

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

ZPRACOVÁNÍ ODPADU MÁKU SETÉHO

Bakalářská práce

Mariana Zábrodská

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

Praha, 2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Mariana Zábrodská

Dřevařství
Zpracování dřeva

Název práce

Zpracování odpadu máku setého

Název anglicky

Poppy waste processing

Cíle práce

Tato práce pojednává o zpracování odpadu máku setého. Z odpadu máku budou vyrobené vláknité produkty. Hodnoceními faktory budou vybrané mechanické vlastnosti. Tato práce má za účelem porovnat různé vláknité produkty vyrobené z odpadu máku setého. Účelem této závěrečné práce je zjištění možnosti výroby produktů a jejich mechanických vlastností z odpadu máku setého.

Hlavním cílem bakalářské práce je zpracování odpadu máku setého, a to konkrétně výroba různých vláknitých produktů. Charakteristika vybraných mechanických vlastností bude přizpůsobena danému vláknitému produktu. Cílem je zjištění možnosti výroby produktů z odpadu máku setého.

Metodika

Charakteristika základních chemických komponent máku setého. Popis využitých způsobů zpracování odpadů. Charakteristika vyrobených produktů. Analýza vybraných vlastností u vyrobených produktů.

Realizace bakalářské práce:

1. Zpracování literární rešerše. (duben-červen 2023).
2. Experimentální část – příprava produktů z máku setého, analýza primární suroviny (červenec-srpen 2023).
3. Experimentální část – vybrané mechanické vlastnosti (září-listopad 2023).
4. Statistické zpracování výsledků a jejich interpretace v textové, tabelární i grafické podobě (prosinec-únor 2024).
5. Závěr (březen 2024).

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

mák setý, chemická analýza, chemické zpracování, mechanické vlastnosti

Doporučené zdroje informací

Biermann, Ch.J. Pulping Chemistry and Technology. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, 1996, 484. ISBN 978-3-11-021341-6.

Halvarsson, S.; Edlund, H.; Norgren, M. Manufacture of non-resin wheat straw fibreboards. Industrial Crops and Products 2009, 29(2–3), 437–445. ISSN 9266690.

Popa, V.I. Pulp Production and Processing: From Papermaking to High-Tech Products. Shawbury: Smithers Rapra Technology Ltd, 2013, 542. ISBN 978-1-84735-633-8.

Rowell, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton: CRC Press, 2012, 703. ISBN: 978-1-43985-380-1.

Sisko, M.; Pfäffli, I. Fiber Atlas – Identification of Papermaking Fibers. New York: Springer, 1995, 399. ISBN: 978-3-662-07212-7.

Sjöström, E.; Alén, R. Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 1999, 327. ISBN 978-3-642-08317-4.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Tomáš Holeček

Elektronicky schváleno dne 11. 5. 2023

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 02. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Zpracování odpadu máku setého vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 04. 04. 2024

.....

Poděkování

Ráda bych touto cestou vyjádřila své hluboké uznání Ing. Kateřině Hájkové, Ph.D. za její neochvějnou trpělivost, pevné vedení a cenné rady. Jsem také nesmírně vděčná své milující mamince Evelíně Zábrodské za její podporu a péči, a svému příteli Janu Holubcovi, který mě povzbuzoval po celou dobu psaní této práce. Mé upřímné díky patří i Danielovi Espitiovi, bez jehož praktických návrhů a konstruktivní kritiky by dokončení této práce nebylo možné.

Zpracování odpadu máku setého

Abstrakt

Bakalářská práce pojednává o možném využití zemědělského odpadu máku setého, jednak na výrobu aglomerovaných materiálů, konkrétně třískových desek, tak i na produkci buničiny pro papírenský průmysl. Primární surovinou byly makovice, jež byly rozděleny a zpracovány právě pro tyto dvě využití. U jednotlivých produktů byla zároveň testována řada vlastností. Způsob výroby a výsledky daných zkoušek jsou popsány v následujícím textu samotné práce. Součástí této bakalářské práce je i grafické zpracování dat a porovnání vhodnosti využití materiálu pro oba produkty. Na základě posouzení jednotlivých vlastností výrobků bylo determinováno, že nejvhodnější formou zpracování odpadní biomasy z makovic je právě výroba papíru, u nějž byly v této práci zjištěny velice příznivé vlastnosti, protože dosahuje větší pevnosti než řada dalších jednoletých rostlin.

Klíčová slova: zemědělský odpad, makovice, třískové desky, buničina, chemické zpracování, mechanické vlastnosti

Poppy waste processing

Abstract

The bachelor thesis deals with the possible use of agricultural opium poppy waste, both for the production of agglomerated materials, namely particleboards, and for the production of pulp for the paper industry. The primary raw material was poppy capsules, which were separated and processed for these two uses. At the same time, a number of properties were tested for each product. The method of production and the results of these tests are described in the following text of the paper itself. This thesis also includes a graphical presentation of the data and a comparison of the suitability of the material for the two products. Based on the assessment of the various product properties, it has been determined that the most suitable form of processing the poppy waste biomass is the production of paper, which has been found to have very favourable properties in this thesis, as it achieves greater strength than many other annual plants.

Keywords: agricultural waste, poppy capsule, particle boards, pulp, chemical processing, mechanical properties

OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce	11
3	Literární rešerše	12
3.1	Mák setý.....	12
3.1.1	Původ	12
3.1.2	Význam.....	13
3.1.3	Morfologie	14
3.1.4	Růst a vývoj	15
3.1.5	Opium a jeho alkaloidy.....	17
3.2	Výroba třískových desek	18
3.2.1	Využití	18
3.2.2	Historický vývoj	19
3.2.3	Proces výroby	20
3.2.4	Vstupní surovina	21
3.2.5	Třísky	22
3.2.6	Pojiva	22
3.3	Výroba papíru z agrárních zbytků	23
3.3.1	Využití	24
3.3.2	Historický vývoj	24
3.3.3	Proces výroby	25
3.3.4	Výroba buničiny	26
3.3.5	Zdroje vláken	29
4	Metodika	31
4.1	Zpracování primární suroviny	31
4.2	Výroba třískových desek	31
4.3	Testování vlastností třískových desek	35
4.3.1	Hustotní profil.....	36

4.3.2	Navlhání.....	36
4.3.3	Nasákání.....	36
4.3.4	Pevnost vnitřního spoje (odlupčivost)	36
4.4	Výroba buničiny a papíru	38
4.4.1	Natronová buničina.....	38
4.4.2	Dusičnano-alkalická buničina.....	39
4.4.3	Výroba laboratorních aršíků	40
4.5	Testování vlastností papíru	41
4.5.1	Tržná délka	41
4.5.2	Relativní prodloužení.....	41
4.5.3	Pevnost v tahu.....	42
4.5.4	Index absorpce tažné práce	42
4.5.5	Pevnost v průtlaku	43
4.5.6	Propustnost pro vzduch.....	43
5	Výsledky	44
5.1	Třískové desky z makoviny	44
5.1.1	Hustotní profil.....	45
5.1.2	Nasákání.....	46
5.1.3	Navlhání.....	47
5.1.4	Odlupčivost.....	48
5.2	Papír z makovicové buničiny.....	50
6	Diskuse.....	51
6.1	Třískové desky z makoviny	51
6.2	Papír z makovicové buničiny.....	53
7	Závěr	56
8	Literatura.....	57

1 Úvod

V moderní době význam udržitelnosti a ochrany životního prostředí výrazně vzrostl. Příčinou tohoto trendu je rapidní populační růst, který ústí v nadměrné využívání dostupných zdrojů a snahu průmyslových podniků uspokojit takto zvýšenou poptávku, což vede ke znečišťování půdy, ovzduší a vodních zásob. V reakci na tyto ekologické nároky se výzkum zaměřil na techniky recyklace, opětovné využívání různých druhů biologicky rozložitelných odpadů a zavádění obnovitelných zdrojů energie.

V důsledku zavedených strategií pro zmírnění ekologických škod a optimalizaci využívání zdrojů byl objeven nesmírný potenciál biomasy, jakožto udržitelného a obnovitelného zdroje energie. Díky tomu se zvýšil zájem o její využití nejen na produkci energie, ale také na výrobu cenných komodit. Vzhledem ke skutečnosti, že zemědělskou a lesnickou činností vzniká značné množství odpadu, představují zbytky právě z těchto sektorů slibný obnovitelný zdroj pro získávání cenných výstupů. Prostřednictvím různých biotechnologických procesů lze tyto materiály transformovat a získávat z nich prospěšné biosložky chemických látek a paliv. (Silva *et al.*, 2013; Saini *et al.*, 2015)

Lignocelulózová biomasa, získávaná zejména z potravinářského a zemědělského odpadu, nachází rozmanité využití od krmiva pro zvířata, přes hnojiva až po výrobu energie a tepla. Využití lignocelulózového odpadu k výrobě cenných produktů představuje ekologicky i ekonomicky výhodný potenciál tohoto odpadního produktu (Anwar *et al.*, 2014). Odhaduje se, že celosvětová roční produkce lignocelulózové biomasy dosahuje přibližně 181,5 miliardy tun (Paul & Dutta, 2018). Využití zemědělských zbytků, obsahujících lignocelulózové materiály, jako biomasy nabízí mnoho podmanivých výhod, jako je nepodmíněná dostupnost materiálu, obnovitelnost a nákladově efektivní výroba. Tyto přednosti představují ideální řešení pro udržení tempa se společenskými ekologickými požadavky (Brinchi *et al.*, 2013).

Řada zemědělských odpadů a přirozeně rostoucích jednoletých rostlin po celém světě vykazuje chemické a fyzikální vlastnosti podobné dřevu (Rials & Wolcott, 1997). Patří mezi ně materiály, jako jsou stonky máku (Arslan & Sahin, 2016), stonky bavlny (Alma *et al.*, 2005), stonky slunečnice (Bektas *et al.*, 2005), odpad z cukrové třtiny (Wu, 2001), kokosové slupky (Udhayasankar, 2020) a další.

2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zhotovení výrobků z odpadu máku setého a zároveň provedení srovnání možného použití těchto produktů. Výroba bude konkrétně zaměřena na třískovou desku a papírenskou vlákninu.

Jak třískové desky, tak i papírenská vláknina, budou podrobeny řadě zkoušek pro otestování jejich vlastností. Z vybraných vlastností u třískové desky jde o hustotní profil, navlhání, nasákání a pevnost vnitřního spoje. Zatímco u papíru vyrobeného z papírenské vlákniny jde primárně o stanovení pevnosti v tahu, pevnosti v průtlaku a o propustnost vzduchu.

3 Literární rešerše

3.1 Mák setý

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) z čeledi makovitých (*Papaveraceae*) je jednoletá rostlina pěstovaná primárně pro potravinářství, kde jsou zralá semena využívána v pekárensko-cukrárenské a olejářské výrobě. Nezralé makovice obsahují vysoký podíl alkaloidů, jejichž surová směs představuje návykovou látku – opium. Z tohoto důvodu se na mák vztahuje ohlašovací povinnost osob pěstujících mák na ploše větší než 100 m² a ohlašovací povinnost při vývozu a dovozu makoviny podle zákona č. 167/98 Sb. (zákon o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů) (Tichá & Vyzínová, 2006; Česko, 1998).

3.1.1 Původ

Mák setý je velmi stará kulturní rostlina, jež byla popsána jako samostatný druh roku 1753 v knize švédského přírodovědce Carla Linné. Její původ není doposud zcela jednoznačný, dominující teorií ale zůstává formování tohoto druhu máku z blízkce příbuzného planého máku štětinkatého (*Papaver setigerum* DC.). Tuto domněnku vznesl francouzský botanik De Candolle na základě podobnosti rostlin sebraných při francouzském středomořském pobřeží v roce 1883. Podobné, někdy i stejné, charakteristiky obou rostlin vedou ale některé botaniky k názoru, že mák štětinkatý není předchůdcem máku setého, naopak je jeho poddruhem (Novák & Nováková, 2018).

Jedná se pravděpodobně o jednu z nejstarších léčivých rostlin lidstva, jejíž původ lze sledovat až do období neolitu (7000–3500 let př. n. l.) v oblastech Malé Asie. Vůbec nejstarším historickým dokladem o jeho existenci jsou hliněné tabulky nalezené v Nippuru, datovány do období vzkvětu Sumerské říše asi 5000 let př. n. l. (Baser & Arslan, 2014). Tyto texty psané klínovým písmem popisují pěstování máku setého, extrakci šťávy z makovic pro výrobu opia, a dokonce i pojmenování rostliny jako *Hul Gil* – „rostlina radosti“ (Kapoor, 1995). Kromě Sumerů byl mák pěstován také Asyřany, Egypťany, Řeky, Římany, Peršany a Araby. V průběhu staletí se však hojně rozšířil i na Dálný východ, včetně Indie, severní Barmy, Thajska a Číny (Lim, 2013).

Nejstarší archeologické nálezy zbytků semen a tobolek máku pochází z oblastí okolo švýcarských jezer, Porýní, jižní Francie a Španělska (Baranyk *et al.*, 2010).

Nalezené neolitické fragmenty nejsou zcela shodné s dnešní podobou máku setého. Z toho důvodu bývají považovány za přechodnou formu mezi planým mákem štětinkatým a kulturním mákem setým. Není vyloučena ani možnost, že se jednalo o dnes již vyhynulý mák integrující znaky několika druhů, který byl pouhým předchůdcem dnešního kulturního i planého máku (Novák & Nováková, 2018).

V Evropě byl mák až do 16. století pěstován výhradně pro svou oblíbenost v kulinářských výrobcích a jako okrasná a dekorativní rostlina. O popularizaci jeho farmaceutických účinků se zasloužil švýcarský alchymista, astrolog a doktor Paracelsus, který experimentoval s opiem v různých formách. Nakonec jej proslavila opiová tinktura zvaná laudanum, která měla být používána na úlevu od bolesti a kašle (Schiff, 2002).

V 19. století byla tato tinktura považována za jakýsi vše-lék a díky její dostupnosti byla také značně zneužívána. Jako první krok k mezinárodnímu zákazu drog byla v Šanghaji roku 1909 ustanovena Mezinárodní opiová komise a následně byla v roce 1912 v Haagu podepsána první mezinárodní smlouva o kontrole drog, která vstoupila v platnost celosvětově v roce 1919, kdy byla začleněna do Versailleské smlouvy (Beyer, 2009).

Dnes jsou návykové látky včetně opia kontrolovány Mezinárodním výborem OSN pro kontrolu omamných látek. Státy produkující opium jsou povinny určit vládní agenturu, skrze kterou je prováděn veškerý velkoobchod a vývoz těchto substancí (Beyer, 2009).

3.1.2 Význam

Mák setý se pěstuje zejména pro svá olejnatá semena využívána v potravinářství a pro obsah alkaloidů nezbytný pro výrobu analgetik ve farmaceutickém průmyslu (Lim, 2013).

V rámci Evropy se pěstuje mnoho kultivarů máku setého v závislosti na jejich plánovaném použití. Pro potravinářské účely se v zemích jako je Česká republika a Německo pěstují kultivary s nízkým obsahem alkaloidů. Opačnou strategií disponuje například Francie či Španělsko, kde je mák pěstován pouze pro farmaceutické využití makoviny. Kompromis představuje Maďarsko či Slovensko, na jejichž území se lze setkat s oběma typy odrůd (Ngernsaengsaruy *et al.*, 2023).

Indie je největším světovým producentem surového opia a Turecko, které v roce 1971 výrobu opia zakázalo, je největším producentem makoviny. Obě země jsou ve světě považovány za „tradiční dodavatelské země“ (Baser & Arslan, 2014).

