibers extracted from two sympodial bamboo species. *Industrial Crops and Products*, 62, 94–99.
4. Müssig, J. (2010). *Industrial Applications of Natural Fibres*. John Wiley & Sons, London.
5. Militký, J. (2002). *Textilní vlákna*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. Liberec.
6. Mukherjee, P.S., & Satyanarayana, K.G. (1984). Structure and properties of some vegetable fibres – Part 1: Sisal fibre. *Journal of Materials Science*, 12, 3925–3934.

---

## Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Čestmír Mizera, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2021

**doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Přírodní vlákna jako konstrukční materiál" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne \_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Chtěl bych upřímně poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Čestmíru Mizerovi, Ph.D. za trpělivost, ochotu, cenné připomínky a rady během vedení mé bakalářské práce.

# **Přírodní vlákna jako konstrukční materiál**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce pojednává o přírodních vláknech, jak živočišných, tak především rostlinných. První kapitola je věnována dělení přírodních vláken. Dále jsou podrobněji rozebrány vlákna rostlinná, a to jak jejich struktura, tak stavba a zpracování. Následně jsou probrány jednotlivé typy rostlinných vláken. Další část je zaměřena na vlákna živočišná a jejich získání a zpracování. V této práci se dále popisují geometrické a mechanické vlastnosti vláken. Předposlední část této práce se zabývá využitím přírodních vláken v praxi a v samotném závěru je stručný přehled o celosvětové produkci a cenách přírodních vláken.

**Klíčová slova:** mechanické vlastnosti, části rostlin, přírodní vlákna, konstruování

# **Natural fibers as construction material**

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with natural fibers, both animal and mainly vegetable. The first chapter is devoted to the division of natural fibers. Furthermore, plant fibers are analyzed in more detail, including their structure, construction and processing. Subsequently, individual types of plant fibers are discussed. The next part is focused on animal fibers and their acquisition and processing. In this work, the geometric and mechanical properties of the fibers are further described. The penultimate part of this thesis deals with the use of natural fibers in practice, and in the very conclusion there is a brief overview of the worldwide production and prices of natural fibers.

**Keywords:** mechanical properties, plant parts, natural fibers, construction

# Obsah

Úvod .....	9
<b>1 Přírodní vlákna .....</b>	<b>10</b>
1.1 Rozdělení přírodních vláken .....	10
<b>2 Rostlinná vlákna.....</b>	<b>11</b>
2.1 Struktura rostlinných vláken .....	11
2.1.1 Celulóza .....	12
2.1.2 Hemicelulóza .....	12
2.1.3 Lignin.....	13
2.1.4 Pektin .....	13
2.2 Stavba buněčné stěny .....	14
2.3 Zpracování rostlinných vláken.....	15
2.4 Typy rostlinných vláken.....	17
2.4.1 Jutová vlákna .....	17
2.4.2 Kokosová vlákna.....	18
2.4.3 Abaková vlákna .....	19
2.4.4 Kenafová vlákna .....	20
2.4.5 Bambusové vlákno.....	21
2.4.6 Bavlněná vlákna.....	21
2.4.7 Ramie .....	22
2.4.8 Konopná vlákna .....	23
<b>3 Živočišná vlákna.....</b>	<b>24</b>
3.1 Hedvábí .....	25
3.1.1 Morušové hedvábí (Bombyx mori).....	25
3.1.2 Pavoučí hedvábí (Nephila).....	26
3.2 Vlna.....	27
3.2.1 Struktura vlněného vlákna .....	28
3.2.2 Zpracování vlny .....	28
<b>4 Vlastnosti vláken .....</b>	<b>30</b>
4.1 Geometrické vlastnosti.....	30
4.1.1 Délka vláken .....	30
4.1.2 Jemnost vláken.....	30
4.1.3 Tvar příčného řezu vláken .....	31
4.2 Mechanické vlastnosti.....	32
4.2.1 Tahové vlastnosti .....	32



<b>5 Využití vláken</b> .....	<b>34</b>
5.1 Automobilový průmysl .....	34
5.2 Stavební průmysl.....	37
5.3 Zdravotnictví .....	40
5.4 Další využití přírodních vláken.....	42
<b>6 Produkce přírodních vláken</b> .....	<b>43</b>
<b>7. Závěr</b> .....	<b>45</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>46</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>53</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>53</b>

## Úvod

Změna klimatu, velká spotřeba syntetických materiálů, zvyšující se počet lidí na planetě to jsou všechno faktory, které jsou pro planetu dlouhodobě neudržitelné. Lidé si tyto fakta začínají uvědomovat čím dál tím více, a tak začalo vznikat více studií o této problematice. Setkáváme se i s větší edukací lidí v oblasti recyklace materiálů či používání přírodních zdrojů v průmyslu. Snaha o větší zapojení obnovitelných materiálů do průmyslu je i z důvodu, že některé zdroje na planetě jsou vyčerpateľné, a tak se hledají další možnosti, jak je nahradit úplně či částečně. Před objevením syntetických materiálů se využívaly výhradně materiály přírodní. Například materiály jako bavlna, hedvábí, konopná vlákna či kokosová nám jsou známá již tisíce let. S příchodem syntetických materiálů se tyto materiály upozaďovaly. Vzhledem k současné situaci je takovéto využívání syntetických materiálů pro planetu neúnosné, a tak je otázkou a úkolem nás a budoucích generací, jak tyto problémy vyřešit. Jedna z možností, jak pomoci s těmito otázkami, je zapojení přírodních vláken, které mohou být dobrou alternativou vláknům syntetickým úplně nebo částečně v podobě kompozitu. Tato vlákna mají spoustu výhodných vlastností jako je jejich cena, nižší hmotnost, dobré relativní mechanické vlastnosti, recyklovatelnost, a především jsou obnovitelnými zdroji. To jsou vlastnosti, které jsou zajímavé pro průmyslové využívání, a tak jsou schopné konkurovat vláknům syntetickým. Kvalitních vlastností přírodních vláken si začíná všimát i mnoho států, a tak mají snahu podporovat jejich výzkum a pokrok. V posledních letech vzniklo mnoho studií i v Evropské unii, a tak se i politika Evropské unie v tomto směru mění a začínají vznikat nové legislativní zákony. Především v automobilovém průmyslu se stává běžné, že se ve vozech objevují části z přírodních vláken, ale i v průmyslu zdravotním či stavebním tato vlákna nachází své uplatnění.

Cílem této bakalářské práce je sestavení literární rešerše, která zodpovídá otázky ohledně přírodních vláken, a tak rozšiřuje čtenáři znalosti ohledně přírodních materiálů a ukazuje další alternativy k vláknům syntetickým. Z čeho se přírodní vlákna skládají, kde se pěstují nebo jaké jsou možnosti využití přírodních vláken v průmyslových odvětvích je zodpovězeno v této bakalářské práci.

# 1 Přírodní vlákna

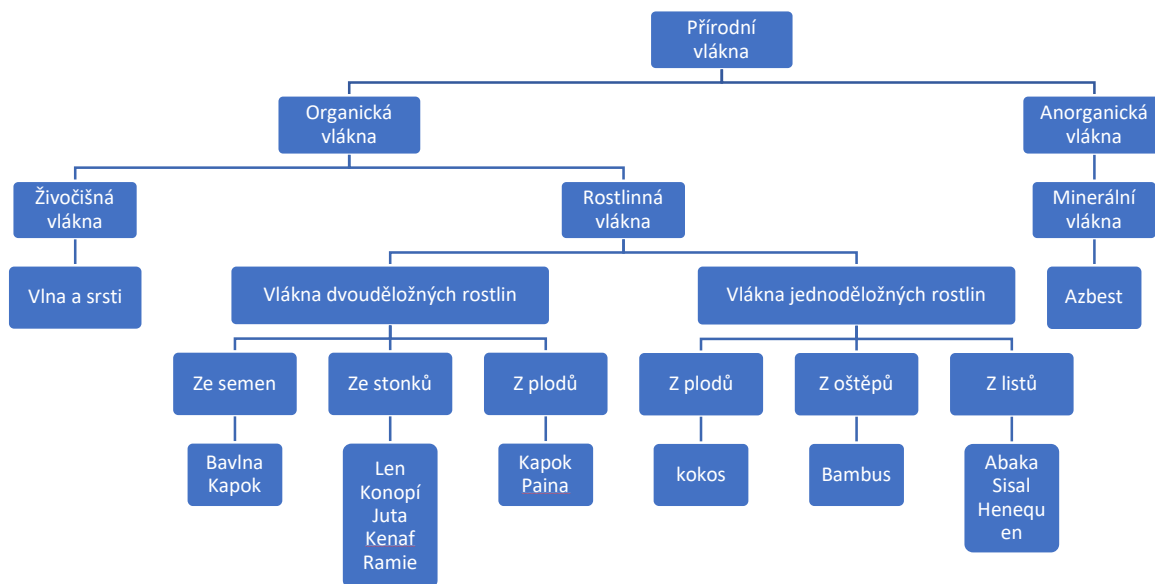
Za přírodní vlákno můžeme označit každé vlákno, které není umělé nebo syntetické. Další definice přírodního vlákna je, že se jedná o buněčné seskupení, ve kterém je dominantním parametrem délka před průměrem. Jde o vlákna, která se získávají z obnovitelných zdrojů a lze je získat z živočišných zdrojů, rostlin nebo minerálů. Podrobnější dělení přírodních vláken je popsáno v podkapitole rozdělení přírodních vláken. Všechna přírodní vlákna mají několik společných vlastností. Například při působení vysokých teplot neměknou, nedochází k vysoké roztažnosti nebo naopak pokud jsou vystaveny teplotám pod bodem mrazu, tak se vlákna nestávají křehkými. Jestliže jsou přírodní vlákna vystavena přímému slunečnímu záření, vlhkosti, tak ztrácí pevnost a mají sklon žloutnout [1, 2].

## 1.1 Rozdělení přírodních vláken

Základní klasifikace přírodních vláken je zobrazena na obrázku 1, kde se přírodní vlákna dělí na vlákna organická a anorganická. Do skupiny anorganických vláken spadají minerální vlákna, kde hlavním představitelem minerálních vláken je azbest. Vlákna organická jsou dále dělena na živočišná a rostlinná. Živočišná vlákna jsou po rostlinných vláknech nejdůležitějším a nejvyužívanějším zdrojem vláken na světě. Na rozdíl od rostlinných vláken se živočišná vlákna nemusí sklízet a stavebním prvkem živočišných vláken jsou různé typy bílkovin. Vlákna se získávají z ochranného obalu živočichů, srsti, kůže, chlupů, vlasů nebo sekretu. Živočišná vlákna se primárně využívají v textilním průmyslu. Rostlinná vlákna, jak již nám sám název napovídá, se získávají z rostlin. Tyto vlákna jsou světově nejhojněji využívanými přírodními vlákny. Hlavní stavební jednotkou rostlin je celulóza. Přednostmi rostlinných vláken je nízká cena, vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, nekorozivní povaha, vysoká lomová houževnatost, obnovitelnost, udržitelnost, snadná recyklace atd. Rostlinná vlákna mají uplatnění především v textilním průmyslu a papírenském průmyslu, ale i ve stavebnictví, autoprůmyslu nebo nábytkářství jsou tato vlákna hodně využívaná. Vlákna získaná z rostlin rozdělujeme podle částí, z kterých pochází. Například ze semen jsou vlákna bavlněná nebo kapoková. Len, konopí, juta jsou vlákna, která se extrahují z vnitřku stonků rostlin, z plodů jsou vlákna kokosová, kapoková. U rostlin banánovníku textilního nebo agáve sisalové se vlákna získávají z listů [3, 4, 5,6].

Rostliny, které produkují vlákna jsou dále klasifikována na primární a sekundární. Primární vlákna jsou vlákna z rostlin, které se pěstují pro obsah vlákniny. Sekundární

rostliny jsou rostliny, které se pěstují prvotně za jiným účelem a vedlejším, sekundárním produktem těchto rostlin jsou vlákna. Rostliny, které produkují primární vlákna jsou např. konopí, juta nebo kenaf. Kokosové vlákno, ananas, palma olejná patří do sekundární skupiny [3,4, 5].



Obrázek 1 Rozdělení přírodních vláken [4,7]

## 2 Rostlinná vlákna

### 2.1 Struktura rostlinných vláken

Rostlinná vlákna jsou stěny rostlinných buněk a chemicky se skládají z polysacharidových polymerů, jako je celulóza, hemicelulóza a pektin, ale také z ligninu, aromatických látek, vosků či sloučenin rozpustných ve vodě. Množství jednotlivých chemických prvků v rostlině je ovlivněno mnoha faktory. Záleží například v jakých klimatických podmínkách rostliny rostou, na druhu rostliny, o jakou část rostliny se jedná nebo věku. Chemické složení rostlin má zásadní vliv na mechanické vlastnosti rostlinných vláken. Schéma rostlinné buněčné stěny je zobrazeno na obrázku 2 [4].

### 2.1.1 Celulóza

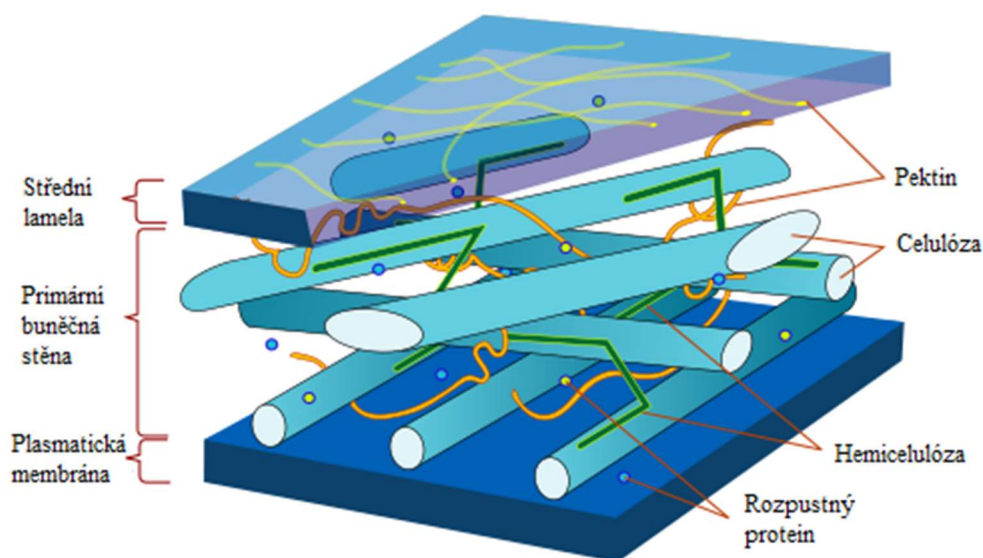
Celulóza je přírodní lineární polymer, který se vyskytuje v bakteriálních a rostlinných buňkách, buněčných stěnách. V základní formě se skládá z nerozvětvených  $\beta$ -1,4 spojených glukánových řetězců, avšak základní jednotkou je celobióza, která je tvořena mezimolekulárními vodíkovými a dvěma glukózovými vazbami. Tyto spojené řetězce se dále spojují do nanovláken a jsou agregovány do provazcových kompozic různých průměrů. Ve stěnách rostlinných buněk se celulóza vyskytuje jako mikrovlákn o průměru 2 - 20nm a délce 100 - 40000nm. Poskytuje nosnou, pevnou kostru stěnám rostlinných buněk a má zásadní vliv na hustotu a pevnost v tahu. Struktura celulózy zůstává stejná pro všechna přírodní vlákna, mění se pouze stupeň polymerace. U většiny běžných přírodních vláken je celulóza dominantním chemickým prvkem a z celkové hmoty rostliny celulóza zabírá přibližně 33 %. Nachází se v primární i sekundární buněčné stěně, přičemž větší zastoupení má v sekundární buněčné stěně, o které je více napsáno v kapitole 2.2. Celulóza je například hlavní složkou bavlněných vláken nebo dřeva získaném ze stromů nebo se používá při výrobě papíru, lepidla, kávových filtrů, jako stavební materiál a je zdrojem, potravou pro býložravce atd. Obsah celulózy v rostlinných vláknech je v rozmezí od 26-91 %, minimální obsah má bambusové vlákno a nejvyšší zastoupení je ve vláknu ramie z celkových chemických částí [4, 8, 9, 10,11].

