

Dřevo-kompozitní materiály

Bc. Jakub Rybka

Diplomová práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jakub Rybka
Osobní číslo:	T21427
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Dřevo-kompozitní materiály

Zásady pro vypracování

1. Literární rešerše na problematiku zpracování dřevo-kompozitních materiálů, rozdělení, výroba a využití v průmyslových aplikacích.
2. Popis aplikací, vlastnosti a podmínky zpracování.
3. Zrealizujte experimentální výrobu dřevo-kompozitních materiálů při zvolených technologických podmínkách pomocí vhodné technologie.
4. Experimentálně vyhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte možné aplikace.
5. Závěr a diskuse dosažených výsledků.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BARBERO, E. J.: Introduction to composite materials design, Third edition, 2018, CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN-13: 978-1138196803.
- ŠUBA, O.: Mechanika polymerů a kompozitů, Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, ISBN 978-80-7454-015-8.
- ŠUBA, O.: Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Vyd. 3. Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 112 s., ISBN 978-80-7318-948-8.
- EHRENSTEIN G. W.: Polymerní kompozitní materiály, Praha, SCIENTIA v Praze, 351s, 2009, ISBN 978-80-86960-29-6.
- LIPTÁKOVÁ, T.: Polymérne konstrukčné materiály. University of Žilina, Žilina, 189 s, 2012, ISBN 978-80-554-0505-6.
- SRINIVASAN, K.: Composite Materials: Production, Properties, Testing and Applications, Alpha Science International Limited, 2009, ISBN 1842654918, 9781842654910.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. února 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na technologii výroby a testování mechanických vlastností dřevo-kompozitních materiálů. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části jsou uvedeny základní vlastnosti dřeva, způsoby výroby dřevo-kompozitů a jejich použití, hybridní kompozity a možnosti mechanického testování kompozitních materiálů. V praktické části jsou zkoumány mechanické vlastnosti experimentálně vyrobeného dřevo-kompozitního materiálu. Vzorky jsou testovány na smykové namáhání metodou krátkého nosníku, na tříbodový ohyb a odtrhovou pevnost.

Klíčová slova: prepreg, smyková pevnost, tříbodový ohyb, odtrhová pevnost, adheze

ABSTRACT

The thesis is focused on the production technology and testing of mechanical properties of wood-composite materials. The thesis is divided into a theoretical part and a practical part. In the theoretical part the basic properties of wood, methods of production of wood-composites and their applications, hybrid composites and possibilities of mechanical testing of composite materials are presented. In the practical part the mechanical properties of the experimentally produced wood-composite material are investigated. The specimens are tested for shear stress using the short beam method, three-point bending and tear strength.

Keywords: prepreg, shear strength, three-point bending, tear strength, adhesion

Rád bych poděkoval své vedoucí diplomové práce paní doc. Ing. Soně Rusnákové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, poskytnutí potřebných materiálů a za čas, který věnovala mé diplomové práci. Dále bych chtěl poděkovat pánovi Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za pomoc při měření mechanických vlastností kompozitních materiálů.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DŘEVO	11
1.1.1 Vnější kůra	11
1.1.2 Vnitřní kůra	11
1.1.3 Cévní kambium	11
1.1.4 Dřeň.....	12
1.2 VLASTNOSTI DŘEVA	12
1.2.1 Vlhkost	13
1.2.2 Pružnost.....	13
1.2.3 Pevnost	13
1.2.4 Akustické vlastnosti	14
1.3 POUŽITÍ	15
2 KOMPOZITY	17
2.1.1 Kompozitní materiály s polymerní matricí	17
2.1.2 Kompozitní materiály s kovovou matricí.....	17
2.1.3 Kompozity s keramickou matricí	17
2.2 POLYMERŇÍ KOMPOZITY	18
2.2.2 Technologie výroby polymerních kompozitů	19
2.3 PREPREGY	24
2.3.2 Druhy výztuže u prepregů	25
2.4 MOŽNOSTI VÝROBY DŘEVO-KOMPOZITŮ	26
3 APLIKACE DŘEVO-KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	30
3.1.1 Překlička.....	30
3.1.2 Lepené vrstvené dřevo LVL (Laminated Veneer Lumber).....	32
3.1.3 OSB desky (Oriented strand board)	33
3.1.4 Křížem lepené dřevo CLT.....	34
4 HYBRIDNÍ KOMPOZITY	38
5 TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KOMPOZITŮ	42
5.1 STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM.....	42
5.2 STATICKÁ ZKOUŠKA VE SMYKU.....	43
5.3 STATICKÁ ZKOUŠKA OHYBEM	45
5.4 MĚŘENÍ ADHEZE (PEEL TEST)	48
5.5 STANOVENÍ ODRHOVÉ PEVNOSTI - FLATWISE TEST.....	49
II PRAKTICKÁ ČÁST	50
6 CÍL PRÁCE	51
7 ZHOTOVENÍ VZORKŮ	52

7.1	MATERIÁLY POUŽITÉ PRO VÝROBU DŘEVO KOMPOZITU	52
7.2	PŘÍPRAVA FORMY	55
7.3	KLADENÍ VRSTEV DŘEVO KOMPOZITU	56
8	TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	64
8.2	STANOVENÍ ZDÁNlivÉ MEZILAMINÁRNÍ SMYKOVÉ PEVNOSTI PODLE ČSN EN ISO 14130 (SHORT-BEAM TEST)	65
8.3	STANOVENÍ OHYBOVÝCH VLASTNOSTÍ PODLE ČSN EN ISO 14125	67
8.4	STANOVENÍ ODTRHOVÉ PEVNOSTI DLE ASTM C297/C297M (FLATWISE TEST).....	71
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK.....	83
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

ÚVOD

Diplomová práce je zaměřena na výrobu a testování mechanických vlastností dřevokompozitního materiálu. Konkrétně se jedná o kombinaci bukové nebo smrkové dýhy s uhlíkovým prepregem. Tento materiál byl zvolen z důvodu, že se jedná o poměrně nový materiál, který začíná být stále více používán.

Kompozity se dřevem jsou používány už od starověku, kdy začali být používány materiály kombinující dřevo a lepidlo k výrobě nábytku a hudebních nástrojů. Nicméně výroba moderních kompozitů se datuje až od začátku dvacátého století, kdy začíná být používána překližka.

Překližka byla nejdříve používána na výrobu křídel letadel, ale brzy začala být využívána jako stavební materiál na výrobu podlah, střech a zdí. Dalším kompozitem kombinujícím dřevo a lepidlo se staly dřevotřískové desky, které umožnily zpracování dřevěného odpadu a pilin. Původně se používaly k izolačním účelům, ale později si našly cestu do nábytkářského průmyslu jako levná alternativa k masivnímu dřevu. Ve 40. letech 20. století byly vyvinuty dřevovláknité desky, které byly podobné dřevotřískovým deskám, ale místo dřevotřísky se vyráběly z dřevních vláken.

V průběhu 20. století se dřevěné kompozity dále vyvíjely a zdokonalovaly. V 50. letech 20. století se v dřevěných kompozitech rozšířilo používání syntetických pryskyřic a lepidel, což vedlo k vývoji nových výrobků, jako jsou dřevovláknité desky střední hustoty (MDF) a desky s orientovanými vlákny (OSB).

V 60. letech 20. století byly dřevěné kompozity poprvé použity v automobilovém průmyslu, když výrobci začali používat dřevotřískové desky a překližky pro vnitřní panely a výplně dveří. V sedmdesátých letech 20. století se dřevěné kompozity začaly používat také v obalovém průmyslu, a to při zavádění vlnitých dřevovláknitých desek.

Dřevěné kompozity jsou dnes důležitou a široce používanou skupinou materiálů, které mají oproti masivnímu dřevu mnoho výhod. Používají se v různých aplikacích, včetně stavebnictví, nábytkářství, obalového a automobilového průmyslu. Vývoj a evoluce dřevěných kompozitů vedly k udržitelnějším a ekologičtějším výrobkům, protože mnoho výrobců k jejich výrobě používá recyklovaná dřevěná vlákna.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DŘEVO

1.1 Stavba kmene stromu

Kmen stromu je tvořen z různých částí nacházejících se v soustředných pásech. Z venku do středu je strom tvořen vnější a vnitřní kůrou, cévním kambiem, bělem, jádrem a dřeví.

1.1.1 Vnější kůra

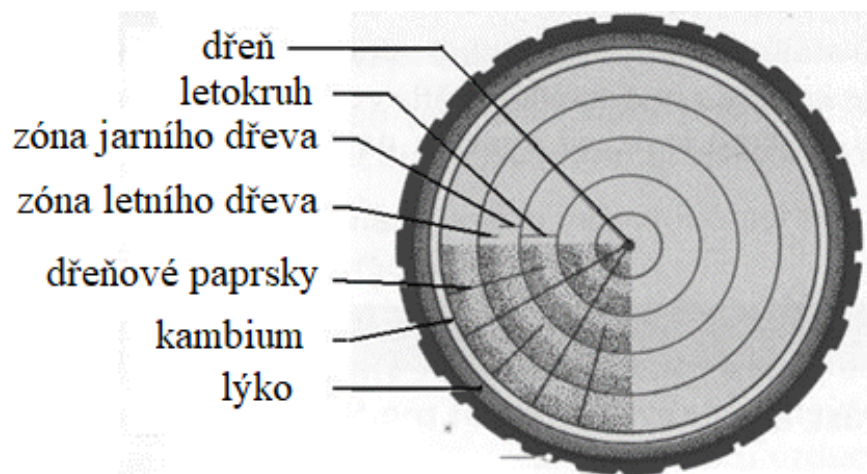
Vnější kůra je zodpovědná za mechanickou ochranu měkčí vnitřní kůry a také omezuje ztráty vody odpařováním. Vnější kůra je tkáň sloužící k transportu cukrů, produkovaných fotosyntézou, z listů do kořenů nebo do rostoucí části stromu. Vnější kůra je obvykle tvrdší a pevnější ve srovnání s obvykle měkkou a pružnou vnitřní kůrou [1] [2]

1.1.2 Vnitřní kůra

Vnitřní kůra je zodpovědná za přenos živin, cukrů a dalších organických sloučenin z listů do ostatních částí rostliny. Kromě toho může mít vnitřní kůra různé využití, například v tradiční medicíně nebo jako zdroj vláken pro tkalcovství.

1.1.3 Cévní kambium

Cévní kambium je pletivo zodpovědné za sekundární růst rostlin. Buňky produkované cévním kambiem mohou být diferencovány buď na xylém, který přenáší vodu a minerální látky z kořenů do listů, nebo na floém, který přenáší živiny a cukry z listů do ostatních částí rostliny. [2]



Obrázek 1 Prvky kmene na příčném řezu [1]

1.1.4 Dřeň

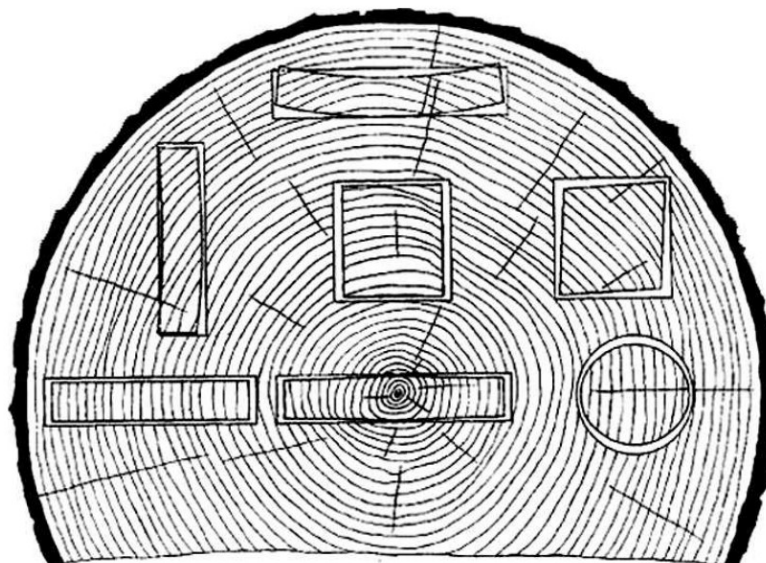
Uprostřed kmene je umístěna dřeň o průměru asi 2-5 mm. V ideálním případě se nachází v geometrickém středu kmene ale většinou je posunuta mimo střed. Tvar dřeně je nejčastěji kruhový nebo oválný, výjimečně pak čtyřúhelníkový nebo hvězdicový.