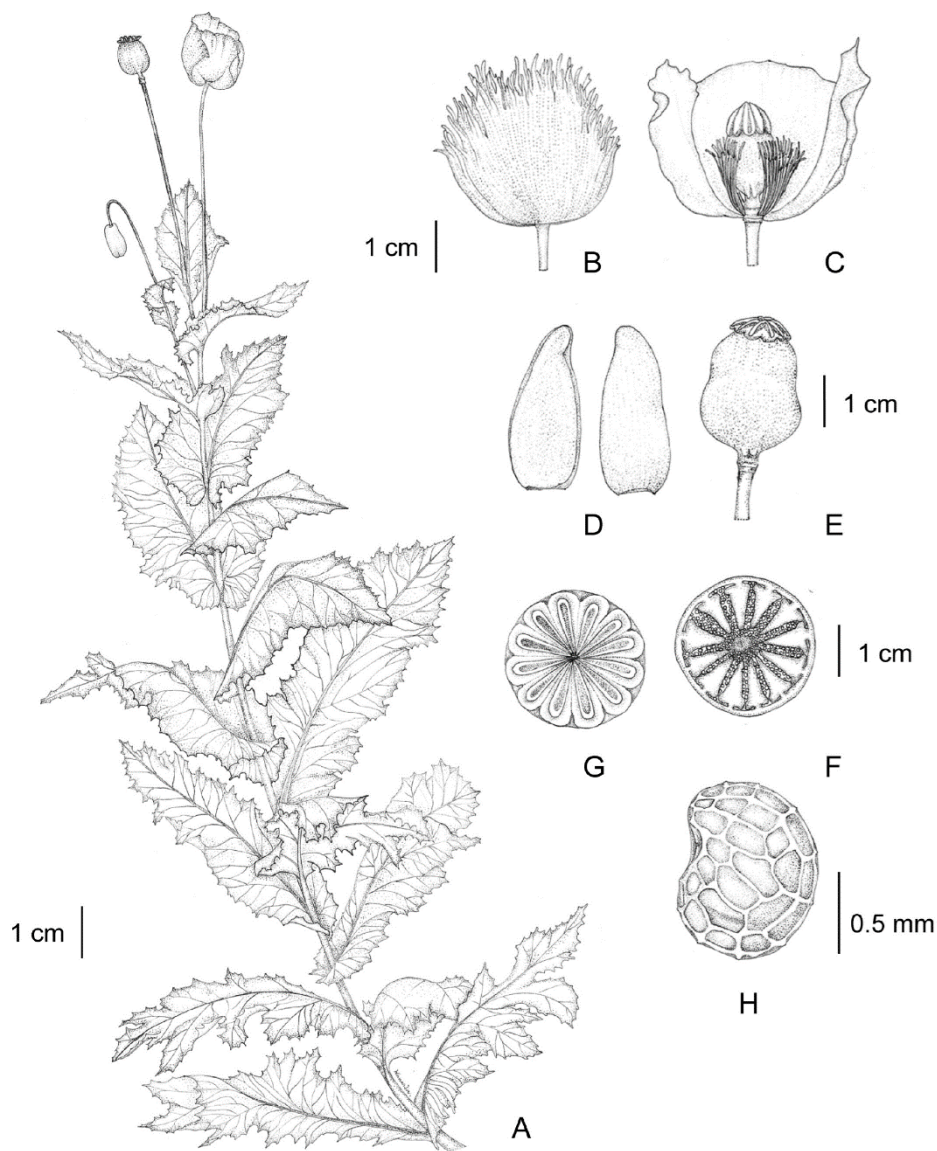
Celosvětová produkce máku se pohybuje kolem 100 000 tun ročně, přičemž hlavními producenty jsou Turecko a Česká republika. Tyto dvě země k roku 2013 naplňovaly přibližně 68 % světové poptávky (FOSTAT, 2013, cit. podle Baser & Arslan, 2014).

Nelegální pěstování máku pro výrobu opia představuje pro některé země ekonomickou nutnost. Odhadované plochy ilegálně pěstovaného máku k roku 2009 značně převyšovaly plochy máku pěstovaného pod záštitou zákona, pro skutečnou produkci ale data neexistují (UNODC, 2009, cit. podle Baser & Arslan, 2014).

3.1.3 Morfologie

Rod *Papaver* L., mák, zahrnuje přibližně 100–120 druhů, které lze roztrdit do 9–12 sekcí na základě jejich morfologických a karyologických znaků a podle zastoupení jednotlivých alkaloidů. Taxonomie tohoto rodu je tak poněkud složitá, pro zjednodušení může být užitečné následující rozlišení. Mák, který se vyznačuje bílými květy a semeny, se běžně pěstuje v Indii a tradičně se označuje jako odrůda *album*. Mák, který se vyznačuje fialovými květy a břidlicově šedými semeny, se běžně pěstuje v Evropě pro svá semena a tradičně se označuje jako odrůda *nigrum*. Mák, který se vyznačuje červeno-oranžovými květy a černými semeny se běžně pěstuje v Malé Asii a tradičně se označuje jako odrůda *glabrum* (Schiff, 2022).

Jelikož se jedná o kulturní rostlinu, vykazuje mák setý značné rozdíly v barvě květu, semen a tvaru tobolky. Celkový vzhled rostliny se však tolik neliší a lze jej pozorovat na Obr. 1. Vegetativní orgány rostliny tvoří hlavní kulový kořen, dutý nevětvený stonk a střídavé podlouhlé listy, jež srdčitou bází svírají stonk. Do generativních orgánů se řadí vejčité poupě a dva kališní lístky, které při rozkvětu opadávají. Květ poté tvoří čtyři velké korunní lístky a květní lůžko s početnými tyčinkami a uprostřed umístěným nápadným semeníkem s přisedlou paprscitou bliznou. Plodem máku je kulovitá až oválná tobolka (těž makovice) připojena ke stonku pomocí kolénka. Na jejím vrchu se nachází bliznový terč tvořen 9–15 laloky. Semeno je ledvinovitého tvaru se síťovitou strukturou a po dozrání je volně uloženo v tobolce (Kapoor, 1995).



(A) kvetoucí rostlina; (B) květ; (C) otevřený květ, tyčinky a pestík (pohled z boku, vnější okvětní lístek odstraněn); (D) kališní lístky (E) tobolka s paprsky spojenými ve zvětšený neopadavý bliznový terč; (F) příčný řez tobolkou; (G) bliznový terč (pohled shora); (H) semeno s viditelnou síťovitou strukturou

Obr. 1: *Papaver somniferum* L. (Ngernsaengsaruy *et al.*, 2023)

3.1.4 Růst a vývoj

Pro pěstování máku setého je nejvhodnější mírné až teplé klima s nízkou vlhkostí a malými srážkami, a to zejména v období počátečního růstu. Ačkoli je jeho růst možný i na písčitéch a hlinitých půdách, ideálním typem je písčito-hlinitá půda, která zadržuje

živiny a vláhu, ale zároveň není příliš tvrdá, pro průnik jemných raných kořenů. Růst je ovlivňován hlavně nadměrným množstvím srážek, není-li půda řádně odvodněna, rostliny rychle odumírají. Nadměrný déšť ve 30. až 90. dni vegetačního období navíc snižuje schopnost produkce opia (Booth, 1999).

Za optimální dobu setí máku pro podnebí ČR se považuje období od začátku února do poloviny března, nejpozději však do poloviny dubna v závislosti na aktuálním počasí. Pro klíčení jsou příznivé vyšší únorové teploty, teploty v dubnu umožňují větší prohřátí půdy a vzejití semene přibližně o týden dříve, tedy za dva týdny. Výsev v květnu není žádaný, jelikož rostliny přecházejí rychleji do květu a dlouhodobí působení slunečního záření má za následek nižší výnos rostliny (Novák & Nováková, 2018).

Růstový cyklus této rostliny trvá přibližně 120 dní a je charakterizován třemi hlavními obdobími: období pozvolného růstu, období intenzivní asimilace a období dozrávání a odumírání rostliny.

Za příznivých podmínek mák vzejde poměrně rychle, ale následný růst listů je již poměrně pozvolný. V raném období růstu intenzivně roste především kulový kořen, jenž rostlinu zásobuje vodou a živinami. Ve 3 až 4 týdnech mají rostliny přibližně 10 listů, v následujících 4 týdnech se vytváří přízemní listová růžice, začíná prodlužování stonkových článků a zároveň se vytváří kořenová soustava. Do 8 týdne rostlina dosáhne výšky asi 60 cm (Booth, 1999; Novák & Nováková, 2018).

Ve druhém období dochází k největší asimilaci, přibývá organická hmota a rostlina tak značně mohutní. Stonek s poupětem je nejprve přímý a s postupným prodlužováním se ohýbá a vytváří háčkovitý tvar, poupě tak visí vzhůru nohama. V průběhu další vývojové fáze poupě dozrává a opět se napřimuje. (Novák & Nováková, 2018) Do dvou dnů po narovnání se kališní lístky poupěte, které mají stejnou barvu jako listy, otevřou a dochází k rozkvětu. V ideálních podmínkách se hlavní květ objeví kolem 90. dne od vyklíčení. Během tohoto období dorůstá rostlina do výšky 90 až 150 cm (Booth, 1999).

V posledním období dochází k odkvětu, semeník se přemění na tobolku, která se postupně zvětšuje. Tobolka dorůstá do kulovitého či vejčitého tvaru o průměru 5 až 7,5 cm, přičemž konečné velikosti dosahuje přibližně 3 týden po odkvětu. Mladé tobolky jsou zelené, dužnaté a v rané fázi jejich formování nedochází k tvorbě mléčně zbarveného latexu. V průběhu dozrávání již nemění svůj objem a na vnitřních lamelách se začínají

formovat semena, která jsou v ní po dozrání volně uložena. Následuje pozvolný pokles hmotnosti, tobolka vysychá a nabývá kožovité konzistence. V konečné fázi lze tedy pozorovat zdřevnatělou makovici na vyschlé stopce, naplněnou zralými semeny (Novák & Nováková, 2018).

3.1.5 Opium a jeho alkaloidy

Mák setý v průběhu svého růstu produkuje opium, silnou psychoaktivní látku v podobě mléčně bílého latexu. Světově známé označení opium je poněkud zavádějící, protože naznačuje, že se jedná o jedinou chemickou sloučeninu, zatímco jde o komplexní soubor organických sloučenin obsahující sacharidy, bílkoviny, latex, gumy, rostlinný vosk, tuky, kyselinu sírovou, mléčnou a mekonovou, vodu a celou řadu alkaloidů (Booth, 1999).

Alkaloidy jsou vysoce komplexní organické sloučeniny volně se vyskytující v rostlinách. Mezi jejich společné vlastnosti se řadí zásaditost a obsah vázaného dusíku, jsou též charakteristické svou hořkou chutí. Doposud jich bylo v opiu identifikováno přibližně 80, z nichž nejdůležitější a nejznámější jsou analgetika morfin (z něhož lze vyrobit heroin) a kodein. Tyto dva alkaloidy spolu s thebainem, noskapiinem a papaverinem tvoří prakticky veškerý kvantitativní obsah alkaloidů v opiu (Lim, 2013).

Opium se extrahuje s nezralých tobolek máku setého, jejich naříznutím a manuálním sbíráním latexu. Latex je neprůhledná mléčně zbarvená šťáva, která se sice nachází v celé rostlině, ale účinná látka se soustřeďuje hlavně v tobolce, kde se vytváří v mléčnicích. Opium se vytváří pouze v období 10 až 12 dnů po odkvětu rostliny. Po dosažení zralosti se alkaloidy již nevytvářejí a časem se rozkládají (Booth, 1999).

Opiové deriváty a jejich polosyntetické náhražky, jako je například oxykodon, jsou nedílnou součástí farmaceutického průmyslu. Používají se k léčbě bolesti, tlumení kašle, zmírnění průjmu a navození anestezie. Jsou to však jedny z nejvíce návykových látek známých člověku. Vysoká návykovost opiových derivátů je dělá náchylné ke zneužívání, které se projevuje jejich užíváním bez legitimní příčiny či zvyšováním jejich dávek. V takovém případě o nich už nelze mluvit jako o léčivých látkách a užívá se tak pejorativní výraz „narkotika“ či „drogy“ (Booth, 1999; Beyrer, 2009).

Morfin a heroin

Hlavním účinným alkaloidem opia je morfin, který poprvé izoloval v roce 1806 německý lékárník Friedrich Sertüerner. Izolovaný alkaloid nazval morfium podle řeckého boha snů Morfea. Byl to nejen první alkaloid, který byl extrahován z opia, ale také první alkaloid, který byl kdy izolován z nějaké rostliny.

S vynálezem duté jehly a injekční stříkačky se morfin začal používat při léčbě pooperační a chronické bolesti a také jako doplněk k celkovým anestetikům. Bohužel měl morfin stejný potenciál ke zneužívání jako opium. Při hledání bezpečnějšího a nenávykového opiátu syntetizoval Felix Hoffman v roce 1898 diacetylmorfin. V letech 1898 až 1910 byl tento derivát prodáván společností Bayer pod obchodním názvem Heroin. Droga byla propagována jako nenávyková náhražka morfinu a lék proti kašli pro děti. Společnost Bayer prodávala heroin také jako náhražku léku proti závislosti na morfinu, než bylo zjištěno, že se heroin v lidském těle přeměňuje na morfin díky skupině enzymů zvané cholinesterázy (Beyer, 2009).

3.2 Výroba třískových desek

Třískové desky jsou jedním z druhů materiálů na bázi dřeva. Patří do skupiny aglomerovaných materiálů, do níž se dále řadí desky z plochých třísek (OSB desky a multifunkční panely) a vláknité desky. Podstatou aglomerovaných materiálů je spojení drobných částic (třísek/vláken) dřevní, či jiné lignocelulózy, hmoty a lepidla pod tlakem (Böhm *et al.*, 2012).

3.2.1 Využití

Třískové desky jsou hojně využívány v nábytkářském a stavebním průmyslu. O jejich popularitu se zaslouhuje hlavně velmi dobrý poměr cena/výkon, jehož podstatou je zpracování levných odpadních materiálů. Výsledným produktem je plošně izotropní velkoplošný materiál bez jakýchkoli vad, který disponuje širokou škálou možností pro povrchovou úpravu (Böhm *et al.*, 2012). Třískové desky se běžně používají pro výrobu skříní, stolních desek, regálů, stěnových a podlahových panelů, příček, dveří a dalších nekonstrukčních architektonických aplikací (Harshavardhan & Muruganandam, 2017).

3.2.2 Historický vývoj

V 19. století byla jako alternativa pro masivní dřevo vynalezena překližka, vlivem druhé světové války však ve 40. letech 20. století nastal velký nedostatek dřevní suroviny, což vedlo k hledání dalších možností výroby deskových materiálů.

První třískovou desku na bázi dřeva vyrobil německý vynálezce a válečný pilot Max Himmelheber. Vyráběla se z dřevěných pilin, hoblin a odřezků rozštěpených kladivem na třísky a spojených fenolovými pryskyřicemi. Postupem času bylo zjištěno, že použití stejnorodých třísek může vést k lepší pevnosti, vzhledu a také k efektivnějšímu využití pryskyřic.

Dalším velkým posunem byla snaha o homogenizaci povrchu desek za použití vrstvené výroby. Výrobci začali používat jemné vrstvy třísek z masivní břízy, borovice, olše a smrku na vnější plášť desky, zatímco jádro stále tvořily větší třísky z levnějších materiálů. Tyto desky byly známy jako „třívrstvé dřevotřískové desky“ (Sainath *et al.*, 2015).

Trh s dřevotřískovými deskami prošel za posledních několik desetiletí intenzivním vývojem. V roce 1956 bylo v Evropě 106 továren, které vyráběly 724 000 m³ dřevotřískových desek ročně. V roce 1973 se výroba ve srovnání s rokem 1956 zvýšila přibližně 27× (Maloney, 1977 cit. podle Costa, 2014). Toto období započalo éru velkého rozvoje průmyslu deskových materiálů na bázi dřeva, přičemž význam dřevotřískových desek výrazně vzrostl (Costa, 2014).

V dnešní době se trh s deskami na bázi dřeva a dřevotřískovými deskami zcela změnil. Současná světová kapacita činí přibližně 100 milionů m³ ročně a je rozdělena po celém světě v různých poměrech (Costa, 2014). Největšími výrobci jsou Evropa a Asie. K roku 2020 se Asii připisovalo 44 % celosvětové výroby a Evropě 42 % (Lee *et al.*, 2022).