### 2.1.2 Hemicelulóza

Hemicelulóza je heterogenní skupina polysacharidů o nižší molekulové hmotnosti. V rostlinných buněčných stěnách je hned po celulóze nejhojněji zastoupena. Jedna z funkcí hemicelulózy je hydratace buněčné stěny, zadržuje vodu, která rostlina potřebuje pro růst. Vyskytuje se v primární a sekundární buněčné stěně, ale oproti celulóze, která má větší zastoupení v sekundární buněčné stěně, se hemicelulóza ve větší míře nachází v buněčné stěně primární. V jaké části se hemicelulóza a celulóza nachází je vidět na obrázku 2. Jak již bylo zmíněno, jde o skupinu heterogenních polysacharidů, lišících se jak složením, tak i strukturou. Do této skupiny spadají necelulózové polysacharidy, kterými jsou například: glukán, mannan, galaktan, arabinan a xylan. Xylan je v hemicelulóze zastoupen nejvíce. Hemicelulózy tvoří vazby mezi sebou a ostatními polysacharidy (celulózou, pektiny). Chemické zastoupení v rostlinných vláknech je od 3-38 %. Minimální obsah 3 % je u vláken bavlněných a maximální zastoupení hemicelulóza 38,5 % bylo prokázáno u vláken alfa [4,8, 10,12].

### 2.1.3 Lignin

Lignin neboli polyfenylpropanoidní komplex je aromatický uhlovodíkový polymer, který podporuje strukturu, dává rostlinám pevnost a tuhost. Nachází se ve středních lamelách a sekundární buněčné stěně. Je považován za pojivo, které spojuje celulózu a hemicelulózu. Rostliny by nedosahovaly velkých výšek, kdyby se tento polymer neobjevoval v jejich struktuře. Existují různé typy ligninu (syringyl, koniferyl lignins). Jaký typ ligninu se objevuje v tkáních má následně vliv na chemické ošetření. Například koniferyl lignin je lignin, který je v měkkém dřevu a je hůře biologicky odbouratelný. Lignin se procentuálně v rostlinných vláknech vyskytuje od 0,6-45 % z celkového chemického složení, přičemž 0,6 % je obsah ligninu pro vlákna z rostliny ramie a 45 % je maximální obsah ligninu pro vlákno piasava [4, 8, 10,12].



Obrázek 2 Schéma rostlinné buněčné stěny [13].

### 2.1.4 Pektin

Pektin je stejně jako hemicelulóza název pro skupinu heterogenních polysacharidů a skládá se ze čtyř a více podtříd (homogalakturonan, rhamnogalakturonan a xylogalakturonan). Hlavním úkolem pektinu je společně s hemicelulózou udržet tkáň a vlákna pohromadě, a dodávat rostlinám ohebnost. Dohromady se nazývají matricové polysacharidy. Pektin se nachází ve střední lamelle a primární buněčné stěně, jak je zobrazeno v obrázku 3. V rostlinných vláknech se objevuje v nižších procentech, ale je vhodně rozmístěn v tkáních rostlin. Procentuálně se množství pektinu pohybuje v rozmezí

od 0,45 do 10 %. Vlákno *Sansevieria ehrenbergii* má nejnižší obsah pektinu a vlákniny z mořské trávy mají nejvyšší obsah pektinu [4, 8, 10,12].

V tabulce 1 je znázorněn přehledný procentuální výskyt chemických prvků u některých přírodních vláken.

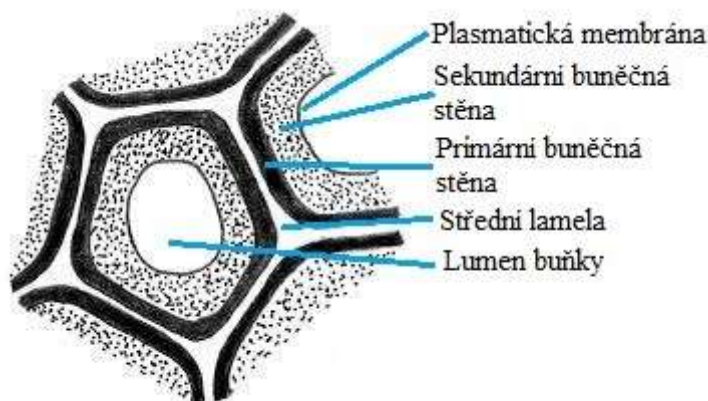
*Tabulka 1 Chemické složení některých přírodních vláken [3].*

<b>Vlákno</b>	<b>Celulóza (hmot.%)</b>	<b>Hemicelulóza (hmot.%)</b>	<b>Lignin (hmot.%)</b>	<b>Vosky (hmot.%)</b>
Len	71	18,6-20,6	2,2	1,5
Konopí	68	15	10	0,8
Juta	61-71,5	14-20	12-13	0,5
Kenaf	72	20,3	9	-
Ramie	68,6-76,2	13-16	0,6-0,7	0,3
Bambus	26-43	30	2,2	-
Abaca	56-63	20-25	7-9	3
Ananas	81	-	12,7	-
Sisal	67-78	10-14,2	8-11	2
Baggasse	55,2	16,8	25,3	-
Kokosové vlákno	32-43	0,15-0,25	40-45	-
Bavlna	82,7	5,7	-	0,6
Palmový olej	65	-	29	-

## 2.2 Stavba buněčné stěny

Buněčná stěna je stěna, která chrání některé buňky, a to buňky rostlin, řas, bakterií a hub. Každá rostlina má svou buněčnou stěnu neboli vnější obal rostlinné buňky, který chrání tzv. vnitřní orgány rostliny. Je složena z několika vrstev a u většiny rostlin se skládá ze střední lamely, primární buněčné stěny a sekundární buněčné stěny. Jednotlivé vrstvy buněčné stěny jsou zobrazeny na obrázku 3. Buněčná stěna má více podob, záleží na druhu rostliny. Stavba buněčné stěny vykazuje mnoho důležitých rolí, například vytváří bariéru, která chrání rostlinu před rostlinnými viry. Uschovává živiny (sacharidy) pro růst rostliny. V buněčné stěně prostřednictvím plasmodesmat dochází ke komunikaci buněk mezi sebou. Povoluje nebo zabraňuje některým látkám vstup do buňky, ale především poskytuje buňkám pevnou kostru, která zabraňuje přílišné expanzi. Jak již bylo výše zmíněno, celulóza, hemicelulóza a další polysacharidy jsou hlavními stavebními prvky k udržení tvaru a formy

buňky. Pro člověka má buněčná stěna rostlin praktickou hodnotu jako stavební materiál, výživa pro zvířata anebo jako zdroj přírodních vláken. [4,9,10,13].



Obrázek 3 Schéma stavby buněčné stěny [14]

Vnější vrstva se nazývá střední lamela, která je tvořena zejména z pektinu. Pomáhá sousedním buňkám vázat se k sobě navzájem. Další částí je primární buněčná stěna, která se objevuje mezi střední lamelou a plasmatickou membránou. Poskytuje buňkám flexibilitu a sílu při růstu buněk. Tato část v samotném zárodku vyplňuje celý prostor mezi střední lamelou a plasmatickou membránou. Postupem času buněčná stěna začne takzvaně tloustnout, a tak u některých rostlinných buněk se mezi primární buněčnou stěnou a plasmatickou membránou začne objevovat sekundární buněčná stěna. Sekundární buněčná stěna je tvořena převážně rovnoběžnými vlákny celulózy a roste hlavně do šířky. Jde o vrstvu, která se začne vytvářet, jakmile primární buněčná stěna přestane růst a dělit se. V samotném jádře je plasmatická membrána. [4,9,19,13].

### 2.3 Zpracování rostlinných vláken

Rostlinné vlákno prochází několika fázemi výroby, každá z těchto fází může ovlivnit kvalitu vlákna. Rostlinné vlákno je na počátku, ve fázi růstu, ovlivněno druhem rostliny, polohou, produkcí plodin a podnebím. Z které části rostliny vlákno pochází nebo teplota, při které rostlina roste, to vše má zásadní vliv na vlastnosti vlákna. Další fází je fáze sklizně. Postupem času vlákna dozrávají. Větší část stonku rostliny zabírá sekundární buněčná stěna a dochází k zvýšení mechanické pevnosti. To se zdá jako pozitivní jev, ale vlákna současně hrubnou, přilnou k sobě a okolní rostlinné struktuře. Tímto je ovlivněna, ztížena fáze



extrakce vláken, při které dochází k oddělení vlákna od biomasy. Extrakce vláken zahrnuje proces máčení nebo dekortikace (odstranění zdřevnatělých součástí z povrchu stonku). Máčení je proces, při kterém se oddělují vlákna od centrálního stonku. Existuje mnoho způsobů máčení například rosné máčení, máčení teplou nebo studenou vodou, enzymatické a mechanické máčení. Druhy máčení jsou více popsány v kapitole o extrakci vláken. Nedílnou součástí ovlivňující kvalitu vláken je zásobovací fáze, do které spadají podmínky skladování, přeprava vláken a věk vlákniny [15, 16].

*Tabulka 2 Fáze výroby rostlinných vláken a faktory ovlivňující kvalitu vláken [16].*

<b>Etapa</b>	<b>Faktory ovlivňující kvalitu vláken</b>
Růst rostlin	Druhy rostlin Pěstování plodin Umístění plodiny Místní klima
Fáze sklizně	Zralost vlákniny, která ovlivňuje: Hrubost vláken Tloušťka buněčné stěny Přilnavost mezi vlákny a okolní strukturou
Fáze extrakce vláken	Dekortikační proces Typ metody máčení
Zásobovací fáze	Přepravní podmínky Podmínky skladování Věk vlákniny

### **Metody extrakce rostlinných vláken:**

Rosné neboli polní máčení je metoda, která je relativně šetrná k životnímu prostředí, je levná, jednoduchá, avšak kvalita vláken je nižší a především nejednotná. Stonky rostlin jsou řezány, lisovány a následně ponechány na poli. Tento proces je velmi těžké kontrolovat, záleží na půdě a jaké jsou meteorologické podmínky [17,18].

Máčení vodou spočívá v potopení rostliny do nádoby s vodou nebo do řeky. Tato metoda není energeticky náročná, avšak je příliš pracná a nešetrná k životnímu prostředí. V dnešní době se ve spoustě zemích máčení vodou zakázalo, protože dochází k znečištění vod. Například v Maďarsku, Srbsku nebo Číně je tato metoda stále využívána [17,18].

Enzymatické máčení je proces, při kterém se smíchají nařezaná vlákna se speciální směsí enzymů. Tato směs je vytvořena tak, aby napadal konkrétní části rostliny, a tak

oddělila vlákna od stonků. Oproti rosnému nebo vodnímu máčení má enzymatické metoda kvalitnější, čistší vlákna, a i doba extrakce je nižší, ale nevýhodou jsou drahé směsi [17,18].

Mechanické máčení neboli dekortikace je získání rostlinného vlákna, většinou z odpadních částí rostliny, za pomoci kladivového mlýna. Touto metodou rychle získáme velké množství vláken, avšak v nízké kvalitě [17,18].

## 2.4 Typy rostlinných vláken

### 2.4.1 Jutová vlákna

Jutová vlákna patří do skupiny lýkových vláken, která se získávají ze stonků rostlin součástí rodu *Corchorus*. Pěstují se po celém světě například Čína, Indie a Bangladéš, které jsou nejvýznamnějšími producenty. Do rodu *Corchorus* spadá přibližně 100 druhů. Bílá juta (*capsularis*), která je zobrazena na obrázku 4, a juta tossa (*C. olitorius*) jsou pěstovány primárně pro vlákno [4,19].



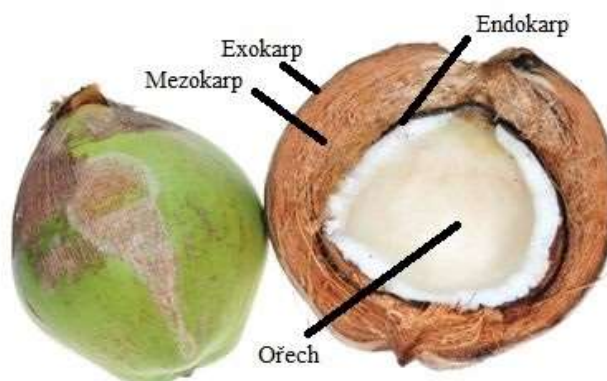
Obrázek 4 *Corchorus capsularis* [20].

Tyto dva druhy mají podobné geometrické parametry, dlouhé, rovné stonky s obvodem kolem 3 cm a rozvětveným vrcholem. Největší rozdíl těchto dvou druhů je v jejich plodech. Bílá juta má semena uložená v kulovité schránce, zatímco juta tossa má semena uschovaná v podlouhlém lusku. Dalším rozdílem jsou oblasti, v kterých se dané druhy pěstují. Ve vyšších oblastech se pěstuje *C. olitorius*. *C. Capsularis* je rostlina, která se pěstuje v níže položených místech. Pro ideální růst jutové rostliny potřebují vysokou relativní vlhkost (70-80 %), teplotu v rozmezí od 20-40 °C, a především potřebuje hodně vody, proto se pěstuje v období velkých srážek. Juta roste na plantážích 100-135 dní, kde se po dozrání

sbírá a následně máčí v tekoucí vodě. Pro extrahování lze použít i procesy bez máčení vláken, ale máčení je typický a běžný způsob pro snadnější extrahování vlákna. Běžné jutové vlákno má 1-6 mm na délku a 5-30  $\mu\text{m}$  do šířky. Po extrakci se vlákna vysouší a exportují na místa určená k dalšímu zpracování jutových vláken, například k chemickému ošetření, pokud je to žádané. Vlákna z juty mají široké využití, například se používají jako obalový materiál, bytový textil, dekorační látky, nákupní tašky, izolační materiál, závěsy atd. [4, 19].

