



Možnosti zpracování a použití vláken z lýka v současnosti

Diplomová práce

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Bc. Anna Skopcová

Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.

Katedra materiálového inženýrství





Zadání diplomové práce

Možnosti zpracování a použití vláken z lýka v současnosti

Jméno a příjmení: **Bc. Anna Skopcová**
Osobní číslo: T19000076
Studijní program: N0723A270001 Textilní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra technologií a struktur
Akademický rok: **2019/2020**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši na téma zpracování a využití vláken z lýka v současnosti a v historii na území ČR a Evropy.
2. Nalezněte druhy lýka, které by byly vhodné pro zpracování v ČR. Vyberte 2 druhy a zpracujte je na vlákna. Popište metodiku získávání lýka z dřevin.
3. Změřte a popište vlastnosti (mechanické, geometrické a termické) vybraných lýk.
4. Zhodnoťte možnosti získávání lýk, analyzujte jejich vlastnosti, a na základě těchto poznatků navrhněte jejich možné využití v současnosti.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

dle potřeby
cca 50 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] Harris, S. , Haigh, S., Handley, A. and Sampson, W. Material Choices for Fibre in the Neolithic: An Approach through the Measurement of Mechanical Properties. Archaeometry, 59: 574? 591., 2017.
- [2] Michalička, V. Kopřiva, plevel, který šatil. Nový Jičín: Muzeum Novojičínska, příspěvková organizace, 2017. ISBN 978-80-87359-21-1

Vedoucí práce:

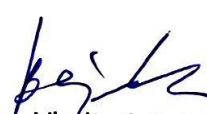
Ing. Miroslava Pechočiaková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

Datum zadání práce:

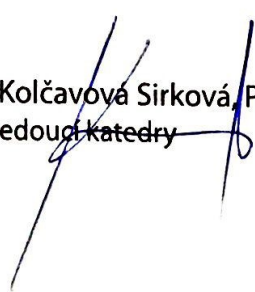
18. března 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

28. května 2021


doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan




Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 26. dubna 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

23. května 2021

Bc. Anna Skopcová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Miroslavě Pechočiakové, Ph.D. za vstřícný přístup a pomoc při zpracování mé práce, Ing. Márii Průšové za provedení chemické analýzy, Ing. Janě Grabmüllerové za snímky z REM, Ing. Petře Jiráskové za pomoc s prací na kolovratu, Šárce Řezníčkové za asistenci při měření v laboratoři, Anne Reichert za informace a užitečné rady, Miroslavu Krsmanoviči za poskytnutí mikroskopického vybavení, Mgr. Luboši Skopcovi za dodání materiálu a své rodině a blízkým, kteří mě psychicky i vědomostně podpořili.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vlastnostmi stromových lýk a jejich možným využitím.

Teoretická část pojednává o stromech a morfologii dřeva. Dále se věnuje charakteristikám lýkových vláken – konkrétně konopí, kopřivy, lípy a vrby, historii používání lýka, způsobech získávání lýkových vláken a oblastech jejich využití.

V praktické části je uveden postup získávání lýka z kůry stromu a podélné a příčné mikroskopické pohledy na vlákenné svazky. Následně se práce věnuje měření mechanických, fyzikálních a termických vlastností technických vláken, analýze obsahu celulózy, predikci jemnosti jednotlivých (elementárních) lýkových vláken.

V závěru jsou shrnuty veškeré poznatky, ze kterých vyplývají reálné možnosti použití lýka, zejména v oblasti archeologie, kompozitů, výroby papíru, lan a agrotexilií aj., v závislosti na kvalitě zpracování vstupní suroviny.

Klíčová slova

Lýková vlákna, stromové lýko, lípa, vrba, udržitelnost

Absctract

Diploma theses examines properties of tree bast and its possible usage.

Theoretical part discuss abou trees, forestry and wood morphology, characteristics of bast fibers – in particular hemp, nettle, linden and willow, history of bast usage, ways of collecting bast fibers and fields of their possible application.

In practical part the procedure of bast collecting from tree bark is listed, as well as longitudinal and transversal microscopic images of fiber bundles. Next the theses pursues mechanical, physical and thermal properties of fiber bundles, cellulose content and predicts fineness for elementar bast fibers.

In the end the conclusion is made, from which result real possibilities for bast usage, particulary in archeology, composites, paper making, ropes and agrotextiles etc., depending on the quality of processing of the input raw material.

Key words

Bast fibers, tree bast, linden, willow, sustainability

Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Popis	Jednotka
d	průměr	[m]
E	počáteční modul pružnosti	[GPa] nebo [cN/dtex]
F	síla	[N]
F_{max}	maximální feret	[μm]
F_p	poměrná pevnost	[cN/dtex]
K	korekční faktor	[–]
l	upínací délka	[mm]
Δl	prodloužení	[mm]
m_m	hmotnost materiálu	[g]
m_{pk}	hm. pyknometru s kapalinou	[g]
m_{pkm}	hm. pyknometru s kapalinou a materiálem	[g]
S	plocha řezu	[μm^2]
t	odhad jemnosti	[tex]
$T1, T2$	jemnost	[tex]
ε	tažnost	[%]
ρ	hustota	[kg/m ³]
ρ_k	hustota kapaliny	[kg/m ³]
σ	napětí	[MPa]
σ_p	smluvní napětí	[N/tex]
s	směrodatná odchylka	
v	variační koeficient	[%]
$\bar{x}$	aritmetický průměr	
BP	before present	
DSC	diferenční skenovací kalorimetrie	
DTG	derivace DSC křivky	
OA	obrazová analýza	
PPS	průměrný polymerační stupeň	
REM	rastrovací elektronová mikroskopie	
TG	termogravimetrická křivka	
TGA	termogravimetrická analýza	

Obsah

Úvod.....	14
1. REŠERŠNÍ ČÁST	15
1.1. Struktura a chemické složení lýka	17
1.1.1. Dřevo	17
1.1.2. Lýková vlákna	19
1.1.3. Chemické složení vláken z celulózy	19
1.2. Historie používání stromového lýka.....	21
1.2.1. Lípa.....	21
1.2.2. Vrba.....	24
1.3. Vybrané druhy rostlin, jejich vlastnosti a zpracování	24
1.3.1. Lípa.....	24
1.3.2. Vrba.....	25
1.3.3. Kopřiva.....	25
1.3.4. Konopí.....	25
1.3.5. Další druhy stromových lýk a jejich separace.....	26
1.4. Příklady technologií zpracování:	28
1.5. Získávání lipového lýka.....	29
1.6. Biologický rozklad lýkových vláken	30
1.1. Vlastnosti lipových vláken	31
1.2. Vlastnosti vrbových vláken	34
1.3. Užití	36
1.4. Možnosti v dnešní době	39
1.5. Lesní škůdci a kůrovec	40
2. PRAKTICKÁ ČÁST	41
2.1. Zpracování vrbového lýka	41
2.2. Zpracování lipového lýka	41
2.3. Postup ojednocování.....	42
2.4. Povětrnostní vlivy.....	43
2.5. Další zpracování lýka	43
2.6. Mikroskopická měření	43
2.7. Obrazová analýza (OA) NIS Elements.....	47
2.8. Predikce jemnosti vláken.....	50

2.9.	Mechanické vlastnosti	51
2.10.	Analýza obsahu celulózy	57
2.11.	Termické vlastnosti	58
2.12.	Výroba příze.....	60
3.	ZÁVĚR A DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	62
4.	POUŽITÁ LITERATURA	64

Seznam tabulek, obrázků a vzorců

- Obr. 1.1: Zalesňování listnatými dřevinami v roce 2019
- Obr. 1.2: Těžba listnatých dřevin v roce 2019
- Obr. 1.3: Příčný řez stonkem lípy
- Obr. 1.4: Smrkové lýko
- Obr. 1.5: Jilmové lýko
- Obr. 1.6: Topolové lýko
- Obr. 1.7: Dubové lýko
- Obr. 1.8: Olšové lýko
- Obr. 1.9: Javorové lýko
- Obr. 1.10: Vrbové lýko
- Obr. 1.11: REM snímky lipových vláken
- Obr. 1.12: TG a DTG křivka vrbových vláken
- Obr. 1.13: Kapsa s lýkovou osnovou a kopřivovým útkem, klobouk z plátu lýka
- Obr. 1.14: Slaměná ošatka vázaná lýkem a příze z lipového lýka
- Obr. 1.15: Lýčené střevíce (Rusko), vzorek sítě z lýkové příze
- Obr. 2.1: Sloupaná kůra připravená pro máčení
- Obr. 2.2: Oddělené vrstvy lýka před fází sušení
- Obr. 2.3: Snímek svazku lipových vláken z vnitřní vrstvy lýka (mladší)
- Obr. 2.4: Snímek svazku lipových vláken z vnější vrstvy lýka (starší)
- Obr. 2.5: Snímek vrbových fibril oddělených ze svazku technických vláken
- Obr. 2.6: Vrbová vlákna a zbytky pojivých tkání
- Obr. 2.7: Příčný řez lipovou kůrou
- Obr. 2.8: Příčný řez lipovým lýkem ze světelného mikroskopu
- Obr. 2.9: Příčný řez vrbovým lýkem ze světelného mikroskopu
- Obr. 2.10: Plocha řezu vrbových a lipových vláken
- Obr. 2.11: Minimální a maximální ferety pro vlákna
- Obr. 2.12: Vzorové tahové křivky lipového a vrbového svazku vláken
- Obr. 2.13: Průměry technických svazků
- Obr. 2.14: Poměrná pevnost svazků
- Obr. 2.15: Odhad jemnosti svazků
- Obr. 2.16: Tažnost svazků
- Obr. 2.17: Počáteční modul svazků

Obr. 2.18: Srovnání poměrných pevností vrbového a lipového lýka v závislosti na průměru technických svazků

Obr. 2.19: Termogravimetrické křivky lipového a vrbového lýka

Obr. 2.20: DSC lípa

Obr. 2.21: DSC vrba

Obr. 2.22: Příze z lipového lýka vyrobená na kolovratu

Obr. 2.23: Počáteční modul [N/tex]

Obr. 2.24: Poměrná pevnost vrbových svazků

Obr. 2.25: Poměrná pevnost lipových svazků

Obr. 2.26: TGA křivky pro vrbové lýko

Obr. 2.27: TGA křivky pro lipové lýko

Obr. 2.28: Tahové křivky vrbových svazků

Obr. 2.29: Tahové křivky lipových svazků

Tabulka 1.1: Složení lesních ploch v ČR v roce 2019

Tabulka 1.2: Hustota dřeva

Tabulka 1.3: Obsah komponent vybraných rostlinných vláken

Tabulka 1.4: Srovnání mechanických vlastností přírodních vláken

Tabulka 1.5: Srovnání mechanických vlastností trojmo stáčeného lana o průměru 12 mm z lipového lýka, konopí, abaca a nylonu

Tabulka 1.6: Mechanické vlastnosti vrbových vláken

Tabulka 2.1 : Zjištěné hodnoty hustot pro lipová a vrbová vlákna

Tabulka 2.2: Korekční faktor pro lipová a vrbová vlákna

Tabulka 2.3: Obsah necelulózových složek a vody v lýku

Tabulka 2.4: Statistické vyhodnocení dat příčných řezů z obrazové analýzy NIS Elements

Tabulka 2.5: Statistické vyhodnocení měření podélných pohledů technických svazků

Tabulka 2.6: Statistické údaje pro počáteční modul

Tabulka 2.7: Statistické údaje pro poměrnou pevnost [MPa]

Vzorec 1: Výpočet hustoty pomocí pyknometrické metody

Vzorec 2: Jemnost $T1$

Vzorec 3: Jemnost $T2$

Vzorec 4: Korekční faktor K

Vzorec 5: Vyjádření $T1$ pomocí K

Vzorec 6: Odhad jemnost t

Vzorec 7: Poměrná pevnost

Vzorec 8: Tažnost

Vzorec 9: Počáteční modul [MPa]

Vzorec 10: Počáteční modul [N/tex]

Úvod

Lýková vlákna jsou tradičním materiálem používaným v mnoha oblastech každodenního života napříč historií až do dnešní doby. Speciální případ tvoří vlákna ze stromového lýka, která byla hojně využívána před rozšířením vláken lněných a konopných, jak dokládají mnohé archeologické nálezy (Ötzi [1], severské lodě [2], Turecko [3] aj.)

Stromové lýko v sobě skrývá zapomenutý potenciál, který čeká na své znovuoobjevení. Jedná se o levnou a dostupnou surovinu se zajímavými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi, díky nimž si vysloužila pozornost různých výzkumů zejména v oblasti kompozitních materiálů [3, 4]. Lýko by se tak pravděpodobně mohlo rozšířit do mnoha aplikačních oblastí v souvislosti s expanzivním vývojem nových inovativních materiálů, které se často snaží reagovat na vážnou situaci znečištění životního prostředí syntetickými polymery [5] hledáním přírodních, přijatelnějších alternativ vyhovujících udržitelné produkci.

V této diplomové práci je věnován prostor lipovému a vrbovému lýku. Tyto druhy jsou na území ČR velmi rozšířené, což je důležitý faktor pro použití v souladu s ekologií a udržitelností. První část pojednává o dřevu, lýkových vláknech (konopí, kopřiva, lípa a vrba), jejich vlastnostech, historii používání, možnostech získávání a zpracování. V druhé experimentální části práce jsou uvedeny praktické postupy získávání vláken z lýka procesem máčení, podélné a příčné mikroskopické pohledy na vlákenné svazky. Dále práce zkoumá mechanické, fyzikální a termické vlastnosti technických vláken, obsah celulózy a hledá vhodný vztah pro výpočet jemnosti elementárních lýkových vláken.

Prostor je věnován hlavně srovnání vlastností mezi oběma zkoumanými lýky a posouzení rozdílu vůči jiným přírodním vláknům. Navrhované oblasti použití se opírají o tato srovnání a informace získané výzkumem.

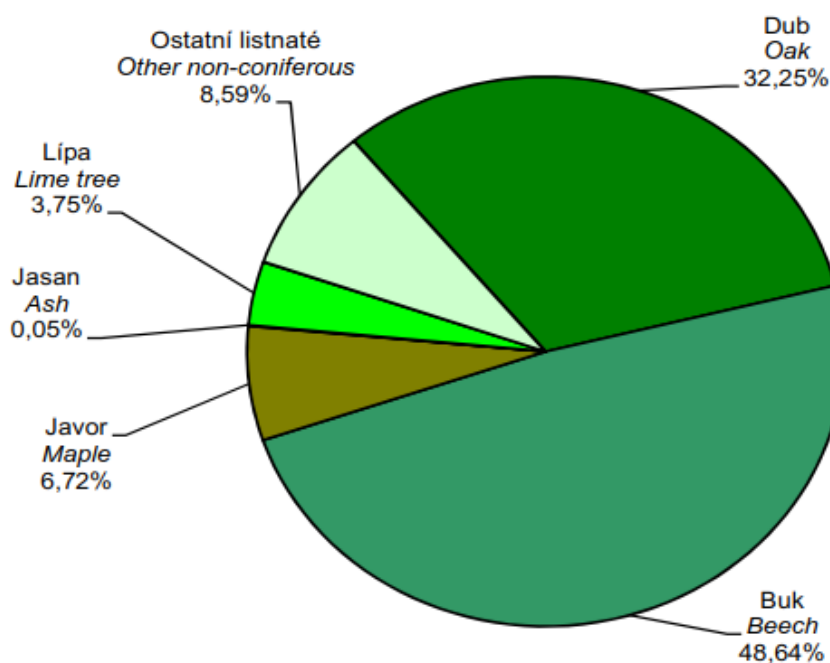
Přesto že je stromové lýko náročné na zpracování, svými vlastnostmi nestačí pro náročné technické aplikace a jiná vlákna ho bezkonkurenčně předčí, má mnoho pozoruhodných výhod a je možné ho v menším měřítku s výhodou použít.

1. REŠERŠNÍ ČÁST

Kultivace stromů je nedílnou součástí lesnictví a každoročně je vyprodukováno značné množství této obnovitelné suroviny¹. Lesy hrají významnou roli ve vázání CO₂ z ovzduší, čímž dochází k jejich přirozenému rozvoji srze fotosyntézu.

Přibližně jedna třetina území České republiky je pokrytá lesy (cca 2.7 ha). Za rok přiroste přibližně 18 milionů metrů kubických dřeva a vytěží se v průměru 14–15 milionů metrů kubických. Lesní plochy se tudíž každoročně zvětšují [6].

Na obrázku 1 a 2 je uvedeno složení zalesňování a těžby dřevin v roce 2019.

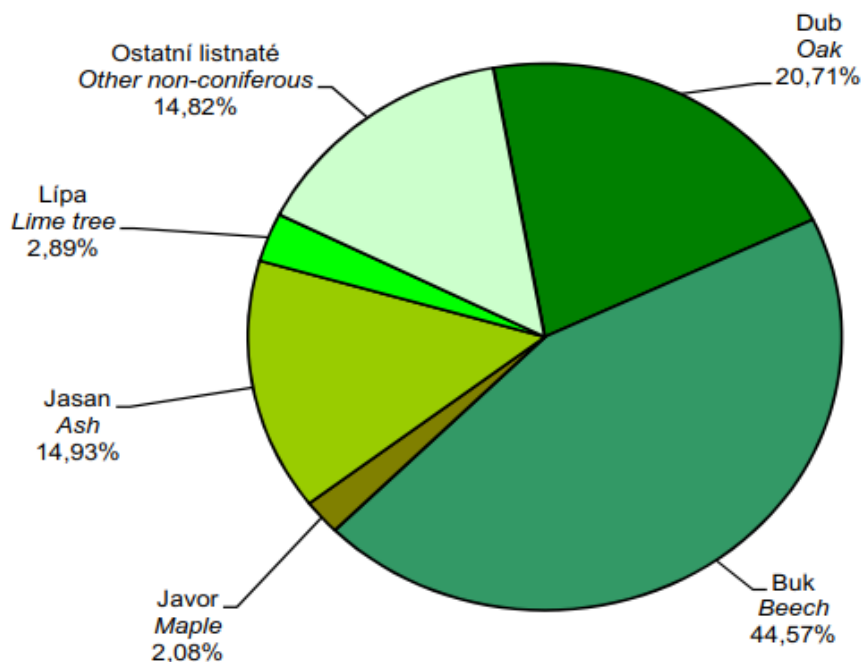


Obr. 1.1: Zalesňování listnatými dřevinami v roce 2019 [7]

¹ Za obnovitelnou ji lze považovat, pokud je lesní plocha kultivována a obhospodařována

Tabulka 1.1: Složení lesních ploch v ČR v roce 2019 [7]

	Stav 2019 [tis.ha]	Zalesňování [ha]	Těžba [m ³]
Plocha dřevin celkem	2 576.1	28 670	32 585 563
Jehličnany	1 862.9	13 954	31 312 582
Listnáče	723.1	14 716	1 272 981



Obr. 1.2: Těžba listnatých dřevin v roce 2019 [7]

Při těžbě dřeva vzniká odpadní dřevná hmota, jako jsou vrcholky stromů, větve a kmeny o průměru menším než 7 cm, prořez, pařezy, kůra a listy [8]. Kůra je obecně brána jako odpad a běžně se s ní neobchoduje, tudíž je těžké predikovat, jaké množství kůry se celkem vyprodukuje [9]. Bývá zpracovávána do štěpky ještě na místě těžby, jinak se obvykle spaluje. Představuje tak potenciální zdroj pro nalezení dalšího využití.

Kůra

Podíl kůry se pohybuje od 5 % do 28 % [9]

Funkce kůry jsou zejména:

- tvorba životního prostředí pro různé organismy
- ochrana před škůdci (pryskyřice)

- ochrana před povětrností
- ochrana před ohněm

Kůra je výborný prostředek pro indikaci znečištění prostředí. Je schopná uchovat nejružnější částice po dlouhou dobu, a následně je možné identifikovat znečištění i tam, kde již žádné v ovzduší bezprostředně není. Na toto téma bylo uskutečněno mnoho výzkumů [9].

1.1. Struktura a chemické složení lýka

1.1.1. Dřevo

Dřevité (cévnaté) rostliny jsou tvořeny systémy pletiv². Pletiva dělivá (meristémy) zajišťují růst rostliny. Pletiva trvalá lze dělit dle polohy a funkce na:

- pletiva krycí – pokožka
- pletiva vodivá – cévní svazky
- pletiva základní

Pokožka – Primární krycí pletivo (epidermis) chrání rostlinu před okolím a zároveň zajišťuje výměnu plynů. U dřevin se tvoří i druhotné krycí pletivo (peridermis) které při růstu rostliny přebírá ochrannou funkci po porušení pokožky a tvoří se tzv. korek³. U stromů dochází časem k odumírání korku na povrchu a jeho odlupování. Souhrnně se vnější vrstva korku nazývá borka.

Pletiva základní – vyplňují prostor mezi krycími a vodivými pletivy. Patří sem lokálně diferencovaná⁴ pletiva, parenchymová kůra, dřevné paprsky a dřev.