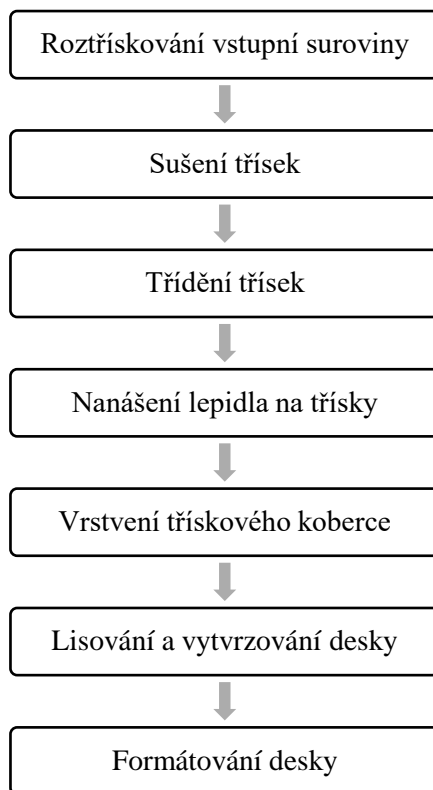
Rostoucí poptávka po dřevě, s ním související náklady a používání močovino-formaldehydových nebo fenol-formaldehydových pryskyřic s potenciálními zdravotními problémy vedly ke snaze objevit obnovitelný zemědělský materiál jako náhradu pro vstupní surovinu na výrobu třískových desek (Regmi, 2021). Využití dřevních či agrárních zbytků, jakými je například sláma nebo právě makovina, při výrobě, tak představuje ideální řešení z ekonomického i ekologického hlediska.

3.2.3 Proces výroby

Třískové desky jsou kompozitem dřevěných, či jiných lignocelulóзовých, částic (třísek) spojených nejčastěji pryskyřicemi na bázi formaldehydu (Sainath *et al.*, 2015). Jejich pevnostní vlastnosti závisí na mnoha faktorech, jako je druh materiálu, výsledná hustota desek, typ použité pryskyřice, její množství a rozložení, charakter a zastoupení dřevěných částic a způsob lisování (Warren, 1971).

Mezi důležitá zařízení potřebná pro výrobní proces se řadí odkorňovač (v případě výroby desek na bázi dřeva), roztřískovač, sušárna na třísky, zařízení na třídění třísek, jednotka na nanášení lepidla, hydraulický lis s ohřevem a další.

Existují dva základní druhy dřevotřískových desek podle způsobu lisování: plošně lisované desky, vyráběné ve víceetážových vyhřívaných lisech, a výtlačně lisované desky. Výtlačný lis umožňuje výrobu lehčených desek s otvory, nevýhodou je pouze jednovrstvá stavba desky. Plošně lisované desky tvoří 85 % výroby, mají kvalitnější povrch a rovnoměrnější rozložení třísek, což vede ke lepší pevnosti, tuhosti a rozměrové stabilitě (Warren, 1971). Obecné kroky používané při průmyslové výrobě třískových desek zobrazuje Obr. 2.



Obr. 2: Zjednodušené schéma výroby třískových desek

Muruganandam *et al.* (2016) popisují postup manuální výroby třískových desek pro vědecké účely následovně:

Výběr vstupní suroviny

Prvním krokem při výrobě desek je shromáždění vstupní suroviny. Tímto materiálem mohou být dřevěné zbytky, zemědělský odpad nebo jakýkoli materiál, který je určen k tomuto procesu, viz podkapitola 3.2.4.

Příprava třísek

Dalším krokem je roztřídění shromážděného materiálu v závislosti na požadované velikosti a následné sušení, aby se snížil obsah vlhkosti. Nejméně nákladnou metodou, která nevyžaduje odborné znalosti je sušení na slunci. Po snížení obsahu vlhkosti se vysušený odpad roztřískuje a vytrídí na vibračních sítích na požadované frakce.

Nanášení pryskyřice

Třísky získané po sítové analýze se smísí s pryskyřicí a ručně se míchají až do získání homogenní směsi. Pro usnadnění procesu vytvrzování je možné pryskyřice nejdříve smísit s tvrdidlem.

Lisování

Posledním krokem výrobního procesu je lisování. Masa vzniklá v předchozím kroku je přemístěna do obdélníkové formy a dopravena do hydraulického lisu. Během lisování se působením tepla a tlaku aktivuje pryskyřice a částice se spojí do pevného panelu, který je následně připraven k formátování.

3.2.4 Vstupní surovina

Velkou výhodou oproti ostatním materiálům na bázi dřeva představují nízké nároky na vstupní surovinu. Třískové desky jsou vyráběny z méně žádaného dřeva, dřevních zbytků a odpadního materiálu, ale také z nedřevních lignocelulózových materiálů, jako je bambus, či některých agrárních zbytků, z nichž nejčastější je pazdeří, bagasa, stonky bavlníku a pšeničná sláma (Svoboda *et al.*, 2012). Mnohé experimenty prokázaly, že je

možné využít například i kokosové vlákno (Kavitha *et al.*, 2015), slupky vodních melounů (Idris *et al.*, 2011), skořápky mandlí, pistácií či lískových ořechů (Sahin *et al.*, 2017), nebo dokonce odpadní papír ošetřený maleinanhydridem (Nourbakhsh & Ashori, 2009).

Variabilita vstupní suroviny a využití odpadních materiálů vede k vysoké výtěžnosti ve srovnání s materiály na bázi masivního dřeva (Astari *et al.*, 2019).

3.2.5 Třísky

Při výrobě třískových desek je velmi důležitá znalost geometrie třísky. Velikost a tvar jednotlivých částic výrazně ovlivňují vlastnosti desek. Jejich tvar a zastoupení společně s obsahem pryskyřice lze řídit tak, aby vznikl požadovaný soubor fyzikálních vlastností výsledné desky.

Velikost, tvar, typ a umístění částic ovlivní také hladkost povrchu a pevnost desky. Relativně dlouhé částice vytvoří pevnější strukturu než krátké částice. Na druhou stranu jemné částice povedou k hladšímu povrchu.

Obecně se rozlišují dva hlavní typy třísek: třísky „lístkovité“, s relativně vysokým poměrem tloušťky a délky, a třísky „jehlicovité“ s nízkým poměrem tloušťky a délky. Kombinace lístkovitých třísek v jádru desky a jehlicovitých třísek na povrchu desky vede ke vzniku kvalitní desky s vysokou pevností a hladkým povrchem. Výše popsaná vícevrstvá deska je díky své skladbě ideálním kandidátem pro laminování a jiné povrchové úpravy a je tak využívána pro všemožné typy obkladů a při výrobě nábytku (Warren, 1971).

3.2.6 Pojiva

Pro výrobu třískových desek jsou nejčastěji používána pojiva na bázi syntetických pryskyřic, jsou jimi: močovino-formaldehyd (UF), melamin-formaldehyd (MF), také jejich směs močovino-melamin-formaldehyd (MUF), a fenol-formaldehyd (PF). Dále se také používají jednosložková polyuretanová (izokyanátová) lepidla, skládající se z polymerního methylen-difenyl-diizokyanátu (MDI) (Svoboda *et al.*, 2012).

Močovino-formaldehydová lepidla se využívají tam, kde dochází k minimální expozici vlhkosti, jelikož vytvrzená pryskyřice ve vlhkém prostředí degraduje. Proto se

UF pryskyřice obvykle používají hlavně pro interiérové vybavení a nábytek. Melamin-formaldehydová lepidla jsou o něco odolnější vůči vlhkosti, ale jsou méně stálá a mnohem dražší, z toho důvodu se častěji používá jejich kompozice MUF pryskyřice. Pro venkovní použití a aplikaci do interiérových prostor se zvýšenou vlhkostí se běžně používají fenol-formaldehydová a izokyanátová lepidla, jejichž cena je podstatně vyšší než cena UF pryskyřic (Svoboda *et al.*, 2012).

Bylo prokázáno, že se z desek lepených pryskyřicemi na bázi formaldehydu se tato látka může uvolňovat. To je obzvláště nežádoucí v interiérových prostorech, jelikož formaldehyd je nechvalně známý pro své karcinogenní účinky. I při nízkých dávkách může způsobovat respirační obtíže a tvorbu rakovinových buněk. I přestože MDI není přímou hrozbou pro lidské zdraví, při manipulaci s ním mohou také vznikat zdravotní problémy, a to hlavně dýchací potíže (Mohanty *et al.*, 2005).

Na základě udržitelnosti a zabránění zbytečných zdravotních rizik se výzkum přesunul k hledání alternativních pojiv na přírodní bázi. Jak ze strany akademických institucí, tak ze strany výrobního průmyslu byl projeven velký zájem o zařazení přírodních vláken namísto syntetických (Mohanty *et al.*, 2005). Sójová mouka a kukuřičný škrob jsou jedny z materiálů z obnovitelných zdrojů, které by mohly být použity jako alternativní pojiva pro pryskyřici (Sundquist & Bajwa, 2016).

3.3 Výroba papíru z agrárních zbytků

Výraz „papír“ pochází ze starořeckého slova „papyrus“, které označuje první psací materiál v historii vlastnostmi podobný dnešní podobě papíru. Papyrus byl vyráběn slepováním plátků nařezaných ze stonků rákosovité rostliny šáchoru papírodárného (*Cyperus papyrus*). Toto umění objevila starověká egyptská civilizace více než 3000 let př. n. l. (Chauhan & Meena, 2021).

Papír byl v průběhu staletí nenahraditelným prostředkem pro komunikaci a zachovávání informací a dnes tomu není jinak. S vynálezem počítačů se předpokládalo snížení spotřeby tiskového papíru, ale dnes používaná elektronická zařízení mají efekt opačný (Myréen, 1994). Jeho potenciál v současné době není omezen jen na přenos informací, slouží také pro výrobu obalových materiálů a konstrukčních prvků, jakými je sádrokarton nebo například tepelná izolace (Britt, 2020).

3.3.1 Využití

Ačkoli se přepokládalo, že se papírenský průmysl bude v důsledku digitalizace postupně zmenšovat, není tomu tak. Výroba papíru a ostatní zpracování lesní suroviny jako celek stále roste, i když pomalejší tempem. Poptávka po obalovém materiálu a hygienických prostředcích stoupá po celém světě. Celková světová produkce činí přibližně 420 miliónů tun ročně, přičemž nadpoloviční část, 220 miliónů tun, tvoří právě poptávka po obalovém materiálu a lepence všeobecně, 130 miliónů tun je připisováno tiskovému a grafickému papíru a zbylých 70 miliónů tun je přisuzováno kosmetickým potřebám a ostatnímu zboží (Berg & Lingqvist, 2019).

3.3.2 Historický vývoj

Nejstarší zmínky o procesu podobnému výrobě papíru pochází z Indie kolem roku 250 př. n. l., neexistují však žádné materiální důkazy, proto se počátky výroby papíru datují přibližně do roku 105 n. l. do Číny (Chauhan & Meena, 2021). Císařský úředník, jménem T'sai Lun, zde vytvářel listy papíru za použití nejrůznějších materiálů, například starých hadrů, kůry stromů a bambusových či morušových vláken. Na svých cestách toto umění rozšířil na západ do Střední Asie, ke zbytku světa se ale dostalo až o několik století později (Rullifank *et al.*, 2019). Číňané tajemství výroby papíru záměrně tajili, v 6. století však tento vynález buddhistický mnich Dam Jing přinesl do Japonska. Zde byla tamními obyvateli výroba papíru okamžitě osvojena, jako materiál používali buničinu získanou z morušové kůry (Chauhan & Meena, 2021). Teprve až v druhé polovině 8. století se zlatým věkem islámské kultury se tento um rozšířil na Blízký východ, odkud poté doputoval až na hranice Evropy (Bajpai, 2012).

Ve Evropě se papírenský průmysl vyvíjel poměrně rychle a přinášel s sebou mnoho inovací. Ve 14. století již ve Španělsku, Francii, Itálii a Německu stála řada papíren, primární surovinou byl v této době lněný a bavlněný odpad. V 50. letech 15. století byl v Německu vynalezen knihtisk, čímž se rapidně zvýšila poptávka po výrobě papíru. Problémem ale byl nedostatek vstupních surovin. Na konci 18. století byl objeven způsob pro odstraňování inkoustu z papíru a na výrobu se tak začala používat i jeho recyklovaná vlákna (Bajpai, 2012).

Dnešní podoba výroba papíru, se datuje od přelomu 18. a 19. století, kdy bratři Fourdrinierové financovali stavbu prvního funkčního papírenského stroje, patentovaného

Nicholasem-Louisem Robertem roku 1799 ve Francii (Myréen, 1994). Ve Spojených státech se začal Fourdrinierův stroj používat až v roce 1927 (Rullifank *et al.*, 2019).

Milníky, které vybudovaly základ modernímu celulózo-papírenskému průmyslu pokračovaly dále vynálezem válcového papírenského stroje Johnem Dickinsonem v roce 1809, který umožňoval výrobu kontinuální listu papíru. O sedmnáct let později byl zaveden parní válec pro sušení papíru. Mechanický proces výroby z nekvalitního dřeva objevil v roce 1814 Friedrich Gottlob Keller (Rullifank *et al.*, 2019). Pomocí mechanické metody však nešlo dosáhnout úplně bílé vlákniny z důvodu zbytkového ligninu a dalších složek v dřevovině. Buničina, vláknina vznikající chemickou cestou z dřevní štěpky, byla poprvé zhotovena v Německu roku 1840 (Britt, 2020). V následujících letech se začaly vyvíjet různé metody chemického zpracování. Natronový proces zavedli Charles Watt a Hugh Burgess v roce 1854. Sulfitový proces objevil o tři roky později americký chemik Benjamin Chew Tilgh, tento způsob výroby zaručoval kvalitní bělenou buničinu. Nakonec byl roku 1884, na základě experimentu Carla Dahla, objeven sulfátový (alkalický) proces, který je dnes dominantní výrobní metodou (Rullifank *et al.*, 2019).

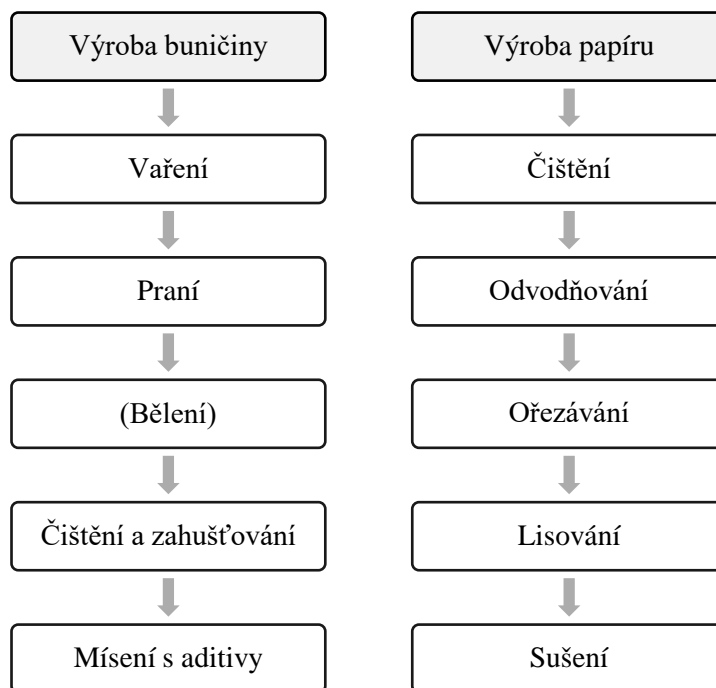
V 70. letech 19. století se začala buničina získávaná z dřevní hmoty používat ve velké míře, což vyřešilo problém nedostatku vstupních surovin. Papírny byly přemístěny do lesů podél řek, které poskytovaly jak dopravní cesty pro dřevo, tak mechanickou energii pro výrobu. Poptávka po papíru jako nosiči informací neustále roste a objevily se i další možnosti jeho využití, například jako obalový materiál nebo na výrobu krabic z vlnité lepenky (Myréen, 1994).

3.3.3 Proces výroby

Výroba papíru je v podstatě dvoustupňový proces, při kterém se vláknitá vstupní surovina nejprve přeměňuje na buničinu a poté se buničina zpracovává na papír (Bajpai, 2018).

Vstupní surovina je nejprve očištěna od prachu a jiných nežádoucích látek a následně dopravena do tlakového kotle na rozvláknění. Buničina je vyrobena chemickou metodou rozvláknování, jejímiž hlavními procesy je vaření a praní, viz podkapitola 3.3.4. V konečné fázi výroby jsou do buničiny přimísena aditiva a plniva (kalafuna, hliník, mastek a případně barvivo či optické bělidlo). Před vložením do papírenského stroje je buničina naposledy pročištěna.