#### 2.4.2 Kokosová vlákna

Kokosový ořech, z kterého se získává kokosové vlákno, je plodem kokosové palmy (kokosovník ořechoplodný). Palma každý rok přináší 50 až 100 plodů a sklízí se průběžně. Kokosové vlákno je vedlejší produkt kokosového zemědělství, které se primárně zabývá produkcí mléka, kokosového oleje nebo vody. Vlákna se nachází v kokosové slupce o šířce 5 až 8 cm. Slupka se nejčastěji stává odpadem, přibližně pouze 10 % z celkové produkce slupek se dále zpracovává a využívá na výrobu kokosového vlákna. Vlákno z kokosu lze získat více způsoby, například konvenčním máčením nebo biologickými, mechanickými metodami. Při konvenčním způsobu se slupky máčí buď v brakické vodě (tři až šest měsíců) nebo slané vodě (deset až dvanáct měsíců). Poté se vlákna separují šleháním, dekortikací a následně sekají a perou. Konvenční způsob je způsob, který produkuje nejkvalitnější kokosová vlákna. Rozlišujeme dva druhy kokosových vláken, a to podle barvy na bílé a hnědé kokosové vlákno. Barva je dána zralostí kokosů, kde na obrázku 5 jsou popsány jednotlivé části nezralého plodu kokosovníku ořechoplodného. Bílá vlákna jsou z kokosů, které jsou méně zralé takzvaně mladé kokosy. Jsou slabší, ale také hladší a jemnější oproti hnědým vláknům z kokosů zralejších, která jsou hrubší, pevnější a mají vyšší odolnost [21,22].



Obrázek 5 Jednotlivé části plodu kokosovníku ořechoplodného [21]

Kokosová vlákna se využívají k výrobě kartáčů, rohožek, matrací, pytlů nebo například geotextílie. Hlavními producenty kokosové palmy jsou Filipíny, Indie a Indonésie. Dohromady pokryjí přibližně 89 % světového trhu [21,22].

### 2.4.3 Abaková vlákna

Abakové vlákna jsou vlákna, která pochází ze stonků listů rostliny nepoživatelného banánovníku. Rostlina, z které pochází abaková vlákna, je zobrazena na obrázku 5. Je výhradně pěstována na Filipínách, odkud se exportuje přibližně 85 % světového trhu a zbylých zhruba 15 % je obstaráno z Ekvádoru. Rostlina se zasazuje v období dešťů a ideálně roste ve volných, hlinitých, vlhkých půdách s dobrou drenáží 18 až 24 měsíců. Abaka nevyžaduje žádné umělé ošetření v podobě pesticidů nebo minerálních hnojiv. Celková délka života rostliny je přibližně 10 let. Dorůstá délek v rozmezí 1–3 m a řapíky jsou dlouhé od 30 do 62 cm. Poté co abaka vyroste a dosáhne své zralosti, sklízí se v intervalech každých 3-8 měsíců. Jedná se o velice náročnou část, která zahrnuje několik operací. Před samotnou extrakcí je nejdříve potřeba oddělit vnější vrstvu od vrstvy vnitřní, tomuto procesu se říká tuxying. Vnitřní vrstva se dále využívá jako organické hnojivo, nelze tuto část využít k extrakci vlákna. Primární vlákno je obsaženo ve vnější vrstvě, které se získá seškrábnutím dužinatého materiálu z této vrstvy. Seškrábnutí neboli stripování je nejčastěji používanou metodou pro extrakci abakového vlákna. Provádí se buď strojově nebo ručně. V poslední fázi se vlákna vysouší 2-4 hodiny na slunci [4, 23, 24].



Obrázek 6 Sušení abakových vláken před Banánovníkem textilním [25]

Vlákna z abaky jsou velmi ceněná pro svou pevnost, pružnost a dobře odolávají slané vodě. Tyto kladné vlastnosti nacházejí uplatnění v mnoha odvětvích. Například v dnešní

době se abaka využívá při výrobě bankovek, provazů, tkaniny, cigaretových papírů, čajových sáčků nebo v automobilovém průmyslu [4, 23, 24].

#### 2.4.4 Kenafová vlákna

Kenafová vlákna se získávají ze stonků rostliny ibišku konopovitého, který spadá do čeledi ibišek. Tato rostlina se pěstuje v tropických oblastech primárně pro vlákna. Historicky pochází z Afriky, kde byla poprvé využívána přibližně před 4000 lety. V dnešní době se kenaf pěstuje přibližně ve 20 zemích s celkovou roční produkcí kolem 216 000 tun a mezi hlavními producenty kenafu jsou země jako Indie, Bangladéš a Čína. Na jednom akru se ročně produkuje 6-10 tun suchého vlákna. Rostlina kenaf, která je zobrazena na obrázku 7, vyroste během 4-5 měsíců a dosahuje výšek od 1,5 m do 4 m s průměrem stonku 3-5 cm. Dlouhý stonk je jedna z atraktivních vlastností rostliny, díky které se mohou produkovat dlouhá vlákna. Na obrázku 7 vidíme neupravená kenafovová vlákna. Dalšími kladnými vlastnostmi kenafu je například vysoká odolnost proti hmyzu, dobrá adaptace na různé typy půd, absorpce velkého množství CO<sub>2</sub> nebo nízká potřeba chemického ošetření, která také patří ke kladným vlastnostem rostliny. Výsadba semen každoročně začíná na jaře po odeznění chladnějších období do půdy, která by především neměla být podmáčená, špatně odvodněná. Tyto vlastnosti půdy neprospívají rostlině k růstu. Ideální místo pro zasazení a následní růst rostliny je především v zajištění dobrého set'ového lůžka a aby semeno bylo v dobrém kontaktu s jemnou, vlhkou půdou. Kenaf se sklízí po 4-5 měsících ručně nebo strojně a následně dochází k extrakci vlákna ze stonku, který se skládá ze dvou částí. Vnější část obsahuje dlouhá lýková vlákna a vnitřní částí neboli jádro obsahující dřevité složky a krátká vlákna. Dohromady se dá využít až 40 % ze stonků rostliny kenaf na vlákna, což je skoro dvojnásobně vyšší číslo než u konopí, lenu nebo juty [26,27, 28].



Obrázek 7 Rostlina kenaf a její neupravená vláknina [27].

Kenafová vlákna se hojně využívají v textilním průmyslu. Velmi dobře se dají kombinovat s jinými vlákny jako je například bavlna nebo juta, která má podobné mechanické vlastnosti jako mají kenafová vlákna. Další využití nalezneme v podobě balicího materiálu, výroba provazu, pytlů nebo třeba papíru [27,28].

#### 2.4.5 Bambusové vlákno

Bambus je vytrvalá rostlina, která je součástí rodiny trav. Na světě je více než 1250 druhů bambusu a patří k nejrychleji rostoucím rostlinám na planetě. Některý z těchto druhů dokáže vyrůst až o 910 mm za jeden jediný den což je skoro 40 mm za jednu hodinu. Toto lýkové vlákno se chemicky skládá z 70-74% celulózy, 12-14 % hemicelulózy, 10-12 % lignin a obsahuje 2-3 % pektinu a vosku. Na obrázku 8 lze vidět rostlinu bambus a její vlákna. Bambus lze pěstovat v širokém spektru podnebných pásmech, a tak se dnes produkuje po celém světě. Největšími producenty a vývozci této plodiny je Čína, Indie, Pakistán a Indonésie, ale pěstuje se například i v Evropě nebo Spojených státech. Bambusová vlákna lze vyrábět dvěma způsoby, a to procesem chemickým anebo mechanickým. Většinou se k extrakci bambusového vlákna využívá chemická metoda zvaná zpracování viskóзовého hedvábí. Výroba vlákna touto metodou je levná, avšak je nešetrná k životnímu prostředí a nebezpečná při výrobě. Vlákna z bambusu lze využít v mnoha odvětvích a jelikož mají antibakteriální povahu, tak se často využívají k výrobě například obvazů, chirurgických roušek, spodního prádla, ale i ve stavebnictví nebo papírenském, textilním průmyslu najdou své uplatnění [26,29,30].



Obrázek 8 Pohled na bambus, na nativní původ a pokročilé vlákno [31]

#### 2.4.6 Bavlněná vlákna

Bavlna je vlákno, které se získává a roste kolem semen bavlníku (*Gossypium*). Považuje se za nejdůležitější vlákno ze všech přírodních vláken a pěstuje se povětšinou v tropických a subtropických oblastech. V dnešní době se s pěstováním bavlny můžeme

setkat ve více než 50 zemích. Spojené státy, Indie a Čína jsou největšími producenty bavlny, ale i Egypt, Pakistán nebo ve východní Evropě se můžeme setkat s pěstováním bavlny. Pole bavlníku vidíme na obrázku 9. Rozlišujeme přibližně kolem 50 druhů bavlny. V komerčním měřítku je nejpěstovanější druh *G.hirsutum*, který pokryje kolem 90 % celosvětové produkce bavlny. Bavlna má řadu velmi ceněných vlastností, které jsou v přírodě výjimečné. Například má dobrou savost vody, biologickou odbouratelnost, výbornou termostatickou kapacitu a také je známá čistou celulózą, kterou nám bavlna poskytuje [4,26,32,33].



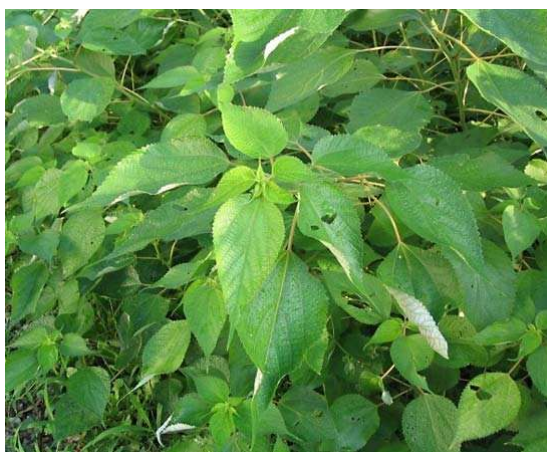
*Obrázek 9 Bavlníkové pole [34].*

Bavlna je brána za suchou plodinu, protože je schopna přežít v podmínkách, kde je nedostatek vody, a to díky svému propracovanému kořenovému systému. Kořeny bavlníku dokážou proniknout do 1,5-1,8 m hluboké půdy. Bavlna je rostlina, která pro ideální růst potřebuje těžkou půdu, více slunečního světla a mírné srážky. Zasadí se na jaře, kdy půda začne být dostatečně teplá. Teplota půdy je důležitá pro klíčení semen. Po zasazení rostlina roste a následně kvete, mění barvu svých květů. Květy pak odumřou a jsou nahrazeny tobolky v kterých se nachází chomáčky bavlny. Tobolky časem prasknou a dojde na ruční nebo mechanickou sklizeň. Ke sklizni dojde po přibližně 6 měsících, záleží, v které oblasti se bavlna pěstuje. Po sklizni dochází k procesu vyzrňování a následnému lisování bavlny do balíků a exportu. Vlákna z bavlny se využívají především v oděvním průmyslu, lékařství jako např. obvazy, ubrousky, vatové tampóny nebo v bytovém zařízení například v podobě závěsů [4,26,32,33].

#### **2.4.7 Ramie**

Rostlina ramie (*Bohmeria*), která je také známá pod názvem čínská tráva, pochází z Asie a je součástí čeledi kopřivovitých. Dnes se pěstuje převážně v Číně, Japonsku a Brazílii. Vlákna této vytrvalé rostliny se získávají ze stonků, kterých rostlina produkuje velké množství. Stonky dorůstají do výšek od 1 m do 2,4 m a v horní části rostou zelené

listy, které jsou na obrázku 10 ve tvaru srdce. Produktivní výdrž rostliny je v rozmezí od 7 do 20 let. Nejlépe se rostlině daří v tropických oblastech s písčitou a odvodňovanou půdou. Jakmile hnědnou spodní části stonku a nová stébla se začnou objevovat, tak je rostlina připravena ke sklizení. Sklizeň je často prováděna ručním řezáním stonků a tato fáze může nastat 3 -6krát za rok. Poté jsou vlákna mechanicky nebo ručně extrahována ze stonků rostliny. Proces extrakce vláken a následné čištění je velmi časově, ekonomicky i fyzicky náročný, a tak se v dnešní době tento typ vlákna využívá v omezené míře. Vlákno je po extrakci lesklé a má čistě bílou barvu [3,26,35]



*Obrázek 10 Listy v horní části rostliny ramie [35].*

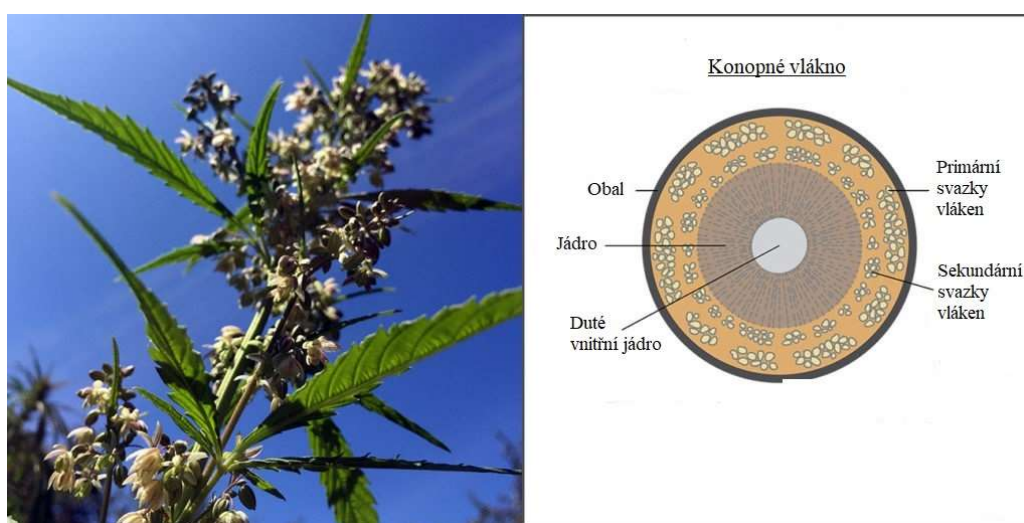
Výhody vláken ramie jsou v dobré absorpci vlhkosti, snadno je lze obarvit a mají dobrou odolnost proti plísním. Při kontaktu s vodou dochází k zvýšení pevnosti a zároveň nemění svůj tvar, nesráží se. Rychle schne, a pokud se vlákna ramie vystaví slunečnímu záření, tak nedochází ke změně barvy. Například nežloutnou, neblednou. Pevnost mají vyšší než vlákna jutová, bavlněná nebo vlna. Vlákna ramie byla často využívána a propagována v textilním odvětví. Svě využití naleznou například při výrobě šicích nití, jako obalové materiály nebo sítě na rybaření. Ve spolupráci s jinými přírodními vlákny se používají i pro výrobu oděvů nebo kusů některých bytových nábytků. Její listy jsou jedlé, a tak se přidávají i do některých pokrmů ve východní Asii, například rýžových koláčů či rýžových knedlíků [3,26,35].