1.1.5 Dřevo

Mezi dření a kůrou se nachází dřevo. U jádrových dřevin se liší barva vnější a vnitřní části. Vnější část – běl je zbarvena světle a vnitřní část – jádro je zbarveno tmavě. Jádro dosahuje lepších mechanických vlastností a obsahuje méně vody. Mezi jádrové dřeviny patří modřín, borovice, dub, jilm, topol a jasan. Dřeviny se stejnou barvou po celém průřezu se nazývají bělové dřeviny. Mezi bělové dřeviny patří habr, javor a lípa. [1] [2]

1.2 Vlastnosti dřeva

Vlastnosti dřeva jsou ovlivněny směrem dřevních vláken. V závislosti na směru vláken se mění sesychání, navlhavost, vzhled, zpracovatelnost a mechanické vlastnosti. Z důvodu anizotropních vlastností dřeva jsou údaje o vlastnostech dřeva uváděny v závislosti na směru dřevních vláken. Dále jsou vlastnosti dřeva ovlivněny obsahem vlhkosti, proto jsou mechanické vlastnosti uváděny většinou při obsahu vlhkosti 12 %. [2]



Obrázek 2 Vliv sesychání na tvar dřeva [2]

1.2.1 Vlhkost

Voda se ve dřevě vyskytuje ve dvou formách, a to jako volná v prostoru mezi buňkami a jako vázaná uvnitř buněk. Další charakteristickou vlastností dřeva je navlhavost, obsah vody v dřevě se mění v závislosti na vlhkosti okolí. Vlhkost je dřevními buňkami pohlcována až do bodu nasycení vláken. Při absorpci vody dřevo bobtná, objem dřeva se zvětšuje, při desorpci dochází k sesychání dřeva a zmenšení jeho objemu. [5]

Vysušené dřevo dosahuje lepších mechanických vlastností než dřevo čerstvé. Dřevo po vysušení je odolnější vůči biologickým škůdcům, suchý povrch dřeva je snáze lepitelný a vhodnější pro povrchové úpravy. Sušením se zvyšuje pevnost a tepelně izolační vlastnosti, zároveň klesá hmotnost. [2]

1.2.2 Pružnost

Dřevo je přirozeně pružný materiál, který je možné ohýbat bez porušení jeho vláken. Pružnost dřeva závisí na druhu stromu ze kterého pochází a také stáří dřeva. Dřeviny jako cedr a borovice jsou známy pro svou pružnost a proto jsou často využívány pro výrobu nábytku. Dřevo je díky pružnosti odolnější vůči poškození v důsledku namáhání a nárazu. Pružnosti dřeva se také využívá pro stavbu objektů v oblastech, kde hrozí zemětřesení. Pokud je dřevo řádně ošetřeno uchovává si svou pružnost a pevnost po mnoho let. [4]

1.2.3 Pevnost

Pevnost dřeva je stanovena jako odolnost proti porušení struktury dřeva. Skutečná pevnost dřeva je stanovena experimentálně jako napětí při porušení vzorku. Pevnost dřeva je rozdělena na tlakovou pevnost a tahovou pevnost dřeva.

Tahová pevnost

Pevnost v tahu je dána maximálním napětím které daný materiál vydrží než dojde k porušení. Pevnost dřeva v tahu je menší než u materiálů jako je ocel, ale díky nízké hustotě dřeva je dosahuje dobrého poměru pevnosti ku hmotnosti. Pevnost dřeva v tahu je ovlivněna druhem dřeva, obsahem vlhkosti a směrem vláken. Dřevo je výrazně pevnější ve směru vláken než ve směru kolmém k vláknům. Pro zvýšení pevnosti dřeva se využívá laminování nebo vyztužení skelnými popřípadě uhlíkovými vlákny. [4] [5]

Tlaková pevnost

Pevnost dřeva v tlaku je ovlivněna několika faktory, včetně druhu dřeva, směru vláken a vlhkosti dřeva. Tlaková pevnost je velmi ovlivněna směrem namáhání, ve směru vláken dosahuje dřevo podstatně vyšší pevnosti než ve směru kolmém ke směru vláken. Obecně platí, že dřevo je nejpevnější, když tlaková síla působí rovnoběžně s vlákny, a nejslabší, když síla působí kolmo k vláknům.

Různé druhy dřeva mají různé hodnoty pevnosti v tlaku, přičemž některé jsou silnější než jiné. Například dřeviny jako dub a javor mají vysokou pevnost v tlaku, zatímco dřeviny jako borovice a smrk mají relativně nižší pevnost v tlaku.

Důležitým faktorem, který ovlivňuje pevnost dřeva v tlaku, je také jeho vlhkost. Když je dřevo vystaveno vlhkosti, bobtná, a to může oslabit jeho pevnost v tlaku. Naopak při nízkém obsahu vlhkosti se dřevo stává hustším, což může zvýšit jeho pevnost v tlaku.

Ke zvýšení pevnosti dřeva v tlaku lze použít různé metody, včetně zvýšení hustoty dřeva, použití lepidel k jeho zpevnění a stlačení dřeva pod vysokým tlakem. Například překližka se vyrábí slepením několika tenkých vrstev dřeva, což zvyšuje její pevnost v tlaku.

Celkově je pevnost dřeva v tlaku důležitou vlastností, která z něj činí cenný materiál pro širokou škálu použití, od stavebnictví až po výrobu nábytku. Pochopení faktorů, které ovlivňují pevnost dřeva v tlaku, může pomoci zajistit, aby byl pro konkrétní použití použit vhodný typ dřeva a aby bylo dřevo správně ošetřeno a zpracováno tak, aby se optimalizovala jeho pevnost. [3] [4] [5]

1.2.4 Akustické vlastnosti

Dřevo patří mezi klasické materiály používané k výrobě hudebních nástrojů díky svým unikátním akustickým vlastnostem. Hustota a struktura dřeva ovlivňuje akustické vlastnosti, kdy dřevo s vyšší tvrdostí a hustotou produkuje jasnější a ostřejší tóny. Dřevo je pórovité a dokáže pohlcovat a odrážet zvukové vlny, což přispívá k jeho rezonanci. Tloušťka a tvar dřevěné desky mohou rovněž ovlivnit její akustické vlastnosti, přičemž silnější desky obecně produkují hlubší a více rezonantní tóny. Různé druhy dřeva mají jedinečné akustické vlastnosti, přičemž smrk, javor a palisandr patří k nejoblíbenějším pro konstrukci kytar a houslí. Kvalita a stáří použitého dřeva může mít také významný vliv na

zvuk nástroje, přičemž starší a dobře vyzrálé dřevo často produkuje komplexnější a bohatší tóny. Akustické vlastnosti dřeva mohou být ovlivněny faktory prostředí, jako je vlhkost a teplota, které mohou v průběhu času způsobit deformaci, praskání nebo změny kvality tónu. Schopnost dřeva tlumit nebo zesilovat určité frekvence lze využít při navrhování hudebních nástrojů a koncertních sálů k optimalizaci kvality zvuku a akustiky. Akustické vlastnosti dřeva se neomezují pouze na hudební nástroje a lze je využít i v architektonické akustice, včetně zvukové izolace a akustiky místností. [3]

1.3 Použití

Dřevo je pro lidstvo již tisíce let důležitým zdrojem. Používá se k různým účelům, včetně stavebnictví, výroby nábytku a jako palivo. Používání dřeva má několik výhod, jako například jeho obnovitelnost, nízká uhlíková stopa a všestrannost.

Jednou z nejvýznamnějších výhod používání dřeva je jeho obnovitelnost. Dřevo je přírodní zdroj, který lze obnovovat prostřednictvím udržitelných postupů lesního hospodářství. Udržitelné lesní hospodářství zahrnuje těžbu stromů způsobem, který zachovává zdraví lesa a biologickou rozmanitost, a je nezbytné pro zachování dlouhodobé životaschopnosti tohoto zdroje. Podle zprávy, kterou zveřejnila Organizace OSN pro výživu a zemědělství, zůstala celosvětová plocha lesů za posledních 30 let stabilní, zatímco objem porostní zásoby se zvýšil o více než 50 %. Tento nárůst je výsledkem účinného lesního hospodaření a programů zalesňování.

Další výhodou je nízká uhlíková stopa dřeva. Výroba výrobků ze dřeva vyžaduje ve srovnání s jinými stavebními materiály, jako je beton a ocel, výrazně méně energie. Stromy navíc pohlcují oxid uhličitý z atmosféry a ukládají ho ve své biomase, takže dřevo je uhlíkově neutrální materiál. Výzkum ukazuje, že použití dřeva jako náhrady jiných materiálů, jako je ocel nebo beton, může vést k výraznému snížení emisí skleníkových plynů.

Dřevo je také univerzální materiál, který lze použít k různým účelům, včetně stavebnictví, nábytku a obalů. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva z něj činí vynikající materiál pro stavebnictví. Bylo prokázáno, že dřevěné konstrukce jsou energeticky účinnější než jejich betonové a ocelové protějšky. Kromě toho je dřevo díky svému estetickému vzhledu a přirozené hřejivosti oblíbenou volbou pro výrobu nábytku, podlah a dekorativních prvků.

Používání dřeva je nezbytnou součástí udržitelného rozvoje. Dřevo je obnovitelný, nízkouhlíkový a všestranný materiál, který se po staletí používá k různým účelům. Prostřednictvím udržitelných postupů hospodaření v lesích a využívání dřeva ve stavebnictví a dalších aplikacích můžeme vytvořit udržitelnější budoucnost pro nás i pro naši planetu. [2] [4]

2 KOMPOZITY

Kompozity patří do skupiny materiálů složených ze dvou a více různých materiálů lišících se chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Kompozity jsou navrženy tak aby využívali výhodných vlastností použitých materiálů a zároveň aby minimalizovali nevýhodné vlastnosti. Používané materiály jsou vybírány s ohledem na jejich pevnost, tuhost, houževnatost nebo jiné požadované vlastnosti.

Kompozitní materiály mohou být rozděleny do tří hlavních skupin: kompozity s polymerní matricí, kompozity s kovovou matricí a kompozity s keramickou matricí. [6] [7] [8]

2.1.1 Kompozitní materiály s polymerní matricí

Kompozitní materiály s polymerní matricí patří mezi nejpoužívanější druh kompozitů. Jsou složeny z polymerní matrice jako například epoxidová nebo polyesterová pryskyřice vyztužené vlákny jako například uhlíkovými, aramidovými nebo skleněnými. Polymerní kompozity jsou charakteristické nízkou hmotností, vysokou pevností a dobrou únavovou odolností. Nejběžněji jsou používány v leteckém a automobilovém průmyslu.

2.1.2 Kompozitní materiály s kovovou matricí

Kompozitní materiály s kovovou matricí jsou složeny z kovové matrice vyztužené keramickými vlákny nebo částicemi. Kovová matrice zajišťuje většinu mechanických vlastností, zatímco keramická výztuž zlepšuje specifické vlastnosti jako je tuhost, pevnost a odolnost proti opotřebení. Kompozity s kovovou matricí vynikají vysokým poměrem pevnosti ke hmotnosti, vysokou tepelnou vodivostí a odolností proti opotřebení. Díky těmto vlastnostem jsou využívány v kosmickém, automobilovém a obranném průmyslu.

2.1.3 Kompozity s keramickou matricí

Kompozity s keramickou matricí jsou složeny z keramické matrice vyztužené keramickými vlákny nebo částicemi. Keramická matrice zajišťuje vlastnosti jako je vysoká teplotní odolnost, odolnost proti otěru a korozivzdornost. Keramická výztuž zlepšuje vlastnosti jako je pevnost a tuhost. Kompozity s keramickou matricí jsou využívány v oblastech

s vysokým tepelným zatížením, jako jsou plynové turbíny, komponenty v pístových motorech a tepelné výměníky. [6] [7] [8] [9]

2.2 Polymerní kompozity

Existuje několik typů polymerních kompozitů, včetně kompozitů vyztužených vlákny, kompozitů vyztužených částicemi a hybridních kompozitů.

Kompozity vyztužené vlákny jsou složeny z polymerní matrice vyztužené vlákny. Vlákna mohou být vyrobena z různých materiálů, například z uhlíku, skla nebo aramidu. Tyto kompozity jsou známé svým vysokým poměrem pevnosti a hmotnosti, díky čemuž jsou ideální pro použití v letadlech, automobilech a sportovním vybavení.

Kompozity vyztužené částicemi jsou tvořeny polymerní matricí vyztuženou malými částicemi. Částice mohou být vyrobeny z různých materiálů, například z keramiky, kovů nebo polymerů. Tyto kompozity jsou známé svou zvýšenou tuhostí a pevností, takže jsou ideální pro použití ve vysoce namáhaných aplikacích, jako je letecký a automobilový průmysl.

