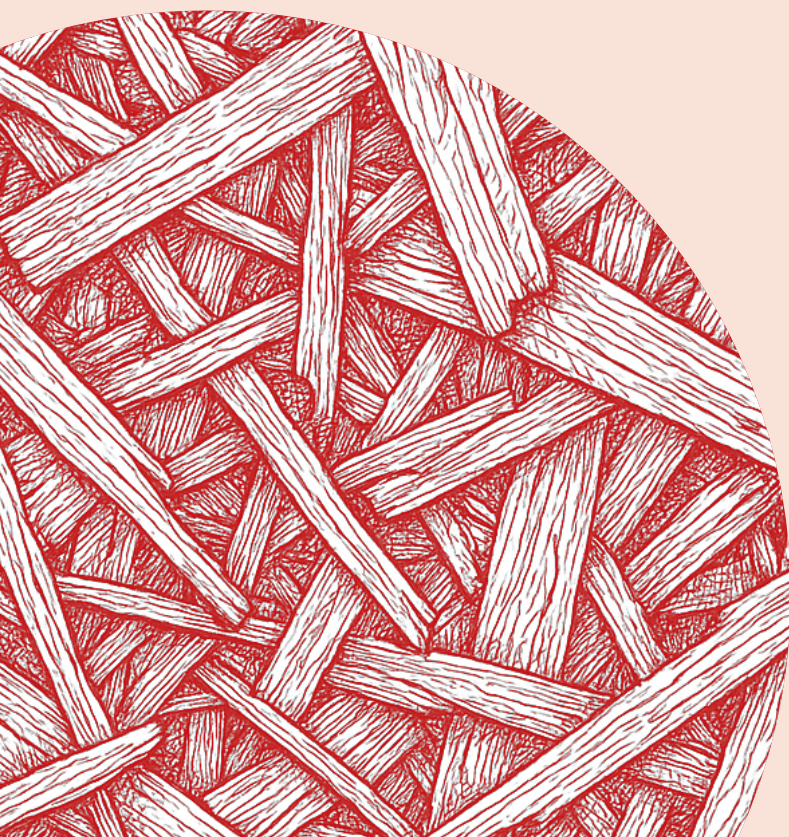


Materiály na bázi dřeva – lisované kompozitní materiály



2025

Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.



Materiály na bázi dřeva – lisované kompozitní materiály

Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.

2025

OBSAH

1 Úvod	4
2 Suroviny pro výrobu kompozitních materiálů na bázi dřeva	6
2.1 Kulatina a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu	6
2.2 Recyklované dřevo	7
2.3 Shrnutí kapitoly	10
2.4 Kontrolní otázky	11
2.5 Seznam použité literatury	11
3 Dřevotřískové desky	12
3.1 Výroba třísek	12
3.1.1 Diskové roztřískovače	12
3.1.2 Frézovací roztřískovače	13
3.1.3 Prstencové roztřískovače	13
3.1.4 Beznožové roztřískovače	14
3.2 Sušení třísek	15
3.2.1 Typy sušáren	15
3.2.2 Proces sušení	16
3.2.3 Vlhkost částic	16
3.2.4 Bezpečnostní opatření	16
3.2.5 Kontrola vlhkosti	16
3.3 Třídění a domílání třísek	16
3.3.1 Třídění třísek	16
3.3.2 Domílání třísek	18
3.4 Lepicí směs	18
3.4.1 Složení lepicí směsi	18
3.4.2 Typy lepidel	19
3.5 Nanášení lepicí směsi	19
3.6 Vrstvení třískového koberce	20
3.6.1 Technologie vrstvení	20
3.7 Lisování	22
3.7.1 Předlis a příprava na lisování	22
3.7.2 Vlastní lisování	22
3.7.3 Přenos tepla a vlhkosti	23
3.7.4 Hustotní profil desky	24
3.7.5 Kontinuální vs. etážové lisy	24
3.7.6 Lisovací parametry a jejich optimalizace	24
3.8 Dokončování desek	25
3.9 Povrchové úpravy	26
3.10 Kontrola kvality	29
3.11 Druhy dřevotřískových desek	31
3.12 Shrnutí kapitoly	31
3.13 Kontrolní otázky	32
3.14 Seznam použité literatury	33
4 OSB desky	34
4.1 Surovina pro výrobu plochých třísek	35
4.2 Výroba plochých třísek	35
4.3 Sušení třísek	37
4.4 Nanášení lepicí směsi	38

4.5 Vrstvení třískového koberce	38
4.6 Lisování	40
4.7 Dokončování OSB desek	41
4.8 Vlastnosti OSB desek	42
4.9 Shrnutí kapitoly	43
4.10 Kontrolní otázky	44
4.11 Seznam použité literatury	45
5 MDF desky	46
5.1 Výroba MDF	46
5.2 Vlastnosti a použití MDF desek	49
5.3 Shrnutí kapitoly	50
5.4 Kontrolní otázky	51
5.5 Seznam použité literatury	51
6 Kompozitní materiály spojené myceliem hub	52
6.1 Úvod	52
6.2 Princip výroby myceliových kompozitů	52
6.3 Mycelium	52
6.4 Suroviny pro výrobu	54
6.5 Technologie zpracování	55
6.6 Vlastnosti myceliových kompozitů	56
6.7 Využití myceliových kompozitů	58
6.8 Výhody a nevýhody myceliových kompozitů	59
6.9 Shrnutí kapitoly	60
6.10 Kontrolní otázky	60
6.11 Seznam použité literatury	61
7 Kompozitní materiály z alternativních surovin	62
7.1 Úvod	62
7.2 Přehled alternativních surovin	63
7.2.1 Zemědělské zbytky	63
7.2.2 Průmyslové zbytky	66
7.2.3 Technické rostliny	68
7.2.4 Méně tradiční zdroje	70
7.3 Mechanické a fyzikální vlastnosti	71
7.3.1 Vliv suroviny na mechanické vlastnosti	71
7.3.2 Rozměrová stálost a nasákavost	72
7.3.3 Tepelněizolační a akustické vlastnosti	72
7.3.4 Porovnání s deskami na bázi dřeva	72
7.4 Technologie výroby	72
7.4.1 Sklizeň a logistika	72
7.4.2 Příprava a úprava částic	73
7.4.3 Lepení a pojiva	76
7.4.4 Lisování a dokončovací operace	76
7.5 Komerční aplikace a příklady využití	78
7.6 Shrnutí kapitoly	79
7.7 Kontrolní otázky	80
7.8 Seznam použité literatury	81

1 ÚVOD

Lisované materiály na bázi dřeva hrají ve stavebnictví, nábytkářském průmyslu i dalších odvětvích zpracování dřeva zcela zásadní roli. Mezi nejvýznamnější tradiční produkty této skupiny patří dřevotřískové desky, OSB desky a MDF desky. Tyto materiály se vyrábějí již několik desítek let a jejich technologie výroby je dobře zvládnutá, standardizovaná a průběžně optimalizovaná. Každý z těchto typů desek má své specifické vlastnosti a výhody, které je předurčují pro určité účely a způsoby použití. Dřevotřískové desky jsou rozšířené zejména v oblasti výroby nábytku a interiérových prvků. OSB desky nacházejí uplatnění zejména ve stavebnictví jako konstrukční prvek s dobrými mechanickými vlastnostmi. MDF desky se vyznačují jemnější strukturou, což je vhodné pro povrchovou úpravu a designové aplikace. Společným rysem těchto produktů je použití dřevní suroviny jako hlavního výchozího materiálu, a to ve formě třísek, vláken nebo částic jiného tvaru, které jsou následně slisovány za tepla s přidavkem pojiva.

Dřevotřískové desky (DTD) představují nejrozšířenější produkt svého druhu. Výroba těchto desek je založena na využití převážně měkkého dřeva ve formě třísek, které jsou rovnoměrně rozloženy do několika vrstev a následně lisovány. Desky jsou cenově dostupné, dobře opracovatelné a díky své plošné rozměrové stabilitě vhodné pro širokou škálu aplikací, zejména v nábytkářství, interiérovém designu a jako konstrukční prvek nenosných částí staveb. Díky technologickému vývoji v posledních desetiletích dnes existuje celá řada modifikovaných dřevotřískových desek, které se liší např. odolností proti vlhkosti, nosností nebo požárními vlastnostmi.

OSB desky jsou mladším typem materiálu. Výroba OSB desek se zakládá na precizní orientaci dlouhých a úzkých třísek ve vrstvách. Vnější vrstvy mají orientaci rovnoběžnou s délkou desky, vnitřní vrstva je orientována kolmo. Výsledkem je materiál s výbornými mechanickými vlastnostmi, zejména s vysokou pevností v ohybu a vynikající rozměrovou stabilitou. OSB desky nacházejí uplatnění především ve stavebnictví, kde slouží jako nosné prvky stěn, stropů nebo podlah. Výhodou je také vysoká míra využití dřevní hmoty z průmyslových zbytků a odřezků, což přispívá k materiálové efektivitě výroby.

MDF desky, tedy vláknité desky se střední hustotou, představují skupinu materiálů, které se od výše uvedených desek liší jak výchozí surovinou, tak výslednou mikrostrukturou. Základem MDF je dřevní vlákno, které se vyrábí rozvlákněním dřeva za zvýšené teploty a tlaku. Výsledný materiál je homogenní v celém průřezu a velmi dobře opracovatelný. MDF desky umožňují přesné frézování, lakování nebo laminování a využívají se především tam, kde je kladen důraz na povrchovou kvalitu, např. při výrobě nábytkových dvířek, dekorativních panelů či komponent pro interiérový design.

Všechny uvedené materiály sdílejí základní princip výroby v podobě spojení lignocelulózových částic syntetickým lepidlem do kompaktního celku. Vzhledem k rozmanitosti jejich vlastností se lisované desky z dřevních částic staly univerzálním materiálem s obrovským tržním významem. Nejen že umožňují efektivní využití dřevní hmoty, která by jinak mohla zůstat nevyužita, ale zároveň přispívají k snižování tlaku na spotřebu masivního dřeva. Význam těchto materiálů roste i v kontextu zvyšujících se požadavků na udržitelnost výroby, nízkou uhlíkovou stopu a efektivní využití materiálových toků.

Vzhledem k dlouhodobě rostoucí poptávce po těchto materiálech, stejně jako k narůstajícím požadavkům na šetrné nakládání se zdroji, se v posledních letech objevují snahy o nahrazení části tradičních dřevních surovin alternativními materiály. Tyto alternativní lignocelulózové suroviny by měly být dostupné v dostatečném množství, měly by mít vhodné vlastnosti pro zpracování a zároveň by měly splňovat požadavky na udržitelnost a environmentální ohleduplnost. V tomto směru se jako nejvíce perspektivní ukazují posklizňové zbytky zemědělských plodin, jako jsou stonky řepky, pšenice nebo kukuřice, ale také biomasa jednoletých a dvouletých rostlin, které se běžně v zemědělství nevyužívají. Výzkum v této oblasti je veden snahou najít nové materiálové vstupy, které by částečně nebo plně nahradily dřevo, aniž by tím byla ohrožena kvalita výsledného produktu.

Výroba třískových desek z alternativních surovin představuje interdisciplinární výzvu, která propojuje znalosti z oblasti zpracování dřeva, zemědělství, chemického inženýrství a environmentálních věd. Na rozdíl od klasických dřevotřískových desek, jejichž výroba vychází z rozsáhle opracovaných technologických schémat, je technologie výroby desek z netradičních lignocelulózových surovin často ve fázi vývoje a optimalizace. Předpokladem úspěšné

výroby kompozitních desek z alternativních surovin je důkladné prozkoumání fyzikálních, chemických a mechanických vlastností těchto materiálů a jejich interakce s pojivem.

V tomto kontextu se jako mimořádně perspektivní ukazuje například sláma řepky ozimé, která je v mnoha regionech Evropy dostupná v dostatečném množství a je považována za surovinu s příznivými technologickými vlastnostmi. Studie provedené na slámě řepky prokázaly nižší energetickou náročnost roztřískování v porovnání s dřevem, stejně jako nižší potřebný lisovací tlak během výroby desek. Tyto technologické výhody mohou mít významný dopad na efektivitu výroby, energetickou bilanci procesu i na výslednou cenu výrobku. Významné je rovněž zjištění, že výsledné fyzikálně-mechanické vlastnosti třískových desek z řepkové slámy mohou být srovnatelné, nebo v některých případech dokonce lepší než u konvenčních dřevotřískových desek. Je však třeba zdůraznit, že dosažení těchto vlastností je podmíněno důslednou optimalizací jednotlivých technologických kroků, především pak přípravou suroviny, jejím sušením a následným slisováním.

S využitím posklizňových zbytků jako suroviny pro výrobu kompozitních materiálů však vyvstává i celá řada otázek, které se netýkají jen technického řešení výrobního procesu. Jde rovněž o environmentální a agronomické aspekty. Odvoz organické hmoty z pole může totiž znamenat ztrátu části organického uhlíku a živin, které by jinak obohatily půdu. Proto je nezbytné, aby se odebrání posklizňových zbytků uskutečňovalo výhradně v souladu se zásadami udržitelného zemědělství. Literatura uvádí, že je možné bez negativního dopadu na půdní úrodnost odebrat z pole přibližně 40 % zbytků z pšenice a až 50 % zbytků z řepky. Tyto hodnoty však závisí na celé řadě faktorů, jako je sklon terénu, riziko eroze, osevní postup nebo klimatické podmínky. Ostatně ani ponechání zbytků na poli neznamena automaticky záruku jejich efektivního zapracování do půdy. Praktiky jako mělká podmítka mohou vést k tomu, že většina organické hmoty zůstává na povrchu, kde je náchylná vůči rozkladu bez přínosu pro strukturu a úrodnost půdy.

Tato skripta si kladou za cíl nejen představit technologii výroby a vlastnosti tradičních deskových materiálů na bázi dřeva, jako jsou dřevotřískové desky, OSB desky a MDF desky, ale rovněž ukázat, jaké možnosti nabízí využití alternativních lignocelulózových surovin. Skripta tak poskytují ucelený přehled o vývoji deskových kompozitních materiálů od osvědčených konvenčních technologií po nové směry, které reagují na potřebu udržitelnosti, efektivity a inovace.

2 SUROVINY PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ NA BÁZI DŘEVA

2.1 KULATINA A ZBYTKY Z DŘEVOZPRACUJÍCÍHO PRŮMYSLU

Kulatina (primární surovina)

Použití kulatiny jako výchozí suroviny pro výrobu třísek se z hlediska kvality výsledného produktu řadí mezi nejvhodnější vstupní materiály. Jedná se o tzv. primární surovinu, která nebyla dříve nijak průmyslově zpracována. Kulatina poskytuje možnost přesně kontrolovat kvalitu výsledných třísek již od okamžiku vstupu dřeva do technologického procesu. Lze kontrolovat délku, šířku i tloušťku třísek, minimalizovat obsah kůry a zvolit vhodný druh dřeviny.

Pro účely výroby třísek se využívají zejména měkké jehličnaté dřeviny, mezi nimiž dominuje smrk (*Picea abies*), borovice (*Pinus sylvestris*) a jedle (*Abies alba*). Tyto druhy jsou výhodné zejména díky své nízké hustotě, nízké anatomické variabilitě a nízkým energetickým nákladům na roztřískování. Listnaté dřeviny se používají méně často, především tam, kde jsou v místních podmínkách snadno dostupné. Tvrdé listnáče jako dub mají méně vhodnou anatomickou stavbu (z důvodu přítomnosti výrazných cév), což ztěžuje výrobu třísek s hladkým povrchem. Druh dřeviny hraje významnou roli i z důvodu chemického složení. Chemické složení ovlivňuje pH a pufrací kapacitu třísek, což hraje klíčovou roli při vytvrzování lepidel používaných při výrobě dřevotřískových desek. Většina běžně používaných pojiv, především na bázi močovino-formaldehydových (UF) a melamin-močovino-formaldehydových (MUF) pryskyřic, je citlivá na kyselost prostředí, ve kterém probíhá jejich polymerace. Pokud je dřevo příliš kyselé (např. některé listnaté dřeviny s vysokým obsahem tříslovin), může dojít k příliš rychlému vytvrzení lepidla ještě před dokončením lisování. Pro zajištění stability výroby je proto důležité používat dřevní směsi s vyrovnaným a předvídatelným pH, anebo je potom nutné upravovat lepicí směs, aby se kompenzovaly případné výkyvy způsobené variabilitou suroviny.

Z ekonomického hlediska se pro výrobu třísek z kulatiny zpravidla používají výřezy nižší jakostní třídy, které nejsou vhodné pro pilařské zpracování. Typicky se jedná o kulatinu pocházející z probírek či části kmenů s vadami. Tento typ sortimentu bývá v praxi označován jako vlákninové nebo energetické dříví.

Zásadní výhodou kulatiny je možnost výroby třísek s přesně definovanými geometrickými parametry, vlákniny orientovanými v podélném směru třísky a nízkým obsahem jemných částic či prachu. Na druhou stranu náklady na kulatinu jsou vyšší. Navíc se nejedná jen o samotnou cenu suroviny, ale také o náklady na manipulaci, odkornění a štěpkování. Dalším faktorem je vyšší vlhkost čerstvě těžené kulatiny, která zvyšuje energetickou náročnost sušení třísek. Z těchto kulatina tvoří jen část vstupního materiálu, přičemž se často využívá pouze pro výrobu povrchových vrstev, kde jsou kladeny vyšší nároky na kvalitu částic.

Zbytky z dřezpracujícího průmyslu (sekundární surovina)

Jedná se o materiál, který vzniká jako vedlejší produkt při jiných procesech zpracování dřeva, zejména v pilařské výrobě. Do této skupiny patří krajiny či odřezky a zejména štěpky vznikající při podélném dělení dřeva, a ve specifických případech také piliny a surovina z výroby překližky (např. zbytková jádra po loupání).

Výhodou těchto dřevních zbytků je jejich relativně nízká pořizovací cena a vysoká dostupnost. Významným faktorem je rovněž jejich často nižší vlhkost v porovnání s čerstvou kulatinou, neboť část sušení již proběhla v předchozích technologických krocích. Z praktického hlediska je výhodné, že tyto materiály bývají již zbaveny kůry, což usnadňuje následné zpracování a snižuje potřebu třídění a separace nežádoucích příměsí.

Tyto suroviny však přinášejí i určité nevýhody. Zásadním omezením je nižší možnost kontroly nad velikostí, tvarem a orientací vláken v třískách. Například piliny jsou výrazně menší a mají omezenou délku vláken, což ovlivňuje pevnostní parametry hotové desky. Výsledný materiál je často směsí různých druhů dřeva s odlišnými hustotami a chemickými vlastnostmi, což znesnadňuje optimalizaci dávkování lepicí směsi. Zbytky z dřezpracujícího

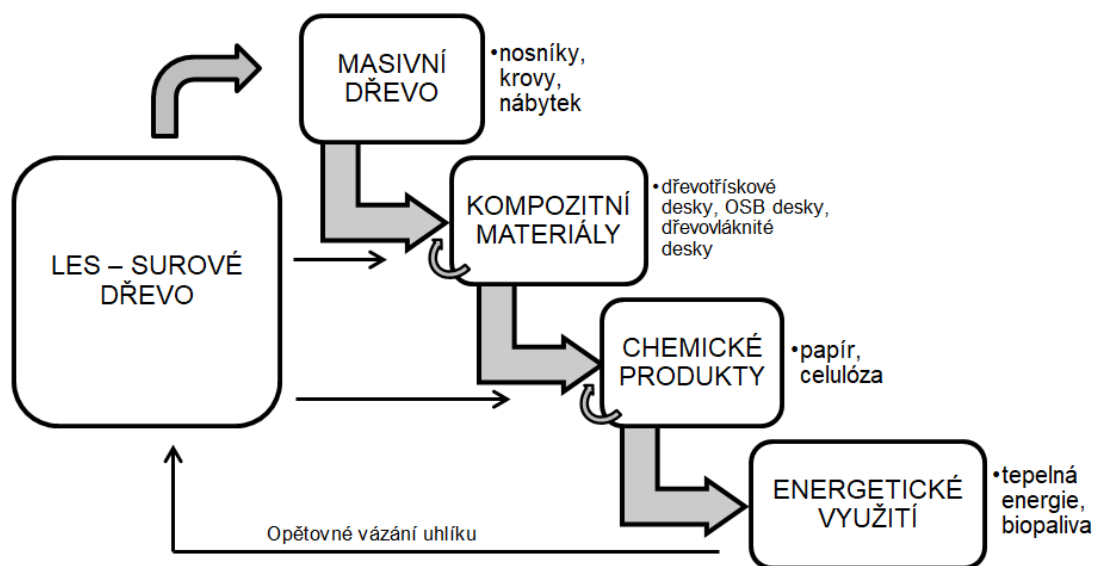
průmyslu se používají zejména pro výrobu třísek pro středové vrstvy, kde nejsou kladeny tak vysoké nároky na kvalitu povrchu či přesnou orientaci vláken. Využití těchto surovin umožňuje efektivní materiálové využití dřeva, minimalizaci odpadu a celkové snížení výrobních nákladů. Zejména v kombinaci s primární surovinou (kulatinou) nebo recyklovaným dřevem umožňují optimalizovat poměr cena/výkon hotového výrobku.

Specifickou kategorií představuje tzv. hnědá štěpka, která vzniká rozštěpkováním kulatiny bez předchozího odkornění, tedy včetně kůry. Hnědá štěpka je na první pohled rozpoznatelná tmavší barvou danou příměsí kůry. Hnědá štěpka má nižší hodnotu než tzv. bílá štěpka (bez příměsí kůry), a to hned z několika důvodů. Příměs kůry snižuje pevnostní charakteristiky výsledných desek. Dále zvyšuje spotřebu lepidla, neboť část pojiva je absorbována jemnými částicemi kůry, které mají vysoký specifický povrch. Z pohledu kvality je tak hnědá štěpka vhodná zejména do středové vrstvy desky. Výhodou hnědé štěpky je naopak její nízká cena a jednoduchost výroby. V praxi je proto často používána, přičemž však se musí její nevýhody kompenzovat například optimalizací složení vrstev desky.

2.2 RECYKLOVANÉ DŘEVO

Využití recyklovaného dřeva při výrobě dřevotřískových, dřevovláknitých a OSB desek představuje významný krok směrem k udržitelné bioekonomice. Recyklace dřeva umožňuje opakované využití této suroviny před jejím konečným energetickým zhodnocením, čímž napomáhá snižovat tlak na primární zdroje. V kontextu Evropské unie se očekává nedostatek přibližně 300 milionů m³ dřeva do roku 2030, a to zejména v důsledku jeho rostoucího využívání pro energetické účely. Proto je rozvoj efektivního systému recyklace dřeva zásadní pro udržitelnost dřevozpracujícího průmyslu. Technologickým řešením tohoto problému může být kaskádové využití dřeva.

Ideální, ale zároveň i reálné proveditelná kaskáda, může být čtyřstupňová (Obrázek 1), kdy surové dřevo není ihned spalováno, ale je použito nejprve pro výrobu konstrukcí z masivního dřeva např. krovů, nábytku či palet. Po skončení základní životnosti výrobků z masivního dřeva jsou tyto výrobky dezintegrovány a jsou z nich vyrobeny třískové desky (dřevotřískové desky, OSB desky). Z těchto třískových desek mohou být následně dále vyrobeny hodnotné chemické produkty (papír nebo celulóza). Až jako poslední, tedy čtvrtý stupeň, lze zařadit energetické využití vysloužilých produktů. Přičemž samozřejmě i popel z tohoto pálení lze také využít, a to jako příměs do stavebních materiálů.



Obrázek 1 Kaskádové využití dřeva

V celé kaskádě existuje i několik přemostění směřujících tok materiálu surového dřeva přímo na druhý nebo třetí stupeň kaskády. Z důvodu nedostatečného disponibilního množství recyklovaného dřeva nebo pro zajištění kvality výrobků na druhém a třetím stupni (výroba třískových desek a výroba chemických produktů) je možné částečně uspokojovat poptávku po surovině přímo surovým dřevem. Rozhodně však není nutné tok surového dřeva vést přímo k energetickému využití, bez předchozího využití ve vyšších stupních kaskády. Druhým typem přemostění je využití vedlejších produktů z pilařského zpracování surového dřeva na prvním stupni kaskády (štěpka, piliny) přímo při výrobě materiálů na bázi dřeva nebo chemických produktů (papír, celulóza). Na obrázku 1 můžeme rovněž identifikovat existenci zpětnovazebných smyček. Tyto smyčky se uplatňují na druhém a třetím stupni, kdy lze úspěšně recyklovat a k výrobě toho samého produktu použít již vysloužilé produkty z těchto stupňů (kompozitní materiály na bázi dřeva, papír).

Celý systém samozřejmě předpokládá důsledné třídění výrobků ze dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Právě zde je však v České republice slabé místo. Této skutečnosti si je vědom i zákonodárce, a to jak na úrovni vnitrostátní, tak i evropské. Zásadní ustanovení, které je v této souvislosti nutno brát v potaz, je ustanovení § 21 odst. 7 zákona o odpadech ve znění účinném od roku 2020, které mimo jiné určuje, že je zakázáno na skládky ukládat recyklovatelný a využitelný odpad. Tento ambiciózní plán byla Česká republika připravena splnit, ale vzhledem k posunu tohoto cíle v rámci celé EU (směrnici 2018/850/EU) byla účinnost tohoto zákazu posunuta až na rok 2030. Je tak zřejmé, že jakási aktivita je v souvislosti s tímto nedostatkem vyvíjena, ale její účinnost nastane nejdříve v roce 2030. Do té doby je samozřejmě možné dřevo dále využívat tak, jak se tomu již několik let děje jak v Belgii, kde se materiálově zpracovává několikanásobně více recyklovaného dřeva než dřeva surového, tak například v Německu, kde recyklaci dřeva upravuje speciální právní předpis. Je jistě zajímavé, že od roku 2003 se v Německu dřevní odpad neukládá na skládky. Není tak nutné čekat na stanovení zákazu novým zákonem a je možné jednat ihned. Ostatně i v České republice jsme podobné snahy již zaznamenali.

Průkopníkem ve využívání recyklovaného dřeva a největším zpracovatelem této suroviny v České republice je společnost Kronospan CR, spol. s r. o. Tento výrobce kompozitních materiálů na bázi dřeva již využívá recyklované dřevo při výrobě dřevotřískových desek a OSB desek, a to v hmotnostním podílu až 50 %. Společnost tak nachází pro tento materiál uplatnění, avšak i přes maximální snahu získávat dřevo ze sběrných dvorů, není schopna svoji poptávku po recyklovaném dřevě v České republice uspokojit a je nucena v posledních letech dovážet ze zahraničí, zejména z Německa, více než 50 % potřebného dřevního recyklátu. A to i přes to, že ze sběrného dvora je možné dodat jakýkoli tvar, velikost, povrchovou úpravu nebo stárí již jednou použitého produktu ze dřeva, protože společnost Kronospan CR, spol. s r. o. je schopna tento materiál zpracovat do stavu, který umožňuje další použití.

Opětovné využití dřeva, které pochází z různorodých výrobků s velmi odlišnými tvary, úpravami, ale i odlišnými příměsi či komponenty z jiných materiálů, se může zdát technologicky komplikované a náročné. Není tomu ale tak, neboť tyto technologické výzvy jsou již při výrobě kompozitních materiálů z recyklovaného dřeva zdárně vyřešeny. Kupříkladu ve zmiňované výrobní lince OSB desek z recyklovaného dřeva ve společnosti Kronospan, detailně popsané ve vypracované studii vlivu na životní prostředí (EIA), je vstupní materiál nejrůznějšího původu (Obrázek 2) nejprve rozštěpkován drtičem.



Obrázek 2 Recyklované dřevo pocházející z různorodých výrobků

Recyklátová štěrka je následně tříděna dle velikosti a vzniklá drobná frakce je využita při výrobě dřevotřískových desek. Vhodná frakce pro výrobu OSB desek je dopravována do sila, které zabezpečí rovnoměrné dávkování do třídícího zařízení. Třídící zařízení skládající se především z třídíče magnetických kovů, nemagnetických kovů a minerálních příměsí je v plánované lince zařazeno z důvodu nutnosti čištění recyklátové štěrky. Magnetický separátor tak odloučí magnetické kovy, zejména železo, a to za použití jednoduchého principu vsazeného magnetu, díky kterému dojde k zachycení těchto nežádoucích částic. Recyklát s nemagnetickými kovy postupuje dále do separátoru nemagnetických kovů, který pracuje na principu různého působení vířivých proudů. Kinetický separátor těžkých částic (zejména kameny a sklo) využívá principu gravimetrie, kdy těžší částice vypadávají na pás a lehčí částice jsou unášeny proudem vzduchu. Pro vytěžení veškeré dřevní složky z recyklátu je plánována finální vodní pračka, určená pro přetřídění těžkých frakcí vytríděných v kinetickém separátoru, která zapříčiní, že zbytky lehké dřevní frakce plavou na hladině a mohou být oddělovány.

Štěpka z recyklátového dřeva může být dále roztřískována pomocí stávajících nožových roztřískovačů speciálně upravených pro výrobu plošných třísek pro výrobu OSB desek. Získané třísky mohou být dopravovány soustavou stávajících dopravníků do stávajícího sila mokřích třísek před sušárnu plochých třísek. V tomto technologickém kroku není rozdíl mezi výrobou OSB desek ze surového dřeva a z recyklovaného dřeva. Ploché třísky budou dále dávkovány do sušáren, kde následuje proces sušení a třídění třísek. Ploché třísky se třídí dle rozměrů. Na třísky z recyklovaného dřeva vhodné pro využití ve středové vrstvě OSB desek je následně nanášeno lepidlo v nové válcové nanášedce lepidla. Stejný typ nanášedky je využíván při výrobě dřevotřískových desek. Je plánováno použití stejného lepidla jako v bubnových nanášedkách (polyuretanová lepidla). Na další technologické operace při výrobě OSB desek nemá využití recyklovaného dřeva vliv. Lisování v kontinuálním lisu, zušlechťovací operace (broušení povrchu desek, profilování hran), skladování a další operace zůstávají beze změny. Je nutné podotknout rovněž jeden důležitý fakt, který plyne z provedené studie EIA. Změnou oproti stávající výrobní lince OSB desek je skutečnost, že veškerá manipulace s recyklovaným dřevem, vyjma skladování, má probíhat v uzavřené budově. Realizací tohoto záměru tedy dojde k výraznému snížení emisí prachových částic a hluku z této části provozu.

Výzkumem a vývojem materiálového využití tohoto materiálu s vysokým potenciálem se zabývá výzkumný tým z Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze. Laboratoře FLD v Dřevařském pavilonu a High-tech pavilonu jsou vybaveny nejmodernějšími přístroji pro analýzu dřevního recyklátu, výrobu materiálů z dřevního recyklátu a pro hodnocení vlastností vyrobených kompozitních materiálů. Jedná se o široké spektrum analýz, které může fakulta nabídnout firmám pracujícím s recyklovaným dřevem. V oblasti zájmu vědců z Katedry zpracování dřeva a biomateriálů zdaleka není pouze dřevo a recyklované dřevo, pracovníci katedry řeší i výzkumné projekty nebo zakázkové výzkumy týkající se využití recyklovaných anorganických materiálů, plastů či posklizňových zbytků zemědělských plodin. Tento vývoj je samozřejmě náročný na přístrojové vybavení, ale díky široké moderní infrastruktuře ve dvou výzkumných a vývojových pavilonech FLD jsou zajištěny všechny potřebné analýzy, prováděné dle standardizovaných i dle nově vyvíjených metod.

Technologické kroky výroby třísek z recyklovaného dřeva

Zpracování recyklovaného dřeva zahrnuje následující technologické kroky:

- **Drcení a třídění** – velké kusy dřeva jsou rozmělněny na štěrpu vhodnou pro výrobu desek.
- **Odstranění nečistot** – využívají se magnetické separátory (pro železné kovy), vířivý separátor (pro nemagnetické kovy), kinetický separátor (pro minerální nečistoty) a vodní pračky (pro oddělení lehkých frakcí).
- **Výroba třísek** – vyčištěná dřevní štěrpa je dále zpracována na třísky vhodné pro výrobu dřevotřískových nebo OSB desek.

Použití recyklovaného dřeva v kompozitních materiálech nemá negativní dopad na jejich mechanické vlastnosti, pokud jsou dodrženy přísné standardy třídění a zpracování suroviny.

2.3 SHRUTÍ KAPITOLY

Primární surovinou pro výrobu třísek je kulatina, která umožňuje přesnou kontrolu nad geometrií třísek a orientací vláken v třískách. Nejčastěji se používají měkké jehličnany, především smrk, borovice a jedle, kvůli své nízké hustotě a snadnému roztřískování. Kulatina poskytuje vysoce homogenní vstupní materiál, avšak její zpracování je spojeno s vyššími náklady na manipulaci, odkornění a sušení. Sekundární suroviny, jako jsou pilařské a truhlářské zbytky, představují ekonomicky výhodný a hojně využívaný zdroj. Výhodou je nižší cena a často nižší vlhkost. Oba typy surovin mají při výrobě dřevotřískových desek své místo, přičemž jejich kombinace umožňuje optimalizovat poměr mezi kvalitou a náklady na vstupní surovinu.

Recyklace dřeva představuje klíčovou strategii pro udržitelnou bioekonomiku a snižování tlaku na primární dřevní suroviny. V Evropské unii se očekává výrazný nedostatek dřeva do roku 2030, což zvyšuje význam efektivního systému recyklace. Kaskádové využití dřeva umožňuje jeho opětovné zpracování ve čtyřech stupních: od konstrukčních prvků z masivního dřeva přes výrobu dřevotřískových a OSB desek až po chemické zpracování a následné energetické využití. V České republice brání vyššímu využití recyklovaného dřeva nedostatečné třídění a legislativní zpoždění oproti zemím jako Německo či Belgie, kde se dřevní odpad již neskládá.

V České republice je průkopníkem v této oblasti společnost Kronospan CR, která využívá recyklované dřevo až z 50 %, avšak kvůli nedostatku této suroviny musí více než polovinu dovážet. Technologické zpracování recyklovaného dřeva zahrnuje drcení, třídění podle velikosti a separaci nežádoucích příměsí (kovy, minerály) pomocí magnetických a gravitačních separátorů. Získaná štěrpa se následně zpracovává standardními postupy na plošné třísky, suší se, lepí polyuretanovými lepidly a lisuje do desek. Nová výrobní linka OSB desek v Kronospanu zavádí uzavřený provoz pro manipulaci s recyklovaným dřevem, což vede ke snížení emisí prachu a hluku. Celý proces ukazuje, že recyklace dřeva je nejen ekologicky výhodná, ale i technologicky proveditelná bez snížení kvality produktů.

2.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké jsou hlavní kategorie surovin pro výrobu třísek a čím se od sebe liší?
- Proč se pro výrobu třísek nejčastěji používají jehličnaté dřeviny, zejména smrk?
- V čem spočívá rozdíl mezi bílou a hnědou štěpkou?
- Jaký vliv má přítomnost kůry v surovině na kvalitu výsledné dřevotřískové desky?
- Jak ovlivňuje hustota dřeva mechanické vlastnosti výsledné desky?
- Proč je stabilní pH důležité pro správné vytvrzení lepidel na bázi močovino-formaldehydových pryskyřic?
- Jaké jsou hlavní výhody využití zbytků z dřevozpracujícího průmyslu jako sekundární suroviny pro výrobu třísek?
- Jak se liší suroviny vhodné pro výrobu středové vrstvy od těch, které se používají pro vrstvy povrchové?
- Proč je při výrobě třísek důležité omezit podíl velmi jemných částic (prachu)?
- Jaké jsou hlavní důvody pro využívání recyklovaného dřeva v dřevozpracujícím průmyslu?
- Co znamená pojem kaskádové využití dřeva?
- Proč by surové dřevo nemělo být ihned spalováno a jaké výhody přináší jeho vícenásobné využití?
- Jaké typy desek se vyrábějí z recyklovaného dřeva?
- Jak probíhá drcení a třídění recyklovaného dřeva před jeho dalším zpracováním?
- Jakými metodami se odstraňují nežádoucí příměsi (kovy, minerály) z recyklovaného dřeva?
- Jaké jsou hlavní výhody a nevýhody využití recyklovaného dřeva ve srovnání se surovým dřevem?