#### **2.4.8 Konopná vlákna**

Konopná vlákna se získávají ze stonků jednoleté rostliny konopí seté (*Cannabis sativa*), která je součástí rodiny konopí. Původ rostliny je ze střední Asie a do Evropy se rozšířilo v období středověku. Konopí seté se pěstuje ze semen v oblastech s mírným klimatem a ideálně v písčité hlíně. Nepěstuje se pouze pro vlákno, ale například i pro olejnatá



semena. Tento druh konopí obsahuje velmi nízké množství THC (omamná látka marihuany), a tak ji nelze využít jako drogu. Ročně se vyprodukuje  $214 \times 10^3$  tun konopných vláken, což je pouze 0,5 % z celkové produkce přírodních vláken. Pokud chceme získat z této rostliny vlákna, tak se seje hustě a rostlina dorůstá do výšek od 2 do 3 metrů a příliš se nevětví. Pro získání olejnatých semen z rostliny se seje ve větších rozestupech. Výsledná výška je menší, ale zato více větvená než u konopí pro vlákno. Ke sklizni u rostlin pěstovaných pro vlákno dochází v moment, když se začne sypat pyl samčích rostlin. K získání vlákna je zapotřebí provést máčení, sušení a následné drcení. Tím oddělíme vlákno od zbytku dřevité části. Jednotlivé části vlákna jsou popsány na obrázku 11 [26,36].



Obrázek 11 Rostlina konopí a pohled na vlákna uvnitř [37].

Získaná vlákna mají vysokou pevnost a odolnost, proto se například používají pro výrobu provazů či šňůr. Některá konopná vlákna se speciálně zpracovávají, upravují a následně se z nich tvoří textilní látka, která je podobná látkám z lnu. S konopnými vlákny se můžeme setkat i v podobě kompozitu například ve stavebním průmyslu, kde jsou využívána k izolaci budov, nebo jako konopný beton. Jak již bylo zmíněno rostlina produkuje i semena, která lze využít v potravinovém průmyslu. Například konopné mléko, semínka do salátů nebo jedlý olej [26,36].

### 3 Živočišná vlákna

Živočišná vlákna se získávají ze zvířecí srsti, chlupů nebo sekretu. Skládají se z různých druhů bílkovin jako je kolagen, keratin, sericin nebo fibroin. Například keratin se nachází ve vlasech, nehtech u mnoha zvířat. Nebo fibroin, což je nerozpustný protein, který produkuje hmyz, a nachází se v hedvábí. Oproti vláknům získaných z rostlin mají menší

pevnost, nižší dostupnost, neprobíhá u nich proces sklizně a jsou dražší. V kompozitech jsou druhým nejvyužívanějším zdrojem přírodních vláken. Často se s nimi setkáme v textilním průmyslu především pro jejich tepelné a mechanické vlastnosti [26,38].

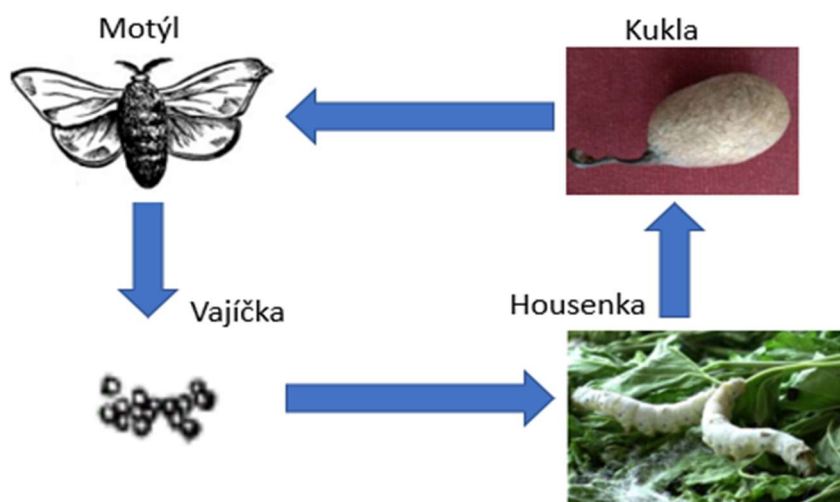
### 3.1 Hedvábí

Hedvábí je jedním z nejstarších nám známých vláken. Díky svým vlastnostem a struktuře má mimořádný potenciál. Především v houževnatosti je na vysoké úrovni, a tak s přehledem konkuruje nejen vláknům přírodním, ale i těm syntetickým. Na světě existuje tisíce druhů hmyzu, kteří si pomocí hedvábných vláken dělají úkryty, slouží jako ochrana nebo ho využívají k odchyту kořisti či k reprodukci. Některé druhy nejsou podrobně prozkoumány, a tak se komerčně nevyužívají. Například většina druhů motýlů, respektive jejich larvy produkuje během metamorfózy hedvábí. Další hmyz, který produkuje hedvábí jsou pavouci, štíři, roztoči či blechy. Nejznámější a komerčně využívaná vlákna se získávají z bource morušového (*bombyx mori*) a v menší míře i hedvábí pavoučí z rodu *nephila*. Složení hedvábného vlákna je ze 72-81% fibroin, 19-28% sericin, 0,8-1% tuk a vosk, 1-1,4 % barviva a popel. Předností hedvábí je pevnost v tahu, vysoká tažnost a odolnost proti chemikáliím. Například hedvábí získané z pavouků je nejpevnějším v přírodě se vyskytujícím vláknem. V porovnání s kevlarom se předpokládá, že je 3x pevnější nebo dokonce 5x tužší než ocel. Existují i druhy pavoučích vláken, které jsou extrémně elastické a dokážou se roztáhnout až na pětinasobek své původní délky bez toho, aniž by došlo k poškození vlákna. [4, 26, 38,39]

#### 3.1.1 Morušové hedvábí (*Bombyx mori*)

Morušové hedvábí známé také jako kultivované či bombyxové hedvábí vylučují larvy bource morušového. Bourec morušový je druh nočního motýla, který se živí převážně listy rostliny moruše. Je z čeledi bombycidae a v zámotku vytvořeném z morušového hedvábí se ukrývá a chrání při kuklení. Životní cyklus bource morušového je vidět na obrázku 12. Motýl po vylíhnutí z kokonu klade vajíčka a po 3 dnech zemře. Z vajíčka se rodí housenka, která je 6,5 mm velká a v dospělosti dorůstá délky 7-8 cm a váží 5-8 g. Poté co dospěje, tak přestává jíst a začne tvořit kokon do kterého se zakuklí. Housenka tvoří kokon ze sprádacích žláz a trvá jí to přibližně 3 dny. Zakuklená housenka spí v kokonu 15-20 dní.

Kokony se sbírají a následně se housenky usmrtí v páře. V jednom kokonu se nachází 3 až 4 km vlákna [39,40].



Obrázek 12 Životní cyklus bource morušového [39,40]

Bourec morušový se chová více než 2000 let, a tak během této doby došlo k různým mutacím a vzniku ras. Rasy jsou rozděleny podle místa původu. Například indické, čínské, japonské nebo evropské rasy. Největšími producenty morušového hedvábí jsou Čína a Indie. Dohromady pokryjí kolem 95 % světové produkce morušového hedvábí. Hedvábí se často využívá k výrobě halenek, košil, společenských šatů nebo také jako lyžařské oblečení. Dlouhá léta se využívá v biomedicínských aplikacích zejména ve tkáňovém inženýrství, jako šicí materiál při operacích [39,40].

### 3.1.2 Pavoučí hedvábí (Nephila)

S pavouky nephila se můžeme setkat v tropických oblastech (Florida, Afrika). Během svého života používají, vytváří více druhů hedvábí. Druhy pavouků Nephila jsou na obrázku 13. Vlevo je Nephila clavipes a vpravo Nephila senegalensis. Každý typ hedvábí je přizpůsoben svému účelu. Například pokud pavouk spadne ze sítě, tak použije hedvábí tzv. vlečné šňůry. Tento druh hedvábí je nejširší a nejtvrdší ze všech druhů co pavouk vyrábí. Skládá se ze dvou typů proteinu, a to spidroinu a spidroinu II. Přednostmi vlečného lana je roztažnosti a pevnost v tahu. V porovnání s pevnostní ocelí má hedvábné vlákno vlečné šňůry některé vlastnosti srovnatelné. Například hedvábné vlákno má pevnost v tahu 1,1 GPa a ocel 1,5 GPa. Co se týče roztažnosti, tak ocel má roztažnost pouze 0,8 % zatímco hedvábné

vlákno vlečné šňůry má roztažnost kolem 30 %. Hedvábí má mnohem nižší hustotu, a tak se díky těmto vlastnostem stává jedinečným vláknem [4,26,39].



Obrázek 13 Pavouci *Nephila* [4].

Důležité je ještě zdůraznit, že v porovnání s morušovým hedvábím má taktéž lepší vlastnosti jak v pevnosti, tak i roztažnosti. Některé vlastnosti živočišných vláken jsou vidět v tabulce 3. Bohužel se tento druh hedvábí velmi těžko získává pro komerční využití. Především kvůli tomu, že pavouci jsou masožravci a kanibalové, a tak je náročné je ve velkém množství chovat. Kvůli těmto zjevným problémům při získání vlákna se stává i velmi drahým, a to je jeden z důvodů proč se nevyužívá v textilním průmyslu. V dnešní době je nejvíce spojován s biomedicínským průmyslem konkrétně v tkáňovém inženýrství [4,26,39]

Tabulka 3 Vlastnosti živočišných vláken [26].

Vlákno	Pevnost v tahu [GPa]	Roztažnost [%]
Morušové hedvábí	0,6	18
Pavoučí hedvábí	1,1	30

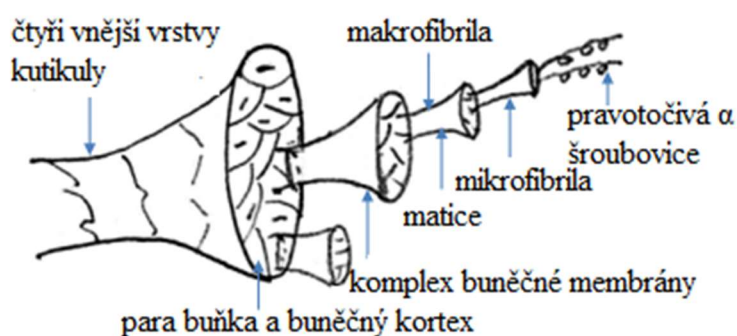
### 3.2 Vlna

Vlna je přírodní proteinový materiál s jedinečnými vlastnostmi, a proto se někdy o vlně říká, že je to tzv. boží dar. Největším světovým producentem vlny je Austrálie a pokryje 1/3 světové produkce. Další země, které exportují vlnu do světa je Nový Zéland, Argentina, Uruguay nebo Velká Británie. Velkým výrobcem vlny je i Čína, ta ovšem má velkou spotřebu, a tak musí ještě velké množství vlny dovážet. Podobně jako bavlna je i vlna jedním z nejoblíbenějších přírodních materiálů. Získává se z různých druhů zvířecích kožesin. Nejznámější je vlna z ovcí, ale i z jiných zvířat můžeme vlnu získat například z koz, králíků

velbloudů, nebo alpaky. Vlna má různé kategorie, distribuci i kvalitu. Lze ji klasifikovat do různých skupin podle struktury, typu srsti, jemnosti, jakým způsobem se češe, sezónní stříh vlny, původu nebo jaký má tvar. Tato klasifikace ukazuje, že i její vlastnosti a chemické složení jsou rozdílné [4,26,42].

### 3.2.1 Struktura vlněného vlákna

Vlna je typem nerozpustného proteinu neboli  $\alpha$  – keratinu a ten obsahuje uhlík (49-52 %), kyslík (17,8-23,7 %), dusík (14,4-21,3 %), vodík (6-8,8 %), síru (2,2-5,4 %) a taky popel (0,16-1,01 %). Vlnové vlákno je celek těchto chemických prvků složený z mnoho vrstev, které lze obecně shrnout do 3 a to medula, kortex a kutikula. Celá struktura vlákna vlny je zobrazena na obrázku 14. Vnější strana (kutikula) je tvořena šupinatým válcem, což je velmi tenká vrstva a hlavní funkce této vrstvy je ochrana vlny před vnějšími podmínkami. Pod tímto povrchem je kortexová vrstva, což je hlavní složka vlákna vlny (95 % hmotnosti celého vlákna). Skládá se ze dvou buněk (ortokortex, částečný kortex) a určuje vlně její vlastnosti jak chemické, tak i fyzikální. Poslední vrstvou je dřev (medula), která se nachází u méně kvalitních vlněných vláken. Jde o tkáň, která obsahuje vzduch a buňky v této vrstvě jsou tmavě zbarvené a jsou špatně spojeny. Ovlivňuje pružnost, či pevnost vlákna a platí, že čím víc je vlákno hrubé, tak tím větší má podíl dřevě a tím pádem má nižší kvalitu [4,26,42].



Obrázek 14 Struktura vlněných vláken [4].

### 3.2.2 Zpracování vlny

Jak již bylo zmíněno, vlna se získává z různých druhů zvířat (ovcí, koz, velbloudů, jaků nebo alpaky). Srst, která pokrývá tělo zvířat, je odstraněna pečlivým postupem a

následně zpracována podle typu využití. Na obrázku 15 vidíme dva druhy vlny a jak vypadá před a po čištění. Celý proces extrakce vlny je popsán v následujícím odstavci.

Primární zpracování vlny je proces, který zahrnuje stříhání, třídění a balení, mytí, karbonizaci a finální balení. Stříhání vlny se většinou provádí v jarním a podzimním období. Například z ovce lze získat jemnou vlnu obvykle jednou za rok a hrubou dvakrát. Vlna je po ostříhání spojená, a tak je potřeba ji roztrždit, rozdělit podle kvality vlny. Tento proces se provádí ručně. Dále se už roztržденá vlákna čistí, perou, a tak se odstraní nečistoty. Praní se provádí v nádobách s vodou a mýdlem pomocí automatických strojů. Poté se vlna pod tlakem zbavuje vody. Následuje proces karbonizace, při kterém se odstraňují rostlinné nečistoty chemickou metodou. Vlákna, která obsahují nečistoty se namáčejí do roztoku kyseliny sírové, a pak se vlákna vysouší a lisují. Nečistoty, které karbonizovaly jsou křehké, a tak se oddělují od čisté vlny. Po této části se čistá vlna finálně balí a exportuje. Dále se zpracovává podle typu využití [4,42].



Obrázek 15 (a) ovce před stříháním, (b) jemné stříhání, (c) hogget vlna, (d) surová vlna, (e) čistá vlna [42].

Vlněná vlákna se využívají především v textilním průmyslu jako různé oblečení či dekorace i kvůli tomu, že vlnu lze obarvit víceméně jakoukoliv barvou. Vlna se dále používá k zadržování železa či olova z napájecích vod v potravinářském nebo jaderném průmyslu, a tak se stává součástí různých vodních filtrů. Dále má vlna schopnost zadržovat škodlivé plyny, a tak své uplatnění nalézá i ve stavebnictví u různých stavebních výrobků jako například stavební bloky, izolace atd. [4]

## 4 Vlastnosti vláken

Vlastnosti vláken jsou rozděleny na geometrické, mechanické, termické a termomechanické, fyzikální či elektrické. Tyto vlastnosti dále vyhodnocujeme a rozhodujeme se v jakých oblastech lze dané vlákno či vlákna využít, a tak nejlépe zhodnotit jejich potenciál. Vlastnosti vláken jsou závislé na velikosti, tvaru, orientaci či tloušťce buněčných stěn. Všechna přírodní vlákna mají některé vlastnosti společné, a to je například nízká spotřeba energie, nízká hustota, obnovitelnost, nízká cena, biologická rozložitelnost a snadná dostupnost. V porovnání se syntetickými vlákny se při zpracování nelámou. Víceméně jsou všechna rostlinná vlákna kategorizována jako vlákna, která jsou šetrná k životnímu prostředí. Kromě vláken, která se pěstují v mírném pásmu za používání agrochemikálií ve velkém množství (například len). Vlákna živočišná disponují nízkou tuhostí vyváženou jejich pružným zotavením a dobrou tažností. Oproti rostlinným vláknům jsou méně hydrofilní, trvanlivé, hůře vedou teplo a jsou citlivější na určité alkálie [43].