Hybridní kompozity jsou vyráběny kombinací dvou nebo více typů vyztužných materiálů s polymerní matricí. Tyto kompozity nabízejí kombinaci vlastností, jako je vysoká pevnost, tuhost a houževnatost. Používají se v různých aplikacích, včetně leteckého, automobilového a stavebního průmyslu. [9]

2.2.1 Vlastnosti polymerních kompozitů:

Polymerní kompozity mají několik vlastností, díky nimž jsou vhodné pro použití v různých aplikacích. Mezi tyto vlastnosti patří:

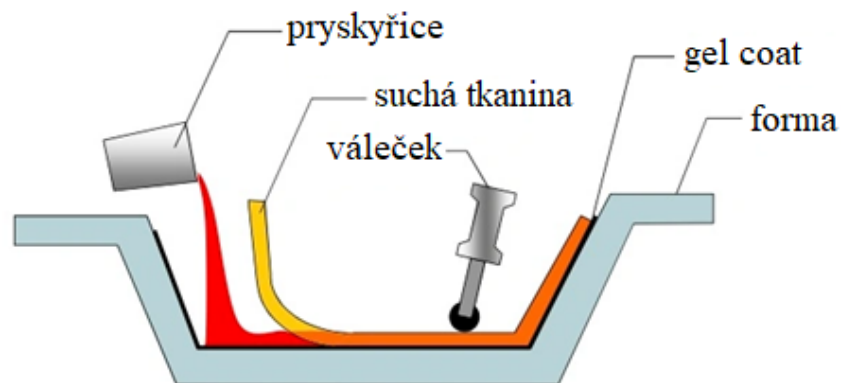
- Vysoký poměr pevnosti k hmotnosti: Polymerní kompozity jsou lehké a mají vysokou pevnost, takže jsou ideální pro použití v leteckém a automobilovém průmyslu.
- Trvanlivost: Polymerní kompozity jsou odolné vůči korozi, únavě a opotřebení, takže jsou vhodné pro použití v náročných podmínkách.

- Tepelná stabilita: Polymerní kompozity odolávají vysokým teplotám, takže jsou ideální pro použití ve vysokoteplotních aplikacích, například v letectví a kosmonautice.
- Konstrukční flexibilita: Polymerní kompozity lze navrhnout tak, aby splňovaly specifické požadavky, takže jsou vhodné pro použití v různých aplikacích. [13]

2.2.2 Technologie výroby polymerních kompozitů

2.2.2.1 Ruční kladení

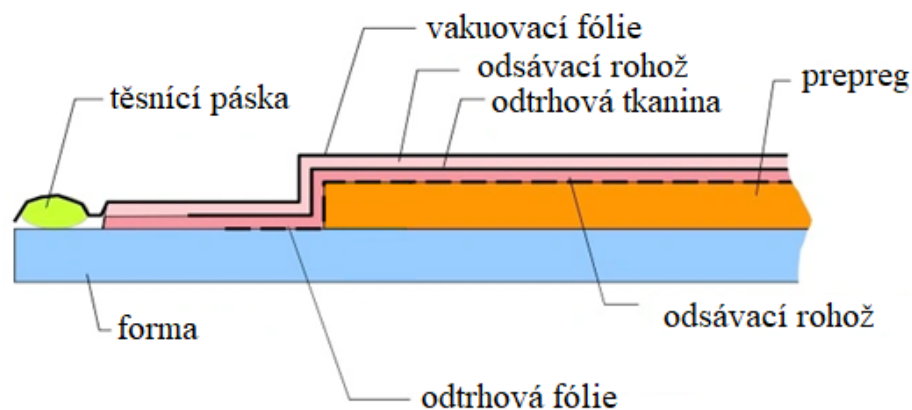
Ruční kladení je proces používaný k výrobě kompozitních dílů ručním vrstvením výztužných vláken nebo tkanin do formy a následným napuštěním vláken tekutou pryskyřicí. Pryskyřice se poté vytvrzuje, obvykle působením okolní teploty, i když pro urychlení procesu vytvrzování lze použít teplo. Ruční vrstvení je jednoduchý a univerzální proces, který lze použít k výrobě široké škály kompozitních dílů, je však náročný na pracovní sílu a může mít za následek nestejnou kvalitu. [6] [11] [12]



Obrázek 3 Schéma výroby kompozitů ručním kladením [10]

2.2.2.2 Lisování pomocí vakuového vaku

Lisování pomocí vakuového vaku je proces, při kterém se na formu pokrytou výztužnou tkaninou nebo vlákny smáčenými pryskyřicí aplikuje vakuum. Vakuum působí na kompozit tlakem, vytlačuje přebytečnou pryskyřici a konsoliduje laminát. Kompozit se poté vytvrzuje, obvykle při okolní teplotě nebo pomocí zdroje tepla. Vakuování může produkovat vysoce kvalitní kompozitní díly s dobrou povrchovou úpravou, ale vyžaduje specializované vybavení a může být časově náročné. [14] [15]



Obrázek 4 Schéma výroby kompozitů lisováním pomocí vakuového vaku [10]

2.2.2.3 Infuze pryskyřice

Při infuzi pryskyřice se pomocí vakua vtahuje tekutá pryskyřice do předlisku z vyztužujících vláken nebo tkaniny. Předlisek se umístí do formy a působením vakua se pryskyřice vtáhne do vláken. Kompozit je poté vytvrzen, obvykle při okolní teplotě nebo pomocí zdroje tepla. Infuzí pryskyřice lze vyrobit vysoce kvalitní kompozitní díly s dobrým obsahem vláken a nízkým obsahem dutin, vyžaduje však specializované vybavení a pečlivou kontrolu procesu infuze. [14] [15]

2.2.2.4 Mokrý vrstvení

Mokrý vrstvení je podobné ručnímu vrstvení, ale vlákna jsou před nanesením do formy předem smočena pryskyřicí. To může vést k lepšímu smáčení vláken a lepšímu poměru vláken k pryskyřici, což vede k pevnějším a konzistentnějším dílům. Mokrý vrstvení lze použít k výrobě jednoduchých i složitých geometrií a lze jej kombinovat s lisováním pomocí vakua pro lepší konsolidaci. [6] [14]

2.2.2.5 Lisování za tepla

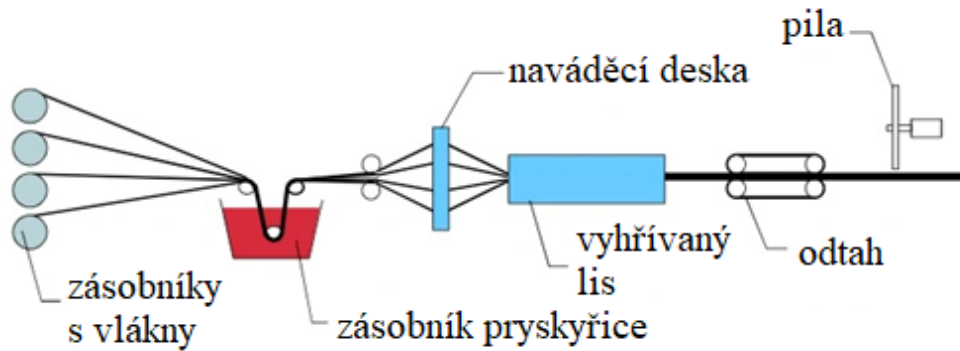
Lisování za tepla je výrobní technika používaná k výrobě kompozitních dílů z prepregu. Při tomto procesu se materiály umístí do formy a vystaví se působení tepla a tlaku. Použitá teplota a tlak závisí na konkrétních použitých materiálech a požadovaných vlastnostech konečného výrobku. Teplo způsobí, že polymerní matrice změkne, což umožní spojení výztužných vláken nebo částic s matricí a vytvoření pevného a odolného kompozitu. [14] [16]

2.2.2.6 Lisování v autoklávu

Lisování v autoklávu je proces, který zahrnuje použití vysokého tlaku a teploty k vytvrzení kompozitních dílů. Tento proces se obvykle používá pro kompozity vyrobené z vysoce výkonných materiálů, jako jsou uhlíková vlákna a epoxidové pryskyřice. Při této technice se materiály umístí do uzavřené komory zvané autokláv, která je pod tlakem a zahřátá na určitou teplotu. Vysoký tlak a teplota způsobí vytvrzení a ztvrdnutí pryskyřice, čímž vznikne pevný a odolný kompozit. [14]

2.2.2.7 Pultruze

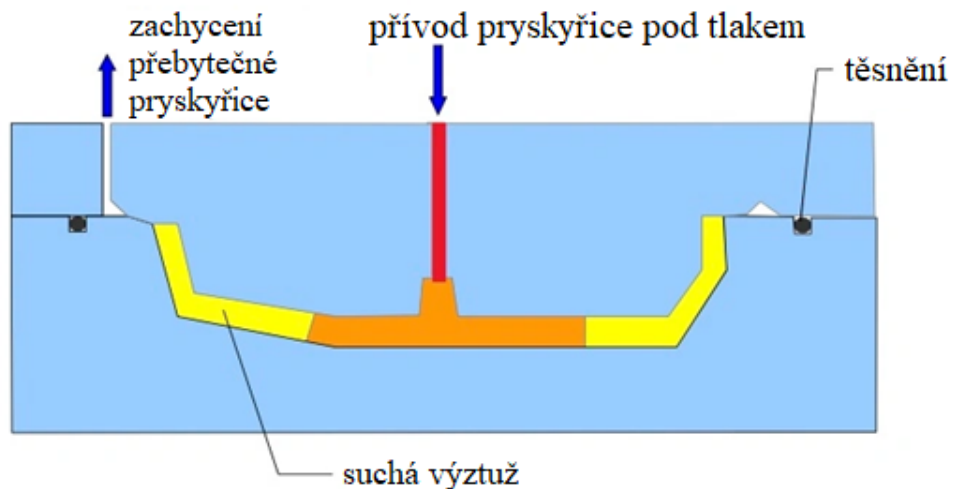
Pultruze je výrobní proces používaný k výrobě vysoce výkonných kompozitních materiálů. Tento proces zahrnuje protahování nekonečných vláknových výztuží skrz pryskyřičnou lázeň a vyhřívanou formu. Vlákna jsou nasycena tekutou pryskyřicí, obvykle polyesterovou, vinylesterovou nebo epoxidovou. Teplem se pryskyřice vytvrdí a vytvoří se pevný kompozitní materiál. Proces je kontinuální a vhodný pro velkosériovou výrobu. Výsledné kompozitní materiály mají několik výhod, včetně vysokého poměru pevnosti a hmotnosti, odolnosti proti korozi a vynikající odolnosti proti únavě a nárazu. Tento proces je používán pro díly s konstantním průřezem, jako jsou tyče, trubky a kanály. Pultruze poskytuje stálou kvalitu a výkon, a proto je oblíbenou volbou pro mnoho průmyslových odvětví. [14] [15]



Obrázek 5 Schéma výroby kompozitů pultruzí [10]

2.2.2.8 Resin transfer moulding (RTM)

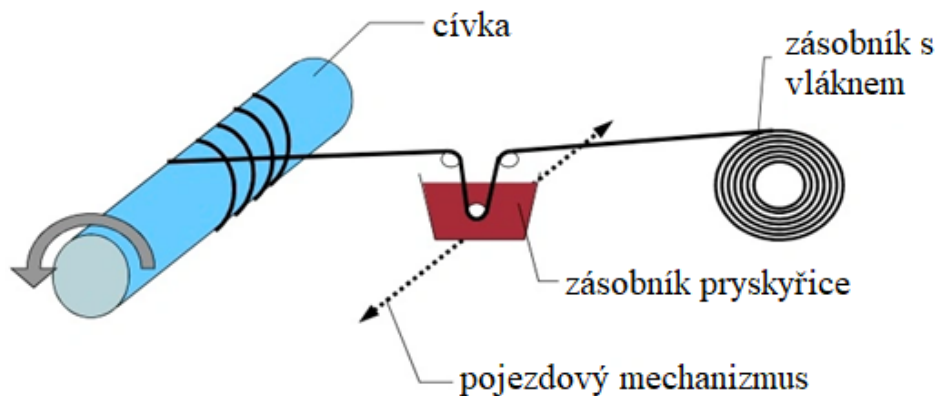
RTM je výrobní technika používaná k výrobě kompozitních dílů s vysokou pevností a nízkou hmotností. Proces zahrnuje vstřikování tekuté pryskyřice do předlisku z vyztužujících vláken, který je umístěn ve formě. Forma se poté uzavře a vystaví tlaku a teple, což způsobí vytvrzení pryskyřice a její spojení s vlákny. Výsledný kompozitní díl je pevný a odolný a má vynikající mechanické vlastnosti. [14]



Obrázek 6 Schéma výroby kompozitů metodou RTM [10]

2.2.2.9 Navíjení vláken

Navíjení vláken je výrobní technika používaná k vytváření válcových nebo kuželových kompozitních struktur, jako jsou trubky, nádrže a pláště raketových motorů. Proces zahrnuje navíjení souvislých vláken kolem rotujícího trnu nebo formy za současného nanášení pryskyřice. Poté se pryskyřice vytvrdí a vytvoří pevnou a odolnou kompozitní strukturu. [11] [12] [13]



Obrázek 7 Schéma výroby kompozitů pomocí navíjení vláken [10]

2.2.3 Aplikace polymerních kompozitů:

Polymerní kompozity mají širokou škálu aplikací v různých průmyslových odvětvích, včetně letectví, automobilového průmyslu, stavebnictví a sportu. Mezi běžné aplikace polymerních kompozitů patří např:

- Letecké součásti: Polymerní kompozity se díky své vysoké pevnosti a nízké hmotnosti hojně používají v součástech letadel, jako jsou křídla, trup a ocasní část.
- Díly pro automobilový průmysl: Kompozitní díly, jako panely karoserie, nárazníky a součásti motoru, jsou používány pro výrobu automobilových dílů z důvodu vysoké pevnosti a odolnosti.
- Konstrukce: Polymerní kompozity jsou používány ve stavebnictví, například v mostních konstrukcích, nosnících a sloupech.
- Sportovní vybavení: Z polymerních kompozitů je vyráběno sportovní vybavení, jako jsou tenisové rakety, golfové hole a jízdní kola. [17]

Polymerní kompozity jsou materiály, které se díky své vysoké pevnosti, odolnosti a nízké hmotnosti hojně využívají v různých průmyslových odvětvích. Mají několik vlastností, jako je vysoký poměr pevnosti a hmotnosti, trvanlivost, tepelná stabilita a konstrukční flexibilita, díky nimž jsou vhodné pro použití v různých aplikacích. Vzhledem k rostoucí poptávce po lehkých a vysoce pevných materiálech se očekává, že polymerní kompozity budou mít v budoucnu významný vliv na různá průmyslová odvětví. [17] [18]

2.3 Prepregy

Prepregy jsou kompozitní materiály, které se skládají z výztužných vláken, jako jsou uhlíková, skleněná nebo aramidová, impregnovaných systémem termosetových nebo termoplastických pryskyřic. Vlákna jsou uspořádána v různých orientacích, aby bylo dosaženo specifických mechanických vlastností.