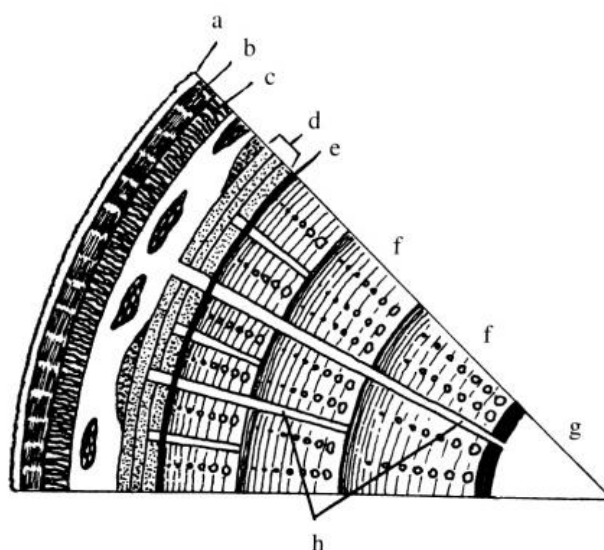
Cévní svazky – rozvádějí v rostlině roztoky. Dělí se na část dřevní a lýkovou. Dřevní část tvoří zdřevnatělé mrtvé buňky, které jsou rozdílné pro listnaté a jehličnaté stromy (tracheje pro listnaté, tracheidy pro jehličnaté). Slouží pro transport vody a jako výztuha rostliny. Lýková část je tvořena sítkovicemi, parenchymem a sklerenchymem. Sítkovice vedou

² Pletivo je soubor buněk mající náležitou funkci

³ Neplést s korkem jako surovinou z dubu korkového (*Quercus suber*) aj.

⁴ členěná

organické látky a jsou doprovázeny vodivým parenchymem, který transportuje živiny na menší vzdálenost.



Obr. 1.3: Příčný řez stonkem lípy: a) pokožka, b) korek, c) primární kůra, d) lýka, e) kambium, f) dřevo prvního až třetího roku, g) dřeň, h) dřeňové paprsky. [10]

Kambium - odděluje dřevní a lýkovou část a produkuje nová pletiva. Tvoří tzv. letokruhy, pokud je jeho činnost periodická vlivem ročních období. Na jaře začínají vznikat dřevité buňky, směrem k podzimu růst ustává a je nahrazen produkcí lýka. Kambiem vytvořené druhotné lýko je relativně slabá vrstva a jeho přírůstky jsou relativně malé. Je tvořeno sítkovicemi, lýkovým parenchymem a sklerenchymem - vlákny. Tato vlákna se dají získávat jako technické lýko pro hospodářské účely. V Evropě má význam lýko lipové (Materiál dnes prodáváný jako lýko pochází ale z palmy rodu *Raphia*) [10].

Tabulka 1.2: Hustota dřeva (souvisí s tvrdostí dřeva) [11]

Klasifikace	Hustota [kg/m^3]	Dřeviny
Měkká	< 540	borovice, smrk, jedle, lípa, topol, olše aj.
Střední	540–50	modřín, dub, buk, jilm
Tvrdá	> 750	habr, tis

1.1.2. Lýková vlákna

Jako lýková vlákna jsou obecně nazývána rostlinná vlákna ze stonků a dle názvu se nachází v lýkové vrstvě stonků. Jejich chemickou podstatou je celulóza, tuky, vosky, popeloviny, pektiny a jiné hemi-celulózy, lignin a voda. Získávají se třením, lámáním a vochlováním. K nejdůležitějším vláknům patří len, konopí, juta a ramie. Vyznačují se pružností, pevností, ohebností [12]. Za zmínku stojí také vlákno kopřivové.

Technická lýková vlákna jsou tvořena svazky elementárních vláken (jednobuněčných), slepených pektiny nebo ligninem. Lignin (především u bambusu a juty) zvyšuje tuhost technických vláken, čímž omezuje jejich textilní použití [13]. Při mikroskopickém pohledu jsou typická tzv. kolénka.

Lýková vlákna jsou zpracovávána v mnoha průmyslových odvětvích, jako například pro textilie, provazy a sítě, koberce a rohožky, kartáče, matrace, papír nebo karton [14]. V současné době se dostává zvláštní pozornosti lnu, kenafu a konopí za účelem použití pro kompozitní materiály [15].

1.1.3. Chemické složení vláken z celulózy

Celulóza

Nejrozšířenější vysokomolekulární látka na Zemi, v přírodě se vyskytující vždy s dalšími látkami (pektin, lignin, vosky, tuky). Základní stavební jednotka celulózy je β -D-glukopyranóza.

Hemicelulóza

Hemicelulózy jsou charakterizovány nepravidelnostmi v řetězcích. Skládají se především z nízkomolekulárních řetězců složených z hexóz, pentóz a částí uronových kyselin. Obsah hemicelulóz určuje kvalitu celulózy, přičemž tento parametr se zjišťuje rozpustností v NaOH.

α - celulóza nerozpustná v 17.5% NaOH PPS > 200 (zejména celulóza)

β - celulóza rozpustná v 17.5% NaOH, ale vysrazitelná v CH_3COOH PPS > 10

γ - celulóza rozpustná v 17.5% NaOH a nevysrazitelná v CH_3COOH PPS < 10 [13]

Pektin

Pektiny jsou podobné hemicelulózám a jsou důležitou součástí primárních buněčných stěn. Ve dřevě se vyskytují zhruba v množství do 10 %, 10–15 % v travinách a v některých rostlinách mohou být až v podílu 30 %. Využívají se jako potravinářské aditivum pro zahušťování, fermentaci a tvorbu emulzí. Pro tvorbu kompozitů mají negativní vliv ve smyslu vysoké hygroskopicity a termické nestability [16].

Lignin

Oproti předchozím je tento lignin amorfní a obsahuje aromatické struktury a alifatické řetězce. Má velmi variabilní strukturu a zvyšuje tuhost buněčných stěn. Zároveň slouží jako jakési pojivo, které zajišťuje soudržnost jednotlivých buněk (tzv. technická vlákna) [16].

Obsah celulózy v lipových vláknech je srovnatelný s vlákny jako abaca či len. Naopak se zde vyskytuje vyšší obsah ligninu oproti ostatním celulózovým vláknům (s výjimkou kokosových vláken dle Tabulky 1.2). Vyšší obsah ligninu souvisí s vodoodpudivým chováním lipových vláken [17, 18, 19, 20].

Tabulka 1.3: Obsah komponent vybraných rostlinných vláken (Složeno z:[3, 4, 13])

Vlákno	Celulóza [%]	Hemicelulózy [%]	Lignin [%]	Pektiny [%]	Popel [%]
bavlna	92–93	5–6	-	< 1	-
juta	65–70	12–13	12	0.2	0.5–2
len	62–70	15–17	2–3	1–4	1.5
sisal	65–73	12–13	10–11	0.8–2	-
konopí	67–74	16–18	3–4	1–2	2.6
kokos	43	< 1	45	4	-
ramie	70–76	13–15	0.6–1	2	-
kopřiva	40	28	17	8	-
kapok	13	-	-	-	-
bambus	35–45	20–25	30	-	1.7–5
abaca	64	20	4–6	0.5	-
lípa	61.8	4.2	34	-	-
vrba	44	30.8	25.3	-	3.3

Pozn. Hodnoty pro vrbové lýko pochází z druhu (vrba trojmužná x vrba košíkářská)

1.2. Historie používání stromového lýka

Využívání kůry bylo dříve naprosto běžným jevem vedle zpracování dřeva. Například máčená jilmová kůra byla materiálem jako krmivo pro telata a vláknitá část pro výrobu lan a oděvů [9].

V průběhu historie lan je možné se setkat s mnoha druhy použitých vláken. Konkrétně v Severní Evropě bylo využíváno množství lokálních materiálů, včetně trav, mechů, vřesu, břízy, vrby, lísky, buku, tisu, borovice a smrku. Zpracovávaly se i části rostlin, jako listy, výhonky, kořínky nebo zpracované části dřeva a kůry [21, 22, 23, 24]. Lýkové vrstvy různých rostlinných druhů poskytují unikátní kombinaci objemu, pevnosti a ohebnosti. Lípa, jilm, dub, jalovec a vrba byly hlavními zdroji lýkových vláken. Díky mimořádné pevnosti se právě lípa stala nejvýznamnější z výše uvedených [24, 25, 26, 27]. Nicméně je pravděpodobné, že se používala vlákna také z rostlin, jako například plamének plotní, ostružiník křovitý, zimolez, mech, kosatec žlutý, orobinec, skřípinec jezerní, sítina rozkladná, kopřivy aj. [28].

1.2.1. Lípa

Je známo, že Ötzi měl některé výrobky z lýka (pochva na dýku, obuv – Anne Reichert [1]); Vikingové ho používali pro výrobu lan a v Japonsku pro tkaní. Používání lýka také dokládají některé běžné a latinské názvy některých druhů: druhy rostoucí ve východní části Severní Ameriky jsou nazývány jako basswood (basové dřevo) - odvozené z bastwood (lýkové dřevo) a lípy srdčité, která roste ve Velké Británii a její latinský název je *Tilia Cordata*. Často se jí také říká Linden, což vzniklo ze staroanglického slova *lithe*.

V Severní Evropě byla lípa používána jako zdroj lýka, jakmile se zde rozšířila⁵ [26]. První nálezy provazů z lipového lýka se datují do Maglemosiánské kultury raného Mezolitu v severní Evropě [26], což naznačuje, že lipové lýko bylo využíváno velmi brzy [29]. Zmínka o takovýchto lanech jako prodejním zbožím je například již v Egilově sáze (z roku cca 950)[18] a jejich výroba je zaznamenána i ve Finsku, Rusku, Polsku, Německu, Norsku a Pobaltských republikách [24, 25, 27, 30].

⁵ Lípa není původním druhem ve Skandinávii

V Norsku byla lípa vždy vysoce ceněna. Kromě provazů se z ní vyráběly zemědělské potřeby jako sítě, tašky, humří pasti, obuv a papír.

Lýko také sloužilo ke tkaní, roubování nebo dokonce ke spojování prken trupu lodí (cca 2500 BP⁶)[21, 25, 31, 32].

Lipové lýko hrálo životně důležitou roli v počátcích rybářského průmyslu a zemědělství ve venkovských oblastech. Vysoká poptávka po lýku dokonce způsobila lokální nadspotřebu lip. [21].

Největšími nálezy jsou pravděpodobně vikingské lodě Gokstadskipet a Osebergskipet pohřbené kolem roku 1100 BP ve Vestfoldu v Norsku [30].

Po velkém požáru v roce 1955 byla prozkoumávána oblast přístaviště Bryggen v Bergenu, kde bylo nalezeno zhruba 700 pozůstatků středověkých provazů. 56 % těchto nálezů bylo lýkových a z toho pak 86 % z lipového lýka. Fragmenty těchto lan byly nalezeny ve vrstvách až do požáru roku 1702, ovšem 90 % nálezů patří do doby před požárem roku 1332. Pro zajímavost - zbytky konopných provazů nebyly nalezeny vůbec.[24, 27].

V důsledku velké poptávky po lýkových provazech a malému množství lip bylo lýko obchodním artiklem až do pozdního devatenáctého století. V západním Norsku byly lýkové provazy vyráběny zejména na venkově a prodávány do měst. V Bergenu byly prodávány ve čtyřech typech tloušťky [24], a některé zdroje zmiňují i export do Anglie [33]. S používáním plachetnic vzrostla i poptávka po lýkových provazech a výroba lan se stala průmyslem na mnoha místech bohatých na lípy [30].

V průběhu hladomoru roku 1812 se lýko⁷ jedlo a dávalo jako svatební dar [9]. V celé Skandinávii se pak používalo lýko různých borovic jako zimní potrava.

Po roce 1870 již byla poptávka po lipových lanech minimální [25]. Ovšem v západních fjordech Norska byla lýková lana vyráběna pro domácí potřeby v průběhu celého 20. století [21, 30] a renesanci tento materiál zažil za 2. světové války, když byl nedostatek normálního zboží [30]. V Pobaltí jsou výrobky z lipového lýka vyráběny ve větším měřítku dodnes [34].

⁶ BP = before present – archeologický termín vztahovaný obvykle k roku 1950

⁷ Přeloženo z originálu „bast“ = souhrnný název pro kůru, nicméně pro člověka stravitelná je pouze lýková část

Rovněž v Dánsku byla nalezena lýková lana při archeologických průzkumech, a to v Haitahbu [24] a na vikinských lodích z roku kolem 1000 BP v oblasti fjordu Roskilde [35].

Lana byla používána na kotvení a kompletní lanová malých dřevěných plavidel [24, 36]. Na větších lodích byla používána minimálně na stacionárních částech lanová, což dokazují nálezy z lodi Gedesbyskipet z Dánska [2].

Po importu konopných lan do Skandinávie v 15. století se lýko nadále používalo v rybářství a zemědělství v Norsku, Švédsku a Pobaltí [24, 25, 34]. Tento fakt je pravděpodobně způsoben preferencí vlastností, jako je **poddajnost** a **vodoodpudivost** [24].

Lipové lýko ve slovanské kultuře

Lípa je symbolem ochrany a symbolizuje upřímnost, štědrost, ochranu a laskavost. Pro Sloany byl tento strom posvátný a objevuje se v mnoha národních zvyklostech. Lípy se vždy vyskytovaly v blízkosti lidských příbytků a byly chráněny. Pod jejich korunami se konaly nejrůznější společenské události.

Lýko bylo považováno jako ochranný prostředek proti démonům a temným bytostem a velmi časté jsou zmínky v pohádkách, kde je lýčeným provazem spoután vodník nebo dokonce upír (Polsko) [37, 38].

Podle [37] se z lýka pletou rohože (na Rusi ročně 14 mil. rohoží, k čemuž je potřeba 1 mil. oloupaných kmenů lipových), chodáky čili střevíce (na Rusi láptě, jež nosí 30 mil. lidí), které nosili polský Piast a český Přemysl.

Přemysl Oráč – Staré pověsti české

Lýčené střevíce neboli láptě, je obuv rozšířená v historii zejména v Rusku. Vyrábí se provázáním několika pruhů lýka a nosily se s onucemi. Obecně se tato obuv používala mezi chudými lidmi, neboť se jednalo o dostupný a levný materiál. Významnou roli hrají lýčené střevíce i v české historii, a to v Kosmově kronice a Starých pověstech českých, kde se píše následující:

1. Spatřili opodál muže vysoké postavy, an v **lýčených střevících** za pluhem statně kráčel a pobízel ostnem spřežení strakatých volů.
2. Obrátil pluh a vzav z meze **lýčenou kabeli**, vyložil z ní pecen a sýr na jasnou radlici na slunci se svítící.

3. Když pak cestou se vladykové Přemysla ptali, proč vzal s sebou **kabelu a střevíce z lipového lýčí**, odpověděl: „Na to jsem je dal vám a dám na věky uschovat, aby moji potomci věděli, odkud pošli, aby živi byli v bázni a lidí sobě svěřených netiskli z hrdosti, poněvadž jsme si všichni rovni“ [39].

1.2.2. Vrba

Vrbové lýko ve slovanské kultuře

Spolu s lípou je také vrba velmi oblíbeným stromem ve slovanské kultuře. Jedná se o velmi rozšířenou rostlinu a dle [37] se k ní váže mnoho literární tvorby, od písní a básní až po báje a pověsti. Z mnoha zvyklostí spojených s vrbou stojí za zmínku výroba vrbových píšťalek, houpaček, košíkářství, velikonoční pomlázka aj.

V neposlední řadě nelze opomenout rčení „mluvit do vrby“, které pochází z keltské kultury, kdy prý při vyslovení přání v blízkosti vrby spolu s uvázáním uzlíku na pružné větvičce se přání vyplnilo [40].

1.3. Vybrané druhy rostlin, jejich vlastnosti a zpracování

1.3.1. Lípa

Lípa srdčitá (*Tilia Cordata*) roste na evropském území ve světlých listnatých a suťových lesích a v luzích od nížin do hor. Její příbuzná lípa velkolistá se vyskytuje v teplejších oblastech a kvete o něco dříve. Existuje asi 40 druhů lip a jejich samovolným křížením vznikla lípa obecná (někdy uváděná jako evropská), u nás dnes nejběžnější druh. Lípy se uplatňují ve farmacii, včelařství, řezbářství nebo při soustružení [10].

Lípa je velice vitální dřevina. Je odolná vůči mrazu, větru zvířecím škůdcům i mechanickému poškození, jako jsou prořezávky. Trpí přílišným suchem, dlouhodobými záplavami nebo korní spálou. Citlivá je také na posypové soli, používané v zimě, a neprospívá jí ani silné znečištění ovzduší [41].

1.3.2. Vrba

Rod vrba (*Salix* sp.) je bohatým rodem pro časté hybridizace i relativně velký počet zaměnitelných původních druhů. Patří do čeledi vrbových. Staré latinské jméno *Salix* pochází snad ze slova *salio* – skáču (pro rychlý růst).

Vrby jsou typickou složkou lužních hájů a pobřežních porostů. Mají značný včelařský význam (jejich květenství - jehnědy - poskytují na jaře včelám první pastvu).

Existuje odhadem 300–600 druhů a rostou téměř po celém světě, s výjimkou Austrálie a Nového Zélandu, zejména pak v mírném až subarktickém pásu severní polokoule.

Klíč ke květeně ČR uvádí 21 druhů u nás v současnosti rostoucích původních vrb.

Kromě vrbového proutí se také využívá obsah glykosid salicinu při léčbě nachlazení [42].

1.3.3. Kopřiva

Pro vlákna se hodí tzv. velká kopřiva *Urtica dioica*, která je trvalka. Kultivovala se zejména ve Skandinávii. Po sklizni se loupe od zdřevnatělého stonku kůra, která se vytváří pro oddělení vláken. Technická vlákna jsou až 1 m dlouhá. Elementární vlákna jsou dlouhá 5 cm s hrubým povrchem a různými poruchami. Omak je příjemně měkký [13]. Vlákna jsou dutá a vzduch uvnitř nich jim dodává dobré tepelně izolační vlastnosti. Na rozdíl od jiných lýkových vláken textile z kopřiv nemají efekt chladivý, nýbrž hřejivý. Přirozeně mají krémovou či naředlou barvu a jsou dobře barvitelná a sřadatelná, v přízi nechluatí [43].

1.3.4. Konopí

Cannabis sativa je dvoudomá jednoletá rostlina. Z jednotlivých druhů se pro vlákna nejvíce hodí konopí seté středoruské a konopí seté jižní. Zpracovává se podobně jako len. Příčný řez je tvaru polygonu se zaoblenými rohy. Podélně jsou vlákna na koncích tupá a mají opačný sklon fibril než len [13].

Konopí má široké spektrum využití, například lana, sítě, pytle, papír, oděvní materiály, olej, lisované desky, těsnění atd. [44].

1.3.5. Další druhy stromových lýk a jejich separace

Smrk - lze zpracovat ve vlhkém stavu pomocí kroucení nebo tkaním do rohoží.

Jilm - není nutné biodegradovat; před samotným zpracováním ho stačí krátce namočit, aby se jednotlivé vrstvy oddělily.

Topol - je nutné ho biodegradovat jen po krátký čas. Je dosti křehký a hrubý. Výrobky z něj nejsou příliš trvanlivé.

Dub - nevhodný pro zakrucování, trhá se již po několika otáčkách

Olše - zpracovává se po několika týdnech biodegradace. Stejně jako topol je lýko křehké.

Javor - větvičky (výhonky) je jednoduché oloupat v průběhu jara. Po zkroucení se oddělí vnější, tužší kůra [1].



Obr. 1.4: Smrkové lýko



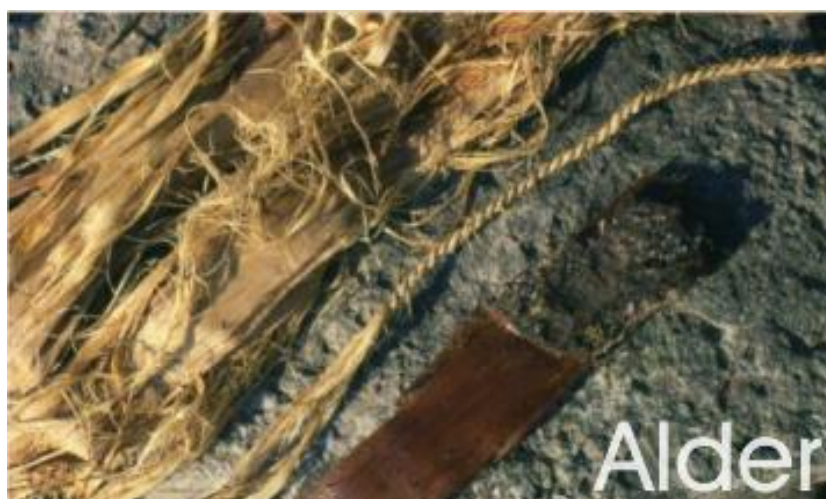
Obr. 1.5: Jilmové lýko



Obr. 1.6: Topolové lýko



Obr. 1.7: Dubové lýko



Obr. 1.8: Olšové lýko



Obr. 1.9: Javorové lýko



Obr. 1.10: Vrbové lýko

1.4. Příklady technologií zpracování:

- Zakrucování - výroba příze/lana. Dvě pramenné stužky jsou zakrouceny jedním směrem a následně spolu dohromady směrem druhým.
- Útkové zakrucování - Plošné rohože - Stužky tvořící osnovu jsou fixovány v útku zakrucovaným pramínkem lýka. Mezi jednotlivými útky lze osnovní prameny zpevnit taktéž zakroucením
- Sítě - Lze vytvořit síť spojovanou uzly nebo bezuzlově - to se realizuje proplétáním zakroucené lýkové stužky očkem předchozí řady (analogie s uzavřenými očky zátažné

pleteniny). Výsledek může být obdélníkový nebo kruhový a smyčka může mít jednoduchý nebo několikanásobný zákrut.