### 4.1 Geometrické vlastnosti

#### 4.1.1 Délka vláken

Jak jsou vlákna dlouhá následně rozhoduje o jejich zpracovatelnosti a využití. Délku vlákna můžeme změřit různými metodami například pomocí pinzety nebo almetru. U vláken, které využíváme v kompozitních strukturách se určuje kritická délka. Kritická délka ( $L_c$ ) se pro kruhová vlákna spočítá pomocí vzorce (1.0) a říká, že síla potřebná k přetrhu vlákna se rovná síle, při které nedochází k vytažení vlákna z matrice. Pokud jsou vlákna delší, než  $L_c$  dojde k přetrhnutí a tím pádem je pevnost ideálně využita. Vlákna kratší v příze prokluzují, a tak nepřenášejí napětí tento fakt vede k nižší pevnosti příze. Nejkratší délku vlákna má bavlna, naopak vlákna konopná, sisalová nebo z juty vykazují nejdelší délku vlákna [4,40].

$$L_c = \frac{r \cdot \sigma_v}{2 \cdot \tau} \quad [\text{mm}] \quad (1.0)$$

#### 4.1.2 Jemnost vláken

Jakou mají vlákna tloušťku neboli jemnost zásadně ovlivňuje charakteristiku přírodních vláken a určuje jak a k čemu se budou určitá vlákna využívat. Jemnost (měrná

lineární hmotnost) se označuje značkou T a jednotkou je [tex] což je gram na 1 km [g.km<sup>-1</sup>] [4,40]. Vzorec (1.1) pro výpočet jemnosti je:

$$T = \frac{m}{l} = \frac{S \cdot l \cdot \rho}{l} = S \cdot \rho \quad [\text{tex}] \quad (1.1)$$

- T (jemnost) [tex]
- m (hmotnost) [g]
- l (délka vlákna) [km]
- ρ (měrná hmotnost vlákna)
- S (plocha příčného řezu vlákna)

Ze vzorce tedy vyplývá, že vlákna se stejnou jemností nemusí mít stejný průměr. Pokud mají vlákna nižší měrnou hustotu, tak je průměr vláken větší než v případě vláken s vyšší měrnou hmotností, kde je průměr vláken menší [40].

Jsou různé typy jemností v rozsahu od ultra jemných, které jsou měřeny v nanometrech až po ultra hrubé a ty se pohybují v milimetrovém měřítku. Ultra jemná vlákna jsou například mikro celulósová vlákna. Další vlákennou frakcí v pořadí jsou mikro jemná vlákna, součástí této skupiny je pavoučí hedvábí naopak na druhé straně strašně žebříčku jemnosti vláken jsou prasečí štětiny nebo koňská hříva a ty jsou součástí skupiny ultra hrubých vláken [4].

#### 4.1.3 Tvar příčného řezu vláken

Jakým tvarem vlákna disponují ovlivní absorpční vlastnosti, lesk, tuhost nebo tepelně izolační vlastnosti. Vlákna, která mají komplikovanější tvar, jsou dutá a mají větší jemnost, tak se jeví světlejší a matnější. K určení tvaru řezu se také počítá s kruhovostí vzorec (1.2). Kde S<sub>v</sub> je poměr ploch příčného řezu a S<sub>e</sub> je příčný řez stejného kruhového vlákna majícího totožný obvod [4,40].

$$C = \frac{S_v}{S_e} = \frac{S_v \cdot 4 \cdot \pi}{O_v^2} = \frac{1}{(q+1)^2} \quad [-] \quad (1.2)$$



Kruhovost  $c$  se pro čtvercová a obdélníková vlákna spočítají ze vzorce (1.3) a (1.4). Kde u obdélníkových vláken se počítá s délkami stran  $a$  resp.  $b=k*a$ . Takže pro obdélník, který má stranu  $b=2*a$  vyjde  $c=0,698$  [40,41].

$$c = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad [-] \quad (1.3)$$

$$c = \frac{k*\pi}{(1+k)^2} = 0,698 \quad [-] \quad (1.4)$$

Symbolem  $(q)$  znamená rozvinutost, kde na obrázku 16 jsou zobrazeny běžné tvary s odpovídajícím faktorem  $q$  [40,41].



Obrázek 16 Faktory rozvinutosti běžných tvarů [40].

Rozvinutost ( $q$ ) a kruhovost ( $c$ ) jsou pouze faktory úměrnosti a necharakterizují tvarové zvláštnosti, a tak lze bez problému nalézt dva odlišné tvary s totožnými faktory ( $q$ ) a ( $c$ ). Naopak pro stejný tvar příčného řezu při samo-příbuzné transformaci se ve výsledku projeví různé tvarové faktory [40,41].

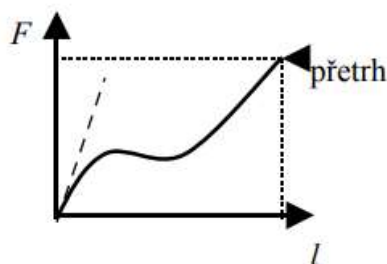
## 4.2 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti vlastnosti jsou velmi důležité k objektivnímu posouzení kvality vláken. Kvalitu vláken je potřeba znát především pro technické účely například v kompozitech se vyžaduje vyšší odolnost vůči tahovým deformacím. Jakými mechanickými vlastnostmi přírodní vlákna disponují závisí i na chemickém složení daných vláken. Nejčastěji se provádí měření na vnější síly, a to buď na jednoosé namáhání (tah, tlak) anebo víceosé namáhání (krut, ohyb). Rozlišujeme mnoho různých namáhání, které si modelujeme a následně z nich získáváme informace. Ze zkoušek vláken pak vyhodnocujeme kvalitu, která je důležitá při výrobě technických výrobků či určení ceny za daný materiál. V tabulce 4 lze vidět některé vlastnosti vybraných přírodních vláken [4,40].

### 4.2.1 Tahové vlastnosti

Tahová zkouška je jednou ze základních hojně využívaných mechanických zkoušek. Během této zkoušky je na zkušební materiál vyvinuta tahová síla a sleduje se, jak se zkušební materiál prodlužuje a v jaké situaci dojde k porušení. Výsledkem této zkoušky je pracovní

diagram, který je zobrazen na obrázku 17. Na diagramu je vidět, že vlákno původní délky  $l_0$  a plochy  $S_0$  na které působí síla  $F$  se s zvyšující se silou mění na délku  $l$  a plochu  $S$ . Místo absolutní síly  $F$  [N] se používá označení relativní síly  $F_r$  neboli  $\sigma$ . Relativní síla se vypočítá podle vzorce (1.5) a napětí ze vzorce (1.6). Z tahové zkoušky získáme důležité informace o procentuálním prodloužení, mezní pevnosti v tahu, yongův modul a mezi kluzu. [40,44]



Obrázek 17 Pracovní diagram [40].

Výpočet relativní síly:

$$F_r = \frac{F}{T} = \frac{F}{S \cdot \sigma} \quad [\text{N/tex}] \quad (1.5)$$

Napětí se vypočítá jako síla na jednotku plochy příčného řezu.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad [\text{N/m}^2] = [\text{Pa}] \quad (1.6)$$

Větší napětí při stejné relativní síle se nachází u vláken s vyšší hustotou. Naopak při rovnocenném napětí vyjde pro vlákna s vyšší hustotou menší relativní síla. V technické praxi je tedy potřeba posuzovat hodnoty o pevnosti s ohledem na jejich hustotu. Dále se určuje prodloužení vlákna neboli dloužící poměr (vzorec 1.7). Běžně se však používá deformace (vzorec 1.8). [40]

$$\lambda = \frac{l}{l_0} \quad [\text{mm}] \quad (1.7)$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad [-] \quad (1.8)$$

Někdy se můžeme setkat i s označením pravá deformace  $\varepsilon^* = \ln(l/l_0)$ , ta vychází z diferenciálního zápisu deformace. Jak již bylo zmíněno v první odstavci o mechanických vlastnostech, vlastnosti mechanické jsou ovlivněny mnoha faktory. Je vždy důležité

posuzovat i v jakých podmínkách se dané vlákno zkouší, jakou vlhkost dané vlákno má a v neposlední řadě jakou metodou se zkouška provádí. Dále se u vláken zjišťují vlastnosti např. v ohybu, rázové, tlakové, tvrdosti či odolnosti proti nárazu [40].

*Tabulka 4 Mechanické a fyzikální vlastnosti přírodních vláken [3].*

Vlákno	Pevnost v tahu (MPa)	Youngův modul (GPa)	Prodloužení po přetržení (%)	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
Len	345-1035	27.6	2.7-3.2	1.5
Konopí	690	70	1.6	1.48
Juta	393-773	26.5	1.5-1.8	1.3
Kenaf	930	53	1.6	-
Ramie	560	24.5	2.5	1.5
Bambus	140-230	11-17	-	0.6-1.1
Abaca	400	12	3-10	1.5
Ananas	400-627	1.44	14.5	0.8-1.6
Sisal	511-635	9.4-22	2.0-2.5	1.5
Kokosové vlákno	175	4-6	30	1.2
Palmový olej	248	3.2	25	0.7-1.55

## 5 Využití vláken

Přírodní vlákna a jejich využití v průmyslu není žádnou novinkou. Jednou z prvních aplikací přírodních vláken bylo zaznamenáno v Číně 10 000 let před naším letopočtem, kde se konopná vlákna využívala jako plnivo do keramických cihel. Před příchodem umělých vláken, který lze datovat do roku 1907, byla přírodní vlákna jedinou možností pro kompozitní materiály vyztužené vlákny. Poté, co se objevila vlákna umělá, především skleněná, se přírodní vlákna začala využívat méně. V posledních letech se i s ohledem na větší ekonomický, a především ekologický vývoj zvýšil zájem o přírodní vlákna, a tak začaly více konkurovat vláknům syntetickým. Jednak kvůli zmíněným faktorům, ale především i kvůli jejich výhodným vlastnostem, kterými jsou nízká hustota, biologická odbouratelnost nebo vysoká měrná pevnost. Více o vlastnostech viz kapitola 4. V dnešní době se přírodní vlákna využívají v lékařském, farmaceutickém, potravinářském, leteckém, automobilovém, stavebním průmyslu nebo i v rámci výroby rámců jízdních kol. [4,44,45].

### 5.1 Automobilový průmysl

Jedna z prvních výzkumných prací, jak využít přírodní vlákna v kompozitech byla pro potřebu nového materiálu v leteckém průmyslu. Nicméně větší zájem o kompozity

vyztuženými přírodními vlákny se uchytil v průmyslu automobilovém, kde je v současnosti jedním z významných spotřebitelů těchto kompozitů. Již v roce 1941 Henry Ford testoval panely karoserie z tzv. zelených kompozitů. Dalším příkladem je trabant, který byl v roce 1958 uveden do prodeje společností VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau. Například dveře od trabantu byla vyztužena bavlněnými vlákny. Dnes se s využitím přírodních vláken setkáváme u mnoho automobilových společností. Aplikace přírodních materiálů v automobilovém sektoru se dají rozdělit na tři oblasti a to karosérie, součásti podvozku a motoru. Přičemž jako součásti motoru se kompozity vyztužené přírodními vlákny prokázaly nevhodně, a to především kvůli neschopnosti zvládnout únavové zatížení při extrémně vysokých teplotách. Další součástí je karosérie, která vyžaduje vysoký stupeň tuhosti, odolnost proti promáčknutí a také estetické úpravy. Na obrázku 18 jsou vidět některé součásti automobilu Mercedes-Benz třídy E (dveřní panely, panel kufru, sedák, schránka na rukavice) v kterých se objevují přírodní vlákna. Co se týká součástí podvozku, tak zde byla přírodní vlákna poprvé využita v rámci kompozitu v zadní listové pružině Corvette v roce 1981. Součásti jako palubní deska, kapota motoru nebo skladovací nádrže jsou vyrobeny ze zpevněných přírodních vláken, kterými jsou len, bavlna, juta, sisal, kokos nebo ramie. Více o využití jednotlivých vláken je v tabulce 5 [4, 46].



*Obrázek 18 Komponenty automobilu Mercedes-Benz třídy E [46].*

Důležitou součástí interiéru v automobilu jsou dveřní panely, které musí být odolné proti nárazové síle a také mít dobrou funkčnost. Vyrábí se z polypropylenu s výztužným přírodním materiálem například s konopným vláknem, jak je možné vidět na obrázku 19.

Další přírodní materiály, které se používají k výrobě dveřních panelů jsou vlákna kokosová, kenafová, jutová či lenová [47].



Obrázek 19 Dveřní panel z konopného vlákna [48]

S bio kompozity se například můžeme setkat ve vozech BMW řady 3,5 a 7, kde jsou součástí palubní desky, opěradel, dveřních prostor, obložení stropu atd. V modelech Audi A2,3,4 jsou přírodní vlákna využita v kompozitech v rámci obložení náhradní pneumatiky či jako vložka v zavazadlovém prostoru. Dále i společnost Mercedes Benz, jak je vidět na obrázku 18 využívá přírodní vlákna ve svých vozech, a to ve dveřních panelech, držák přístrojové desky, izolace anebo jako panel kufru. U nákladních automobilů společnosti Mercedes Benz se aplikace kompozitu z přírodních vláken nachází i jako izolace motoru, sluneční clona, jako nárazník či vnitřní kryt motoru. Volvo V70, C70 má polstrování sedadel z přírodních kompozitu. Dále Citroen C5, Fiat Punto, Mitsubishi, Renault, Toyota a mnoho dalších velkých automobilových společností již začalo nebo začíná zařazovat a aplikovat do svých komponentů kompozity z přírodních vláken. V tabulce 5 je přehled některých přírodních vláken a jejich využití v automobilových součástech. V dnešní době probíhá mnoho výzkumů, jak využívat kompozity z přírodních vláken v automobilovém průmyslu. Například bylo zjištěno, že kompozit bambusového vlákna se sisalem na bázi polyesteru lze dobře využít pro lehké součásti, třeba jako panely interiéru v automobilu, kde je chytěna menší mechanická pevnost. Pro palubní desky, střechy, kliky a dveřní panely jsou vhodné kompozity na bázi polyesteru z jutových, sisalových vláken. Přenos hluku nebo vibrací lze výrazně snížit za pomoci bavlněných vláken. Dalším kompozitem, který zlepšuje mechanické a akustické vlastnosti jsou vlákna sisalu s palmovými vlákny. Nebo kompozit na

základě polypropylenu vyztužený konopným a skleněným vláknem má vynikající mechanické, fyzikální a tepelné vlastnosti, které lze ideálně využít pro vnitřní části automobilů [46,49].