Prepregy jsou vyráběny procesem impregnace, částečného vytvrzení a konečného vytvrzení, jehož výsledkem je tuhý a odolný kompozitní materiál s vynikajícím poměrem pevnosti k hmotnosti, nízkým obsahem dutin a rozměrovou stálostí.

Díky svým vysoce výkonným vlastnostem jsou prepregy běžně používány v průmyslových odvětvích, jako je letecký, automobilový a sportovní průmysl, pro aplikace zahrnující součásti letadel, panely automobilových karoserií a vysoce výkonné sportovní vybavení.

Prepregy rovněž nabízejí vysokou úroveň konzistence a kontroly kvality, protože systém pryskyřic je rovnoměrně rozložen v celém materiálu. Celkově jsou prepregy univerzální a stále oblíbenější možností kompozitních materiálů pro širokou škálu aplikací a nabízejí řadu výhod oproti tradičním materiálům. [14]

2.3.1 Výroba prepregu

Prepregy jsou vyráběny procesem, který zahrnuje několik fází, jež jsou pečlivě navrženy tak, aby vznikl vysoce výkonný kompozitní materiál se specifickými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi. Vyztužující vlákna se vybírají na základě požadovaných vlastností finálního kompozitu, jako jsou uhlíková, skleněná nebo aramidová vlákna.

Systém pryskyřice použitý při výrobě prepregů je rozhodující pro dosažení požadovaných vlastností konečného kompozitu a může se jednat o termoset nebo termoplast. Vlákna jsou

impregnována systémem pryskyřice a přebytečná vlákna jsou odstraněna pomocí řady válečků. Impregnovaná vlákna jsou poté částečně vytvrzena zahřátím na teplotu nižší, než je teplota konečného vytvrzení. Výsledkem je pružný a lepidlý kompozit, který lze řezat a tvarovat do požadované velikosti a tvaru.

Částečně vytvrzený prepreg je stříhán a tvarován pomocí automatických strojů nebo ručně nůžkami či noži. Po natvarování je materiál konečně vytvrzen, výsledkem je tuhý a odolný kompozitní materiál s vynikajícím poměrem pevnosti k hmotnosti, nízkým obsahem dutin a rozměrovou stálostí. Výrobní proces vyžaduje pečlivý výběr vláken a systému pryskyřic pro dosažení specifických mechanických a fyzikálních vlastností. [14] [15]

2.3.2 Druhy výztuže u prepregů

Jako výztužná vlákna jsou v předimpregnovaných materiálech běžně používány skleněná, uhlíková a aramidová vlákna. Každý typ vlákna je charakterizován svými jedinečnými vlastnostmi, díky nimž je vhodný pro různé aplikace.

Skleněná vlákna jsou vyráběna z oxidu křemičitého a běžně jsou používána v levných kompozitech. Kompozity vyztužené skleněnými vlákny jsou známé svou vysokou pevností a tuhostí, díky čemuž jsou vhodné pro aplikace vyžadující lehké materiály, jako jsou lopatky větrných turbín, automobilové díly a sportovní zboží.

Uhlíková vlákna jsou vyrobena z atomů uhlíku a jsou známá svou vysokou pevností a tuhostí. Kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny jsou používány v aplikacích, které vyžadují vysoký poměr pevnosti a hmotnosti, jako jsou součásti pro letecký průmysl a závodní automobily.

Aramidová vlákna jsou vyrobena ze syntetických polymerních vláken a jsou známá svou vynikající odolností proti nárazu a vysokou pevností v tahu. Kompozity vyztužené aramidovými vlákny jsou používány při balistické ochraně, například v neprůstřelných vestách a přilbách, a také v leteckém průmyslu a sportovních potřebách.

Prepregy se skleněnými, uhlíkovými a aramidovými vlákny jsou využívány pro své jedinečné vlastnosti a jsou vhodné pro různé aplikace. Například prepregy vyztužené skleněnými vlákny jsou běžně používány v levných kompozitech, zatímco prepregy vyztužené uhlíkovými vlákny jsou používány ve vysoce výkonných aplikacích a prepregy vyztužené aramidovými vlákny jsou používány v aplikacích, které je vyžadována odolnost proti nárazu a vysoká pevnost v tahu. [16] [17]

2.4 Možnosti výroby dřevo-kompozitů

Obecně jsou rozlišovány dvě kategorie dřevěných kompozitů: dřevotřískové a dřevovláknité desky. Dřevotřískové desky jsou vytvářeny stlačením malých dřevěných částic nebo třísek s pryskyřičným pojivem, čímž se vytvoří pevná deska. Deska z dřevovláknitých vláken je vytvářena stlačením dřevěných vláken s pryskyřičným pojivem.

Dřevotřískové desky:

Směs malých dřevěných částic nebo třísek s pryskyřičným pojivem se stlačí do ploché desky a vysuší a upraví na požadovaný rozměr. Dřevotřískové desky jsou obvykle používány pro interiérové aplikace, jako je nábytek a skříně, protože mají rovnoměrnější hustotu a pevnost a jsou levnější než masivní dřevo. [18]

Dřevovláknité desky střední hustoty (MDF):

Dřevěná vlákna se smíchají s pryskyřičným pojivem a stlačí se do husté desky. Deska se poté vysuší a upraví na požadovaný rozměr. MDF se obvykle používá pro interiérové aplikace, jako je nábytek a skříně, protože má hladký povrch a rovnoměrnější hustotu a pevnost než dřevotřískové desky.

Desky z orientovaných třísek (OSB):

Desky z orientovaných třísek (OSB) jsou vyráběny stlačením velkých dřevěných vláken s pryskyřičným pojivem, čímž je vytvořena deska. Vlákna jsou orientována v různých směrech, aby deska získala pevnost a tuhost. OSB desky obvykle jsou používány pro venkovní aplikace, jako jsou střešní krytiny a opláštění stěn, protože jsou odolnější proti vlhkosti a hnilobě než jiné dřevěné kompozity. [18] [19]

Výroba dřevěných kompozitů se obecně dělí do tří fází: příprava materiálu, tvorba desek a konečná úprava. Konkrétní kroky v jednotlivých fázích se mohou lišit v závislosti na typu vyráběného dřevěného kompozitu a zamýšleném použití kompozitu. [18]

Příprava materiálu:

Příprava dřevních vláken nebo částic, pryskyřičného pojiva a dalších přísad, které budou použity v kompozitu, je zahrnuta jako první fáze výrobního procesu. Dřevní vlákna nebo částice jsou obvykle získávána z pilařského odpadu nebo z jiných operací při zpracování dřeva. Vlákna nebo částice jsou poté vyčištěny a prosívány, aby byly odstraněny veškeré nečistoty, jako je hlína nebo kůra. Pryskyřičné pojivo se připravuje smícháním tekuté pryskyřice s tvrdidlem a dalšími přísadami, jako jsou vosky nebo pigmenty, v míchací nádobě. [20] [21]

Tvorba desek:

Tvoření desek je druhou fází výrobního procesu, zahrnující spojení dřevních vláken nebo částic s pryskyřičným pojivem a lisování směsi do ploché nebo tvarové desky. Způsob tvorby desek závisí na typu vyráběného dřevěného kompozitu a na zamýšleném použití kompozitu. Nejběžnější metody tvorby desek jsou následující:

Lisování za tepla:

Tato metoda zahrnuje rozprostření vrstvy dřevních částic nebo vláken na plochou nebo tvarovou formu, přidání pryskyřičného pojiva a stlačení směsi za tepla a pod tlakem, dokud neztvrdne v pevný panel.

Při lisování za tepla se dřevěné částice umístí do formy a poté se vystaví vysokému tlaku a teple. Tlak se může dosahovat až 5-7 MPa v závislosti na typu vyráběného kompozitu. Teplo se obvykle dodává zahřátím desek lisu na určitou teplotu, která se může pohybovat od přibližně 140 °C do 200 °C.

Proces lisování za tepla obvykle trvá od několika minut do několika hodin v závislosti na velikosti a tloušťce vyráběné desky. Při zahřívání a stlačování dřevěných částic dochází ke změkčení ligninu a dalších přírodních pryskyřic ve dřevě, které působí jako lepidlo a drží částice pohromadě. Teplo a tlak také způsobují, že se z dřevěných částic uvolňuje vlhkost, která je pak z panelu odváděna větracími otvory nebo odvodňovacími kanálky ve formě.

[20]

Jedním z klíčových faktorů úspěchu lisování za tepla je dosažení rovnoměrného rozložení tlaku a teploty po celém povrchu desky. To může být náročné, zejména u větších panelů, a vyžaduje to pečlivou pozornost věnovanou konstrukci formy, umístění dřevěných částic a provozu lisu. Nerovnoměrný tlak nebo teplota mohou mít za následek kolísání hustoty, obsahu vlhkosti a dalších vlastností kompozitního panelu.

Kromě teploty a tlaku mohou kvalitu kompozitního panelu ovlivnit i další faktory, jako je typ a množství použitého pojiva, velikost a rozložení částic a rychlost chlazení po lisování.

Lisování za tepla při výrobě dřevěných kompozitů je kritickým krokem při vytváření vysoce kvalitního, trvanlivého a konzistentního výrobku. Díky pečlivé pozornosti věnované tomuto procesu a použití moderních zařízení a technik mohou výrobci vytvářet širokou škálu dřevěných kompozitních desek, které splňují potřeby různých průmyslových odvětví a aplikací. [20] [21]

Vytlačování:

Tato metoda zahrnuje ohřev pryskyřičného pojiva a jeho vytlačování skrze lisovací formu za současného přidávání dřevěných částic nebo vláken do taveniny. Desky požadované velikosti a tvaru jsou poté vytvořeny ochlazením a řezáním extrudovaného profilu.

Proces vytlačování začíná smícháním dřevěných částic nebo vláken s termoplastickým polymerem, jako je polypropylen nebo polyethylen. Tato směs se pak přivádí do extrudéru, který směs polymeru a dřeva roztaví a vytvoří homogenní taveninu.

Roztavená směs je poté protlačena lisovacím zařízením, které dá kompozitnímu materiálu požadovaný tvar. Lis je obvykle navržen tak, aby odpovídal tvaru konečného výrobku.

Po vytlačení se materiál ochladí a ztuhne. K chlazení může být použita voda, vzduch nebo kombinace obou těchto způsobů. Ztuhlý kompozitní materiál se poté nařeže na požadovanou délku a podle potřeby se dokončí, například obrousí nebo natře ochrannou vrstvou.

Jednou z výhod procesu vytlačování při výrobě dřevěných kompozitů je možnost vytvářet složité tvary a konstrukce. Tento proces také umožňuje přesnou kontrolu vlastností materiálu, jako je pevnost, trvanlivost a barva.

Proces vytlačování oblíbenou metodou výroby dřevěných kompozitů díky své všestrannosti a účinnosti. Výsledné materiály mají oproti tradičním dřevěným výrobkům mnoho výhod, včetně vyšší trvanlivosti, odolnosti proti hnilobě a poškození hmyzem a nižších nároků na údržbu.