- “Kožešinové textilie” - pramínky visící volně na povrchu textilie připomínají kožešinu. Tento vzhled pomáhá lepší ochraně před deště [1].

1.5. Získávání lipového lýka

Lýko bylo obvykle získáno z mladých stromků nebo z větví o tloušťce ruky. Kultivované stromy, které produkovaly nejlepší lýko, byly pravidelně seřezávány každých 5–10 let [32]. Díky tomu produkovaly lýkovou vrstvu o tloušťce 2 mm [24]. Po letech tohoto obhospodařování stromy charakteristicky uzpůsobily vzhled: tlustý kmen (pařez) a hustá koruna relativně tenkých větví. V lesech speciálně pěstovaných pro lýko byly stromy vysazovány v dostatečné vzdálenosti [45]. Stromy ve vlhčím prostředí prý produkují nejtužší lýko [30].

Existovaly v 3 hlavní postupy pro získávání lýka: [24, 25, 27, 30].

- 1) Obvykle byly lípy seřezány v časném létě (několik týdnů před slunovratem). Kůra byla sloupána ze dřeva a ponořena do vody (sladké nebo mořské) na 4–6 týdnů. V této době degradují pektinové a ligninové vrstvy měkkých tkání bakteriálním působením. Tak dojde k oddělení jednotlivých lýkových vrstev (kterých bývá cca 10 [46]) a vnější kůry [26, 47]. Na podzim, kdy je rozklad hotov, bylo lýko sloupnuto z kůry v dlouhých pruzích a vnější vrstvy byly odděleny od pevnějších vnitřních vrstev (separace dle kvality) [25, 30].

Máčení je nutné pro zjemnění lýka, ale zároveň dochází k jeho poškození, což se děje zejména ve sladké vodě, a proto je preferována voda mořská. Rychlost rozkladu závisí na teplotě vody, proto za teplého léta stačí několik týdnů pro požadovaný efekt. [21, 24]. Pokud jsou máčeny celé větve, ne jen kůra, trvá celý proces déle [21].

- 2) Na jaře, když stoupá míza, je možné lýko oddělit od kůry bez máčení, což je druhý způsob jeho získávání.
- 3) Třetí způsob zahrnuje nařezání větví v zimě a jejich vystavení kouři v kamnech bez komína po dobu 24 hodin. Způsoby bez máčení produkují pevnější, ale tužší lýko, které je možné spřádat do provazců bez dalších zásahů [21, 30].

Preferovaný způsob získávání lýka záležel na tom, kdy měli farmáři čas, a jakou kvalitu provazu potřebovali. Nejčastěji se používalo máčení a seřezání stromů se konalo po senoseči (neboť v brzkém jaru byli zaneprázdněni) [30].

Obvykle bylo lýko spřádáno do provazců 3–4 mm tloušťky a ty pak po třech do protisměru hodinových ručiček [30]. Vykopávky ale ukázaly, že lipové provazy se vyráběly ve všech tloušťkách od tenkých až po tlusté (10 cm, čtyřmo skané). Provazy mohly být skané ještě dál [24]. Lze tedy říci, že existovala velká variabilita kvalit, jemností a pevností, jež bylo možné vyrábět (závislosti na zpracování a účelu použití).

Výroba lana z lýka byla velmi náročná a bylo potřeba velké množství materiálu, aby se vyrobilo dostatečné množství každoročně potřebné na farmě, případně pro prodej, pokud byly přebytky [30].

1.6. Biologický rozklad lýkových vláken

Biologický rozklad je proces oddělení vláken ze stonku rostliny. Zahrnuje chemickou nebo biologickou fermentaci, která umožní separaci vláknenných svazků v lýkové vrstvě od kůry a dřeva [50]. Tradičními metodami jsou rosení a máčení. Obě potřebují cca 14 až 28 dní pro rozklad pektinů, hemicelulózy a ligninu [50, 51].

Rosení

Rosení je proces rozkladu stonku pomocí slunečního záření, působení bakterií, vzduchu a rosy [52, 53]. Obvykle se používá v oblastech s omezeným přístupem k vodním zdrojům. Mezi výhody rosení patří nízká náročnost provedení a vysoký výtěžek materiálu. Naproti tomu je silně závislé na lokálních klimatických podmínkách, vlákna jsou hrubší než při rozkladu máčením a jsou méně pevná a v neposlední řadě tento proces vyžaduje venkovní práci po několik týdnů [54, 55].

Máčení

Máčení se realizuje ponořením svazků do nádob s vodou, kde se začnou množit pektinolytické bakterie [53, 56]. Voda penetruje do středu stonku, čímž dochází k bobtnání vnitřních buněk, trhání vnějších vrstev a rychlejší absorpci bakterií. V dnešní době se máčení nepoužívá, neboť je časově náročné a produkuje velké množství znečištěné vody [57].

Enzymaticky

Enzymatický rozklad je ekologický, za použití vhodných enzymů dle daného materiálu. Na toto téma bylo uskutečněno mnoho výzkumů [50, 51, 56].

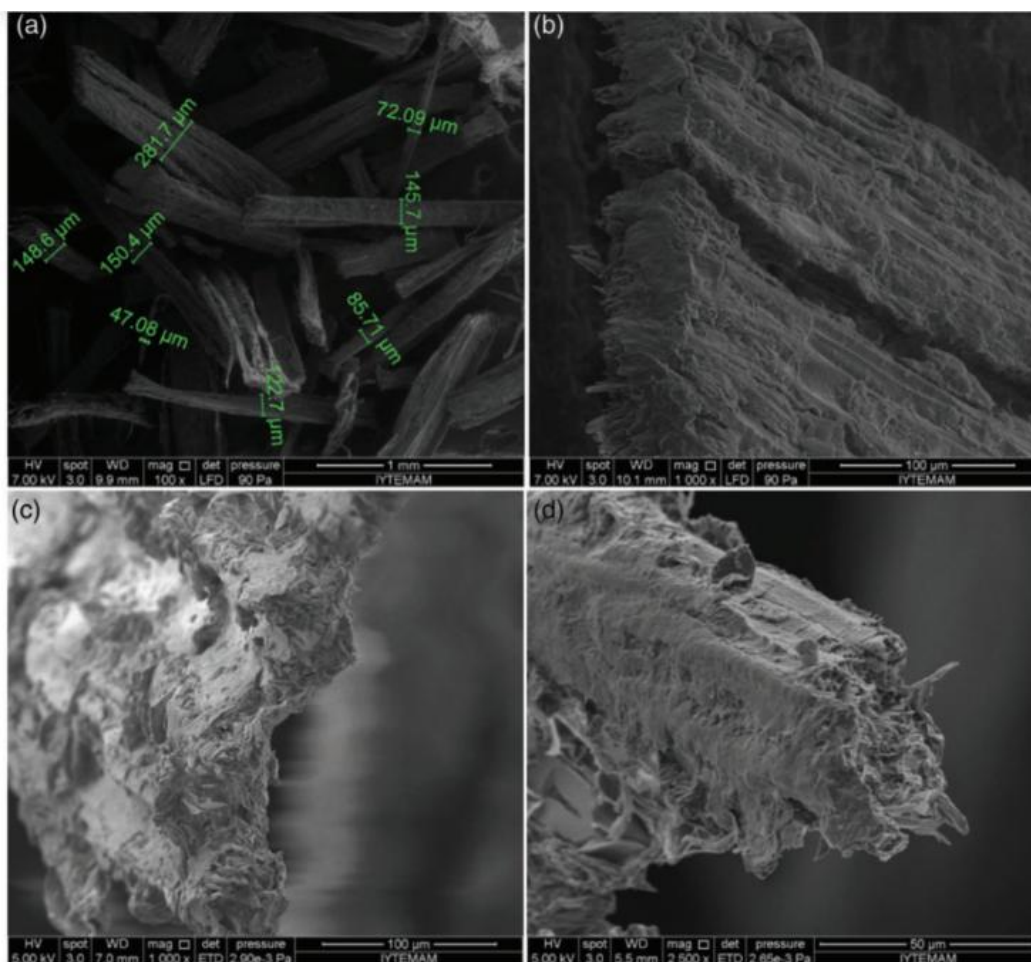
Principem této metody je rozklad pektinových vrstev pomocí reakcí enzymů (vylučovaných mikroby) a mechanického namáhání [57]. Obvykle jsou používány směsi s obsahem pektinázy.

Dále existuje také rozklad mechanickými způsoby a pomocí působení chemikálií.

1.1. Vlastnosti lipových vláken

Tabulka 1.4: Srovnání mechanických vlastností přírodních vláken [3]

Vlákno	Poměrná pevnost [Mpa]	Modul pružnosti [Gpa]	Tažnost [%]
Lufa	385±11	12.2±1.0	2.65±0.05
Juta	400–773	10–30	1.5–1.8
Ananas	180–748	25–80	1.6–3.2
Ramie	400–938	61.4–128	3.6–3.8
Len	500–1500	27.6	2.7–3.2
Kenaf	930	53	1.6
Konopí	690	70	2.0–4.0
Abaca	756	31.1	2.9
Sisal	511–635	9.4–22	2.0–2.5
Kokos	95–220	2.5–6	13.7–51.4
Lípa	675.4±45.7	61.0±9.8	2.95±0.20



Obr. 1.11: REM snímky lipových vláken: (a a b) celkový pohled, (c a d) lomy vláken
(měřítko a = 1 mm; b, c = 100 μ m; d = 50 μ m)

Dle [3] se průměr vláken pohybuje v rozmezí 40–300 μ m (Obr. 1.11). Průměrný průměr byl orientačně odhadnut na 131.75 μ m. Tento fakt je ovlivněn výskytem vláken ve svazcích. Na snímcích z REM je možné vidět lomy lipových vláken a je zřejmé, že vykazují křehké chování. (Obr. 1.11 c – d). Pevnost v tahu v závislosti na poměrném prodloužení ukazuje křehké chování těchto vláken při malém zatížení (3–5 %), podobné vláknům, jako jsou sisal, ananas, a abaca.

Úspěch lýkových výrobků (zejména lan) v minulosti souvisí částečně s prostředím, ve kterém se používaly, a zároveň s unikátní kombinací jejich vlastností. Vyšší pevnost lipového lýka proti lýku jiných druhů je možné spojit s faktem, že lípa neprodukuje **reakční dřevo**⁸ [24, 26].

⁸ Reakční dřevo je jednostranná změna tloušťky letního dřeva letokruhů. Vzniká reakcí stromu na namáhání, zejména vlivem větru, delšího zatížení sněhem či váhou těžkých větví. Je příčinou silného nepravidelného borcení a praskání dřeva. Dělí se na tlakové dřevo – jehličnany a tahové dřevo – listnaté dřeviny [58].

Lýko nejbližší kmenu je jemnější než to, které se nachází na vnější straně, což je způsobeno směrem růstu nových vrstev. Bylo uvedeno, že vlákna získaná bez biologické degradace mohou být až dvojnásobně pevnější. Nicméně i při zpracování pro dosažení nejvyšší pevnosti dosahují hodnoty k hranici pouhých 13 % pevnosti konopného nebo nylonového provazu. (Tabulka 1.4)

Tabulka 1.5: Srovnání mechanických vlastností trojmo stáčeného lana o průměru 12 mm z lipového lýka, konopí, abaca a nylonu.[2]

Vlastnost	Lípa	Konopí	Abaca	Nylon
Pevnost [N]				
suchá	1930	8624/11 270	10 457	29 400
mokrá	2830	-	-	-
Tažnost [%]				
suchá	10.7	-	15	45
mokrá	15.4	-		
Odhad jemnosti [ktex]	53.6	113.8	104.5	93.6
Hustota [g/cm ³]	< 1	-	1.48	1.14

Některé zdroje uvádí, že lýková lana jsou obzvláště pevná při používání za mokra [24, 30]. Tento fakt byl potvrzen v testu [59], kde se pevnost zvýšila o 47 % (viz Tabulka 1.4) [2].

Provazy z lipového lýka odolávají hnilobě [32]. Absorpce vody je minimální, což je rozhodující faktor pro rozvolňování uzlů [30, 32]. Omezené bobtnání a nízká hmotnost způsobuje, že lano na vodě plave, a tudíž je výhodné pro rybaření [24, 30]. Díky biologickému rozkladu je lano měkké na omak [24], pravděpodobně více než současné alternativy. V dřívějších dobách, kdy se pracovalo bez rukavic, byla tato vlastnost ceněná. Nízká tažnost je další vlastností, která byla stěžejní pro používání na lodích [30]. Kombinace těchto faktů je možným vysvětlením, proč bylo lipové lýko vedle konopných vláken tak dlouho používané [24, 30]. Na druhou stranu je ale náchylné k oděru a náročné na zpracování [21, 24, 27].

Termické vlastnosti lipových vláken:

TGA – Termogravimetrická analýza

Je používána pro kvalitativní měření a sleduje změnu hmotnosti vzorku. Výsledkem je křivka uvádějící závislost hmotnosti vzorku na teplotě a čase. Používá se pro identifikaci polymerů, hodnocení jejich termické a oxidační stability a vlivu aditiv [60].

Dle [3] vypadá průběh termogravimetrické křivky lipového lýka následovně:

- hmotnostní úbytek do 110 °C je zapříčiněn odpařením vody a je menší než 1 %, což dokazuje minimální sorpční vlastnosti lýka. Je známo, že sorpční schopnost ovlivňuje zejména množství hemicelulóz, dále spolu s přístupnou a amorfni celulózu a ligninem [61].
- Degradace začíná v oblasti teploty 238 °C. To koresponduje s depolymerizací hemicelulóz a štěpení glykosidových vazeb celulózy [62].
- Teplotní pík maximální degradace je odhadován na 337 °C s hmotnostním úbytkem 42 %
- Rozklad ligninu pravděpodobně probíhá kontinuálně v průběhu celého procesu

Termická stabilita lipového lýka se pohybuje kolem 240 °C

1.2. Vlastnosti vrbových vláken

Pozn. Následující výsledky vychází ze zkoumaného materiálu, jímž byl druh *S. triandra* × *S. viminalis* (trojmužná a košíkářská), jakožto odpadní materiál určený ke spalování.

Díky nižšímu obsahu celulózy (viz chemické složení vláken) jsou vrbová vlákna méně pevná (funguje zde přímá úměrnost) než jiná lýková vlákna.

Tabulka 1.6: Mechanické vlastnosti vrbových vláken [4]

Vlákno	Poměrná pevnost [Mpa]	Modul pružnosti [GPa]	Hustota [g/cm ³]
Vrba	307.6 ±130.1	16.9 ±8.4	1.19 ±0.2

Pro srovnání s tabulkou 1.4 jsou vrbová vlákna přibližně o polovinu méně pevná než vlákna lipová. Pevností a modulem pružnosti se mohou přirovnat ke vláknům z lufy nebo juty. Lýková vlákna z vrby mají podobné chemické složení jako její dřevo, s rozdílem obsahu popela, který je u lýkových vláken vyšší. Navíc také obsahují více ligninu a méně celulózy než ostatní běžná přírodní vlákna.

Dále mají tato vlákna nízkou hustotu a vykazují slibné hodnoty pevnosti (v testování jednotlivých vláken). Fyzikálně mechanické vlastnosti lze modifikovat v procesu získávání a přípravy vláken.

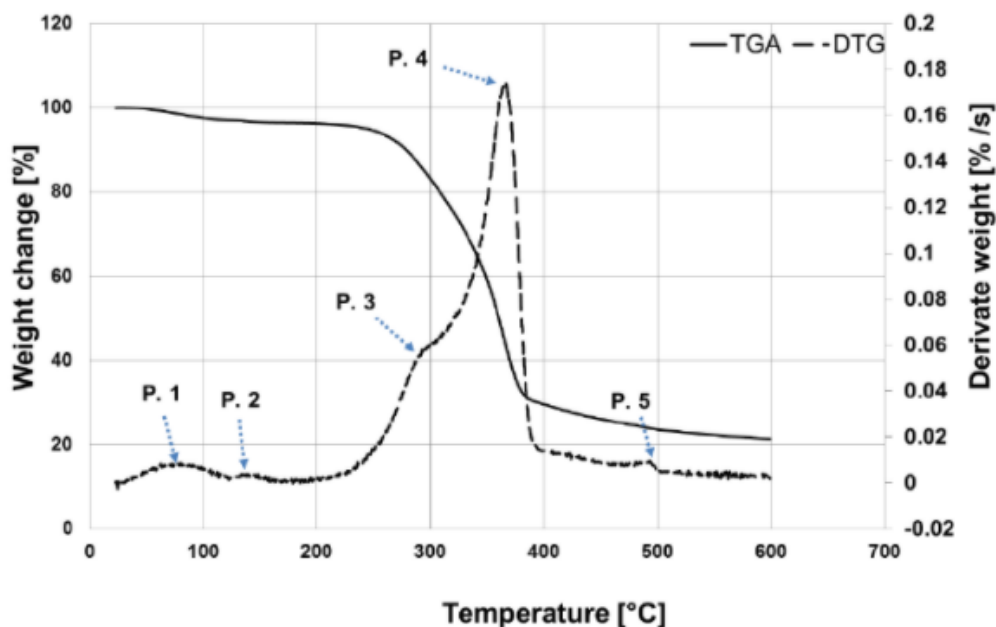
Termické vlastnosti vrbových vláken

TGA [4]

Stejně jako v případě lipového lýka i zde dochází k odpaření vody do 110 °C (Obr. 1.12). Hlavní úbytek ligninocelulózy přichází kolem 220 až 240 °C [63, 64]. Počátek degradace byl zaznamenán teplotou 257 °C, maximum degradace potom jako 365 °C.

První derivaci termogravimetrické křivky (Obr. 1.12 – DTG) lze interpretovat následovně:

- První pík odpovídá odpaření nestabilních prvků (50 až 70 °C)
- Druhý pík znázorňuje počáteční degradaci ligninu. Tím, že je lignin amorfní a velmi variabilní ve své struktuře, je jeho teplota degradace taktéž velmi variabilní (115 až 500 °C) [65, 66].
- Třetí a čtvrtý pík ukazují superpozici degradace ligninu a hemicelulóz (250 až 350 °C) a ligninu a celulózy (320 až 400 °C), neboť hemicelulózy začínají degradovat kolem 160°C s maximem v rozmezí 180 až 560 °C a celulóza degraduje obvykle při teplotě kolem 340 °C [65].
- Pátý pík odpovídá oxidační degradaci zuhelnatělých zbytků vzorku [67].



Obr. 1.12: TG a DTG křivka vrbových vláken

1.3. Užití

Významné rozdíly mezi jednotlivými druhy kůry jsou určující pro jejich následné použití. Kůru lípy, jilmu, olše aj. lze za určitých modifikací použít jako dobré filtrační materiály. Pro oblast stavebnictví se nabízí možnost přimísení namleté kůry do cihel, které po následném vypálení vykazují vyšší tepelnou izolační schopnost spolu s vyšší porositou. Další vhodné aplikace potom mohou být: topné peletky nebo mulčovací kůra [9].

Výroba papíru a viskózy

Dle obsahu celulózy je možné uplatnit lýko jako surovinu pro výrobu viskóзовých vláken. Současný stav lesů spojený s invazí kůrovce na smrky (které se současně používají k výrobě viskózy) by mohl být příležitostí ke zvýšení kultivace listnatých stromů za tímto účelem, přestože je doba jejich růstu delší.

Viskóza vyžaduje vysoký podíl čisté celulózy. V případě, že tento podíl je nižší, stále se dá buničina využít pro výrobu papíru a papírenských produktů nebo do degradabilních polymerů.

Výroba papíru

Pro výrobu papíru se tradičně využívají jehličnany, jako jsou jedle, borovice, nebo smrk, neboť produkují delší vlákna než stromy listnaté, ze kterých se využívá například topol, javor či dub [68].

Mechanická odolnost papíru závisí na obsahu celulózy a ligninu v surovém materiálu a pevnosti buničiny (která je přímo úměrná obsahu celulózy) [69]. Lignin na druhou stranu je nežádoucí komponenta, kterou je nutno odstranit v průběhu výroby, a tento proces vyžaduje značné množství chemikálií a energie.

Podle [70] rostliny s obsahem celulózy vyšším než 34 % jsou vhodné pro výrobu papíru. Vyšší obsah ligninu komplikuje proces zpracování buničiny a je ekonomičtější i ekologičtější, pokud obsah ligninu nepřekročí hranici 30 % a je minimální. Vysoký podíl popela je také nežádoucí [71].

Vrbové a lipové lýko (a celkově dřevo) je materiálem použitelným pro výrobu papírenských komodit, zejména tam, kde není vyžadována vysoká mechanická odolnost, jako například noviny, papír pro hygienické potřeby nebo hedvábný papír, neboť délka vláken je relativně malá. Vyšší obsah ligninu výrobu ekonomicky patrně nezlevní, ale v současné době, kdy se jehličnaté lesy potýkají s invazí kůrovce, by bylo na zvážení rozšíření listnatých druhů, jako je vrba či lípa, za účelem výroby papíru.

Kompozitní materiály

Dle [3] je možné použít lipová vlákna jako výztužný materiál pro nenasycené polyestery díky relativně dobrým adhezivním vlastnostem a vysoké termické stabilitě.

Pro vrbu byla také potvrzena teoretická možnost využití jako výztuže do kompozitních materiálů [4].