V papírenském stroji dochází nejprve k odvodnění buničiny pomocí gravitace a vakua a následuje ořezávání hran pro získání požadovaných rozměrů papíru. Odřezky spolu s přebytečnou vodou jsou recyklovány. Další odvodnění se provádí pomocí lisovacích válců, a nakonec je papír sušen nepřímou parní sušičkou a navíjen do rolí jakožto konečný produkt. Obecné schéma postupu výroby papíru z agrárních zbytků podle Badar & Farooqi (2011) znázorňuje obrázek Obr. 3:



Obr. 3: Zjednodušené schéma výroby papíru z agrárních zbytků

3.3.4 Výroba buničiny

Výroba papírové buničiny je prvním nepotravinářským průmyslovým využitím rostlinné biomasy. Tento průmyslový proces se skládá z: (1) rozvláknění dřeva za účelem oddělení vláken chemickými nebo mechanickými prostředky a (2) bělení buničiny postupným působením chemických činidel a alkalických extrakcí. Hlavním rozdílem mezi oběma postupy rozvláknování je konečná výtěžnost, která u mechanického rozvláknování dosahuje přibližně 95 % zatímco u chemického pouhých 45–50 %. Druhým důležitým faktorem je ale kvalita papíru, která má v případě chemického rozvláknování výrazně vyšší mechanické vlastnosti. Střední výtěžnosti se dosahuje při použití kombinace chemických činidel a mechanického zpracování (Gutiérrez *et al.*, 2001).

Chemické zpracování

Principem chemického zpracování je rozkládání ligninových vazeb, které spojují celulózová vlákna, pomocí chemických látek, tento proces je nazýván vaření (Badar & Farooqi, 2011). Vstupní surovinou je dřevěná štěpka, která je vkládána do přetlakového kotle spolu s vodou a chemikáliemi. Působením tlaku a vysokých teplot zde dochází k rozpadu štěpky na dřevní vlákna za vzniku odpadního černého louhu, který je záhy vyseparován. Následně je buničina proprána vodou a případně bělena pro získání požadované čistoty barvy. Po extrahování použitých chemikálií lze většinu černého louhu opětovně použít a vytváří se tak výrobní smyčka. Zbytková kapalina se likviduje spalováním za účelem získání energie (Chauhan & Meena, 2021). Existují dva základní typy chemického rozvlákňování: sulfitový (acidní) proces a sulfátový (alkalický) proces (Badar & Farooqi, 2011).

Proces chemického rozvlákňování obvykle odstraňuje větší množství ligninu a výsledkem je tak buničina vysoké kvality, vhodná i pro výrobu přísně normovaných produktů. Papíry vyrobené z chemické buničiny jsou obvykle světlejší, hladší a pevnější než jejich mechanicky rozvlákněné protějšky (Chauhan & Meena, 2021). Mezi další výhody se řadí také efektivní recyklace chemikálií a energie. Existuje však i několik nevýhod, které z tohoto procesu vyplývají, z nichž nejpodstatnější je nižší výtěžnost (45–50 %) způsobená chemickou reakcí a rozpouštěním části celulózy spolu s ligninem, dále pak vyšší výrobní náklady a větší znečištění životního prostředí v důsledku použitých chemikálií (Rullifank *et al.*, 2019).

Mechanické zpracování

Mechanický proces zpracování je založen na působení mechanických sil v přítomnosti vody. Vstupní surovinou je kulatina, která je nejprve odkorněna a následně rozvlákněna. Odpadní kůra je spalována a slouží poté jako doplňkový zdroj energie (Chauhan & Meena, 2021). Dřevní hmota je hydraulicky přitlačována na válcové rotující mlecí kameny, jejichž povrch je pokryt abrazivními výstupky. Odštěpená vlákna vytváří suspenzi s vodou, která je po dokončení procesu rozvlákňování odvedena a znovu použita. Druhou variantou je mechanické rozvláknění dřevní štěpky pomocí dvou rotujících strukturovaných disků (Walker, 2006).

Při mechanickém rozvlákňování se spotřebuje mnohem více energie než kolik jí lze získat z odstraněné kůry. Tento proces je však stále velmi hospodárný, protože výtěžnost dosahuje až 95 % bez vzniku jakéhokoli odpadu. Narozdíl od chemického zpracování nedochází během mechanického procesu k odstranění ligninu, ten se naopak stává součástí buničiny a dodává koncovému papíru šedožlutou barvu (Chauhan & Meena, 2021).

Mechanicky vyráběná buničina má nízkou pevnost a kvalitu, což je způsobeno velkým poškozením jednotlivých vláken v procesu rozvlákňování. Z tohoto důvodu je používána hlavně pro výrobu novinového papíru a jiných netrvanlivých produktů (Badar & Farooqi, 2011). Jejimi výhodami jsou nízké výrobní náklady a větší šetrnost k životnímu prostředí (Rullifank *et al.*, 2019). Ačkoli se mechanické zpracování spoléhá na působení fyzikálních sil namísto oddělování vláken pomocí chemických reakcí, mohou být do procesu výroby zařazeny určité druhy chemikálií. Jednou z těchto látek je například hydroxid sodný používaný k bělení vzniklé buničiny (Badar & Farooqi, 2011).

Chemicko-mechanické zpracování

Tato metoda zpracování vlákniny kombinuje prvky chemického a mechanického rozvlákňování. Dřevní štěpka je nejprve částečně delignifikována a následně mechanicky rozvlákněna. První fáze probíhá za použití menšího množství chemikálií a kratší doby vaření než u čistě chemického zpracování a ve fázi mechanického rozvlákňování je díky předvaření štěpky potřeba značně menší množství energie (Walker, 2006).

Mezi výhody patří poměrně světlá barva buničiny díky částečné delignifikaci, větší pevnost a odolnost, ale hlavně vyšší výtěžnost, která se pohybuje okolo 65–80 % (Rullifank *et al.*, 2019).

Chemicko-mechanické zpracování vlákniny lze provádět i za studena. Fázi vaření zde nahrazuje pouhá impregnace štěpek danou chemickou látkou za pokojové teploty. Potůček *et al.* (2016) rozlišují tři způsoby výroby buničiny za studena podle použitých chemikálií:

- Neutrálně sulfitový způsob – siřičitan a uhličitan sodný,
- Alkalický sulfitový způsob – siřičitan sodný,
- Natronový způsob – hydroxid sodný.

3.3.5 Zdroje vláken

Buničina a papír se vyrábějí z celulózových vláken a jiných rostlinných materiálů, mohou se však používat i některé syntetické materiály, většinou za účelem získání specifických vlastností výrobku, jelikož lze kontrolovat tvar a velikost jednotlivých vláken (Britt, 2020).

Většina papírenské produkce se uskutečňuje z dřevních vláken, ale s rozvojem papírenského průmyslu se začalo k výrobě buničiny a papíru používat i mnoho druhů nedřevěných surovin, které zahrnují agrární zbytky, jednoleté rostliny a jiné nedřevnaté plodiny pěstované především pro svá vlákna (Liu *et al.*, 2018). Papírové výrobky je také možné recyklovat, za pomoci vody je materiál opětovně rozvlákněn, zbaven nečistot a výsledná recyklovaná buničina je připravena k dalšímu procesování (Bajpai, 2018).

Dřevěné materiály

Pro výrobu papíru lze použít dřevní hmotu z téměř každého druhu stromu. Při výběru je však potřeba zohlednit koncové využití daného papíru, jelikož pevnost a kvalita vláken se u jednotlivých druhů stromů liší. Obecně platí, že ze dřeva jehličnatých stromů se získávají dlouhá vlákna, která dodávají papíru pevnost. Proto je z nich získaná buničina používána na výrobu lepenky, krabic a jiného obalového materiálu. Naproti tomu listnaté dřeviny mají obecně kratší vlákna a tím i nižší pevnost. Z této buničiny se proto vyrábí papír o nižší plošné hmotnosti, který však disponuje hladší texturou, a je tak vhodnější pro tisk. Pro zajištění pevnosti výrobku a zároveň zachování hladkého povrchu, se buničiny z obou skupin stromů mísí (Bajpai, 2018).

Recyklované materiály

Sběrný papír se stává stále významnějším zdrojem suroviny pro výrobu papíru. V současné době je téměř 50 % materiálu pro výrobu papíru založeno na recyklované vláknině. V procesu recyklace se původní papír nebo lepenka znovu navlhčí a zredukuje na buničinu, a to především mechanickou cestou. Dále jsou pomocí chemikálií a mechanických separací odstraněny stopy inkoustu, lepidel a jiných zbytkových nečistot. Výsledná buničina má v důsledku druhotného rozvláknění obecně jiné fyzikální vlastnosti než buničina z původní dřevní hmoty (Bajpai, 2018).

Nedřevěné materiály

Celosvětově tvoří nedřevěné materiály asi 6 % celkového objemu vlákniny pro výrobu papíru. Jsou získávány ze zemědělského odpadu, jako je obilná sláma či bagasa z cukrové třtiny, jednoletých rostlin, jako je kenaf či stonky kukuřice, z textilních vláken bavlny či lnu anebo z různých druhů trav, například bambus či rákos (Azzez, 2018; Britt, 2020).

Výhodou výše jmenovaných druhů rostlin je, že mají na rozdíl od dřeva nižší obsah ligninu, kratší růstové cykly a jsou nenáročné na zavlažování. Ve srovnání se dřevem mají roční výnos celulózy daleko vyšší, a navíc je jejich rozvláknění možné i za použití jednoduchých chemikálií jako je hydroxid sodný, což je činní ideálními kandidáty pro alternativní výrobu buničiny a papíru (Azzez, 2018).

Obecně platí, že v oblastech světa, kde jsou dostatečné zásoby dřevní hmoty, je sběr a zpracování nedřevních rostlinných vláken nákladnější než sběr a zpracování těch dřevních, a proto se buničina ve většině oblastí světa průmyslově vyrábí téměř výhradně ze dřeva (Bajpai, 2018). Výroba nedřevní buničiny má zásadní význam zejména v zemích, které nemají dostatek stromů jako je Čína, Indie, Pákistán, Egypt a Kolumbie (Liu *et al.*, 2018).

Většina nedřevních vláken je relativně krátká, podobně jako vlákna z tvrdého dřeva, a proto se hodí pro podobné použití, například pro tiskový papír. V oblastech s menší dostupností dřevní suroviny se ale používají i pro jiné druhy papíru, jako je novinový papír, vlnitá lepenka a další (Bajpai, 2018).

4 Metodika

4.1 Zpracování primární suroviny

Primární surovinou pro tuto práci byla makovina máku setého, tedy zralé, vzdušně sušené, vymláčené tobolky se stonky sklizené v České republice.

V první řadě byla makovina dezintegrována, a to formou mletí na laboratorním nožovém mlýnu IKA MF 10 BASIC za laboratorních podmínek.

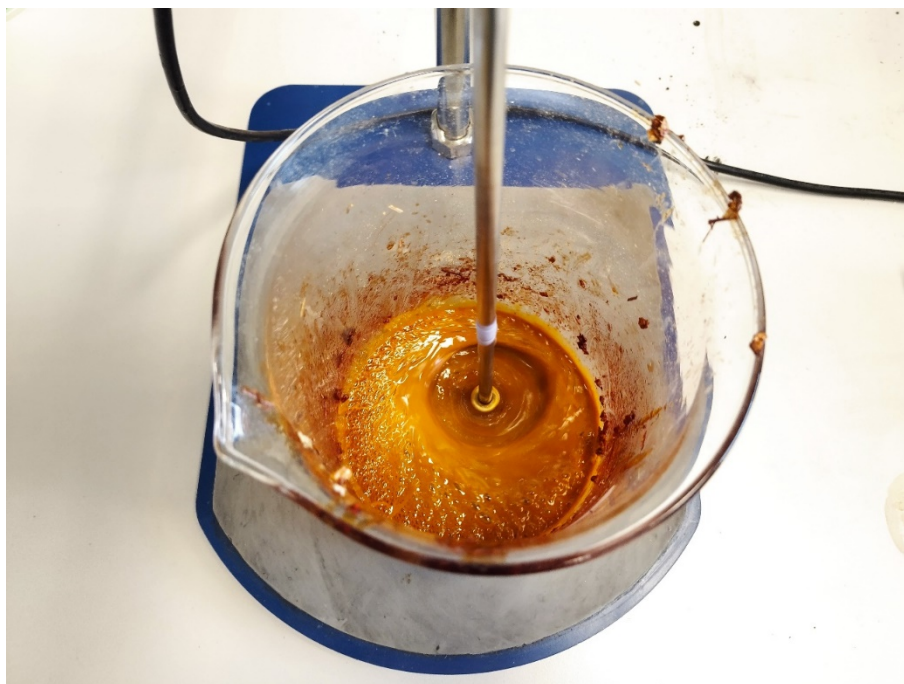
K zjištění hmotnostní distribuce jednotlivých frakcí třísek byla provedena síťová analýza na laboratorním vibračním třídíči IMAL BL100. Pro síťování bylo použito šest plechových kalibrovaných sít různých velikostí. Rozbor byl zaměřen na frakce o rozměrech 8 mm, 3,15 mm, 2 mm, 1,6 mm, 0,5 mm a 0,25 mm, jejichž jednotlivé hmotnostní zastoupení je uvedeno v tabulce Tab. 1.

Tab. 1: Hmotnostní distribuce frakcí primární suroviny

Velikost frakce [mm]	8	3,15	2	1,6	0,5	0,25	propad
Hmotnost frakce [g]	15,50	117,25	39,45	15,47	35,19	4,58	4,93

4.2 Výroba třískových desek

Vláknité makovicové desky byly vyrobeny s fenol-formaldehydovou pryskyřicí. Do skleněné kádinky bylo naváženo cca 100 g dezintegrovaných pomletých makovic. Zároveň bylo smíšeno pomocí mechanického míchadla 100 ml fenol-formaldehydové pryskyřice a 50 ml napěňovače po dobu 10 minut, Obr. 4. Poté byla tato suspenze smíchána s předem zvaženými dezintegrovanými makovicemi a došlo k důkladné homogenizaci celé směsi, Obr. 5.



Obr. 4: Příprava fenol-formaldehydového pojiva



Obr. 5: Mísení třísek a pojiva

Připravená směs byla vložena na voskovaný papír a pomocí lisovacího stroje TIRA test 2850 (Obr. 6) byla deska slisována za použití tlaku cca 2 500 N na tloušťku cca 10 mm (vzorky A) a 8 mm (vzorky B).



Obr. 6: Lisování desky

Po slisování byla takto vyrobená deska vytvrzena v laboratorní sušárně při teplotě 135,5 °C po dobu 18 hodin, Obr. 7.



Obr. 7: Laboratorní sušárna

Po vytvrzení (Obr. 8) došlo k nařezání desky na zkušební vzorky o daných rozměrech (50×50 mm) a k jejich očíslování, Obr. 9 a Obr. 10.



Obr. 8: Vytvrzená neořezaná deska



Obr. 9: Vzorky skupiny A



Obr. 10: Vzorke skupiny B

4.3 Testování vlastností třískových desek

Vzorke byly klimatizovány při 20 °C a 65% relativní vlhkosti vzduchu v laboratorní klimakomoře. Následně byla pomocí laboratorních vah a digitálního posuvného měřítka stanovena hmotnost a reálné rozměry jednotlivých vzorků. Z těchto údajů byla dále dopočítána hustota ρ_w , jež je dána poměrem hmotnosti a objemu daného vzorku při vlhkosti W podle vztahu:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (1)$$

kde m_w hmotnost zkušební tělesa při vlhkosti W [kg (g)]
 a_w, b_w, l_w rozměry zkušební tělesa při vlhkosti W [m (cm)]
 V_w objem zkušební tělesa při vlhkosti W [m³ (cm³)]

(ČSN 49 0108, 1993)

Následovalo měření hustotního profilu a zkoušky navlhavosti, nasákavosti a odlupčivosti. Bylo též provedeno pozorování struktury třísek zkušebních vzorků pomocí digitálního mikroskopu Leica DVM6 M.

4.3.1 Hustotní profil

K měření hustotního profilu zkušebních vzorků bylo použito zařízení Hospimed DPX 300-LTE. Princip tohoto zařízení je založen na absorpci ionizujícího záření do měřeného vzorku o rozměrech 50×50×(tloušťka) mm. Měření bylo provedeno na 7 vzorcích pro obě série vyrobených desek. Po stanovení základních rozměrů byly vzorky umístěny do přístroje Hospimed. Hustotní profil byl změřen v požadovaném směru a naměřené hodnoty byly vyhodnoceny graficky.

4.3.2 Navlhání

Vzorky byly naklimatizovány pomocí klimakomory na počáteční vlhkost 12 %. Následně byly postupně vystaveny relativní vlhkosti 95 %, přičemž byly v určitých časových intervalech zváženy a opětovně ponechány navlhat.