2.5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Barbu, M. C., Reh, R., a Irle, M. (2014). Wood-based composites. In *Research Developments in Wood Engineering and Technology* (pp. 1-45). IGI Global Scientific Publishing.
- Hýsek, Š., Hýsková, P., a Habán, R. (2020). *Materiálové využití recyklovaného dřeva v České republice*. Odpadové fórum 1/2020.
- Irle, M. A., Barbu, M. C., Reh, R., Bergland, L., a Rowell, R. M. (2012). *10 Wood Composites*. Handbook of wood chemistry and wood composites, 321.
- Thoemen, H., Irle, M., a Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London. ISBN: 978-1-902316-82-6.
- Thonemann, N., a Schumann, M. (2018). Environmental impacts of wood-based products under consideration of cascade utilization: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4181-4188.

3 DŘEVOTŘÍSKOVÉ DESKY

3.1 VÝROBA TŘÍSEK

Výroba třísek představuje jeden z nejdůležitějších technologických kroků při produkci dřevotřískových desek. Kvalita výsledné desky je totiž do značné míry závislá na geometrii, rozměrech a povrchové kvalitě jednotlivých třísek. Třísky je možné vyrábět dvěma hlavními způsoby: přímo z kulatiny nebo z předem připravené štěpky, popř. z různorodých dřevních zbytků či recyklovaného dřeva.

Pro samotné roztřískování se používají primární či sekundární roztřískovače:

- **Primární roztřískovače:** slouží typicky k výrobě třísek přímo z kulatiny nebo větších kusů dřeva. Výsledné třísky či štěpky jsou poté dále upravovány.
- **Sekundární roztřískovače:** zpracovávají štěpky či nadrozměrné třísky do požadované podoby. Zvláštní pozornost je věnována geometrii částic – pro středové vrstvy DTD jsou vhodné delší a štíhlejší třísky, pro povrch jsou vhodné jemnější frakce, které zajistí nízkou drsnost povrchu.

Optimální třísky by měly mít hladký povrch, podélný průběh vláken a malý obsah prachu a velmi jemných částic, které zvyšují spotřebu lepidla. Před sušením jsou často třísky tříděny (např. vibračními sítý nebo vzduchovými separátory), aby se oddělily nevhodné frakce a optimalizovalo se využití surovin.

3.1.1 Diskové roztřískovače

Diskové roztřískovače jsou jedním z nejběžnějších zařízení používaných k výrobě třísek. Jejich konstrukce vychází z horizontálně nebo vertikálně uloženého rotujícího disku osazeného noži, které tangenciálně odřezávají třísky z přisouvaného dřevního materiálu. Tento způsob řezu vytváří charakteristické „lístkové“ třísky, vyznačující se poměrně rovnoměrnou tloušťkou, velkou plochou a dobrou kvalitou řezu. Takové třísky jsou zvláště vhodné pro povrchové vrstvy vícevrstevných dřevotřískových desek, kde je požadován hladký a homogenní povrch pro následnou laminaci.

Přísun materiálu u diskových roztřískovačů probíhá tangenciálně, což znamená, že surovina je přiváděna k disku boční stranou (typicky pod úhlem 45°), což zajišťuje plynulý kontakt mezi noži a dřevem. Tento princip rovněž přispívá ke snížení spotřeby energie a zvyšuje životnost nožů. Třísky z diskových roztřískovačů mají menší podíl jemné frakce a jsou rovnoměrnější než u jiných typů zařízení (např. bubnových roztřískovačů).

Hlavní nevýhodou tohoto typu zařízení je nižší kapacita ve srovnání s moderními bubnovými nebo prstencovými roztřískovači. Rovněž pořizovací a provozní náklady jsou u diskových roztřískovačů vyšší. V praxi se proto diskové roztřískovače často používají tam, kde je kladen důraz na kvalitu povrchové vrstvy. V posledních letech je možné se setkat s konstrukčními inovacemi diskových roztřískovačů – zejména v oblasti automatického nastavení hloubky řezu, optimalizace úhlu řezu a použití výměnných nožových systémů.



Obrázek 3 Vertikální diskový roztřískovač Metso Panelboard

3.1.2 Frézovací roztřískovače

Hlavním pracovním prvkem frézovacích roztřískovačů je nožová hlava vykonávající rotační pohyb, která odebírá materiál buď v čistě tangenciálním, nebo v tangenciálně-podélném řezu. Tento typ pohybu vede k charakteristickému cykloidnímu průběhu řezu, což vede ke kolísání tloušťky třísek v závislosti na okamžitém úhlu kontaktu mezi nožem a materiálem.

Frézovací roztřískovače mají horizontálně orientovaný rotor osazený několika řadami nožů. Jsou známé svou vysokou hodinovou kapacitou. Často se používají při primárním zpracování nekvalitního dřeva, odkorněných větví, odpadní kulatiny nebo recyklovaného dřevního materiálu. Obecně platí, že frézovací roztřískovače se využívají tam, kde je prioritou objemová efektivita. Typickým příkladem je výroba třísek pro středové vrstvy dřevotřískových nebo OSB desek, kde není nezbytné dosáhnout zcela homogenní tloušťky.

3.1.3 Prstencové roztřískovače

Prstencové roztřískovače, známé také jako věncové roztřískovače, se řadí mezi výkonné stroje určené k výrobě úzkých a podlouhlých třísek. Nejčastěji jsou používány ve dvoustupňové technologii výroby třísek, kdy se ze vstupních štěpek vyrábějí štíhlé.

Princip činnosti prstencového roztřískovače spočívá ve využití odstředivé síly a mechanické energie rotujícího lopatkového kola. Štěpky jsou podávány do středu stroje, kde jsou zachyceny lopatkami rotoru a urychleny na vysokou rychlost. Pomocí odstředivé síly jsou vrženy směrem k okraji, kde narazí na ostří nožů upevněných ve statickém nebo otáčivém prstenci. Průchod štěpky přes tuto řeznou zónu vede k jejímu seříznutí do podoby tenké třísky. Tloušťka třísky je dána nastavením výšky nože, zatímco délka a šířka závisejí na geometrii vstupního materiálu a provozní rychlosti. Výsledné třísky mají podlouhlý tvar a jsou vhodné pro středové vrstvy vícevrstevných dřevotřískových desek. Typickým znakem těchto třísek je nízká variabilita v tloušťce a absence nadměrného množství jemných částic.

Prstencové roztřískovače jsou konstrukčně navrženy pro kontinuální provoz, a proto bývají součástí vysoce výkonných linek na výrobu dřevotřískových nebo OSB desek. Používají se zejména pro zpracování menších kusů dřeva, slabé kulatiny, krajiny nebo štěpek či kusů recyklovaného dřeva.

Prstencové roztřískovače umožňují flexibilní přizpůsobení parametrů řezu podle konkrétní suroviny a požadavků na cílové vlastnosti třísky. Údržba stroje je snadná díky rychlé výměně nožového prstence a systému samočištění. V porovnání s jinými typy roztřískovačů se vyznačují vyšší kvalitou třísek při nižším opotřebení řezných hran. Vzhledem ke své kompaktní konstrukci a vysoké kapacitě jsou prstencové roztřískovače běžnou součástí moderních linek pro výrobu dřevotřískových a OSB desek.



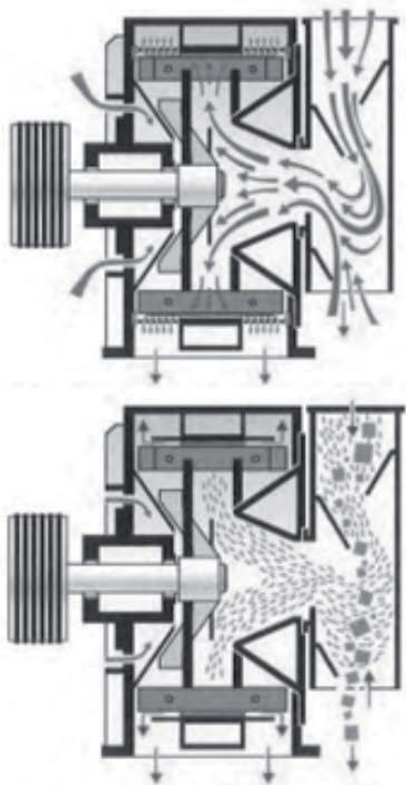
Obrázek 4 Nožový prstencový roztřískovač Pallmann

3.1.4 Beznožové roztřískovače

Beznožové roztřískovače představují specifickou skupinu strojů, které byly vyvinuty jako reakce na rostoucí produkci kompozitních materiálů z recyklovaného dřeva. Tento typ materiálu často obsahuje kontaminaci v podobě kovových nebo minerálních příměsí, jako jsou zbytky spojovacích prostředků, písek, kamínky, zbytky omítky nebo betonu. Tyto nečistoty výrazně snižují životnost běžných nožových systémů, a proto bylo zapotřebí navrhnout zařízení, které dokáže takový materiál zpracovat bez použití klasických ostří.

Funkční princip beznožových roztřískovačů je založen na kombinaci nárazových a třídících mechanismů. Materiál je nejprve vtahován do stroje pomocí dopravního nebo podávacího ústrojí. Následně vstupuje do pracovní komory, kde působí série úderných prvků, jako jsou lopatky. Tyto prvky rozbíjejí dřevní hmotu nárazem na pevné nebo volně zavěšené nárazové lišty. Nedochází zde k řezání, ale k mechanickému rozrušování materiálu silou nárazu. Rozměrové třídění částic probíhá přímo v pracovním prostoru pomocí sít. Velké kusy se vrací do mlecí zóny, zatímco drobné částice propadávají síťovou plochou a opouštějí stroj. Díky absenci ostrých nožů je výrazně sníženo riziko poškození způsobeného cizími tělesy. Proces je zároveň energeticky efektivní, protože snižuje odpor při zpracování a nevyžaduje vysoké otáčky.

Beznožové roztřískovače se vyznačují robustní konstrukcí a dlouhou životností. Jsou navrženy pro trvalý průmyslový provoz, kde se očekává velký objem zpracovaného materiálu s proměnlivou kvalitou. Nejčastěji se využívají v předúpravě recyklovaného dřeva, například z demolic, dřevěných obalů, nábytku nebo odpadů z dřevozpracujících provozů. Výstupní frakce z těchto strojů se následně používají jako surovina pro výrobu dřevotřískových a OSB desek. Hlavní výhodou těchto strojů je jejich schopnost zpracovat i problematické materiály bez nutnosti časté údržby nebo výměny řezných nástrojů. V kombinaci s moderními separačními technologiemi (např. magnetickými nebo optickými separátory) tvoří beznožové roztřískovače důležitý článek technologického řetězce při zpracování recyklovaného dřeva.



Obrázek 5 Beznožový roztřískovač Pallmann

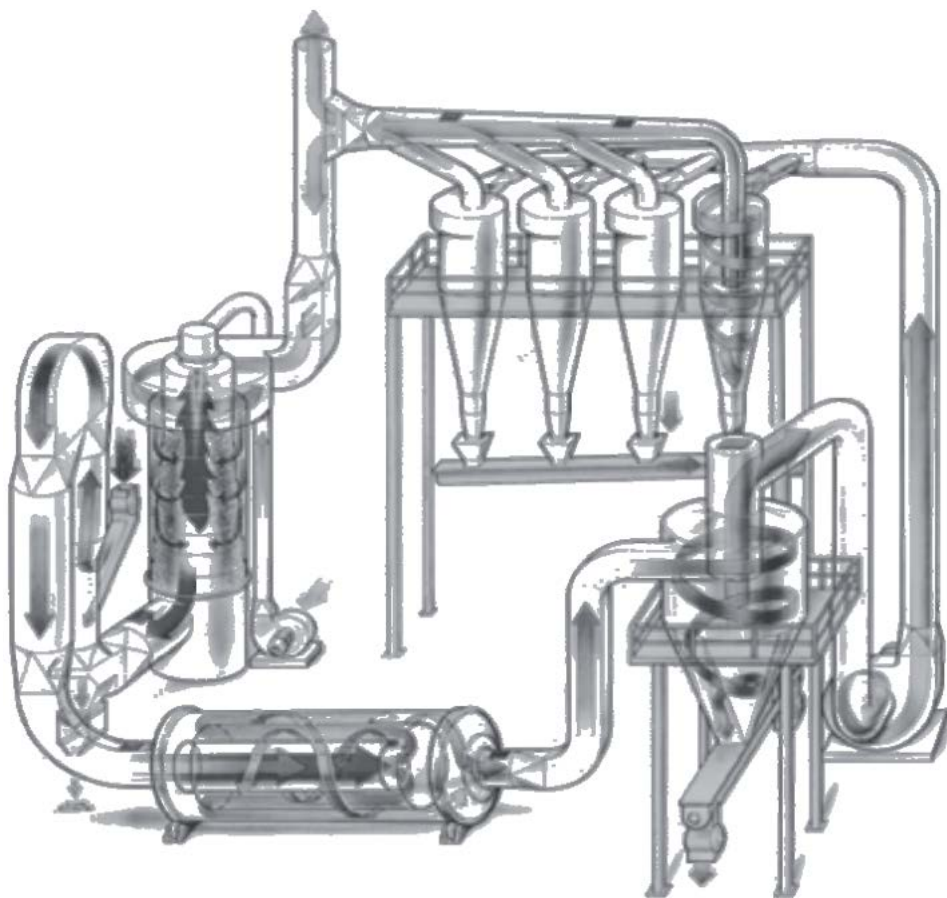
3.2 SUŠENÍ TŘÍSEK

Sušení třísek je technologicky i energeticky náročnou, avšak nezbytnou operací při výrobě dřevotřískových desek. Účelem tohoto procesu je snížení obsahu vody v dřevních částicích na úroveň, která je vhodná pro následné lisování. Správně vysušené třísky mají přímý vliv na kvalitu výsledného výrobku, ovlivňují průběh lisovacího cyklu, spotřebu energie i vytvrzení pojiva. Proces sušení je navržen tak, aby z třísek odstranil vodu volnou i vázanou při co nejnížší energetické spotřebě a při zachování bezpečnosti provozu. Vzhledem k tomu, že výchozí surovina má velmi kolísavou vlhkost (typicky 50–150 %), je nutné zvolit vhodný typ sušárny a přesně řídit průběh celého procesu.

3.2.1 Typy sušáren

Nejpoužívanějším typem zařízení pro sušení třísek jsou bubnové sušárny, a to vícestupňové tříprůchodové nebo jednopráchodové. Sušení probíhá přímým kontaktem s horkými spaliny nebo cirkulujícím vzduchem, které jsou ohřívány spalováním dřevního prachu, biomasy, zemního plynu či topného oleje. Bubnové sušárny zajišťují intenzivní promíchávání částic při současném proudění tepla, čímž dochází k rovnoměrnému a efektivnímu odpaření vlhkosti. Tříprůchodové bubnové sušárny umožňují postupné snižování teploty během sušení, čímž chrání jemnější částice před přepalováním. Naopak jednopráchodové sušárny mají jednodušší konstrukci a jsou vhodné především pro menší provozny nebo předsušení před finálním sušením.

V některých provozech se využívají také tryskové sušárny, případně trubkové nebo pásové systémy, a to především tam, kde je požadavek na šetrné sušení nebo sušení speciálních typů částic. Tryskové sušárny pracují při nižších teplotách a delší době sušení.



Obrázek 6 Kombinovaná sušárna třísek Metso Panelboard

3.2.2 Proces sušení

Sušení třísek probíhá ve dvou hlavních fázích, které se liší mechanismem přenosu vlhkosti. V první fázi – fázi konstantní rychlosti – je povrch částic nasycen vodou a voda se odpařuje volně z povrchu. V této fázi je rychlost sušení řízena především podmínkami okolního vzduchu, tedy jeho teplotou, rychlostí proudění a relativní vlhkostí. Teplota samotných částic se přitom udržuje na téměř konstantní úrovni. Druhá fáze – fáze klesající rychlosti sušení – začíná v okamžiku, kdy povrchová voda je odpařena a vlhkost musí být transportována z částice na její povrch. V této fázi přestává být limitujícím faktorem okolní prostředí a dominantní roli začíná hrát difuzní pohyb vody uvnitř částice. Rychlost sušení zde výrazně klesá a zvyšuje se riziko přehřátí částic, pokud není proces správně řízen. Významnými faktory ovlivňujícími efektivitu sušení jsou kromě typu suroviny také tvar a velikost částic, jejich objemová hmotnost, teplota a vlhkost sušicího vzduchu, doba sušení a intenzita míchání.

3.2.3 Vlhkost částic

Výsledná vlhkost částic je rozhodujícím parametrem pro kvalitu a zpracovatelnost navrstveného koberce. Třísky pro povrchové vrstvy se běžně suší na vlhkost 3–5 %, zatímco třísky pro středovou vrstvu na nižší hodnoty, typicky 2–3 %. Tato diferenciací zajišťuje optimální hustotní profil a lisovací vlastnosti. Příliš vysoká vlhkost způsobuje nadměrnou tvorbu páry při lisování, což může vést ke vzniku puchýřů, delaminaci nebo oslabení lepeného spoje mezi třískami. Naopak příliš suché třísky zhoršují prostup tepla, mohou způsobit nedostatečné vytvrzení lepidla a zvyšují prašnost. Za zmínku stojí směsném sušení lístkových a jehlicovitých třísek, které se obvykle suší společně, ale následně třídí podle frakce.

3.2.4 Bezpečnostní opatření

Vysoké teploty, jemné dřevní částice a přítomnost prachu představují kombinaci, která je vysoce riziková z hlediska požáru či výbuchu. Z tohoto důvodu musí být sušící zařízení vybavena celou řadou bezpečnostních prvků. Mezi základní patří detektory jisker, dýmu a teploty, automatická hasicí zařízení (např. vodní sprchy), přetlakové klapky a tlumicí komory. Důležitým prvkem je také rychlý systém odstavení tepelného zdroje při výpadku vstupu mokrého materiálu, aby nedošlo k přehřátí vnitřního prostoru. Tím se minimalizuje riziko požáru a zajišťuje bezpečný provoz sušárny.

3.2.5 Kontrola vlhkosti

Pro dosažení konstantní kvality výstupního materiálu je klíčová nepřetržitá kontrola vlhkosti na vstupu i výstupu ze sušárny. Vstupní vlhkost může kolísat v širokém rozsahu, a proto je nutné mít měření v reálném čase, které umožní okamžitě upravit parametry sušení. Moderní vlhkoměry využívají princip infračervené spektroskopie nebo mikrovlnné technologie, které umožňují rychlé, bezkontaktní a přesné měření vlhkosti i při pohybu materiálu na dopravnících. Údaje ze snímačů jsou integrovány do řídicího systému sušárny, který upravuje teplotu, rychlost proudění a dobu sušení tak, aby výsledný materiál splňoval technologické požadavky a zároveň nedocházelo k energetickým ztrátám.

3.3 TŘÍDĚNÍ A DOMÍLÁNÍ TŘÍSEK

Třídění a domílání třísek jsou procesy, které zajišťují, aby výsledný produkt měl požadované vlastnosti a kvalitu. Cílem je optimalizace velikosti a tvaru částic tak, aby jednotlivé vrstvy dřevotřískové desky vykazovaly požadované vlastnosti – hladký povrch, vysokou pevnost, tvarovou stálost a jednotnou hustotu. Zároveň jde o efektivní využití dřevní suroviny, kdy jsou jak příliš jemné, tak příliš hrubé frakce dále separovány a upravovány.

3.3.1 Třídění třísek

Pro sušení vstupují třísky do systému třídění, který se skládá z několika navazujících strojních zařízení. Nejčastěji se využívá kombinace vibračních sít, vzdušného třídění a válcových nebo rotačních separátorů. Vibrační síta třídí třísky podle jejich dvourozměrných rozměrů (délka a šířka), zatímco zařízení využívající aerodynamickou separaci rozlišují částice podle jejich tloušťky a hustoty. Kombinací těchto metod lze třísky roztrždit do cílených frakcí s úzkým rozmezím velikosti.

Nejpoužívanější frakce po třídění lze rozdělit následovně:

Mikrotřísky jsou velmi jemné částice, často s tloušťkou pod 0,3 mm, které se uplatňují v povrchových vrstvách dřevotřískových desek. Zajišťují kompaktní, hladký a homogenní povrch desky, vhodný pro dekorativní úpravy jako je laminace, dýhování nebo fóliování. Jejich výhodou je schopnost vyplňovat mezery mezi většími částicemi, čímž se zvyšuje hustota povrchu.

Třísky pro středové vrstvy tvoří hlavní objem desky. Mají obvykle větší tloušťku a delší tvar než mikrotřísky, čímž přispívají k mechanické pevnosti desky, její tuhosti a rozměrové stabilitě. U vícevrstvých desek je důležité, aby tyto částice byly dostatečně dlouhé, aby umožnily únik páry během lisování.

Dřevní prach, tvořený částicemi pod 0,1 mm, není vhodný pro použití při výrobě dřevotřískových desek, protože jeho velký specifický povrch zvyšuje spotřebu lepidla a snižuje pevnostní parametry hotové desky. Zpravidla je separován a využíván jako biopalivo pro sušárny nebo kotelny v rámci závodu.

Hrubá frakce zahrnuje částice, které svými rozměry překračují limity pro přímé použití pro výrobu dřevotřískových desek. Tyto částice by v povrchových vrstvách způsobily nerovnosti a drsnost, ve středové vrstvě by mohly vytvořit dutiny nebo porézní strukturu, která se projeví zhoršením mechanických vlastností. U tenkých desek navíc hrozí tzv. prokopírování částic na povrch, což je zcela nežádoucí. Tyto větší částice jsou dále zpracovávány v domílacích mlýnech.

Třídění je tedy proces nejen separační, ale zároveň kvalitativní. Každá frakce má přesně definované místo ve struktuře desky a jakákoli odchylka od stanovené geometrie může negativně ovlivnit výsledný produkt.



Obrázek 7 Válečkový třídící systém Acrowood

3.3.2 Domílání třísek

Hrubé částice, které nelze použít dále bez úpravy, procházejí procesem domílání. K tomuto účelu se využívají tzv. domílací mlýny, často prstencové konstrukce s vysokootáčkovým rotorem a sítovým roštem. Pracovní princip spočívá v tom, že třísky jsou urychlovány vrhacími lopatkami rotoru a vystřelovány proti statickému sítovému roštu. Při kontaktu s roštem dochází k jejich narušení a drčení. Proces domílání je založen na kombinaci nárazové destrukce a oděru. Kromě primárního kontaktu s roštem dochází k dalšímu tření mezi částicemi a lopatkami, což vede k efektivnímu zmenšení velikosti hrubých třísek. Domílání probíhá za sucha, protože vlhké třísky by se mohly slepovat a snižovat účinnost celého procesu.

Výsledkem domílání je směs jemnějších částic, které lze využít jako doplněk k mikrotřískám pro povrchové vrstvy nebo jako přídavek do třísek pro střední vrstvy. Získaná frakce je znovu zařazena do systému třídění, čímž se uzavírá smyčka materiálového toku. Tento postup přispívá k vysoké výtěžnosti suroviny a zajišťuje ekonomické i ekologické využití každé části vstupního dřeva. Efektivita domílání závisí na geometrii mlecí komory, velikosti otvorů sít, rychlosti rotoru a vlastnostech zpracovávaného materiálu. Moderní domílací mlýny jsou často vybaveny automatickou regulací otáček a systémy kontroly granulometrie výstupního materiálu, které umožňují flexibilní přizpůsobení požadavkům výrobní linky.

3.4 LEPICÍ SMĚS

Lepicí směs tvoří základní pojivo v dřevotřískových deskách a její kvalita a složení přímo ovlivňují výsledné mechanické, fyzikální a povrchové vlastnosti produktu. Správná formulace lepicí směsi zajišťuje dostatečnou pevnost vazeb mezi částicemi, rozměrovou stálost, odolnost vůči vlhkosti a životnost finálního výrobku. Volba konkrétního typu lepidla, jeho množství a složení celé lepicí směsi se přizpůsobuje nejen požadovaným vlastnostem desky, ale také technologickému režimu výroby, způsobu lisování a typu použité suroviny.

3.4.1 Složení lepicí směsi

Lepicí směs pro výrobu dřevotřískových desek se zpravidla skládá ze čtyř hlavních komponent: pojiva (syntetické pryskyřice), tvrdidla (urychlovače vytvrzení), hydrofobizačního prostředku a funkčních aditiv.

Hlavní složkou lepicí směsi je samotné lepidlo. Pro výrobu dřevotřískových desek se nejčastěji používají lepidla na bázi formaldehydu. Nejrozšířenější jsou močovino-formaldehydové (UF) pryskyřice, které se aplikují především v interiérových deskách díky dobrým pevnostním vlastnostem, krátké době vytvrzování a nízké ceně. Pro aplikace, kde je kladen důraz na vyšší odolnost vůči vlhkosti, jsou používány fenol-formaldehydové (PF) nebo melamin-formaldehydové (MF) pryskyřice. V moderních technologiích se stále více prosazují i isokyanátové systémy (např. MDI).

Tvrdidla slouží ke spuštění nebo urychlení vytvrzovací reakce mezi lepidlem a dřevními částicemi. Jejich přítomnost je nezbytná zejména u lepidel citlivých na pH – typicky UF pryskyřic. Běžně používaná tvrdidla zahrnují chlorid amonný, síran amonný, síran hlinitý nebo jejich směsi. Volba tvrdidla ovlivňuje nejen rychlost vytvrzení, ale i teplotu potřebnou k polymeraci lepidla.

Hydrofobizační prostředek, nejčastěji ve formě parafínové emulze, je důležitý pro zajištění krátkodobé odolnosti desek proti vlhkosti a pro omezení nasákavosti. Emulze obsahují drobné kapky parafínu rozptýlené ve vodném roztoku s přídavkem emulgátorů, které po odpaření vody zůstávají na povrchu třísek a tvoří ochranný film.

Další přídavná aditiva se přidávají podle požadovaných specifikací desek. Může se jednat o retardéry hoření, biocidní a fungicidní prostředky (pro zvýšení odolnosti vůči houbám, hmyzu a plísním) či barviva. Cílem je zlepšení trvanlivosti i estetických vlastností desek.

Přesné dávkování jednotlivých složek směsi je řízeno automatickými dávkovacími systémy, které jsou propojeny s vlhkostními senzory a měřením teploty třísek, aby bylo zajištěno rovnoměrné a efektivní nanášení směsi na částice.

3.4.2 Typy lepidel

Při výrobě dřevotřískových desek se používají různé typy lepidel, jejichž volba závisí na konečné aplikaci desky, požadavcích na životnost, expozici vlhkosti a ekonomických faktorech. V průmyslu se při výrobě dřevotřískových desek používají zejména následující lepidla:

Močovino-formaldehydová (UF) lepidla jsou nejrozšířenější pojivovou složkou pro výrobu dřevotřískových desek. Mají nízkou cenu, snadno se zpracovávají, rychle tuhnou při relativně nízkých teplotách a poskytují dostatečnou pevnost pro většinu interiérových aplikací. Nevýhodou je jejich omezená odolnost vůči vlhkosti a emise formaldehydu.

Fenol-formaldehydová (PF) lepidla poskytují vynikající odolnost vůči vodě, teplotě a mikrobiální degradaci, a jsou tedy používána pro exteriérové konstrukční desky nebo pro speciální aplikace s vyššími požadavky na odolnost vůči vlhkosti. Jejich nevýhodou je vyšší cena, delší vytvrzovací doba a tmavé zabarvení, které ovlivňuje vzhled desek.

Melamin-formaldehydová (MF) lepidla kombinují vlastnosti UF a PF lepidel. Nabízejí dobrou odolnost vůči vlhkosti a mechanické vlastnosti, což je činí vhodnými pro náročnější aplikace. Zároveň jsou bezbarvá a neobsahují fenoly, což je podstatnou výhodou oproti PF lepidlům.

Isokyanátová lepidla (MDI a pMDI) patří mezi reaktivní lepidla bez obsahu formaldehydu. Vyznačují se výbornou smáčivostí dřeva, velmi dobrou přilnavostí a odolností vůči vodě. Umožňují zkrácení lisovacích cyklů a snižují emise VOC. Jejich použití však vyžaduje přesné dávkování a aplikaci separačních prostředků na lisovací plochy, protože silně přilnou i ke kovovým povrchům. Z hlediska bezpečnosti je nutné zajistit správnou manipulaci a ochranu obsluhy kvůli možné otravě při vdechnutí par.

Každý typ lepidla má své specifické výhody i omezení, jejich souhrn je uveden v následující přehledové tabulce 1. Při návrhu výrobního procesu je proto nutné zvážit nejen technologické požadavky, ale i ekonomiku provozu, bezpečnost práce a ekologické aspekty. Vývoj v oblasti lepidel směřuje k omezení formaldehydových emisí a zavádění alternativ bez formaldehydu či dokonce na bázi rostlinných surovin.

Tabulka 1 Přehled hlavních používaných lepidel

Typ lepidla	Zkratka	Odolnost vůči vlhkosti	Pevnost	Barva	Obsah formaldehydu	Lisovací čas [s/mm]	Cena
Močovino-formaldehydové	UF	Nízká	Dobrá pro interiéry	Bezbarvá až bílá	Vysoký	6–10	Nízká
Melamin-formaldehydové	MF	Střední až vysoká	Vysoká	Bezbarvá	Střední	8–12	Střední až vysoká
Fenol-formaldehydové	PF	Vysoká	Velmi vysoká	Tmavě hnědá	Střední	10–20	Vysoká
Isokyanátové	MDI / pMDI	Vysoká	Velmi vysoká	Bezbarvá	Žádný	4–8	Vysoká

Poznámka: Lisovací čas se uvádí v sekundách na každý milimetr tloušťky desky.

3.5 NANÁŠENÍ LEPICÍ SMĚSI

Nanášení lepicí směsi na třísky je technologickým krokem, který bezprostředně předchází formování třískového koberce a má zásadní vliv na kvalitu finálního produktu. Účelem tohoto procesu je zajistit, aby každá jednotlivá částice byla rovnoměrně pokryta optimálním množstvím lepidla. Rovnoměrná distribuce lepidla přispívá k efektivnímu vytvrzení během lisování a minimalizuje spotřebu lepicí směsi. Nerovnoměrné nanesení lepidla by mohlo vést ke vzniku slabých míst, ke snížení pevnosti v tahu kolmo k rovině desky nebo k delaminaci.

Technologickým problémem je extrémní specifický povrch třísek, který musí být pokryt velmi malým množstvím lepidla. Průměrná dávka lepidla se pohybuje okolo 9 % hmotnosti absolutně suchých třísek. V praxi se však množství lepidla liší podle frakce, typu použité pryskyřice, vrstvy desky a požadovaných vlastností výsledného produktu. U povrchových vrstev se obvykle aplikuje více lepidla než u středové vrstvy, protože částice v těchto vrstvách

mají menší rozměry a vyšší měrný povrch. Příliš silná vrstva lepidla je nejen zbytečně nákladná, ale zvyšuje emise formaldehydu a prodlužuje lisovací cyklus.

Nanášení lepicí směsi se provádí v uzavřených bubnových nanášečkách. Nejčastěji se používají horizontální ocelové válce, uvnitř kterých se otáčejí spirálovitě uspořádané lopatky. Tyto lopatky zajišťují plynulý pohyb třísek bubnem a jejich neustálé promíchávání. Lepicí směs je do zařízení přiváděna pod tlakem a nanášena prostřednictvím systému trysek rozmístěných po obvodu bubnu. Trysky jsou navrženy tak, aby vytvářely jemnou mlhu, která se zachytává na povrchu třísek. Tento princip „rozprašování“ je klíčový – zajišťuje minimální spotřebu lepidla při jeho maximální účinnosti. Rozložení trysek, úhel postřiku, tlak i teplota lepicí směsi jsou precizně řízeny řídicím systémem. V moderních výrobních linkách bývá celý proces automatizovaný a vybaven senzory, které sledují teplotu, vlhkost, tok třísek a dávku lepidla v reálném čase.

Účinnost procesu nanášení lepidla je zásadní nejen z hlediska kvality, ale i ekonomiky výroby – lepidla představují jednu z nejdražších složek při výrobě desek, a proto je cílem každého výrobce dosáhnout co nejvyšší lepicí účinnosti při minimální spotřebě pojiva.

3.6 VRSTVENÍ TŘÍSKOVÉHO KOBERCE

Vrstvení třískového koberce je finální přípravnou operací před lisováním a má zásadní vliv na výsledné mechanické, fyzikální i vizuální vlastnosti dřevotřískových desek. Kvalita této operace spočívá v přesném a rovnoměrném rozložení třísek jednotlivých frakcí tak, aby byl zachován požadovaný profil hustoty v tloušťce desky a aby byly vytvořeny podmínky pro rovnoměrný prostup tepla při lisování. Koberce se vytvářejí na pohyblivém podkladu, nejčastěji nekonečném pásu, což umožňuje kontinuální výrobu a přesné navrstvení materiálu.

Typickým výchozím uspořádáním je třívrstvá struktura, která se skládá ze dvou tenkých povrchových vrstev a jedné masivnější středové vrstvy. Středová vrstva je tvořena hrubšími a méně kvalitními třískami, často i s příměsí recyklovaného dřeva či kůry. Povrchové vrstvy jsou naopak tvořeny jemnými mikrotřískami, které zajišťují hladký a kompaktní povrch, vhodný pro laminaci, lakování nebo fóliování. Mezi jednotlivými vrstvami musí být zachováno plynulé přechodové rozhraní, které zamezuje delaminaci a zajišťuje kohezni soudržnost celé desky.

Vrstvení se provádí zařízením, které je schopno nejen dávkovat správné množství třísek, ale i zajistit jejich směrové uspořádání. Úhel uložení třísek ovlivňuje mechanické vlastnosti desky (zejména pevnost v ohybu) a musí být pečlivě řízen, typicky tak, aby odchylka nepřesáhla $\pm 20^\circ$ od horizontální roviny.

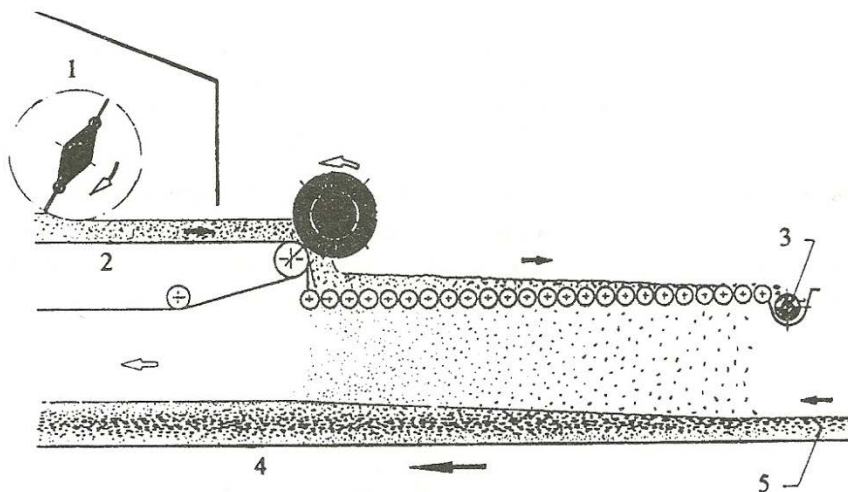
Vrstvení povrchových vrstev: Povrchové vrstvy jsou tvořeny menšími třískami, které jsou nanášeny pomocí pneumatických vrstvicích zařízení. Tyto zařízení využívají proud vzduchu k separaci třísek podle velikosti, což zajišťuje, že nejjemnější částice jsou ukládány na povrch koberce a hrubší částice se dostávají blíže ke středu. Tento proces zajišťuje rovnoměrné rozložení třísek a vytváří hladký povrch desky.

Vrstvení středové vrstvy: Středová vrstva je tvořena hrubšími třískami, které jsou nanášeny mechanickými způsoby bez separace částic. Třísky jsou dopravovány na soustavu otáčejících se válců, které zajišťují rovnoměrné rozložení třísek po celé šířce koberce. Tento proces je méně náročný na přesnost než vrstvení povrchových vrstev, ale stále je důležité zajistit rovnoměrné rozložení třísek pro dosažení požadovaných mechanických vlastností desky vč. Variability dané vlastnosti.