*Tabulka 5 Aplikace přírodních vláken v automobilových součástech [49]*

<b>Přírodní Vlákn</b>	<b>Aplikace v automobilových součástech</b>
Konopí	Loketní opěrky, dveřní panely, palubní deska, zadní panely sedadel
Juta	Střešní panel, panel dveří, loketní opěrka, palubní deska
Kenaf	Dveřní panely, zadní stěna
Ramie	Izolace zvuková
ln	Opěradla sedadel, kryt dveřního prostoru
Abaca	Panel karosérie, panel podlahy
Vlna	Potahy zadních sedadel
Sisal	Dveřní výplň, střešní plechy, interiérové panely
Kokosové vlákno	Reproduktor v zavazadlovém prostoru
Palmový olej	Palubovka, střešní panel

V automobilovém průmyslu kompozity na bázi přírodních vláken mohou snížit náklady o 20 % a hmotnost o 30 % u některých automobilových dílů. Což vede k nižší spotřebě pohonných hmot, emisí skleníkových plynů nebo jednodušší recyklaci [48].

## 5.2 Stavební průmysl

Přírodní vlákna se již etablovala i ve stavebním průmyslu, a to především pro jejich nižší cenu, šetrnost k životnímu prostředí a také napomáhají s rozvojem dostupného bydlení. Aplikaci přírodních vláken v kompozitech ve stavebnictví můžeme nalézt v několika oblastech. Například stlačený zemní blok, v cementových materiálech, zdivu, nábytek, izolační materiály atd. [50].

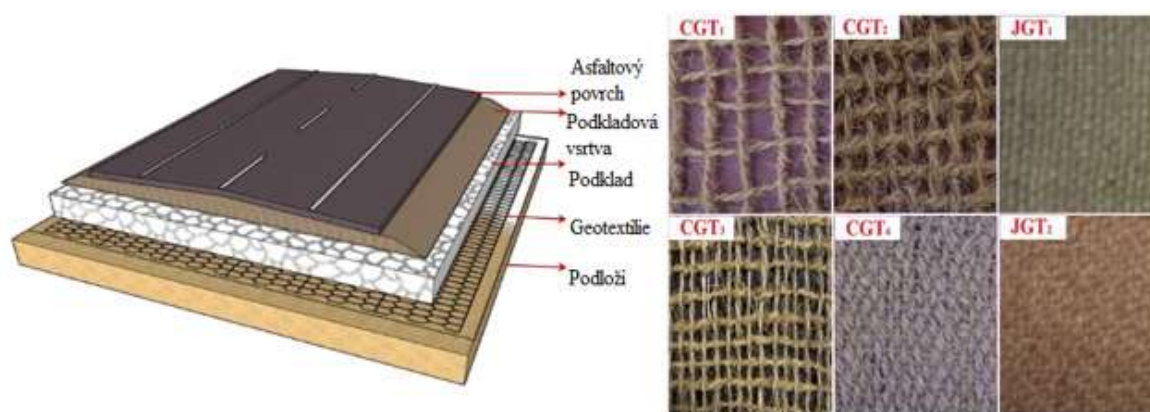
Krásnou ukázkou využití bio kompozitu je v rámci konstrukce houpacího cyklistického mostu (Ritsumasy) v Nizozemsku, který je zobrazen na obrázku 20. Most byl postaven z epoxidu vyztuženého lnem. Samozřejmě se v mostu nachází i ocelové části jako závěsy, ozubená kola, I nosníky dlouhé 1,2 m, kovové vložky či šrouby. Lněná vlákna se vybrala především pro jejich dlouhá, rovná a dobře orientovaná vlákna. Vzhledem k menší tuhosti lněných vláken musela být konstrukce mostu tlustší. Výhodou takové konstrukce z bio kompozitu je v nižší hmotnosti v porovnání s ocelí či betonem, a tak se mohou relativně

velké konstrukce přesouvat a následně umisťovat na určená místa v jednom kuse. Tento most je první svého druhu, a tak je hmatatelnou ukázkou, že bio kompozity mohou konkurovat a být použity místo betonu, dřeva či oceli. [51,52].



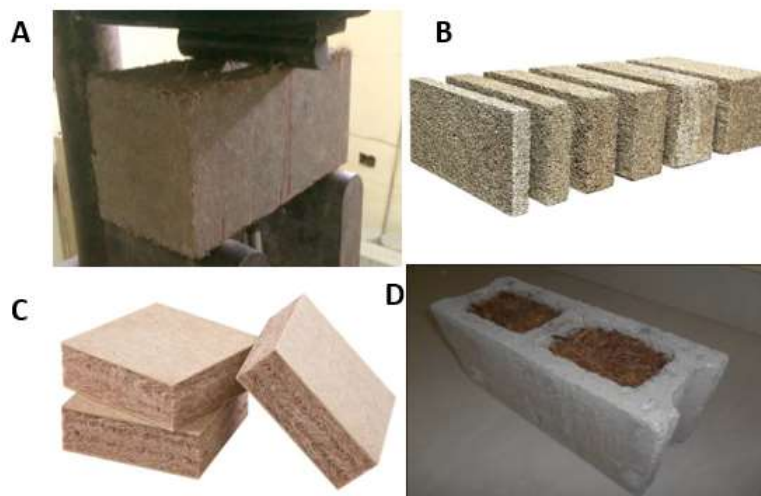
Obrázek 20 Biokompozitní cyklistický most „Ritsumasyl“ [52]

Další oblastí a názorným příkladem využití přírodních vláken či kompozitu vyztuženými přírodními vlákny je v dopravní infrastruktuře. Konkrétně se jedná o geotextílie, které se využívají v ekonomicky slabších oblastech při stavbě maloobjemových venkovských silnic. Na obrázku 21 vlevo je vidět vyztužení vozovky geotextílií. Tyto kompozity vyztužené přírodními vlákny jsou další alternativou k syntetickým geotextiliím. Indie, kde přibližně 70 % tvoří maloobjemové silnice nebo Bangladéš, kde byly využity geotextílie z juty, využívají tyto kompozity vyztužené přírodními vlákny. Jednou z předností přírodní geotextílie je, že na počátku má velkou pevnost v tahu, a tak podloží vydrží minimální namáhání po dobu výstavby a následně i po dobu provozu silnice. Dále zabraňuje separaci neboli pronikání kameniva z podloží do podloží a zabraňuje vstupu drobných částic z podloží do podloží. Pro tyto účely se používají přírodní geotextílií z juty a kokosu. Typy kokosové (CGT) a jutové (JGT) geotextílií jsou vidět na obrázku 21 vlevo. Přičemž se dají aplikovat i v dalších oblastech například jako filtrace, konstrukce zemních říčních nábřeží, dále jako ochrana proti korozi nebo pro účely drenážní [51, 53].



Obrázek 21 Umístění geotextílie ve vozovce a typy kokosové (CGT) a jutové (JGT) geotextílie [53]

Při výstavbě budov se produkuje velké množství emisí, a to jak při samotné výstavbě, tak i ve fázi provozu budovy. Pro snížení celkových emisí CO<sub>2</sub> je zapotřebí zapojení celého stavebního sektoru, a to jak ve fázi výstavby, tak i údržby či demolice. V rámci výroby materiálů je proto zajímavé řešení využití přírodních vláken. Dalším faktorem, proč se hledají nové možnosti ve stavebním sektoru, je kvůli velké poptávce po levných materiálech, a tak se zde nachází další využití přírodních vláken ve stavebních konstrukcích. Například se ukázalo, že lněná nebo konopná vlákna jsou vhodná pro využití jako výztuž v kompozitních materiálech, a to jak z hlediska mechanických vlastností, tak i kvůli jejich komercializaci velkými mezinárodními společnostmi. Uplatnění nachází při stavbě hliněných domů, které neodolávají vysokým zatížením, a tak se v nich tvoří trhliny. Vedle standartních stabilizátorů, které zlepšují pevnost domů můžeme použít i přírodní vlákna. Nejen vlákna konopná, lněná, sisalová či kokosová se dají využít v rámci výztuže, ale zkoumala se i vlákna banánová. Blok vyztužený banánovými vlákny je vidět na obrázku 22. Prokázalo se, že bloky s banánovými vlákny jsou další možností, jak zpevnit hliněné tvárnice, a tak jim dodat potřebnou houževnatost pro stavbu obydlí [54,55,56].



Obrázek 22 A) Blok vyztužený banánovými vlákny, b) Prefabrikované konopné bloky, c) Desky z Jutových/kokosových vláken, d) Blok s kokosovou izolací [54,57,58,59]

Pomocí přírodních vláken se vyztužují i betonové bloky, a tak se nabízí další alternativa místo ocelových prutů. V mnoha případech se jedná o podpůrné prvky, a proto jsou nevhodné pro nosné aplikace. Každé vlákno má jiné vlastnosti, jak je možné vidět v tabulce 4 v kapitole mechanické vlastnosti. Proto je i jejich využití v betonu rozdílné. Obecně ale platí, že mají tendenci zlepšovat pevnosti v tahu, ohybu, smyku a odolnost proti nárazu. Například beton se sisalovými vlákny a beton vyztužený konopnými vlákny se doporučuje používat pro výstavbu chodníků. Na obrázku 22 je vidět tzv. konopný beton,



který se v praxi klade na stěny, střechy či podezdívky jako izolace. Kokosová vlákna se mohou využít při stavbě betonových vozovek nebo jako izolace v betonových blocích, jak je vidět na obr. 22. Biokompozit jutových vláken s kokosovými vlákny se využívají jako alternativa dřeva ve stavebnictví. Jak je možné vidět na obrázku 22. Vlákna sisalová, ramie či banánová, která jsou součástí epoxidového polymerbetonu, se doporučují pro silniční vozovky a mosty. Dalším příkladem využití přírodních vláken je v rámci stavby garáže v Německu, kde se bambusová vlákna použila jako fasáda. Nebo na madridském letišti je strop pokryt biokompozitem, bambusem. Na obrázku 23 jsou obě tyto stavby vidět. Přírodní vlákna ve stavebnictví stále teprve objevují svůj potenciál, a tak se experimentuje jak a v jakých částech staveb mohou nalézt své pevné uplatnění. [54,55, 56,60].

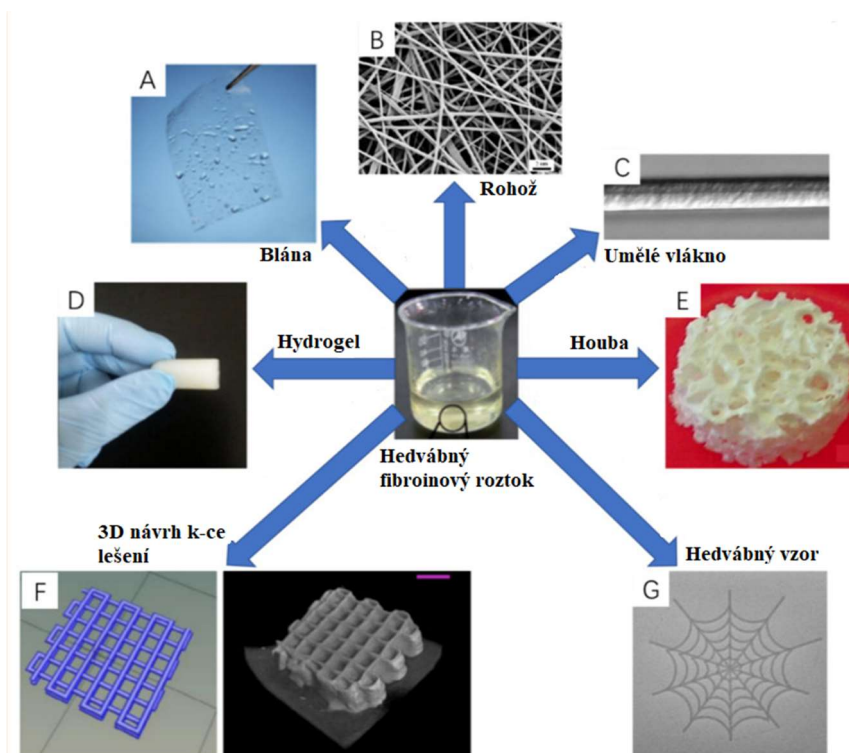


Obrázek 23 A) Garáž s bambusovou fasádou v Lipsku B) Bambusový strop na Mezinárodním letišti v Madridu [60]

### 5.3 Zdravotnictví

Další oblastí využití přírodním vláken je ve zdravotnictví. Vzhledem k většímu důrazu na ekologické povědomí se i v tomto odvětví zvýšil tlak na výrobu, vývoj kompozitních materiálů, které jsou lépe recyklovatelné a ekologicky udržitelné. Jeden z možných příkladů je hedvábné vlákno. Používá se v biomedicínských aplikacích především pro stehy, šití ran a taky se v poslední době začíná objevovat jako vhodný biomateriál pro klinické opravy a využití v tkáňovém inženýrství. Pro stehy je vlákno většinou potaženo vosky či silikonem, aby se zlepšily vlastnosti vlákna a zároveň se snížilo třepení. Co se týče tkáňového inženýrství tak se využívají hedvábné fibroiny z bource morušového. Předtím, než je možné zapracovat hedvábné fibroiny do různých tkáňových struktur, tak se musí správně rozpustit, a tak získat roztok hedvábného fibroinu. Vzhledem k tomu, že se roztoky dále používají pro biologické aplikace, tak se nesmí rozpouštět v silných a toxických rozpouštědlech a roztocích. Vhodná metoda je například rozpouštění 9,3 M bromidu lithného (LiBr). Po získání regenerovaného hedvábného fibroinu lze vyrábět

různé biomateriálové formáty jako jsou membrány (filmy), hydrogely, houby, 3D struktury a nanočástice. Na obrázku 22 jsou vidět scaffolds na bázi hedvábného fibroinu s rozdílnými strukturami. Například membrány (filmy) byly úspěšně použity v kožních tkáňových inženýrských aplikacích nebo houby byly aplikovány v kostech a chrupavkách především kvůli vynikající poréznosti a kontrole velikosti pórů [61, 62].



Obrázek 24 Scaffolds na bázi hedvábného fibroinu [62]

V rámci tkáňového inženýrství je hedvábní z bource morušového užitečné díky své pomalé degradaci in vitro a in vivo (ve zkumavkách a živém organismu) v biologicky odbouratelných lešeních pro postupné prorůstání tkání. Po delší době bude v živém organismu hedvábný fibroin pomalu absorbován. Jak rychle se v organismu hedvábný scaffold absorbuje by mělo odpovídat rychlosti tvorbě nové tkáně. Konkrétním případem je využití hedvábného vlákna jako lešení v tkáňovém inženýrství chrupavky, kde se tyto vlákna prokázala jako zvláště vhodná, a to především kvůli jejich vysoké poréznosti, pomalé degradaci a strukturální integritě. Dále se hedvábný nerozpustný protein (fibroin) využívá v konstrukci matricového lešení například při regeneraci tkání vazů a šlach, kostní tkáně, chrupavkové tkáně, tkání kůže a ran nebo při regeneraci tkáně bubínkové membrány. V zdravotním sektoru byly dále použity kompozitní materiály z bavlněných tkanin k vytvoření dlahy, odlitků a výztuh k následné fixaci kostí. V současnosti se stále mnoho klinických aplikací na kůži a rány neprovedlo, a tak je stále potřeba dalších výzkumů.