4.3.3 Nasákání

Naklimatizované vzorky byly vkládány do nádoby s vodou na dobu různých, postupně se zvyšujících časových úseků. Po skončení každého úseku byly vzorky vyňaty z nádoby, zváženy a opětovně vloženy do vody. Tento proces byl opakován až do úplného nasycení materiálu.

4.3.4 Pevnost vnitřního spoje (odlupčivost)

Pro měření odlupčivosti byly z každé skupiny vybrány čtyři vzorky, které byly pomocí dvousložkového epoxidového lepidla přilepeny k tvrdému dřevu ve tvaru „T“, Obr. 11. Následně probíhala zkouška pevnosti vnitřního spoje, kde byly vybrané vzorky zatěžovány v tahu kolmo k rovině desky na zkušebním stroji TIRA test 2850, Obr. 12. Pevnost vnitřního spoje pak byla stanovena podle vztahu:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad [MPa] \quad (2)$$

kde F_{max} maximální síla působící na vzorek v okamžiku porušení [N]
 a, b délka a šířka zkušebního vzorku [mm]

(ČSN EN 319, 1994)



Obr. 11: Upevnění zkušební vzorku k masivnímu dřevu



Obr. 12: Zkušební vzorek uchycený do zkoušecího stroje

4.4 Výroba buničiny a papíru

K výrobě buničiny byly použity stejné postupy jako v diplomové práci Karla Škrabálka (2023).

4.4.1 Natronová buničina

Varnou chemikálií pro natronovou várku byl 25% roztok hydroxidu sodného. Druhou varnou kapalinou byla voda, která byla přidána k hydroxidu sodnému, pro vytvoření varného louhu o hydromodulu 5:1.

Dezintegrované makovice o hmotnosti cca 25 g byly vloženy do nádob autoklávu a následně byly přidány varné chemikálie tak, aby byl dodržen již zmíněný hydromodul 5:1 a zanáška aktivních alkálií činila 19 %. Nutné je počítat i s vodou obsaženou v materiálu, proto byly všechny vstupní chemikálie přepočteny na vzdušně suchý materiál.

Samotná várka byla uskutečněna v laboratorním vařáku VŠ-01/84. Varný proces sestával ze čtyř fází. Nejprve probíhal ohřev na teplotu 105 °C, poté následovala impregnace při 105 °C po dobu cca 30 minut, třetí fází byl ohřev na teplotu 160 °C, po kterém následovala dovářka na H-faktor, cca 1050 h. H-faktor byl dopočten pomocí relativní rychlostních konstant (Zou, 2002) a podle vztahu:

$$H_i = H_{i-1} + \frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{60} \cdot \frac{k_{r,i} + k_{r,i-1}}{2} \quad [h] \quad (3)$$

kde τ čas [min]
 k_r relativní rychlostní konstanta

Po dosažení H-faktoru byly z vařáku varné nádoby vyjmuty a následovalo jejich chlazení ve vodní lázni. Po zchlazení byl z nádob obsah kvantitativně převeden a varné nádoby byly propláchnuty 100 ml vodovodní vody. Následně byl k buničině přidán 1 litr vodovodní vody, suspenze byla promíchána a zfiltrována pomocí sítky.

V dalším kroku proběhlo rozvláknění buničiny v 1,5 litru vodovodní vody pomocí rozvláknovače od firmy Lorentzen & Wettre. Rozvláknění trvalo 10 minut, po kterých byla buničina opět zfiltrována pomocí sítky.

Následovalo čtyřstupňové praní pomocí metody založené na zahuštění a zředění. Tudiž byla suspenze vždy zředěna 2 litry vodovodní vody a po 10 minutách zahuštěna zfiltrováním přes sítko. Tento proces se čtyřikrát opakoval, aby bylo dosaženo čtyř stupňů a zároveň, aby byl odstraněn veškerý varný louh z buničiny.

4.4.2 Dusičnано-alkalická buničina

Varnou chemikálií pro dusičnано-alkalickou várku byla 6% kyselina dusičná, v které byly předem dezintegrované vzorky makovic vařeny po dobu 45 minut, Obr. 13. Do varné baňky byl na cca 50 g makovic přidán 1 litr varné chemikálie. Po skončení procesu vaření následovalo zfiltrování suspenze, důkladné promytí vodovodní vodou a opětovné zfiltrování přes sítko.



Obr. 13: Várka dusičnано-alkalické buničiny

Zfiltrovaná uvařená vláknina byla následně podrobena extrakci v 1 litru 5% hydroxidu sodného pod hodinovým sklem po dobu 10 minut. Po extrakci opět následovalo důkladné promytí a zfiltrování. Následně byla vláknina převedena do nádoby, kde v přídávku 1 litru vodovodní vody probíhalo rozvláknění pomocí tyčového mixéru. Po rozvláknění byla buničina opět zfiltrována pomocí sítko a následně neutralizována pomocí 1 litru 1% kyseliny octové po dobu 5 minut. Po neutralizaci proběhlo, obdobně jako u natronové várky, jednostupňové praní a byly stanoveny základní parametry uvařené buničiny.

4.4.3 Výroba laboratorních aršíků

Výroba laboratorních aršíků probíhala na laboratorním archovači RAPID-KÖTHEN RK-2A, Obr. 14. Který je tvořen zařízením pro výrobu listu, gaučovacím válcem pro přenos listu a sušícími jednotkami.

Před výrobou samotných aršíků bylo nutné buničinu navážít, tak aby výsledné archy měly plošnou hmotnost $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ a opět rozvláknit po dobu 10 minut v 1 litru vody pomocí laboratorního rozvlákňovače Lorentzen & Wettre. Tato operace probíhala z důvodu, aby se na aršíků netvořili shluky vláken.

Do nohy archovače bylo nejprve vloženo síto, na kterém se tvoří list papíru. Poté byla tato noha naplněna přibližně 4 l vody, do které byla přidána již rozvlákněná suspenze buničiny. Takto připravená suspenze byla vířena a následně odsáta, aby na sítu v noze archovače zůstaly pouze rovnoměrně rozložená vlákna buničiny. List, který se tímto procesem zformoval, byl pomocí gaučovacího válce přemístěn ze síta mezi papíry, ve kterých byl pod tlakem sušen po dobu 15 minut při teplotě $95 \text{ }^\circ\text{C}$. Takto usušený vzorek byl klimatizován v komoře, než došlo ke stanovení jeho vlastností.



Obr. 14: Laboratorní archovač RAPID-KÖTHEN RK-2A (Škrabálek, 2023)

4.5 Testování vlastností papíru

Laboratorní aršíky, o plošné hmotnosti cca $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, zhotovené z natronové i dusičnано-alkalické buničiny byly podrobeny zkouškám pevnosti v tahu, pevnosti v průtlaku a propustnosti pro vzduch.

Zkouška tahem byla provedena pomocí trhacího zařízení FRANK-PTI v souladu s normou ČSN EN ISO 1924-2 (2009). Mimo určení pevnosti v tahu byly sledovány také hodnoty tržného zatížení, tržné délky, tažnosti a práce potřebné k přetržení vzorků.

4.5.1 Tržná délka

Tržná délka BL udává pomyslnou délku pásu papíru, při níž by se volně zavěšený vzorek přetrhl vlastní vahou. Byla počítána podle vztahu:

$$BL = \frac{F}{BW_{b,g}} \quad [m] \quad (4)$$

kde	F	zatížení při přetrhu [N]
	BW	plošná hmotnost [$\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$]
	b	šířka zkušebního proužku [m]
	g	tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

(Souček, 1977)

4.5.2 Relativní prodloužení

Relativní prodloužení ε je dáno poměrem prodloužení zkušebního proužku papíru po přetržení a jeho původní délkou podle vztahu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l_{max}}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

kde	Δl_{max}	absolutní prodloužení při přetržení [m]
	l_0	délka měřeného proužku [m]

(Souček, 1977)

4.5.3 Pevnost v tahu

Pro určení pevnosti v tahu bylo nutné nejprve vypočítat hodnotu tržného zatížení TS , jež je dáno velikostí síly potřebné pro přetržení zkušebního proužku papíru stanovené délky a jednotkové šířky podle vztahu:

$$TS = \frac{F}{b} \quad [N \cdot m^{-1}] \quad (6)$$

kde F zatížení při přetrhu [N]
 b šířka zkušebního proužku [m]

(Souček, 1977)

Pevnost v tahu TI , byla poté dopočítána pomocí vztahu:

$$TI = \frac{TS}{BW} \quad [N \cdot m \cdot g^{-1}] \quad (7)$$

kde TS tržné zatížení [$N \cdot m^{-1}$]
 BW plošná hmotnost [$g \cdot m^{-2}$]

(Souček, 1977)

4.5.4 Index absorpce tažné práce

Index absorpce tažné práce $TEAI$ je dán vztahem:

$$TEAI = \frac{TEA}{BW} \quad [J \cdot g^{-1}] \quad (8)$$

kde TEA absorpční tažná práce [$J \cdot m^{-2}$]
 BW plošná hmotnost [$g \cdot m^{-2}$]

(Souček, 1977)

Pro jeho výpočet bylo nejprve nutné určit hodnotu práce W potřebné k přetržení tahem podle vztahu:

$$W = \int_{\Delta l_0}^{\Delta l_{max}} F \cdot d \cdot \Delta l \quad [mJ] \quad (9)$$

kde	Δl_{max}	absolutní prodloužení při přetržení [mm]
	Δl_0	absolutní prodloužení na začátku zatěžování [mm]
	F	zatížení při přetrhu [N]
	Δl	absolutní prodloužení [mm]

(Souček, 1977)

Z hodnoty W byla dále dopočítána absorpční tažná práce TEA pomocí vztahu:

$$TEA = \frac{W}{l \cdot b} \quad [J \cdot m^{-2}] \quad (10)$$

kde	W	práce potřebná pro přetržení tahem [mJ]
	l	délka vzorku [mm]
	b	šířka vzorku [mm]

(Souček, 1977)

4.5.5 Pevnost v průtlaku

Zkouška pevnosti v průtlaku je normována podle ČSN EN ISO 2758 (2015) a udává odolnost zkušební vzorku vůči plošně působícímu vzrůstajícímu tlaku. Tlak působí na plochu vzorku rovnoměrně a v kolmém směru. Maximální hodnota tlakového odporu vzorku je měřena v kPa.

Pro tuto práci byl použit způsob měření dle Mullena, kdy na vzorek působí hydrostatický tlak, který je zvyšován pomocí rovnoměrně působícího pístu přes pryžovou membránu.

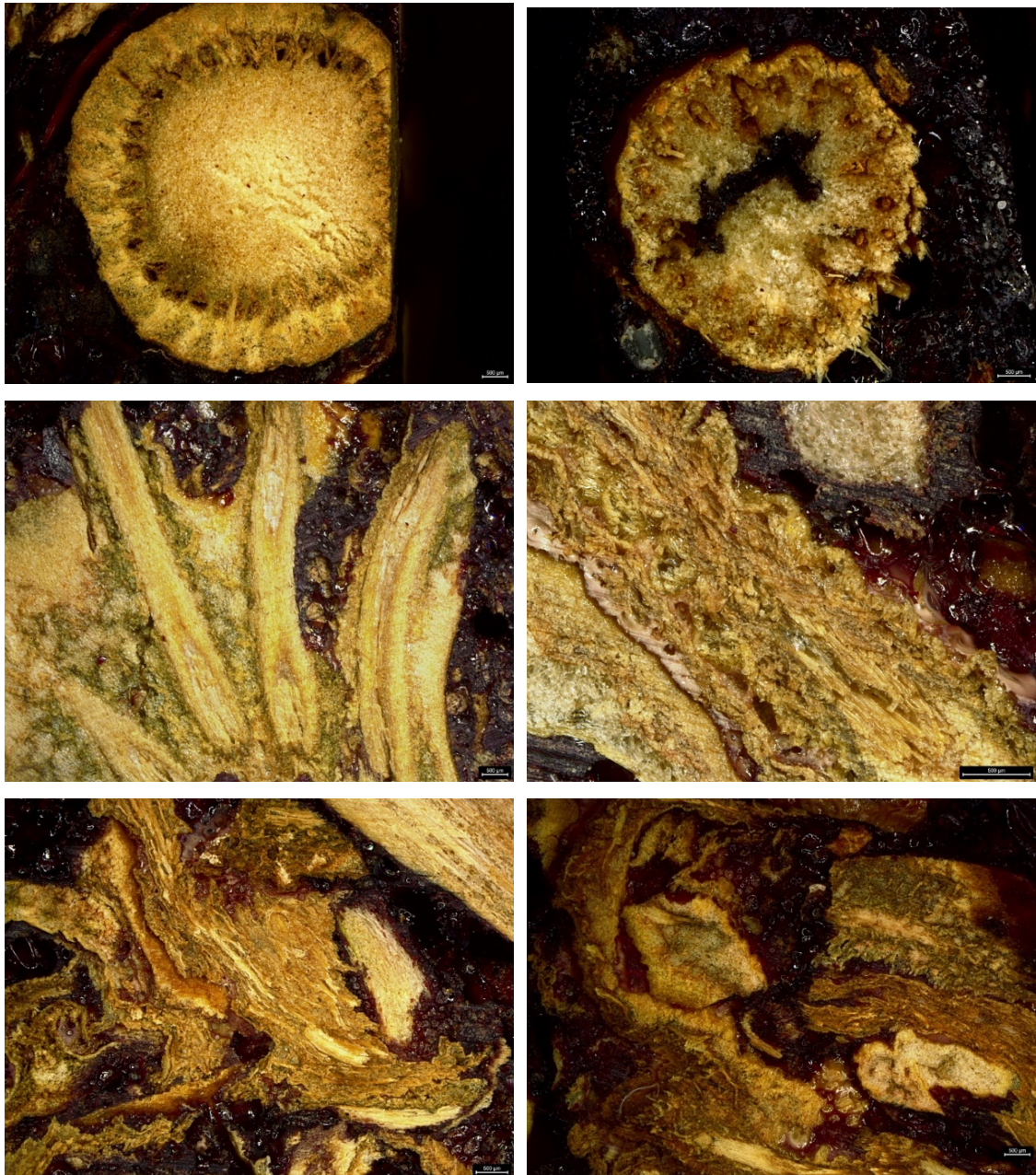
4.5.6 Propustnost pro vzduch

Pro stanovení propustnosti pro vzduch byla použita metoda podle Gurleye, která je popsána v normě ISO 5636-5 (2013). Jejím principem je měření časového úseku, za který projde skrze vzorek o ploše 6,45 cm², při tlakovém rozdílu 1,23 kPa, objem vzduchu 100ml. Výsledek byl vyjádřen v sekundách.

5 Výsledky

5.1 Třískové desky z makoviny

Pomocí digitálního mikroskopu Leica DVM6 M, byla pozorována struktura skladby třísek, jak lze vidět na skupině obrázků Obr. 15 .



Obr. 15: Struktura třísek makoviny pod digitálním mikroskopem

Průměrné hodnoty základních rozměrů jednotlivých zkušebních vzorků vyrobených jak z desky A, tak z desky B, uvádí tabulky Tab. 2 a Tab. 3. Tyto údaje jsou navíc doplněny o vypočítanou hustotu.