3.6.1 Technologie vrstvení

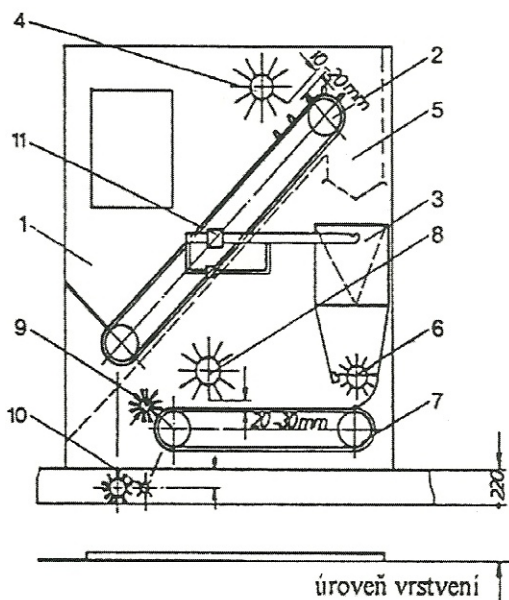
V praxi se využívá několik principů vrstvení třísek, mezi nejčastěji používané technologie patří:

Volný pád (gravitační vrstvení): Tento systém pracuje na principu řízeného volného pádu třísek na soustavu otáčivých rýhovaných válečků, viz Obrázek 8. Třísky dopadají z dávkovacího zařízení na sekvenci válečků s postupně se zvětšujícím rozestupem, čímž dochází k rozrušení shluků a k částečné separaci podle velikosti. Nadměrně velké částice nebo shluky jsou transportovány až na konec soustavy a shromažďovány ve sběrném dopravníku. Výsledný třískový koberec má plynulý přechod mezi vrstvami a dobře rozprostřenou povrchovou vrstvu. Gravitační vrstvicí zařízení musí dosahovat vysoké přesnosti – rozptyl plošné hmotnosti v rámci jedné desky nesmí přesáhnout 3,5 %, mezi deskami pak 3 %. Důležitá je rovněž kontrola směru ukládání třísek.



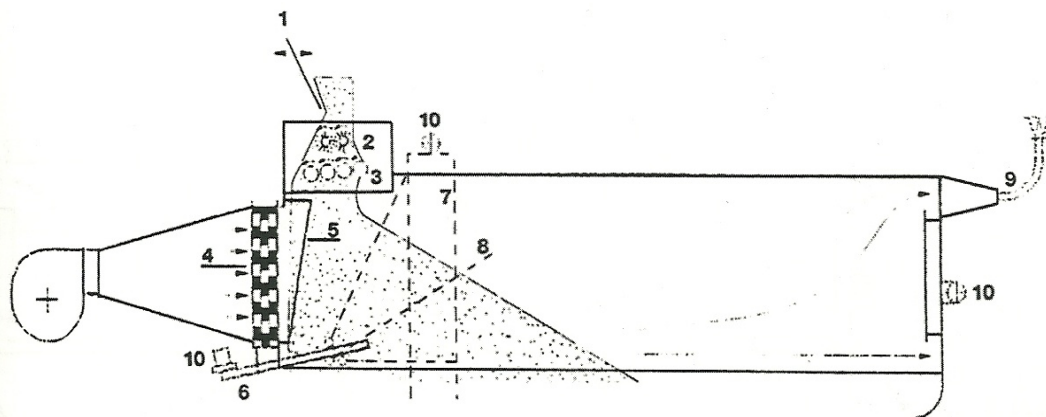
Obrázek 8 Vrstvení volným pádem. 1 – vyrovnávací válec, 2 – pásový dopravník, 3 – sběrný dopravník velkých částic, 4, 5 – vrstvení koberce a směr pohybu pásu

Vrhací válce (mechanicko-kinetické vrstvení): Tento systém využívá kombinaci dávkování podle hmotnosti a řízeného vrhání třísek. Třísky jsou nejprve dávkovány na taktovou váhu, která podle sypné hmotnosti reguluje tok materiálu. Následně padají na spodní dopravník, kde jsou egalizačním válcem upraveny na rovnoměrnou vrstvu. Tato vrstva je pak shazovacím válcem přenesena na vrstvicí válce, které vrhají třísky do prostoru a vytvářejí rovnoměrný koberec, viz Obrázek 9. Tento způsob se často používá pro středové vrstvy, kde je důležitá objemová rovnoměrnost, ale nižší požadavky na hladkost povrchu.



Obrázek 9 Vrstvička s vrhacími válci. 1 – plnicí prostor, 2 – vynášecí dopravník, 3 – taktová váha, 4 – egalizační válec, 5 – zásobníkový prostor, 6 – rozdělovací válec, 7 – spodní dopravní pás, 8 – egalizační válec, 9 – shazovací válec, 10 – vahadlový spínač

Pneumatické vrstvení (vzduchové směřování částic): Nejpreciznější a nejpropracovanější metodou vrstvení je pneumatické ukládání, používané zejména pro povrchové vrstvy z mikrotřísek. Třísky jsou nejprve rozvolňovány válci nebo síty, aby došlo k rozrušení shluků. Následně jsou unášeny proudem vzduchu, který je směřuje do požadovaného místa ukládání. Směr proudění vzduchu a síla proudu jsou navrženy tak, aby docházelo k separaci částic podle jejich hmotnosti – lehčí třísky dopadají dále, čímž se automaticky vytvoří jemná povrchová vrstva a hrubší částice dopadají blíže. Pro zvýšení výkonu se používají dvě zrcadlově uspořádané pneumatické hlavy, které umožňují navrstvení třískového koberce v jednom průchodu. Vrstvení pomocí vzduchu umožňuje dosáhnout velmi rovnoměrného a jemného povrchu bez shluků a nerovností. Výhodou této technologie je i možnost přesné regulace skladby jednotlivých vrstev.



Obrázek 10 Pneumatická vrstvička. 1 – podávací klapka, 2 – rozvolňovací válec, 3 – vynášecí válec, 4 – difusor s registrem, 5 – vodící plechy, 6 – síto pro odstraňování lepidlových shluků, 7 – síta na vzdušné třídění třísek, 8 – rozvolňovací síta, 9 – odsávání, 10 – vibrátor

3.7 LISOVÁNÍ

Lisování představuje klíčový krok ve výrobě dřevotřískových desek, při kterém dochází k mechanickému zhuštění třískového koberce, aktivaci lepidla a vytvoření finální struktury desky. Proces lisování výrazně ovlivňuje konečné vlastnosti výrobku, jako jsou hustota, pevnost, rozměrová stálost a odolnost proti vlhkosti.

3.7.1 Předlis a příprava na lisování

Třískový koberec je po navrstvení dopraven do předlisu, kde se za studena stlačí. Tento proces snižuje výšku koberce přibližně na 50–70 % původní výšky, čímž se zlepšuje manipulace a zvyšuje výkonnost hlavního lisu. Předlis se provádí za tlaku 1,0–3,5 MPa. V některých výrobcích se po předlisu používá také předeřev pomocí horké páry, vzduchu nebo mikrovln, což snižuje energetickou náročnost následného lisování, ale hlavně zkracuje lisovací čas.

3.7.2 Vlastní lisování

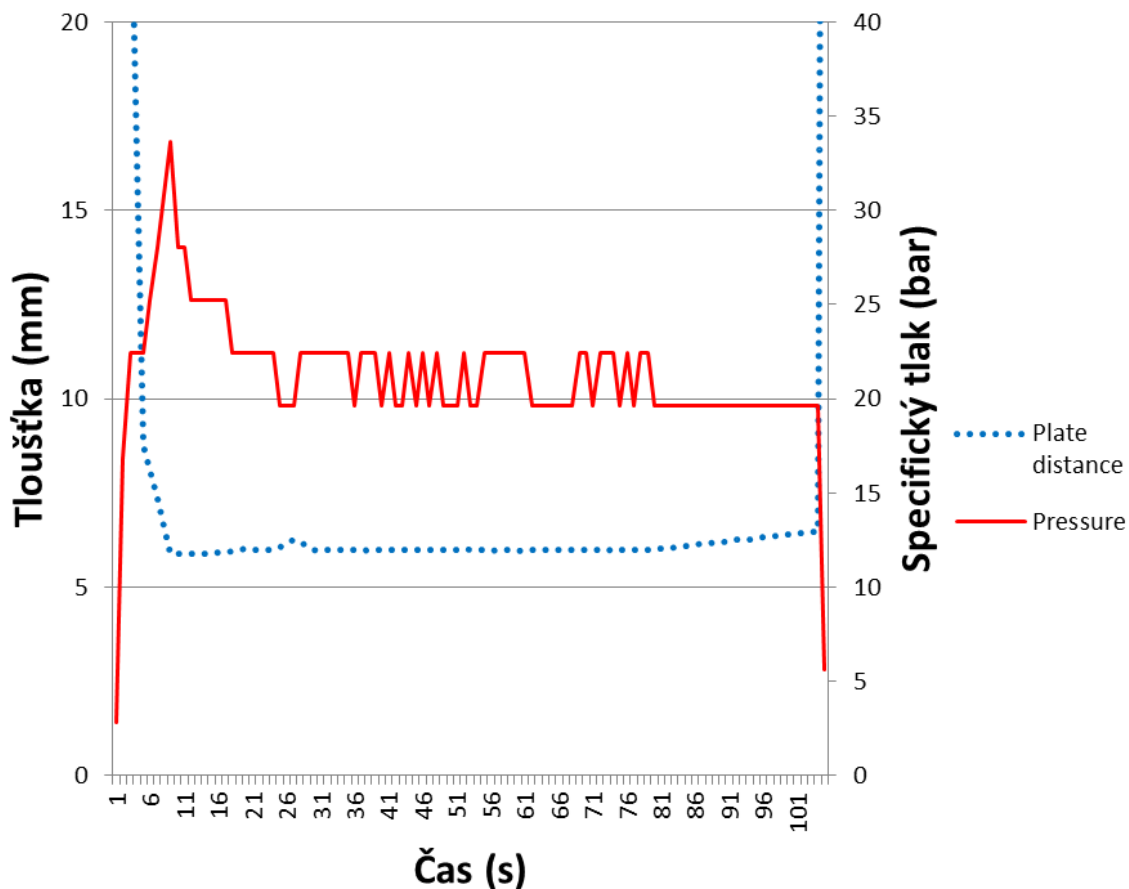
Lisování probíhá v etážových nebo stále častěji v kontinuálních lisech. Při lisování se třískový koberec zhušťuje na požadovanou tloušťku, prohřívá na teplotu potřebnou k vytvrzení pojiva a odpařuje se z něj voda. Teplota lisovacích desek se pohybuje v rozmezí 145–230 °C, lisovací tlak dosahuje 2–4 MPa, v závislosti na typu desky a použitém pojivu. Lisovací desky mohou být ohřívány párou, vodou nebo termálním olejem.

Proces lisování dělíme do následujících fází:

1. *Zavírání lisu* – zpočátku probíhá rychlé uzavření, které se při určité výšce zpomalí. Rychlost zavírání lisu zásadně ovlivňuje výsledný vertikální hustotní profil desek.
2. *Kompresní fáze* – třískový koberec je stlačován na konečnou tloušťku, zvyšuje se teplota v jeho středu.
3. *Fáze vytvrzení* – při dosažení požadované teploty dochází k chemické reakci lepidla, pro různá lepidla je tato fáze různě dlouhá.
4. *Relaxace a otevření* – tlak se snižuje a deska se vyjímá z lisu.

Příklad průběhu lisování vč. průběhu tlaku a tloušťky je uveden na obrázku 11.

Úkol: Identifikujte na lisovacím diagramu jednotlivé lisovací fáze.



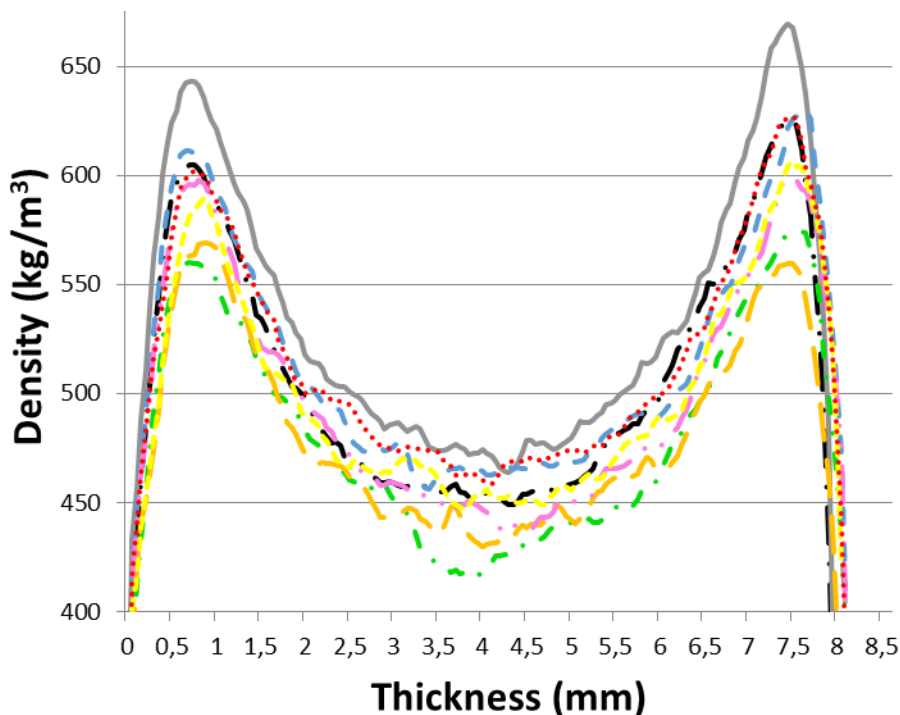
Obrázek 11 Příklad lisovacího diagramu

3.7.3 Přenos tepla a vlhkosti

Přenos tepla při lisování probíhá kombinací kondukce, konvekce a především přestupem vodní páry. Vlhkost v povrchových vrstvách se při kontaktu s horkými deskami mění v páru a proudí do středu desky, čímž zajišťuje rovnoměrné zahřátí. Pro urychlení prohřátí tlustých desek se využívá parní injektáž, kdy je nasycená pára vstřikovávána do třískového koberce skrz perforované lisovací desky. Alternativou je mikrovlnný ohřev, který zvyšuje vnitřní teplotu bez nutnosti zvýšení lisovací teploty.

3.7.4 Hustotní profil desky

Během lisování vzniká charakteristický hustotní profil – vysoká hustota povrchových vrstev a nižší hustota středových vrstev. Tento profil přináší kombinaci dobrých mechanických vlastností za současné úspory materiálu. Hustota je ovlivněna teplotou, vlhkostí, rychlostí uzavírání lisu a tlakem. Obrázek 12 zachycuje ideální vertikální hustotní profily.



Obrázek 12 Příklady ideálních vertikálních hustotních profilů

3.7.5 Kontinuální vs. etážové lisy

Moderní výroby využívají zejména kontinuální lisy, které umožňují plynulé lisování nekonečného pásu a jeho následné rozřezání na formáty. Mezi hlavní výhody patří: kratší lisovací časy, vyšší přesnost tloušťky, menší ztráty materiálu při ořezávání, nižší provozní náklady, vyšší produktivita, lepší kvalita povrchu. Například moderní lisy umožňují rychlost posuvu až 120 m/min pro tenké desky, což znamená produkci tisíců m³ denně.

3.7.6 Lisovací parametry a jejich optimalizace

Klíčové parametry lisování jsou:

lisovací tlak – ovlivňuje hustotu a pevnost,

teplota desek – ovlivňuje rychlost vytvrzení,

čas lisování – závislý na tloušťce, pojivu a vlhkosti,

rychlost zavírání lisu – příliš rychlé uzavření může vést k defektům, ovlivňuje hustotní profil desek

vlhkostní profil – má vliv na tvorbu vnitřních napětí a objemové změny.

Optimální nastavení lisování vychází z požadovaných vlastností desky, použité technologie a typu suroviny. Při výrobě desek pro náročnější použití (např. nosné desky P5, P7) se volí delší časy a vyšší tlaky, u levnějších desek (P2) je cílem především rychlost a nízká spotřeba energie. Moderní systémy lisování jsou vybaveny pokročilou senzorikou a zpětnou vazbou, které sledují průběh lisování v reálném čase. Sledování teploty ve středu desky, vývoje tlaku, vlhkosti či vývinu par umožňuje přesné řízení lisovacího procesu. Další vývoj směřuje k úspoře energie, redukci emisí formaldehydu, a také k větší flexibilitě výroby s možností rychlé změny formátů, tloušťek či typů desek.

3.8 DOKONČOVÁNÍ DESEK

Bezprostředně po lisování vykazují třískové desky značné teplotní a vlhkostní gradienty mezi povrchovými vrstvami a jádrem. Zatímco povrchová teplota dosahuje až 220 °C, vnitřní části desky mohou být stále podstatně chladnější a zároveň vlhčí. Tyto rozdíly je třeba pozvolna eliminovat, aby nedošlo ke vzniku vnitřního pnutí, delaminací nebo dokonce k mikrotrhlinám, které by znehodnotily mechanické vlastnosti a rozměrovou stálost výrobku.

Chlazení

Okamžitě po lisování se desky přemisťují do hvězdčovitých turniketových chladičů, kde dochází k jejich postupnému ochlazení na teplotu přibližně 70 °C. Příliš rychlé ochlazení by vedlo k prudkému smrštění povrchových vrstev při ještě teplé středové vrstvě, což by mohlo způsobit vnitřní trhliny nebo zakřivení desky. Turnikety umožňují plynulé větrání a rovnoměrný odvod zbytkového tepla.



Obrázek 13 Turniketový chladič ve výrobním závodě Kronospan Jihlava

Kondicionování

Po chlazení jsou desky uloženy do hrání, kde se stabilizují po dobu 4–5 dní. Během této fáze dochází k vyrovnávání zbytkového vlhkostního gradientu v průřezu desky. Tato fáze je klíčová pro rozměrovou stabilitu a správnou přípravu pro následné obrábění. Vlhkostní rovnováha mezi povrchem a středem desek je dosažena přirozeným vyrovnáváním při řízené teplotě (15–25 °C) a relativní vlhkosti vzduchu 45–55 %.

Omítání a formátování

Po ukončení kondicionování (v některých provozech již dříve) se provádí omítání, tedy zarovnání okrajů desky. K tomuto účelu se používají kotoučové omítací pily nebo frézovací jednotky, které umožňují přesnější tvarování hran a vyšší kvalitu řezu. Následuje formátování, během něhož se desky dělí na cílové rozměry podle požadavků zákazníka či standardních formátů (např. 2800 × 2070 mm).

Tloušťková egalizace a broušení

Vlivem vysokých lisovacích teplot je povrch třískových desek často porézni a mechanicky méně soudržný. Důvodem je, že na povrchu desky dochází k příliš rychlému vytvrzení lepidla ještě před úplným slisováním třísek. Aby bylo dosaženo rovnoměrné tloušťky a kvalitního povrchu pro další úpravy, jsou desky vyráběny s tloušťkovou nadmírou a následně egalizovány broušením. Egalizace probíhá na širokopásových a příčně řazených pásových bruskách, které zajišťují rovnoměrné ubírání materiálu v podélném i příčném směru. Používaná zrnitost brusných papírů se volí dle účelu: Zrnitost 40–80 pro hrubé ubírání (kalibrace tloušťky), Zrnitost 120–150 pro jemné broušení a přípravu povrchu pro další úpravy. Moderní brusné linky jsou vybaveny automatickou kontrolou tloušťky, odhalením defektů, a také systémy pro detekci jisker.

Třídění a skladování

Po broušení jsou desky automaticky tříděny podle kvality povrchu, tloušťky a dalších parametrů. Výrobky nevyhovující standardům jsou buď recyklovány zpět do výroby, nebo určeny pro méně náročné aplikace. Hotové desky se před expedicí uskládají ve vyrovnávacích skladech s řízenými klimatickými podmínkami, obvykle při teplotě 15–25 °C a relativní vlhkosti 45–55 %. Tím se stabilizuje jejich rozměrová stálost a minimalizuje riziko pozdější deformace během dopravy nebo použití.

3.9 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Povrchové úpravy třískových desek představují technologický krok ve finální úpravě výrobku, který významně ovlivňuje nejen vzhled, ale i funkční vlastnosti desky. Cílem je dosáhnout požadované estetické kvality povrchu, zvýšit odolnost vůči mechanickému opotřebení, vlhkosti, chemickým látkám a UV záření a zároveň upravit desku tak, aby byla vhodná pro další použití v nábytkářství, interiérových konstrukcích nebo jiných aplikacích. Aby bylo možné provést kvalitní povrchovou úpravu, musí být povrch desky rovný, hladký, bez trhlin a prachu. Toho se dosahuje během předchozích operací, zejména přesným broušením a odsáváním prachu, který by zhoršil přilnavost aplikovaných vrstev. Povrchová úprava je zpravidla aplikována na broušené desky, přičemž její volba závisí na konkrétním účelu a požadovaném vzhledu.

Nejrozšířenější metodou je laminace dekoračními fóliemi, především papíry impregnovanými melamin-formaldehydovou pryskyřicí. Laminace probíhá lisováním za teploty okolo 180–210 °C, přičemž působící tlak bývá 2 až 3 MPa. Proces trvá několik desítek sekund a výsledkem je trvalé spojení papíru s podkladovou deskou. Povrch takto upravených desek je odolný, snadno omyvatelný a v nabídce bývá široké spektrum dekorů. Tyto desky se uplatňují především ve výrobě korpusového nábytku a interiérových prvků.

Další možností je dýhování, při kterém se na povrch desky lepí tenká vrstva přírodního dřeva – dýha. Ta se lepí za studena nebo za tepla, zpravidla s použitím UF, PVAc nebo PUR lepidel. Dýhované desky se dále upravují lakováním a slouží k výrobě kvalitnějšího nábytku nebo interiérových obkladových prvků, kde je požadován vzhled masivního dřeva.

Lakování se uplatňuje zejména u dýhovaných a vysoce kvalitních třískových desek. Používají se nátěry vytvrzované UV zářením, polyuretanové laky, vodou ředitelné akrylátové laky nebo klasické nitrocelulózové systémy. Laky zvyšují odolnost povrchu vůči opotřebení a vlhkosti, zajišťují lesk nebo mat a často zvýrazňují strukturu přírodní dýhy. V některých případech je součástí povrchové úpravy také moření, které slouží ke sjednocení nebo zvýraznění barevného odstínu dřeva před nanesením vrchních vrstev.

Používají se také tenké dekorační papíry impregnované syntetickými pryskyřicemi, tzv. finish fólie. Tyto fólie se lepí na desku pomocí kontaktního lepidla a po vytvrzení poskytují pohledově kvalitní povrch. Tento způsob je ekonomický a využívá se u méně náročných nábytkových aplikací.

Výběr vhodné povrchové úpravy je vždy dán konkrétním účelem použití desky, požadavky na vzhled, mechanickou a chemickou odolnost, ale také náklady a typem podkladové desky. V případě desek určených k lakování se volí jemnější broušení a vyšší kvalita povrchu. Pokud má být deska následně formátována nebo olepována, musí být zvolena úprava, která umožní kvalitní opracování hran bez odlupování. Kvalita provedené úpravy se kontroluje vizuálně i pomocí zkoušek. Sleduje se rovnoměrnost a tloušťka nánosu, přilnavost k podkladu, ořezuvzdornost, odolnost proti chemikáliím, vlhkosti nebo světlu. Zkoušky se provádějí podle příslušných technických norem. Správně provedená povrchová úprava prodlužuje životnost výrobku a zajišťuje jeho bezproblémové použití po celou dobu životnosti.



Obrázek 14 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – lamino Cobalt Grey



Obrázek 15 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – lamino Light Atelier



Obrázek 16 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – lamino Satin Blackwood



Obrázek 17 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – lamino Elegance Endgrain Oak



Obrázek 18 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – surová broušená DTD P2



Obrázek 19 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – surová broušená DTD P3 s vyfrézovanou drážkou



Obrázek 20 Příklad povrchové úpravy třívrstvé DTD – pracovní deska laminovaná Light Lunar Stone

3.10 KONTROLA KVALITY

Kontrola kvality dřevotřískových desek slouží k zajištění toho, aby výsledný produkt splňoval požadavky technických norem či zákaznických specifikací. Kvalita desek je hodnocena komplexně, a to jak z hlediska jejich mechanických a fyzikálních vlastností, tak i z hlediska rozměrové přesnosti, vzhledu a hygienických parametrů. Prvky kontroly kvality jsou aplikovány v různých fázích výroby, počínaje vstupní kontrolou surovin, přes průběžnou kontrolu ve výrobní lince, až po výstupní kontrolu hotových desek.

Vstupní kontrola se zaměřuje především na kvalitu surového dřeva, vlhkost třísek, čistotu a vhodnost použitých lepidel a aditiv. U recyklovaného dřeva se kontroluje přítomnost kovů, minerálních nečistot nebo nátěrů. V případě použití parafínových emulzí, vosků nebo retardérů hoření se sleduje jejich homogenita a stabilita. Dále se ověřuje správné dávkování lepidla při míchání a nanášení, čímž se minimalizují odchylky v mechanických vlastnostech mezi jednotlivými šaržemi.

Během výroby se provádí průběžná kontrola procesu. Gravimetricky se sleduje především rovnoměrnost rozložení třísek v třískovém koberci, správné nastavení lisovacích parametrů (teplota, tlak, čas, rychlost zavírání lisu) a výsledná tloušťka lisovaných desek. Moderní kontinuální lisy jsou vybaveny senzory a řídicími systémy, které umožňují automatizovanou kontrolu tloušťky a povrchové rovinnosti v reálném čase. Důležitá je také kontrola rychlosti vytvrzení lepidla.

Po lisování následuje kontrola vzhledu a rozměrů. Hodnotí se rovinnost, pravoúhlost a tloušťková tolerance. U desek určených pro nábytkářské aplikace se sleduje i kvalita povrchu, výskyt vad (například trhliny, puchýře, otisky) a konzistence barevnosti u laminovaných typů. Tloušťka se měří na více místech každé desky pomocí dotykových nebo bezdotykových systémů. Hmotnost a rozměrové parametry slouží také k výpočtu hustoty, která je jedním ze základních ukazatelů kvality.

Mechanické vlastnosti se ověřují prostřednictvím laboratorních zkoušek. Mezi nejčastěji měřené parametry patří modul pružnosti a pevnost v ohybu, pevnost v tahu kolmo k rovině desky, tzv. rozlupčivost, odolnost proti vytáhnutí spojovacího prostředku nebo odolnost proti působení vlhkosti. V souladu s evropskou normou EN 312 se desky třídí do několika typů podle použití a podmínek prostředí, přičemž každá třída má stanoveny minimální požadované hodnoty uvedených parametrů. Dalším důležitým parametrem je tloušťkové bobtnání po 24 h ponoření ve vodě. U desek s požadavkem na nízkou emisi formaldehydu se provádějí testy emisí formaldehydu, nejčastěji metodou

komorovou podle EN ISO 12460 nebo extrakční metodou podle EN 717-2. Výrobci obvykle sledují, zda jejich produkty spadají do emisní třídy E1 nebo v případě nábytkářských aplikací i do přísnějších kategorií podle požadavků jednotlivých trhů.

Závěrečná kontrola se týká správného označení desek, jejich skladování a přípravy k expedici. Desky jsou označeny etiketou s identifikačním číslem šarže, typem, rozměry a technickými parametry. Dále je sledována doba uložení před expedicí, která ovlivňuje stabilizaci rozměrů a vyrovnaní vnitřního prnutí.

3.11 DRUHY DŘEVOTŘÍSKOVÝCH DESEK

Dřevotřískové desky je možné klasifikovat podle mnoha kritérií. V normě EN 309 je uvedeno dělení DTD podle procesu výroby, stavu povrchu, tvaru, velikosti a tvaru částic, struktury desky a podle použití (tabulka 2).

Tabulka 2 Klasifikace DTD dle EN 309

Kritérium klasifikace	Druhy
Proces výroby	Plošně lisované Kalandrované Výtlačně lisované Plné Odlehčené
Stav povrchu	Surové (nebroušené) Broušené nebo frézované Lakované Povrchově upravené lisováním tuhého materiálu
Tvar	Ploché S profilovaným povrchem S profilovanými boky
Velikost a tvar částic	Třískové desky Desky z jiných částic (např. z pazdeří)
Struktura desky	Jednovrstvé Vícevrstvé Desky s plynulým přechodem vrstev
Použití	Desky pro všeobecné účely pro použití v suchém prostředí (P1) Desky pro vnitřní vybavení (včetně nábytku) pro použití v suchém prostředí (P2) Nenosné desky pro použití ve vlhkém prostředí (P3) Nosné desky pro použití v suchém prostředí (P4) Nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí (P5) Zvlášť zatížitelné nosné desky pro použití v suchém prostředí (P6) Zvlášť zatížitelné desky pro použití ve vlhkém prostředí (P7)

3.12 SHRNUÍ KAPITOLY

Dřevotřískové desky představují nejrozšířenější typ lisovaných kompozitních materiálů na bázi dřeva. Vyrábějí se lisováním dřevních částic, nejčastěji třísek, s přídavkem syntetických pojiv, obvykle na bázi močovino-formaldehydových (UF) nebo jiných formaldehydových pryskyřic. Výsledný produkt má deskovitý tvar a je určen pro plošné použití, přičemž jeho struktura může být jednovrstvá, ale ve většině případů vícevrstvá. Nejčastěji se jedná o třívrstvé desky, jejichž jádro tvoří hrubší třísky a obě povrchové vrstvy jemnější mikrotřísky. Tato konstrukce umožňuje optimalizaci pevnosti a tuhosti při zachování kvalitního povrchu vhodného pro následné opracování a dekorativní úpravy. DTD se vyrábějí především z méně hodnotného dřeva, kulatiny nižších tříd a odpadu z pilařské a nábytkářské výroby a v čím dál větší míře i z recyklovaného dřeva. Tento přístup odpovídá snahám o udržitelné hospodaření se zdroji, protože umožňuje využití surovin, které by jinak skončily jako odpad. Významnou roli hraje také možnost přizpůsobení vlastností desky podle požadavků konkrétní aplikace, ať už jde o mechanické parametry, vlhkostní odolnost nebo estetické vlastnosti.

Výroba DTD zahrnuje řadu navazujících procesů. Nejdříve dochází k roztřískování dřevní hmoty na vhodné částice. Využívají se různé typy roztřískovačů, diskové, frézovací, prstencové nebo beznožové, jejichž konstrukce a způsob práce určují geometrii výsledných třísek. Následně probíhá sušení třísek, většinou v bubnových nebo tryskových sušárnách, přičemž cílová vlhkost se liší podle vrstvy, do které jsou třísky určeny – pro střední vrstvy bývá nižší než pro vrstvy povrchové. Po sušení následuje třídění a domílání. Hrubé nebo nevhodně tvarované částice se oddělují pomocí síťových a vzduchových separátorů a případně se upravují v domílacích mlýnech. Tím se optimalizuje frakční složení směsi pro každou vrstvu desky. Důležitým mezikrokem je příprava a aplikace lepicí směsi. Ta se skládá ze samotného pojiva, tvrdidla (například síran amonný), hydrofobizačního prostředku (nejčastěji parafínové emulze) a případných aditiv, jako jsou fungicidy, retardéry hoření nebo barviva. Nanášení lepidla probíhá v uzavřených bubnových nanášečkách, kde jsou třísky intenzivně promíchávány a současně stříkány jemnou mlhou lepicí směsi. Formování třískového koberce je přípravnou operací před lisováním. Vrství se na pohyblivých páslech a probíhá tak, aby každá frakce třísek byla rozprostřena do příslušné vrstvy. Používají se gravitační, mechanicko-kinetické nebo pneumatické systémy vrstvení, které umožňují přesné řízení rozložení materiálu. Výsledný koberec putuje do předlisu, kde se za studena stlačí a případně předeheje. Tím se zlepší homogenita a stabilita materiálu před hlavním lisováním. Lisování probíhá v etážových nebo kontinuálních lisech za vysokého tlaku a teploty. Při tomto procesu se aktivuje lepidlo, z třísek se odpaří zbytková vlhkost a zformuje se definitivní struktura desky. Výsledný produkt má charakteristický hustotní profil, vyšší hustotu při povrchu a nižší ve středu, což umožňuje kombinaci dobrých mechanických vlastností a úspory materiálu. Po lisování následuje ochlazení desek, stabilizace ve skladových hráních, omítání, formátování a broušení. Broušením se dosahuje rovnoměrné tloušťky a hladkého povrchu, což je důležité zejména pro povrchové úpravy.

Dřevotřískové desky se běžně povrchově upravují laminací dekoračními fóliemi impregnovanými pryskyřicemi, dýhováním nebo lakováním. Laminované desky (tzv. lamino) jsou nejběžnější formou pro korpusový nábytek. Dýhované desky se používají pro kvalitnější interiérové prvky, kde je požadován vzhled přírodního dřeva. Povrchové úpravy zvyšují nejen estetiku, ale i odolnost desek proti mechanickému opotřebení, vlhkosti a chemickým vlivům.

Z hlediska vlastností lze dřevotřískové desky charakterizovat jako materiál s dostatečnou pevností v ohybu a tahu kolmo k rovině, přijatelnou rozměrovou stabilitou a dobrou opracovatelností. Díky své homogenní struktuře a stabilním rozměrům jsou vhodné pro přesnou výrobu nábytkových dílců. Nevýhodou může být nižší odolnost vůči vlhkosti a emise formaldehydu. Moderní výrobci se proto soustředí na vývoj nízkoemisních variant a alternativních pojiiv.

Použití DTD je velmi široké. Ve stavebnictví se uplatňují jako podklady pod podlahy, obklady stěn či ztracené bednění. V nábytkářství slouží jako základ pro výrobu korpusového i čelního nábytku, pracovních desek, polic, zásuvek a dalších komponent. Uplatnění nacházejí rovněž v automobilovém průmyslu, při výrobě interiérových prvků nebo v obalovém průmyslu. Pro každou oblast použití existují specifické typy desek definované normou EN 312 (P1–P7).

Kvalita desek je průběžně sledována v různých fázích výroby, od vstupní kontroly surovin, přes kontrolu procesu lisování až po výstupní měření rozměrů, rovinnosti a mechanických vlastností. Mechanické zkoušky zahrnují pevnost v ohybu, modul pružnosti v ohybu, pevnost v tahu kolmo na rovinu desky, odolnost vůči vlhkosti a bobtnání. Hygienická nezávadnost se posuzuje podle emisí formaldehydu, přičemž cílem je dosažení emisní třídy E1 nebo nižší. Z hlediska environmentálních aspektů mají dřevotřískové desky výhodu v tom, že umožňují využití odpadního a recyklovaného dřeva. V kombinaci s moderními technologiemi lisování a lepení představují efektivní a udržitelný materiál s vysokou mírou využití obnovitelné suroviny. Díky kombinaci funkčních a ekonomických vlastností jsou a nadále zůstanou základním prvkem plošných dřevěných materiálů ve stavebnictví, nábytkářství a dalších oblastech.