Hedvábí je celkově velmi zajímavý biomateriál, a tak se stále vedou výzkumy, kde se klade důraz na mikro vzorování a 3D biotisk pro výrobu víceúrovňových struktur hedvábných vláken. [61, 62].

## 5.4 Další využití přírodních vláken

Mezi další zajímavě využitá přírodní vlákna patří vlákna lněná. Použila se při stavbě velmi lehkého skládacího kola. Toto kolo postavila Britská firma Hummingbird bicycle. Kompozitní materiál z lněných vláken je podobně lehký jako předchozí model z karbonu. Výhodou oproti karbonovému rámu je, že se rám dokáže na konci životního cyklu snadno rozložit v přírodě [63].



Obrázek 25 Jedno rychlostní kolo s lněným rámem [63]

Další využití konopných vláken je v nábytkářském průmyslu. Jedním z možných příkladů je židle z nekonečných konopných vláken přítomných ve formě přízí, které procházejí pryskyřicovou koupelí. Příze je následně napnuta mezi hřebíky a ty se upevňují k dřevěné desce. V kotevních bodech byly prováděny tahové zkoušky a čekalo se, dokud kompozit zcela neztuhne. Takto byly navrženy dvě desky, které se poté k sobě ohnuly a vytvořily tak sedací plochu [64].



Obrázek 26 Konopná židle s detailem na spojení [64]

## 6 Produkce přírodních vláken

Zájem o přírodní vlákna každým rokem roste jednak počtem publikací a výzkumů, tak i vyšším objemem peněz. Po celém světě je do výroby zapojeno přibližně 50 milionů domácností. Nejvíce domácností, které se zapojují do výroby přírodních vláken, je v Číně. Do výroby bavlny se celosvětově zapojilo nejvíce domácností. Celkem to bylo 30 mil. domácností, to je nejvíce ze všech přírodních vláken, na druhé pozici je výroba hedvábí s počtem 8 mil. domácností. V roce 2021 byl trh s přírodními vlákny oceněn na 4460 mil. USD a předpokládá se, že se každým rokem bude zvyšovat. Odhad je takový, že v roce 2029 dosáhne trh s přírodními vlákny hodnoty 68447 mil. USD. V roce 2022 byla produkce vláken nižší o 1,3 mil. tun než v roce 2021, celkový odhad za rok 2022 je 31,6 milionů tun. To bylo zapříčiněno převážně špatným počasím. Velké sucho panovalo v Texasu, Bangladéši a Indii, záplavy byly například v Pakistánu. Nižší produkce a neúroda přírodních vláken byla vykompenzována na ceně za jeden kg. Průměrné ceny jednotlivých vláken za rok 2022 jsou vidět v tabulce 6. Nejdražším vláknem je vlákno hedvábné, naopak nejlevnějším vláknem je vlákno kokosové [65].

Tabulka 6 Průměrná cena přírodních vláken v roce 2022 [65]

Přírodní vlákno	Průměrná cena (USD/kg)	Přírodní vlákno	Průměrná cena (USD/kg)
Abaca	2,11	Juta	0,78
Kokosové vlákno	0,21	Konopí	0,78
Bavlněné vlákno	2,43	Kapok	4,86
Lenoví vlákno	0,78	Sisal	1,37
Kenaf	0,78	Vlna	8,96
Ramie	1,49	Hedvábí	62,46

Některé z hlavních přírodních zdrojů vláken a jejich celková produkce do roku 2022 je uvedena v tabulce 6. Jak si můžeme všimnout, tak Asie je největším producentem přírodních plodin a v porovnání s Evropou je napřed. Evropa, co se týče produkce, je téměř na samotném chvostu. V posledních letech se v EU zvýšil počet studií v oblasti výzkumu přírodních vláken a jejich využití. Světově měla dokonce druhou největší publikační produkci. Evropská unie stále zvyšuje zájem o přírodní materiály a celkově životní prostředí,

a tak podporuje využití přírodních vláken v automobilovém či leteckém průmyslu. Motivuje firmy finančně a zároveň přináší nové legislativní zákony [66].

Tabulka 7 Produkce rostlinných vláknitých plodin od roku 2010 do roku 2022 [66]

Přírodní vlákno	Produkce rostlinných plodin (x10 <sup>3</sup> tun)					
	Afrika	Severní Amerika	Jižní Amerika	Asie	Evropa	Oceánie
Abaca	3 (0,28%)	0	393 (34,24%)	751 (65,48%)	0	0
Kokosové vlákno	460 (0,87 %)	0	39 817 (75,17 %)	12 691 (23,96 %)	0	0
Bavlněné vlákno	15 978 (6,48 %)	36 904 (14,97 %)	19 724 (8,00 %)	163 414 (66,28 %)	3 475 (1,41 %)	7 061 (2,86 %)
Juta	92 (0,25 %)	0	10 (0,03 %)	36 035 (99,72 %)	0	0
Kenaf	183 (7,22 %)	0	181 (7,17 %)	1 623 (64,18 %)	542 (21,42 %)	0
Ramie	0	0	3 (0,30 %)	1 150 (99,70 %)	0	0
Konopí	0	0	47 (2,27 %)	747 (36,14 %)	1 273 (61,59 %)	0
Celkem	17 699 (5,02 %)	36 904 (10,47 %)	61 876 (17,55 %)	216 862 (61,51 %)	12 149 (3,45 %)	7 061 (2,00 %)

Poznámka: 1 Procentuální hodnoty v závorkách představují produkci každého kontinentu

## 7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s přírodními vlákny, poukázání na jejich kladné vlastnosti a využití těchto vláken v různých průmyslových odvětvích.

V první kapitole bylo probráno rozdělení přírodních vláken a jejich základní charakteristika. Kapitola druhá, třetí a čtvrtá jsou věnovány vláknům rostlinným, živočišným a jejich vlastnostem. Vlákna rostlinná jsou mezi přírodními vlákny nejvyužívanějšími, a tak u nich byla podrobně probrána jejich chemická složení, struktura a zpracování. Následně byly probrány jednotlivé typy rostlinných vláken například vlákna jutová, bavlněná či konopná. Ze živočišných vlákních byly prodiskutovány hlavně vlákna hedvábná a vlnová. Bylo rozebráno jejich složení, využití a zpracování. Důležitou část této práce tvořila kapitola o využití přírodních vlákních, kde bylo popsáno několik příkladů a oblastí, kde se jednotlivá přírodní vlákna využívají, či se zkouší jejich využití. V poslední kapitole bylo ukázáno zhodnocení vláken a růst cen do roku 2029, jaká byla výtěžnost vláken za poslední roky či cena jednotlivých vláken za rok 2022. Vzhledem k aktuálnímu růstu a zájmu o přírodní materiály se očekává i větší příliv prací na témata zabývající se jak o životní prostředí, tak i o přírodní vlákna a jejich využití v průmyslových odvětvích.

## Literatura

- [1] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. *Natural fibre*. Britannica.com [online]. [vid. 2020-5-22]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/topic/natural-fiber>
- [2] What is a natural fiber? barnhardtcotton.net [online]. [vid. 2019-3-21] Dostupné z: <https://barnhardtcotton.net/blog/what-is-a-natural-fiber/>
- [3] FARUK, Omar. BLEDZKI, K. Andrzej. FINK, Hans-Peter. SAIN, Mohini. *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. Progress in polymer Science* [online]. 2012, vol. 37, issue 11, s. 1552-1596 [cit. 2022-09-19]. DOI: /10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670012000391?via%3Dihub>
- [4] MÜSSIG, Jörg. *Industrial Applications of Natural Fibres*. John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-69508-1. Dostupné také z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=530046>
- [5] DLOUHÁ, B. *Azbest v pracovním prostředí*. [online]. Praha, 2006 [cit. 2022-09-19]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/azbest-v-pracovnim-prostredi>
- [6] NAMVAR, F. JAWAID, M. MD TAHIR, P. MOHAMAD, R. AZIZI, S. KHODAVANDI, A. RAHMAN, HS. NAYERI, MD. *Potential use of plant fibres and their composites for biomedical applications* [online]. 2014 [cit. 2023-1-7]. Dostupné z: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/potential-use-of-plant-fibres-and-their-composites-for-biomedical-applications/>
- [7] AKIL, H, M. OMAR, M. F. MAZUKI, A.A.M. SAFIEE, S. ISHAK, Z.A.M. BAKAR, A. Abu. *Kenaf fiber reinforced composites: A review* [online]. 2011, vol. 32, issue 8-9, s. 4107-4121 [cit. 2022-10-19]. DOI: /doi.org/10.1016/j.matdes.2011.04.008. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306911002639>
- [8] CHOKSHI, Sagar. PARMAR, Vidžaj. GOHIL, Piyush. CHAUDHARY, Vijaykumar. *Chemical Compositions and Mechanical Properties of Natural Fibers* [online]. 2022, vol. 19, issue 10, s. 3942–3953 [cit. 2022-11-20]. DOI: /doi.org/10.1080/15440478.2020.1848738. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/15440478.2020.1848738?scroll=top&needAccess=true&role=tab>
- [9] ZHANG, B. GAO, Yihong. ZHANG, L. ZHOU, Y. The plant cell wall: Biosynthesis, construction, and functions. *Journal of integrative Plant Biology* [online]. December 2020, vol. 63, issue 1, s. 251-272 [cit. 2023-1-3]. DOI: /doi.org/10.1111/jipb.13055. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jipb.13055>
- [10] REŇÁK, David. *Buněčná stěna doplňkový text k přednáškám z Anatomii rostlin* [online]. [cit. 2023-1-5]. Dostupné z: [https://botanika.prf.jcu.cz/stech/anatomie/bunecna\\_stena.pdf](https://botanika.prf.jcu.cz/stech/anatomie/bunecna_stena.pdf)
- [11] Cellulose. Alevelbiology.co.uk [online]. [cit. 2023-2-15] Dostupné z: <https://alevelbiology.co.uk/notes/cellulose/>

- [12] KOMURAI AH, A. KUMAR, N.S. PRASED, B.D. Chemical composition of Natural Fibers and its influence on their Mechanical Properties. *Mechanics of Composite Materials* [online]. July 2014, vol 50, issue 3, s. 359-376 [cit. 2023-1-3]. DOI: /doi.org/10.1007/s11029-014-9422-2. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11029-014-9422-2#citeas>
- [13] BAILEY, Regina. *The Structure and Function of a Cell Wall*. In: ThoughtCo.com [online]. 7.9.2021 [cit. 2023-1-5]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/cell-wall-373613>
- [14] VINTER, Vladimír. *Stavba buněčné stěny* [online]. ©2004-2006 [cit. 2023-2-20]. Dostupné z: <http://www.botanika.upol.cz/atlas/anatomie/anatomieCR10.pdf>
- [15] OCHI, Shinji. *Mechanical properties of kenaf fibres and kenaf/PLA composites* [online]. 2008, vol. 40, issue 4-5 s. 446-452 [cit. 2022-11-8]. DOI: /doi.org/10.1016/j.mechmat.2007.10.006 Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167663607001573?via%3Dihub>
- [16] DITTENBER, B. David. GANGARAO, v.s. Hota. *Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure* [online]. 2012, vol. 43, issue 8, s. 1419-1429 [cit. 2022-11-12]. DOI: /doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.11.019. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X11003903#b0050>
- [17] BOUSFIELD, Glenn. MORIN, Sophie. JACQUET, Nicolas. RICHEL, Aurore. *Extraction and refinement of agricultural plant fibers for composites manufacturing, Comptes Rendus Chimie* [online]. 2018, vol. 21, issues 9, s. 897-906 [cit. 2023-2-10]. ISSN 1631–0748. DOI: /doi.org/10.1016/j.crci.2018.07.001. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631074818301735>
- [18] PARAMESWARANPILLAI, Jyotishkumar. GOPI, Ayippadath Jineesh. RADOOR, Sabarish. C.D. DOMINIC, Midhun. KRISHNASAMY, Senthilkumar. DESHMUKH, Kalim. HAMEED, Nishar. SALIM, V, Nisa. SIENKIEWICZ, Natalia. *Turning waste plant fibers into advanced plant fiber reinforced polymer composites: A comprehensive review* [online]. 2023, vol. 10 [cit. 2023-2-10]. ISSN 2666-6820. DOI: /doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100333. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682022000962>
- [19] HAIDER, J. SHANINUR, S. SAYEED, M. SAYEEM, ASM. URA, S. *Natural jute Fibers*. In: Encyclopedia.pub [online]. 6.4.2022 [cit. 2023-1-12]. Dostupné z: <https://encyclopedia.pub/entry/21316>
- [20] NAYEEM, Abu. *Corchorus capsularis*. In: tropical.theferns.info [online]. 20.7.2022 [cit. 2023-1-12] Dostupné z: <https://tropical.theferns.info/image.php?id=Corchorus+capsularis>
- [21] COWLEY, Liné. *Coir – the Natural Fiber from Coconut Husk*. In: ecoworldonline.com [online]. 12. 6. 2019 [cit. 2023-1-30]. Dostupné z: <https://ecoworldonline.com/coir-the-natural-fiber-from-coconut-husk/>



- [22] McMAHON, Mary. *What is Coconut Fiber?* In: delightedcoking.com [online]. 17.1.2023 [cit. 2023-2-1]. Dostupné také z: <https://www.delightedcooking.com/what-is-coconut-fiber.htm>
- [23] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. *abaca*. Britannica.com [online]. [vid. 2014-7-7]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/abaca>
- [24] MAHAPATRA, NN. Dr. *Processing abaca fibres in textile industries*. In: textilevaluechain.in [online]. 8.3.2019 [cit. 2023-1-17]. Dostupné také z: <https://textilevaluechain.in/news-insights/processing-of-abaca-fibres-in-textile-industries/>
- [25] WASHINGTON, John. *What is Abaca Fabric? Sustainability, Pros, and Cons*. In: trvst.world [online]. 12.8.2022 [vid. 2022-8-24]. Dostupné z: <https://www.trvst.world/sustainable-living/fashion/abaca-fabric-sustainability-pros-and-cons/>
- [26] RAMAMOORTHY K, Sunil. SKRIFVARS, Mikael. PERSSON Anders. *A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers* [online]. 2015, vol. 55, issue 1, s. 107-162 [cit. 2022-10-19]. DOI: /doi.org/10.1080/15583724.2014.971124. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15583724.2014.971124>
- [27] KIRON ISLAM, Mazharul. *Kenaf fiber: Properties Cultivation, Production, Uses and Advantages*. In: textilelearner.net [online]. 10.5.2021 [cit. 2023-2-4]. Dostupné z: <https://textilelearner.net/kenaf-fiber-properties/>
- [28] ABBAS, Al-Ghazali Noor. AZIZ, Farah Nora Aznieta Abdul. ABDAN, Khalina. MOHD NASIR, Noor Azline. NORIZAN, Mohd Nurazzi. *Kenaf Fibre Reinforced Cementitious Composites* [online]. 30.8.2021 [vid.2022-1-4]. DOI: 10.3390/fib10010003. Dostupní také z: <https://www.mdpi.com/2079-6439/10/1/3>
- [29] What is bamboo fabric: properties, how its made and where. Sewport.com [online]. [cit. 2023-2-15] Dostupné z: <https://sewport.com/fabrics-directory/bamboo-fabric>
- [30] OJHA, Amartya. *Bamboo fiber, properties, preprocessing, applications*. In: textilesphere.com [online]. [cit. 2023-2-15]. Dostupné z: <https://www.textilesphere.com/2020/09/bamboo-fiber.html>
- [31] BRAHMACHARY, Kumar Tonomoy. ROKONUZZAMAN, Md. *Investigation of random inclusion of bamboo fiber on ordinary soil and its effect CBR value* [online]. 2018, vol. 10 [cit. 2023-2-15]. DOI: /doi.org/10.1186/s40703-018-0079-x. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40703-018-0079-x#citeas>
- [32] RANA, Sohel. PICHANDI, Subramani. PERVEEN, Shame. FANGUEIRO, Raul. *Natural Plant Fibers: Production, Processing, Properties and Their Sustainability Parameters* [online]. 2014 [cit. 2023-2-18]. DOI: 10.1007/978-981-287-065-0\_1. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/262946333\\_Natural\\_Plant\\_Fibers\\_Production\\_Processing\\_Properties\\_and\\_Their\\_Sustainability\\_Parameters](https://www.researchgate.net/publication/262946333_Natural_Plant_Fibers_Production_Processing_Properties_and_Their_Sustainability_Parameters)