[18] [19] [20] [21]

3 APLIKACE DŘEVO-KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

3.1.1 Překližka

Překližka je kompozitní materiál tvořený vrstvami dýhy slepenými lepidlem, jednotlivé dýhy jsou zpravidla lepeny křížem. Mezi nejpoužívanější dřeviny pro výrobu překližky patří buk, smrk, bříza, topol a borovice. Podle použitého lepidla mohou být překližky rozděleny na truhlářské a voděvzdorné překližky. [23]

Truhlářská překližka

Truhlářské překližky jsou určeny pro všeobecné použití. Mezi běžně používané dýhy patří březová, buková, topolová a smrková dýha. K lepení dýh je používáno močovino-formaldehydové lepidlo. Truhlářské překližky jsou vyráběny v několika kvalitativních třídách, které se liší především množstvím vad dřeva jako jsou například suky.

Díky vhodným mechanickým vlastnostem jako je vysoká pevnost, houževnatost, pružnost, rozměrová stabilita, při současné nízké hustotě je truhlářská překližka používána na výrobu nábytkářských a truhlářských produktů. Dále se uplatňuje k výrobě obalů, hraček, a hudebních nástrojů. Truhlářská překližka není vhodná pro použití ve vlhkém prostředí, protože působením vlhkosti dochází k delaminaci vrstev dýhy. [24] [26]



Obrázek 8 Truhlářská topolová překližka [22]

Voděvzdorná překližka

Voděvzdorné překližky jsou nejčastěji vyráběny z bukové, smrkové nebo březové dýhy. Výroba voděvzdorné překližky se od truhlářské liší použitým druhem lepidla. Nejčastěji se používá fenol-formaldehydové lepidlo.

Povrch překližky může být broušený nebo pokrytý fenolickou folií. Vodovzdorné překližky se uplatňují ve stavebnictví jako betonářské bednění nebo při konstrukci

dřevostaveb, v obalovém průmyslu, pro konstrukci dopravních prostředků a v nábytkářském průmyslu. [23] [24]



Obrázek 9 Voděvzdorná březová překližka s protiskluzovým povrchem [22]

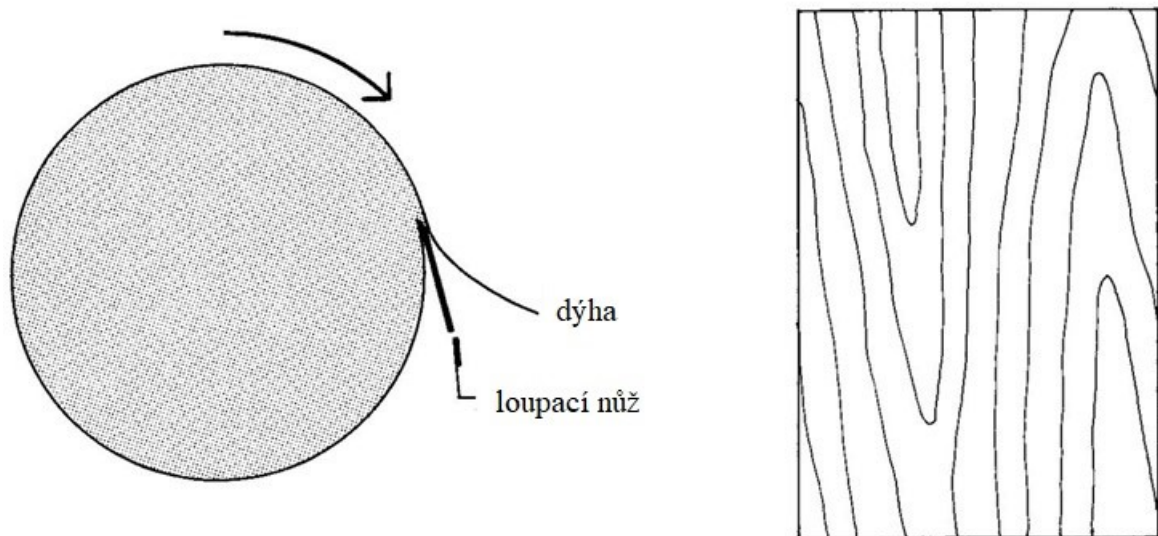
Výroba překližek

Překližka se vyrábí vrstvením tenkých listů dřevěné dýhy do kříže. Nejprve se kmeny odkorní a rozřezou na dlouhé tenké listy, kterým se říká dýhy. Dýhy se vyrábějí loupáním na rotačním soustruhu nebo krájecím stroji a mají obvykle tloušťku menší než 3 mm. Po řezání se dýhy namáčí do vody, aby byly poddajnější a snížilo se tak riziko praskání během výrobního procesu.

Poté se dýhy natírají lepidlem. Pro výrobu překližek jsou používány různé druhy lepidel, včetně fenolformaldehydového, melaminoformaldehydového a močovinoformaldehydového. Při nanesení lepidla se dýhy vrství křížem přes sebe, což zajišťuje pevné spojení mezi dýhami a strukturální integritu konečného výrobku. Počet vrstev použitých v překližce se liší v závislosti na tloušťce konečného výrobku.

Jakmile jsou vrstvy dýhy naskládány na sebe, jsou lisovány a zahřívány v hydraulickém lisu. Při lisování se používají tlak a teplota, které přispívají k pevnosti a kvalitě konečného výrobku. Tento proces způsobí, že lepidlo spojí vrstvy dýhy dohromady a vytvoří pevný a odolný list překližky.

Nakonec se překližka ořízne na požadovaný rozměr a obrousí, aby byl povrch hladký. [23]



Obrázek 10 Výroba dýhy loupáním z kulatiny [23]

3.1.2 Lepené vrstvené dřevo LVL (Laminated Veneer Lumber)

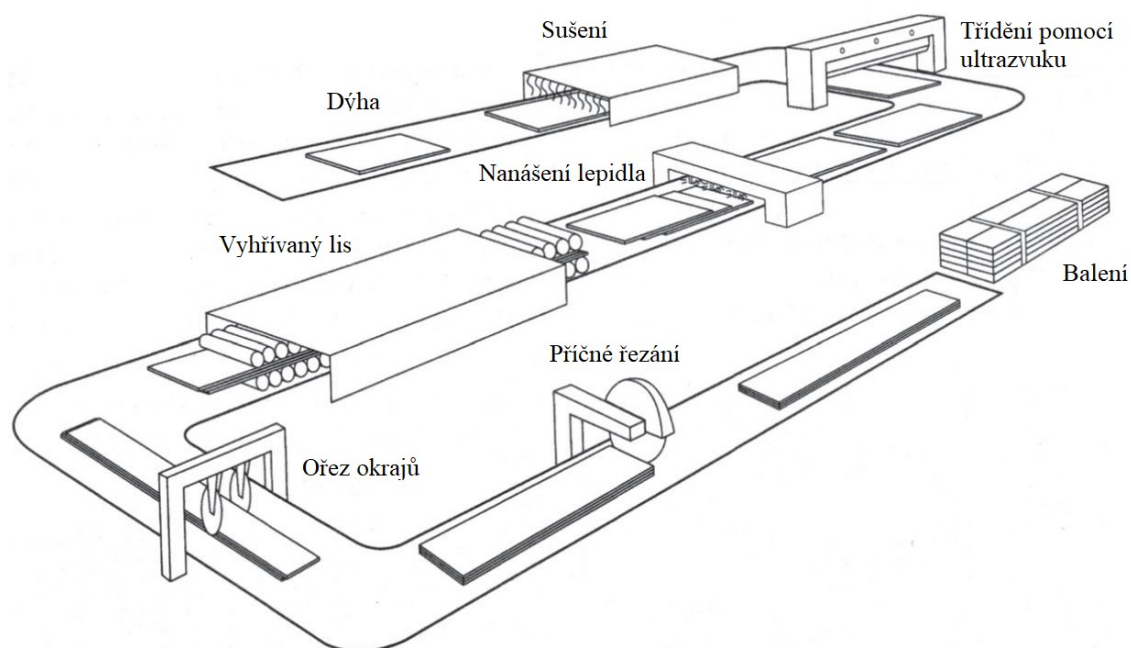


Obrázek 11 Lepené vrstvené dřevo [22]

Lepené vrstvené dřevo je podobně jako překližka vyráběné z dýhy vzniklé procesem rotačního loupání. Na rozdíl od překližky, kde jsou vrstvy dýhy lepeny napříč k dosažení stejné pevnosti v obou směrech, jsou LVL desky tvořeny vrstvami dýhy slepenými ve stále stejném směru rovnoběžném s osu nejdelší strany desky.

Vstupním materiálem pro výrobu LVL desek je loupaná dýha, která je nejdříve sušena v sušárně na požadovanou vlhkost 8-10 %. Pro zvýšení výsledné tuhosti jsou pomocí ultrazvukové třídičky vybírány dýhy vyšší jakosti pro použití v povrchových vrstvách LVL. Jednotlivé dýhy jsou nejčastěji slepeny pomocí fenolformaldehydové pryskyřice. Vytvrzení lepidla probíhá ve vyhřívaném válečkovém lisu, následuje ořez okrajů a příčné řezání na zvolený formát.

LVL je nejčastěji používáno pro stavbu dřevostaveb, kde tvoří nosníky, překlady, zárubně, stojky a trámy. [25] [26]



Obrázek 12 Schéma výroby LVL desek [25]

3.1.3 OSB desky (Oriented strand board)

OSB je materiál ve formě velkých plošných desek složených z orientovaných plochých dlouhých třísek. Ve vnějších vrstvách jsou třísky uloženy rovnoběžně s podélnou osou desky a uprostřed OSB jsou třísky uloženy příčně nebo náhodně v různých směrech.

Mechanické vlastnosti OSB jsou rozdílné v příčném a podélném směru desky, ohybová pevnost je 2x vyšší ve směru podélném než ve směru příčném.

Pro výrobu OSB desek je nejprve nutno odkornit dřevěnou kulatinu, následuje roztřískování na válcovém nebo deskovém roztřískovači. Běžný rozměr třísky je 75 x 25 x 0,6 mm. Vlhkost třísek po roztřískování dosahuje z technologických důvodů více než 60% ale pro další zpracování je nutné jejich vysušení na vlhkost 2 – 4%. Vysušené třísky jsou třízeny v bubnových třídících na jemnou frakci, která je použita do středových vrstev, hrubou frakci která je v povrchových vrstvách a nejjemnější frakci která není vhodná pro další zpracování. Nanášení lepidla probíhá v bubnové nanášečce do které je přiváděno nejčastěji fenolformaldehydové nebo polyuretanové lepidlo. Třísky jsou dále rozvrstveny a lisovány ve vyhřívaném kontinuálním lisu. Po slisování jsou desky řezány na požadovaný formát.

OSB jsou nejčastěji používány pro stavbu dřevostavěb jako opláštění stěn, střech, konstrukci podlah a stropů. Dále jsou OSB desky používány pro obaly, betonové bednění a výrobu nábytku. [25] [26]



Obrázek 13 OSB deska [22]

3.1.4 Křížem lepené dřevo CLT

Křížem lepené dřevo je tvořeno z velkých dřevěných desek slepených konstrukčními lepidly do formátu dřevěného panelu. Vlákna jednotlivých desek svírají úhel 90 stupňů. Tím je dosaženo vysoké nosné pevnosti takto vyrobených dřevěných panelů. Tento

stavební systém ve formě velkoformátových desek je používán jako alternativa betonu a oceli pro stavbu budov. Mezi výhody CLT desek ve srovnání s běžnými stavebními materiály patří výrazně nižší hmotnost, snadná opracovatelnost a tepelně izolační vlastnosti. [26]



Obrázek 14 Křížem lepené dřevo [22]

3.1.5 Dřevo kompozity vyztužené skelnými vlákny

V posledních letech se stále více upřednostňuje použití dřevěných kompozitů vyztužených skleněnými vlákny díky jejich lepším mechanickým vlastnostem a vyšší odolnosti ve srovnání s tradičními materiály na bázi dřeva. Tyto materiály jsou složeny z kombinace dřevěných vláken a pryskyřic, které jsou vyztuženy skleněnými vlákny, jež jsou známé svou vysokou pevností a tuhostí.

Jejich vynikající mechanické vlastnosti je předurčují k použití v aplikacích, které vyžadují vysoký výkon a trvanlivost. Jsou také vhodné pro použití ve vlhkém prostředí, díky své vysoké odolnosti proti vlhkosti.

Dřevěné kompozity vyztužené skleněnými vlákny mají menší dopad na životní prostředí, protože se obvykle vyrábějí z udržitelných zdrojů. K jejich výrobě je také zapotřebí méně energie než u jiných vysoce výkonných materiálů, což může snížit jejich uhlíkovou stopu.



Obrázek 15 Překližka vyztužená skelnými vlákny [22]

Dřevo kompozity vyztužené skelnými vlákny jsou používány například jako konstrukční panely, které mohou sloužit ke konstrukci podlah, stěn, nábytku a stropů v aplikacích kde je požadována vysoká pevnost, odolnost a nízká hmotnost. Mohou být použity pro stavbu karavanů, lehkých montovaných domů a částí interiéru automobilů.

Dále je tento materiál používán k výrobě sportovního náčiní jako například pálky na stolní tenis, baseballové páky a luky. Díky dobré odolnosti vůči vlhkosti mohou být používány k výrobě lodí.