3.13 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaký je hlavní rozdíl mezi diskovými a frézovacími roztřískovači v procesu výroby třísek?
- Jaký typ třísek se vyrábí pomocí prstencových roztřískovačů a pro jaké vrstvy dřevotřískových desek jsou tyto třísky vhodné?
- Jaké jsou hlavní výhody a nevýhody beznožových roztřískovačů při zpracování recyklovaného dřeva?
- Proč jsou diskové roztřískovače často nahrazovány frézovacími roztřískovači v průmyslové výrobě?
- Jaké jsou hlavní části prstencového roztřískovače a jakým způsobem přispívají k výrobě třísek?
- Jaké jsou hlavní typy sušáren používaných pro sušení třísek a jaké jsou jejich výhody a nevýhody?
- Proč je důležité sušit třísky na specifickou vlhkost před lisováním dřevotřískových desek?
- Jaká je optimální vlhkost třísek pro povrchové vrstvy a pro střední vrstvu dřevotřískových desek?
- Jaké problémy mohou nastat, pokud jsou třísky příliš vlhké během lisování?
- Jaké důsledky má příliš nízká vlhkost třísek na kvalitu finálního produktu?
- Proč je důležité měřit vlhkost třísek na vstupu a výstupu ze sušárny?
- Jaká bezpečnostní opatření jsou nezbytná pro prevenci požárů a výbuchů během sušení třísek?
- Jaké jsou hlavní metody třídění třísek po jejich vysušení?
- Jaké jsou čtyři hlavní frakce třísek, které vznikají při třídění, a jaké je jejich využití?
- Jaké problémy mohou nastat, pokud jsou velké částice použity v povrchových vrstvách dřevotřískových desek?
- Jaké jsou důsledky použití jemných třísek ve zvýšeném množství v dřevotřískových deskách?
- Proč je důležité minimalizovat množství prachové frakce v dřevotřískových deskách?
- Jaké jsou hlavní složky lepicí směsi používané při výrobě dřevotřískových desek?
- Proč je důležité přidávat tvrdidlo do lepicí směsi a jaké jsou běžně používané typy tvrdidel?
- Jakou funkci plní hydrofobizační prostředek v lepicí směsi a jaké látky se k tomu nejčastěji používají?
- Jaké jsou výhody a nevýhody močovino-formaldehydových (UF) pryskyřic?
- Proč jsou fenol-formaldehydové (PF) pryskyřice vhodné pro venkovní aplikace?
- Jaká aditiva mohou být přidávána do lepicí směsi a jaké vlastnosti desek zlepšují?
- Proč je důležité zajistit rovnoměrné nanesení lepicí směsi na všechny třísky?
- Jaké množství lepicí směsi se obvykle nanáší na 1 m² třísek a proč je toto množství relativně malé?
- Proč je důležité zajistit přesnost a rovnoměrnost při vrstvení třískového koberce?
- Jaké jsou hlavní vrstvy třívrstvé dřevotřískové desky a jaké třísky se používají pro každou z nich?
- Jaký je rozdíl mezi třískami používanými pro středovou vrstvu a třískami pro povrchové vrstvy?
- Jaké jsou tři hlavní způsoby vrstvení třísek a jaký je princip každého z nich?
- Jak funguje pneumatické vrstvení a proč je vhodné pro povrchové vrstvy?
- Jaké zařízení se používá pro vrstvení středových vrstev?
- Jaké jsou důsledky nerovnoměrného vrstvení třískového koberce na kvalitu finálního produktu?
- Jaké procesy probíhají během lisování třískového koberce v horkém lisu?
- Jaké jsou hlavní rozdíly mezi etážovým a kontinuálním lisem?
- Proč se u lisování silnějších desek používá parní injektáž?
- Jaký je význam mikrovlnného ohřevu před lisováním?
- Které parametry ovlivňují hustotní profil třískové desky?
- Jaký má vliv rychlost uzavírání lisu na vlastnosti desky?
- Proč se musí desky po lisování chladit pozvolna?
- Co se může stát, pokud se tloušťková egalizace provede před vyrovnáním vlhkosti v průřezu desky?
- Které typy povrchových úprav se nejčastěji používají u dřevotřískových desek?
- Jaké mechanické vlastnosti se sledují při kontrole kvality hotových desek?
- Jakými metodami se testuje emisní třída formaldehydu?

3.14 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Hrázský, J., a Král, P. (2007). *Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část I.: Aglomerované materiály*. Brno. MZLU v Brně, 253.
- Hýsek, Š., Čermák, J., a Němec, M. (2021). *Particleboards from alternative raw materials: properties and manufacturing technology of boards from rapeseed straw particles*. Fakulta lesnická a dřevařská, Praha.
- Hýsek, Š., Podlena, M., Bartsch, H., Wenderdel, C., a Böhm, M. (2018). Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Industrial Crops and Products*, 125, 105-113.
- Hýsková, P., Hýsek, Š., Schönfelder, O., Šedivka, P., Lexa, M., a Jarský, V. (2020). Utilization of agricultural rests: Straw-based composite panels made from enzymatic modified wheat and rapeseed straw. *Industrial crops and products*, 144, 112067.
- Kollmann, F. (2013). *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: 1. Band*. Springer-Verlag.
- Lisíčan, J. (1996). *Teória a technika spracovania dreva*. Zvolen: MATCENTRUM.
- Niemz, P., Teischinger, A., a Sandberg, D. (Eds.). (2023). *Springer handbook of wood science and technology*. Cham: Springer.
- Nishimura, T. (2015). Chipboard, oriented strand board (OSB) and structural composite lumber. In *Wood composites* (pp. 103-121). Woodhead Publishing.
- Štefka, V. (2002). *Kompozitné drevné materiály: technológia aglomerovaných materiálov. časť 2*. Technická univerzita, Zvolen.
- Thoemen, H., Irle, M., a Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London. ISBN: 978-1-902316-82-6.

4 OSB DESKY

Desky z orientovaných plochých třísek, neboli Oriented Strand Board (OSB) jsou velkoplošné desky vyráběné z podlouhlých plochých třísek, které jsou orientovány ve vrstvách a spojeny lepidly za působení tlaku a teploty. Konstrukce desky je vícevrstvá, přičemž orientace třísek ve vnějších a vnitřních vrstvách je navržena následovně: ve vnějších vrstvách jsou třísky orientovány rovnoběžně s delší osou desky, zatímco ve vnitřní jsou zpravidla orientovány kolmo nebo náhodně. Tato specifická struktura zajišťuje výraznou anisotropii mechanických vlastností. OSB desky patří mezi lisované materiály na bázi dřeva, avšak jejich výroba a vlastnosti je odlišují od klasických dřevotřískových nebo dřevovláknitých desek. Díky větším rozměrům třísek, jejich orientaci a použití kvalitních lepidel vykazují OSB desky vyšší pevnost a tuhost zejména ve směru orientace třísek, což umožňuje jejich využití v nosných konstrukcích staveb. Typická struktura OSB desky je třívrstvá, i když existují i konstrukce s pěti vrstvami. Jednotlivé vrstvy jsou tvořeny třískami o specifických rozměrech – délka třísek bývá obvykle 75–150 mm, šířka 15–25 mm a tloušťka 0,3–0,7 mm. Díky této geometrii a orientaci třísek vykazuje OSB vysokou rozměrovou stabilitu a mechanickou odolnost, zejména v podélném směru.

Standardizace OSB probíhá v souladu s evropskou normou EN 300, která zavádí čtyři typy OSB desek v závislosti na předpokládaných provozních podmínkách a mechanickém zatížení:

OSB/1 – Desky pro obecné použití a pro vnitřní vybavení v suchém prostředí.

OSB/2 – Nosné desky pro použití v suchém prostředí.

OSB/3 – Nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí (nejběžněji vyráběný typ v Evropě).

OSB/4 – Vysoce zatížitelné nosné desky pro použití ve vlhkém prostředí.

V praxi se nejčastěji používají desky OSB/3, které kombinují dostatečnou mechanickou odolnost s přijatelností pro vlhké prostředí. Desky OSB/4 jsou určeny pro nejvyšší zatížení a náročné podmínky, ale pro jejich vyšší cenu jsou využívány ojediněle. Typické použití OSB desek zahrnuje především oblast stavebnictví, kde slouží jako konstrukční prvek pro opláštění stěn, stropů, podlah a střech. Používají se rovněž jako výztužná vrstva v rámových konstrukcích a v kombinaci s dalšími materiály jako jsou sádrovláknité desky, polystyren nebo minerální izolace. Kromě toho nachází OSB využití i v balicím průmyslu, výrobě obalů, a ve specializovaných interiérových aplikacích s dekorativním efektem (např. surové OSB jako pohledová plocha).

Z konstrukčního hlediska představuje OSB materiál s dobrými pevnostními parametry při zachování relativně nízké hmotnosti. Výroba z tenké kulatiny a rychle rostoucích dřevin (např. osika, borovice) umožňuje efektivní využití dřeva i nižší kvality. Vzhledem ke skladbě z malorozměrových třísek je OSB deska méně náchylná k vadám typickým pro masivní dřevo, jako jsou trhliny, suky nebo kroucení. Významnou technologickou výhodou je možnost výroby ve velkých formátech (např. 2500 × 1250 mm) a v širokém rozsahu tlouštěk (běžně 8–25 mm), což rozšiřuje spektrum aplikací a přispívá k rychlosti montáže. Použití voděodolných lepidel (pMDI) pak umožňuje jejich použití i ve vlhkém prostředí, zejména u typů OSB/3 a OSB/4.

Na druhou stranu mají OSB desky i některé nevýhody, které je třeba zohlednit. Vzhledem ke své kompozitní struktuře mají desky hrubší a nerovný povrch, který může být nevhodný pro přímé použití v pohledových aplikacích bez úpravy (např. broušení nebo kaširování). Z estetického hlediska je OSB považována za technický materiál a její vzhled je oproti překližce nebo MDF méně dekorativní. Další omezení představuje citlivost na dlouhodobou vlhkost, zejména u levnějších typů desek (OSB/1 a OSB/2). Pokud nejsou použity kvalitní pojiva nebo dodatečná povrchová ochrana, může docházet k bobtnání a zhoršení mechanických vlastností.

Z hlediska srovnání s překližkou lze říct, že OSB nabízí nižší cenu, vyšší výtěžnost suroviny a ekologičtější výrobu, ale oproti překližce má horší odolnost v tahu kolmo k rovině desky (tzv. rozlupčivost) a nižší estetickou hodnotu.

4.1 SUROVINA PRO VÝROBU PLOCHÝCH TŘÍSEK

Výroba OSB desek klade poměrně přísné nároky na kvalitu a charakteristiky dřevní suroviny. Zatímco technologie dřevotřískových desek umožňuje zpracování širokého spektra materiálů včetně recyklovaného dřeva či dřevních zbytků o malých rozměrech, technologie výroby OSB vyžaduje větší dimenze s homogenní strukturou, bez výrazných defektů a bez příměsí, které by mohly negativně ovlivnit kvalitu výsledného produktu. To souvisí s tím, že výsledné třísky musejí být dostatečně dlouhé, štíhlé, s hladkým povrchem a bez trhlin či vyštípnutí, aby bylo dosaženo optimální pevnosti a soudržnosti v jednotlivých vrstvách desky.

Za ideální výchozí surovinu pro OSB jsou považovány rovné, zdravé kmeny malého až středního průměru, obvykle v rozmezí 10 až 25 cm. Dřevo musí být zbaveno kůry, neboť přítomnost kůry zvyšuje spotřebu pojiva, zhoršuje mechanické vlastnosti a negativně ovlivňuje vzhled i stabilitu desky. Důraz je kladen na snadnou štípatelnost – tedy schopnost dřeva štěpit se při řezání podél vláken do dlouhých třísek s rovnoměrným průřezem. Ve výrobní praxi dominují především jehličnaté dřeviny, které mají díky své anatomii vhodné vlastnosti. V Severní Americe se ve velkém rozsahu využívají plantáže borovic, případně osika, která má velmi rovnoměrnou strukturu, nízkou hustotu a snadno se zpracovává. V Evropě se jako výchozí surovina uplatňuje především smrk ztepilý a borovice lesní, jejichž výskyt je rozšířený a dostupnost stabilní. Významné jsou také výzkumné a vývojové aktivity zaměřené na využití rychle rostoucích listnáčů, například topolu, akácie nebo eukalyptu. Tyto dřeviny sice nabízejí vysoké přírůstky, nicméně jejich anatomická struktura a vyšší hustota kladou specifické nároky na technologii sušení a lepení.

Velkou výhodou OSB technologie je možnost využít dřevo, které by nebylo vhodné pro jiné účely, například dřevo z lesních probírek nebo z plantáží s nízkou cílovou kvalitou. Taková surovina sice nemusí splňovat kritéria pro pilářské zpracování, nicméně je dostatečně kvalitní pro výrobu třísek vhodných pro OSB. Výhodou je nejen ekonomické zhodnocení tohoto materiálu, ale také fakt, že takové dřevo má nižší podíl jádrového dřeva, méně defektů a je obvykle rovnější, což zlepšuje výtěžnost třísek a snižuje nároky na třídění. V některých regionech se do výběru dřeviny promítají i lokální podmínky a dostupnost. Například v Malaisii a jihovýchodní Asii se zkoumá možnost výroby OSB z bambusu nebo dřeva kaučukovníku, v Latinské Americe pak akácie nebo rychle rostoucí eukalyptus. Výběr suroviny pro OSB desky je tedy kompromisem mezi dostupností, cenou, zpracovatelností a výslednými vlastnostmi třísek. Dřevo musí být nejen kvalitní, ale i ekonomicky dostupné.

4.2 VÝROBA PLOCHÝCH TŘÍSEK

Kvalita a geometrie dřevních třísek, ze kterých je OSB lisována, představují jeden z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících výsledné vlastnosti desky. Třísky musejí být dostatečně dlouhé, rovnoměrně silné a především mechanicky neporušené. Jejich orientace v jednotlivých vrstvách během formování umožňuje řídit anisotropii desky a tím optimalizovat její konstrukční chování. Výroba třísek začíná vstupním zpracováním surové kulatiny, která je nejprve odkorňována. Odstranění kůry je nezbytné nejen kvůli zajištění čistoty třísek, ale i kvůli omezení spotřeby lepidla a zabránění vzniku defektů při lisování. Odkorňování probíhá nejčastěji v rotačních bubnových odkorňovačích, jejichž konstrukce umožňuje efektivní mechanické oddělení kůry i z menších a zakřivených kmenů. Následně se kulatina třídí a dávkuje do roztřískovače, který je speciálně určen pro příčné rozřezání dřeva na tenké a podlouhlé třísky.

V současnosti se ve výrobě OSB používají převážně diskové nebo prstencové roztřískovače, které zajišťují produkci třísek definovaných rozměrů a zachování celistvé struktury ploché třísky. Diskové roztřískovače využívají horizontálně nebo vertikálně uložený rotující disk, na jehož obvodu jsou umístěny nože. Kmeny jsou přitlačovány proti disku, který je postupně řeže po tangenciální trajektorii. Prstencové roztřískovače fungují na obdobném principu, avšak dřevo je rozřezáváno uvnitř rotujícího prstence s řadou radiálně uložených nožů, zatímco ve středu rotoru se nachází oběžné kolo, které zajišťuje podávání dřeva a současně separaci třísek.

Výsledné třísky mají obvykle délku 75 až 150 mm, šířku 15 až 25 mm a tloušťku v rozmezí 0,3 až 0,7 mm. Při definování požadavků na geometrii třísek se často pracuje s tzv. štíhlostním poměrem, který je vyjádřen jako poměr délky k tloušťce. Čím vyšší tento poměr je, tím výrazněji se projeví orientace třísek v rovině desky, a tím vyšší jsou mechanické vlastnosti desky ve směru orientace třísek. Třísky musí být také dostatečně pevné, aby se nepoškodily

při následném sušení, třídění, míchání s lepidlem a formování koberce. Tento požadavek není kladen na třísky pro výrobu DTD z důvodu jejich malých rozměrů. Při práci s plochými, tenkými, ale dlouhými třískami je však tento aspekt velmi důležitý.

Po roztřískování následuje třídění třísek, které se provádí nejčastěji kombinací síťových třídičů a vzduchových separátorů. Účelem je oddělit nevyhovující frakce – příliš krátké, zlomené třísky nebo prachové částice, které by zhoršovaly kvalitu desky, zvyšovaly spotřebu lepidla a zhoršovaly homogenitu vrstvy. Vytříděné třísky se podle své velikosti a kvality distribuují do jednotlivých vrstev desky – delší a rovnější třísky jsou určeny pro povrchové vrstvy, zatímco kratší nebo méně pravidelné třísky se použijí pro středovou část. Pro středové vrstvy lze využít i třísky z recyklovaného dřeva, viz např. výrobní závod Kronospan Jihlava.

Celý proces výroby třísek je z hlediska energetické náročnosti jedním z nejvíce zatěžujících kroků výrobního řetězce OSB. Stroje pro roztřískování jsou vysoce výkonné, často poháněné motory s výkonem v řádu stovek kW, a jejich provoz je spojen s produkcí velkého množství mechanického odpadu a prachu. Proto je součástí tohoto provozu i propracovaný systém odstraňování prachu, filtrace a rekuperace, včetně zpětného využití částic jako palivo nebo suroviny pro jiné typy desek. Správné nastavení procesu výroby třísek je předpokladem pro dosažení požadovaných fyzikálně-mechanických vlastností výsledných desek, a je proto předmětem detailní technologické kontroly. Parametry jako je délka, tloušťka, vlhkost, podíl nevyhovujících třísek či stupeň poškození se běžně kontrolují, a jejich kolísání bývá jednou z hlavních příčin odchylek v kvalitě hotového produktu.



Obrázek 21 Ploché třísky z borovice, využívají se pro výrobu OSB zejména v Evropě



Obrázek 22 Ploché třísky z topolu, využívají se pro výrobu OSB zejména v USA

4.3 SUŠENÍ TŘÍSEK

Hlavním cílem procesu sušení je snížit vlhkost dřevních částic na požadovanou úroveň tak, aby bylo možné zajistit kvalitní lepení, optimální lisovací podmínky a stabilitu hotových výrobků. Čerstvé třísky mají obvykle vlhkost v rozmezí 40–60 %, přičemž cílová vlhkost se pohybuje mezi 2 až 3 % ve středové vrstvě a okolo 3 až 5 % ve vrstvách povrchových. Sušení třísek probíhá nejčastěji v rotačních bubnových sušárnách, které představují zavedenou a energeticky efektivní technologii. Principem tohoto zařízení je transport třísek rotujícím válcem, do něhož je současně přiváděn proud horkých spalin nebo vzduchu ohřátého spalováním dřevního odpadu. Teplota tohoto média se obvykle pohybuje mezi 120–150 °C, přičemž samotná doba sušení v sušicím bubnu je relativně krátká, často pod jednu minutu. Buben bývá mírně nakloněn, čímž se podpoří tok materiálu pomocí gravitace, a uvnitř je opatřen systémem lopatek nebo kaskád, které zajišťují intenzivní promíchávání a rovnoměrné sušení všech částic. Zvláště důležité je udržet nízkou vlhkost ve středových třískách, kde dochází během lisování k akumulaci tepla a tím i ke zvýšenému riziku vzniku parního tlaku. Nadměrná vlhkost středové vrstvy tak může vést ke vzniku delaminace uvnitř desky.

V moderních provozech je sušení řízeno automaticky, a to na základě kontinuálního měření teploty, vlhkosti výstupního materiálu i výfukových plynů. Pravidelná kalibrace těchto systémů je nezbytná pro zajištění stabilní kvality a nízké energetické náročnosti. Palivem pro ohřev bývá nejčastěji dřevní odpad vznikající při výrobě třísek nebo ze zbytkového materiálu z výroby OSB, což podporuje celkovou materiálovou i energetickou efektivitu procesu. Alternativními technologiemi sušení jsou pásové sušárny, které se uplatňují zejména tam, kde je požadována vyšší kvalita výsledného materiálu nebo kde je třeba sušit specifické druhy dřevin s odlišnou morfologií. Tyto systémy umožňují přesnější kontrolu teplotního profilu a rovnoměrnější odvod vlhkosti, jsou však energeticky náročnější a investičně nákladnější než klasické bubnové sušárny.

4.4 NANÁŠENÍ LEPICÍ SMĚSI

Po usušení na požadovanou vlhkost vstupují třísky do fáze nanášení lepicí směsi. Tato operace je zásadní pro dosažení požadované soudržnosti desky, její rozměrové stability i odolnosti vůči vlhkosti. Vzhledem k tomu, že třísky v OSB jsou výrazně větší než částice používané v dřevotřískových deskách, liší se i způsob jejich kontaktu s pojivem. Zatímco u DTD je cílem co nejúplnější pokrytí povrchu všech částic, v OSB se klade důraz na cílené bodové nanášení pojiva, které vytvoří dostatečně pevné spoje mezi překrývajícími se třískami, ale zároveň nevede k nadměrné spotřebě lepidla. Tím je dosaženo potřebné mechanické soudržnosti při optimalizaci nákladů a minimalizaci emisí těkavých organických látek.

Nejpoužívanější pojiva pro OSB desky jsou fenol-formaldehydová (PF) lepidla a polymethylen-difenyl-diisokyanátová (pMDI) lepidla. Fenol-formaldehydová lepidla se uplatňují především ve vnějších vrstvách, kde vytváří tmavé, ale velmi odolné spoje, jež vykazují vysokou odolnost vůči vlhkosti a stárnutí. pMDI, které má bezbarvou formu a vynikající penetrační schopnost, se často používá ve středové vrstvě. Významnou výhodou pMDI je také fakt, že nevytváří volný formaldehyd, což umožňuje dosažení velmi nízkých emisních parametrů finálního výrobku. Aplikace lepidla probíhá nejčastěji v horizontálních nebo šikmých bubnových nanášečkách, které jsou vybaveny rozprašovacími tryskami. Třísky se uvnitř bubnu míchají pomocí lopatek nebo tzv. křídel, zatímco z trysek se rozprašuje jemná mlha lepicí směsi. Cílem není zalít třísky lepidlem, ale pokrýt jejich povrch soustavou drobných bodů, které umožní efektivní slepení v místech kontaktu. Příklad bubnové nanášečky je uveden na obrázku 23.



Obrázek 23 Bubnová nanášečka lepidla Metso Panelboard

Kromě lepidla se do směsi zpravidla přidává také parafín vosk v množství do 1 %, jehož úkolem je zlepšit krátkodobou voděodolnost desky a omezit nabobtnání při vystavení vlhkosti. V některých případech se přidávají i další přísady – např. tužidla, zpomalovače hoření nebo emulze, které upravují viskozitu směsi. Obsah lepidla v OSB deskách je výrazně nižší než u některých jiných deskových materiálů. U povrchových vrstev se obvykle pohybuje mezi 3 až 6 %, u středové vrstvy mezi 4 až 8 %, v závislosti na typu použitého pojiva a požadované třídě desky. Vzhledem k nižšímu specifickému povrchu třísek je spotřeba pojiva na jednotku hmotnosti nižší než například u MDF nebo dřevotřískových desek, avšak požadavky na přesnost dávkování a kvalitu nanášení jsou velmi vysoké.

Nedostatečné nanesení lepidla nebo jeho nerovnoměrné rozložení může vést k oslabení vnitřní soudržnosti desky, snížení pevnosti v ohybu nebo delaminaci při vlhkostním namáhání. Naopak nadměrné množství pojiva zvyšuje náklady, prodlužuje lisovací časy a může vést ke zvýšeným emisím těkavých organických látek. Moderní systémy nanášení lepicí směsi proto pracují s řízením v reálném čase a s kontinuálním sledováním klíčových parametrů.

4.5 VRSTVENÍ TŘÍSKOVÉHO KOBERCE

Po nanesení lepicí směsi na povrch třísek následuje technologická operace formování třískového koberce, tedy vytváření vrstvy, z níž bude následně slisována hotová deska. Tato fáze výroby je zásadní z hlediska výsledného uspořádání třísek v rovině desky, a tím i z hlediska mechanických vlastností desky v různých směrech. Správné

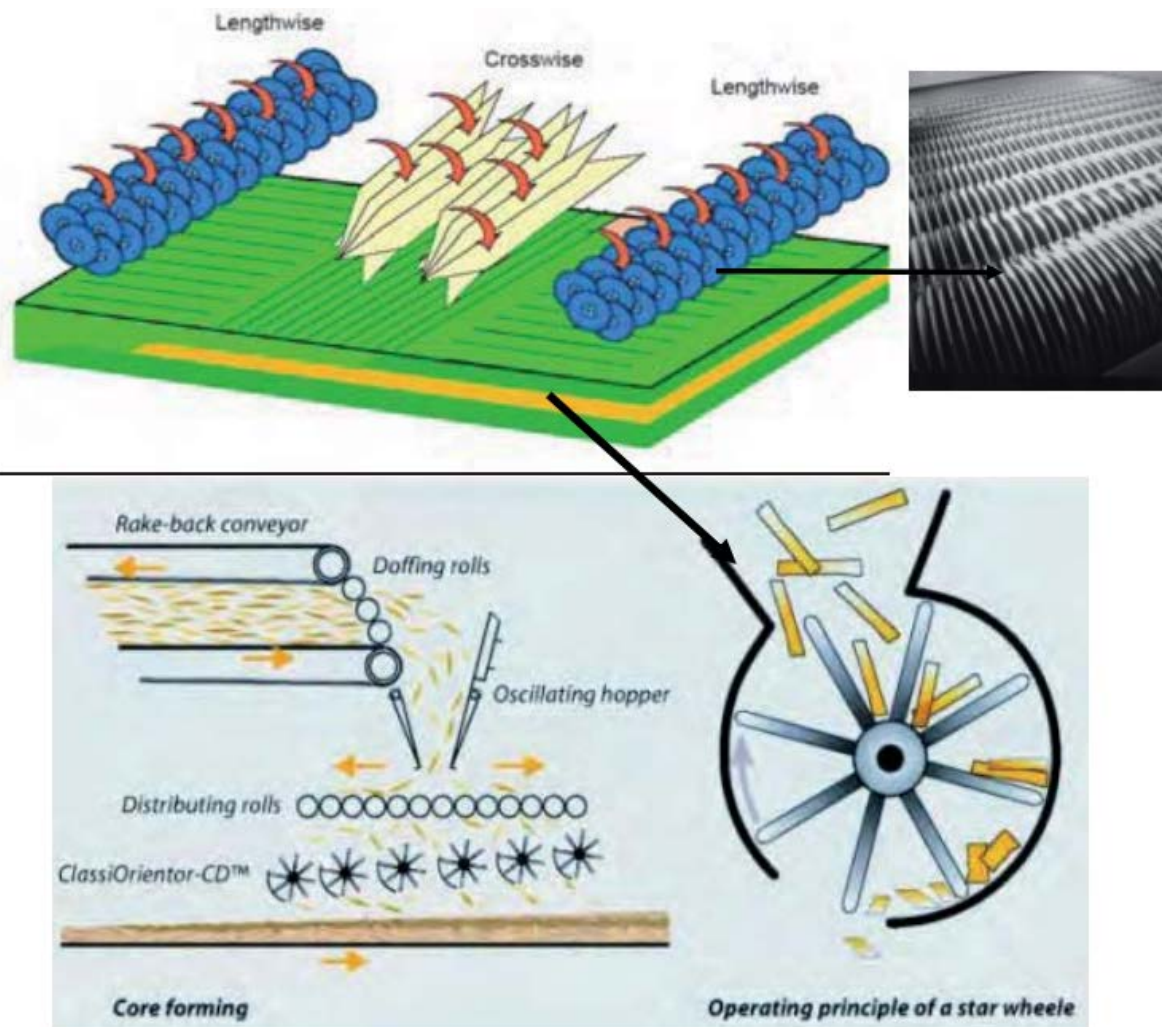
rozvrstvení, orientace i rovnoměrnost koberce mají přímý vliv na tuhost, pevnost i tvarovou stálost výsledného výrobku. Třísky s nanesenou lepicí směsí jsou dávkovány na formovací linku, která může být kontinuální nebo diskontinuální, v závislosti na technologii závodu. Třískový koberec se skládá typicky ze tří vrstev: dvou povrchových a jedné vnitřní. Vnější vrstvy obsahují delší a rovnoměrnější třísky, které jsou orientovány rovnoběžně s delší osou budoucí desky, tedy ve směru, kde se očekává hlavní zatížení. Naproti tomu středová vrstva bývá tvořena třískami náhodně orientovanými nebo orientovanými kolmo k povrchovým vrstvám. Tato struktura vytváří základní ortotropii OSB desky – materiál má lepší mechanické vlastnosti ve směru orientace povrchových vrstev, ale zároveň stabilizován v příčném směru středovou vrstvou.



Obrázek 24 Pohled na řez laboratorně vyrobené OSB desky s patrnými povrchovými vrstvami a vrstvou středovou.

Orientace třísek v povrchových vrstvách se zajišťuje pomocí vibračních nebo diskových vrstvicích zařízení. Třísky jsou ukládány buď přirozeným pádem z určité výšky, nebo jsou vedeny štěrbinami či štěrbinovými válci, které je překlápějí do požadované orientace. Výška pádu má přitom významný vliv na výsledný rozptyl v orientaci třísek – čím vyšší je pádová výška, tím více se zvyšuje náhodnost jejich uložení. Proto je ve vyspělých provozech výška ukládání řízena a minimalizována, aby se dosáhlo co nejvyšší orientace. Třísky ve středové vrstvě jsou ukládány pomocí příčných vrstvicích zařízení, které zajišťují náhodnou nebo kolmo uspořádanou strukturu. Cílem je vytvořit kompaktní, rovnoměrně rozprostřenou vrstvu, která zamezí vzniku dutin nebo nerovností ve výsledné desce. Poměr tloušťky jednotlivých vrstev v navrstveném koberci závisí na požadovaných mechanických vlastnostech desky – běžně činí středová vrstva přibližně 50–60 % celkové tloušťky, zatímco každá z povrchových vrstev přibližně 20–25 %.

Výsledný třískový koberec musí být rovnoměrný nejen co do tloušťky, ale i co do rozložení hmoty. Nerovnoměrnost vede ke vzniku vnitřních napětí, lokálním oslabením a k defektům při lisování. V některých výrobních závodech je formování třískového koberce doplněno o předlisování, které slouží ke zhuštění koberce před vlastním horkým lisováním. Předlis se provádí za studena nebo při mírném ohřevu a jeho úkolem je snížit výšku koberce, odstranit vzduch z mezer mezi třískami a zvýšit stabilitu předlisované vrstvy během následné manipulace z pásu na pás. Tento krok zlepšuje homogenitu výsledné desky, snižuje riziko posunu třísek během přepravy do lisu a umožňuje lepší přestup tepla při následném lisování.



Obrázek 25 Princip formování koberce z orientovaných plochých třísek

4.6 LISOVÁNÍ

Lisování představuje klíčový technologický krok při výrobě OSB desek, v němž dochází ke spojení jednotlivých vrstev třískového koberce do kompaktního deskového útvaru. Cílem této operace je aktivace lepicí směsi, zhuštění materiálu na definovanou tloušťku a dosažení pevnosti a rozměrové stálosti výrobku. Lisování probíhá za vysokého tlaku a teploty, jejichž přesné nastavení je závislé na typu pojiva, tloušťce desky a požadovaných vlastnostech. Ve většině moderních závodů se OSB desky lisují na kontinuálních lisech s ocelovými pásy, které umožňují vysokou kapacitu výroby, plynulý chod a přesné řízení procesu. Starší technologie využívají etážové lisy s lisovacími deskami, které jsou vhodné pro menší výrobní objemy. Bez ohledu na typ zařízení je proces lisování rozdělen do několika fází: zhuštění koberce na cílovou tloušťku, setrvání pod tlakem a teplotou po definovaný čas, a nakonec fáze pozvolného odlehčení tlaku.

Teplota lisovacích ploch se pohybuje mezi 180 a 220 °C. U desek lepených fenol-formaldehydovým lepidlem se používají teploty spíše vyšší (až 210–220 °C), zatímco při použití pMDI postačí teploty nižší, v rozmezí 180–200 °C, vzhledem k vysoké reaktivitě tohoto pojiva. Doba lisování se odvíjí od tloušťky desky, obvykle činí 15 až 30 sekund na každý milimetr tloušťky. Při lisování silnějších formátů se někdy uplatňuje vícestupňové vytvrzování nebo dodatečné chlazení, které omezuje vnitřní napětí a riziko deformací. Tlak vyvíjený na třískový koberec během lisování dosahuje hodnot 2 až 5 MPa. Výsledkem je soudržný materiál s typickým hustotním profilem – vyšší hustota je

dosažena v povrchových vrstvách, kde je teplota vyšší a třísky jsou intenzivněji stlačeny, zatímco středová vrstva má nižší hustotu. Tento profil přispívá ke zlepšení pevnosti v ohybu při dané hustotě. Správné řízení teplotního a tlakového režimu je zásadní pro zajištění požadovaných mechanických vlastností i tvarové stability desky. Pokud by byl lisovací cyklus příliš krátký nebo teplota nedostatečná, nedošlo by k úplnému vytvrzení lepidla, což by vedlo ke snížené rozlupčivosti. Naopak příliš dlouhé nebo intenzivní lisování může způsobit degradaci dřeva, vznik tmavých zón, zvýšení spotřeby energie a ztrátu elasticity hotového výrobku.

Během lisování dochází ke vzniku par uvnitř materiálu, zejména ve středové vrstvě. Tyto plyny musejí mít možnost unikat, aby se zabránilo tvorbě vnitřních dutin, prasklin či delaminací. Výstupní část lisu proto bývá navržena tak, aby tlak klesal postupně a deska mohla plynule expandovat. V některých případech se využívají i tzv. odvodušňovací cykly, které na okamžik snižují tlak v průběhu lisování, a tím umožní únik přebytných plynů ještě před konečným vytvrzením. Po výstupu z lisu je deska stále horká a vnitřní pnutí ještě není zcela uvolněno. Proto následuje fáze chlazení a kondicionování, při níž se desky nechávají v kontrolovaném prostředí vyrovnat teplotně i vlhkostně. Cílem je stabilizovat rozměry, omezit následné deformace a umožnit odvod zbytkových těkavých látek, především v případě použití fenolických pojiv.

4.7 DOKONČOVÁNÍ OSB DESEK

Po výstupu z lisovacího zařízení pokračuje výroba OSB deskových materiálů řadou dokončujících operací, jejichž účelem zajistit jeho rozměrovou přesnost, povrchovou kvalitu a připravit jej na skladování a distribuci. Tyto operace mají zásadní vliv nejen na vzhled a uživatelský komfort, ale i na stabilitu parametrů při dlouhodobém skladování a v provozních podmínkách. Bezprostředně po lisování vstupují desky do fáze chlazení, neboť jejich výstupní teplota často přesahuje 150 °C. V této fázi dochází ke snižování vnitřního pnutí, uvolnění zbytkové vlhkosti a kondenzaci par, které se uvolňují z lepicí směsi. Chlazení probíhá buď přirozeným způsobem v temperovaném prostoru pomocí umístění desek do turniketů, nebo aktivně, např. pomocí vzduchových tunelů. Důležitým požadavkem je, aby docházelo k pozvolnému vyrovnání teplotních rozdílů mezi povrchovými a středovými vrstvami, což minimalizuje riziko prohnutí či vnitřního praskání.

Následuje formátování a ořez hran, jehož cílem je upravit desku na přesné rozměry podle technické normy nebo požadavků zákazníka. Standardní rozměry OSB desek se pohybují nejčastěji v rozmezí 2500 × 1250 mm či 2440 × 1220 mm. Řezání probíhá na vícekotoučových pilách s vedením desky po válcové dráze. Používají se speciální pilové kotouče s tvrdokovovými plátky (např. ze slinutého karbidu), které zajišťují čistý řez i při vysoké tvrdosti a abrazivitě OSB desky. V některých případech následuje také broušení povrchu. Broušení se však neprovádí vždy – většina OSB desek se používá s přirozeným, hrubým povrchem, který má výhodu ve stavebních aplikacích, kde je požadována vyšší přilnavost. Broušení se provádí na širokopásových brusných strojích s regulovatelným přtlakem, přičemž cílem je dosažení rovnoměrné tloušťky a vyrovnání případných nerovností vzniklých při lisování.

Součástí dokončovacích operací je také vizuální a mechanická kontrola kvality. Vizuální kontrola se zaměřuje na detekci prasklin, výronů lepidla, povrchových vad a nehomogenit. Automatizované systémy s kamerovým snímáním umožňují rozpoznávat vadné desky v reálném čase. Mechanická kontrola pak ověřuje parametry, jako je tloušťka, rovinnost, hustota či pevnost v ohybu a rozlupčivost. Vzorky se odebírají pravidelně a podrobují se laboratorním zkouškám podle příslušných norem.

V závěru procesu dochází k balení a skladování desek. OSB desky se obvykle skládají do palet po 20 až 50 kusech, zajišťují se proti posunu plastovými pásky a chrání se proti vlhkosti PE fólií nebo papírovými kryty. Balení musí umožnit bezpečnou manipulaci a přepravu, zároveň však nesmí způsobovat deformace ani narušení hran. V ideálním případě desky po zabalení ještě určitou dobu setrvávají ve skladu, kde se stabilizují rozměrově i vlhkostně, čímž se sníží riziko objemových změn po expedici. Dokončující operace tedy uzavírají technologický tok výroby OSB a vytvářejí hotový výrobek s definovanými vlastnostmi a parametry. Přesnost, opakovatelnost a efektivita těchto operací jsou důležité jak z hlediska kvality výrobku, tak i z pohledu ekonomiky celého procesu.



Obrázek 26 Příklad OSB desky – OSB/3



Obrázek 27 Příklad OSB desky – deska s protipožární ochranou OSB Firestop

4.8 VLASTNOSTI OSB DESEK

Struktura OSB desek je výsledkem řízené orientace plochých a podlouhlých třísek ve vícevrstvé skladbě. Tato struktura je zásadním faktorem, který určuje mechanické chování materiálu a jeho vhodnost pro nosné a konstrukční aplikace. OSB lze z tohoto hlediska považovat za ortotropní materiál, jehož fyzikálně-mechanické vlastnosti se liší podle směru vzhledem k orientaci třísek.