Archeologie a historické rekonstrukce

Důležitou oblastí použití stromového lýka je archeologie a obory zabývající se rekonstrukcí historických artefaktů a zkoumání prastarých technologií, které byly v minulosti používány v denním životě. V Německu se tímto zabývá například Anne Reichert [1], na půdě České republiky pak například Ústav pro archeologii nebo Centrum tradičních technologií v Příboře (Muzeum Novojičínska)(viz Obrázky 1.13–1.15).

Z Muzea Novojičinská: klobouk, kapsy, provázky a vázací materiál, síť, obuv



Obr. 1.13: Kapsa s lýkovou osnovou a kopřivovým útkem, klobouk z plátu lýka



Obr. 1.14: Slaměná ošatka vázaná lýkem a příze z lipového lýka



Obr. 1.15: Lýčené střevíce (Rusko), vzorek sítě z lýkové příže

Medicína

Lipové „jarní“ dřevo se dá využít i v medicíně. Tato tzv. dřevní běl se nachází na vnější části kmene pod kůrou a odvar z ní pomáhá při poruchách žlučových, trávicího traktu a složí jako detoxikační prostředek [72].

Provazy a lana

V Norském Hardangeru nabízí přízi z lipového lýka s cenou 1850 norských korun za kilogram (v přepočtu cca 4500 Kč/kg). Lana jsou na objednávku [73].

1.4. Možnosti v dnešní době

V rámci ekologie a návratu k technikám dřívějších dob, se pomalu navrací i zájem o lýková vlákna. Jejich potenciální využití si lze představit například jako výztuže kompozitů, izolací, biodegradabilních materiálů, lokálně užitných výrobků a zejména při archeologicko-muzejních rekonstrukcích památek. Nicméně jejich získávání, zpracování i kultivace suroviny jsou časově dosti náročné, a proto **není možné** tuto surovinu uvažovat pro masové průmyslové využití.

Záměrná výsadba stromů pro získávání lýka by mohla přispět k řešení problémů odlesňování a zadržování vody v krajině. Zejména listnaté stromy by měly být preferovány při řešení kalamit kůrovce (přestože jsou i škůdci napadající tyto druhy).

1.5. Lesní škůdci a kůrovec

Lýkožrouti

Lýkožrout smrkový je v posledních desetiletích největším škůdcem smrkových lesů v celé Evropě. Každoročně se vlivem sucha zvyšuje množství dřeva napadeného tímto kůrovcem, a to nejen na našem území.

L. smrkový napadá primárně čerstvě odumřelé stromy, porosty postižené suchem a jinak odumírající stromy. Pokud dojde k přemnožení, přesouvá se i na stromy zdravé. Z důvodu dlouhodobého nedostatku vláhy nejsou stromy dostatečně vitální, čímž se stávají snadnější kořistí pro lýkožrouty. Tomuto faktu nepřispívá ani skutečnost, že zvyšující se teploty podporují vývoj l. smrkového, a ten se tak může lépe množit. Nezanedbatelnou roli v ochraně lesa pak hraje i prevence a včasný zásah.

Napadá různé druhy smrků, výjimečně i modřín a při kalamitách i některé druhy borovic. Mezi další kalamitní lýkožrouty patří také lýkožrout lesklý a lýkožrout severský.

[74]

Škůdci lipových porostů

Lípa má relativně málo škůdců z řad hub a hmyzu. Mezi nejvýznamnější patří pilatka lipová (*Caliroa annulipes*), která se může přemnožit zejména na lipových porostech.

Housenky tohoto škůdce napadají listy, které hnědnou a usychají. Postižené stromy vypadají jako ožehnuté ohněm. Při větším zasažení strom zpomalí růst a v krajních případech odumírá. Pilatka takto postihuje nejen lípy, ale i vrby a duby.

Lípu napadá také mšice zdobnatka lipová (*Eucalipterus tiliae*), jejíž vegetace podporuje vývoj hub, které následně omezují vývoj listů jejich povlakováním. V menší míře je možné se setkat s housenkami motýla *Bucculatrix throcella* a s roztočem lipových (*Eriophyes tiliae*), [74] a také s chroustem maďalovým. [75]

2. PRAKTICKÁ ČÁST

2.1. Zpracování vrbového lýka

Vrbové pruty o tloušťce v průměru 1.5 cm byly nařezány koncem dubna 2020 z padlého stromu na Libereckém letišti.

Následně byly máčeny v pitné vodě po dobu 3 dní, aby šla lépe oddělit kůra od dřevní části.

Po sloupání se kůra nechala máčet v pitné vodě (která byla pravidelně vyměňována za čerstvou) po dobu 11 týdnů, než bylo lýko dokonale oddělené.

Následovalo ojednocení vrstev a sušení.

2.2. Zpracování lipového lýka

Lipové kmeny o tloušťce předloktí a délce cca 2 m byly nařezány v náletovém lesíku na Praze 5 na počátku května 2020. Kmeny byly zpracovány na kratší části a namočeny do sudu s dešťovou vodou na 1 týden. Poté se sloupáním oddělila kůra a byla ponechána k dalšímu biologickému rozkladu v sudu po dobu 5 týdnů. (Rozklad bylo možné ukončit již ve 4. týdnu). Následovalo oddělení jednotlivých lýkových vrstev promýváním ve vodě a sušení.



Obr. 2.1: Sloupaná kůra připravená pro máčení



Obr. 2.2: Oddělené vrstvy lýka před fází sušení

2.3. Postup ojednocování

Způsob získání lýka je popsán v rešeršní části. Kmen/prut je možné oloupat ihned po extrakci z živé rostliny. Čím déle po sběru suroviny je loupání prováděno, tím obtížnější je postup. Tudíž je strategické nechat surovinu namočenou ve vodě po určitou dobu.

Nejprve je veden podélný řez skrz celou tloušťku kůry. Pomocí špachtle, klínu či jiného plochého předmětu (nejlépe dřevěného) je skrze zářez postupně oddělována kůra. Je nutné postupovat opatrně a rovnoměrně po celé délce, aby se lýko trhalo na menší části co nejméně.

Neexistuje exaktní popis postupu, tudíž je celý proces individuální a záleží na zkušenosti zpracovatele, tloušťce kůry míře jejího rozkladu atd.

Proces máčení je nejlépe provádět v přírodní tekoucí vodě. Nicméně stačí i nádoba s dešťovou vodou, jež je použita v tomto experimentu. Celý proces je nutné pravidelně kontrolovat, aby nedošlo k přílišné degradaci lýka. Doba máčení závisí na teplotě vody a obsahu bakterií.

Jakmile je proces máčení hotov, je bez problému možné sloupnout kůru od lýka. Následně je nutné v čisté vodě svazky důkladně propláchnout od vzniklého slizu. Tím se od sebe oddělí i jednotlivé vrstvy lýka a je možné je roztrždit na hrubší a jemnější.

Sušení samo o sobě je proces rychlý, neboť lýko má minimální sorpční schopnost.

2.4. Povětrnostní vlivy

Na vývoj rostliny má vliv řada faktorů. Podnebný pás, teplota, vlhkost, kvalita půdy a ovzduší, znečištění aj. Strom rostoucí ve vhodných podmínkách bude produkovat více dřeva a lýka, než strom v podmínkách méně příznivých.

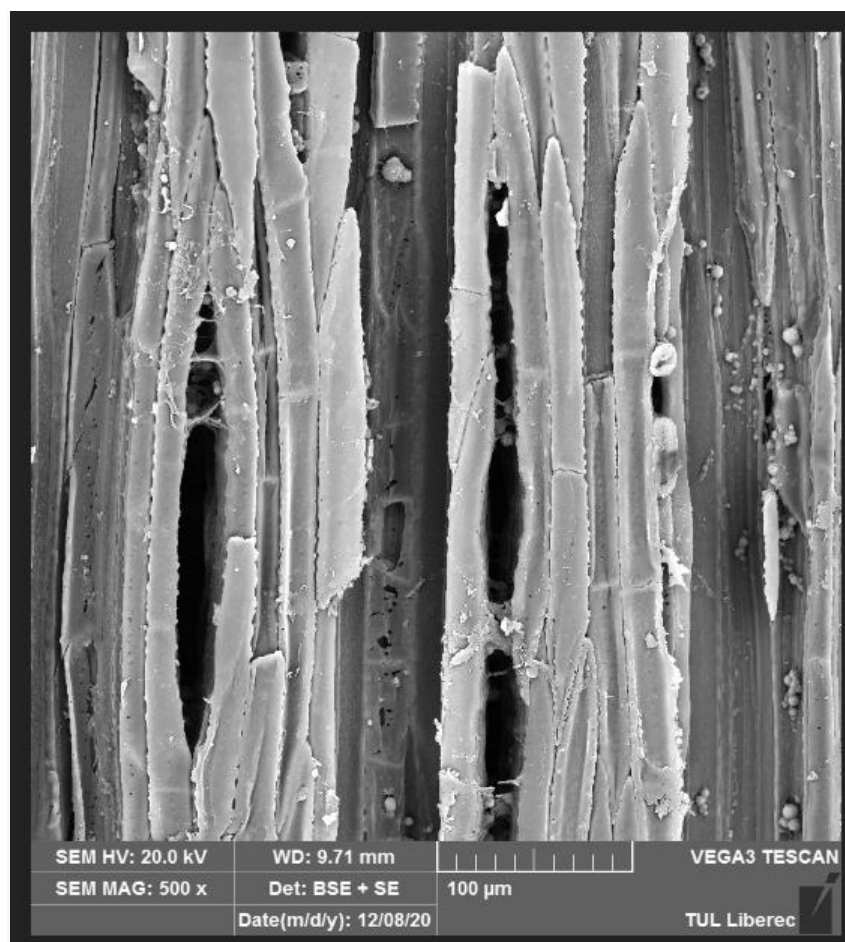
2.5. Další zpracování lýka

Při přípravě příze/provázku je nutné nejprve ručně rozdělit lýkové pásy na potřebnou šíři a smočit pásy ve vodě, aby byly poddajnější. Tento postup se dá přirovnat k předední lnu mokrou cestou.

2.6. Mikroskopická měření

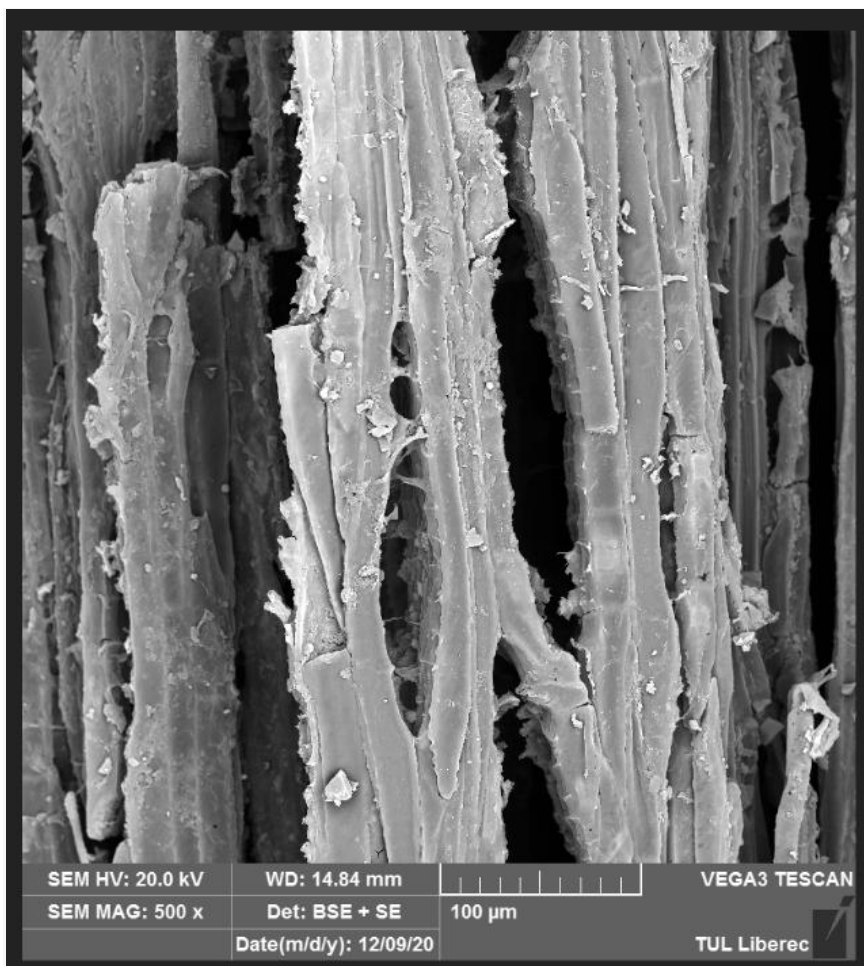
REM (Rastrovací elektronový mikroskop)

Rastrovací elektronová mikroskopie se používá pro pozorování povrchů materiálů pomocí rastrovacího paprsku elektronů, který skenuje po vzorku. Obraz vzniká snímáním signálu sekundárních (odražených) nebo vyražených elektronů po interakci se vzorkem. Proces snímání obrazu se realizuje ve vakuu a vzorky musí být vodivé (čehož se dosahuje pokovením). Tato metoda se využívá například pro analýzu struktur, lomů a defektů nejružnějších textilií, měření tloušťky nánosů atd. [76, 77]



Obr. 2.3: Snímek svazku lipových vláken z vnitřní vrstvy lýka (mladší)

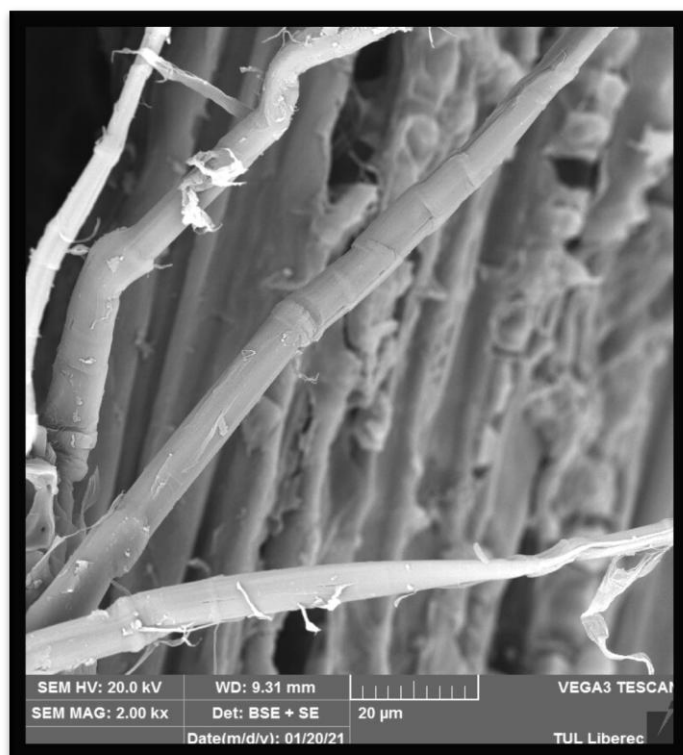
Na obrázku 2.3 je patrná stavba elementárních vláken z jednotlivých buněčných segmentů, uspořádaných pod sebou. Je možné pozorovat kolénka, typická pro lýková vlákna. Konce mají tvar oblých špiček. Pozoruhodné je také povrchové vroubkování, podobné vláknům kokosovým.



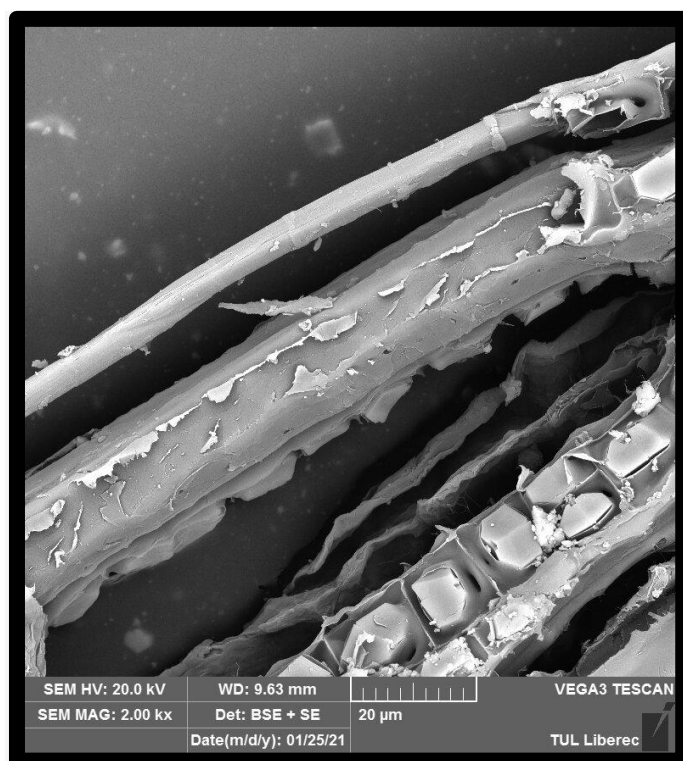
Obr. 2.4: Snímek svazku lipových vláken z vnější vrstvy lýka (starší)

Oproti snímku (2.3) je na snímku 2.4 patrně více nečistot a vlákna jsou více porušená.

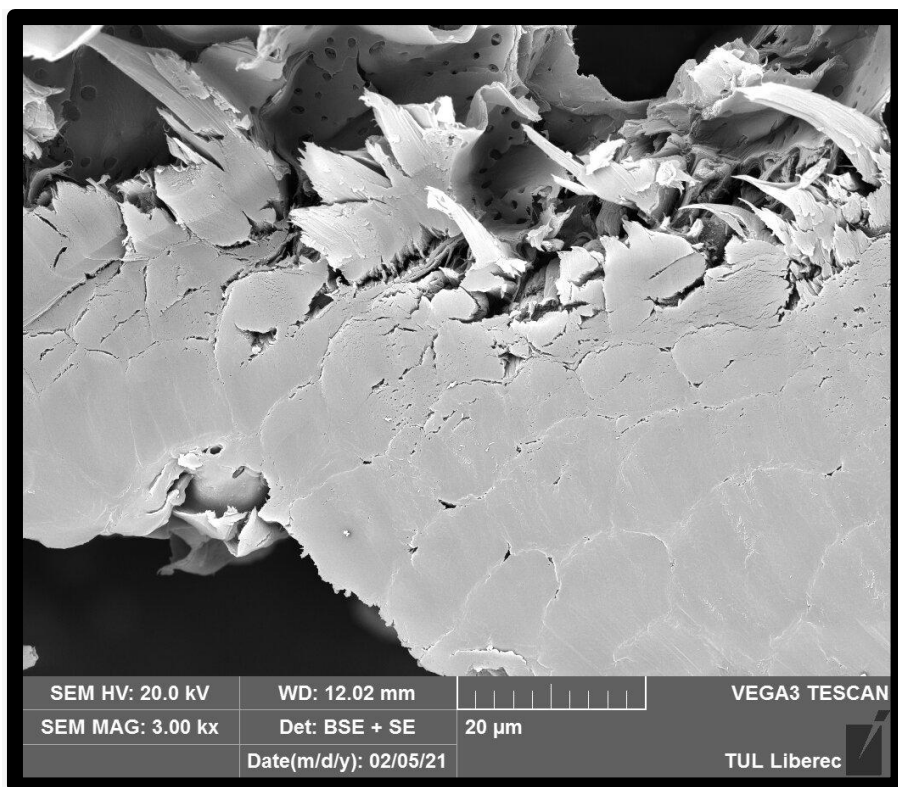
Každé lýkové vlákno je ve skutečnosti svazek deseti až sta jednotlivých buněk, které se překrývají na koncích a formují délkový útvar vlákna, které zdánlivě prochází celou délkou vnitřní kůry. [4]



Obr. 2.5: Snímek vrbových fibril oddělených ze svazku technických vláken – stejně jako u lipového lýka jsou zde patrná kolénka



Obr. 2.6: Vrbová vlákna a zbytky pojivých tkání – často se jedná o parenchym a pektiny, které nebyly rozloženy v procesu máčení



Obr. 2.7: Příčný řez lipovou kůrou (nahore – odumřelé buňky; dole – svazky vláken).

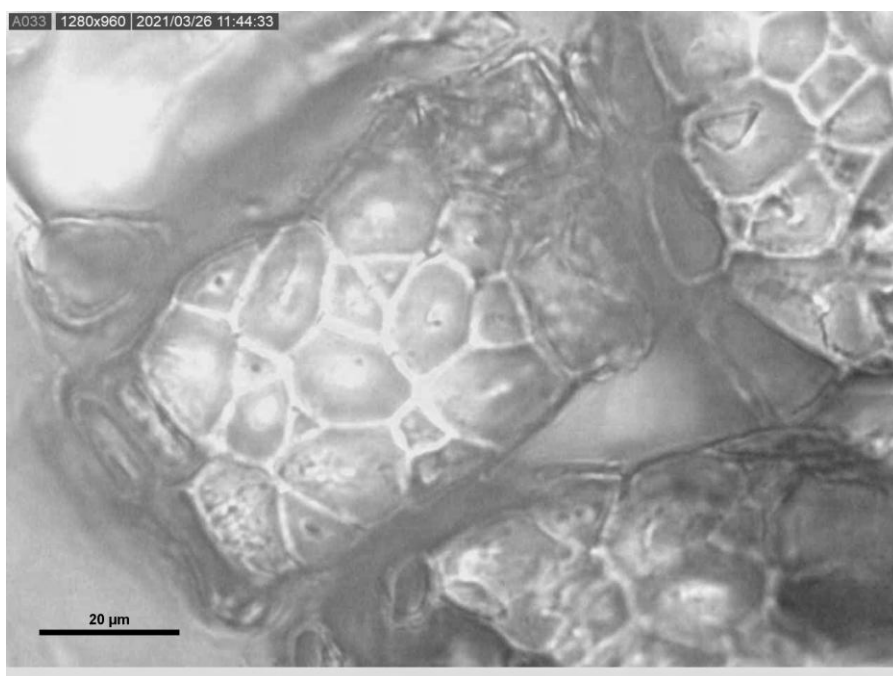
Na některých vláknech jsou patrné lumény.