3.1.6 Dřevo kompozity vyztužené uhlíkovými vlákny

Poměrně nový materiál, který kombinuje výhody dřeva a uhlíkových vláken, je vytvářen vyztužením dřeva uhlíkovými vlákny. Uhlíková vlákna jsou lehký a pevný materiál, který se běžně používá ve vysoce výkonných aplikacích, jako je letectví a motoristický sport. Naopak dřevo je obnovitelný a udržitelný zdroj s jedinečnými vlastnostmi, jako je nízká hustota, dobré izolační vlastnosti a vysoký poměr pevnosti k hmotnosti.

Mechanické vlastnosti dřeva jsou zlepšeny uhlíkovými vlákny a vzniká tak materiál, který je pevný, lehký a šetrný k životnímu prostředí. Výsledný materiál je ideální pro aplikace, které vyžadují jak pevnost, tak snížení hmotnosti.

Materiál je mnohem lehčí než tradiční dřevo a má vyšší pevnost, takže je ideální pro aplikace, kde je snížení hmotnosti kritické. Další výhodou je jeho šetrnost k životnímu

prostředí. Použití dřeva jako základního materiálu snižuje množství potřebných neobnovitelných zdrojů a uhlíková vlákna lze recyklovat, což snižuje množství odpadu a uhlíkovou stopu.

Tento materiál nachází uplatnění při výrobě sportovního náčiní jako jsou hokejky, pálky na stolní tenis, baseballové pálky a pádla. Díky vysoké pevnosti a nízké hmotnosti může být materiál použit ke konstrukci částí letadel. Kombinace dřeva s uhlíkem poskytuje také dobré akustické vlastnosti, proto je tento materiál používán k výrobě kvalitních repro soustav.

4 HYBRIDNÍ KOMPOZITY

Kompozitní materiály složené ze dvou nebo více různých typů výztužných vláken nebo částic v kombinaci s matricí jsou využívány v celé řadě průmyslových odvětví, včetně leteckého, automobilového, lodního a sportovního průmyslu, díky svým vynikajícím mechanickým, tepelným a fyzikálním vlastnostem.

Vlákna používaná v hybridních kompozitech lze rozdělit na kontinuální a diskontinuální typy. Kontinuální vlákna, vyrobená obvykle z uhlíku, skla nebo aramidu, se využívají v aplikacích s vysokým namáháním díky své vysoké pevnosti a tuhosti. Nespojité vlákna, vyráběná obvykle z přírodních vláken, jako je bambus, konopí nebo len, se používají v aplikacích s nízkým namáháním díky své nízké ceně a snadnému zpracování.

Materiál matrice, použitý v hybridních kompozitech, může být buď termosetový nebo termoplastický. Termosetové matrice, jako je epoxid nebo polyester, se běžně využívají ve vysoce výkonných aplikacích díky svým vynikajícím mechanickým vlastnostem a odolnosti vůči vysokým teplotám. Termoplastické matrice, jako je polypropylen nebo nylon, se běžně využívají v aplikacích s nízkými až středními výkony díky své nižší ceně a snadnému zpracování.

Jednou z klíčových výhod hybridních kompozitů je, že mohou být splněny specifické požadavky na použití v oblastech se specifickými podmínkami. Například, hybridní kompozit vyrobený z uhlíkových a skleněných vláken může být navržen tak, aby byl dosažen vysoký poměr pevnosti k hmotnosti, zatímco kompozit vyrobený z uhlíkových a aramidových vláken může být navržen tak, aby byla dosažena vysoká odolnost proti nárazu. Udržitelná alternativa k syntetickým vláknům a snížení celkové hmotnosti kompozitu mohou být poskytnuty použitím přírodních vláken v hybridních kompozitech.

Výrobní proces hybridních kompozitů může být složitý a časově náročný, protože je nutný pečlivý výběr a kombinace různých typů vláken a matricových materiálů. Příprava výztužných vláken, příprava matricového materiálu a smíchání obou složek jsou obvykle zahrnuty v procesu. Techniky, jako je lisování, vstřikování nebo navíjení vláken, jsou použity k zpracování výsledné směsi. [15] [27]

Vlákna jsou pečlivě uspořádána během výrobního procesu tak, aby byly optimalizovány vlastnosti kompozitu. Specifické mechanické vlastnosti, jako je vysoká pevnost, tuhost nebo houževnatost, mohou být dosaženy přizpůsobením uspořádání vláken. Také se může

upravit orientace a hustota vláken, aby poskytovala specifické tepelné a elektrické vlastnosti.

Výhody použití hybridních kompozitů oproti tradičním kompozitům mohou být výrazné. Například, hybridní kompozit uhlíku a skla může poskytnout vyšší poměr pevnosti a hmotnosti než kompozit vyrobený pouze z jednoho z těchto materiálů. Stejně tak, hybridní kompozit vyrobený z přírodních vláken a termoplastické matrice může poskytovat udržitelnou alternativu k syntetickým kompozitům.

Další výhodou hybridních kompozitů může být lepší odolnost proti korozi a únavě. Použití různých typů vláken a matricových materiálů může také vést k nákladově efektivnějšímu řešení pro určité aplikace.

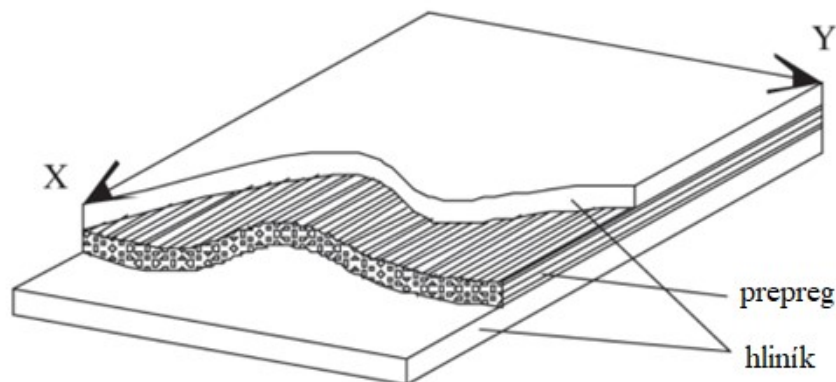
Hybridní kompozity jsou používány v široké škále aplikací, včetně leteckého a obranného průmyslu, automobilového průmyslu, dopravy a sportovních potřeb. Výroba lehkých a vysoce pevných součástí pro letadla a kosmické lodě, jakož i výroba lehkých a vysoce výkonných součástí vozidel, jsou zahrnuty v použití hybridních kompozitů v těchto průmyslových odvětvích. Lehké a výkonné vybavení, jako jsou golfové hole, tenisové rakety a hokejky, se vyrábí pomocí hybridních kompozitů ve sportovním průmyslu.

Očekává se, že používání hybridních kompozitů v nadcházejících letech bude růst, protože výrobci se budou snažit zlepšit výkonnost a udržitelnost svých výrobků. Další zlepšení výkonnosti a nákladové efektivity hybridních kompozitů jsou pravděpodobně způsobena pokroky ve vědě o materiálech a výrobní technologii. [27]

4.1 Arall

Hybridní kompozitní materiál nazvaný Arall je složen z aramidových vláken a hliníkové slitiny. Název "Arall" vychází z kombinace slov "aramid" a "hliník". Tento materiál je vhodný pro širokou škálu aplikací díky své lehkosti, pevnosti a odolnosti proti korozi.

Aramidová vlákna, obvykle kevlarová, jsou používána v materiálu Arall kvůli svému vysokému poměru pevnosti k hmotnosti, vynikající odolnosti proti nárazu a oděru a nízké průtažnosti. Hliníková slitina je přidávána k aramidovým vláknům s cílem zvýšit tuhost a pevnost kompozitního materiálu.



Obrázek 16 Kompozice materiálu Arall [32]

Arall má několik výhod oproti tradičním materiálům, jako je ocel a hliník. Je přibližně pětikrát pevnější než ocel, ale váží jen třetinu. Díky tomu je vhodný pro použití ve vysoce pevných a lehkých aplikacích, jako jsou letecké komponenty a balistická ochrana. Kromě toho je Arall vysoce odolný proti korozi, což z něj činí vhodný materiál pro použití v korozivním prostředí.

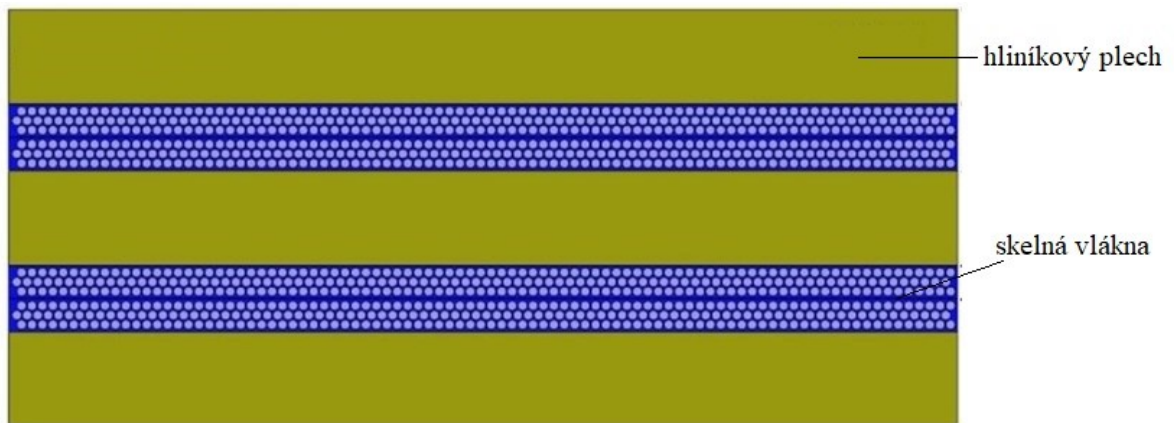
Různé technologie výroby, jako je pultruze, navíjení vláken a lisování s přenosem pryskyřice, se používají k výrobě materiálu Arall. Tyto metody umožňují vyrábět materiál v různých tvarech a velikostech, takže je vhodný pro širokou škálu aplikací.

Aplikace materiálu Arall zahrnují výrobu součástí letadel, tlakových nádob a sportovního vybavení, jako jsou golfové hole a tenisové rakety. Arall se také používá při stavbě vysoce výkonných lodí, kde je díky své pevnosti a odolnosti proti korozi ideálním materiálem pro trupy a paluby.

Tento materiál má širokou škálu použití a nabízí několik výhod oproti tradičním materiálům, jako je ocel a hliník. [32]

4.2 Glare

Glare je hybridní kompozitní materiál vyrobený z tenkých vrstev hliníku a polymeru vyztuženého skleněnými vlákny. Jeho název je odvozen z anglického "glass laminate aluminium reinforced epoxy". Tento materiál je známý svým vysokým poměrem pevnosti a hmotnosti, odolností proti korozi a trvanlivostí, což z něj činí oblíbenou volbu pro širokou škálu aplikací.



Obrázek 17 Kompozice materiálu Glare [33]

Glare je tvořen vrstvami střídajících se tenkých plátů hliníku a polymeru vyztuženého vláknem. Vrstvy jsou poté spojeny epoxidovou pryskyřicí. Výsledkem je materiál, který je lehký a pevný a má vysokou odolnost proti poškození.

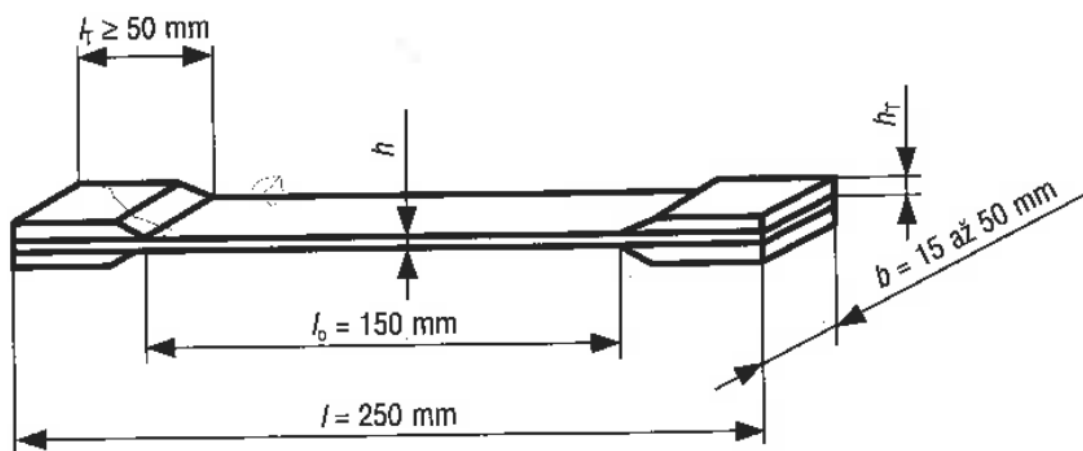
Jednou z hlavních výhod materiálu Glare je jeho vysoká odolnost proti únavě. Díky tomu je obzvláště vhodný pro použití v leteckém a kosmickém průmyslu, kde musí materiály odolávat opakovaným zatěžovacím cyklům. Glare byl použit při výrobě různých součástí letadel, včetně rámů trupu, panelů křidel a podlahových nosníků.