Typická OSB deska se skládá ze tří vrstev – dvou povrchových a jedné středové. Třísky v povrchových vrstvách jsou orientovány rovnoběžně s podélnou osou desky, což výrazně zvyšuje pevnost a tuhost v hlavním směru. Naopak středová vrstva má třísky orientované příčně nebo náhodně, čímž se zajišťuje potřebná stabilita v kolmém směru. Tato skladba ovlivňuje především modul pružnosti (MOE) a modul pevnosti v ohybu (MOR) – oba parametry dosahují podstatně vyšších hodnot ve směru orientace třísek než v příčném směru. Hodnoty těchto parametrů závisí nejen na orientaci třísek, ale i na jejich velikosti, kvalitě, typu a množství pojiva, hustotě desky a dalších výrobních parametrech. Například u desek třídy OSB/3 s hustotou v rozmezí $600\text{--}700\text{ kg/m}^3$ se MOE v hlavním směru pohybuje přibližně mezi $5000\text{--}7000\text{ MPa}$, zatímco v příčném směru dosahuje hodnot kolem $2000\text{--}3000\text{ MPa}$. Analogicky MOR v hlavním směru dosahuje $20\text{--}30\text{ MPa}$, v příčném směru pak $10\text{--}15\text{ MPa}$. Vysoká pevnost v ohybu a tuhost v podélném směru předurčuje OSB pro nosné aplikace, jako jsou podlahové a střešní prvky nebo výztuhy rámových konstrukcí.

Dalším důležitým parametrem je pevnost v tahu kolmo k rovině desky (rozlupčivost). Tato vlastnost závisí na kvalitě lepení a stupni zhutnění při lisování. Hodnoty rozlupčivosti se u OSB pohybují obvykle mezi $0,3\text{--}0,6\text{ MPa}$. Důležitá je také odolnost proti vytažení spojovacího prostředku, tedy schopnost udržet vrutové a hřebíkové spojení bez vytržení. Tato vlastnost souvisí s hustotou desky, kvalitou třísek a rovnoměrností vnitřní struktury.

Vzhledem k tomu, že OSB je materiál z převážné většiny ze dřeva, je jeho objemová a tvarová stabilita ovlivněna působením vlhkosti. Deska absorbuje vodu převážně na okrajích a na čelních plochách, což může vést k bobtnání a zakřivení. U OSB desek určených pro vlhké prostředí (typy OSB/3 a OSB/4) se proto používají voděodolná lepidla (např. pMDI) a přidávají se vodoodpudivé příměsi. Přesto je třeba počítat s tloušťkovým bobtnáním, které může dosahovat 10–15 % po 24hodinovém ponoření do vody, pokud nejsou hrany zalepeny. Pro zlepšení voděodolnosti se u některých výrobků uplatňuje i modifikace vstupního dřeva nebo povrchová úprava.

Mechanické vlastnosti OSB jsou standardizovány a ověřovány podle evropské normy EN 300, která stanovuje minimální hodnoty pevnosti a tuhosti v obou směrech, včetně požadavků na odolnost vůči vlhkosti. U výrobků s certifikací pro konstrukční použití musí být tyto vlastnosti doloženy zkouškami a uvedeny v technickém listu produktu. Kromě toho se u OSB sledují i dynamické vlastnosti, jako je únavová pevnost nebo chování při nárazu, které jsou důležité zejména při použití v podlahových a střešních systémech. Z hlediska uživatelských vlastností OSB vyniká kombinací vysoké mechanické odolnosti, rozměrové stálosti, dobré opracovatelnosti a relativně nízké hmotnosti. Díky těmto parametrům se stala OSB jedním z nejrozšířenějších deskových materiálů v konstrukčním stavitelství a představuje plnohodnotnou alternativu k překližce.

4.9 SHRUTÍ KAPITOLY

Oriented Strand Board (OSB) je moderní kompozitní materiál na bázi dřeva, vyvinutý jako alternativa překližky a jiných plošných materiálů. OSB desky se vyrábějí lisováním třísek velkých plošných rozměrů, které jsou orientovány ve vrstvách převážně rovnoběžně a kolmo ke směru hlavního zatížení. Tento způsob strukturování zajišťuje vynikající mechanické vlastnosti, zejména v ohybu.

Výroba OSB začíná výběrem vhodného dřeva, především z rychle rostoucích druhů měkkého dřeva, jako je topol, smrk a borovice. Kulatina je nejprve odkorněna a následně zpracována na dlouhé a štíhlé třísky. Po sušení a třídění jsou třísky rozděleny na frakce podle velikosti a vrstveny tak, aby výsledný koberec měl přesně řízenou orientaci jednotlivých vrstev. Pojení třísek se provádí voděodolnými syntetickými pryskyřicemi, nejčastěji fenol-formaldehydovými (PF), melamin-močovino-formaldehydovými (MUF) nebo polymery MDI. Výsledná deska se lisuje za vysoké teploty a tlaku v jedno- nebo víceetapovém lisu, přičemž dochází k vytvrzení lepidla a stabilizaci struktury. Velmi důležitou částí výroby je regulace vlhkosti – příliš vlhké třísky nebo hotové desky by vedly k deformacím, prasklinám a snížení mechanických parametrů.

OSB desky jsou v rámci evropské normy EN 300 klasifikovány podle jejich použití: OSB/1 pro nenosné aplikace v suchém prostředí, OSB/2 pro nosné aplikace v suchu, OSB/3 pro nosné aplikace ve vlhkém prostředí a OSB/4 pro vysoce namáhané nosné konstrukce za vlhka. Nejčastěji se v praxi používají OSB/3, které kombinují vysokou pevnost a dobrou odolnost proti vlhkosti. Díky své příznivé ceně, mechanickým vlastnostem a ekologickým aspektům (vysoké využití dřeva a možnost recyklace) našly OSB desky široké uplatnění v oblasti dřevostaveb, podlahových systémů, stěnových a střešních konstrukcí, ale také v obalovém průmyslu a při výrobě nábytku. Moderní výrobní technologie umožňují výrobu OSB desek s různými povrchovými úpravami, broušenými povrchy nebo s perem a drážkou pro snadnější montáž.

Vývoj v oblasti OSB směřuje ke zlepšení jejich vlhkostní odolnosti, využívání listnatých dřevin pro jejich výrobu, zvyšování pevnosti a zároveň k snižování emisí těkavých organických látek. V kombinaci s rostoucí poptávkou po udržitelných materiálech lze očekávat další rozšiřování jejich využití v budoucnosti.

Úkol: jaká část výroby desek je zachycena na následujícím obrázku?



Obrázek 28 Podklad pro úkol

4.10 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Co znamená zkratka OSB a jaký typ materiálu označuje?
- Z jakých surovin se OSB desky primárně vyrábějí?
- Jaké typy dřevin jsou nejčastěji používány pro výrobu OSB?
- Jaký je typický tvar a rozměry třísek používaných v OSB deskách?
- Jaký je hlavní rozdíl mezi strukturou OSB a klasickou dřevotřískovou deskou?
- Proč se orientují vrstvy třísek v OSB deskách odlišně v jednotlivých vrstvách?
- Jaký je vliv orientace třísek na mechanické vlastnosti OSB desek?
- Jaké lepidlové systémy se běžně používají při výrobě OSB?
- Proč je fenol-formaldehydové (PF) a polymery MDI lepidlo vhodné pro OSB určené do vlhkého prostředí?
- Jakým způsobem probíhá třídění a sušení třísek před výrobou OSB?
- Jaké jsou hlavní kroky ve výrobním procesu OSB desek?
- K čemu slouží předlisování před hlavním lisováním u OSB?
- Jak norma EN 300 rozděluje OSB desky podle jejich použití a vlastností?
- Které vlastnosti OSB desek jsou zásadní pro použití v konstrukcích v exteriéru?
- Jaké jsou hlavní výhody OSB desek oproti klasickým překližkám?

4.11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Cai, Z., Senalik, C. A., a Ross, R. (2021). Mechanical properties of wood-based composite materials. *Chapter 12 in FPL-GTR-282*, 12-1.
- Hýsek, Š., Němec, M., Herclík, M., a Kubista, K. (2022). Funkční vzorek třívrstvého materiálu na bázi orientovaných plochých dřevěných třísek a práškového lepidla modifikovaného ligninem. FLD ČZU v Praze.
- Nishimura, T. (2015). Chipboard, oriented strand board (OSB) and structural composite lumber. In *Wood composites* (pp. 103-121). Woodhead Publishing.
- Thoemen, H., Irle, M., a Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London. ISBN: 978-1-902316-82-6.

5 MDF DESKY

Medium Density Fibreboard (MDF), česky vláknitá deska se střední hustotou, je technický materiál na bázi dřeva, který vznikl v 60. letech 20. století. MDF desky se vyrábějí ze suchého rozvlákněného dřeva spojeného syntetickými pojivy a slisovaného za zvýšené teploty a tlaku. Díky svým specifickým vlastnostem – zejména homogenní struktuře, dobré opracovatelnosti a výborné kvalitě povrchu – se MDF desky staly klíčovým materiálem v nábytkářství i stavebnictví. Tyto desky se od jiných lisovaných kompozitních desek, jako jsou dřevotřískové desky nebo OSB odlišují především jemnější frakcí vstupní suroviny, vyšší hustotou a homogennější mikrostrukturou. Tyto vlastnosti umožňují precizní frézování, profilování a dekorativní povrchové úpravy. Standardně se MDF desky vyrábějí v hustotním rozsahu 600–900 kg/m³ a tloušťkách od 2 do 60 mm. Výběr konkrétního typu závisí na požadovaných mechanických a fyzikálních vlastnostech, včetně nosnosti, odolnosti vůči vlhkosti nebo ohni.

5.1 VÝROBA MDF

Příprava a třídění vstupní suroviny

Základní surovinou pro výrobu MDF jsou nejčastěji měkké dřeviny jako smrk, borovice, jedle nebo topol. Zpracovávají se jak piliny a hobliny z pilařské výroby, tak štěpky z čerstvé kulatiny. Nejvyšší kvalitu vláken poskytují štěpky, a proto se v současné době pro výrobu kvalitních MDF desek používá zejména bílá štěpka bez přítomnosti kůry.

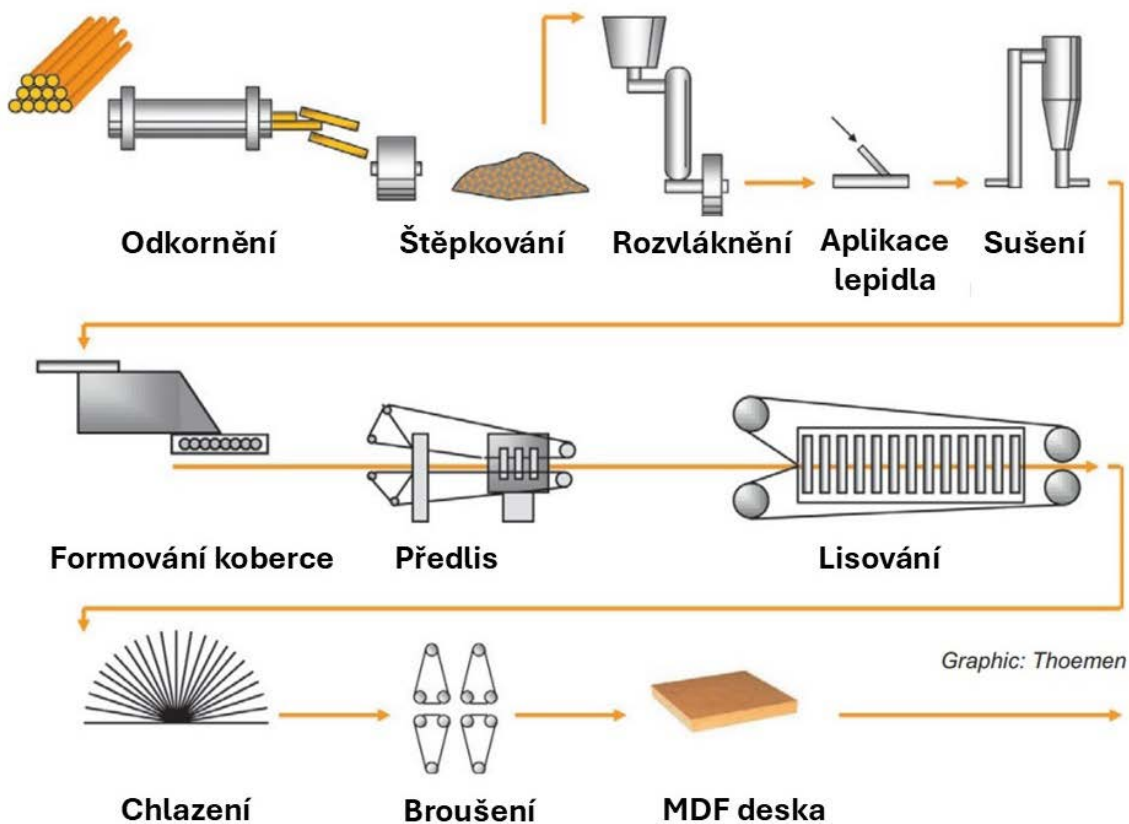
Štěpky jsou tříděny podle velikosti (ideální frakce je cca 25 × 25 × 5 mm) a nečistoty (kovy, kámen, hlína) jsou odstraňovány síťováním, magnetickými separátory a vodním praním. V některých závodech se štěpky předpařují nebo predehřívají na 40–60 °C, což snižuje energetickou náročnost a zvyšuje účinnost následného rozvláknění.

Rozvláknění

Jádrem výroby MDF je mechanické rozvláknění štěpek za spolupůsobení tepla a vody. Štěpky jsou nejprve napařeny při tlaku 6–10 bar a teplotě 170–190 °C. Poté jsou vlhké změkčené štěpky vedeny do dvoudiskového rozvlákňovače (refineru), kde jsou mechanicky desintegrovány na jednotlivá dřevní vlákna. Důležitá je správná kombinace teploty, doby napařování a geometrie pracovních ploch, aby vznikly vlákna a vláknenné svazky vhodné k výrobě kompaktních a homogenních desek. Příklad geometrie pracovních ploch refineru je uveden na Obrázku 29, schematické znázornění celého výrobního procesu potom na Obrázku 30.



Obrázek 29 Příklad geometrie pracovní plochy refineru – použitý segment, výroba DDL



Obrázek 30 Schematické znázornění výrobního procesu MDF desek

Aplikace lepicí směsi

Do suspenze vody a vláken se dále injektuje lepidlo – typicky močovino-formaldehydová (UF) nebo melamin-močovinná (MUF) pryskyřice. Množství lepidla činí přibližně 6–15 % vztaženo na suché dřevo. Do lepicí směsi se přidávají také aditiva: parafínové emulze jako vodoodpudivé činidlo, tužidla pro zvýšení rychlosti vytvrzování, případně retardéry hoření. Proces aplikace lepicí směsi probíhá za vysokého tlaku (12–14 bar), což zajišťuje efektivní promíchání lepidla a vláken. Významné jsou i fyzikálně-chemické parametry směsi – viskozita, pH a teplota, které ovlivňují kvalitu nanesení lepidla a následné mechanické vlastnosti desky.

Sušení vláken

Vlhká vlákenná směs je sušena v systému trubkových sušáren s vysokorychlostním proudem vzduchu (30–35 m/s) a teplotou až 250 °C. Délka sušárny dosahuje přes 100 m a na konci činí výstupní vlhkost vláken 8–12 %. Sušení daného vlákna trvá pouze několik sekund, protože delší sušení by mohlo způsobit předvytvrzení pryskyřice a snížit kvalitu desky. Moderní sušárny dále využívají rekuperaci tepla, recirkulaci vzduchu a spalování brusného prachu pro ohřev sušícího média. Tímto lze významně uspořit energii nutnou na ohřev vzduchu a sušení vláken.



Obrázek 31 Vysušená vlákna a shluky vláken

Formování vláknenného koberce

Suchá vláknitá směs je přepravována pneumaticky do formovacího zařízení. Hlavním cílem je vytvořit rovnoměrnou, homogenní strukturu vláknenného koberce požadované výšky. Vzhledem k jemnosti vláken se používají speciální dávkovací zásobníky s integrovanou váhou a šnekovým podavačem. Z důvodu vysoké objemové hmotnosti vláken je nutná vysoká světlost celého kontinuálního systému, výška vláknenného koberce pro 18mm MDF desku totiž dosahuje cca 650 mm.

Předlis a lisování

Navrstvený vláknenný koberec je předlisován za studena (nebo s mírným ohřevem) na cca 50 % výšky. Redukce výšky navrstveného koberce předlisem umožní nasazení lisu s nižší světlostí. Poté následuje horké lisování při teplotách 180–210 °C a tlaku 2–5 MPa v hydraulických nebo kontinuálních lisech. Doba lisování se pohybuje okolo 4–6 sekund na každý mm tloušťky desky. Výsledná hustota desky je řízena lisovací křivkou a často vertikální hustotní profil ve tvaru písmene U, vyšší hustotu na povrchu a nižší ve středu, čímž je při dané hustotě zajištěno optimální rozložení materiálu. Lisovací program zahrnuje 1–2 cykly s mírným pootevřením lisu, aby z ohřívání desky mohla uniknout vzniklá vodní pára. Tím se eliminuje tvorba delaminace a vnitřních mikrotrhlin.

Chlazení, broušení a dokončování

Po lisování jsou desky chlazeny – nejčastěji v hvězdicových nebo lamelových chladičích. Poté následuje broušení obou povrchů s cílem dosažení přesné tloušťky, eliminace přetvrzené vrstvy a příprava povrchu na dekorativní úpravy. Nakonec jsou desky formátovány a připraveny k expedici nebo dalšímu zpracování (lakování, potisk, profilování apod.).

5.2 VLASTNOSTI A POUŽITÍ MDF DESEK

MDF desky jsou výsledkem technologicky precizního výrobního procesu, jehož cílem je vytvořit homogenní materiál s vyváženými mechanickými, fyzikálními a estetickými vlastnostmi. Tyto vlastnosti definují široké spektrum možných aplikací a současně i požadavky na přesné třídění a klasifikaci výrobků podle platných norem. MDF desky se vyznačují především velmi jemnou strukturou, která je výsledkem použití jemných vláken. Díky tomu mají tyto desky hladký a rovnoměrný povrch, který je ideální pro následné povrchové úpravy jako je lakování, fóliování nebo potisk. Hladkost a homogenita povrchu je výhodná především v nábytkářském průmyslu, kde je kladen důraz na estetickou kvalitu.

Z hlediska mechanických vlastností MDF poskytuje vysokou pevnost v ohybu a dobré hodnoty rozlupčivosti, což je důležité především při výrobě komponent, které jsou dále frézovány, vrtány či jinak mechanicky opracovávány. Vysoká hustota desky na povrchu přispívá ke zvýšené tvrdosti, odolnosti proti otěru a vyšší schopnosti udržet spojovací prostředek, což je oceňováno například při použití v konstrukci dvířek. Z hlediska stability rozměrů vykazují MDF desky v suchém prostředí velmi nízké hodnoty bobtnání a deformací, což umožňuje jejich použití i ve velkých formátech a rozsáhlých interiérových instalacích.

Oproti tomu mezi slabé stránky materiálu patří nižší odolnost vůči vlhkosti a biologickému napadení, především u standardního typu MDF vyráběného s použitím močovino-formaldehydových (UF) lepidel. Při vystavení vyšší vlhkosti mohou tyto desky nabobtnat. Z tohoto důvodu se pro náročnější prostředí vyrábějí tzv. modifikované typy MDF, které obsahují odolnější pojiva, např. melamin-močovinné (MUF), fenol-formaldehydové (PF) nebo izokyanátové systémy (MDI), a současně zvýšený podíl parafínu pro omezení nasákavosti.

Z pohledu standardizace a použití se MDF desky podle evropské normy ČSN EN 622-5 rozlišují nejen podle místa určení (suché vs. vlhké prostředí), ale také podle toho, zda jsou určeny k nosným aplikacím. Nejzákladnější typ MDF je určen pro suché prostředí bez požadavku na zvýšenou pevnost či odolnost. Takové desky se používají především ve výrobě běžného nábytku, výplní zásuvek, záda skříní a obecně v konstrukcích, které nejsou vystaveny vlhkosti ani vyššímu mechanickému zatížení.

Pro aplikace v prostředí s vyšší relativní vlhkostí, jako jsou kuchyně, koupelny, prádelny či veřejné interiéry, se vyrábějí desky typu MDF.H. Tyto desky jsou lepeny odolnějšími pryskyřicemi a jejich lepicí směs je často doplněna o vyšší obsah vodoodpudivých přísad. Pokud je požadována i vyšší únosnost, například u nosných příček, podlahových systémů nebo jako konstrukční výplně, přichází ke slovu MDF typu LA (load-bearing), případně jejich modifikace do vlhkého prostředí jako MDF.HLS. Tyto typy musí procházet specifickými zkouškami pevnosti a odolnosti v souladu s příslušnou částí normy ČSN EN 622 a jejich výroba je náročnější nejen technologicky, ale i z hlediska kontroly jakosti.

Vzhledem k mechanickým a povrchovým parametrům nachází MDF desky uplatnění v celé řadě oblastí. Ve výrobě nábytku se používají jak pro skryté části korpusů a polic, tak – díky možnosti jemného frézování – i pro designové čelní plochy dvířek nebo čel zásuvek. Ve stavebnictví slouží jako obkladový materiál pro stěny, stropy nebo podlahy, zejména tam, kde je požadována hladkost a rozměrová přesnost. MDF se uplatňují také v interiérové architektuře při tvorbě složitě profilovaných výplní, kazet, lišt a říms. Konečně v oblasti výroby interiérových dveří tvoří MDF velmi často základ konstrukce, na který se následně nanáší dekorativní fólie nebo lak.

Z hlediska estetiky a možnosti následného zpracování je výhodou MDF desek skutečnost, že nemají žádné výrazné vnitřní vrstvy, orientaci částic ani suky či jiné přirozené vady, které bývají běžné u překližek nebo dřevotřískových desek. Díky tomu je možné MDF frézovat do hlubokých profilů nebo tvarovat i velmi jemné dekorativní reliéfy. Hladký povrch je ideální pro lakování, a to jak stříkané, tak válcové, a rovněž umožňuje přímé potahování melaminovými fóliemi nebo papíry s dekorem dřeva.

Rostoucím trendem v oblasti MDF je také ekologizace výroby. Významná část výrobců zavádí alternativní pojiva bez obsahu formaldehydu, zejména izokyanáty, a současně pracují s recyklovanými dřevními materiály nebo agroprůmyslovými zbytky. Současně je kladen důraz na snižování emisí těkavých organických látek (VOC) při výrobě i po instalaci výrobků v interiéru.



Obrázek 32 Surová MDF deska



Obrázek 33 Laminovaná MDF deska

5.3 SHRUTÍ KAPITOLY

MDF desky (Medium Density Fibreboards) představují technicky vyspělý kompozitní materiál na bázi dřeva, který je vyráběn suchým procesem z jemných dřevních vláken spojovaných syntetickými lepidly za působení tepla a tlaku. Výroba zahrnuje rozvláknění štěpek, aplikaci lepicí směsi na vlákna, jejich sušení, formování rovnoměrného vlákenného koberce a lisování na požadovanou tloušťku a hustotu. V důsledku precizního výrobního postupu mají MDF desky homogenní strukturu, vysokou rozměrovou stabilitu v suchém prostředí a hladký povrch vhodný pro dekorativní úpravy.

Hlavními přednostmi MDF jsou jejich výborná opracovatelnost (řezání, frézování, profilování), dobré mechanické vlastnosti v ohybu i tahu kolmo na rovinu desky a schopnost vytvářet velmi jemné povrchové textury. Díky těmto vlastnostem se MDF uplatňují zejména v nábytkářství (korpuse, dvířka, zásuvky), při výrobě interiérových dveří, obkladů stěn a stropů, v podlahových konstrukcích nebo jako základní materiál pro laminování a lakování.

Standardní MDF desky jsou určeny do suchého prostředí. Pro náročnější podmínky se vyrábějí modifikované typy se zvýšenou odolností proti vlhkosti (MDF.H) či nosné varianty (MDF.LA a MDF.HLS), jejichž výroba zahrnuje použití voděodolných pojiv a zvýšený podíl hydrofobizačních aditiv. Tyto varianty jsou definovány normou EN 622-5, která klasifikuje MDF dle oblasti použití a nároků na pevnost a vlhkostní stabilitu. Mezi omezení MDF desek patří nižší biologická odolnost a v případě běžných typů také omezená odolnost vůči dlouhodobému působení vlhkosti.

5.4 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaká je základní surovina pro výrobu MDF desek?
- Čím se MDF desky odlišují od běžných dřevotřískových desek?
- Jaký je typický rozsah hustoty MDF desek?
- Jaký význam má proces rozvláknění dřevní suroviny při výrobě MDF?
- Jaká aditiva se běžně přidávají při výrobě MDF a jakou mají funkci?
- Jak se reguluje tloušťka a hustota výsledné MDF desky?
- Jaká pojiva se používají pro zvýšení odolnosti MDF proti vlhkosti?
- Jaké hlavní nevýhody má standardní MDF při použití v prostředí se zvýšenou vlhkostí?
- Proč je MDF vhodnější materiál pro frézování složitých profilů než překližka nebo dřevotříska?
- Jaké opatření lze přijmout ke snížení emisí VOC při výrobě MDF?
- Jaký je účel broušení MDF desek po lisování?

5.5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Ormondroyd, G.A. a Stefanowski, B. (2015). *Fibreboards and their applications*. In: *Wood Composites*. Oxford: Elsevier, s. 91–102. ISBN 978-1-78242-454-3.

Thoemen, H., Irle, M., a Sernek, M. (2010). *Wood-Based Panels - An Introduction for Specialists*. Brunel University Press, London. ISBN: 978-1-902316-82-6.

6 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY POJENÉ MYCELIEM HUB

6.1 ÚVOD

V posledních dekádách roste poptávka po udržitelných, obnovitelných a ekologicky šetrných materiálech. Mezi tyto nové materiály patří i kompozity pojené myceliem hub. Tento typ kompozitů vzniká využitím schopnosti hub prorůst lignocelulózový substrát a vytvářet pevné propojení mezi částicemi substrátu prostřednictvím vláken mycelia. Výsledný materiál je charakteristický nízkou hustotou, dobrou tepelnou i akustickou izolací, biodegradabilitou a relativně nízkou energetickou náročností výroby. Přestože zatím nedosahuje mechanických vlastností tradičních materiálů, jeho ekologický profil jej předurčuje k využití zejména v oblastech, kde jsou klíčové vlastnosti jako obnovitelnost, snadná recyklovatelnost a netoxicitá.

Mycelium-based composites (MBC) dnes nacházejí uplatnění zejména v obalovém průmyslu, v oblasti designu a rovněž v oblasti interiérového designu. Jejich využití je úzce spojeno s konceptem cirkulární ekonomiky a bioekonomiky, kde jsou klíčové principy recyklace, využívání odpadních surovin a minimalizace uhlíkové stopy.

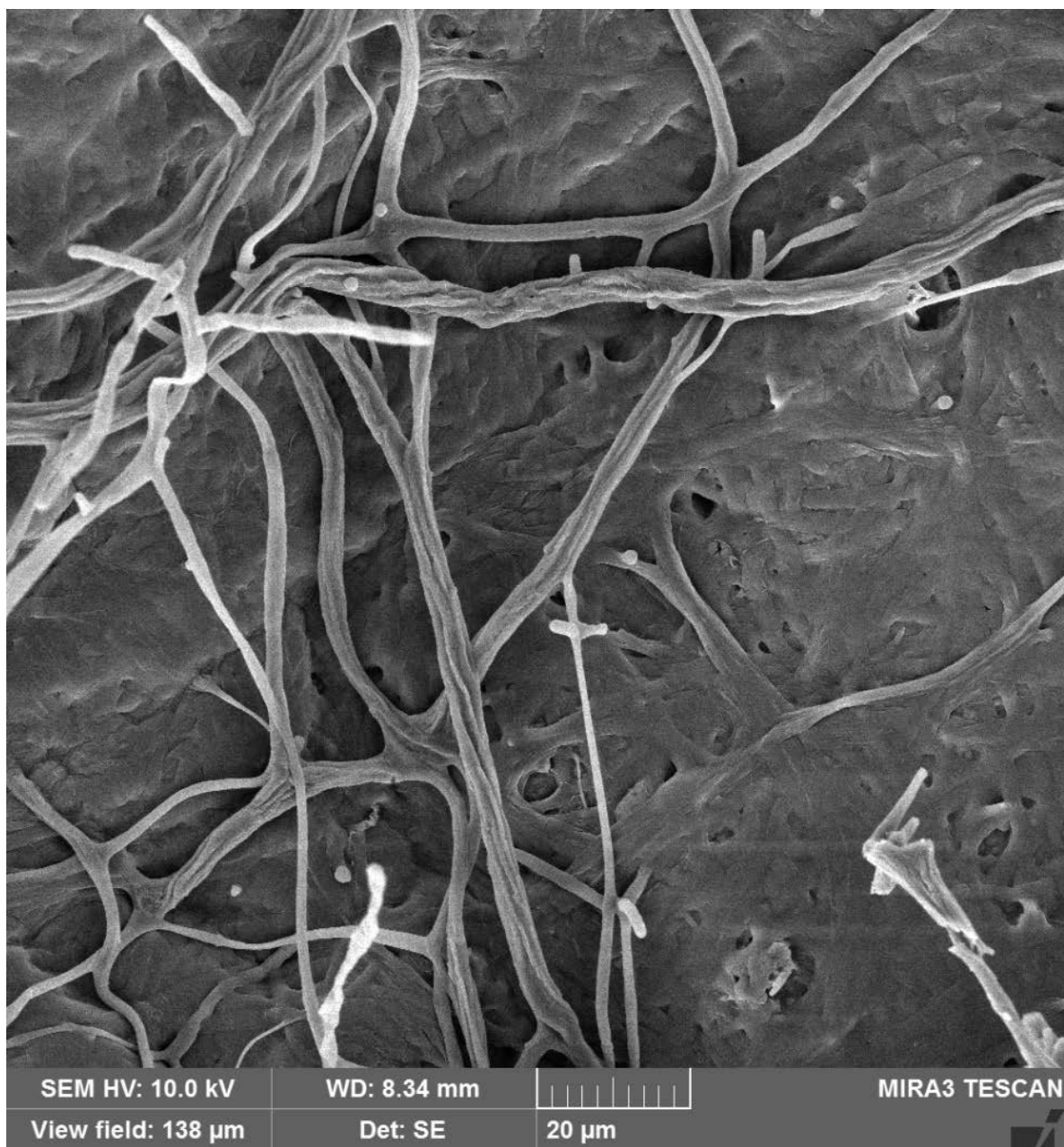
6.2 PRINCIP VÝROBY MYCELIOVÝCH KOMPOZITŮ

Základem výroby kompozitů pojených myceliem hub je lignocelulózový substrát, který je inokulován kulturou saprofytických hub, nejčastěji druhů rodu *Pleurotus*, *Ganoderma* nebo *Trametes*. Substrát, připravený z odpadních surovin, jako jsou piliny, hobliny, sláma, kukuřičné klasy či konopné pazdeří, je nejprve navlhčen, sterilizován a poté očkovan myceliem. V řízených podmínkách teploty, vlhkosti a přístupu vzduchu dochází ke kolonizaci substrátu hyfami, které enzymaticky rozkládají lignin a hemicelulózy, čímž získávají živiny potřebné k růstu. Během růstu mycelium vytváří trojrozměrnou síť, která pevně spojuje částice substrátu. Tento proces může trvat od několika dnů až po několik týdnů v závislosti na druhu houby, typu substrátu a podmínkách kultivace. Po dosažení požadovaného stupně prorůstání je růst zastaven sušením při teplotách nad 70 °C, čímž dochází k inaktivaci živého organismu. Finální výrobky mohou být následně mechanicky upravovány – lisovány za tepla nebo za studena, řezány, broušeny či povrchově upravovány pro zvýšení mechanických vlastností a snížení nasákavosti.

6.3 MYCELIUM

Mycelium představuje vegetativní část houby a je tvořeno sítí vláken nazývaných hyfy. Tyto struktury mají průměr obvykle mezi 2 až 20 mikrometry a vyznačují se značnou pevností a pružností, která je dána jejich buněčnou stavbou. Základními stavebními složkami buněčné stěny hyf jsou chitin, β -glukany a různé glykoproteiny. Chitin, polymer složený z jednotek N-acetylglukosaminu, poskytuje mechanickou pevnost a odolnost vůči vnějším vlivům. β -glukany přispívají k pružnosti a strukturní soudržnosti buněk a hrají významnou roli při přenosu mechanických napětí v myceliální síti.

Hyfy rostou apikálním způsobem, kdy dochází k prodlužování na špičkách a současně k větvení, čímž se vytváří hustá trojrozměrná síť. Tato síť prorůstá substrátem, přilne k jednotlivým částicím a enzymatickými procesy rozkládá lignin, hemicelulózu a částečně i celulózu, což umožňuje přístup k jednoduchým cukrům a dalším živinám. Zároveň dochází k mechanickému propojení substrátu, čímž vzniká kompaktní kompozitní struktura. Struktura myceliální sítě může být ovlivněna genetickými predispozicemi houby, typem substrátu i podmínkami růstu. U některých druhů se mycelium vyznačuje tvorbou kompaktní vnější vrstvy, tzv. myceliální kůže, která zvyšuje mechanickou integritu celého kompozitu a omezuje jeho nasákavost.



Obrázek 34 Mycelium na substrátu

Úkol: Jaké části dřevokazné houby lze identifikovat na následujícím obrázku?



Obrázek 35 Podklad pro úkol

6.4 SUROVINY PRO VÝROBU

Kvalitní substrát je základem úspěšné výroby kompozitních materiálů pojených myceliem hub. Aby bylo dosaženo požadovaných vlastností výsledného kompozitu, musí substrát splňovat několik základních kritérií: musí být bohatý na lignocelulózové struktury, mechanicky vhodný pro prorůstání mycelia a chemicky nezávadný. Současně by měl být levný, snadno dostupný a ideálně pocházet z obnovitelných či odpadních zdrojů.

Dřevní substráty

Dřevo a dřevní odpady tvoří jednu z nejčastějších kategorií substrátů využívaných pro růst mycelia. Piliny, hobliny, drcená kůra, odřezky ze zpracování masivního dřeva nebo z výroby dřevotřískových desek poskytují ideální matici pro prorůstání hyf. Typ dřeviny významně ovlivňuje rychlost růstu i výslednou kvalitu kompozitu. Listnaté dřeviny, jako buk, bříza, topol či vrba, jsou obecně vhodnější než jehličnany, protože obsahují méně pryskyřičných látek, které

mohou inhibovat růst hub. Nicméně určité druhy hub, například některé houby rodu *Trametes* nebo *Ganoderma*, jsou schopné efektivně kolonizovat i substráty z jehličnatého dřeva.

Velikost částic je zásadní: příliš jemné piliny mohou vést k nedostatečné propustnosti substrátu pro vzduch, který houba potřebuje, zatímco příliš hrubé štěpky mohou zpomalit kolonizaci a vytvářet heterogenní strukturu. Optimální frakce se pohybuje mezi 2 až 15 mm, přičemž rovnoměrné rozložení velikostí částic podporuje homogenní růst.

Zemědělské zbytky

Vedle dřevních odpadů se hojně využívají také zemědělské zbytky, které představují levnou a ekologickou alternativu. Sem patří zejména sláma obilovin, kukuřičné klasy a listy, konopné pazdeří, stonky lnu a řepky, ale také různé plevy a slupky, například rýžové nebo pohankové. Tyto materiály mají díky své nízké hustotě a vysoké pórovitosti výhodu v podpoře provzdušnění substrátu, což je pro efektivní růst mycelia zásadní. Některé druhy hub, například *Pleurotus ostreatus*, velmi dobře kolonizují slámu, kterou během krátké doby prorostou hustou a pevnou myceliální sítí. U zemědělských zbytků je však potřeba zvýšené opatrnosti, protože bývají náchylnější k mikrobiální kontaminaci. Proto je nezbytné substrát před inokulací důkladně sterilizovat nebo alespoň pasterizovat, aby bylo minimalizováno riziko infekce nežádoucími organismy.