2.7. Obrazová analýza (OA) NIS Elements

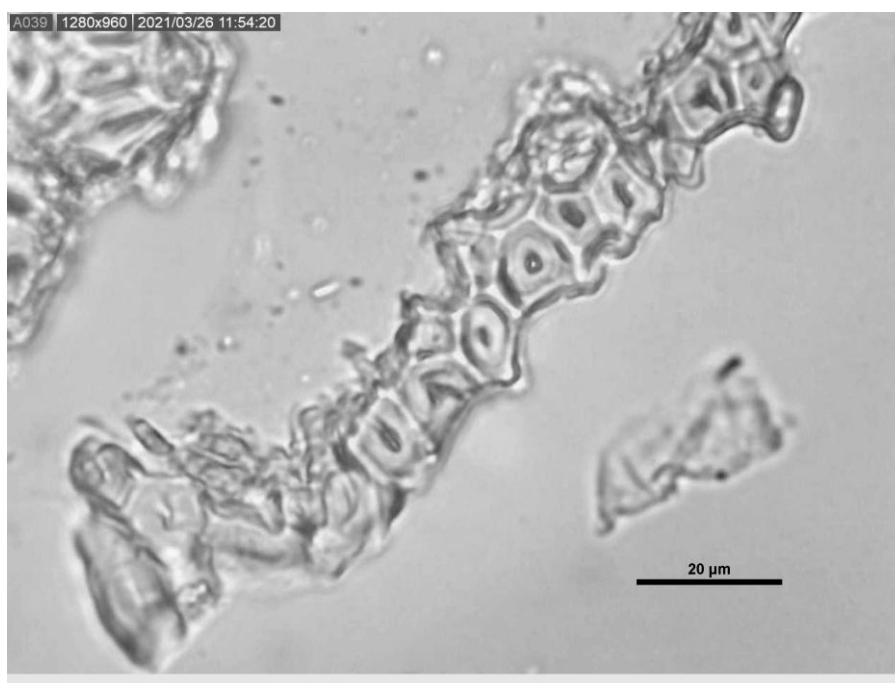
Snímáním příčných řezů a jejich vyhodnocením v obrazové analýze NIS Elements byly zjištěny parametry pro plochu řezů, minimální a maximální feret a kruhovitost.

S pomocí těchto hodnot byl následně predikován odhadu jemnosti jako zpřesňující výpočtu pro určení jemnosti z průměru vláken/svazků (kapitola 2.8).

Již z obrázku 2.8 a 2.9 je patrné, že lipová vlákna mají větší plochu řezů, což významně ovlivňuje mechanické charakteristiky, jako je pevnost a tuhost vláken. Rozdíl ve velikosti řezů je dán jednak druhem rostliny, ale mnohem významněji **stářím** rostliny samotné. (V případě tohoto výzkumu bylo lipové lýko odebráno ze starší rostliny, tudíž byla očekávatelná i větší plocha řezu vláken.) Grafické výsledky měření řezů jsou uvedeny na obrázcích 2.10 a 2.11, statistické vyhodnocení v Příloze 1.

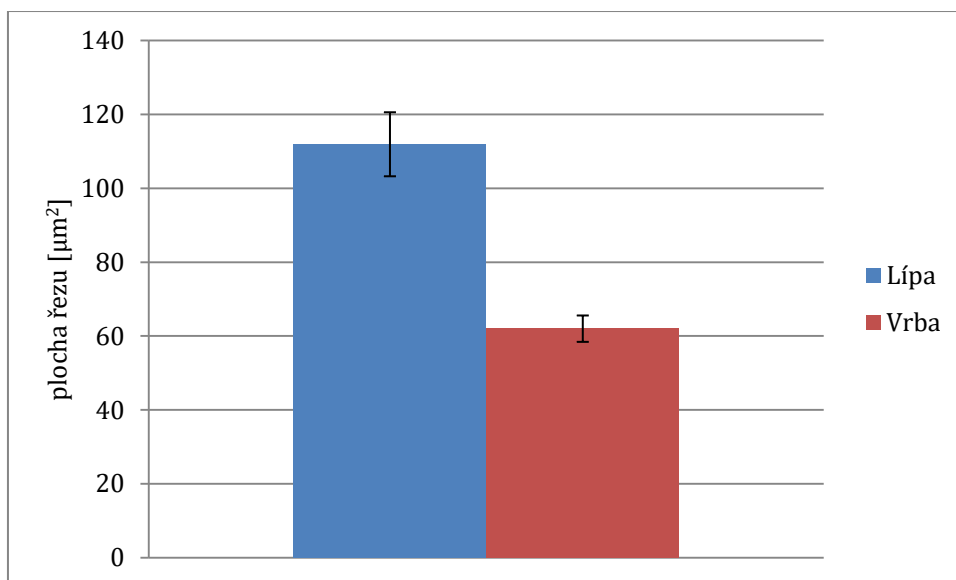


Obr. 2.8: Příčný řez lipovým lýkem ze světelného mikroskopu – řezy se vzhledově velmi přibližují konopným vláknům

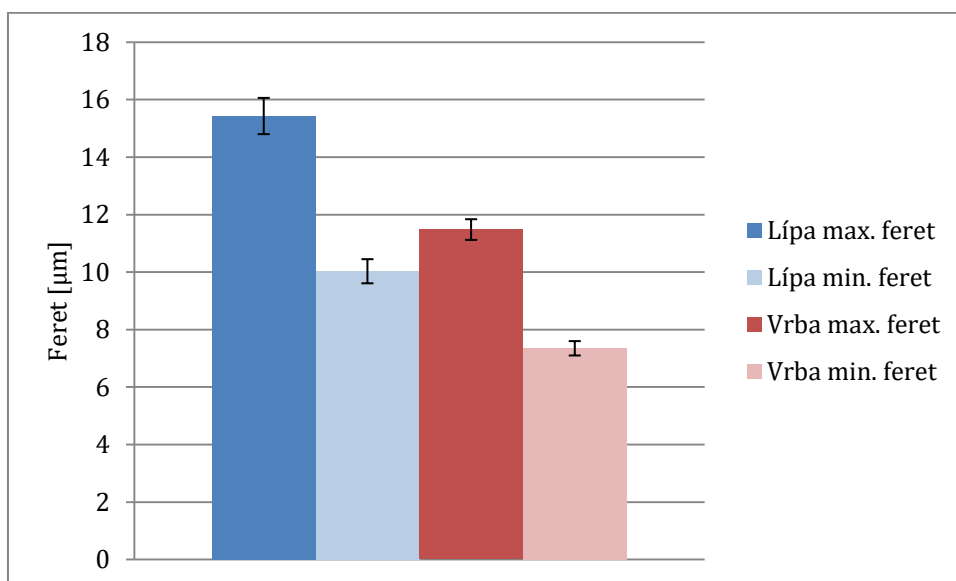


Obr. 2.9: Příčný řez vrbovým lýkem ze světelného mikroskopu

Oproti lípě je na obrázku 2.9 patrná mírně vyšší kruhovitost a podoba pětiúhelníkovými řezy lněných vláken.



Obr. 2.10: Plocha řezu vrbových a lipových vláken



Obr. 2.11: Minimální a maximální ferety pro vlákna

Kruhovitost pro obě vlákna se pohybuje kolem 0.8 (viz. Příloha 1).

2.8. Predikce jemnosti vláken

Hustota vláken byla zjištěna pyknometricky, dle vzorce (1):

$$\rho = \frac{m_m \cdot \rho_k}{m_{pk} + m_m - m_{pkm}} \quad (1)$$

kde ρ = hustota materiálu [g/cm³]

m_m = hmotnost materiálu [g]

ρ_k = hustota kapaliny [g/cm³]

m_{pk} = hmotnost pyknometru s kapalinou [g]

m_{pkm} = hmotnost pyknometru s kapalinou a materiálem [g]

Tabulka 2.1 : Zjištěné hodnoty hustot pro lipová a vrbová vlákna

Vlákno	Lípa	Vrba
Hustota [g/cm ³]	0.8699	1.1109

Odhad jemnosti vychází z předpokladu kruhových vláken.

Je-li jemnost

$$T1 = \rho \cdot S \cdot 10^6 \quad (2)$$

(ρ = hustota materiálu [kg/m³], S = plocha řezu [m²])

$$T2 = \rho \frac{\pi \cdot F_{max}^2}{4} 10^6 \quad (3)$$

(F_{max} = maximální feret [m])

potom poměrem těchto hodnot vznikne korekční faktor K

$$K = \frac{T1}{T2} [-] \quad (4)$$

Z něj můžeme vyjádřit zpětně jemnost $T1$

$$T1 = K \cdot T2 \quad (5)$$

a po dosazení za $T2$ dostaneme výsledný vztah pro zpřesnění odhadu jemnosti, který lze aplikovat v dalším kroku při výpočtu jemností (a poměrných pevností) technických svazků a celkově tak zjednoduší výpočet $T1$ pro lýková vlákna.

$$T1 = K \cdot \rho \frac{\pi \cdot F_{max}^2}{4} 10^6 = K \cdot \rho \frac{\pi d^2}{4} 10^6 = t \quad (6)$$

Tabulka 2.2: Korekční faktor pro lipová a vrbová vlákna

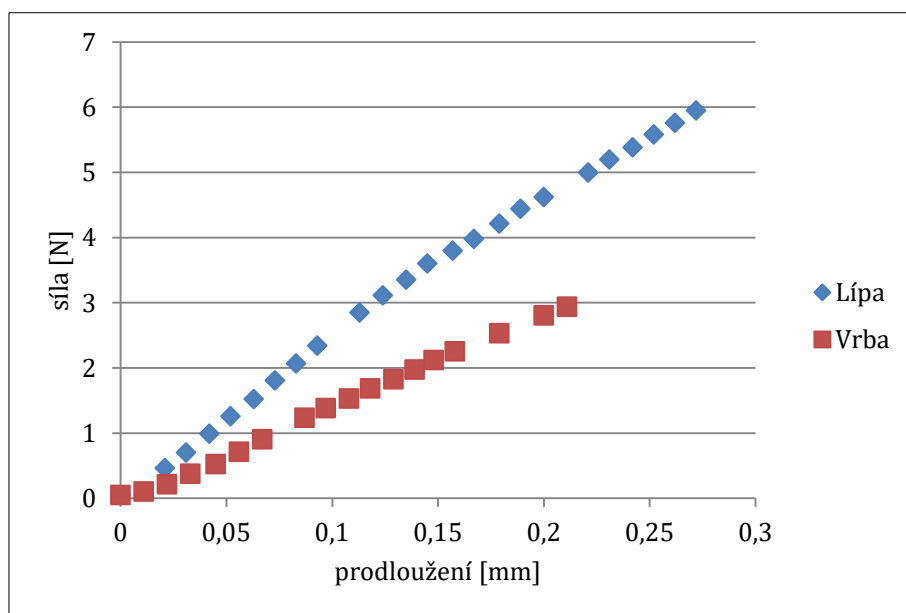
Vlákno	Lípa	Vrba
$K [-]$	0.57	0.59

Jelikož lýková vlákna nejsou v reálu kruhová, je tento fakt také zahrnut v korekčním faktoru, konkrétně skrze maximální feret. Tudíž se výsledek odhadu jemnosti přibližuje realitě i v tomto směru.

2.9. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti byly měřeny na trhacím přístroji Testometric M350-5CT za standardních klimatických podmínek (teplota = 24°C, relativní vlhkost vzduchu = 25 %) s upínací délkou 10 mm a rychlostí trhu 20 mm/min. Technické svazky byly pro potřeby této zkoušky zalepeny do papírových rámečků.

Získané údaje byly statisticky zpracovány a vyhodnoceny v programu Statistica. Průměry technických svazků byly měřeny podélně v obrazové analýze NIS Elements.



Obr. 2.12: Vzorové tahové křivky lipového a vrbového svazku vláken

Použité vztahy a výpočty

Poměrná pevnost

$$F_p = \frac{F}{t} \quad (7)$$

(F_p = poměrná pevnost [cN/tex], F = síla při přetrhu [N], t = odhad jemnosti vláken [tex])

Tažnost

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} 100 \quad (8)$$

(ε = tažnost vláken [%], Δl = prodloužení [mm], l = upínací délka [mm])

Počáteční modul (oblast pružné deformace – Hookův zákon)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{S}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (9)$$

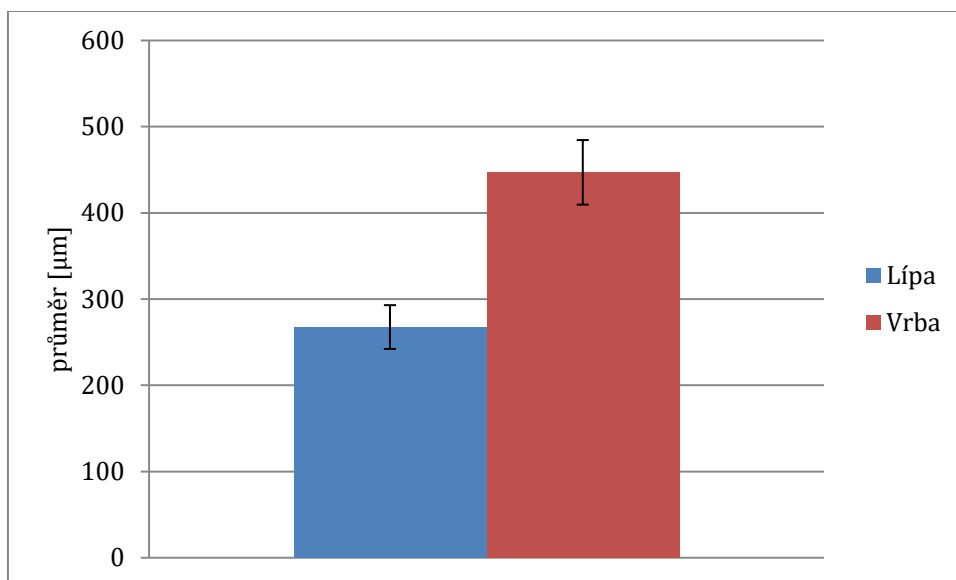
(E = počáteční modul v tahu [MPa], σ = napětí [MPa], F = síla [N], S = plocha řezu [mm²])

V textilní praxi se pak z důvodu obtížné definice průřezu vláken používá modul v jednotkách N/tex.

$$E = \frac{\sigma_p}{\varepsilon} = \frac{\frac{F}{t}}{\frac{\Delta l}{l}} \quad (10)$$

(E = počáteční modul v tahu [N/tex], σ_p = specifické napětí [N/tex], F = síla [N], t = odhad jemnosti [tex])

Veškerá data k následujícím grafům jsou uvedena v příloze 2. V příloze 3 jsou pak uvedeny navíc poměrné pevnosti v MPa a počáteční modul v N/tex.



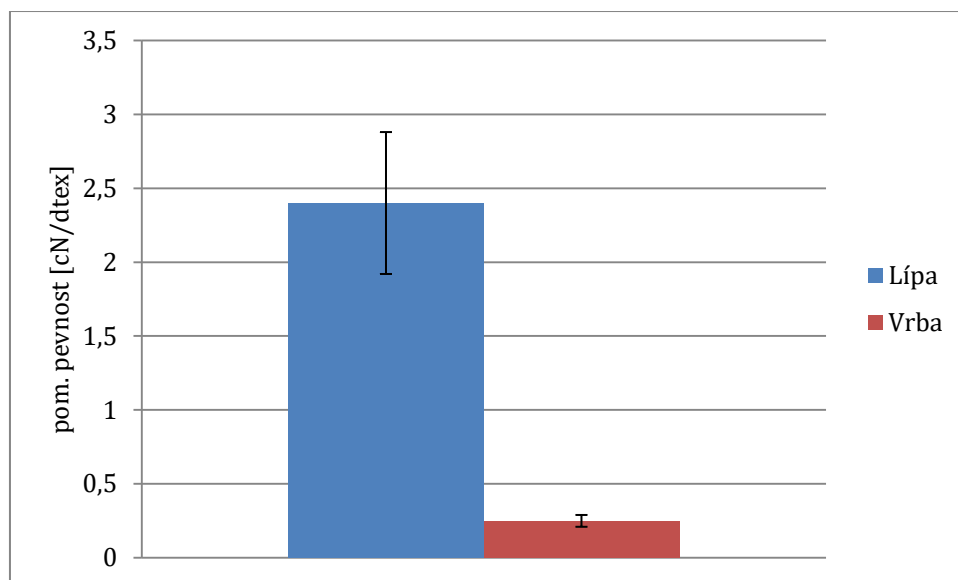
Obr. 2.13: Průměry technických svazků

Získané hodnoty průměrů na obrázku 2.13 korespondují s hodnotami jiných lýkových vláken dle [13]. Pro příklad: len (40–620 μm) konopí (160 μm) juta (30–140 μm) kokos (100–450 μm).

Je nutné brát na zřetel jistou variabilitu výsledných hodnot, která je způsobena závislostí na míře ojednocení svazků. V tomto experimentu bylo lýko rozčesáváno mechanicky na nejjemnější možnou míru, nicméně jinými technikami by šlo docílit dokonalejšího ojednocení.

Byl proveden pokus dle interní normy 21-104-01/01⁹, za účelem zjištění počtu elementárních vláken v průřezu svazku, ale získané hodnoty nejsou dostatečně vypovídající pro zahrnutí vlivu počtu vláken do predikce. Tomuto výzkumu by bylo nutné věnovat více času, který zde nebyl bohužel k dispozici.

⁹ Interní norma 21-104-01/01 Stupeň kotonizace lýkových vláken. FT TUL Výzkumné Centrum Textil, 2004

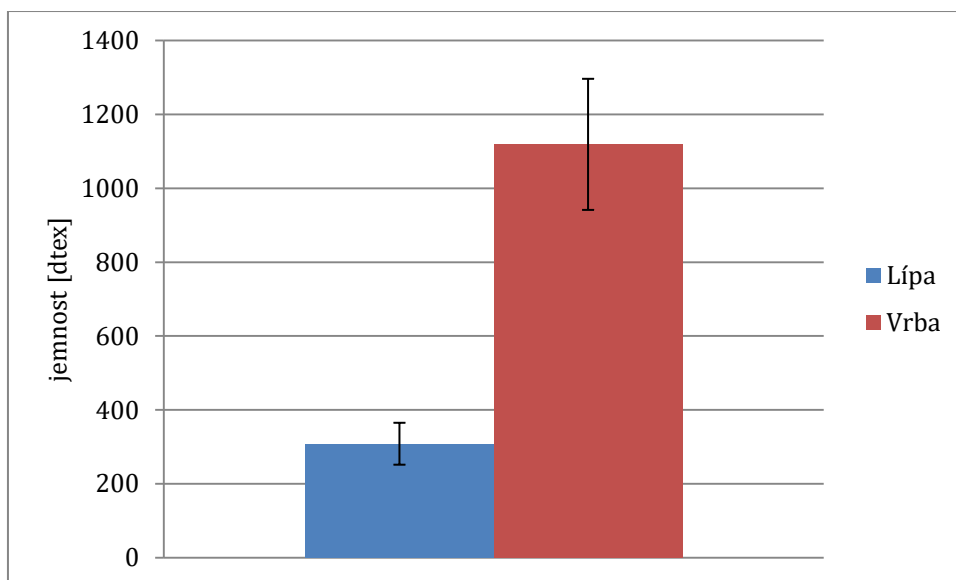


Obr. 2.14: Poměrná pevnost svazků

S hodnotami průměrů je svázána poměrná pevnost (Obr. 2.14), jejíž hodnoty jsou porovnatelné s pevností např. bavlny (2.7–4.3 cN/dtex), vlny (1–2 cN/dtex) či viskózy (1.6–2.5 cN/dtex)[13].