Kromě použití v leteckém a kosmickém průmyslu se Glare používá také při stavbě mostů, budov a dokonce i v námořním průmyslu. Díky své odolnosti proti korozi je obzvláště vhodný pro použití v místech, jako jsou pobřežní oblasti, kde jsou konstrukce vystaveny slané vodě a dalším korozivním prvkům. [33]

5 TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KOMPOZITŮ

5.1 Statická zkouška tahem

Zkoušení kompozitů statickým tahem je považováno za jednu z nejběžnějších a nejzákladnějších mechanických zkoušek prováděných na kompozitních materiálech. Působení axiálního zatížení v tahu podél podélné osy zkušební vzorku je měřena pevnost, tuhost a tažnost materiálu, což jsou základní vlastnosti pro navrhování a optimalizaci kompozitních materiálů pro konkrétní aplikace. [28]



Obrázek 18 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku kompozitních materiálů [6]

Zkouška tahem je obvykle prováděna na univerzálním zkušebním stroji, který aplikuje na kompozitní vzorek axiální zatížení konstantní rychlostí, dokud nedojde k jeho porušení. Během zkoušky je zatížení působící na vzorek a odpovídající deformace zaznamenávány strojem. Naměřená data se používají k sestavení grafu napětí na deformaci materiálu. Graf napětí na deformaci ukazuje odezvu materiálu na působící zatížení, včetně jeho chování při pružné a plastické deformaci, bodu kluzu a mez pevnosti v tahu.

Pevnost v tahu u kompozitů závisí na orientaci vláken, objemovém podílu vláken a rozhraní mezi vlákny a matricí. Vyšší objemový podíl vláken a pevnější rozhraní mezi vlákny a matricí obecně vedou k vyšší pevnosti v tahu. Pevnost a tuhost kompozitu jsou také ovlivněny orientací vláken. Nejvyšší pevnost je u jednosměrných kompozitů ve směru vláken, zatímco u tkaných nebo náhodně orientovaných kompozitů je pevnost nižší a závisí na orientaci působícího zatížení. [28] [29]

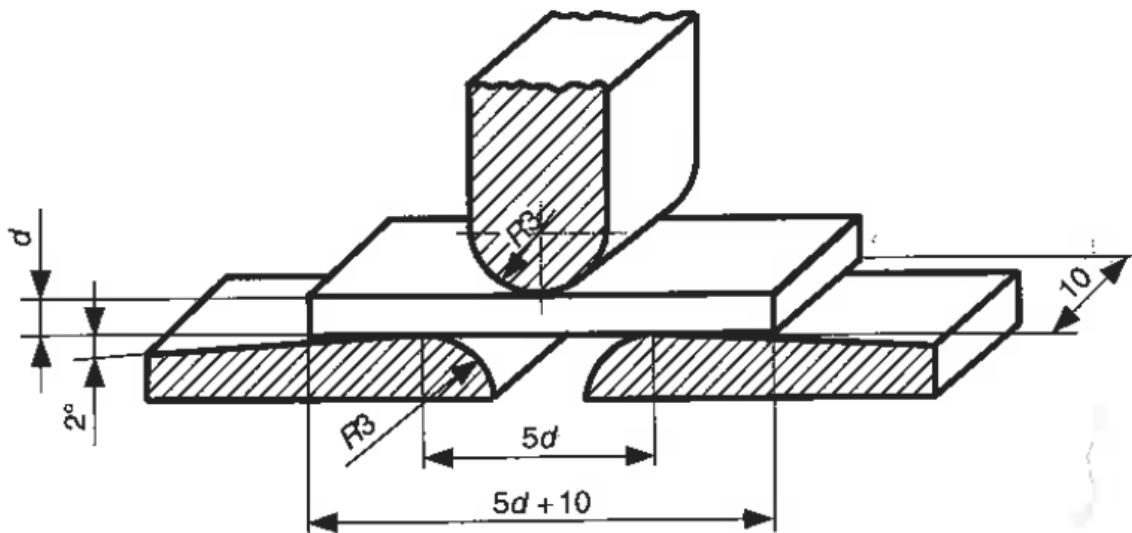
Statické zkoušky tahem mohou být prováděny na různých typech kompozitních materiálů, včetně kompozitů s polymerní matricí, kompozitů s kovovou matricí a kompozitů s keramickou matricí. Zkouška může být také použita k vyhodnocení vlivu různých faktorů, jako je teplota, vlhkost a míra zatížení, na mechanické vlastnosti materiálu.

Statická zkouška tahem je považována za základní mechanickou zkouškou pro hodnocení pevnosti a tuhosti kompozitních materiálů. Cenné informace pro navrhování a optimalizaci kompozitních materiálů pro konkrétní aplikace poskytuje tato zkouška a lze ji použít k vyhodnocení vlivu různých faktorů na mechanické vlastnosti materiálu. [28] [30]

5.2 Statická zkouška ve smyku

5.2.1 Metoda krátkého nosníku (Short-Beam test)

Zkouška krátkým nosníkem je široce používanou metodou měření pevnosti ve smyku a modulu pružnosti kompozitních materiálů. Zkouška krátkým nosníkem se používá k hodnocení pevnosti ve smyku kompozitních materiálů je zvláště užitečná pro hodnocení mezilaminární pevnosti ve smyku. [28]



Obrázek 19 Tříbodový ohyb krátkého nosníku (6)

Zkouška krátkým nosníkem zahrnuje umístění malého vzorku kompozitního materiálu mezi dvě podpěry, které jsou k sobě blíže, než je rozpětí nosníku. Na horní část vzorku se pak umístí zatěžovací hrot a do středu vzorku se působí silou. Vzorek se vychýlí a

zaznamenají se údaje o zatížení a výchylce. Ze zatížení a rozměrů vzorku lze vypočítat pevnost vzorku ve smyku.

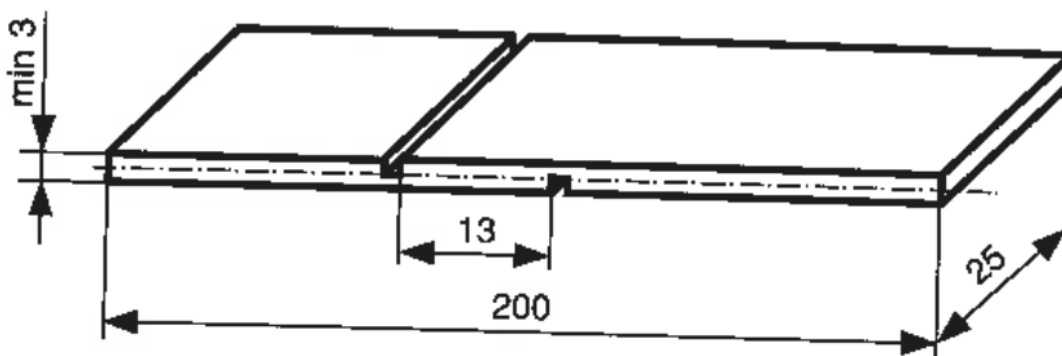
Zkouška na krátkém nosníku se běžně používá, protože ji lze provádět na malých vzorcích, což ji činí užitečnou pro hodnocení smykových vlastností kompozitních materiálů s omezenou dostupností vzorků. Kromě toho tato zkušební metoda umožňuje měřit mezilaminární pevnost ve smyku kompozitního laminátu, která je důležitá pro posouzení pevnosti spoje mezi vrstvami kompozitního materiálu.

Zkouška krátkým nosníkem se často provádí podle normy ASTM, která obsahuje podrobné pokyny pro přípravu a zkoušení kompozitních vzorků pro zkoušku krátkým nosníkem ve smyku. Norma ASTM specifikuje rozměry vzorku, míru zatížení a zkušební podmínky, čímž zajišťuje přesnost a reprodukovatelnost výsledků zkoušky.

Celkově je zkouška krátkým nosníkem důležitou metodou pro hodnocení pevnosti ve smyku a modulu pružnosti kompozitních materiálů a je široce používána v leteckém, automobilovém a stavebním průmyslu k zajištění kvality a spolehlivosti kompozitních výrobků. [28] [30]

5.2.2 Zkouška smykem s vrubem

Zkouška smykem s vrubem ve tvaru písmene V nebo U je široce používaná metoda pro hodnocení pevnosti kompozitních materiálů ve smyku. Je podobná zkoušce na krátkém nosníku, ale liší se geometrií vzorku a konfigurací zatížení.



Obrázek 20 Zkušební těleso pro stanovení mezilaminární smykové pevnosti [6]

Při zkoušce je obdélníkový vzorek kompozitního materiálu upnut mezi dvě sady čelistí, přičemž uprostřed vzorku je vyříznut zářez ve tvaru písmene V. Vzorek je zatěžován v tříbodovém ohybu, přičemž zatěžovací hrot je umístěn na horní straně vzorku a dvě podpěry jsou umístěny na spodní straně, jedna na každé straně zářezu. Poté se na vzorek působí zatížením, které způsobí jeho porušení podél linie vrubu střížným pohybem. Zaznamenají se údaje o síle a posunutí a lze vypočítat pevnost materiálu ve smyku.

Geometrie vzorku ve tvaru V vytváří na špičce vrubu soustředěné napěťové pole, což z něj činí účinnou metodu pro vyhodnocování mezilaminární smykové pevnosti kompozitních materiálů. Zkouška je rovněž užitečná pro vyhodnocení mezilaminární lomové houževnatosti kompozitních materiálů.

Zkouška se často provádí v souladu s normou ASTM, která obsahuje podrobné pokyny pro přípravu a zkoušení kompozitních vzorků pro zkoušku smykem s V vrubem. Norma ASTM specifikuje rozměry vzorku, míru zatížení a zkušební podmínky, čímž zajišťuje přesnost a reprodukovatelnost výsledků zkoušky.

Zkouška nosníku s V vrubem je důležitou metodou pro hodnocení pevnosti ve smyku mezi vrstvami a lomové houževnatosti kompozitních materiálů a je široce používána v leteckém, automobilovém a stavebním průmyslu k zajištění kvality a spolehlivosti kompozitních výrobků. [28] [29] [30]

5.3 Statická zkouška ohybem

Velmi důležitou vlastností kompozitních materiálů je jejich odolnost vůči ohybovému namáhání. V mnoha aplikacích, včetně leteckého, automobilového a lodního průmyslu, jsou kompozitní materiály široce používány díky jejich vynikající tuhosti a vysokému poměru pevnosti k hmotnosti.

Jedním z nejběžnějších typů zkoušek, které jsou prováděny na kompozitních materiálech, jsou zkoušky ohybem. Pečlivě se měří výchylka nebo deformace středového vzorku, který je zatížen různými způsoby, například tříbodovým ohybem nebo čtyřbodovým ohybem. V závislosti na použití a typu zkoušeného kompozitního materiálu lze použít různá zkušební uspořádání. Pro výpočet pevnosti v ohybu a tuhosti materiálu se měří průhyb vzorku při ohybu. Volba zkušební metody závisí na specifických požadavcích konstrukce a zamýšleném použití materiálu. Je nezbytné dodržovat příslušné normy a postupy, aby bylo

dosaženo přesných a spolehlivých údajů při zkoušení kompozitních materiálů v ohybu. [31]

5.3.1 Tříbodový ohyb

Tříbodová ohybová zkouška je běžně používanou zkušební metodou k hodnocení chování kompozitních materiálů v ohybu. Výsledky této zkoušky mohou být použity ke zlepšení konstrukce a vlastností materiálů v různých aplikacích. Zkouška spočívá v působení zatížení ve středu vzorku ve tvaru nosníku podepřeného dvěma body a měření výsledného průhybu nebo deformace. Byly vyvinuty standardní rovnice pro výpočet ohybového napětí a deformace na základě údajů o zatížení a posunutí během zkoušky. Tříbodovou ohybovou zkoušku lze použít k vyhodnocení vlivu různých parametrů na chování materiálu v ohybu. Zkouška se provádí pomocí univerzálního zkušebního stroje vybaveného zatěžovací hlavou a dvěma podpěrami a může být prováděna podle různých norem a postupů. Pevnost v ohybu, tuhost a deformační charakteristiky jsou cennými informacemi, které lze získat z výsledků tříbodové ohybové zkoušky. [29] [31]