Tab. 2: Základní rozměry vzorků při vlhkosti $W = 12\%$ – skupina A

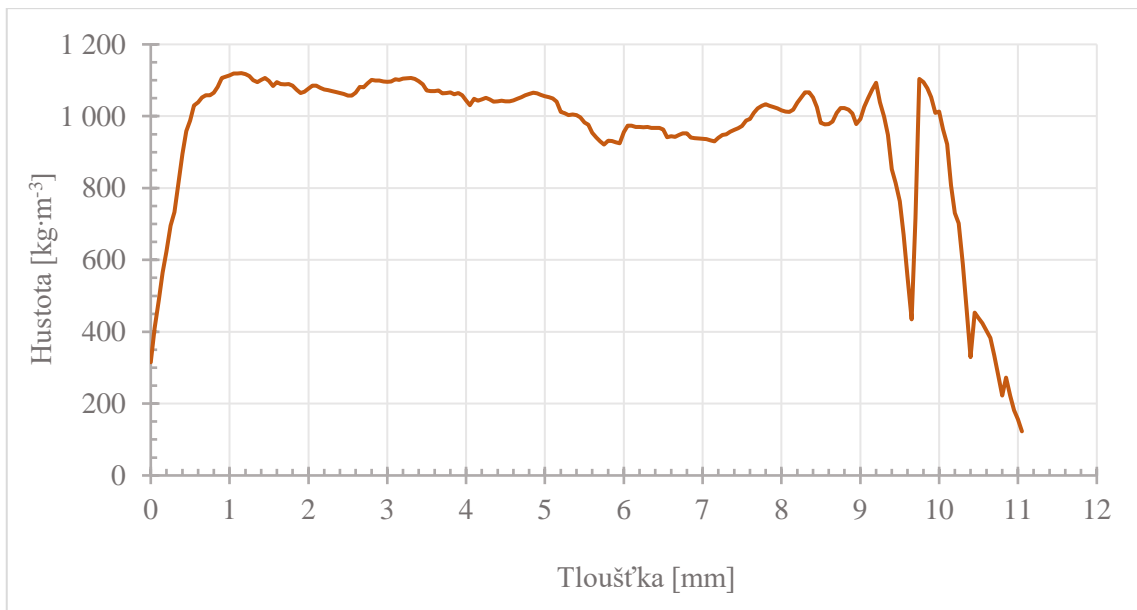
	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Průměrná tloušťka h [mm]	Hmotnost m [g]	Hustota ρ [kg·m ⁻³]
Průměr	50,57	50,74	9,58	10,633	434
Směr. odchylka	0,28	0,20	1,08	0,916	13

Tab. 3: Základní rozměry vzorků při vlhkosti $W = 12\%$ – skupina B

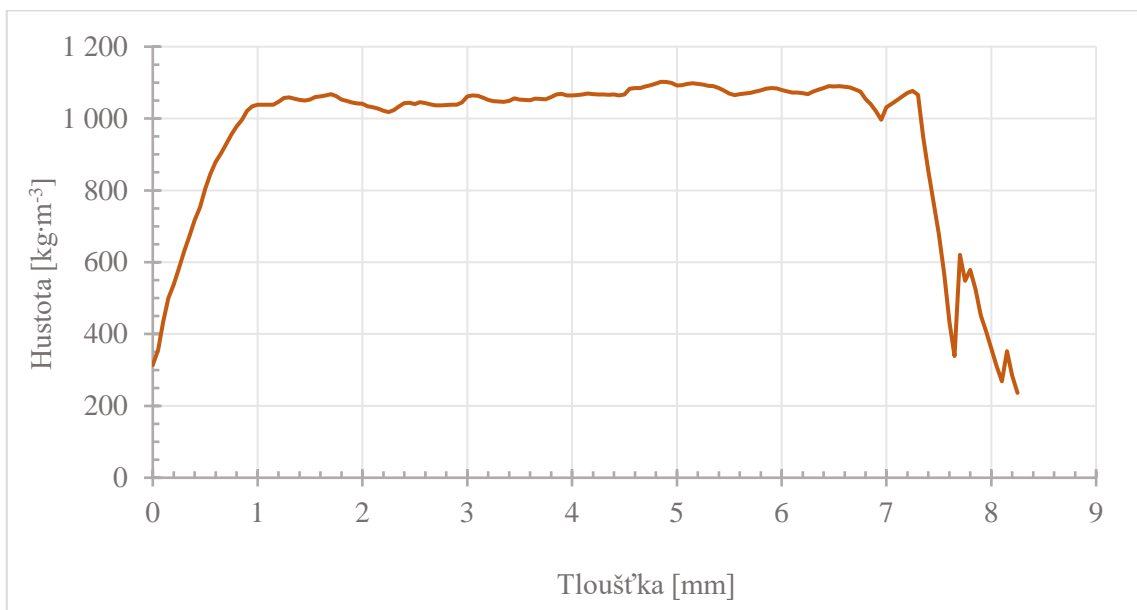
	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Průměrná tloušťka h [mm]	Hmotnost m [g]	Hustota ρ [kg·m ⁻³]
Průměr	50,51	50,55	7,14	8,256	453
Směr. odchylka	0,40	0,32	0,31	0,573	26

5.1.1 Hustotní profil

Na přístroji Hospimed byla naměřena data hustotního profilu zkušebních vzorků zvlášť pro skupinu A a pro skupinu B. Tato data byla následně graficky zpracována a zobrazují je obrázky Obr. 16 a Obr. 17.



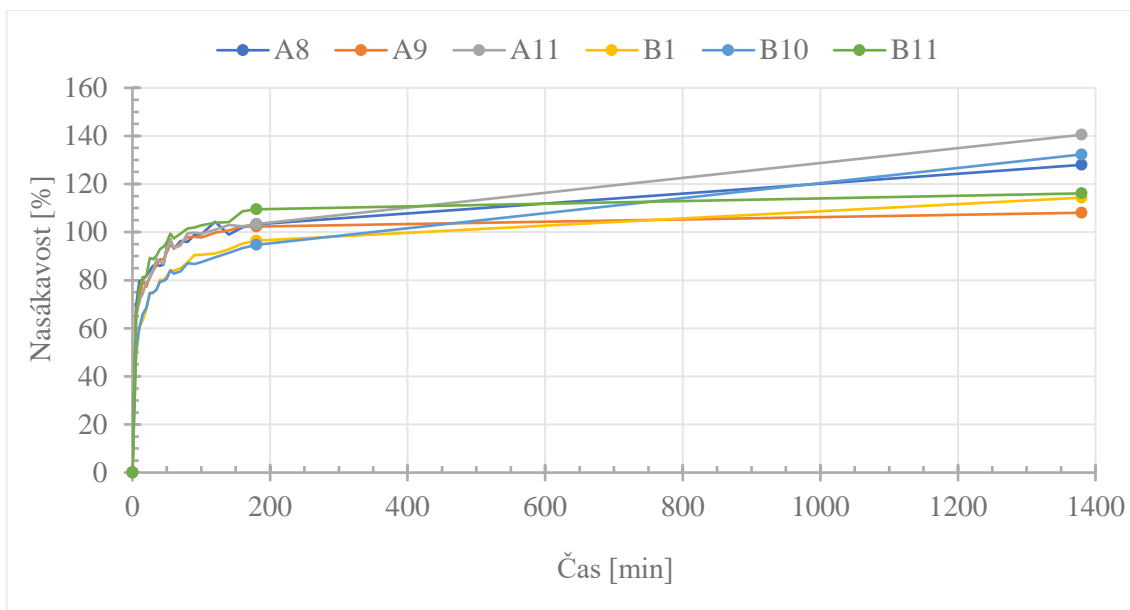
Obr. 16: Hustotní profil – skupina A



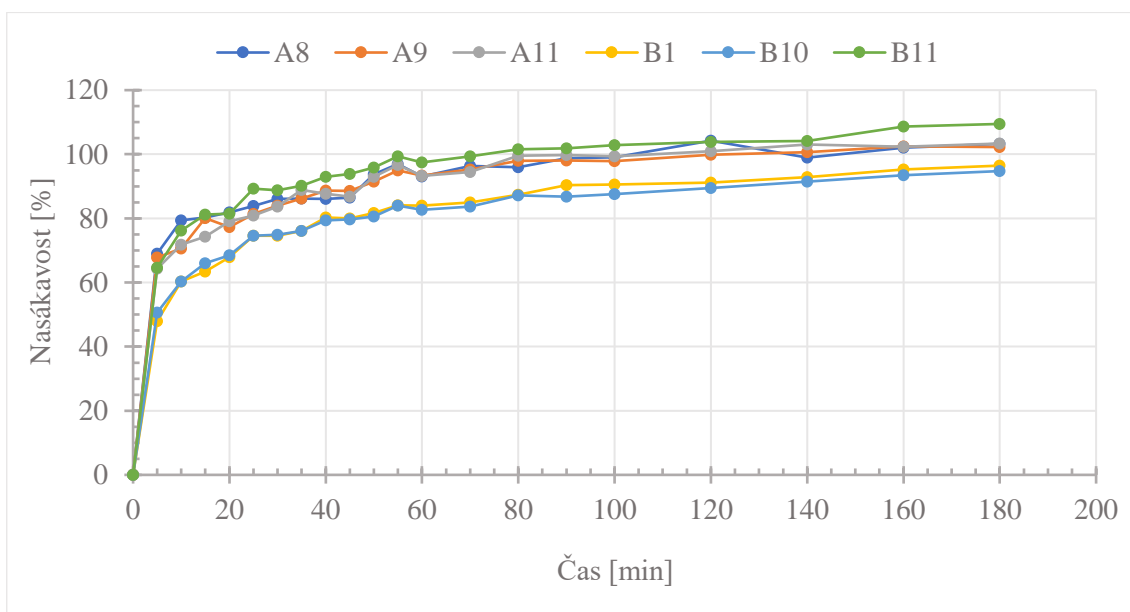
Obr. 17: Hustotní profil – skupina B

5.1.2 Nasákání

K určení nasákavosti byly použity 3 vzorky z každé série vyrobených desek. Průběh nasákání je zobrazen na obrázku Obr. 18. Jelikož po 3 hodinách docházelo pouze k mírnému nárůstu, je uveden podrobný grafický přehled, Obr. 19, který zaznamenává pouze tři první hodiny zkoušky.



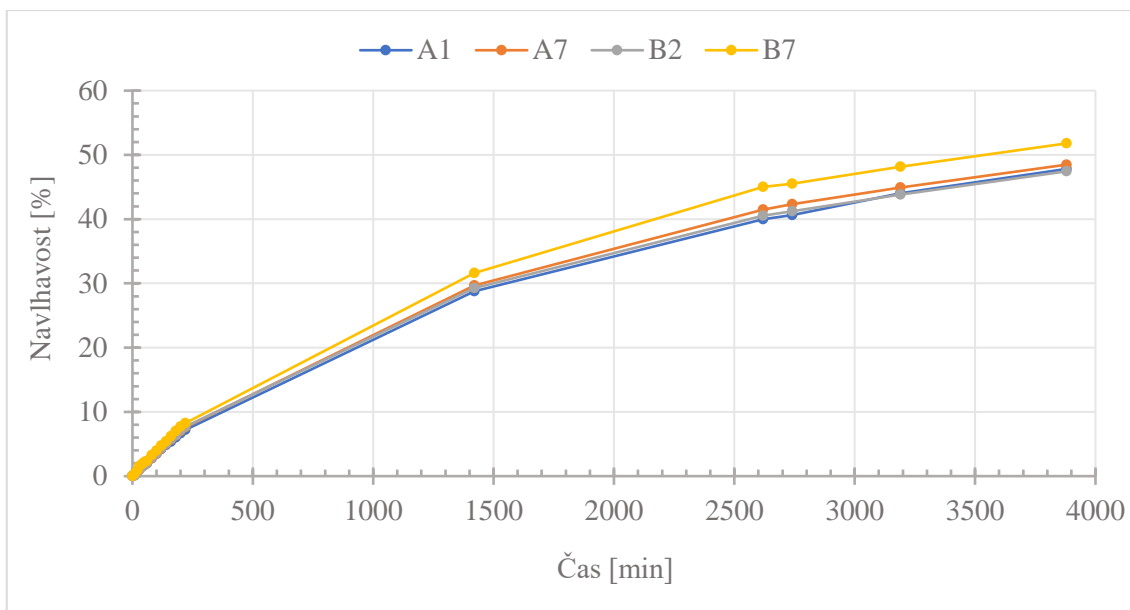
Obr. 18: Celková nasákavost



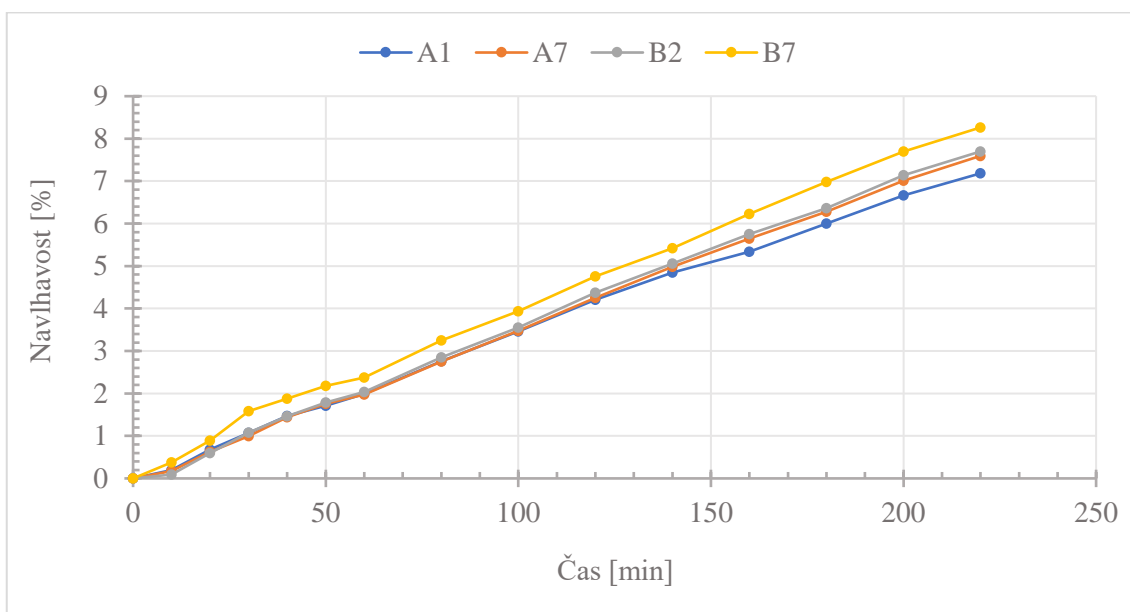
Obr. 19: Nasákavost v časovém úseku prvních 180 minut

5.1.3 Navlhání

Obdobně jako vzorky pro nasákání byly měřeny vzorky pro navlhání, avšak v tomto případě byly pro každou sérii použity pouze dva vzorky. Vzorky byly v časových intervalech vystaveny relativní vlhkosti 95 %, postupný proces navlhání zaznamenává graf, Obr. 20. Opět je uvedeno i podrobnější zobrazení, které zaznamenává navlhání v časovém úseku prvních 220 min zkoušky, Obr. 21.



Obr. 20: Celková navlhavost



Obr. 21: Navlhavost v časovém úseku prvních 220 minut

5.1.4 Odlupčivost

V tabulce Tab. 4 jsou uvedeny hodnoty pevnosti vnitřního spoje a maximální síly v momentě porušení při zkoušce odlupčivosti. Plošnou strukturu vybraných vzorků v bodě porušení lze sledovat na obrázku Obr. 22.

Tab. 4: Odlupčivost třískových desek

	Tržná síla [N]	Odlupčivost [MPa]		Tržná síla [N]	Odlupčivost [MPa]
A2	243,90	0,09	B3	645,90	0,25
A3	228,75	0,09	B4	327,65	0,13
A5	191,70	0,08	B6	607,20	0,24
A10	351,15	0,14	B8	666,90	0,27
Průměr	253,88	0,10	Průměr	561,91	0,22
Směr. odchylka	59,29	0,02	Směr. odchylka	136,94	0,06



Obr. 22: Zkušební vzorky po testování odlupčivosti

5.2 Papír z makovicové buničiny

Analyzovanými vlastnostmi laboratorních aršíků natronové i dusičnано-alkalické buničiny vyrobené z máku setého byla pevnost v tahu, pevnost v průtlaku a pro porovnání s třískovými deskami byla stanovena i propustnost pro vzduch podle Gurleye, naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách Tab. 5 a Tab. 6

Tab. 5: Natronová buničina

	Tržná délka [km]	Relativní prodloužení [%]	Pevnost v tahu [N·m·g ⁻¹]	Index absorpce tažné práce, [J·g ⁻¹]	Pevnost v průtlaku [kPa]	Propustnost pro vzduch [s]
Arch 1	5,33	2,17	52,70	0,79	232,4	10,2
Arch 2	5,33	2,15	52,94	0,80	232,6	11,0
Arch 3	5,37	2,13	52,90	0,82	235,7	10,3
Arch 4	5,38	2,17	52,29	0,75	235,8	10,7
Arch 5	5,44	2,21	52,70	0,79	234,1	11,1
Průměr	5,37	2,17	52,71	0,79	234,12	10,66
Směr. odchylka	0,05	0,03	0,26	0,03	1,63	0,40

Tab. 6: Dusičnано-alkalická buničina

	Tržná délka [km]	Relativní prodloužení [%]	Pevnost v tahu [N·m·g ⁻¹]	Index absorpce tažné práce, [J·g ⁻¹]	Pevnost v průtlaku [kPa]	Propustnost pro vzduch [s]
Arch 1	4,66	1,78	45,72	0,55	202,8	8,0
Arch 2	4,66	1,76	45,46	0,59	202,5	7,9
Arch 3	4,69	1,76	46,03	0,54	201,7	8,3
Arch 4	4,72	1,79	45,62	0,49	202,2	7,6
Arch 5	4,71	1,77	46,93	0,56	201,9	8,4
Průměr	4,69	1,77	45,95	0,55	202,22	8,04
Směr. odchylka	0,03	0,01	0,58	0,04	0,44	0,32

6 Diskuse

6.1 Třískové desky z makoviny

Třískové desky byly vyrobeny ve dvou sériích s rozdílnou tloušťkou. Jelikož bylo při výrobě použito stejné množství primární suroviny, variabilita se vyskytovala hlavně v hustotě jednotlivých vzorků. Tento fakt nevytvořil nijak významné rozdíly při měření hustotního profilu, ani při zkouškách nasáklivosti a navlhavosti. Zato šlo o velice důležitý faktor u testování odlupčivosti, neboť vzorky ze skupiny B, jež byly slisované na menší tloušťku a měly tak vyšší hustotu, dosahovaly značně lepších výsledků.