Recyklované a alternativní materiály

V posledních letech narůstá zájem také o využívání recyklovaných a alternativních surovin. Mezi perspektivní zdroje patří papírový a kartonový odpad, zejména pokud je neupravený a neobsahuje chemické příměsi, dále textilní odpad z přírodních vláken jako je bavlna, len či konopí, kávová sedlina, zbytky z cukrovarnictví nebo z pivovarů. Tyto materiály podporují myšlenku cirkulární ekonomiky a přispívají ke snížení ekologické zátěže. Při jejich použití je však nutné pečlivě kontrolovat obsah potenciálně škodlivých kontaminantů, jako jsou lepidla, laky nebo barviva, které by mohly negativně ovlivnit růst mycelia nebo vlastnosti finálního produktu.

Doplňkové přísady

Kromě hlavního substrátu se často přidávají různé doplňkové přísady, které optimalizují podmínky pro růst mycelia a zlepšují výsledné vlastnosti kompozitu. K nejběžnějším aditivům patří zdroje jednoduchých cukrů, například pšeničná mouka nebo bramborový škrob, které urychlují růst tím, že poskytují snadno dostupnou energii. Minerální látky, jako je uhlíkatý vápenatý nebo síran vápenatý, stabilizují pH prostředí a podporují tvorbu pevnější struktury. Organické příměsi, například otruby nebo melasa, dodávají substrátu potřebné minerály a bílkoviny, zatímco přídavek biopolymerů, například alginátů, může zvýšit kohezní vlastnosti vznikajícího kompozitu. Dávkování těchto přísad bývá relativně nízké a pohybuje se zpravidla v rozmezí dvou až deseti procent hmotnosti substrátu.

6.5 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ

Technologický proces výroby kompozitních materiálů pojených myceliem hub je složitý a zahrnuje několik na sebe navazujících fází, jejichž přesné provedení zásadně ovlivňuje kvalitu a vlastnosti výsledného produktu. Prvním krokem je příprava substrátu. Tento proces zahrnuje mechanickou úpravu suroviny na požadovanou velikost částic, jejíž volba závisí na typu substrátu i na druhu použité houby. V případě dřevních štěpek a pilin se substrát dodatečně drtí nebo mele, aby bylo dosaženo rovnoměrné frakce. Následně se substrát navlhčuje, přičemž cílová vlhkost se zpravidla pohybuje mezi šedesáti až sedmdesáti procenty hmotnosti. Rovnoměrná distribuce vlhkosti je zásadní, protože příliš suchý substrát zpomalí růst mycelia, zatímco nadměrně mokrá substrát podporuje rozvoj anaerobních mikroorganismů.

Po navlhčení následuje sterilizační proces. Sterilizace má za úkol eliminovat veškeré nežádoucí mikroorganismy, které by mohly konkurovat růstu cílového mycelia nebo dokonce substrát znehodnotit. Nejčastěji se používá parní sterilizace při teplotě přibližně 121 °C po dobu 30 až 60 minut. Alternativně lze využít i pasterizaci při nižších teplotách, která však vyžaduje delší časové intervaly a je méně účinná. V některých případech, zejména u průmyslové výroby, se uplatňuje chemická sterilizace například pomocí peroxidu vodíku, jejíž hlavní výhodou je úspora energie, ale vyžaduje přísnou kontrolu koncentrace a zbytkové kontaminace chemikáliemi.

Sterilizovaný substrát je následně inokulován myceliem. Používá se buď zrnový inokulát, kde jsou hyfy narostlé na sterilizovaných obilných zrnech, nebo tekuté inokulum, které je výhodné pro rovnoměrné rozprostření v substrátu. Typická inokulační dávka se pohybuje mezi pěti až patnácti procenty hmotnosti substrátu, přičemž vyšší dávky umožňují rychlejší kolonizaci, ale současně zvyšují výrobní náklady. Směs substrátu a inokula se důkladně promíchá a naplní do připravených forem. Formy mohou mít různou podobu v závislosti na požadovaném tvaru a velikosti výsledného výrobku. Používají se jak jednoduché otevřené formy, tak uzavřené systémy, které umožňují lepší kontrolu tvaru a rozměrů. Materiál forem musí být inertní vůči růstu mycelia, mechanicky odolný a zároveň propustný pro plyny, aby bylo zajištěno dostatečné provzdušnění substrátu během růstu.

Fáze růstu, označovaná též jako inkubační, probíhá v řízeném mikroklimatu. Optimální teplota se pohybuje v rozmezí 20 °C – 26 °C a relativní vlhkost vzduchu by měla být udržována okolo 90 %. Mycelium je totiž citlivé jak na nedostatek vlhkosti, tak na její nadbytek, který by mohl vést ke kondenzaci vody a následné kontaminaci substrátu bakteriemi či plísněmi. Během inkubace je nutné zajistit také dostatečný přístup kyslíku, protože mycelium je aerobní organismus a v prostředí s nedostatkem kyslíku růst výrazně zpomaluje nebo se úplně zastavuje.

Doba inkubace závisí na druhu houby, typu substrátu a požadované hustotě prorostení. Obvykle trvá mezi 7 a 21 dní. V průběhu růstu je možné provádět různé zásahy, například remixování substrátu, tedy jeho opětovné rozrušení a přemístění do nové formy. Tím se podporuje rovnoměrné rozprostření mycelia a zvýšení pevnosti výsledného kompozitu. Po dosažení požadovaného stupně prorůstání následuje fáze ukončení růstu, která spočívá v teplotním zpracování materiálu. Sušení se provádí při teplotách mezi 70 °C a 110 °C, přičemž cílem je nejen zastavit biologickou aktivitu mycelia, ale také odstranit přebytečnou vlhkost a stabilizovat rozměry materiálu.

V některých výrobních postupech následuje po sušení ještě lisování materiálu, které může být provedeno za studena i za tepla. Lisování za studena přispívá ke zvýšení hustoty a homogenitě materiálu, zatímco lisování za tepla současně sterilizuje povrch a zvyšuje hydrofobicitu. Teplota při lisování se pohybuje v rozmezí mezi 150 °C až 200 °C, tlak se volí podle požadovaných vlastností a může dosahovat hodnot několika megapascalů.

6.6 VLASTNOSTI MYCELIOVÝCH KOMPOZITŮ

Myceliem pojené kompozity představují materiály s unikátní kombinací fyzikálních, mechanických, tepelných, akustických i biologických vlastností. Tyto vlastnosti závisí na celé řadě faktorů, včetně druhu použité houby, složení a velikosti částic substrátu, podmínek růstu a následného technologického zpracování. Přesto lze na základě dosavadních výzkumů a praktických zkušeností definovat obecné charakteristiky, které tyto materiály vykazují.

Hustota myceliových kompozitů je značně variabilní a pohybuje se obvykle v rozmezí od 60 do 300 kg/m³. Výsledná hustota závisí především na stupni zhuštění substrátu před a během růstu, na použitém substrátu a také na způsobu finálního sušení a lisování. Kompozity určené pro tepelněizolační aplikace mají zpravidla nižší hustotu a vyšší pórovitost, zatímco konstrukční materiály pro výrobu panelů a desek vykazují vyšší hustotu a tím i lepší mechanické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti, zejména pevnost v tlaku a ohybu, jsou limitujícím faktorem pro mnoho potenciálních aplikací. Pevnost v tlaku u nelisovaných kompozitů je obvykle nízká. Při aplikaci lisování, zejména za tepla, může pevnost výrazně vzrůst. Hodnoty pevnosti jsou srovnatelné s některými typy pěnových plastů, jako je expandovaný polystyren, ale nedosahují úrovně tradičních materiálů na bázi dřeva, například překližky nebo dřevotřískové desky.

Z hlediska tepelné vodivosti vykazují myceliové kompozity velmi příznivé hodnoty. Koeficient tepelné vodivosti se běžně pohybuje mezi 0,04–0,08 W/(m·K), což je srovnatelné s běžnými izolačními materiály na bázi minerální vlny či pěnového polystyrenu. Díky vysoké pórovitosti materiálu dochází k omezení vedení tepla jak kondukcí v pevné fázi, tak konvekcí uvnitř pórů, což činí tyto kompozity vhodnými pro použití jako ekologické tepelné izolace ve stavebnictví.

Další významnou vlastností je akustická pohltivost. Díky své pórovité struktuře dokážou myceliové kompozity účinně absorbovat zvukové vlny v širokém spektru frekvencí. Absorpční koeficienty dosahují hodnot přesahujících 70 % již při tloušťkách materiálu kolem 30–50 mm, přičemž nejvyšší účinnost bývá zaznamenána ve středním frekvenčním pásmu okolo 1 kHz. Tyto vlastnosti předurčují materiál pro využití v oblasti akustických obkladů stěn a stropů, ale i v konstrukci protihlukových bariér.

Voděodolnost je jednou ze slabších stránek myceliových kompozitů. Bez dodatečných povrchových úprav je materiál vysoce hygroskopický a schopen absorbovat vodu v množství odpovídajícím až 200 % své suché hmotnosti. Tato vysoká nasákavost vede k poklesu mechanických vlastností a biologické degradaci při dlouhodobém vystavení vlhkosti. Pro zajištění odolnosti proti vodě je proto nutné aplikovat povrchovou impregnaci, nejčastěji přírodními vosky, oleji nebo bio-kompatibilními laky. Alternativní přístup představuje kombinace lisování za tepla a impregnace během výroby, která může snížit nasákavost až o 60 %.

Biologická rozložitelnost patří mezi nejvýraznější přednosti tohoto materiálu. V přírodních podmínkách se myceliové kompozity rozkládají během několika měsíců až 1–2 let v závislosti na složení substrátu, přítomnosti povrchových úprav a okolním mikrobiálním prostředí. Tento fakt činí materiál ideálním pro dočasné aplikace, pro produkty s krátkým životním cyklem nebo pro obalové materiály, kde je biodegradabilita významnou výhodou.

Z hlediska požární bezpečnosti myceliové kompozity vykazují zajímavé vlastnosti. Materiál má tendenci při vystavení vysokým teplotám karbonizovat a vytvářet ochrannou vrstvu, která zpomaluje šíření plamene. Výzkumy ukázaly, že díky vysokému obsahu chitinových struktur a přirozené nízké hustotě lze dosáhnout zpoždění doby do vznícení ve srovnání s běžnými polymerními materiály. Přesto je třeba říct, že bez speciálních retardantních úprav kompozity stále patří mezi snadno vznětlivé materiály a jejich použití v požárně exponovaných aplikacích je limitované.

V oblasti hygienických a zdravotních aspektů je mycelium přirozeně vybaveno schopností inhibovat růst některých patogenních mikroorganismů, zejména díky produkci antibakteriálních a antifungálních metabolitů. To poskytuje materiálu určitou přirozenou odolnost vůči mikrobiálnímu napadení, což může být výhodné například při použití v interiérových obkladech nebo nábytkových konstrukcích.

V neposlední řadě je nutno zmínit také estetické vlastnosti. Povrch myceliových kompozitů je charakteristický jemnou, někdy lehce sametovou strukturou s viditelnými myceliálními vlákny a zbytky substrátu. Barva materiálu kolísá od bělavé přes světle béžovou až po světle hnědou v závislosti na typu substrátu a podmínkách sušení. Tyto přírodní odstíny spolu s originální texturou činí kompozity vizuálně atraktivními a ideálními pro použití v oblasti interiérového designu a architektury.



Obrázek 36 Zkušební tělesa myceliových kompozitů

6.7 VYUŽITÍ MYCELIOVÝCH KOMPOZITŮ

Rozvoj technologií výroby myceliových kompozitů umožnil postupné rozšiřování jejich využití v různých odvětvích průmyslu, stavebnictví, designu i v ekologických iniciativách. Charakteristická kombinace fyzikálních, mechanických a biologických vlastností těchto materiálů otevírá široké spektrum možností, přičemž pro každou aplikaci je nutné zohlednit specifické požadavky na vlastnosti, vzhled i environmentální dopad.

Jednou z nejvýznamnějších oblastí využití jsou tepelněizolační materiály. Díky nízké hustotě v rozmezí 60–120 kg/m³ a příznivému součiniteli tepelné vodivosti mezi 0,04–0,08 W/(m·K) se myceliové kompozity staly konkurenceschopnou alternativou k tradičním izolačním materiálům, jako jsou minerální vaty či pěnový polystyren. Izolační panely z mycelia jsou vhodné zejména pro vnitřní použití v obvodových konstrukcích budov. Velkou výhodou je biodegradabilita a netoxičita, což umožňuje jejich využití v ekologických a pasivních domech, kde jsou kladeny vysoké nároky na zdravé vnitřní prostředí.

Vedle tepelné izolace nacházejí myceliové kompozity uplatnění i v oblasti akustických aplikací. Akustické obklady a panely vyrobené z mycelia vykazují vynikající schopnost pohlcovat zvuk, zejména v pásmu frekvencí 500–2000 Hz, kde dochází k dosažení absorpčních koeficientů vyšších než 0,7. Takové panely jsou využívány v koncertních sálech, nahrávacích studiích, kancelářských budovách, ale i v domácnostech jako esteticky zajímavé a ekologicky příznivé řešení útlumu hluku.

Dalším významným segmentem je výroba obalových materiálů. V této oblasti se využívají zejména nízkohustotní varianty myceliových kompozitů, které slouží jako alternativy k pěnovým plastům při ochraně křehkých výrobků, například elektroniky, skla či jemných výrobků. Obalové prvky z mycelia lze snadno tvarovat do různých forem, mají výbornou schopnost pohlcovat nárazy a po ukončení své funkce jsou kompletně kompostovatelné, což přispívá ke snížení environmentální zátěže v oblasti jednorázových obalů.

Významnou roli sehrávají myceliové kompozity také v interiérovém designu a nábytkářství. Výrobky jako jsou sedací kostky, konferenční stoly, světelné objekty či dekorativní panely využívají přirozenou estetiku myceliálních struktur a přírodních odstínů, čímž přinášejí do interiérů nový, organický rozměr. Estetická hodnota mycelia je často spojována s filozofií biofilního designu, který se snaží přiblížit člověka zpět k přírodě a podporovat jeho psychickou pohodu.

V architektuře se myceliové kompozity objevují zejména ve formě experimentálních pavilonů, instalací a dočasných konstrukcí. Díky schopnosti mycelia prorůstat formami a samovolně vytvářet stabilní trojrozměrné struktury je možné navrhovat a realizovat organicky tvarované stavby s minimálním množstvím spojovacích prvků. Tyto struktury jsou atraktivní nejen svým vzhledem, ale i svou filozofií životního cyklu, kde se stavba po ukončení své existence rozloží zpět do přírody, aniž by zanechala trvalou ekologickou stopu.

V oblasti ekologických iniciativ a vzdělávacích projektů se myceliové kompozity využívají jako nástroj demonstrace principů cirkulární ekonomiky, udržitelnosti a biologického návratu materiálů. Školní projekty, workshopy a komunitní iniciativy využívají jednoduchost a přístupnost pěstování myceliových struktur k šíření povědomí o alternativních materiálech a o možnostech odpovědnějšího přístupu ke spotřebě surovin.

V posledních letech se objevují také aplikace v oblasti biomedicíny, kde jsou zkoumány možnosti využití myceliálních struktur například pro výrobu biodegradabilních implantátů, opěrných struktur pro tkáňové inženýrství nebo jako nosiče léčiv. Významnou perspektivu představuje také použití v módním průmyslu, kde jsou vyvíjeny technologie výroby textilií a koženky na bázi mycelia. Produkty jako jsou kabelky, boty nebo oděvy vyrobené z myceliálních vláken kombinují vysokou estetickou hodnotu s ekologickým profilem, což odpovídá rostoucím požadavkům trhu na udržitelnou módu.



Obrázek 37 Příklad využití – obalový materiál, dekorativní prvek a substrát pro parfém

6.8 VÝHODY A NEVÝHODY MYCELIOVÝCH KOMPOZITŮ

Myceliem pojené kompozitní materiály představují inovativní přístup k výrobě konstrukčních i izolačních prvků s důrazem na ekologickou šetrnost a obnovitelnost zdrojů. Mezi jejich hlavní výhody patří především vysoká míra biologické rozložitelnosti, která umožňuje snadný návrat materiálu zpět do přírodního koloběhu bez vzniku toxických zbytků. Výroba těchto materiálů je energeticky nenáročná a umožňuje efektivní využití odpadních lignocelulózových surovin, což přispívá k principům cirkulární ekonomiky a snižuje uhlíkovou stopu.

Z hlediska vlastností nabízejí myceliové kompozity velmi dobré tepelněizolační a akustickoizolační schopnosti při nízké hmotnosti. Materiál je přirozeně netoxický, nevypouští těkavé organické látky a je vhodný i pro aplikace v interiérech se zvýšenými hygienickými nároky. Estetický potenciál přírodních struktur a barevného spektra navíc rozšiřuje možnosti využití v oblasti designu a architektury.

Na druhé straně existují určité nevýhody, které limitují širší průmyslové uplatnění. Největším problémem je relativně nízká mechanická odolnost ve srovnání s konvenčními materiály na bázi dřeva nebo plastovými materiály. Bez lisování nebo dodatečných úprav bývá pevnost v tlaku a ohybu nedostatečná pro nosné konstrukce. Další slabinou je vysoká hygroskopicitata, která vede k absorpci vody, poklesu mechanických vlastností a biologické degradaci při dlouhodobém vystavení vlhkému prostředí.

Problematická je také absence široce standardizovaných výrobních postupů, což ztěžuje předvídatelnost vlastností a brání masovému rozšíření materiálu v průmyslových odvětvích, kde je důležitá přesná specifikace parametrů. Z hlediska požární odolnosti bez retardantních úprav materiál vykazuje relativně snadnou vznětlivost, což omezuje jeho použití v exponovaných stavebních konstrukcích.

6.9 SHRnutí KAPITOLY

Kompozitní materiály pojené myceliem hub představují nově se rozvíjející kategorii kompozitů, které propojují obnovitelné lignocelulóznové substráty s myceliální strukturou saprotrfních hub. Tato spojení vznikají prostřednictvím přirozeného prorůstání substrátu hyfami, které působí jako organické pojivo a vytvářejí trojrozměrnou síť schopnou pojit jednotlivé částice do pevného a soudržného celku. Výsledný kompozit je tvořen směsí zbytkového substrátu a biomasy houby a nese znaky přírodního porézního materiálu s řadou zajímavých technických i estetických vlastností.

Výroba těchto materiálů probíhá v několika navazujících fázích, které zahrnují přípravu a úpravu surovin, inokulaci, řízený růst a tepelnou stabilizaci. Klíčovým prvkem celého procesu je volba vhodného substrátu, jehož složení, velikost částic a vlhkost určují kvalitu růstu a mechanické vlastnosti kompozitu. Biologické požadavky houby na teplotu, vlhkost a přístup kyslíku musí být dodrženy s vysokou přesností, jinak dochází k heterogennímu růstu, tvorbě prázdných míst nebo rozvoji konkurenčních mikroorganismů. Výsledné materiály vykazují typicky nízkou hustotu, vysokou poréznost a s tím související dobré tepelněizolační a akustickoizolační vlastnosti. Koeficient tepelné vodivosti v rozmezí 0,04–0,08 W/(m·K) a akustická pohltivost nad 70 % při frekvenci kolem 1 kHz činí z těchto materiálů výbornou alternativu k tradičním pěnovým izolacím. Mechanické vlastnosti jsou výrazně variabilní a lze je cíleně ovlivňovat například lisováním za tepla. Bez těchto úprav však materiály vykazují pouze nízkou pevnost, což omezuje jejich použití v konstrukčních aplikacích. Významnou slabinou zůstává vysoká hygroskopicitá.

Z hlediska ekologického profilu nabízejí tyto kompozity významné výhody. Jsou vyrobeny z odpadních surovin, mají nízkou energetickou náročnost výroby, jsou zcela biodegradabilní a neobsahují zdraví škodlivé látky. Tím splňují požadavky současné bioekonomiky i cirkulární strategie ve stavebnictví, designu i balení výrobků. Jejich využití se rozšiřuje zejména v oblasti tepelných a akustických izolací, v obalovém průmyslu a čím dál více také v architektuře a interiérovém designu. Estetický potenciál přírodního vzhledu mycelia a jeho schopnost vytvářet originální struktury bez použití syntetických lepidel zaujímá stále větší pozornost i v oblasti produktového a módního designu.

Současný výzkum se soustředí na zlepšování mechanických vlastností, zvýšení voděodolnosti, stabilizaci objemových změn a možnost průmyslové standardizace. Vedle technologických otázek se řeší i možnosti genetické selekce hub, návrh optimalizovaných substrátových směsí a vývoj nových metod lisování a sušení. Myceliové kompozity nejsou univerzálním materiálem schopným nahradit všechny konvenční produkty na bázi plastů nebo dřeva. Přesto představují klíčový prvek nové generace materiálů založených na principech přírodní obnovitelnosti, biologické funkce a minimalizace ekologického dopadu. V oblastech, kde nejsou kladeny extrémní nároky na mechanickou odolnost nebo trvalou vlhkostní stabilitu, mají tyto materiály potenciál nahradit konvenční materiály ekologickou, kompostovatelnou a zdravotně nezávadnou alternativou.

6.10 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaký biologický proces zajišťuje spojení částic substrátu v myceliových kompozitech?
- Proč je důležitá optimalizace velikosti částic substrátu při přípravě směsí?
- Jaké výhody přináší využití odpadních lignocelulóznových materiálů při výrobě?
- Jaké mikroklimatické podmínky jsou ideální pro růst mycelia během inkubace?
- Jakým způsobem se zastavuje růst mycelia po dosažení požadovaného prorůstání?
- Jak ovlivňuje lisování výsledné mechanické vlastnosti myceliového kompozitu?
- V jakém rozsahu se pohybuje hustota těchto kompozitů a na čem závisí?
- Jaká je tepelněizolační schopnost myceliových kompozitů ve srovnání s tradičními izolačními materiály?
- Proč jsou tyto materiály vhodné pro výrobu ekologických obalů?
- Jaké estetické kvality činí tento materiál atraktivním pro design a architekturu?
- Které vlastnosti omezují širší průmyslové využití těchto materiálů?

6.11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., ... & Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71.
- Girometta, C., Picco, A. M., Baiguera, R. M., Dondi, D., Babbini, S., Cartabia, M., ... & Savino, E. (2019). Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: A review. *Sustainability*, 11(1), 281.
- Hýsek, Š., Daňková, M., Jozífek, M., Němec, M., & Wimmer, R. (2023). Mycelium-based biocomposites from recycled wood: influence of fungal species on properties of biocomposites. Proceedings of the 32th International Conference on Wood Science and Technology - ICWST 2023 „UNLEASHING THE POTENTIAL OF WOOD-BASED MATERIALS“, 83–89.
- Jones, M., Bhat, T., Kandare, E., Thomas, A., Joseph, P., Dekiwadia, C., ... & Wang, C. H. (2018). Thermal degradation and fire properties of fungal mycelium and mycelium-biomass composite materials. *Scientific reports*, 8(1), 17583.
- Sydor, M., Bonenberg, A., Doczekalska, B., & Cofta, G. (2021). Mycelium-based composites in art, architecture, and interior design: a review. *Polymers*, 14(1), 145.
- Yang, L., Park, D., & Qin, Z. (2021). Material function of mycelium-based bio-composite: A review. *Frontiers in Materials*, 8, 737377.

7 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY Z ALTERNATIVNÍCH SUROVIN

7.1 ÚVOD

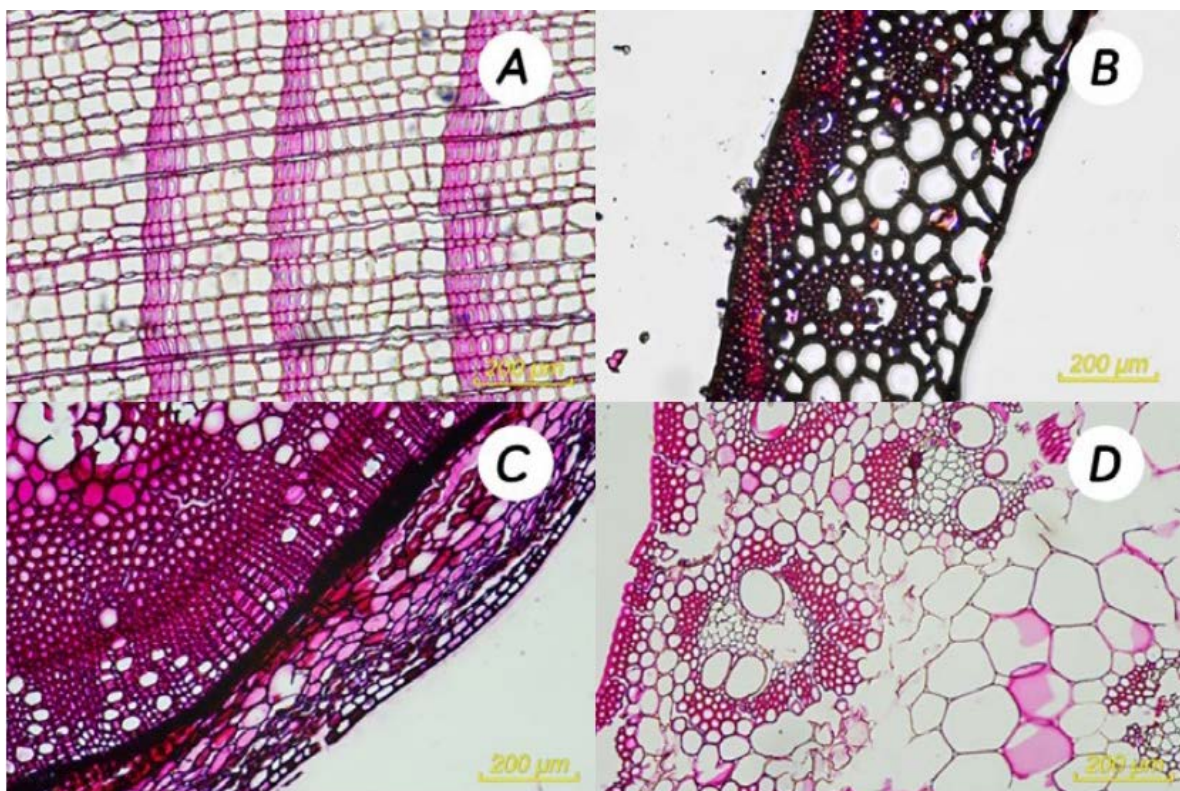
V posledních desetiletích dochází ve výrobě deskových materiálů na bázi dřeva k významnému posunu ve vnímání surovinové základny. Klasické dřevo, jakkoliv je obnovitelným a tradičně využívaným materiálem, se postupně stává ekonomicky méně dostupným zdrojem, a to zejména v důsledku rostoucí poptávky, omezené kapacity lesních porostů a environmentálních tlaků na zachování biodiverzity. To vede výrobce i výzkumné instituce ke snahám o diverzifikaci vstupních surovin a intenzivnímu výzkumu alternativních lignocelulózových materiálů.

Alternativní suroviny pro výrobu kompozitních desek představují velmi širokou skupinu materiálů, která zahrnuje jak zbytky ze zemědělství, tak i rostlinné druhy pěstované cíleně pro technické účely. Nejčastěji se jedná o slámu (zejména pšeničnou, řepkovou, kukuřičnou), stonky olejnin, traviny typu miscanthus, konopné a lněné pazdeří, ale i zbytky z potravinářství, jako jsou výlisky z olejnatých semen nebo slupky ořechů. Mezi méně konvenční suroviny se řadí například bagasa (zbytek po lisování cukrové třtiny), slupky ze zpracování obilovin, výlisky z pivovarského průmyslu nebo dokonce částice z rychle rostoucích bylin a plevelů. Zásadním stimulem pro jejich využití je koncept udržitelného hospodaření s přírodními zdroji, který klade důraz na recyklaci, opětovné využití vedlejších produktů a na snižování ekologické stopy průmyslové výroby. Suroviny tohoto typu jsou dostupné v obrovském množství, přičemž značná část z nich je v současnosti nevyužitá nebo pouze spalovaná. Například jen v Evropské unii vznikají každoročně desítky milionů tun slámy, z nichž významná část může být technicky využita bez negativního vlivu na půdu nebo ekosystém.

Vedle environmentálního aspektu hraje roli i aspekt ekonomický. Náklady na získání alternativních surovin bývají nižší než v případě tradičního dřeva, a to zejména při využití již existující zemědělské techniky a logistiky. Díky kratším vegetačním cyklům je možné dosáhnout vyšších výnosů sušiny na hektar a rychlejší obnovitelnosti, čímž se zvyšuje atraktivita těchto materiálů i z hlediska průmyslového plánování. Přestože technický výzkum kompozitů z alternativních surovin probíhá již několik dekád, stále existují zásadní výzvy spojené s jejich praktickou implementací do komerční výroby. Mezi hlavní problémy patří nižší homogenita, vyšší hydroskopicitu, rozdílná morfologie a chemické složení částic v porovnání s dřevními třískami, což komplikuje procesy lepení, sušení a lisování. Vysoký obsah vosků, popela či dusíkatých sloučenin může negativně ovlivňovat jak mechanické vlastnosti výsledného produktu, tak i chování během zpracování.

Současně s tím je však třeba zmínit, že vývoj vhodných úprav (např. plazmová, chemická či enzymatická modifikace povrchu částic) a optimalizace technologických procesů (např. lisovacích cyklů, typů lepidel a přísad) umožnily vyrobit deskové materiály z alternativních surovin s vlastnostmi srovnatelnými s konvenčními dřevotřískovými deskami. V některých případech, jako například u desek na bázi pšeničné nebo řepkové slámy, bylo dosaženo nižší spotřeby energie při výrobě a lepších parametrů z hlediska tvarové stálosti a požární odolnosti.

Cílem této kapitoly je podat komplexní přehled o možnostech využití alternativních lignocelulózových surovin pro výrobu aglomerovaných kompozitních desek. Kapitola vychází z výsledků vědeckého výzkumu i z praktických zkušeností pilotních výrob a poskytuje odborný rámec pro další aplikace těchto materiálů v oblasti moderní výroby desek na bázi dřeva.



Obrázek 38 Mikroskopický snímek řezu dřevem (a), stonkem pšenice (b), stonkem řepky (c) a stonkem kukuřice (d)

7.2 PŘEHLED ALTERNATIVNÍCH SUROVIN

Alternativní lignocelulózové suroviny představují rozmanitou skupinu materiálů, které se liší svým botanickým původem, morfologií, obsahem celulózy, dostupností, sezónností i technologickou zpracovatelností. Z hlediska jejich potenciálu pro výrobu kompozitních desek je důležité hodnotit nejen jejich chemické a fyzikální parametry, ale také stabilitu dodávek, logistickou dostupnost a konkurenceschopnost v rámci stávajících průmyslových toků. V následujícím přehledu uvádíme nejvýznamnější skupiny alternativních surovin, které byly testovány či již komerčně využity pro výrobu deskových materiálů.

7.2.1 Zemědělské zbytky

Pšeničná sláma

Pšeničná sláma představuje jeden z nejdostupnějších alternativních materiálů pro využití v průmyslu výroby aglomerovaných desek. Vzniká jako vedlejší produkt při sklizni obilí a v zemích s vysoce rozvinutým zemědělstvím se každoročně produkují desítky milionů tun této biomasy. Ve většině případů je sláma ponechána na poli k zapravení do půdy nebo se spaluje, přičemž pouze menší podíl se využívá pro energetické účely, stelivo nebo v malém měřítku jako surovina pro lisované panely. Z hlediska celkové dostupnosti a územního rozložení se jedná o materiál s velkým potenciálem pro decentralizovanou výrobu kompozitních materiálů v regionech s intenzivní zemědělskou produkcí.

Po technologické stránce má pšeničná sláma několik vlastností, které určují její vhodnost pro aglomeraci. Průměrná délka xylémových vláken se pohybuje v rozmezí 0,4 až 3,2 mm a šířka v rozmezí 8 až 34 µm. Vysoký obsah hemicelulóz a voskových vrstev na povrchu částic však ztěžuje navázání lepidla, zejména při použití klasických UF pryskyřic. Tato voskovitá vrstva zároveň působí jako přirozená bariéra proti vlhkosti, ale v technologickém procesu lepení je třeba ji narušit nebo odstranit. K tomu se používají různé metody povrchové úpravy, například alkalické čištění (NaOH), plazmová modifikace nebo kombinované chemicko-fyzikální postupy. Nutná je rovněž

úprava frakce po drcení, protože nezpracovaná sláma často obsahuje podíl jemného prachu a zlomků, které negativně ovlivňují rovnoměrnost a pevnost výsledného materiálu. Výhodou pšeničné slámy oproti dřevu je její relativně nízká měrná hmotnost a dobrá dostupnost v sezónních špičkách. Lisování směsi s pšeničnými částicemi vyžaduje mírně odlišné podmínky než v případě dřevotřískových desek – zejména nižší teploty a tlaky, které vedou k dosažení dostatečné soudržnosti. Mechanické vlastnosti desek z pšeničné slámy bývají při vhodném nastavení technologie srovnatelné s deskami P1 až P2 podle EN 312, a to zejména v kombinaci s vhodným typem pojiva (např. pMDI). Současně se u těchto desek objevuje nižší objemová hmotnost, což může být výhodou při použití ve stavebních systémech s požadavkem na tepelněizolační vlastnosti. V rámci výzkumu i komerční praxe je pšeničná sláma nejčastěji používanou alternativní surovinou a tvoří základ technologických modelů pro další typy rostlinných materiálů.



Obrázek 39 Řez třískovou deskou z pšeničné slámy

Řepková sláma

Řepková sláma vzniká jako vedlejší produkt při pěstování řepky olejné, která je v současnosti jednou z nejrozšířenějších zemědělských plodin v Evropě. V České republice se jedná o plodinu s vysokou mírou zastoupení v osevních postupech, což z ní činí prakticky každoročně dostupný a stabilní zdroj lignocelulózové biomasy. Výnos slámy z jednoho hektaru se u ozimé řepky pohybuje mezi 4–6 tunami, přičemž podle studií lze z hlediska udržitelnosti bez ohrožení půdní úrodnosti odstranit až 50 % této biomasy z pole. To vytváří značný teoretický potenciál pro její průmyslové zpracování, a to nejen v oblasti energetiky, ale i jako suroviny pro výrobu kompozitních materiálů.

Řepková sláma je specifická svou anatomickou stavbou, která se zásadně liší od obilné slámy i od dřeva. Mikroskopická struktura obsahuje dutá internodia s rozptýlenými cévními svazky a nízkým podílem lignifikovaných buněk. To způsobuje nižší měrnou hmotnost částic a jejich vyšší pórovitost, což může být výhodné z hlediska akustických a tepelněizolačních vlastností výsledného kompozitu, ale zároveň komplikuje proces lisování a dosažení dostatečné mechanické soudržnosti. Typická vlákenná struktura řepkového stonku vykazuje průměrné rozměry vláken o délce 0,7–2 mm a šířce 9–20 μm . Z technologického hlediska je zpracování řepkové slámy výhodné zejména díky nižší energetické náročnosti při drcení, což bylo prokázáno i experimentálně – energetická spotřeba je až o 50 % nižší než u klasického roztřískování dřeva. Významným faktorem při přípravě této suroviny je však její vysoký obsah dusíkatých sloučenin a popela, které mohou negativně ovlivňovat chemii vytvrzování některých typů pojiv. V praxi se proto nejčastěji uplatňují polyuretanové a pMDI pryskyřice, které lépe snášejí přítomnost reaktivních složek. Výsledné kompozitní desky z řepkové slámy vykazují velmi dobré parametry. U vhodně nastavené technologie lze dosáhnout hodnot rozlupčivosti přes 0,3 MPa a ohybové pevnosti přes 10 MPa, což odpovídá kvalitativní třídě P2 podle EN 312.