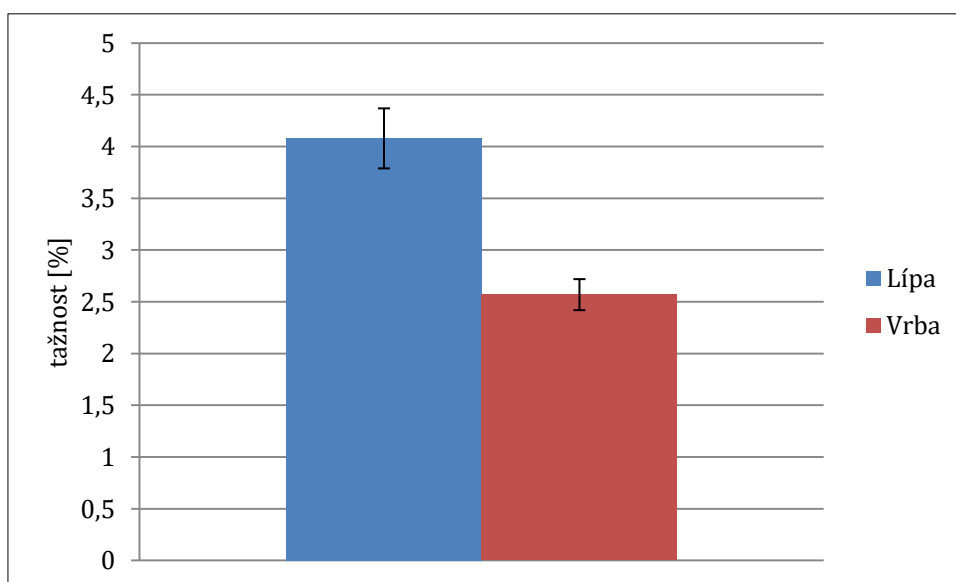
Svazky se chovaly křehce a na trhačce docházelo spíše k jejich prokluzům než k přetrhům. Průměrná poměrná pevnost vrbových svazků byla vypočtena 0.25 ± 0.04 cN/dtex a 2.4 ± 0.48 cN/dtex pro lipové svazky (hodnoty jsou zatíženy chybou odhadu jemnosti).

Poměrná pevnost vrbového lýka v tomto experimentu vychází jako zanedbatelná (Obr. 2.14). Lze předpokládat, že je to ovlivněno kvalitou získaného materiálu a jeho zpracováním. Při máčení zde došlo k nedokonalému ojednocení jednotlivých vrstev a určité míře poškození vlákenných svazků, tudíž reálnou pevnost je možné získat vyšší (viz. Tabulka 1.2). To ukazují jiné výzkumy na toto téma a např. lipové lýko může dosáhnout hodnot mechanických vlastností srovnatelných s konopným vláknem, pokud je materiál vhodně zpracován.



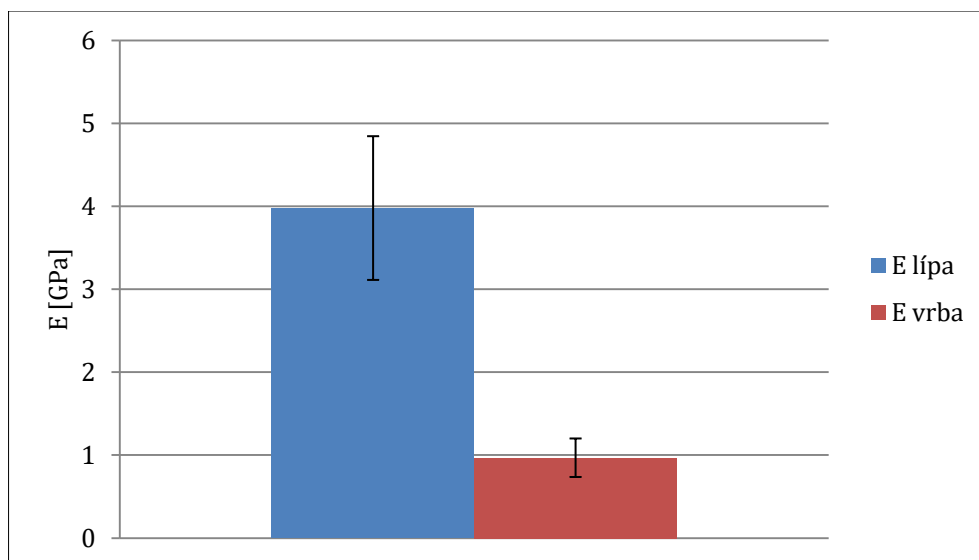
Obr. 2.15: Odhad jemnosti svazků

Jemnost technických svazků vychází opačně, než je tomu u samotných vláken (Obr. 2.15). Je to způsobeno nedostatečným rozdělením vrbových vláken při mechanickém rozčesávání.



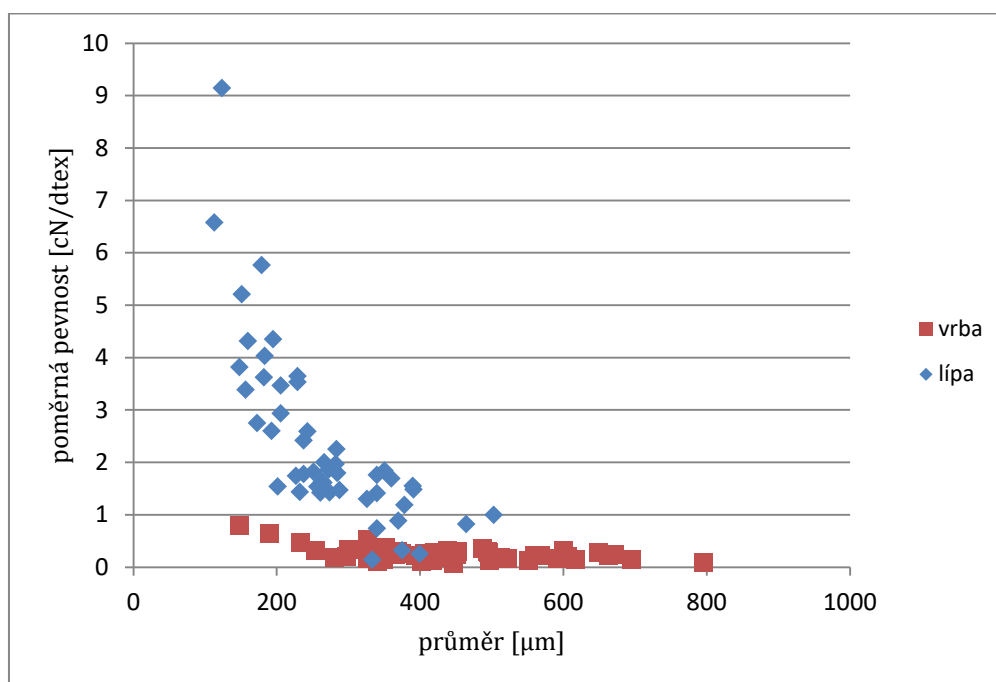
Obr. 2.16: Tažnost svazků

Tažnost se pohybuje v běžných mezích pro lýková vlákna [3]: přibližně 4 % pro vlákna lipová a 2.5 % pro vlákna vrbová (Obr. 2.16).



Obr. 2.17: Počáteční modul svazků

Počáteční modul v jednotkách GPa je relativně nízký (Obr. 2.17), v porovnání s jinými výzkumy. Tato skutečnost je zapříčiněna testováním technických svazků, kde pojivé pektiny mají menší pevnost a při ztížení dojde k posuvu vláken po sobě. V literatuře je možné nalézt hodnoty přesahující moduly vláken jako je sisal (10–22 GPa), len (27 GPa), juta (10–30 GPa) i konopí (70 GPa)[3].



Obr. 2.18: Srovnání poměrných pevností vrbového a lipového lýka v závislosti na průměru technických svazků

Větší průměr svazků (Obr. 2.18) a tudíž i vyšší jemnost způsobují snižující se pevnost z důvodu vyšší pravděpodobnosti prokluzu vláken po sobě. Jak již dříve bylo dokázáno, vrbové svazky měly vyšší průměr, a tudíž mají i nižší výslednou poměrnou pevnost. V příloze 3 jsou uvedeny oddělené grafy pro obě lýka.

2.10. Analýza obsahu celulózy

Vláknina byla zpracována v roztoku H_2SO_4 (1 ml/l) ke zlepšení penetrace a smáčivosti lýkových vláken při poměru lázně 1:15 při 50 °C po dobu 60 minut. Následovalo 3x promytí studenou vodou, sušení při 105 °C a zvážení.

Alkalická metoda [78] – Chemikálie:

NaOH (98%)5 g/l

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (97%)0.1 g/l

H_2O_2 (95%)4 g/l

MgCl_2 (99%)1.2 g/l

Postup: Poměr lázně 1:15, teplota 75 °C, doba 50 min., promytí studenou vodou, sušení při 105 °C a zvážení. Proces byl opakován dvakrát a z každého materiálu byly měřeny 3 vzorky.

Tabulka 2.3: Obsah necelulóзовých složek a vody v lýku

vzorek	Podíl necelulóзовých složek [%] ¹⁰	Obsah vody [%]	Celulóza [%] ¹¹
Lípa	17.1	9.5	73.4
Vrba	40.4	10.5	49.1

Z analýzy vychází, že lípa obsahuje přibližně 73 % celulózy a vrba 49 % celulózy. Tyto hodnoty nejsou dostačující pro použití lýka jako výchozí suroviny na výrobu viskóзовých vláken (vysoký obsah příměsí a odpadních složek).

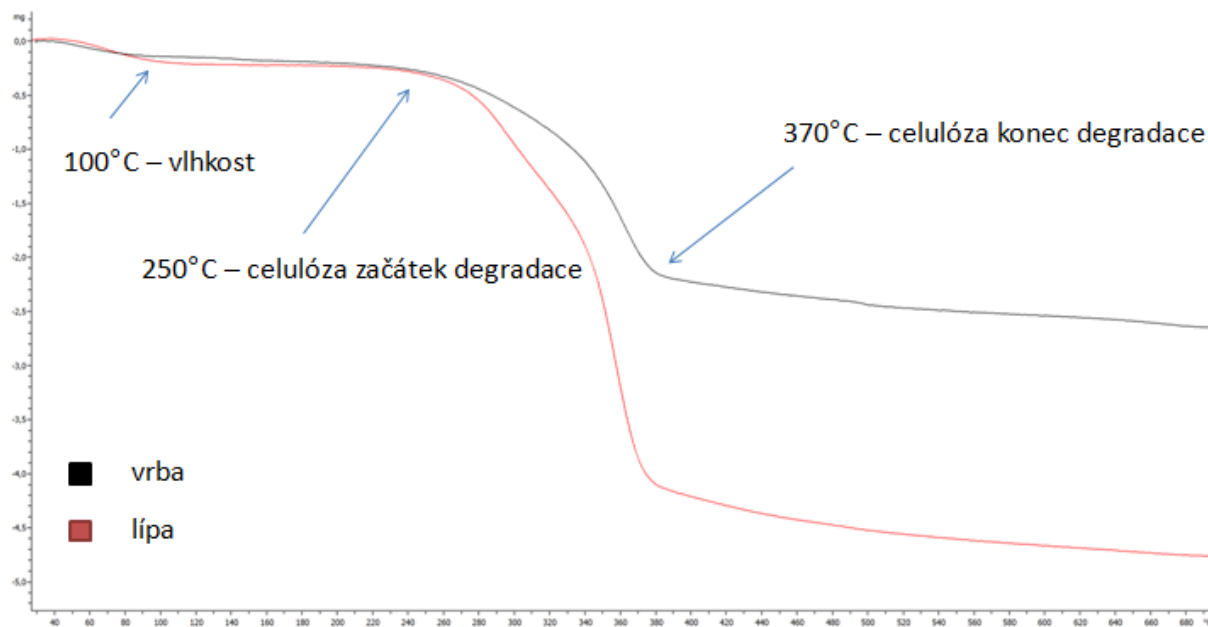
¹⁰ lignin, pektin, hemicelulóza, minerální látky

¹¹ může obsahovat zbytky necelulóзовých složek

2.11. Termické vlastnosti

TGA

Analýza probíhala s rychlostí ohřevu 10 °C/min až na teplotu 700 °C. Navážka materiálu se pohybovala kolem 7 mg.



Obr. 2.19: Termogravimetrické křivky lipového a vrbového lýka

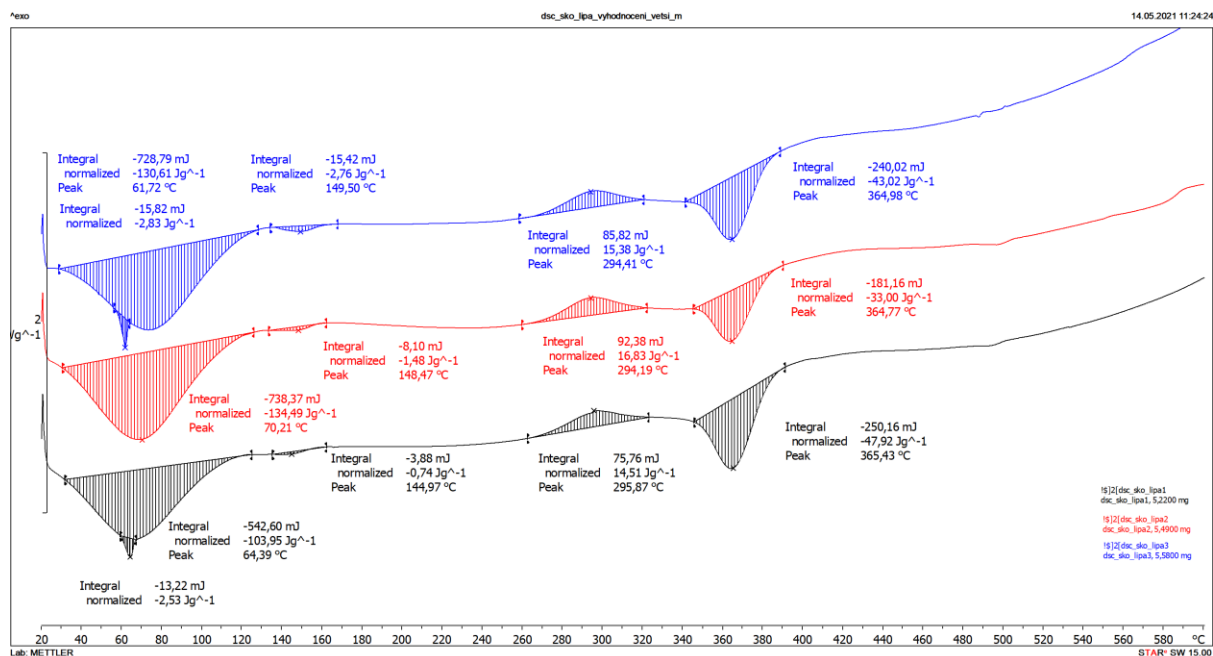
Křivka vrby (Obr. 2.19, černá linka) vykazuje pomalejší reakci na změnu teploty a celkově má i menší úbytek hmotnosti. Je možné, že je to způsobeno vyšším podílem hemicelulóz, zatím co lípa obsahuje více ligninu.

Pro oba materiály jsou zde patrné tři základní oblasti: k prvotnímu poklesu dochází v oblasti 100 °C, která odpovídá odpaření vlhkosti a těkavých složek. Druhá oblast poklesu se projevuje kolem 250 °C, kdy začíná tepelný rozklad celulózy. Třetí oblast, která zakončuje radikální pokles hmotnosti, se objevuje zhruba při 370 °C a koresponduje s koncem degradace celulózy.

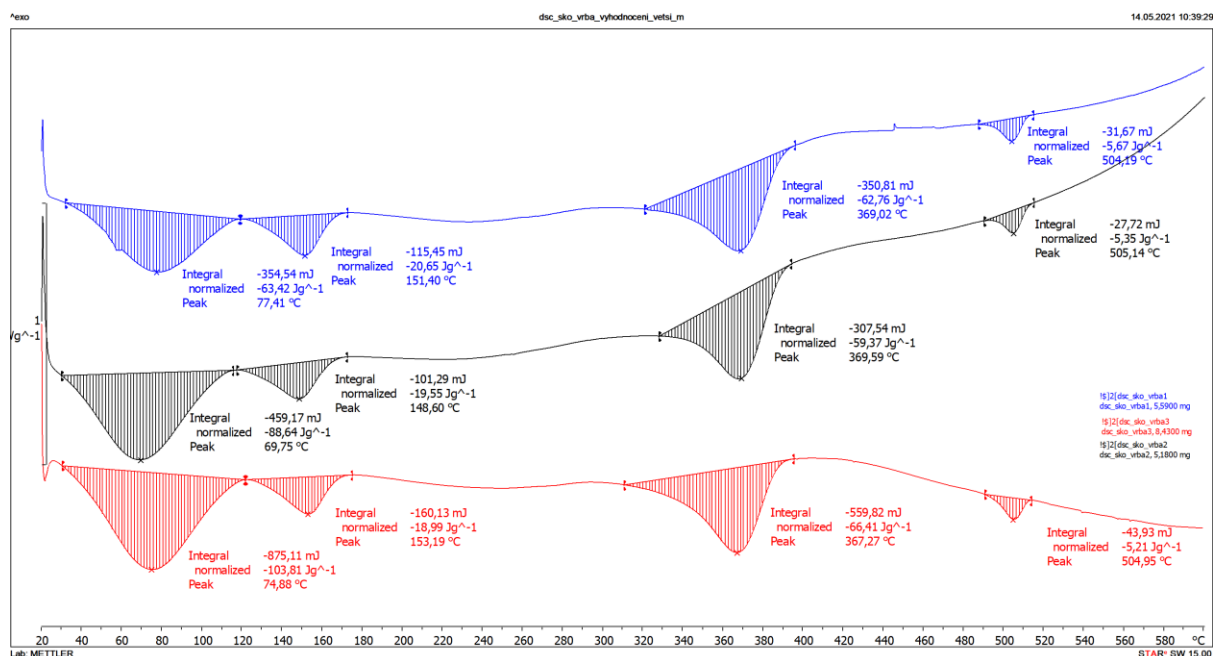
V příloze 5 jsou uvedeny oddělené křivky pro obě lýka.

DSC

Analýza probíhala s rychlostí ohřevu 10 °C/min až na teplotu 600 °C. Navážka se pohybovala kolem 7 mg.



Obr. 2.20: DSC lípa



Obr. 2.21: DSC vrba

Z DSC křivek na obrázku. 2.20 a 2.21 je možné pozorovat podobné počáteční chování pro oba lýkové materiály. První dva endotermní píky v oblasti 100 °C odpovídají stejně jako u TGA odpaření vlhkosti a nestabilních prvků. Následně se křivky liší, v důsledku rozdílného poměru složek obsažených v lýku. U lipového lýka (Obr. 2.20) se objevuje exotermní pík s maximem kolem teploty 295 °C, což odpovídá pravděpodobně degradaci hemicelulóz a ligninu, neboť dochází k uvolňování některých chemických vazeb v nich obsažených.

Problém s přesnou identifikací spočívá ve faktu, že lignin se rozkládá v širokém spektru teplot od 160 °C až do 900 °C [66], a pro přesnější určení by bylo zapotřebí provést dodatečnou analýzu chemického složení (např. IR spektroskopii). Poslední pík je pak opět endotermní s maximem v 365 °C a stoupavým charakterem křivky. Toto chování je typické pro degradaci celulózy.

U vrbového lýka (Obr. 2.21) zcela chybí exotermní pík a objevuje se až endotermní v oblasti 367 °C, tedy opět degradace celulózy. Poslední pík je s maximem v 504 °C, což může odpovídat ligninové složce lýka.

2.12. Výroba příze

Ruční

Navlhčená stužka se uchopí do ruky a od středu se zakrucuje jedním směrem, dokud nedojde k překroucení – počátek příze. Následně se oba konce zakrucují ve shodném směru a vůči sobě v opačném směru zákrutu, čímž dojde k seskání.

Strojová

Nejprve je nutné vytvořit ručně jednoduché příze/lana a navinout zásobu na vhodné základové těleso. Poté se může pokračovat v ručním seskávání nebo navést jednoduché příze do provaznického zařízení na stáčení.

Kolovrat

Potenciálně je možné zpracovat lýko na kolovratu určeném pro **lýková vlákna**. V této práci byla vyvinuta snaha o upředení příze na vlnářském kolovratu, nicméně schopnosti tohoto zařízení zdaleka nedostačují pro vytvoření použitelného výrobku.



Obr. 2.22: Příze z lipového lýka vyrobená na kolovratu (horní) a ručně (spodní)

3. ZÁVĚR A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této práce bylo prozkoumat způsoby zpracování a použití stromového lýka v současnosti na základě zjištěných vlastností těchto materiálů.

Pro zkoumání byly vybrány dva druhy stromů, které se na území ČR běžně vyskytují – vrba a lípa. Během pozdního jara proběhlo zpracování lýka z větví pomocí biologického rozkladu máčením následované mechanickým ojednocováním (vyčesávání).

Lýko bylo podrobeno mikroskopické analýze (snímání příčných řezů na světelném mikroskopu a zpracování v OA NIS Elements; podélné pohledy s pomocí REM a světelného mikroskopu) a **měření hustoty** a mechanických vlastností (poměrná pevnost, tažnost, počáteční modul), na základě čehož byl zkonstruován výpočet pro zpřesnění odhadu jemnosti lýkových vláken/svazků. Dále také proběhla termická analýza (TGA, DSC).

Na tomto místě je nutné připomenout, že vlastnosti v tomto výzkumu měřené vykazovaly značnou variabilitu zapříčiněnou přirozeným charakterem materiálu.

Lipové lýko se ukázalo jako materiál s vyšší poměrnou pevností (2.4 cN/dtex) v souvislosti s větším průřezem vláken. Zároveň však mělo menší průměry technických svazků, což se dá přičíst lepší zpracovatelnosti základní suroviny (a úspěšnějšímu procesu máčení). Hodnota poměrné pevnosti je nicméně dosti nízká (srovnatelná s vlákny jako viskóza, bavlna či vlna), a je možné dosáhnout mnohem lepších výsledků úpravou procesu máčení, zpracování a měření.