Hustotní profil

Hustotní profil desky určuje, jakým způsobem je deska lisována, v podstatě tedy udává změnu hustoty od jednoho povrchu k druhému. Hustotní profil výrazně ovlivňuje pevnostní vlastnosti desky a také její konečné využití (Thoemen *et al.*, 2010). Je závislý na rozložení vlhkosti, na konfiguraci částic, které vstupují do lisu, ale také na rychlosti lisování, teplotě lisování či reaktivitě pryskyřice (Kelly, 1997).

Z výsledků prezentovaných v této práci je zřejmé, že chování obou typů desek (série A i série B) je téměř shodné. Nejnižší hustoty bylo dosaženo na okrajích vzorků, oproti tomu v jejich jádru bylo dosaženo hustoty okolo $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Absorpce vlhkosti

Vlhkostní reakce třískových desek závisí na jejich schopnosti zadržovat vlhkost neboli na jejich nasákavosti. Tato vlastnost je podmíněna spíše složením a způsobem zpracování vzorku než vlastnostmi jeho složek (Abdulkareem *et al.*, 2017).

Nasákavost má podstatný vliv na vlastnosti třískových desek, jako je pevnost a tuhost v ohybu. Je ovlivněna typem použité pryskyřice, délkou expozice, teplotou a použitými aditivami (Muruganandam *et al.*, 2016). Příjem vody také závisí na objemu dutin schopných pojmout částice vody, obsahu polárních látek a kvalitě přilnavosti mezi vlákny a pojivy. Vliv bobtnání způsobený příjmem vody není v systémech s dobrou mezifázovou adhezí vláken a pojiva významný (Abdulkareem *et al.*, 2017).

Třískové desky vyrobené s nižším obsahem pryskyřice mají nižší hustotu, a tím i vyšší absorpci vlhkosti, zatímco desky s vysokým obsahem pryskyřic mají vysokou hustotu vedoucí k nízkému obsahu vlhkosti (Nurul *et al.*, 2019).

Zkušební vzorky makovinových desek při vystavení konstantní vlhkosti dosahují přibližně 50 % absorpce vody, což je shodné s převážnou většinou testovaných subjektů z odpadní biomasy (Lee *et al.*, 2022). Výjimkami, jejichž hodnoty se blíží měření nasákavosti v této práci: 108–140 %, jsou například desky z arašídových slupek lepených UF lepidlem: 98 % (Lee *et al.*, 2022) a desky z jutových tyčí: 149 % (Lakshmanan *et al.*, 2023).

Odlupčivost

Pevnost vnitřního spoje je jednou z významných vlastností, které se běžně zkoumají u všech typů třískových desek. Jedná se o destruktivní zkušební proces, který poskytuje informace o pevnosti v tahu, mezi kluzu, tažnosti materiálu a také o relativním prodloužení. Pevnost v tahu vyjadřuje maximální zatížení, které materiál vydrží, než dojde k přetržení (Muruganandam *et al.*, 2016).

Několik studií prokázalo, že pevnost kompozitu v tahu závisí na hmotnostním podílu vláken a jejich pevnosti. Existuje však určitá hranice, nad kterou zvýšení podílu, v důsledku špatného mezifázového spoje, pevnost snižuje (Njoku, *et al.*, 2011; Tezara *et al.*, 2016).

V porovnání s přehledem výroby třískových desek z různých zemědělských biomas (Lee *et al.*, 2022) dosahují zkušební vzorky z makoviny nevalných výsledků – 0,10 MPa skupina A a 0,22 MPa skupina B. Podobných hodnot dosahují desky lepené močovino-formaldehydovými pryskyřicemi vyráběné například ze skořápek vlašských ořechů: 0,26 MPa, z arašídových lusků: 0,16–0,22 MPa, nebo ze slupek slunečnicových semínek: 0,23 MPa. Desky z ostatních materiálů, obzvláště rostlinných, dosahují mnohonásobně vyšších hodnot.

Nízkou pevnost vnitřního spoje zkušebních vzorků, lze přičíst špatnému přenosu napětí mezi plnivem a matricí, nesprávné velikosti a disperzi třísek v matrici a slabému mezifázovému spoji.

6.2 Papír z makovicové buničiny

Buničina pro výrobu zkušebních archů papíru byla zhotovena dvěma různými metodami, natronovou várkou a dusičnано-alkalickou várkou. Z těchto dvou způsobů výroby dosahuje obecně lepších vlastností papír zhotovený z natronové buničiny. Rozdíl mezi jednotlivými várkami ale není tak markantní, jako například u výroby papíru ze stonků kukuřice (Hájková *et al.*, 2023), kde některé parametry u natronového způsobu výroby buničiny dosahovaly mnohonásobně vyšších hodnot, konkrétně se jednalo hlavně o tržnou délku, pevnost v tahu a index absorpce tažné práce.

Tržná délka

Tržná délka zkušebních vzorků z natronové buničiny (5,37 km) je srovnatelná s výsledky měření Hájkové *et al.* (2023): 5,42 km, naproti tomu pevnost v tahu je zde mnohem vyšší: 83,16 N·m·g⁻¹. Opačná situace nastává například u papíru z ibiškovce jedlého (*Abelmoschus esculentus*), kde tržná délka nabývá značně vyšších hodnot: 7,5–8,1 km, ale pevnost v tahu je naopak zredukovaná: 40,1–45,3 N·m·g⁻¹ (Omer *et al.*, 2019).

Lepších hodnot dosahuje i v porovnání s Ateş *et al.* (2015), kteří se zabývali výrobou papíru z agrárních zbytků deseti druhů rostlin, a to v polovině případů. Převyšuje tak stonky bavlníku: 3,79 km, stonky tabáku: 4,36 km, rákos: 4,18 km, konopí: 3,11 km i stonky slunečnic: 4,24 km. Všechny tyto hodnoty jsou též nižší než u archů z dusičnано-alkalické buničiny (4,69 km).

Relativní prodloužení

Relativní prodloužení zkušebních archů nabývá hodnot (2,17 %) blízkých se výsledkům měření Bosco *et al.* (2022), jejichž výzkum se zaměřoval na odpadní vlákna sisalu: 2,22 %. Jejich práce též uvádí, že relativní prodloužení standardního papíru z dřevních vláken se pohybuje od 2 % výše, což činí výsledky papíru z makovicové buničiny dostačující.

Pevnost v tahu

Podobně jako u tržné délky podle Ateş *et al.* (2015) je pro těchto pět rostlin vyšší i pevnost v tahu – stonky bavlníku: 37,13 N·m·g⁻¹, stonky tabáku: 42,74 N·m·g⁻¹, rákos: 40,97 N·m·g⁻¹, konopí: 30,51 N·m·g⁻¹, stonky slunečnic: 41,61 N·m·g⁻¹, a to v rámci zkušebních archů z obou typů buničiny. Obě skupiny zkušebních vzorků též vyhovují v porovnání se standardním papírem z dřevní hmoty, jehož pevnost v tahu podle Bosco *et al.* (2022) začíná na 36 N·m·g⁻¹.

Papír z natronové makovicové buničiny dosahuje vyšších hodnot pevnosti v tahu (52,71 N·m·g⁻¹) než papír vyrobený ze stonků kukuřice: 49,1 N·m·g⁻¹, či z pšeničných stonků: 41,5 N·m·g⁻¹ (Mishra *et al.*, 2020). Součástí tohoto výzkumu bylo ale i dodatečné bělení kukuřicové buničiny a mechanické domílání pšeničné buničiny, které zapříčinilo nárůst pevnosti v tahu. Průměrná hodnota byla poté téměř identická s měřením v této práci: 54,2 N·m·g⁻¹ pro kukuřici a 53,2 N·m·g⁻¹ pro pšenici.

Též pevnost v tahu dusičnано-alkalické buničiny z makovic (45,95 N·m·g⁻¹) je o něco vyšší než u hořčice černé (*Brassica nigra* L.) zkoumané Hájkovou *et al.* (2021), kde dosahuje hodnoty 40,16 N·m·g⁻¹.

Index absorpce tažné práce

Zkušební vzorky jak z natronové (0,79 J·g⁻¹), tak i z dusičnано-alkalické buničiny (0,55 J·g⁻¹), dosáhly vyššího indexu absorpce tažné práce než archy papíru vyrobeného ze stonků řepky: 0,47 J·g⁻¹ (Potůček *et al.*, 2014). Zároveň se vyskytují ve stejném rozmezí (40–70 J·g⁻¹) jako vzorky zhotovené z různě tvrdé buničiny z ozdobnice obrovské (*Miscanthus × giganteus*) (Danielewicz & Surma-Ślusarska, 2019).

Pevnost v průtlaku

Pevnost v průtlaku je jednou z nejlépe vyhodnocených vlastností zkušebních archů nezávisle na typu buničiny. Papír z natronové várky (234,12 kPa) má téměř dvakrát větší pevnost než papír vyrobený z agrárního odpadu řepky: 122,4 kPa (Ahmadi *et al.*, 2010). Opětovně převyšuje i stonky bavlníku: 159,09 kPa, stonky tabáku: 169,36 kPa, rákos: 152,28 kPa, konopí: 200,52 kPa, stonky slunečnic: 141,77 kPa doplněné o stonky kukuřice: 217,03 kPa. Navíc dosahuje takřka stejné hodnoty pevnosti jako rýžová

sláma: 238,58 kPa a nemá daleko ani k žitné: 244,88 kPa či ječmenné slámě: 246,32 kPa (Ateş *et al.*, 2015).

Papír z dusičnано-alkalické várky (202,22 kPa) překoná nejen mnohé z výše zmíněných rostlin, ale nachází se v superiorní pozici i vůči stonkům kukuřice vařených totožnou metodou: 112,66 kPa (Hájková *et al.*, 2023).

Propustnost pro vzduch

V rámci poslední zkoušky byla stanovena propustnost pro vzduch pomocí Gurleyovy metody. Při zkoumání archů papíru zhotovených jak z natronové, tak i z dusičnано-alkalické buničiny, byla v obou případech stanovena hodnota téměř 10× nižší než ve výzkumu zaměřeném na kukuřičné stonky. Hájková *et al.* (2023) naměřili 90,14 s pro natronovou buničinu a 78,74 s pro dusičnано-alkalickou buničinu, zatímco v této práci byly průměrné hodnoty stanoveny na 10,66 s a 8,04 s. Stejnou porozitu lze sledovat u vlnité lepenky vyráběné sulfátovým způsobem (González *et al.*, 2013).

7 Závěr

Cílem této práce bylo zpracování odpadní biomasy z máku setého jakožto alternativního zdroje primární suroviny pro výrobu lignocelulózových produktů. Produkovanými materiály byly třískové desky a archy papíru vyrobené z makovicové buničiny. Tyto výrobky byly dále podrobeny řadě zkoušek pro otestování jejich vlastností. U třískových desek byl zkoumán hustotní profil, navlhání, nasákaní a pevnost vnitřního spoje a u papíru se jednalo primárně o stanovení pevnosti v tahu, pevnosti v průtlaku a propustnosti pro vzduch.

Zkušební vzorky z třískových desek byly vedeny ve dvou skupinách v závislosti na výrobní tloušťce původní desky. Skupina vzorků A má průměrnou tloušťku 9,58 mm a skupina B 7,14 mm. Obě skupiny zkušebních vzorků dosahují velmi podobných výsledků. Hustotní profil krajních částí vzorků byl poměrně nízký, ale ve středové části byla hustota vysoká: cca $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Celková nasákavost dosahuje 108–140 % a navlhavost 47–52 %. Značný rozdíl je ale patrný u odlupčivosti, kde je průměrná hodnota pro skupinu A: 0,10 MPa a pro skupinu B: 0,22 MPa.

Zkušební archy papíru byly vyrobeny z dvou typů buničiny a dosahují průměrné tržné délky 4,69–5,37 km, relativního prodloužení při přetržení 1,77–2,17 %, pevnosti v tahu $45,95\text{--}52,71 \text{ N}\cdot\text{m}\cdot\text{g}^{-1}$, TEAI o hodnotě $0,55\text{--}0,79 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, pevnosti v průtlaku 202,22–234,12 kPa a propustnosti pro vzduch 8,04–10,66 s. Přitom spodní hranici vždy zastupuje papír vyrobený z dusičnано-alkalické buničiny, zatímco horní hranici, a tím i lepší výsledky, reprezentuje papír z natronové buničiny.

Porovnání výsledků zkoušek papíru této práce s jinými výzkumy zaměřenými na zpracování nedřevěných materiálů ukázalo, že vlákna makovic by mohla být alternativní surovinou pro výrobu buničiny a papíru hlavně z důvodu jejich mechanické pevnosti. Desky zhotovené z makoviny vykazovaly poměrně nízké pevnostní vlastnosti, ty je ale možné ovlivnit modifikacemi v procesu výroby, např. dezintegrací vstupní suroviny na menší frakce, úpravou teplotních podmínek při lisování a podobně. I tato aplikace odpadní biomasy makoviny má tudíž potenciál pro uplatnění, jen je zapotřebí výzkum více rozšířit a zaměřit se na úpravu parametrů vyrobených desek.

Zavedení zemědělské biomasy jako alternativní vstupní suroviny pro kompenzaci nedostatku dřevního materiálu může zajistit kontinuitu výroby papíru či kompozitních materiálů ekonomicky výhodnějším a ekologičtějším způsobem.