Kukuřičné stonky a šustí

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je v evropských podmínkách významnou plodinou, jejíž produkce je zaměřena primárně na sklizeň klasů a zrna. Vedlejším produktem při sklizni jsou však objemné zbytky nadzemní biomasy. Tyto materiály se souhrnně označují jako corn stover. V současnosti jsou z větší části ponechávány na poli pro obnovu organické hmoty v půdě nebo využívány k energetickým účelům, přesto však značné množství zůstává bez dalšího užitku. Ročně se v rámci EU odhaduje produkce kukuřičných zbytků na více než 50 milionů tun, což z něj činí velmi dostupný a geograficky široce rozšířený zdroj lignocelulózového materiálu. Z technologického hlediska je kukuřičný stoněk složen z tvrdé a odolné dřevě obklopené tenčími vrstvami slupkovitých pletiv. Tato struktura vytváří rozdílné mechanické vlastnosti v různých směrech a zároveň ztěžuje rovnoměrné rozmělnění na vhodnou frakci. Kukuřičné částice vykazují po drcení větší variabilitu velikosti než dřevo a často obsahují jak příliš dlouhá vlákna, tak jemný prášek. Vlákna ze stonků dosahují délky 8–15 mm a šířky 14–24 μm , čímž se z hlediska geometrie blíží měkkému dřevu, ale mají nižší hustotu a vyšší podíl vzduchových dutin. Tyto dutiny zajišťují dobrou akustickou a tepelnou izolaci, avšak negativně ovlivňují objemovou stabilitu při vlhkostních změnách.

Chemické složení kukuřičného stonku se vyznačuje vyšším obsahem hemicelulóz a ligninu v porovnání s obilnou slámou, což se pozitivně projevuje na vyšší rozměrové stabilitě a lepší odolnosti vůči biologickému napadení. Z pohledu zpracování je důležitý relativně vysoký obsah popelovin (až 6 %), přičemž hlavními složkami jsou silikáty a uhličitany, které mohou ovlivňovat kvalitu lepeného spoje a zvyšovat abrazivitu vůči technologickým zařízením.

Využití kukuřičného stonku pro výrobu aglomerovaných desek bylo ověřeno v řadě výzkumů, zejména při kombinaci s dřevními částicemi nebo jinými rostlinnými komponenty. Kompozitní desky s podílem kukuřičné suroviny 30–60 % vykazují mechanické vlastnosti odpovídající třídám P1 až P2 podle EN 312, v závislosti na použitém pojivu. Nejčastěji se osvědčilo použití polyuretanových (pMDI) pryskyřic. Přestože je kukuřičná sláma méně homogenní než jiné alternativní suroviny, její dostupnost, nízká cena a výborné izolační vlastnosti z ní činí významný komponent při hledání nových typů desek na bázi přírodních materiálů.

Plevy a otruby

Plevy a otruby jsou jemné lignocelulózové částice vznikající při mechanickém zpracování obilovin, především při loupání, čištění a mletí zrna. Obilné plevy tvoří ochranné obaly zrna a jsou přirozeně odolné vůči degradaci a vlhkosti, což zajišťuje jejich stabilitu během skladování. Ročně vznikají v Evropě stovky tisíc tun těchto vedlejších produktů, které jsou v současnosti využívány převážně jako podestýlka, krmivo s nízkou nutriční hodnotou nebo pálivo. Využití plev a otrub jako vstupní suroviny pro výrobu kompozitních desek představuje ekologicky i ekonomicky výhodné řešení, jelikož jde o materiál běžně dostupný v zemědělských regionech a ve většině případů je považován za odpadní. Z hlediska morfologie se plevy skládají z velmi jemných, úzkých a zakřivených částic. Vlákenná složka plev se vyznačuje krátkými vlákny (0,5–2 mm) s průměrem 5–15 μm , čímž se řadí mezi mikročástice. Významnou složkou je voskovitý povrch bohatý na silikáty, který je z hlediska lepení nepříznivý – snižuje smáčivost a brání tvorbě pevných chemických vazeb s pojivem. Z technologického hlediska je proto nezbytná předúprava povrchu, ať už chemická, nebo fyzikální (např. plazmová modifikace), případně kombinace obojího.



Obrázek 40 Pšeničné plevy

Plevy mají velmi nízkou objemovou hmotnost, což výrazně ovlivňuje sypanou hustotu směsi i výslednou strukturu kompozitu. Z tohoto důvodu se plevy nejčastěji používají jako příměs do směsi s jinými typy částic – nejčastěji dřevními třískami, slámou nebo konopným pazdeřím – v objemovém podílu do 20 %. Při výrobě kompozitních desek s obsahem plev se ukazuje jako klíčová úprava povrchu částic pro zajištění dostatečné adheze. Výzkumy ukázaly, že ošetření alkalickým roztokem (např. 2% NaOH) vede k odstranění části povrchových vosků a ke zvýšení obsahu ligninu ve zbytkové matici, což má za následek zlepšení smáčivosti, ale zároveň i nárůst rovnovážné vlhkosti částic a vyšší bobtnavost. Naopak hydrotermální nebo plazmatická úprava vedla ke zvýšení povrchové energie bez negativního vlivu na strukturu částic, což vedlo ke zlepšení mechanických parametrů desek.

Plevy a otruby tak představují zajímavý doplňkový komponent pro výrobu lehkých desek, především s izolačním nebo difúzně otevřeným charakterem. Díky jejich nízké hustotě a nízké ceně lze s jejich pomocí optimalizovat hmotnostní poměr vstupních surovin a cílit na specifické aplikace ve stavebnictví (vnitřní výplně, podhledy, sendvičové izolační panely). Jejich využití však vyžaduje precizní kontrolu kvality vstupního materiálu, zejména pokud jde o čistotu, vlhkost a velikostní rozdělení.

Tabulka 3 Rozměry xylémových vláken stonků různých rostlin

Plodina	Délka vlákna (mm)	Šířka vlákna (μm)
rýže	0,4–3,4	4–16
kukuřice	0,5–2,9	14–24
pšenice	0,4–3,2	8–34
řepka	0,7–2,0	9–20

Dřevo	Délka vlákna (mm)	Šířka vlákna (μm)
jehličnaté d.	2,0–6,0	20–40
listnaté d.	0,3–2,2	17–42

7.2.2 Průmyslové zbytky

Bagasa

Bagasa je vláknitý zbytek po extrakci šťávy z cukrové třtiny. V oblastech s rozvinutým cukrovarnickým průmyslem, kde se tato surovina využívá, především v jižní Americe, jihovýchodní Asii a Africe, vzniká každoročně více než 300 milionů tun této lignocelulóзовé biomasy. Ačkoli je bagasa primárně využívána jako palivo pro parní kotle přímo v cukrovarech, značná část z ní zůstává nevyužita. Díky svému chemickému složení a vláknité struktuře se bagasa nabízí jako atraktivní surovina pro výrobu aglomerovaných desek, zejména v oblastech s omezeným přístupem ke klasické dřevní surovině. Z technologického hlediska je bagasa bohatá na celulózu (až 45 %), hemicelulózy (přibližně 28 %) a obsahuje relativně nízké množství ligninu (přibližně 20 %). Vlákná bagasy dosahují délky 0,8–2,5 mm a průměru 10–30 μm, což je činí srovnatelnými s krátkými dřevními vlákny používanými v MDF deskách. Materiál má nízkou hustotu (kolem 140–180 kg/m³) a vysoký podíl mezibuněčných dutin, což přispívá k jeho výborným izolačním vlastnostem.

Jedním z hlavních technologických problémů při použití bagasy je její vysoká hygroskopičnost a sklon k mikrobiálnímu rozkladu. Po extrakci cukerné šťávy zůstává v materiálu reziduální množství jednoduchých cukrů a organických kyselin, které urychlují fermentaci a degradaci, zejména při vyšších teplotách a vlhkosti. Proto je nezbytné materiál bezprostředně po zpracování rychle usušit (obvykle na absolutní vlhkost nižší než 8 %) a dále zpracovávat nebo skladovat v suchých podmínkách. Navíc je třeba odstranit nežádoucí složky, jako jsou zbytky šťávy, jemný prach a lepkavé látky, které mohou ovlivňovat další zpracování.

Z hlediska lepení se bagasa osvědčila především v kombinaci s močovino-formaldehydovými a fenol-formaldehydovými pryskyřicemi. Alternativně jsou testována biolepidla na bázi taninů, ligninu nebo bílkovin, jejichž chemická afinita k vláknům bagasy umožňuje výrobu kompozitů zcela bez formaldehydu. V komerčních aplikacích se bagasa může použít pro výrobu MDF a HDF desek, často v kombinaci s malým podílem dřevní vlákniny, aby se dosáhlo lepších mechanických vlastností a snížila křehkost desek.

Hotové desky z bagasy vykazují velmi dobré tepelněizolační parametry ($\lambda = 0,045 - 0,065 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Při výrobě desek s vyšší hustotou lze vyrobit desky spadající do kategorie P2 nebo P3 podle EN 312. Nevýhodou může být mírně zvýšená nasákavost, avšak tento parametr lze účinně regulovat povrchovou impregnací nebo aplikací vodoodpudivých aditiv do lepicí směsi.

Desky na bázi bagasy jsou využívány především v oblastech, kde je její produkce stabilní a dostatečně centralizovaná – zejména v Brazílii, Indii, Pákistánu nebo na Filipínách. Slouží jako alternativní surovina pro výrobu nábytku, obkladových materiálů, interiérových konstrukcí a dokonce i akustických panelů. V posledních letech se objevují také hybridní panely kombinující bagasu s rychle rostoucími travinami (např. elephant grass). V Evropě zatím naráží širší využití bagasy na absenci domácí produkce cukrové třtiny, avšak její charakteristiky poskytují důležitý referenční model pro zpracování jiných vláknitých agroodpadů.

Pivovarské mláto

Pivovarské mláto či pivovarské výlisky (anglicky brewer's spent grain – BSG), jsou největším objemovým vedlejším produktem pivovarnictví. Vznikají při výrobě piva po extrakci škrobových složek ze sladovaného ječmene. Zbývá biomasa obsahuje nerozpustné vlákniny, bílkoviny a lipidy, které jsou z hlediska potravinářství jen omezeně využitelné, avšak představují hodnotný surovinový zdroj pro bio-kompozitní materiály. Vzhledem k rozšířenosti pivovarů ve střední Evropě (včetně malých a středních výrobců) se jedná o lokálně dobře dostupnou surovinu s relativně stabilní produkcí během celého roku.

Pivovarské výlisky se skládají převážně z vlákniny (okolo 50 %), zejména nestravitelné celulózy a hemicelulózy, a dále zbytkových bílkovin (do 30 %) a tukových složek (do 10 %). Významné je také vysoké množství vlhkosti v čerstvém stavu – běžně přes 75 % absolutní vlhkosti, což vyžaduje sušení pro jakékoli materiálové využití. Bez sušení výlisky rychle podléhají mikrobiálnímu rozkladu. Po vysušení a namletí mají částice velikost v rozmezí 0,2–2 mm a vláknitou až práškovitou konzistenci. Z mechanického hlediska není štíhlostní poměr částic pro využití v kompozitech ideální, avšak díky vysokému obsahu bílkovin a schopnosti absorbovat pojivo mohou přispívat ke zlepšení mechanických vlastností v hybridních kompozitech ve směsi s jinými vlákny.

Použití pivovarských výlísků v kompozitech je obvykle omezeno na nižší objemové podíly – zpravidla do 10–15 %, a to jako aditivum k hlavní složce (např. dřevním třískám nebo slámě). Důvodem jsou nevhodné mechanické vlastnosti při vyšší koncentraci: dochází ke snížení ohybové pevnosti, zvýšení bobtnání a výraznému zhoršení rozměrové stálosti. Výlisky mají vysokou kapacitu pro absorpci vody a pojiv, což může vést k nestejnomyšlnému vytvrzení pojivové složky. Zároveň však byly popsány případy, kdy malé přídavky výlísků vedly k pozitivnímu efektu – například zvýšení rozlupčivosti díky přirozené lepivosti bílkovin a přítomnosti aminokyselin s reaktivními skupinami ($-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$), které chemicky interagují s pojivy na bázi formaldehydu i pMDI. Z praktického hlediska je jednou z výzev při použití pivovarských výlísků jejich silné biologické aroma a tmavě hnědá barva, která se může negativně projevit na vizuálních vlastnostech finálních desek. Při použití ve stavebních materiálech to nevadí, ale pro nábytkářské aplikace je nutné materiál překrýt dekorační vrstvou. Výzkumy rovněž ukazují, že použití mláta může mít pozitivní vliv na požární odolnost desek díky zvýšenému obsahu dusíkatých sloučenin, které při pyrolyze vytvářejí inertní plyny a zabráňují šíření plamene.

Z environmentálního hlediska je využití pivovarských výlísků v deskových kompozitech velmi přínosné – přináší nejen recyklaci stabilně vznikajícího průmyslového odpadu, ale také snižuje potřebu konvenčních surovin a množství pojiva. Významné pilotní projekty probíhají v Rakousku, Německu a Nizozemsku, kde je snaha integrovat tyto výlisky do cirkulárního biohospodářství, zejména v kombinaci s dalšími agroprůmyslovými zbytky. V budoucnu se očekává rozšíření využití této suroviny zejména v produkci lehkých obkladových desek, akustických panelů a dalších nekonstrukčních aplikací, kde je kladen důraz na nízkou hmotnost, poréznost a ekologický profil produktu.

7.2.3 Technické rostliny

Konopné a lněné pazdeří

Pazdeří je dřevnatá část stonku, která zůstává po oddělení dlouhého lýkového vlákna při zpracování technického konopí nebo lnu. Zatímco lýková vlákna nacházejí uplatnění v textilním či automobilovém průmyslu, pazdeří je často považováno za vedlejší produkt s omezeným využitím, zejména pro podestýlku a jako biomasa pro energetické využití. S ohledem na rostoucí produkci technických plodin v Evropě a zájmem o udržitelné materiály se však pazdeří stále častěji dostává do hledáčku výrobců lehkých kompozitních desek s příznivými ekologickými a tepelněizolačními vlastnostmi. Pazdeří tvoří dřevnatý centrální válec stonku a jeho vlákna mají typicky délku 1–5 mm a šířku 20–50 μm . Morfologicky se podobají velmi lehkému dřevu s vysokým podílem cévních svazků a parenchymatických buněk. Hustota pazdeří se pohybuje v rozmezí 90–140 kg/m^3 , což je výrazně méně než u běžného dřeva. Díky tomu se pazdeří výborně hodí pro výrobu lehkých, porézních desek, které kladou důraz na nízkou hmotnost, dobrou tepelnou a akustickou izolaci. Chemické složení pazdeří se vyznačuje vyšším podílem hemicelulóz (35 %) i celulózy (40 %) a relativně nízkým obsahem ligninu (20 %), což má vliv na jeho vlastnosti při lisování a reakci s lepidly.

Jedním z hlavních problémů při použití pazdeří je jeho vysoká nasákavost a sklon k prašnosti. Materiál obsahuje velké množství otevřených buněčných dutin, které snadno absorbují vodu i pojivo. Dále je důležité materiál důkladně vyčistit – zejména od prachových částic a hlíny, které se během sklizně často hromadí. Tato kontaminace může vést k poruchám při lepení i k předčasnému opotřebení technologických zařízení. Vhodným postupem je mechanické třídění, k čemuž slouží vibrační síta a vzdušné odlučovače.

Při lepení se pazdeří chová podobně jako velmi lehké dřevo. Je dobře kompatibilní s polyuretanovými pojivy (pMDI) i některými biolepidly (např. sójovými nebo na bázi kyseliny citrónové). Lepení pomocí klasických UF nebo MUF pryskyřic je obtížnější, a to především kvůli nižšímu obsahu ligninu a vysoké savosti. Experimentální desky s obsahem pazdeří vykazují při použití pMDI hodnoty rozlupčivosti přes 0,30 MPa a pevnosti v ohybu kolem 12 MPa (při objemové hmotnosti 500–600 kg/m^3), což odpovídá běžným požadavkům na nábytkové nebo obkládkové desky. Díky své porézní mikrostruktuře desky z pazdeří rovněž dosahují velmi nízké hodnoty tepelné vodivosti ($\lambda = 0,040\text{--}0,055 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), čímž se výborně hodí pro izolační účely ve stavebnictví. Z pohledu udržitelnosti má pazdeří mimořádně příznivý profil: jde o rychle obnovitelnou surovinu s krátkým vegetačním cyklem (100–120 dní), s nízkými nároky na půdu a minimálním vstupem agrochemikálií. Produkce pazdeří je navíc přirozeně vázána na výrobu hlavního produktu (lýkového vlákna), čímž dochází k synergii mezi textilním a stavebním průmyslem. Kombinace pazdeří s jinými agroláknitými surovinami (např. slámou nebo miscanthusem) umožňuje optimalizaci směsi podle požadovaných parametrů desky. V posledních letech jsou pazdeřové desky také testovány v kombinaci s jílovými a vápennými složkami, čímž vznikají přírodní kompozity vhodné pro vlhká prostředí nebo interiéry s vysokými nároky na paropropustnost.

V současnosti je pazdeří využíváno zejména v menších pilotních projektech, které cílí na ekologické a energeticky pasivní stavby. Uplatnění nachází jako výplň ve stěnových panelech, akustické podhledy, lehké příčky nebo i jako základní výplňová složka v sendvičových deskách s tuhým vnějším pláštěm. Díky nízké hustotě, biologické odbouratelnosti a regionální dostupnosti se jedná o jednu z nejperspektivnějších surovin pro kompozitní desky s nízkou uhlíkovou stopou.

Ozdobnice obrovská (*Miscanthus × giganteus*)

Ozdobnice obrovská je mohutná, vytrvalá travina, která v posledních letech poutá čím dál větší pozornost nejen jako energetická plodina, ale i jako perspektivní surovina pro výrobu kompozitních materiálů. Pochází z východní Asie, ale díky své nenáročnosti, odolnosti vůči škůdcům i klimatickým výkyvům a výborné produkční schopnosti se dnes pěstuje napříč celou Evropou. Z hlediska produkce biomasy patří k nejvýkonnějším lignocelulózovým plodinám vůbec – na vhodných stanovištích dosahuje výnosů sušiny i přes 40 tun na hektar a rok. Navíc se jedná o plodinu trvalou, která po založení porostu poskytuje úrodu bez nutnosti opakovaného výsevu po dobu více než 15 let. Stonky ozdobnice jsou vzpřímené, duté, s hladkým povrchem, vysoké až 3,5 metru, s průměrem kolem 5–10 mm. Anatomicky vykazují podobnost s bambusem nebo rákosem. Jejich vláknitá struktura je bohatá na celulózu (až

50 %), zatímco obsah ligninu je relativně nízký (okolo 18 %), což usnadňuje jejich zpracování a interakci s pojiv. Hustota materiálu je nízká, obvykle mezi 100–150 kg/m³, díky čemuž je ideální pro výrobu lehkých, dobře izolujících panelů. Při mechanickém zpracování se ze stébel získávají částice připomínající drobné třísky nebo vlákna, často s nepravidelným tvarem a výrazně proměnlivou velikostí. To klade vyšší nároky na třídění a homogenizaci směsi před dalším zpracováním.

Při výrobě kompozitních desek se ozdobnice nejčastěji využívá jako výplňová složka pro lehké stavební panely, akustické prvky nebo izolační vrstvy. Její částice mají poměrně dobrou afinitu k polyuretanovým pojivům a některým bioepidlům. Vzhledem ke křehkosti a nižší pevnosti částic bývá výsledná mechanická odolnost desek nižší než u tradičních třískových desek, a proto se ozdobnice často kombinuje s jinými druhy vláken (např. konopím, slámou či dřevem). Přínosem je však výborná tvarová stálost, nízká objemová hmotnost a schopnost tlumit zvuk i teplo. Z hlediska sklizně a logistiky představuje ozdobnice určitou výzvu. Optimální termín sklizně je na přelomu zimy a jara, kdy je v rostlině nejnižší obsah vody a živin, čímž se snižuje potřeba dosoušení a zároveň se minimalizuje odvod živin z půdy. Na druhou stranu má tento termín úskalí ve formě horší přístupnosti pozemků a většího rizika mechanického poškození stébel. Při šetrné sklizni (např. rotačním žací lištovým adaptérem) lze dosáhnout vysoké kvality částic bez nadměrného podílu prachu. Po sklizni je nutné materiál důkladně vysušit a podle zamýšleného použití dále upravit frakci.



Obrázek 41 Porovnání třísek pro výrobu DTD ze smrku (vlevo) a z ozdobnice (vpravo)

Zkušenosti z výzkumných projektů i pilotních provozů ukazují, že desky s obsahem ozdobnice mohou plnohodnotně nahradit běžné izolační a výplňové panely na bázi dřeva. Při vhodném nastavení procesu a použití optimalizovaného pojiva lze dosáhnout rozlupčivosti nad 0,25 MPa a ohybové pevnosti přes 10 MPa (při hustotě kolem 450–550 kg/m³), což je plně dostačující pro lehké nenosné konstrukce. Díky vysokému obsahu dutin ve struktuře stébel dosahují tyto desky velmi nízké tepelné vodivosti ($\lambda \approx 0,040\text{--}0,050\text{ W/m}\cdot\text{K}$) a výborných akustických parametrů. Ozdobnice obrovská tak představuje vysoce perspektivní surovinu pro výrobu deskových materiálů zejména v kontextu udržitelné výstavby a ekologického designu. Její pěstování je nenáročné, šetrné k půdě i krajině, a přitom poskytuje surovinu, jejíž vlastnosti se blíží ideálnímu materiálu pro moderní bio-kompozity.

Slézovec přehlížený (*Silphium perfoliatum*)

Slézovec přehlížený je mohutná vytrvalá bylina původem ze Severní Ameriky, která se v posledních letech dostává do středu pozornosti jako energetická, krmná i technická plodina. V českých podmínkách je znám zejména jako perspektivní zdroj biomasy pro bioplynové stanice, avšak díky vysokému výnosu nadzemní hmoty a příznivým morfologickým vlastnostem stébel se stále častěji objevuje i v souvislosti s využitím v materiálových aplikacích – včetně výroby aglomerovaných desek. Hlavní předností této plodiny je velmi stabilní a vysoký výnos sušiny – běžně přesahující 30 t·ha⁻¹·rok⁻¹, přičemž v optimálních podmínkách může výnos dosáhnout až 45 t·ha⁻¹. Rostlina je přitom nenáročná na půdní podmínky, dobře snáší vlhká stanoviště a její vegetační období je dlouhé. Stonky

slézovce jsou silně lignifikované, duté, s výraznou centrální dutinou a tlustou slupkou, podobně jako u slunečnice. Vlákniťa struktura vykazuje vysoký obsah celulózy (43 %), hemicelulóz (28 %) i ligninu (21 %). Díky této kombinaci má biomasa velmi dobré předpoklady pro zpracování v deskových materiálech, a to jak jako hlavní složka, tak jako doplněk ke klasickým třískám. Průměrná délka vláken získaných ze stébel činí 1–4 mm, přičemž tloušťka kolísá v závislosti na stupni lignifikace. Zpracování stébel však naráží na technologická úskalí – především značnou tvrdost vnějších vrstev a odolnost vůči standardnímu drcení. Proto je často nutné použít vícestupňové mletí.

Díky své porézní, přesto pevné struktuře se slézovec jeví jako velmi vhodný pro výrobu lehkých a dobře izolujících panelů. Při použití polyuretanových pojiv lze dosáhnout kompaktní struktury desky s objemovou hmotností 450–600 kg/m³ a uspokojivými mechanickými vlastnostmi (pevnost v ohybu 9–12 MPa, rozlupčivost nad 0,25 MPa). Vysoký obsah dutin v rostlinné tkáni přispívá k nízké tepelné vodivosti ($\lambda \approx 0,045 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), což činí tyto desky atraktivními pro izolační účely nebo pro použití ve stavebních konstrukcích s důrazem na nízkou hmotnost a difuzní otevřenost. Z praktického hlediska je však využití slézovce v kompozitech stále spíše experimentální. V některých regionech (např. jižní Německo, Rakousko) již probíhají pilotní pokusy na využití slézovce jako plniva v bio-kompozitních panelech nebo jako komponenty do zelených izolačních systémů. Výhodou je, že pěstování slézovce nevyžaduje intenzivní vstupy a jeho porosty přispívají ke zlepšení biodiverzity, zadržování vody v krajině a ochraně proti erozi.

7.2.4 Méně tradiční zdroje

Papyrus, bambus a topinambur

Kromě běžně využívaných zemědělských zbytků a technických plodin se v odborné literatuře i experimentální praxi objevují i méně tradiční rostlinné suroviny, které nejsou běžně pěstovány za účelem výroby materiálů, ale přesto vykazují určitý potenciál pro využití v oblasti aglomerovaných kompozitních desek. Mezi tyto netradiční zdroje patří například papyrus (*Cyperus papyrus*), různé druhy bambusu (zejména *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachys edulis*) a topinambur (*Helianthus tuberosus*), jehož biomasa je zpravidla považována za odpadní produkt po sklizni hlíz.

Papyrus, známý především jako historická surovina pro výrobu psacích materiálů ve starověkém Egyptě, je rostlina mokřadního typu, která vytváří vysoké a pevné stonky s trojúhelníkovým průřezem a vysokým podílem vlákniny. Jeho nadzemní část obsahuje vláknité buňky s poměrně vysokým obsahem celulózy a nízkým podílem ligninu, což usnadňuje jejich rozvláknění a modifikaci. Vzhledem ke své schopnosti růst v zatopených oblastech a regenerovat po seči je považován za ekologicky nenáročnou plodinu. V kompozitní technologii se papyrus testoval zejména jako výplňová složka v lehkých deskách lisovaných za studena či v kombinaci s přírodními pojivy, jako je škrob nebo kasein. Problémem však zůstává omezená dostupnost ve střední Evropě a vysoká sezónní variabilita kvality stébel.

Bambus patří mezi nejrychleji rostoucí rostliny světa – některé druhy mohou dorůst délky až 1 m za den – a jeho dřevnatá hmota je již dnes využívána při výrobě lisovaných desek v Asii, zejména v Číně, Indii a Indonésii. Bambusová vlákna jsou dlouhá, pevná, s vysokým podílem celulózy (přes 50 %) a relativně nízkým obsahem popelovin. Po technologické stránce je bambus velmi atraktivní – vykazuje pevnost srovnatelnou s tvrdým dřevem, ale zároveň je lehčí a dobře se zpracovává. Bambusové částice se nejčastěji používají ve formě štěpin nebo vláken do kompozitních systémů s pMDI nebo UF pojivy. Výsledné desky vynikají vysokou mechanickou pevností (pevnost v ohybu až 20 MPa), výbornou odolností proti vlhkosti i příznivou estetikou povrchu. V Evropě je však použití bambusu limitováno nutností dovozu a tím i vyšší ekologickou stopou a náklady. Perspektivní se proto jeví pěstování mrazuvzdorných druhů bambusu v teplejších oblastech (Itálie), případně jeho využití ve formě recyklátu.

Topinambur, běžně pěstovaný pro své hlízy jako alternativní potravinářská plodina, vytváří během vegetace značné množství biomasy ve formě vysokých, dutých stébel s bylinnou až lehce lignifikovanou strukturou. V některých studiích byl testován jako doplněk do směsí pro lehké desky, zejména díky své nízké objemové hmotnosti. Vlákniťa složka topinamburu má však poměrně nízký podíl celulózy a vyšší obsah nestrukturních složek (pektinů a organických kyselin), což komplikuje lepení a způsobuje vyšší nasákavost. Přesto se v některých experimentech prokázalo, že po vhodné chemické úpravě (např. zásaditým louhování) lze dosáhnout přijatelných výsledků, zejména pokud je topinambur kombinován s jinými vláknitými složkami.

Ačkoli tyto méně tradiční suroviny zatím nejsou běžně využívány v průmyslové výrobě (kromě bambusu v Asii), představují cenný potenciál pro vývoj specifických typů ekologických desek, zejména v lokalitách s jejich přirozeným výskytem nebo přebytkem. Předpokladem jejich širšího využití je rozvoj vhodných metod sklízně, předúpravy a frakcionace, stejně jako identifikace vhodných pojmů a optimalizace lisovací technologie.

Recyklované materiály rostlinného původu

Rostlinné materiály určené k recyklaci představují pestrou a rychle se rozvíjející kategorii vstupních surovin pro výrobu kompozitů. Využití odpadních organických složek z potravinářského, textilního i zemědělského průmyslu je v souladu s principy cirkulární ekonomiky a přináší hned několik výhod: redukci objemu odpadů, snížení spotřeby primárních surovin a často i energeticky výhodnější zpracování díky předchozím úpravám materiálu (např. mletí, sušení). Mezi nejčastěji zmiňované recyklované rostlinné materiály patří slupky ořechů, semena a jádérka, zbytky z potravinářského zpracování (např. kávová sedlina, kakaové slupky), ale i textilní odpady organického původu, jako je bavlna, len nebo juta. Jedním z prakticky ověřených typů jsou slupky vlašských a lískových ořechů. Tyto tvrdé části plodů, běžně vznikající při výrobě olejů nebo potravinářském zpracování, vykazují vysokou tvrdost a nízkou nasákavost. Díky vysokému obsahu ligninu (až 30 %) jsou relativně odolné vůči biologickému rozkladu a dobře reagují s fenolickými i isokyanátovými pojivy. V deskách zvyšují pevnost v ohybu a zlepšují tvarovou stálost. Uplatnění nacházejí především v objemových podílech do 15 %, protože při vyšší koncentraci hrozí křehkost materiálu.

Textilní zbytky z přírodních vláken, zejména bavlny a juty, představují další surovinu s potenciálem pro deskové kompozity. V těchto případech se jedná o materiál s vysokým podílem celulózy (přes 80 %), ale téměř bez ligninu, což ovlivňuje jejich kompatibilitu s běžnými pojivy. Vláknina jsou dlouhá, měkká, s vysokou měrnou plochou, což umožňuje dobré mechanické provázání ve struktuře kompozitu. Výzvou je však jejich vysoká savost a náchylnost k bobtnání, což je nutné kompenzovat úpravou lepicí směsi a aplikací hydrofobních přísad. V některých studiích byly zbytky bavlny nebo lněného textilu úspěšně využity při výrobě dřevovláknitých a směsných MDF desek s nižší objemovou hmotností a zlepšenými akustickými vlastnostmi. Zajímavý směr představuje i využití potravinářských zbytků s vysokým obsahem vlákniny – například kávová sedlina, slupky z luštěnin či mleté jádérkové části ovoce. Tyto materiály jsou obvykle jemné, práškové konzistence a obsahují kombinaci sacharidů, tuků a fenolických sloučenin. Jejich využití v deskových kompozitech je zatím převážně experimentální, avšak první výsledky ukazují, že mohou sloužit jako aditivum ke zlepšení např. rozlupčivosti. Díky tmavé barvě přispívají ke specifickému vzhledu finálních produktů, což může být výhodou například u designových interiérových panelů.

Z hlediska technologického zpracování vyžaduje většina recyklovaných rostlinných surovin dodatečné třídění, vysušení a případně i hygienizaci (např. při použití gastroodpadů). Tyto úkony zvyšují vstupní náklady, ale umožňují produkovat desky s vysokou přidanou hodnotou a pozitivním environmentálním dopadem. Suroviny tohoto typu bývají často regionálně dostupné, ale s výrazně kolísavou kvalitou i množstvím, což vyžaduje flexibilní výrobní strategii a možnost časté úpravy receptur.

7.3 MECHANICKÉ A FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Desky vyrobené z alternativních lignocelulózových surovin vykazují široké spektrum mechanických a fyzikálních parametrů, jejichž hodnota je dána kombinací několika faktorů: přirozenými vlastnostmi vstupní biomasy, způsobem její přípravy, volbou pojivového systému a nastavením výrobní technologie. Přestože mnoho studií dokládá, že alternativní kompozity mohou dosahovat srovnatelných nebo i lepších vlastností než klasické dřevotřískové desky, ve většině případů vyžadují pečlivé doladění výrobních parametrů a často i specifické úpravy vstupní suroviny.

7.3.1 Vliv suroviny na mechanické vlastnosti

Morfologie vláken alternativních surovin má zásadní vliv na mechanické chování výsledných desek. Parametry jako délka a štihost vláken, podíl parenchymatických buněk, hustota částic a chemické složení zejména povrchu určují, jak dobře budou jednotlivé složky reagovat s lepidlem a jakou soudržnost bude možné dosáhnout. Například sláma s delšími a pružnějšími vlákny (např. řepková) se lépe lisuje než křehké a nepravidelné částice vzniklé z mláta nebo otrub. Naproti tomu plodiny s vyšším obsahem ligninu (např. slupky ořechů, bagasa) přirozeně zvyšují pevnost kompozitu a přispívají k jeho rozměrové stabilitě.

Většina studií ukazuje, že desky z alternativních surovin dosahují ohybových pevností (MOR) v rozmezí 8–18 MPa, rozlupčivosti (IB) 0,2–0,5 MPa a modulu pružnosti (MOE) mezi 1200–3000 MPa. Tyto hodnoty odpovídají deskám typu P1 až P3 dle normy EN 312 a při optimalizaci pojiva a lisovacího režimu mohou být plně konkurenceschopné s běžnými deskami pro nábytkářské nebo obkladové účely. Typickým trendem je, že nejlepších parametrů bývá dosaženo při kombinaci více surovin – např. slámy a dřeva, pazdeří a bagasy nebo bambusu a vlákniny – čímž se zlepšuje rozložení napětí v matrici a omezují slabiny jednotlivých komponent.

7.3.2 Rozměrová stálost a nasákavost

Jedním z kritických parametrů alternativních desek je jejich chování při styku s vlhkostí. Většina rostlinných materiálů vykazuje vyšší hydroskopicitu než dřevo, a to kvůli vyššímu obsahu hemicelulóz a nižší míře lignifikace. Například sláma, konopné pazdeří či textilní recykláty nasávají vodu výrazně rychleji než třísky smrkového dřeva a bez vhodné úpravy dochází k nadměrnému bobtnání a delaminaci. U některých plodin, jako je ozdobnice nebo bagasa, byla pozorována rozměrová stálost srovnatelná s deskami OSB – avšak jen za předpokladu aplikace vhodného pojiva (pMDI) a přidání hydrofobních aditiv.

Hodnoty tloušťkového bobtnání po 24 h se u neupravených desek z alternativních surovin pohybují mezi 20–50 %, zatímco u optimalizovaných směsí s úpravou částic a aplikací parafinových nebo siloxanových přísad lze dosáhnout hodnot pod 15 %. Nasákavost vodou bývá běžně vyšší než u klasických dřevotřískových desek, což omezuje jejich využití ve vlhkém prostředí. Nicméně právě v kombinaci s povrchovou úpravou (laminací, impregnací) nebo v sendvičových konstrukcích nacházejí tyto materiály stále širší uplatnění. Slupky ořechů (vlašské, lískové, pistácie, apod.) samozřejmě dosahují nižších hodnot nasákavosti a zde jsem naopak lepší než dřevo.

7.3.3 Tepelněizolační a akustické vlastnosti

Nízká objemová hmotnost mnoha alternativních surovin přináší výraznou výhodu v oblasti tepelněizolačních vlastností. Desky s obsahem slámy, pazdeří, ozdobnice nebo mláta dosahují tepelné vodivosti $\lambda \approx 0,040\text{--}0,060\text{ W/m}\cdot\text{K}$, což je srovnatelné s lehkými minerálními izolacemi. Zároveň díky pórovité struktuře a vysoké míře vnitřního tlumení dokážou účinně pohlcovat zvuk, zejména ve středním a vyšším frekvenčním pásmu. To z nich činí atraktivní materiál pro obklady, podhledy, akustické panely a další konstrukce, kde je důležitá jak izolace, tak ekologický původ.

7.3.4 Porovnání s deskami na bázi dřeva

Ve srovnání s klasickými dřevotřískovými deskami (např. typu P2 nebo P3) lze alternativní desky považovat za plnohodnotnou náhradu v aplikacích, kde nejsou kladeny extrémní požadavky na zatížení nebo trvalou odolnost vůči vlhkosti. Jejich výhodou je často nižší hmotnost, lepší izolační vlastnosti a možnost individuálního ladění vlastností kombinací různých typů vláken. Naopak slabinou zůstává proměnlivost kvality vstupního materiálu, vyšší citlivost na vlhkost a potřeba specifických technologických úprav při výrobě. Z hlediska výzkumu i průmyslové praxe je však zřejmé, že při vhodné volbě technologie lze dosáhnout takových mechanických a fyzikálních parametrů, které plně vyhovují požadavkům běžného uživatele.

7.4 TECHNOLOGIE VÝROBY

Výroba aglomerovaných desek z alternativních surovin klade na výrobní technologii specifické nároky, které vyplývají z odlišných fyzikálních, morfologických i chemických vlastností těchto materiálů ve srovnání s klasickým dřevem. Přestože lze v zásadě využít obdobné zařízení jako při výrobě konvenčních dřevotřískových či vláknitých desek, každý typ alternativní suroviny vyžaduje určitou míru adaptace — jak v oblasti přípravy materiálu, tak při jeho lepení, formování koberce a lisování. Tato podkapitola se podrobně zabývá jednotlivými kroky výrobního procesu a jejich specifiky ve vztahu k netradičním lignocelulózovým vstupům.