Hustota lipového lýka je 869.9 kg/m^3 a potvrzuje tak fakt, že lýko plave na vodě. Odhad jemnosti svazku vyšel v průměru jako 309 dtex (na základě korekčního faktoru $K = 0.57$). Tažnost 4 % se pohybuje v běžných hodnotách pro lýková vlákna.

Počáteční modul cca 4 GPa je porovnatelný s vlákny kokosu a bambusu. Opět je ale možné dosáhnout mnohem lepších výsledků, stejně jako s poměrnou pevností (dle [3] je možné se přiblížit až hodnotám pro konopí).

Dále je lipové lýko příjemné na omak a teplotně stabilní do 230°C . Maximum degradace se pohybuje v oblasti 370°C . Tyto teploty jsou totožné i pro vrbová vlákna.

Vrbové lýko má zanedbatelnou poměrnou pevnost (0.25 cN/dtex) a zároveň menší průřezem vláken (mladší lýko). Technické svazky byly silnější, neboť proces máčení

neproběhl dokonale, lýko šlo hůře oddělit od sebe v důsledku zbytků pojiv a rozčesávání bylo obtížné (křehké chování a tendence k trhání).

Hustota vrbového lýka je 1109.9 kg/m^3 , což je hodnota nižší, než pro většinu běžně používaných přírodních vláken [4]. Odhad jemnosti svazku je v průměru 1119 dtex (s korekčním faktorem $K = 0.59$). Tažnost 2.57 % se také pohybuje v běžných hodnotách pro lýková vlákna.

Počáteční modul cca 1 GPa je porovnatelný např. s bambusovými vlákny. V [4] se uvádí modul kolem 17 GPa. Je tedy možné dosáhnout srovnání s jutu i sisalem [3]. Toto lýko bylo celkově hrubší.

Další vlastnosti, pro obě lýka shodná, jsou: biodegradabilita, netoxicitá, obnovitelný zdroj, odolnost vůči vlhkosti (vyšší obsah ligninu) a horší odolnost v oděru [2].

Jako vhodná aplikační odvětví se jeví tato: výztuže kompozitů – například se zvýšenou biodegradabilitou, termokompresní kompozity nebo rámy kol; papírenské komodity, které nevyžadují vysokou mechanickou odolnost; s určitými úpravami lze lýko použít jako filtrační materiál [9]; archeologie, restaurování a rekonstrukce historických památek; lana a šňůry; příměs do cihel pro zvýšení porózy; různé agrotexilie pro zpevnění terénu (náhrada za jutu aj.), biodegradabilní textilie a mulčovací substráty.

Všechny zmíněné aplikace jsou myšlené v rámci lokálního použití v menším měřítku s ohledem na náročnost zpracování.

3.1. Doporučení a další ideje:

Další přínos do oblasti této problematiky by mohlo vnést testování mechanických vlastností zakrouceného svazku lýkových vláken, analýza chemického složení materiálu (např. FTIR mikroskopie) a výroba a testování kompozitního materiálu.

Také by bylo užitečné experimentovat s dobou biologického rozkladu vláken a pomocí různých metod zpracovat lýko z odlišných částí větve. V neposlední řadě by bylo vhodné zjistit, zda je větší rozdíl vlastností mezi jednotlivými druhy lýk nebo mezi vzorky jednoho druhu zpracovanými různými metodikami [28].

4. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] REICHERT, Anne. *Bast, Rushes, Stinging Nettles; Textile materials from the Stone Age* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://richlyadorned.files.wordpress.com/2017/04/annecatalogenglish-cdr.pdf>
- [2] MYCKING, T., HERTZBERG, A., SKRØPPA, T., History, manufacture and properties of lime bast cordage in northern Europe, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 78, Issue 1, January 2005, Pages 65–1. Dostupní z: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi006>
- [3] SEIKI, Yasemin. Evaluation of linden fibre as a potential reinforcement material for polymer composites. *Journal of industrial textiles*. **2016**. Dostupné z: [doi:10.1177/1528083714557055](https://doi.org/10.1177/1528083714557055)
- [4] OKTAE, Javane & LAUTENSCHLÄGER, Thea & GÜNTHER, Markus & NEINHUIS, Christoph & WAGENFÜHR, André & LINDNER, Mirko & WINKLER, Anja. (2017). Characterization of Willow Bast Fibers (*Salix* spp.) from Short-Rotation Plantation as Potential Reinforcement for Polymer Composites. *BioResources*. 12. 4270-4282. Dostupné z: [doi:10.15376/biores.12.2.4270-4282](https://doi.org/10.15376/biores.12.2.4270-4282).
- [5] SKOPCOVÁ, A., Degradace výrobků z polymerních materiálů vlivem UV záření. Liberec: Technická univerzita v Liberci 2019, Fakulta textilní. 87 s. Vedoucí práce Ing. Jakub Hruza, Ph.D.
- [6] Lesy ČR. *Lesy ČR* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://lesy.cz/drevo/>
- [7] Lesnictví 2019. *Český statistický úřad* [online]. 2020 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/lesnictvi-2019>
- [8] Odpady z lesnické a dřevozpracující výroby. *Odpadový hospodář* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://odpadovy-hospodar.cz/komunalni-odpady/odpady-z-lesnicke-a-drevozpracujici-vyroby>

- [9] PÁSZTORY, Zoltan, MOHÁCSINÉ, RONYECZ, GORBACHEVA a BÖRCSÖK. The Utilization of Tree Bark. *Bioresources* [online]. 2016 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: doi:10.15376/biores.11.3.
- [10] VĚTVIČKA, Václav. *Stromy a keře, mé životní lásky*. Aventinum, 2018. ISBN 978-80-7442-100-6.
- [11] Makroskopická stavba dřeva. *Nábytkářský informační systém* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/makroskopicka-stavba-dreva/page/318/>
- [12] Vlákná ze stonků. *Škola textilu* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://www.skolertextilu.cz/elearning/459/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Vlakna-ze-stonku-len-konopi-juta-ramie.html>
- [13] MILITKÝ, Jiří. *Textilní vlákna klasická a speciální*. Liberec: Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-7372-844-1.
- [14] PARIDAH MD, Tahir, AMEL B, Ahmed, SYEED O.A., SaifulAzry, & ZAKIAH, Ahmed. (2011). Retting process of some plant fibres and its effect on fibre quality: a review. *BioResources*, 6(4), 5260-5281.
- [15] YUAN, Yu, Wang QIANG a Wang PING. Bioprocessing of bast fibers. *Advances in Textile Biotechnology*. Woodhead Publishing, 2019, s. 1-19. ISBN 9780081026328.
- [16] STOKKE, Douglas D., Qinglin WU a Guangping HAN. *Introduction to wood and natural fiber composites*. Chichester: Wiley, 2014. Wiley series in renewable resource. ISBN 9780470710913.
- [17] MYLSAMY, K. and RAJENDRAN, I. Investigation on physio-chemical and mechanical properties of raw and alkali-treated agave americana fiber. *J Reinf Plastics Compos* 2010; 29: 2925–2935.
- [18] RAMADEVI, P., SAMPATHKUMAR, D., SRINIVASA, CV., et al. Effect of alkali treatment on water absorption of single cellulosic abaca fiber. *BioResources* 2012; 7: 3515–3524.

- [19] WIENER, J., KOVAČIČ, V. and DEJLOVÁ, P. Differences between flax and hemp. *AUTEX Res J* 2003; 3: 58–63.
- [20] LI, X., TABIL, L. and PANIGRASHI, S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *J Polym Environ* 2007; 15: 25–33.
- [21] HANSSEN, O. and LUNDESTAD, J. 1932 Lindebast og bastetog. *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne* 71 , 373–406.
- [22] OLOFSSON, O. 1936 *Rep av trä och näver*. Norrbotten, Årsbok, Luleå
- [23] INGEBORN, K. 1986 Bastebinne i Ödenäs. *Västergötlands fornminneförenings tidsskrift* . Västergötlands tryckeri AB
- [24] SCHJØLBERG, E. 1988 Cordage and similar products from Bryggen in Bergen. *The Bryggen Papers* , Supplementary Series No. 3.
- [25] GRALUND, J. 1943 Lindbast och träbast. En studie i material och teknik. *Folkliv* 7, Stockholm
- [26] DIMBLEBY, G. W. 1978 *Plants and Archeology* . Humanities Press, Atlantic Highlands, NJ.
- [27] SCHJØLBERG, E. 1990 *Om tauverk i middelalderen*. *Naturen* 1/90 ,3 –10
- [28] HARRIS, S., S. HAIGH, A. HANDLEY a W. SAMPSON. Material Choices for Fibre in the Neolithic: An Approach through the Measurement of Mechanical Properties. *Archaeometry* [online]. 2017, **59**(3), 574-591 [cit. 2021-04-15]. ISSN 0003813X. Dostupné z: doi:10.1111/arcm.12267
- [29] GUILBERT, K.R. 1965 Rope-making. In *A History of Technology*, Vol. 1. C. Singer and E.J. Holmyard (eds). Clarendon Press, Oxford, pp. 451–455.
- [30] NEDKVITNE, K. and GJERDÅKER, J. 1997 *Lind i norsk natur og tradisjon* . Norsk skogbruksmuseum, Elverum
- [31] SCHUMACHER, T. 1993 Lindefamilien. *Norges planter*. Cappelen, Oslo

- [32] HØEG, O.A. 1974 *Planter og tradisjon*. Universitetsforlaget, Oslo, Bergen
- [33] HØEG, O.A. 1965 Lind. In *Kulturhistorisk leksikon for nordisk middelalder*, Vol. 10. F. Hødnebo (ed.). Gyldendal norsk forlag, Oslo, pp. 594–599
- [34] NILSON, A. 1961 Studier i svenskt replageri. *Nordiska museets handlingar*. Vol. 55. Nordiska museet, Stockholm
- [35] WAHLBECK, O. 1991 Rep och replageri under olika tidsålder. Samhall Klintland Grafiska, Linköping
- [36] NHU 1 988 Intervju med P. Årskog, født i 1910. *Norsk Handverksutvikling (NHU)*. Handverksregisteret og sekretariatet for små og verneverdige fag. Maihaugen, Lillehammer, Norway
- [37] SOBOTKA, Primus. *Rostlinstvo v národním podání slovanském*. Praha: Matice česká, 1879. Dostupné z: <https://archive.org/details/rostlinstvojehov00sobo>
- [38] DRIJVEROVÁ, Martina. *Tajemné a kouzelné stromy*. Edika 2016
- [39] JIRÁSEK, Alois. *Staré pověsti české*. SPN, Praha 1955. Dostupné z: http://www.moraviamagna.cz/povesti/p_jia5pr.htm
- [40] ŠTRÁFELDA, Jan. *Vrba a její znamení*. 2005. Článek dostupný z: <http://www.shaman.cz/keltove/stromoskop/znameni-vrba.htm>
- [41] URBAN, Jaroslav. Častý původce předčasného hynutí listů lip. *Živa* [online]. 2004(1) [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/casty-puvodce-predcasneho-hynuti-listu-lip.pdf>
- [42] JAKL, Jiří. Vrby - skákající dřeviny? *Příroda.cz* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/lexikon.php?detail=548>
- [43] MICHALIČKA, Václav. *Kopřiva, plevel, který šatil*. Nový Jičín: Muzeum Novojičínska, příspěvková organizace, 2017. ISBN 978-80-87359-21-1.

- [44] KULOVANÁ, Eliška. Technické konopí v ČR? – rozhodně ano. *Úroda* [online]. 2001 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.uroda.cz/technicke-konopi-v-cr-rozhodne-ano/>
- [45] HERTZBERG, A. 2000 Basteskogen på Sollesnes. *Rapport fra Hardanger Fartøyvernssenter*
- [46] PALMER, Kev. Bast and Bastwood. *Woodland Ways* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.woodland-ways.co.uk/blog/bushcraft-other/bast-and-basswood/>
- [47] RUYS, D., CROSCY, A. and EVANS, W.J. 2002 Natural bast fibre structure. *Int. J. Mat. Prod. Technol.* 17 , 2 –10.
- [48] AKIN, D.E., HENRIKSSON, G., EVANS, J.D., et al., 2004. Progress in enzyme-retting of flax. *Journal of Natural Fibers* 1 (1), 21e47.
- [49] YADAV, D., YADAV, S., DWIVEDI, R., et al., 2016. Potential of microbial enzymes in retting of natural fibers: a review. *Current Biochemical Engineering* 3 (2), 89-99
- [50] HENRIKSSON, G., AKIN, D.E., HANLIN, R.T., et al., 1997. Identification and retting efficiencies of fungi isolated from dew-retted flax in the United States and europe. *Applied and Environmental Microbiology* 63 (10), 3950-3956.
- [51] DI CANDILO, M., BONATTI, P.M., GUIDETTI, C., et al., 2010. Effects of selected pectinolytic bacterial strains on water-retting of hemp and fiber properties. *Journal of Applied Microbiology* 108(1), 194-203.
- [52] VAN SUMERE, C.F., 1992. Retting of flax with special reference to enzyme-retting. *The Biology and Processing of Flax* 153-193.
- [53] AKIN, D.E., FOULK, J.A., DODD, R.B., et al., 2001. Enzyme-retting of flax and characterization of processed fibers. *Journal of Biotechnology* 89 (2e3), 193-203.
- [54] DONAGHY, J.A., LEVETT, P.N., HAYLOCK, R.W., 1990. Changes in microbial populations during anaerobic flax retting. *Journal of Applied Bacteriology* 69 (5), 634-641.
- [55] BROWN, A.E., 1984. *Epicoccum nigrum*, a primary saprophyte involved in the retting of flax. *Transactions of the British Mycological Society* 83 (1), 29-35.

- [56] TIAN, Y., LIU, X., ZHENG, X., et al., 2014. Production of efficient enzymes for flax retting by solid state fermentation with *Aspergillus Niger*. *International Journal of Clothing Science and Technology* 26 (3), 212-221
- [57] SHADID, M., MOHAMMAD, F., CHEN, G., et al., 2016. Enzymatic processing of natural fibers: white biotechnology for sustainable development. *Green Chemistry* 18 (8), 2256-2281.
- [58] KŘUPALOVÁ Zdeňka. *Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář*. 2.upravené vydání. Praha: Sobotáles, 2004. ISBN 80-86817-02-04
- [59] TROSET, J. and AUNRØNNING, O. 2003. *Testrapport for bruddstyrke og bruddforlengelse i 12 mm lindebast-tau*. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Structural Engineering, Trondheim
- [60] VANÍČEK, J. *Metody termické analýzy*. KTM TUL, Liberec 2004
- [61] AQUINO, EMF., SARMENTO, LPS., OLIVEIRA, W., et al. Moisture effect on degradation of jute/glass hybrid composites. *J Reinf Plastics Compos* 2007; 26: 219–233.
- [62] DE ROSA, IM., KENNY, JM., PUGLIA, D., et al. Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites. *Compos Sci Technol* 2010; 70: 116–122.
- [63] BLEZKI, A.k., and GASSAN, J. (1999).”Composites reinforced with cellulose based fibers,” *Progress in Polymer Science* 24, 221-274.
- [64] NABI SAHEB, D., and JOG, J. P. (1999).” Natural fiber polymer composites: A review,” *Advances in Polymer Technology* 18(9), 351-363.
- [65] RANDRIAMANANTENA, T., RAZAFINDRAMISA, F. L., RAMANANTSIZEHENA, G., BERNÉS, A., and LACABANE, C. (2009). *Thermal Behaviour of Three Woods of Madagascar by Thermogravimetric Analysis in Inert Atmosphere*, Laboratoire de Physique de la Matière et du Rayonnement [Laboratory of Physics of Matter and Radiation], Université D’Antananarivo [University of Antananarivo] and Laboratoire de Physique des Polymères

[Laboratory of Polymer Physics], Institut Carnot CIRIMAT [Carnot Institute CIRIMAT], Université Paul Sabatier Toulouse III [University of Paul Sabatier Toulouse III].

[66] YANG, H., YAN, R., CHEN, H., LEE, D. H., and ZHENG, C. (2007). “Characterization of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel* 86(12-13), 1781-1788. DOI: 10.1016/j.fuel.2006.12.013

[67] FIORE, V., VALENZA, A., and DI BELLA, G. (2011). “Artichoke (*Cynaracardunculus* L.) fibres as potential reinforcement of composite structures,” *Compos. Sci. Technol.* 71(8), 1138-1144. DOI: 10.1016/j.compscitech.2011.04.003

[68] LINDELL, John. Which Trees Are Used to Make Paper? *Sciencing* [online]. 2017 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://sciencing.com/which-trees-are-used-to-make-paper-12358415.html>

[69] MADAKADZE, I.C., RADIOTIS, T., LI, J., GOEL, K., SMITH, D.L., 1999. Kraft pulping characteristics and pulp properties of warm season grasses. *Bioresour. Technol.* 69, 75–85.

[70] NIESCHLAG, H.J., NELSON, G.H., WOLFF, J.A., PERDUE, R.E., 1960. A search for new fiber crops. *Tappi* 43 (3), 193.

[71] VERVERIS. C., GEORGHIOU, K., CHRISTODOULAKIS, N., SANTAS, P., SANTAS, R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. *Industrial Crops and Products* 19, 2004

[72] LINDEN TREE LIME TREE BASSWOOD. *Phytomania* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.phytomania.com/english/linden-tree.htm>

[73] Ropeyard. *Hardanger and Voss Museum* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://fartoyvern.no/en/ropeyard/>

[74] URBAN, Jaroslav. *Častý původce předčasného hynutí listů lip* [online]. 2004. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/casty-puvodce-predcasneho-hynuti-listu-lip.pdf>

[75] Škudci. Kurovcoveinfo.cz [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.kurovcoveinfo.cz/skudci>

[76] NOVOTNÝ, Radko a Pavla VÁLOVÁ. SVĚTELNÁ A ELEKTRONOVÁ MIKROSKOPIE. *Přírodovědecká fakulta UPOL* [online]. 2014 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: https://www.prf.upol.cz/fileadmin/userdata/PrF/katedry/kbb/Dokumenty/Materialy_k_vyuce/mik_EL_MIKROSKOPIE_2015.pdf

[77] Laboratoř speciální mikroskopie a obrazové analýzy. *TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI: Fakulta textilní* [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://www.ft.tul.cz/katedry/katedra-materialoveho-inzenyrstvi-laboratore/laborator-specialni-mikroskopie-a-obrazove-analyzy>

[78] RANI, K., AHIRWAR, M. & BEHERA, B.K. Comparative Analysis of Alkaline and Enzymatic Degumming Process of Hemp Fibers. *J. Inst. Eng. India Ser. E* **101**, 1–10 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40034-019-00156-y>

Seznam příloh

Příloha 1: Statistické vyhodnocení dat příčných řezů z obrazové analýzy NIS Elements

Příloha 2: Statistické vyhodnocení měření podélných pohledů technických svazků

Příloha 3: Poměrná pevnost [MPa] a počáteční modul [N/dtex]

Příloha 4: Grafy poměrných pevností technických svazků lýka

Příloha 5: TGA křivky pro stromové lýko

Příloha 6: Ukázkové tahové křivky technických svazků vláken

Příloha 1

Tabulka 2.4: Statistické vyhodnocení dat příčných řezů z obrazové analýzy NIS Elements

Proměnná	Vrba								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Plocha [μm^2]	203	62,00	58,43	65,56	18,19	156,21	664,11	25,77	41,57
Max. průmět [μm]	203	11,48	11,12	11,83	5,66	19,44	6,59	2,57	22,37
Min. průmět [μm]	203	7,35	7,10	7,60	3,13	13,52	3,26	1,81	24,58
Kruhovitost	203	0,82	0,80	0,83	0,47	0,96	0,01	0,09	10,61
Proměnná	vrba bez lumenů								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Plocha [μm^2]	203	59,31	55,83	62,78	18,19	154,27	631,15	25,12	42,36
Max. průmět [μm]	203	11,48	11,12	11,83	5,66	19,44	6,59	2,57	22,37
Min. průmět [μm]	203	7,35	7,10	7,60	3,13	13,52	3,26	1,81	24,58
Kruhovitost	203	0,55	0,53	0,57	0,27	0,94	0,02	0,14	26,00
Proměnná	lípa								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Plocha [μm^2]	204	111,89	103,23	120,54	17,85	408,61	3933,24	62,72	56,05
Max. průmět [μm]	204	15,43	14,80	16,06	6,38	34,84	20,93	4,57	29,65
Min. průmět [μm]	204	10,03	9,61	10,46	4,08	19,36	9,47	3,08	30,68
Kruhovitost	204	0,76	0,74	0,78	0,21	0,95	0,02	0,13	17,83
Proměnná	lípa bez lumenů								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Plocha [μm^2]	204	110,99	102,37	119,61	17,59	405,06	3897,51	62,43	56,25
Max. průmět [μm]	204	15,43	14,80	16,06	6,38	34,84	20,93	4,57	29,65
Min. průmět [μm]	204	10,03	9,61	10,46	4,08	19,36	9,47	3,08	30,68
Kruhovitost	204	0,66	0,64	0,68	0,20	0,95	0,02	0,15	22,60

Příloha 2

Tabulka 2.5: Statistické vyhodnocení měření podélných pohledů technických svazků

Proměnná	Průměry (Tabulka1.sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
prumer lípa [μm]	49	267,59	242,19	292,99	112,92	502,80	7818,27	88,42	33,04
prumer vrba [μm]	52	446,98	409,55	484,40	148,07	795,74	18067,22	134,41	30,07