8 Literatura

- ABDULKAREEM, S. A., RAJI, S. A. & ADENIYI, A. G. Development of particleboard from waste styrofoam and sawdust. In: *Nigerian Journal of Technological Development* [online]. 2017, roč. 14, č. 1, s. 18–22 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.4314/njtd.v14i1.3>
- AHMADI, M.; LATIBARI, A. J.; FAEZIPOUR, M. & HEDJAZI, s. Neutral sulfite semi-chemical pulping of rapeseed residues. In: *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* [online]. 2010, roč. 34, č. 1, s. 11–16 [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3906/tar-0903-19>
- ALMA, M. H.; KALAYCIOĞLU H.; BEKTAŞ I. & TUTUS A.. Properties of cotton carpel-based particleboards. In: *Industrial Crops and Products* [online]. 2005, roč. 22, č. 2, s. 141–149 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.08.001>
- ANWAR, Z; GULFRAZ, M. & IRSHAD, M. *et al.* Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: a brief review. In: *Journal of radiation research and applied sciences* [online]. 2014, roč. 7, č. 2, s. 163–173 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2014.02.003>
- ARSLAN, M. & SAHIN, H. Properties of particleboards produced from poppy (*papaver somniferum* l.) stalks. In: *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* [online]. 2016, roč. 6, č. 2, s. 1–6 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.9734/JABB/2016/24977>
- ATEŞ, S.; DENİZ, İ.; KIRCI, H.; ATİK, C. & OKAN, O. T. Comparison of pulping and bleaching behaviors of some agricultural residues. In: *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* [online]. 2015, roč. 39, č. 1, s. 144–153 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3906/tar-1403-41>
- AZZEZ, M. A. Pulping of Non-Woody Biomass. In: KAZI, Salim Newaz, eds. *Pulp and Paper Processing* [online]. IntechOpen, 2018 [cit. 2024-02-18]. ISBN 978-1-78923-848-8. Dostupné z: <http://doi.org/10.5772/intechopen.79749>

- BADAR, S. & FAROOQI, I. H. Pulp and Paper Industry—Manufacturing Process, Wastewater Generation and Treatment. In: *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development* [online]. 2011, s. 397–436 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-1591-2_13
- BAJPAI, P. Brief Description of the Pulp and Papermaking Process. In: *Biotechnology for Pulp and Paper Processing* [online]. Singapore, 2018, s. 9–26 [cit. 2024-03-19]. ISBN 978-981-10-7853-8. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-981-10-7853-8_2
- BARANYK, P. *et al. Olejniny*. Praha: Profi Press, 2010. ISBN 978-80-86726-38-0.
- BASER, K. H. C. & ARSLAN, N. Opium Poppy (*Papaver somniferum*). In: Yaniv, Zohara a Dudai, Nativ (ed.). *Medicinal and Aromatic Plants of the Middle-East* [online]. Medicinal and Aromatic Plants of the World, vol. 2. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014, s. 305–332 [cit. 2024-03-01]. ISBN 978-94-017-9275-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-017-9276-9_17.
- BEKTAS, I.; GULER, C.; KALAYCIOĞLU H.; MENGELOGLU, F. & NACAR, M. The manufacture of particleboards using sunflower stalks (*Helianthus annuus* L.) and poplar wood (*Populus alba* L.). In: *Journal of Composite materials* [online]. 2005, roč. 39, č. 5, s. 467–473 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1177/0021998305047098>
- BERG, P. & LINGQVIST, O. Pulp, paper, and packaging in the next decade: Transformational change. *McKinsey & Company* [online]. ©1996. 2019, [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/industries/packaging-and-paper/our-insights/pulp-paper-and-packaging-in-the-next-decade-transformational-change>
- BEYER, J.; DRUMMER, O. H. & MAURER, H. H. Herbal Drugs of Abuse. In: Ramawat, K. (eds) *Herbal Drugs: Ethnomedicine to Modern Medicine* [online]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, s. 353–367 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-540-79116-4_19
- BOOTH, M. *Opium: A History*. London: Simon & Schuster Ltd., 1999. ISBN 978-0-312-20667-3

- BOSCO, M.; MBISE, E. & MINJA, R. J. A. Production of Paper Pulp Using Sisal Fiber Waste from Sisal Spinning Processes. In: *Tanzania Journal of Engineering and Technology* [online]. 2022, roč. 41, č. 2, s. 151–157 [cit.2024-04-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.52339/tjet.v41i2.788>
- BÖHM, M; REISNER, J. & BOMBA, J. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012 [cit. 2024-03-05]. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/328964277>
- BRINCHI, L.; COTANA, F.; FORTUNATI, E. & KENNY, J. M. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: technology and applications. In: *Carbohydrate polymers* [online]. 2013, roč. 94, č. 1, s. 154–169 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.033>
- BRITT, K. W. Papermaking. In: *Encyclopaedia Britannica* [online]. ©1999, 2020 [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/papermaking>.
- CHAUHAN, S. & MEENA, B. L. Introduction to pulp and paper industry: Global scenario. In: *Physical Sciences Reviews* [online]. 2021, roč. 6, č. 5, s. 81–109 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <http://doi.org/10.1515/psr-2020-0014>
- COSTA, N. J. A. Adhesive systems for low formaldehyde emission wood-based panels. In: *International Wood Products Journal* [online]. 2014, roč. 5, č. 4, s. 233–233 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/2042644514Z.000000000108>
- ČESKO. Zákon č. 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů* [online]. 1998, č.57, s. 6670–6800. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/zakon-c-167-1998-sb/>
- ČSN 49 0108. *Drevo – Zisťovanie hustoty*. Praha: ÚNM, 1993, 8s. Třídící znak 490108.
- ČSN EN 319. *Trieskové a vláknité dosky – Stanovenie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky*. 1994, 12s. Třídící znak 490151.
- ČSN EN ISO 1924-2. *Papír a lepenka – Stanovení tahových vlastností – Část 2: Metoda s konstantní rychlostí prodlužování (20 mm/min)*. 2009. Třídící znak: 500340.
- ČSN EN ISO 2758. *Papír – Stanovení pevnosti v průtlaku*. 2015. Třídící znak: 500343.

- DANIELEWICZ, D. & SURMA-ŚLUSARSKA, B. Miscanthus × giganteus stalks as a potential non-wood raw material for the pulp and paper industry. Influence of pulping and beating conditions on the fibre and paper properties. In: *Industrial Crops and Products* [online]. 2019, roč. 141, s. 111744 [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111744>
- GONZÁLEZ, I.; ALCALÁ, M.; ARBAT, G.; VILASECA, F. & MUTJÈ, P. Suitability of Rapeseed Chemithermomechanical Pulp as Raw Material in Papermaking. In: *BioResources* [online]. 2013, roč. 8, č. 2 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.15376/biores.8.2.1697-1708>
- GUTIÉRREZ, A.; DEL RÍO, J. C.; MARTÍNEZ, M. J. & MARTÍNEZ, A. T. The biotechnological control of pitch in paper pulp manufacturing. In: *Trends in Biotechnology* [online]. 2001, roč. 19, č. 9, s. 340–348 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(01\)01705-X](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(01)01705-X)
- HÁJKOVÁ, K.; BOUČEK, J.; PROCHÁZKA, P.; KALOUS, P. & BUDSKÝ, D. Nitrate-Alkaline Pulp from Non-Wood Plants. In: *Materials* [online]. 2021, roč. 14, č. 3673 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.20944/preprints202105.0697.v1>
- HÁJKOVÁ, K.; JURCZYKOVÁ, T.; FILIPI, M. & BOUČEK, J. Chemical pulp from corn stalks. In: *Biotechnology Reports* [online]. 2023, roč. 37 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e007867>
- HARSHAVARDHAN, A. & MURUGANANDAM, L. Preparation and characteristic study of particle board from solid waste. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2017, roč. 263 [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/263/3/032005>
- IDRIS, U. D.; AIGBODION, V. S.; ATUANYA, C. U. & ABDULLAHI, J. Eco-Friendly (Water Melon Peels): Alternatives to Wood-based Particleboard Composites. In: *Tribology in Industry* [online]. 2011, roč. 33, č. 4, s. 173–181 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/288465445>
- ISO 5636-5. *Paper and board – Determination of air permeance (medium range) – Part 5: Gurley method*. Geneve: International Organization for Standardization, 2013, 12s.

- KAPOOR, L. D. *Opium Poppy: Botany, Chemistry, and Pharmacology*. New York: The Haworth Medical Press, 1995. ISBN 1560249234
- KAVITHA, M. S.; HARIHARAN, S. & ATARAJAN, R. The physio-mechanical property of particle board from coconut coir reinforced with municipal solid waste. In: *International Journal of ChemTech Research* [online]. 2015, roč. 8, č. 2, s. 760–767 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/329370702>
- KELLY, M. W. *Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard* [online]. 1997 [cit. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/9820>.
- LAKSHMANAN, A.; ROY, A. N.; SAMANTA, K. K.; NAYAK, L.; DEBNATH, S.; SINGHA, A. *et al.* Development of a composite product from fibre yielding crop residues. In: *Industrial Crops and Products* [online]. 2023, roč. 202, s. 116986 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116986>
- LEE, S. H.; LUM, W. C.; BOON, J. G.; KRISTAK, L.; ANTOV, P.; PEŃDZIK, M. *et al.* Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: a review. In: *Journal of Materials Research and Technology* [online]. 2022, roč. 20, s. 4630–4658 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
- LIM, T. K. Papaver Somniferum. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013, s. 202–217 [cit. 2024-03-01]. ISBN 978-94-007-5652-6. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3_12.
- LIU, Z.; WANG, H. & HUI, L. Pulping and Papermaking of Non-Wood Fibers. In: *Pulp and Paper Processing* [online]. InTech, 2018 [cit. 2024-03-18]. ISBN 978-1-78923-848-8. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79017>
- MISHRA, O. P., TRIPATHI, S. K. & BHARDWAJ, N. K. Suitability of corn stalk pulp for improving physical strength properties of agro-residue pulp. In: *Cellulose Chemistry and Technology* [online]. Institutul de Chimie Macromoleculara Petru Poni, 2020, roč. 54, č. 1–2, s. 65–71 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.35812/cellulosechemtechnol.2020.54.07>

- MOHANTY, A. K.; MISRA, M. & DRZAL, L. T. *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2005. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9780203508206>
- MURUGANANDAM, L.; RANJITHA, J. & HARSHAVARDHAN, A. A Review Report on Physical and Mechanical Properties of Particle Boards from organic Waste. In: *International Journal of ChemTech Research* [online]. 2016, roč. 9, č. 1, s. 64–72 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/301920930>
- MYRÉEN, B. Pulp and Paper Manufacture in Transition. In: *Water Science and Technology* [online]. 1994, roč. 29, č. 5–6, s. 1–9 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0697>
- NGERNSAENG SARUAY, C.; LEKSUNGNOEN, N.; CHANTON, P.; ANDRIYAS, T.; THAWEEKUN, P.; RUEANSRI, S. *et al.* Morphology, Taxonomy, Anatomy, and Palynology of the Opium Poppy (*Papaver somniferum* L.) Cultivation in Northern Thailand. In: *Plants* [online]. 2023, roč. 12, č. 11, s. 2105 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/plants12112105>
- NJOKU, R. E.; OKON, A. E. & IKPAKI, T. C. Effects of variation of particle size and weight fraction on the tensile strength and modulus of periwinkle shell reinforced polyester composite. In: *Nigerian Journal of Technology* [online]. 2011, roč. 30, č. 2. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/view/123529>
- NOURBAKHSI, A. & ASHORI, A. Particleboard made from waste paper treated with maleic anhydride. In: *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [online]. 2009, roč. 28, č. 1, s. 51–55 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X09336463>
- NOVÁK, J. & NOVÁKOVÁ, H. *Mák jako potravina a droga: makový receptář*. Fotografické atlasy. Praha: Aventinum, 2018. ISBN 978-80-7442-101-3.
- NURUL, M.; MOHAMMAD, A. & JULKAPLI, N. M. Dimensional stability of natural fiberbased and hybrid composites. Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid. 2019, S. 61–79 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00004-7>

- OMER, S. H.; KHIDER, T. O.; ELZAKI, O. T.; MOHIELDIN, S. D. & SHOMEINA, S. K. Application of soda-AQ pulping to agricultural waste (okra stalks) from Sudan. In: *BMC Chemical Engineering* [online]. 2019, roč. 1, č. 6 [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s42480-019-0005-9>
- PAUL, S. & DUTTA, A. Challenges and opportunities of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. In: *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2018, roč. 130, s. 164–174 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.005>
- POTŮČEK, F.; GURUNG, B. & HÁJKOVÁ, K. Soda pulping of rapeseed straw. In: *Cellulose Chemistry and Technology* [online]. 2014, roč. 48, č. 7, s. 683–691 [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/281705784>
- POTŮČEK, F.; ŘÍHOVÁ, M. & GURUNG, B. Chemi-mechanical pulp from rapeseed straw. In: *Cellulose Chemistry and Technology* [online]. 2016, roč. 50, č. 3–4, s. 489–496 [cit. 2024-03-19]. ISSN 0576-9787. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/308743567>
- REGMI, S. *Manufacturing Low-Density Particleboards from Wheat Straw and Distiller's Dried Grains with Solubles* [online]. Fargo, Severní Dakota, 2021 [cit. 2024-03-16]. Master's Thesis. North Dakota State University, Agricultural and Biosystems Engineering. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10365/32601>
- RIALS G. T. & WOLCOTT M. P. Physical and mechanical properties of agro-based fibers. In: Rowell R. M. *et al.* (eds) *Paper and composites from agro based resources*. CRC Press Inc, Boca Raton, Florida. 1997, s. 63–81 [cit. 2024-03-18].
- RULLIFANK, K. F.; ROEFINAL, M. E.; KOSTANTI, M.; SARTIKA, L. & EVELYN. Pulp and paper industry: An overview on pulping technologies, factors, and challenges. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2020, roč. 845, č. 1 [cit. 2024-03-19]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/845/1/012005>

- SAHIN, A.; TASDEMIR, H. M.; KARABULUT, A. F. & GÜRÜ, M. Mechanical and Thermal Properties of Particleboard Manufactured from Waste Peachnut Shell with Glass Powder. In: *Arabian Journal for Science and Engineering* [online]. 2017, roč. 42, č. 4, s. 1559–1568 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-017-2427-0>
- SAINATH, A. J.; SUCHITHRA, P. S.; SURESH, T. N.; SHIVENDRA, S. P.; ABITHA, V. K. & AJAY, V. R. Polymeric particle board: A sustainable substitute to wooden boards. In: *Morocan Journal of Chemistry* [online]. 2015, roč. 3, č. 4, s. 723–729 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/296059388>
- SAINI, J. K.; SAINI, R. & TEWARI, L. Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: concepts and recent developments. In: *3 Biotech* [online]. 2015, roč. 5, s. 337–353 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0246-5>
- SCHIFF, P. L. Opium and Its Alkaloids. In: *American Journal of Pharmaceutical Education* [online]. 2002, roč. 66, č. 2, s. 186–194 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/267797428_Opium_and_Its_Alkaloids
- SILVA, J. P. A.; CARNEIRO, L. M. & ROBERTO, I. C. Treatment of rice straw hemicellulosic hydrolysates with advanced oxidative processes: a new and promising detoxification method to improve the bioconversion process. In: *Biotechnology for biofuels* [online]. 2013, roč. 6, s. 1–13 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-23>
- SOUČEK, M. *Zkoušení papíru*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977, 344s.
- SUNDQUIST, D. J. & BAJWA, D. S. Dried distillers grains with solubles as a multifunctional filler in low density wood particleboards. In: *Industrial Crops and Products* [online]. 2016, roč. 89, s. 21–28. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.071>
- SVOBODA, J.; BRUNECKÝ, P.; HÁLA, B. *et al.* Materiály na bázi dřeva a ostatní materiály pro výrobu nábytku. In: *Nábytkářský informační systém „NIS“*, část IX. Brno: Ircaes, 2012. ISBN 978-80-87502-12-9.

- ŠKRABÁLEK, K. *Simulace výroby chemické buničiny ze zemědělského odpadu*. Praha, 2023. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. Vedoucí práce Ing. Kateřina HÁJKOVÁ Ph. D.
- TEZARA, C.; SIREGAR, J. P.; MOEY, L. K. & WEI, L. J. Factors that affect the mechanical properties of kenaf fiber reinforced polymer: A review. In: *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* [online]. 2016, roč. 10, č. 2, s. 2159–2175. [cit. 2024-04-02]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/316138575>
- THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. (eds.) *et al.* *Wood-Based Panels. An Introduction for Specialists*. London: Brunel University Press, 2010. ISBN 978-1-902316-82-6.
- TICHÁ, M. & VYZÍNOVÁ, P. *Polní plodiny* [online]. ©2006 [cit. 2024-02-27]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/index.htm>
- UDHAYASANKAR, R.; KARTHIKEYAN, B. & BALAJI, A. Comparative mechanical, thermal properties and morphological study of untreated and NaOH-treated coconut shell-reinforced cardanol environmentally friendly green composites. In: *Journal of Adhesion Science and Technology* [online]. 2020, roč. 34, č. 16, s. 1720–1740 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1727643>
- WALKER, J. C. F. Pulp and paper manufacture. In: *Primary Wood Processing* [online]. Dordrecht, 2006, s. 477–534 [cit. 2024-03-18]. ISBN 978-1-4020-4393-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/1-4020-4393-7_13
- WARREN, F. E. *A Study of Particle Board Manufacture and Testing as a Part of the High School Woodshop Curriculum* [online]. Fresno, Kalifornie, 1971 [cit. 2024-03-16]. Master's Thesis. California State University, Department of Industrial Arts. Dostupné z: <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/zc77sr69v>
- WU, Q. Comparative properties of bagasse particleboard. In: *Proceedings of the International Symposium on Utilization of Agricultural and Forest Residue. Nanjing, China* [online]. 2001, s. 277–284 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/view/25807255>

ZOU, H. *Effect of Kraft Pulping on Oxygen Delignification* [online]. Dissertation. Maine: The University of Maine, 2002 [cit. 2024-02-03]. Dostupné z: <https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/239>