- [33] How is cotton grown? cottonaustralia.com.au [online]. [cit. 2023-2-18]. Dostupné z: <https://cottonaustralia.com.au/how-is-cotton-grown>
- [34] The story of cotton:How Cotton is Grown, Processed, and Used. Barnhardcotton.net [online]. [vid. 2016-5-10]. Dostupné z: <https://barnhardtcotton.net/blog/the-story-of-cotton-how-cotton-is-grown-processed-and-used/>
- [35] Britannica. The Editors of Encyclopaedia. *Ramie*. Britannica.com [online]. [cit. 2023-2-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/ramie>
- [36] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. *hemp*. Britannica.com [online]. [vid. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/plant/hemp>
- [37] WENNER, Nicholas, WENNER. Nick. *Weaving Hem pinto the Northern California Fibershed*. Fibershed.org [vid. 2019-12-18]. Dostupné z: <https://fibershed.org/2019/12/20/weaving-hemp-into-the-northern-california-fibershed/>
- [38] *Animal fibre*. In: vedantu.com [online]. 26.2.2023 [cit. 2023-2-27] Dostupní z: <https://www.vedantu.com/chemistry/animal-fibre>
- [39] BABU, Muruges. K. *Animal fibers, silk*. In: HU, Jinlian. KUMAR, Bipin. LU, Jing. Handbook of fibrous materials [online]. ©2020 Wiley-VCH Verlag GmbH a Co. KGaA. [cit. 2023-2-27]. ISBN: 9783527342587. DOI: /dot.org./10.1002/9783527342587.ch3
- [40] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2002.
- [41] MIZERA, Čestmír. *Mechanické vlastnosti vláken získaných z rostliny ensete ventricosum*. Praha, 2017. Doktorská disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta. Vedoucí práce David Herák.
- [42] XUELIANG, Xiao. *Animal fibers, wool*. In: HU, Jinlian. KUMAR, Bipin. LU, Jing. Handbook of fibrous materials [online]. ©2020 Wiley-VCH Verlag GmbH a Co. KGaA. [cit. 2023-2-27]. ISBN: 9783527342587. DOI: /doi.org/10.1002/9783527342587.ch2
- [43] GHOLAMPOUR, Aliakbar. OZBAKKALOGLU, Togay. *A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications*. In: Journal of materials science [online]. 2020, issue 55, s. 829-892 [cit.2023-3-3]. DOI: /doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-019-03990-y>
- [44] SHESAN, J Owonubi. STEPHEN, C Agwuncha. CHIOMA, G Anusionwu. NEERISH, Revaprasadu. ROTIMI, E Sadiku. Improving the mechanical properties of natural fiber composites fort structural and biomedical applications [online]. 2018 [vid.2019-7-3]. DOI: 10.5772/intechopen.85252. Dostupné z: <https://www.intechopen.com/chapters/67967>
- [45] SANJAY, M. ARPITHA, G. NAIK, L. GOPALAKRISHNA, K. YOGESHA, B. Applications of natural Fiber and Its Composites: An Overview. Natural Resources

- [online]. March 2016, vol. 7, no.3, s. 108-114. DOI: 10.4236/nr.2016.73011. Dostupné také z: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=64454>
- [46] IMRAN, Bin Abu. SUSAN, Abu Bin Hasan. Chapter 5 - *Natural fiber – reinforced nanocomposites in automotive industry*. In: Micro and nano technologies [online]. 2022, s. 85-103 [cit. 2023-3-10]. ISBN: 9780323905244. DOI: /doi.org/10.1016/B978-0-323-90524-4.00005-0. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323905244000050#f0025>
- [47] SWAYAM, Ronak. SAHOO, Prasad Somya. NAYAK, Manohar. SAHOO, Aditi. KHUNTIA, Tanamayee. *Design and analysis of coir fibre reinforced polypropylene based internal car door panel*. Materials today: proceedings [online]. 2023, vol.74, no. 4, s. 1057-1062. DOI: /doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.032. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322073941>
- [48] PECAS, Paulo. CARVALHO, Hugo. SALMAN, Háfiz. LEITE, Marco. *Natural fibre composites and their applications: A review* [online]. 2018, vol. 2, no.4. DOI: /doi.org/10.3390/jcs2040066. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2504-477X/2/4/66>
- [49] CHOUDHARY, Sarita. HALOI, Jyotirmoy. SAIN, Kumar Manoj. SARASWAT, Praveen. KUMAR, Vikas. *Systematic literature review on thermal and acoustic characteristics of natural fibre polymer composites for automobile applications*. Materials today: proceedings [online]. 2023. DOI: /doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.349. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532300439X>
- [50] LI, Mi. PU, Yunqiao. THOMAS, M Valerie. YOO, Geun Chang. OZCAN, Soydan. DENG, Yulin. NELSON, Kim. RAGAUSKAS, J Arthur. *Recent advancements of plant-based natural fiber–reinforced composites and their applications*. Composites Part B: Engineering [online]. 2020 vol. 200. ISSN 1359-8368. DOI: /doi.org/10.1016/j.compositesb.2020.108254. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836820333047#sec6>
- [51] NAVARATNAM, Satheeskumar. SELVARANJAN, Kajanan. JAYASOORIYA, Darshana. RAJEEV, Pathmanathan. SANJAYAN, Jay. *Applications of natural and synthetic fiber reinforced polymer in infrastructure: A suitability assessment*. Journal of building Engineering [online]. 2023, vol. 66. ISSN 2352-7102. DOI: /doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105835. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223000141#sec6>
- [52] MATHIJSEN, Django. *Inovative bio-composite bicycle swing bridge “Ritsumasy1” in the Netherlands shows why the industry should embrace bio-based composite*. Reinforced plastics [online]. 2020 vol. 64, s. 212-217. ISSN 0034-3617. DOI: /doi.org/10.1016/j.repl.2020.02.002. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034361720300187>
- [53] KUMAR, Nitish. KANDASAMI, Kannan Ramesh. SINGH, Surrender. *Effective utilization of natural fibres (coir and jute) for sustainable low-volume rural road construction – A critical review*. Construction and building materials [online]. 2022, vol.

347. ISSN 0950-0618. DOI: /doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128606. Dostupná z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822022632#s0115>
- [54] MOSTAFA, Marwan. UDDIN, Nasim. *Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression*. Forces. Case studies in construction materials [online]. 2016, vol. 5, s. 53-63. ISSN 2214-5095. DOI: /doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509516300420>
- [55] CLARAMUNT, Josep. FERNÁBDEZ-CARRASCO, J Lucía. VENTURA, Heura. ARDANUY, Mònica. *Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes*. Construction and buildings materials [online]. 2016, vol. 115, s. 230-239. ISSN 0950-0618. DOI: /doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.044. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816305815>
- [56] AHMAD, Hammad. SHRESTHA, Chhipi Gyan. HEWAGEA, Kasun. SEDIQ, Rehan. *A Comprehensive Review on Construction Applications and Life Cycle Sustainability of Natural Fiber Biocomposites* [online]. 2022, vol. 14. DOI: /doi.org/10.3390/su142315905. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/23/15905>
- [57] Natural building store. In: [naturalbuildingstore.com](https://naturalbuildingstore.com) [online]. [cit. 2023-3-20]. Dostupné z: <https://naturalbuildingstore.com/shop/iso hemp-pre-cast-hempcrete-blocks/>
- [58] IWARO, Joseph. MWASHA, Abrahams. *Effects of Using Coconut Fiber-Insulated Masonry Walls to Achieve Energy Efficiency and Thermal Comfort in Residential Dwellings*. Journal of architectural engineering [online]. 2019, vol. 25 [cit. 2023-3-20]. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000341. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/330365204\\_Effects\\_of\\_Using\\_Coconut\\_Fiber-Insulated\\_Masonry\\_Walls\\_to\\_Achieve\\_Energy\\_Efficiency\\_and\\_Thermal\\_Comfort\\_in\\_Residential\\_Dwellings](https://www.researchgate.net/publication/330365204_Effects_of_Using_Coconut_Fiber-Insulated_Masonry_Walls_to_Achieve_Energy_Efficiency_and_Thermal_Comfort_in_Residential_Dwellings)
- [59] Top quality eco-friendly S-type raw jute/ coconut fiber board for mattress In: [Alibaba.com](https://www.alibaba.com) [online]. [cit. 2023-3-20]. Dostupné z: [https://www.alibaba.com/product-detail/Top-Quality-eco-friendly-S-type\\_1600487995491.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Top-Quality-eco-friendly-S-type_1600487995491.html)
- [60] SOLOMON, Gnanaraj Darius. *Application of Natural Fibers in Environmental Friendly Products*. Int J Environ Sci Nat Res [online]. 2020, vol. 25, no.3. DOI: 10.19080/IJESNR.2020.25.556169 Dostupné z: <https://juniperpublishers.com/ijesnr/IJESNR.MS.ID.556169.php>
- [61] CHEUNG, Hoi-yan. HO, Mei-po. LAU, Kin-tak. CARDONA, Francisco. HUI, David. *Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications*. Composites Part B: Engineering [online]. 2009, vol.40, s.655-663. ISSN 1359-8368. DOI: /doi.org/10.1016/j.compositesb.2009.04.014. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836809000730#fig1>

- [62] SUN, Weizhen. Gregory, Alexander David. TOMEH, Anas Mhd. ZHAO, Xiubo. *Silk fibroin as a functional biomaterial for tissue engineering*. International journal of molecular sciences [online]. 2021, vol. 22, no.3 [vid. 2021-2-2]. DOI: 10.3390/ijms22031499. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7867316/>
- [63] ZÁVESKÝ, Jan. *Vyrovná se lněné vlákno karbonu? Humminbirg z něj vyrábí rám kola*. Trendwatcher.cz [online]. [vid. 2022-8-11]. Dostupné z: <https://trendwatcher.cz/vyrovna-se-lnene-vlakno-karbonu-hummingbird-z-nej-vyrabi-ram-kola/>
- [64] DAHY, Hanaa. *Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites (NFRP) Fabricated from Lignocellulosic Fibres for Future Sustainable Architectural Applications Case Studies: Segmented-Shell Construction, Acoustic Panels, and Furniture* [online]. 2019, vol. 19, no.3. DOI: /doi.org/10.3390/s19030738. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/3/738>
- [65] TOWNSENDA, Terryho. *DNFI world natural fibre update*. Dnfi.org [online]. [vid. 2023-3-12]. Dostupné z: <https://dnfi.org/dnfi-world-natural-fibre-update-march-2023>
- [66] NWANKWO, O Chinyere. MACHACHI, Jeffrey. OLUKANNI, O David. MUSONDA, Innocent. *Natural fibres and biopolymers in FRP composites for strengthening concrete structures: a mixed review*. Construction and building materials [online]. 2023, vol. 363. DOI: /doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129661. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822033177>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 rozdělení přírodních vláken [4,7] .....	11
Obrázek 2 Schéma rostlinné buněčné stěny [13].....	13
Obrázek 3 Schéma stavby buněčné stěny [14] .....	15
Obrázek 4 Corchorus capsularis [20].....	17
Obrázek 5 Jednotlivé části plodu kokosovníku ořechoplodného [21].....	18
Obrázek 6 Sušení abakových vláken před Banánovníkem textilním [25].....	19
Obrázek 7 Rostlina kenaf a její neupravená vláknina [27]. .....	20
Obrázek 8 Pohled na bambus, na nativní původ a pokročilé vlákno [31] .....	21
Obrázek 9 Bavlníkové pole [34].....	22
Obrázek 10 Listy v horní části rostliny ramie [35]. .....	23
Obrázek 11 Rostlina konopí a pohled na vlákna uvnitř [37]. .....	24
Obrázek 12 Životní cyklus bource morušového [39,40] .....	26
Obrázek 13 Pavouci Nephila [4].....	27
Obrázek 14 Struktura vlněných vláken [4]. .....	28
Obrázek 15 (a) ovce před stříháním, (b) jemné stříhání, (c) hogget vlna, (d) surová vlna, (e) čistá vlna [42].....	29
Obrázek 16 Faktory rozvinutosti běžných tvarů [40]. .....	32
Obrázek 17 Pracovní diagram [40]. .....	33
Obrázek 18 Komponenty automobilu Mercedes-Benz třídy E [46]. .....	35
Obrázek 19 Dveřní panel z konopného vlákna [48] .....	36
Obrázek 20 Biokompozitní cyklistický most „Ritsumasyl“ [52] .....	38
Obrázek 21 Umístění geotextílie ve vozovce a typy kokosové (CGT) a jutové (JGT) geotextílie [53].....	38
Obrázek 22 A) Blok vyztužený banánovými vlákny, b) Prefabrikované konopné bloky, c) Desky z Jutových/kokosových vláken, d) Blok s kokosovou izolací [54,57,58,59] .....	39
Obrázek 23 A) Garáž s bambusovou fasádou v Lipsku B) Bambusový strop na Mezinárodním letišti v Madridu [60].....	40
Obrázek 24 Scaffolds na bázi hedvábného fibroinu [62] .....	41
Obrázek 25 Jedno rychlostní kolo s lněným rámem [63] .....	42
Obrázek 26 Konopná židle s detailem na spojení [64] .....	42

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Chemické složení některých přírodních vláken [3]. .....	14
Tabulka 2 Fáze výroby rostlinných vláken a faktory ovlivňující kvalitu vláken [16].....	16
Tabulka 3 Vlastnosti živočišných vláken [26].....	27
Tabulka 4 Mechanické a fyzikální vlastnosti přírodních vláken [3]. .....	34
Tabulka 5 Aplikace přírodních vláken v automobilových součástech [49].....	37
Tabulka 6 Průměrná cena přírodních vláken v roce 2022 [65].....	43
Tabulka 7 Produkce rostlinných vláknitých plodin od roku 2010 do roku 2022 [66].....	44