Proměnná	Poměrná pevnost (Tabulka1.sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
pom.pevnost lípa [cN/dtex]	49	2,40	1,91	2,89	0,14	9,14	2,91	1,71	70,95
pom.pevnost vrba [cN/dtex]	52	0,25	0,21	0,28	0,08	0,79	0,02	0,13	53,20

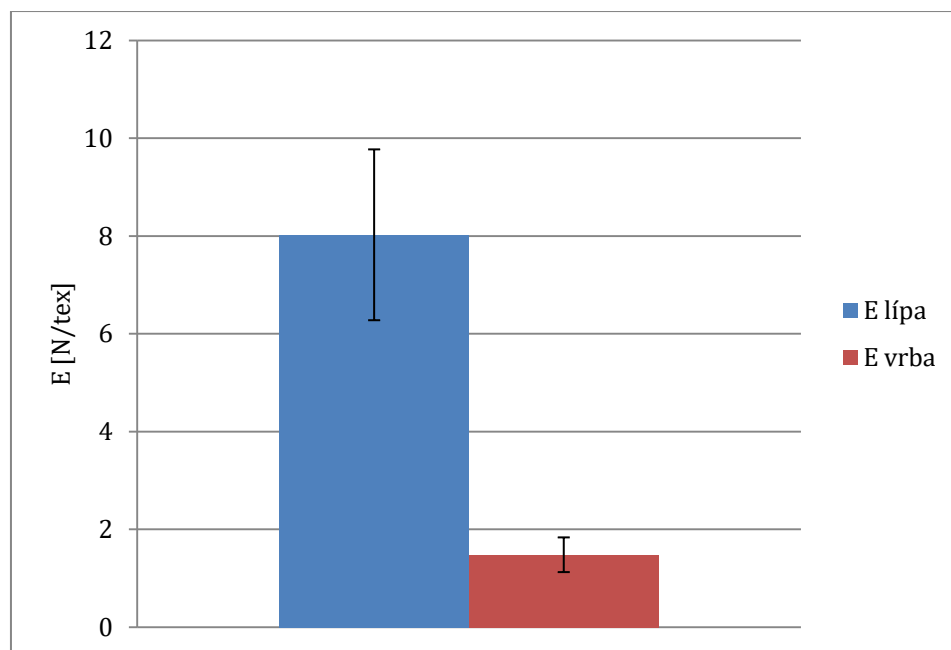
Proměnná	Odhad jemnosti (Tabulka1.sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
odhad jemnosti lípa [dtex]	49	308,68	250,52	366,84	49,65	984,51	41001,60	202,49	65,60
odhad jemnosti vrba [dtex]	52	1118,66	937,01	1300,31	112,76	3256,60	425732,67	652,48	58,33

Proměnná	Tažnost (Tabulka1.sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
tažnost lípa [%]	49	4,08	3,79	4,36	1,09	6,00	0,98	0,99	24,25
tažnost vrba [%]	52	2,57	2,42	2,73	1,64	4,02	0,32	0,56	21,95

Proměnná	Počáteční modul (Tabulka1.sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
Modul lípa [GPa]	28	3,98	3,07	4,89	0,99	7,87	5,47	2,34	58,79
Modul vrba [GPa]	28	0,97	0,73	1,21	0,31	3,70	0,39	0,63	64,75

Příloha 3

Poměrná pevnost [MPa] a počáteční modul [N/dtex]



Obr. 2.23: Počáteční modul [N/tex]

Tabulka 2.6: Statistické údaje pro počáteční modul

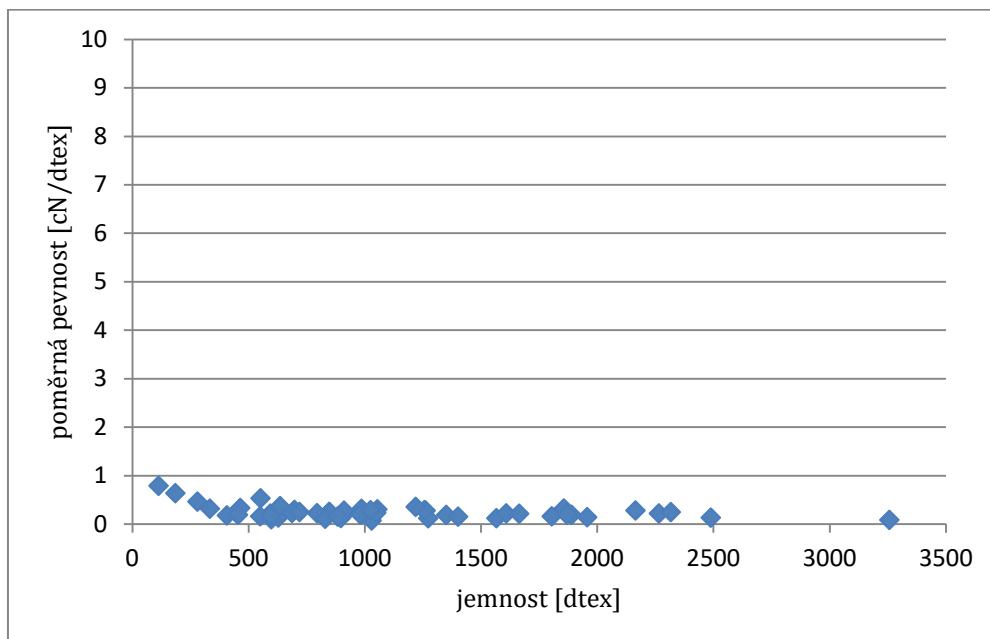
Vlákno	$\bar{x}$	s	v [%]	Xd	Xh	confidence
vrba E [N/tex]	1,48	0,96	64,75	1,12	1,83	0,35
lípa E [N/tex]	8,02	4,72	58,79	6,28	9,77	1,75

Tabulka 2.7: Statistické údaje pro poměrnou pevnost [MPa]

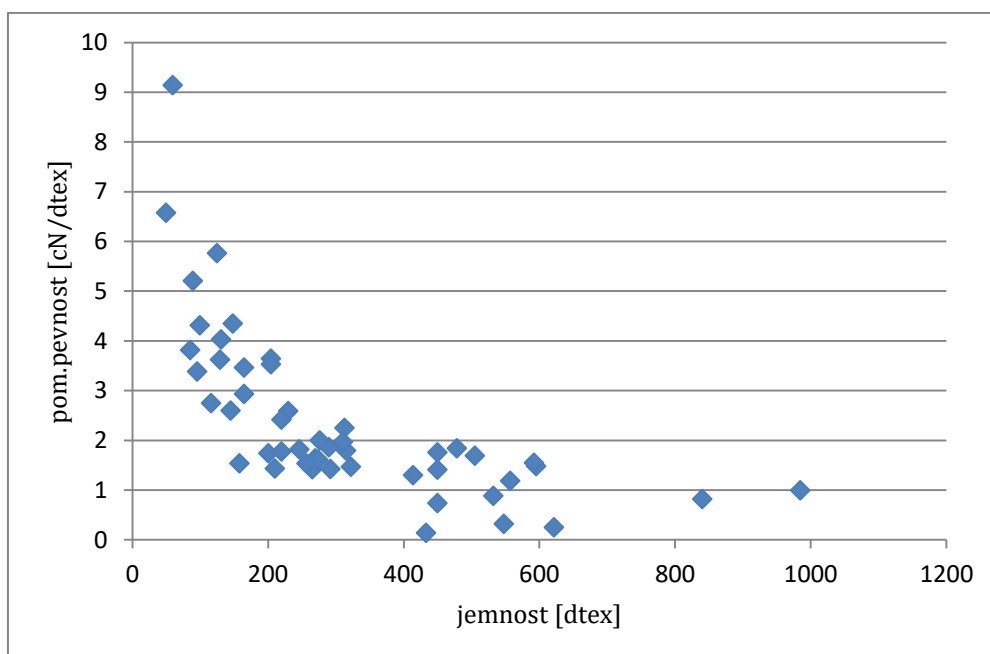
Proměnná	Poměrná pevnost (Tabulka 1. sta)								
	N platných	Průměr	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. 95,000%	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.	Var.koef.
pom.pevnost lípa [MPa]	49	119,25	94,95	143,55	7,01	453,38	7157,50	84,60	70,95
pom.pevnost vrba [MPa]	52	16,21	13,81	18,60	4,93	51,80	74,31	8,62	53,20

Příloha 4

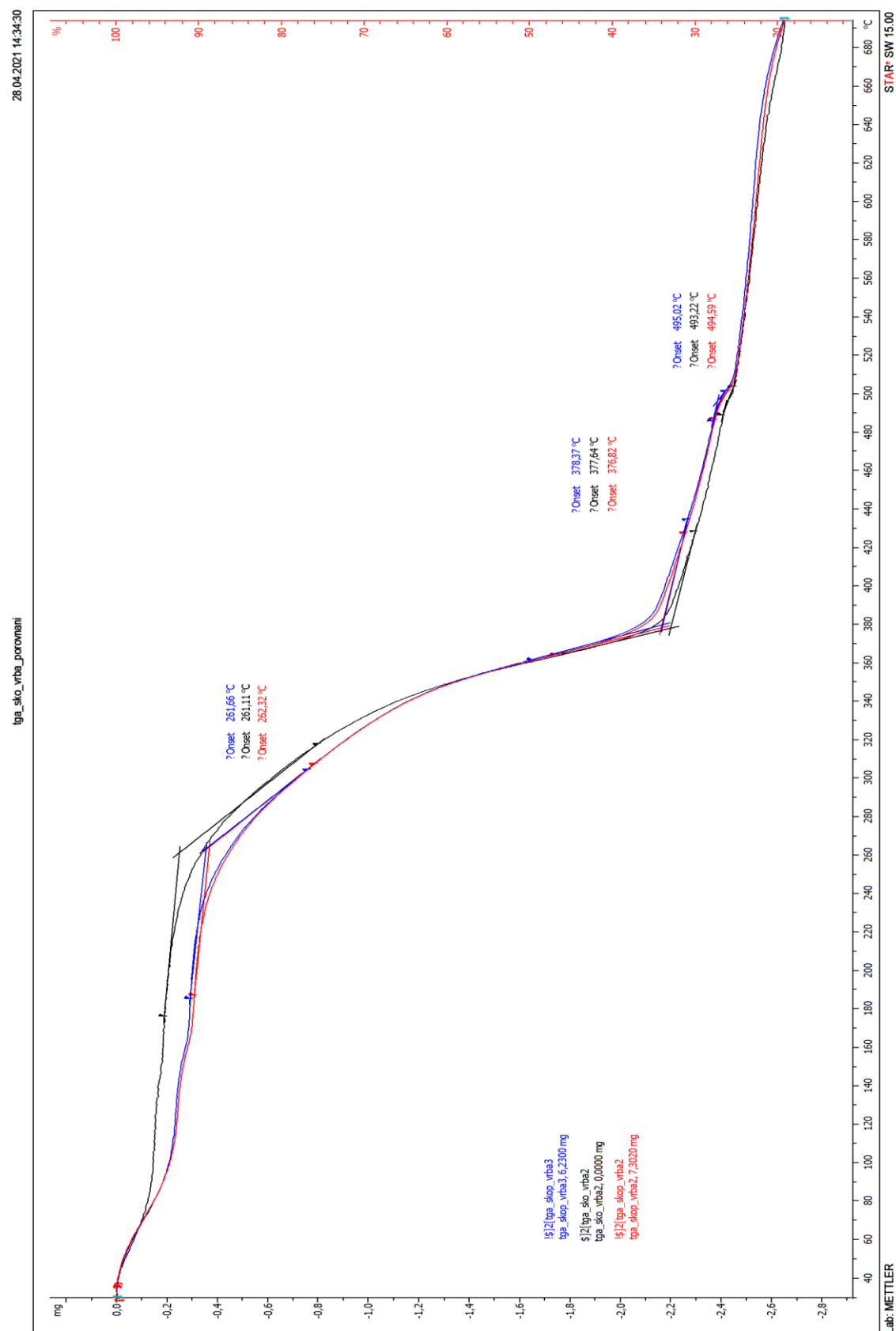
Grafy poměrných pevností technických svazků lýka



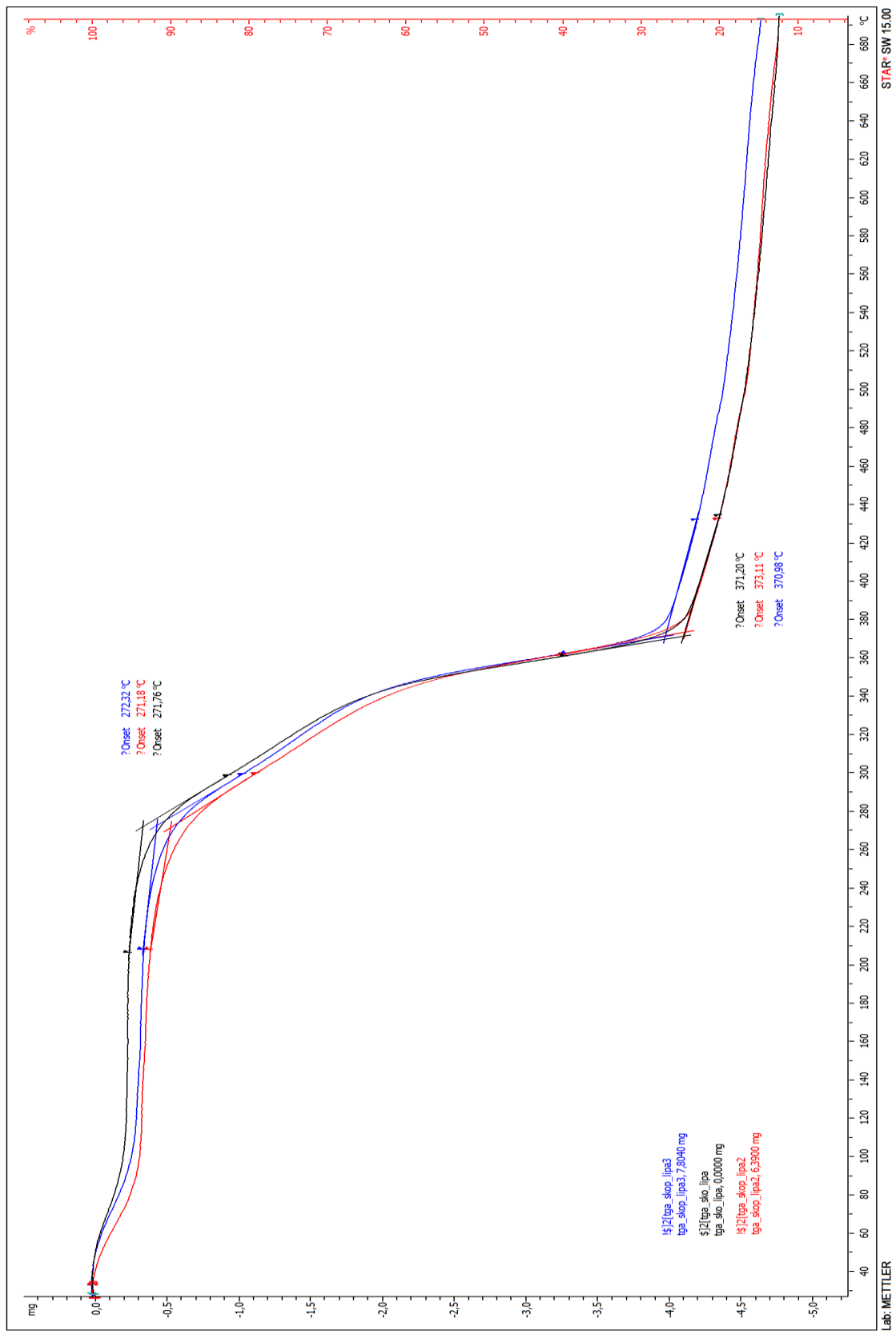
Obr. 2.24: Poměrná pevnost vrbových svazků



Obr. 2.25: Poměrná pevnost lipových svazků



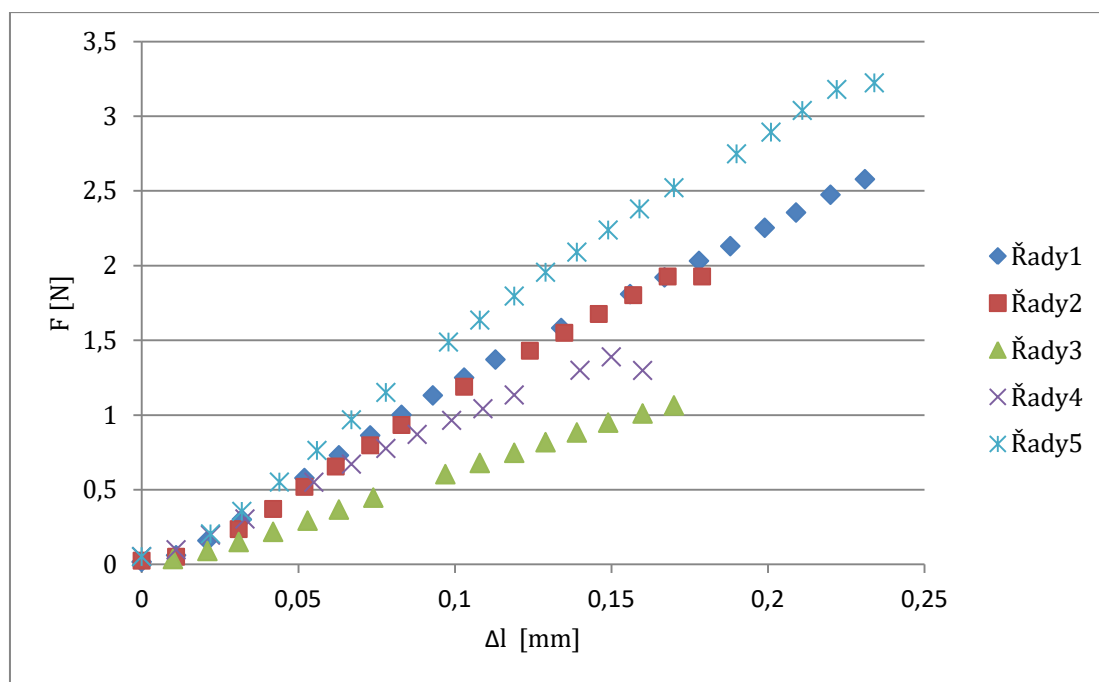
Obr. 2.26: TGA křivky pro vrbové lýko



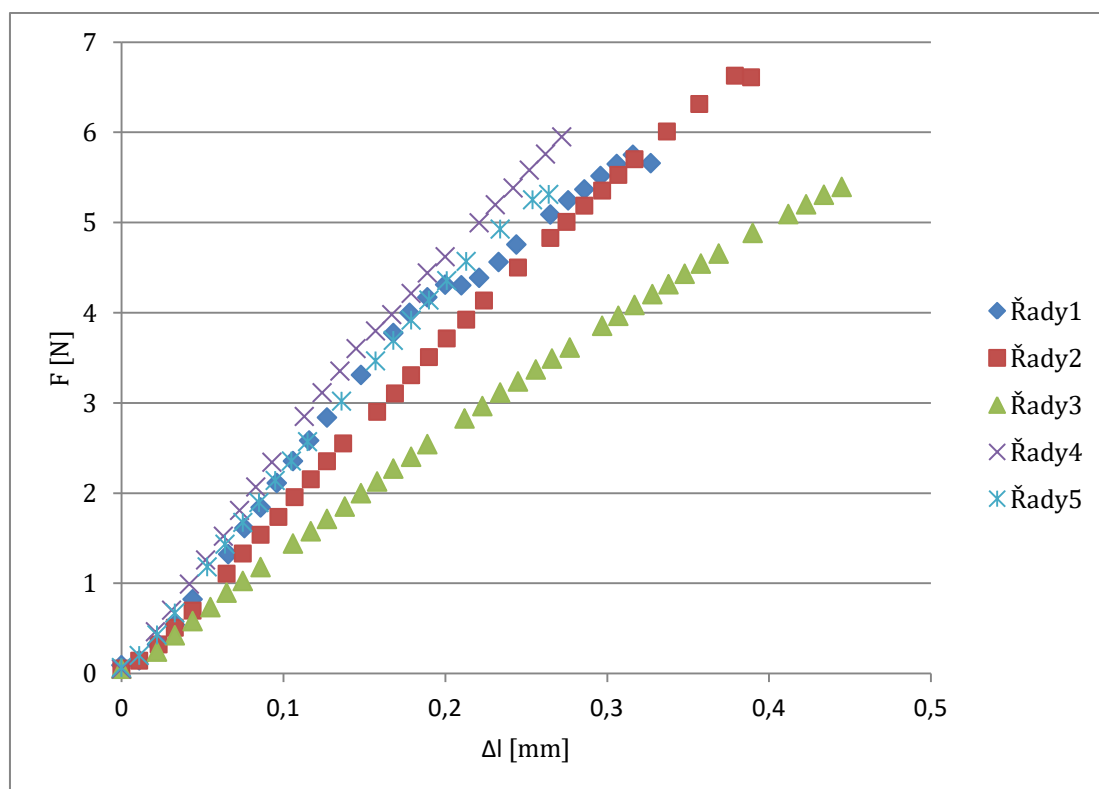
Obr. 2.27: TGA křivky pro lipové lýko

Příloha 6

Ukázkové tahové křivky technických svazků vláken



Obr. 2.28: Tahové křivky vrbových svazků



Obr. 2.29: Tahové křivky lipových svazků