7.4.1 Sklizeň a logistika

Sklizeň alternativních plodin je často úzce spjata se zemědělskou sezonou a klimatickými podmínkami. Například sláma (pšeničná, řepková) se získává jako vedlejší produkt sklizně zrnin a je obvykle dostupná v letních měsících. Naproti tomu víceleté plodiny, jako je miscanthus nebo slézovec, se sklízí na přelomu zimy a jara, kdy je biomasa

již částečně přirozeně vyschlá a její skladovatelnost vyšší. Sklizeň stébelnatých rostlin (např. ozdobnice, konopí, topinambur) vyžaduje techniku schopnou šetrně zpracovat dlouhá a často dutá stébla, typicky lištové sekačky nebo upravené sklízecí řezačky. U většiny plodin je důležité minimalizovat příměsi zeminy, prachu a nežádoucích částí rostlin (listy, květenství), které by mohly ovlivnit kvalitu finální směsi.



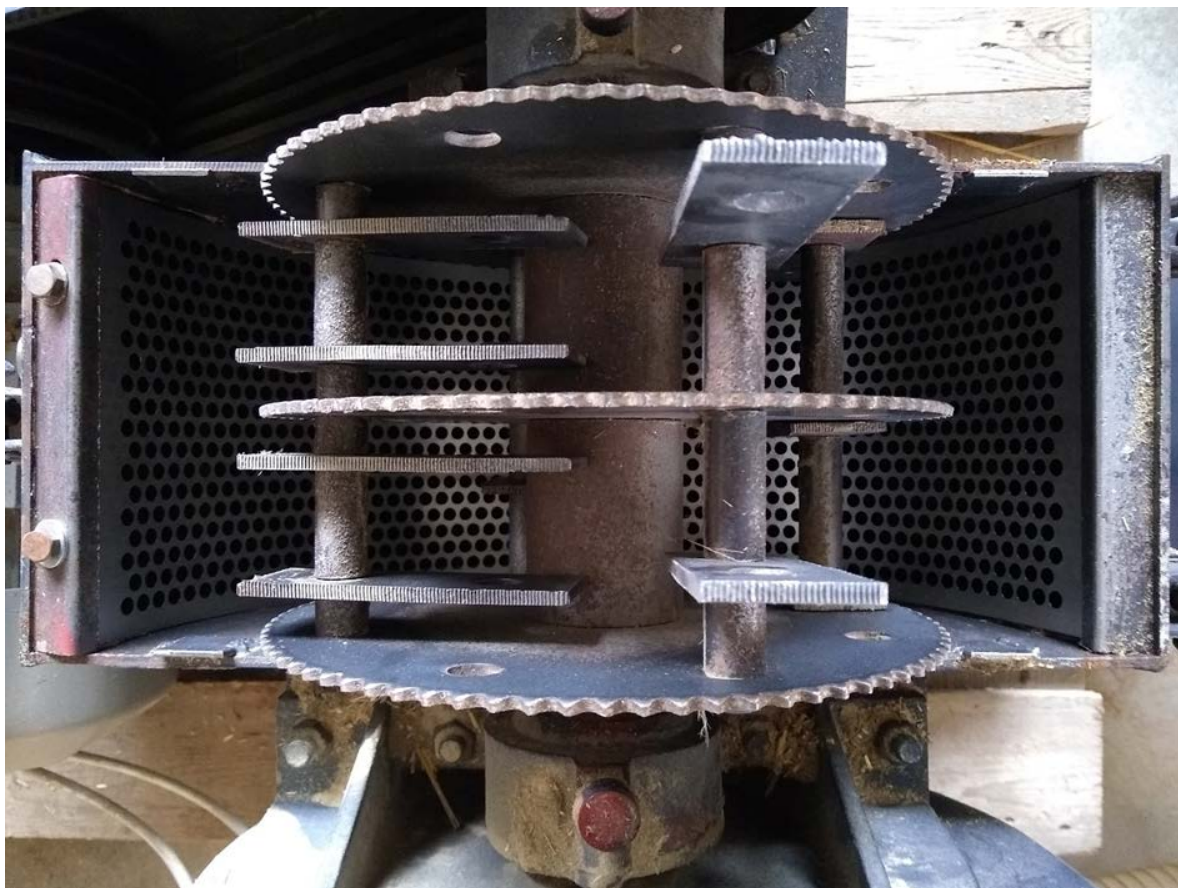
Obrázek 42 Speciální sklízecí řezačka pro sklizeň technického konopí

Z logistického hlediska je klíčové zajistit včasné odvozy sklizeného materiálu, jeho správné uskladnění (sucho, ventilace, ochrana proti biologickému napadení) a případnou decentralizovanou předúpravu. U některých materiálů (např. mláta, bagasy) je zpracování časově velmi citlivé kvůli vysokému obsahu vlhkosti a riziku fermentace. Vhodným řešením je vytvoření malokapacitních uzlů poblíž zdroje biomasy, které umožní materiál drtit, sušit a balit do vhodné formy pro přepravu k finálnímu výrobci.

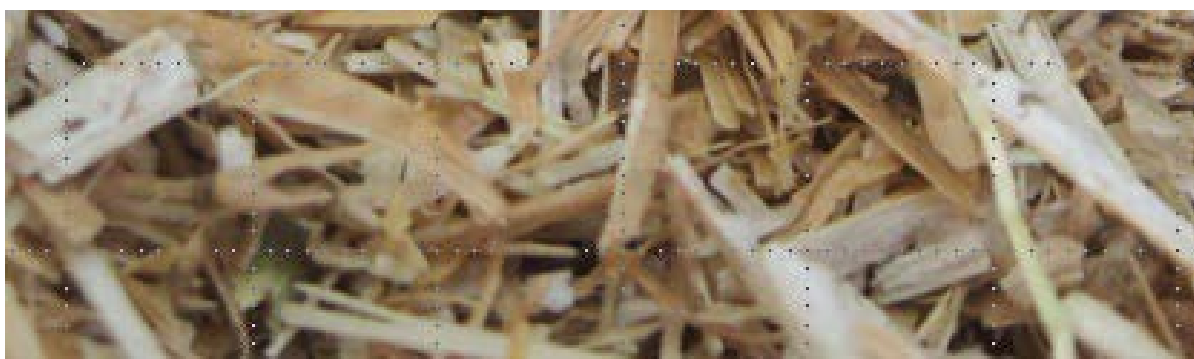
7.4.2 Příprava a úprava částic

Vstupní biomasa je po sklizni obvykle nutné mechanicky upravit na frakci vhodnou pro výrobu desek. V závislosti na druhu suroviny se používají kladivové mlýny, řezací drtiče, bubnové štěpkovače nebo v případě vláknitých surovin i diskové defibrátory. Cílem je získat částice o délce přibližně 1–10 mm, tloušťce 0,2–1 mm a přijatelném štíhlostním poměru, které umožní vytvořit soudržnou matici při lisování. Mnohé alternativní materiály obsahují vyšší podíl jemných prachových částic (např. pazdeří, otruby, výlisky), které je nutné odstranit tříděním nebo cyklonovou separací. Naopak velmi tvrdé materiály, jako jsou slupky ořechů nebo některé druhy bambusu, mohou vyžadovat dvoustupňové mletí s chlazením, aby se zabránilo degradaci nebo poškození zařízení. Důležitá je rovněž stabilizace vlhkosti. Optimální vlhkost částic pro lisování bývá 4–8 % v závislosti na typu lepidla. V některých případech je nutná chemická nebo fyzikální úprava povrchu částic. Například voskovité povrchy slámy nebo kukuřičného šustí ztěžují smáčivost, a proto se uplatňuje předúprava hydroxidem sodným (2–5% roztok NaOH), plazmová aktivace nebo enzymatické ošetření. Tyto úpravy zvyšují adhezi k pojivu a přispívají ke zlepšení mechanických vlastností výsledného materiálu.

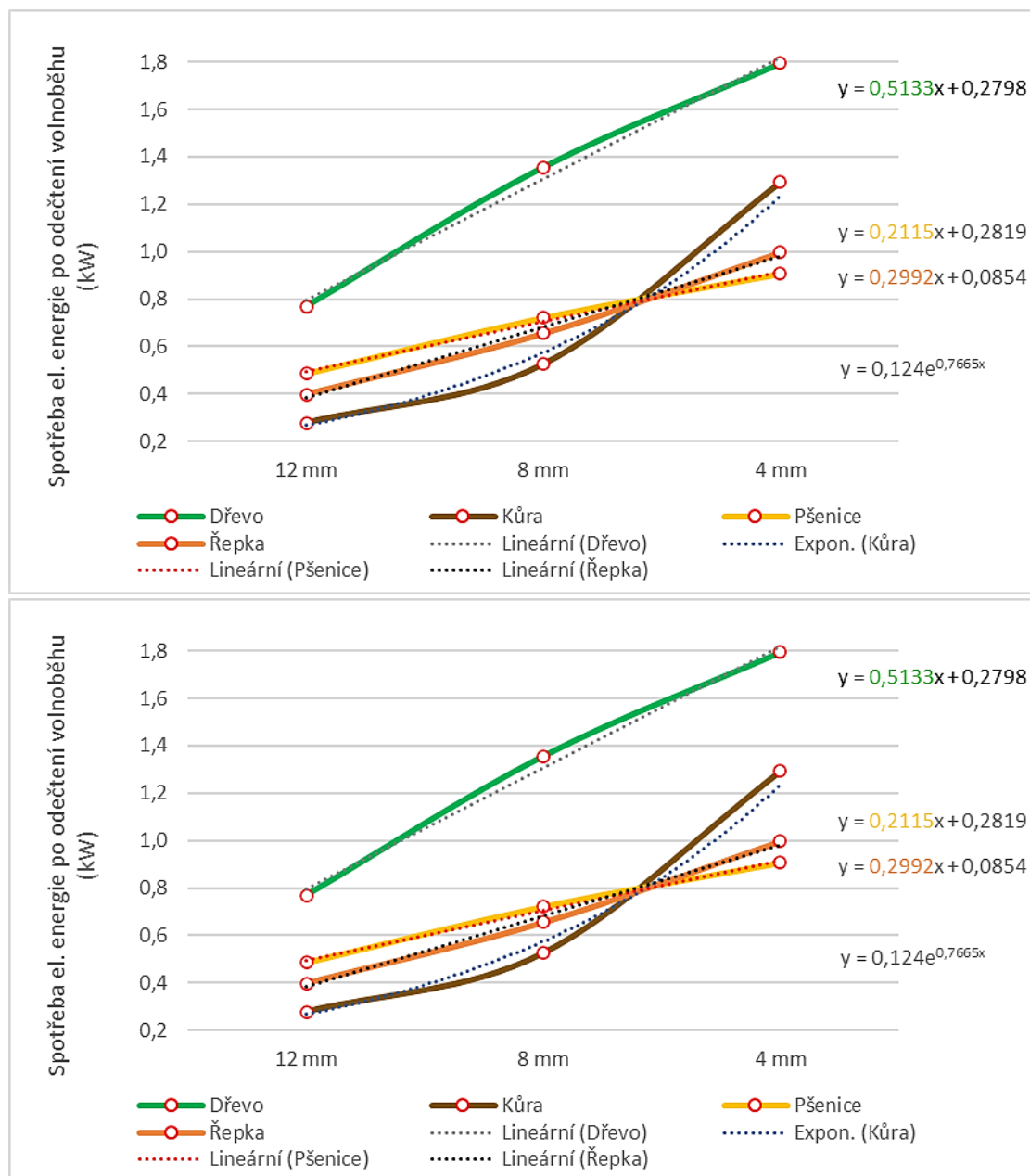
Úkol: Popište jednotlivé části drtiče uvedeného na obrázku č. 43.



Obrázek 43 Drtící mechanismus drtiče stonků



Obrázek 44 Detail třísek z pšeničné slámy, frakce vhodná pro lisování, patrná heterogenita stonku



Obrázek 45 Vliv velikosti výsledné frakce na energetickou náročnost roztřískování jednotlivých surovin

Úkol: Interpretujte výsledky uvedené na předchozím obrázku č. 45.

7.4.3 Lepení a pojiva

Výběr vhodného pojiva je u desek z alternativních surovin klíčovým faktorem, který zásadním způsobem ovlivňuje nejen mechanickou pevnost a voděodolnost výsledného výrobku, ale i technologickou proveditelnost samotného procesu. Vzhledem k odlišné chemické skladbě, vyšší hydroskopicitě a často komplikované morfologii alternativních surovin nelze automaticky předpokládat plnou kompatibilitu s běžně používanými pojivy při výrobě dřevotřískových desek. Každý typ pojiva se musí zvažovat nejen z hlediska lepicí účinnosti, ale i reakce na přirozené složky suroviny, jako jsou tuky, bílkoviny, vosky, popeloviny či inhibitory vytvrzení.

Nejčastěji používaným pojivem v experimentech i pilotních provezech zůstává pMDI. Toto isokyanátové pojivo je vysoce reaktivní, neobsahuje formaldehyd a dobře proniká do vláknité struktury. Díky své vysoké adhezivitě a chemické vazbě na hydroxylové a aminoskupiny dokáže zajistit pevný spoj i v případě materiálů s nízkým obsahem ligninu – typicky u slámy, pazdeří nebo mláta. Další výhodou pMDI je nižší citlivost na pH a přítomnost fenolických nebo mastných sloučenin, které by jinak u aminoplastových pryskyřic narušovaly proces vytvrzení. Na druhou stranu je nutné počítat s vyšší cenou a nutností technologických úprav kvůli lepivosti pMDI k ocelovým povrchům (antilepivé povlaky, parafínové separátory). U surovin s vyšší mírou lignifikace (např. bambus, slupky, bagasa) lze s úspěchem použít i UF nebo MUF lepidla. Výhodou těchto pojiv je nižší cena, avšak jejich vytvrzení je silně ovlivněno přítomností volných kyselin, pektinů, solí nebo popelovin. U některých alternativních surovin proto dochází k inhibici reakce a k nedostatečnému průběhu kondenzace. Výsledkem je pak křehký, málo odolný spoj a zvýšené emisní hodnoty formaldehydu. Pro zajištění dostatečné adheze je nutné upravit pH směsi (např. přidáním močoviny nebo pufrujících látek) a často i zvýšit dávku lepidla.

Rostoucí pozornost se upírá na tzv. bio-based lepidla. Jsou to pojiva na bázi přírodních polymerů, kam patří například modifikované sójové bílkoviny, škroby, lignosulfonáty nebo taniny. Jejich výhodou je nízká toxicita, obnovitelnost a absence formaldehydu. Pro alternativní suroviny bohaté na bílkoviny (např. mláto, otruby) se zvažuje synergické působení mezi pojivem a surovinou, což může zvyšovat soudržnost bez přídavku syntetických lepidel. Slabinou biolepidel však bývá nižší voděodolnost a vyšší spotřeba lepidla při dosažení srovnatelných mechanických vlastností. Některé směsi navíc vyžadují delší lisovací časy a přísnější kontrolu vlhkosti, což omezuje jejich nasazení v průmyslové praxi.

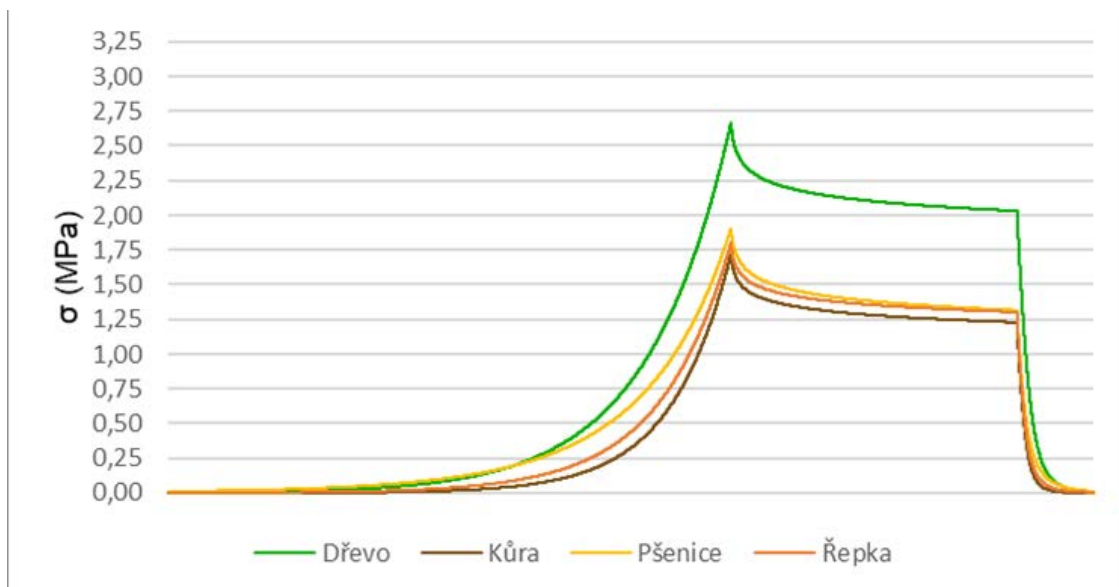
Specifickou kapitolou jsou kombinovaná lepení, která využívají dvousložkové nebo hybridní systémy – např. kombinaci syntetického a přírodního polymeru, nebo pojivo doplněné o nanočástice (např. nanocelulóza, křemičitany). Tyto přístupy mohou výrazně zvýšit pevnost desek, zlepšit rozměrovou stálost nebo přinést další funkce (např. zpomalení hoření, antibakteriální účinek). Vývoj v této oblasti je však zatím omezen na výzkumné laboratoře a pilotní experimenty. Z hlediska dávkování se u alternativních surovin obvykle používají vyšší množství pojiva než u dřeva – běžně 10–14 % pro UF a 4–8 % pro pMDI, vztaženo na sušinu. Důvodem je vyšší specifický povrch částic, horší smáčivost a vyšší savost. Optimální aplikace lepidla se nejčastěji provádí v míchačkách se stříkací tryskou, ale lze využít i diskové aplikátory nebo válcové nánosové systémy, zejména u směsí s rovnoměrnou frakcí.

7.4.4 Lisování a dokončovací operace

Při lisování se z vláknitých nebo třískovitých částic, pojiva a případných aditiv vytváří kompaktní, soudržný a tvarově stálý materiál. Vzhledem k odlišné struktuře, hustotě a chemické reaktivitě alternativních lignocelulóзовých surovin je však nezbytné upravit parametry lisovacího cyklu. Lisování se obvykle provádí za tepla, přičemž teplota lisovacích ploch bývá nastavena v rozmezí 160–210 °C, podle typu pojiva. U desek s použitím pMDI se běžně volí teploty 180–200 °C, zatímco při lepení UF pryskyřicí se lisuje spíše při 160–180 °C. Vyšší teploty pomáhají překonat případnou vlhkost částic, aktivovat chemické reakce a urychlit vytvrzení pojiva. Současně je však nutné dávat pozor na riziko degradace samotné biomasy, zejména u surovin s nižší tepelnou odolností (např. mláto, pazdeří). U těchto materiálů se osvědčuje tzv. vícefázové lisování – s delší předehřívací fází, kdy dochází k postupnému ohřevu středu desky bez prudkého nárůstu tlaku. Lisovací tlak je závislý především na objemové hmotnosti výsledné desky. U nízkohustotních izolačních panelů postačuje tlak 1–2 MPa, zatímco u konstrukčních desek s hustotou přes 600 kg/m³ bývá zapotřebí tlak v rozmezí 2,5–4 MPa. Alternativní suroviny obecně vykazují vyšší stlačitelnost než dřevo, což je výhodné z hlediska lisovacího odporu, ale zároveň vyžaduje precizní řízení průběhu lisovací křivky, aby

nedocházelo k nerovnoměrnému rozložení hustoty nebo k tzv. zpětnému nárustu tloušťky po otevření lisu. Zejména materiály s vysokým obsahem parenchymatických buněk (sláma, ozdobnice, mláto) mají sklon k borcení desky po lisování, pokud nebyl výlisek dostatečně dotvrzen v ochlazovací fázi.

Doba lisování se zpravidla pohybuje mezi 4–8 minutami u deskových formátů tloušťky 10–20 mm. U biolepidel a surovin s vyšší nasákavostí může být nutné lisovat i déle než 10 minut, případně použít lisování ve více stupních (např. kombinace vysokého a nízkého tlaku).



Obrázek 46 Porovnání materiálů z hlediska odporu proti lisování během hlavní fáze lisování

Úkol: Interpretujte data z předchozího obrázku č. 46.

Po vyjmutí z lisu následuje fáze ochlazování a stabilizace, během níž je nutné ponechat desku volně větrat a chladnout po dobu 12–24 hodin. Tato doba je důležitá pro odvod zbytkové vlhkosti a dokončení chemických reakcí v pojivu. Příliš brzké opracování může vést ke vzniku vnitřních pnutí a deformací. Dokončovací operace zahrnují standardní kroky známé z výroby klasických desek: podélné a příčné ořezávání, broušení povrchu, kontrolu tloušťky, případné frézování hran. U alternativních surovin je třeba počítat s větší abrazivitou (např. u materiálů s vyšším podílem silikátů, jako jsou sláma, plevy, ozdobnice), což může způsobit rychlejší opotřebení nástrojů. U některých typů desek (zejména lehkých, s porézní strukturou) je doporučováno povrchové zpevnění nátěrem, laminací nebo nástřikem, který chrání před mechanickým poškozením a absorpcí vlhkosti.



Obrázek 47 Vylisované desky z řepkové slámy

V případě vícevrstvých nebo sendvičových struktur se alternativní suroviny často využívají jako středová výplňová vrstva, zatímco povrch tvoří dřevotřísková nebo dřevovláknitá deska. Tento přístup umožňuje efektivně využít výhody různých surovin a zároveň optimalizovat hmotnost, pevnost a zejména vstupní náklady.

7.5 KOMERČNÍ APLIKACE A PŘÍKLADY VYUŽITÍ

Přestože výroba aglomerovaných desek z alternativních lignocelulózových surovin zůstává ve většině případů zatím ve fázi výzkumu a vývoje, existuje řada konkrétních aplikací a výrobků, které se již úspěšně etablovaly na trhu. Tyto produkty dokazují, že kompozity na bázi slámy, pazdeří, bagasy či jiných netradičních surovin mají své pevné místo nejen v ekologickém stavitelství, ale i v oblasti interiérového designu, nábytkářství nebo akustických řešení. Tato podkapitola shrnuje nejvýznamnější komerční příklady, diskutuje jejich přínosy i omezení a hodnotí možnosti dalšího rozvoje.

OSSB: OSB desky na bázi slámy

Jedním z nejznámějších komerčně dostupných produktů je OSSB – Oriented Structural Straw Board, konstrukční deska vyráběná ze stébel obilné slámy (nejčastěji pšeničné), které jsou orientovány obdobně jako u OSB ze dřeva. Tato technologie vznikla v Kanadě a byla dále rozvíjena v Číně, kde byla zavedena i plně průmyslová výroba. Výsledné desky dosahují mechanických parametrů srovnatelných s OSB/3, přičemž výhodou je nižší hmotnost, lepší izolační schopnosti a nižší emise formaldehydu (při použití pMDI). OSSB se uplatňuje v dřevostavbách jako konstrukční prvek stěn, podlah nebo střech a stále častěji se používá i jako ekologická alternativa pro obkladové a podkladové vrstvy.

Ekopanel: český systém slámových desek

V českém prostředí patří mezi nejznámější příklady použití alternativních surovin systém Ekopanel. Je to sendvičová deska tvořená slámovou výplní slisovanou do jádra a uzavřenou z obou stran lepenkou nebo jinou deskovinou. Tento produkt vznikl jako reakce na poptávku po ekologických, difúzně otevřených a přitom mechanicky pevných výplňových materiálech vhodných pro stěny a příčky. Výroba probíhá z lokální suroviny (sláma z pšeničného pole), přičemž celý proces je energeticky nenáročný a nevyžaduje chemické pojivo – soudržnost je dosažena čistě fyzikální cestou. Ekopanel je využíván v nízkoenergetickém stavění, má dobré izolační vlastnosti a příznivé chování při požáru (uhlíková vrstva zpomaluje šíření plamene). Omezujícím faktorem zůstává nízká produkční kapacita a citlivost na vlhkost v nevhodném provozním prostředí.

Ecoboard: víceúčelová slámová deska

Ecoboard je obchodní značka pro desku na bázi pšeničné slámy, která se vyrábí lisováním směsi slámy a přírodního pojiva bez přítomnosti formaldehydu. Vývoj probíhal původně v USA a Německu a výsledkem je univerzální deska, která se uplatňuje jako náhrada dřevotřísky v nábytkářství, interiérových systémech a stavebních výplních. Desky Ecoboard jsou lehké, tuhé, rozměrově stabilní a vhodné pro aplikace v suchém prostředí. Vzhledem ke svému přírodnímu složení a atraktivnímu příběhu mají velký marketingový potenciál, a proto se těší zájmu především v oblasti ekologického interiérového vybavení, kancelářského nábytku a výstavnictví.

Další specializované aplikace

Vedle velkoformátových desek existují i specializované produkty, které využívají alternativní suroviny pro specifické účely:

- Akustické panely na bázi konopného pazdeří nebo ozdobnice: využívají porézní strukturu pro tlumení hluku v interiérech (např. nahrávací studia, školní učebny).
- Sendvičové izolační panely s výplní z plev nebo otrub: nízká hmotnost, dobrá propustnost vodní páry, využití ve stavebnictví i nábytkářství.
- Designové desky s příměsí kávové sedliny nebo slupkami ořechů: určené pro nábytkářský průmysl a jako výrazný estetický prvek (tmavší barva, přírodní vzhled).

Všechny tyto aplikace využívají specifických vlastností daných surovin – ať už jde o akustiku, tepelnou izolaci, nízkou hmotnost nebo vizuální efekty.

Problémy komercializace

Navzdory zjevným výhodám zůstává širší průmyslové nasazení desek z alternativních surovin zatím omezené. Mezi hlavní překážky patří absence technických norem a certifikací, které by umožnily tyto materiály použít v regulovaných stavebních konstrukcích. Dále proměnlivá kvalita vstupních surovin, která komplikuje stabilitu výroby a vyžaduje adaptivní řízení procesů. Přesto se ukazuje, že tam, kde je kladen důraz na udržitelnost, nízkou uhlíkovou stopu a cirkulární ekonomiku, si tyto materiály postupně získávají své místo. Klíčovým faktorem úspěchu bývá regionální dostupnost suroviny, zjednodušená distribuce a navázání na ekologicky smýšlející trh.

7.6 SHRNUTÍ KAPITOLY

Alternativní lignocelulózové suroviny představují významný a dosud nedostatečně využitý zdroj pro výrobu aglomerovaných desek. Rostoucí tlak na udržitelné hospodaření s přírodními zdroji, omezená kapacita lesních porostů, zvyšující se cena dřevní suroviny a rozvoj principů cirkulární ekonomiky nutí výrobce hledat nové cesty ke stabilní a dostupné surovinové základně. Výsledky výzkumů i praktických aplikací potvrzují, že řada vedlejších produktů zemědělství, technických plodin a průmyslových zbytků má z pohledu výroby desek velmi dobrý aplikační potenciál.

Nejvíce ověřenými materiály jsou sláma (zejména pšeničná a řepková), konopné a lněné pazdeří, bagasa, ozdobnice, kukuřičné stonky a různé druhy otrub a plev. Tyto materiály se vyznačují dobrými výnosy sušiny, relativně snadnou dostupností a v mnoha případech i výhodnými tepelněizolačními nebo akustickými vlastnostmi. Naopak mezi hlavní výzvy patří vyšší nasákavost, křehkost částic, nižší homogenita a proměnlivost chemického složení, což komplikuje procesy lepení a ztěžuje dosažení rovnoměrné kvality výsledných výrobků. Technologie výroby desek z alternativních surovin je v mnoha krocích podobná běžné dřevotřískové lince, ale vyžaduje úpravy zejména v oblasti manipulace s lehčími částicemi, jejich předúpravy (sušení, třídění, aktivace povrchu) a volby pojiva. Nejčastěji používaným lepidlem je pMDI, které nabízí vysokou kompatibilitu s širokým spektrem vláknitých surovin a dobrou voděodolnost výsledných výrobků. Využívají se však i konvenční UF a MUF pryskyřice, případně rostlinná biolepidla, zejména v aplikacích s důrazem na zdravotní nezávadnost.

Z hlediska mechanických vlastností lze s vhodně nastavenou technologií dosáhnout hodnot odpovídajících deskám P1–P3 podle EN 312, tedy pro většinu interiérových, nenosných a nábytkových aplikací. Zároveň tyto desky zpravidla nabízejí nižší objemovou hmotnost, dobrou tvarovou stálost a výborné parametry v oblasti tepelné

a zvukové izolace. Oproti tomu jejich slabinou zůstává vyšší nasákavost, delší lisovací cykly a v některých případech i obtížnější opracovatelnost (kvůli abrazivním složkám a heterogenní struktuře).

V praxi již existují komerční produkty, které prokázaly životaschopnost tohoto konceptu: desky OSSB (orientované na bázi slámy), český systém Ekopanel nebo vícesložkové slámové desky Ecoboard. Tyto aplikace ukazují, že alternativní kompozity mohou nejen nahradit klasické dřevěné výrobky, ale často nabídnout i nové funkce, estetiku a ekologický příběh s marketingovým potenciálem. Překážkou širšího rozšíření zůstává nedostatek normalizace, nejednotnost vstupní suroviny, vyšší nároky na technologii a nízká informovanost trhu. Z ekonomického hlediska jsou alternativní suroviny velmi atraktivní, zejména díky své nízké nebo nulové pořizovací ceně, místní dostupnosti a možnosti diverzifikace podnikatelského rizika. Výnosy biomasy u víceletých plodin (*miscanthus*, slézovec) často převyšují výtěžnost lesního porostu, a při vhodné organizaci logistiky a sezónního zpracování lze vytvořit efektivní regionální model výroby. S tím souvisí i potenciál decentralizovaných výrobních jednotek, které umožňují zapojení lokálních dodavatelů, zemědělců a komunit do přímého zhodnocení biomasy.

Desky z alternativních lignocelulóзовých surovin tedy představují technologicky i společensky perspektivní směr, který může v budoucnu významně doplnit nebo částečně nahradit tradiční desky na bázi dřeva. Klíčem k jejich rozvoji bude další výzkum v oblasti povrchových úprav a pojivových systémů, systematická standardizace výrobků, rozvoj distribuce a osvěta mezi architekty, stavebníky i koncovými zákazníky. V prostředí silících ekologických požadavků a hledání surovinové soběstačnosti nabízejí tyto materiály reálnou odpověď na otázky dnešní i budoucí generace průmyslu zpracování dřeva a rostlinných materiálů.

7.7 KONTROLNÍ OTÁZKY

- Jaké jsou hlavní důvody pro hledání alternativních surovin pro výrobu kompozitních desek?
- Které rostlinné suroviny se považují za nejperspektivnější náhradu dřeva?
- Jaké výhody a nevýhody má pšeničná sláma při zpracování na deskové materiály?
- Proč je voskovitý povrch alternativních vláken problémem při lepení?
- Jaké úpravy lze provést na alternativních částicích pro zlepšení adheze pojiva?
- Jaké jsou hlavní rozdíly mezi řepkovou a pšeničnou slámou z hlediska struktury a zpracování?
- Proč se kukuřičné stonky obtížně zpracovávají na homogenní částice?
- Jaké specifické vlastnosti mají plevy a jak ovlivňují výslednou strukturu desky?
- Jaké jsou hlavní omezení využití pivovarských výlisků při výrobě desek?
- Jaké výhody přináší pazdeří z konopí nebo lnu při výrobě lehkých panelů?
- Proč je ozdobnice obrovská považována za vhodný materiál pro izolační panely?
- Jak se liší bambus od ostatních netradičních surovin z hlediska mechanických vlastností?
- Jak lze využít textilní odpad rostlinného původu ve výrobě kompozitů?
- Které mechanické vlastnosti jsou klíčové pro hodnocení kvality alternativních desek?
- Proč mají alternativní suroviny obecně vyšší nasákavost než dřevo?
- Jaké typy pojiv se nejčastěji používají pro alternativní suroviny a proč?
- Jaké jsou hlavní překážky pro rozšíření alternativních kompozitních desek na trhu?

7.8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Adapa, P., Tabil, L., & Schoenau, G. (2011). Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. *biomass and bioenergy*, 35(1), 549-561.
- Andrew, J. J., & Dhakal, H. N. (2022). Sustainable biobased composites for advanced applications: recent trends and future opportunities – A critical review. *Composites Part C: Open Access*, 7, 100220.
- Cosereanu, C., & Cerbu, C. (2019). Morphology, physical, and mechanical properties of particleboard made from rape straw and wood particles glued with urea-formaldehyde resin. *BioResources*, 14(2), 2903-2918.
- Dziurka, D., & Mirski, R. (2013). *Lightweight boards from wood and rape straw particles*. *Drewno*, 56 (190): 19-31.
- Hýsek, Š., Čermák, J., & Němec, M. (2021). *Particleboards from alternative raw materials: properties and manufacturing technology of boards from rapeseed straw particles*. Faculty of Forestry and Wood Sciences.
- Hýsek, Š., Neuberger, P., Sikora, A., Schönfelder, O., & Ditommaso, G. (2019). Waste utilization: Insulation panel from recycled polyurethane particles and wheat husks. *Materials*, 12(19), 3075.
- Hýsek, Š., Podlena, M., Bartsch, H., Wenderdel, C., & Böhm, M. (2018). Effect of wheat husk surface pre-treatment on the properties of husk-based composite materials. *Industrial Crops and Products*, 125, 105-113.
- Hýsek, Š., Podlena, M., Böhm, M., Bartsch, H., & Wenderdel, C. (2018). Effect of cold plasma surface pre-treatment of wheat straw particles on straw board properties. *BioResources*, 13(3), 5065-5079.
- Hýsek, Š., Sikora, A., Schönfelder, O., & Böhm, M. (2018). Physical and mechanical properties of boards made from modified rapeseed straw particles. *BioResources*, 13(3), 6396-6408.
- Hýsková, P., Gaff, M., Hidalgo-Cordero, J. F., & Hýsek, Š. (2020). Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. CA Mey, Sojak): Is it worth it?. *Composite Structures*, 232, 111572.
- Jonsson, R., Blujdea, V. N. B., Fiorese, G., Pilli, R., Rinaldi, F., Baranzelli, C., & Camia, A. (2018). Outlook of the European forest-based sector: Forest growth, harvest demand, wood-product markets, and forest carbon dynamics implications. *iForest-biogeosciences and Forestry*, 11(2), 315.
- Klimek, P., & Wimmer, R. (2017). Alternative raw materials for bio-based composites. *Pro Ligno*, 13(4), 27–41.
- Klímek, P., Wimmer, R., Meinschmidt, P., & Kúdela, J. (2018). Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 111, 270-276.
- Kord, B., Zare, H., & Hosseinzadeh, A. (2016). Evaluation of the mechanical and physical properties of particleboard manufactured from canola (*Brassica napus*) straws. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 18(1), 09-18.
- Mirski, R., Dziurka, D., & Banaszak, A. (2018). Properties of particleboards produced from various lignocellulosic particles. *BioResources*, 13(4), 7758-7765.
- Sausserde, R., Adamovics, A., Ivanovs, S., & Bulgakov, V. (2013). Investigations into growing and harvesting industrial hemp. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 58(4), 150-154.
- Tumuluru, J. S., Tabil, L. G., Song, Y., Iroba, K. L., & Meda, V. (2014). Grinding energy and physical properties of chopped and hammer-milled barley, wheat, oat, and canola straws. *biomass and bioenergy*, 60, 58-67.

Název: Materiály na bázi dřeva – lisované kompozitní materiály

Autoři: Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Schváleno ediční komisí FLD

Publikace prošla recenzním řízením.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o.

Počet stran: 82

Rok vydání: 2025

ISBN: 978-80-213-3491-5

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha-Suchbát

Publikace vznikla za podpory Fakulty lesnické a dřevařské.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o., Petržilkova 13, 158 00 Praha 13

Materiály na bázi dřeva
– lisované kompozitní materiály

Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.

2025



9 788021 334915