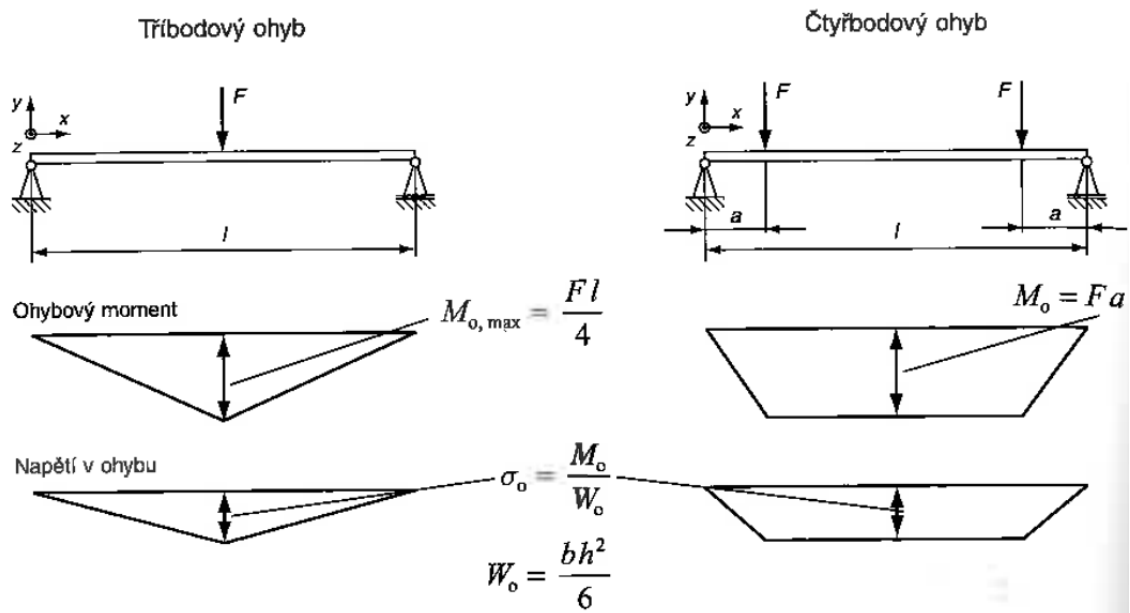
5.3.2 Čtyřbodový ohyb

Zkušební metoda čtyřbodového ohybu je běžně využívána k hodnocení mechanických vlastností kompozitních materiálů. Jedná se o jednoduchou a spolehlivou zkoušku, která může poskytnout cenné informace o chování materiálu při zatížení ohybem. Při této zkoušce je vzorek umístěn ve dvou bodech podpory a zatížen ve dvou dalších bodech, čímž se vytvoří ohybový moment uprostřed vzorku. Zatížení je postupně aplikováno, dokud vzorek nedosáhne maximálního průhybu nebo nedojde k jeho selhání.

Během zkoušky jsou zaznamenávány údaje o zatížení a posunutí a pomocí standardních rovnic je možné vypočítat ohybové napětí a deformaci. Ohybové napětí se určuje vydělením zatížení momentem setrvačnosti průřezu vzorku, zatímco ohybová deformace se vypočítá vydělením průhybu vzdáleností mezi dvěma podpěrami.

Cenné informace o mechanických vlastnostech kompozitních materiálů, včetně pevnosti v ohybu, tuhosti a deformačních charakteristik, mohou být poskytnuty výsledky čtyřbodové zkoušky ohybem. Pevnost v ohybu je maximální napětí, kterému materiál odolá, než dojde k jeho porušení, zatímco tuhost je mírou odolnosti materiálu proti deformaci při ohybu.

Deformační charakteristiky materiálu mohou být analyzovány studiem křivky závislosti zatížení na průhybu získané při zkoušce. [28] [29]



Obrázek 21 Zobrazení ohybových momentů a napětí při zkoušce tříbodovým a čtyřbodovým ohybem [6]

Výhody čtyřbodového ohybu:

Konstantní ohybový moment: Při čtyřbodovém ohybu je ohybový moment rozložen konstantně po celé délce vzorku mezi podpěrami.

Větší přesnost: Čtyřbodové ohýbání zajišťuje větší přesnost měření ohybových vlastností, protože minimalizuje případné vlivy zatěžovacích bodů.

Větší deformace: Čtyřbodový ohyb obvykle vede k větší deformaci materiálu, která může poskytnout více informací o chování materiálu při zatížení. [31]

Nevýhody čtyřbodového ohybu:

Složitější nastavení: Ohyb ve čtyřech bodech vyžaduje složitější nastavení a může být obtížnější než ohyb ve třech bodech.

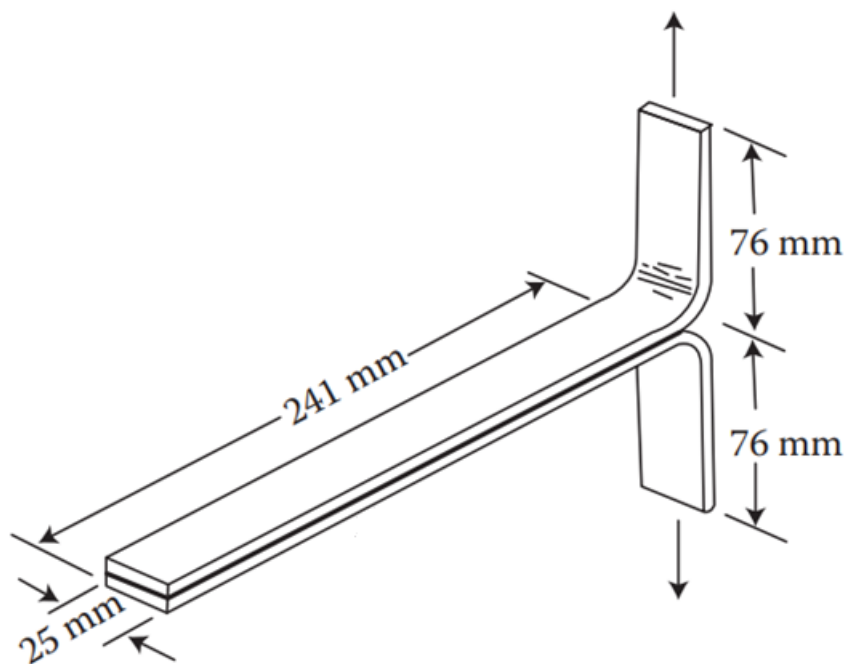
Vyšší náklady: Zařízení potřebné pro čtyřbodové ohýbání je obvykle dražší než zařízení pro tříbodové ohýbání. [31]

5.4 Měření adheze (peel test)

Peel test je metoda používaná k měření pevnosti mezi dvěma materiály nebo vrstvami, které jsou spolu spojeny tzv. odlup. Vzorek pro peel test se skládá ze dvou materiálů nebo vrstev, které jsou spojeny podél jedné hrany ve tvaru písmene "T". Zkušební vzorek je upnut ve zkušební stroji, který postupně odděluje vrstvy od sebe konstantní rychlostí. Během tohoto procesu se síla potřebná k oddělení vrstev měří a vypočítává se průměrná pevnost spoje.

T-peel test je běžně používán při výrobě a kontrole kvality lepicích materiálů, jako jsou pásy, fólie a lamináty. Je také používán k hodnocení lepicí schopnosti nátěrů, barev a dalších povrchových úprav. Tato zkouška pomáhá zajistit, aby byly splněny požadované specifikace pevnosti materiálu a aby materiály odolávaly očekávanému namáhání při zamýšlených aplikacích.

Jednou z výhod zkoušky peel testu je, že adhezní pevnost materiálu nebo spoje může být spolehlivě měřena. Výsledky zkoušky jsou velmi reprodukovatelné, což znamená, že při opakování zkoušky za stejných podmínek lze dosáhnout stejné pevnosti spoje. Kromě toho je peel test relativně jednoduchý na provedení a lze ho provést rychle. [27]



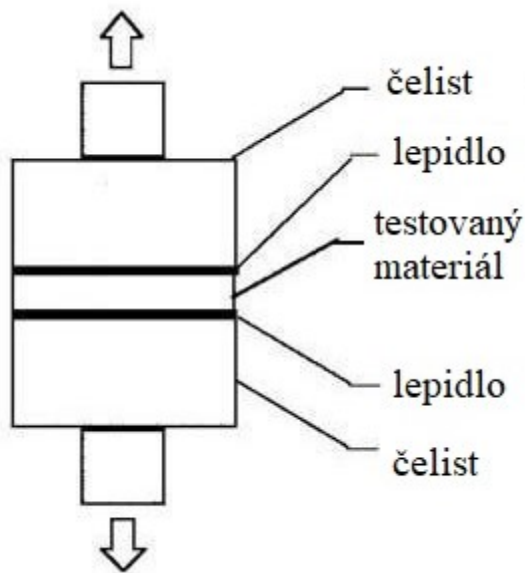
Obrázek 22 Peel test [27]

5.5 Stanovení odtrhové pevnosti - Flatwise test

Standardní zkušební metoda ASTM C297/C297M se používá ke stanovení odtrhové pevnosti plochých sendvičových konstrukcí, které se používají například v leteckém a stavebním průmyslu. Tato zkušební metoda je také známá jako "Flatwise test".

Zkouška je prováděna působením tahového zatížení na plochy sendvičového vzorku. Vzorek je umístěn mezi dvě čelisti na zkušebním stroji a na něj je působeno zatížením tak dlouho dokud nedojde k porušení materiálu. Důležité je použití kvalitního lepidla k přilepení zkušebního vzorku k čelistem, aby došlo k porušení ve zkoušeném materiálu, a ne ve spoji čelisti se zkoušeným materiálem. Odtrhová pevnost je poté vypočítána z údajů o zatížení a posunutí získaných během zkoušky.

Flatwise test je důležitá zkouška pro hodnocení pevnosti a tuhosti sendvičových konstrukcí, které se běžně používají v aplikacích, kde je vyžadován vysoký poměr pevnosti k hmotnosti. Tato zkušební metoda může pomoci výrobcům zajistit, aby jejich sendvičové panely splňovaly konstrukční specifikace a byly odolné vůči očekávanému zatížení a namáhání v zamýšlených aplikacích. [27] [28]



Obrázek 23 Flatwise test [27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL PRÁCE

- Zhotovení literární rešerše na téma dřevo kompozitní materiály, mechanické vlastnosti a jejich testování
- Návrh dřevo kompozitního materiálu s použitím prepregu
- Experimentální výroba dřevo kompozitního materiálu dle návrhu
- Experimentální stanovení mechanických vlastností dle zvolených testovacích metod
- Vyhodnocení dosažených výsledků a jejich porovnání
- Závěr a diskuze výsledků

7 ZHOTOVENÍ VZORKŮ

Před zhotovením zkušebních vzorků je nutné vyrobit desku z dřeva kompozitního materiálu, ze které budou nařezány zkušební tělesa. Pro výrobu dřeva kompozitní desky byla zvolena metoda ručního kladení s dolisováním v autoklávu.

7.1 Materiály použité pro výrobu dřeva kompozitu

Pro výrobu dřeva kompozitu byla zvolena smrková dýha o tloušťce 2 mm a rozměrech 400x400 mm a buková dýha o tloušťce 2 mm a rozměrech 400x400 mm. Jako výztuž byl zvolen prepreg s uhlíkovými vlákny.

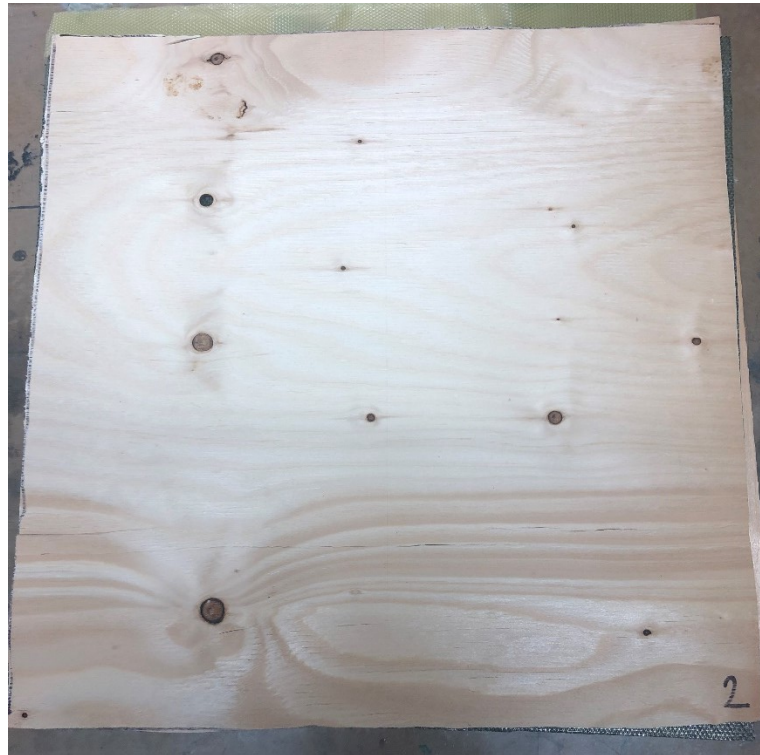
Tabulka 1 Vlastnosti smrkového a bukového dřeva [26]

	hustota	tah [MPa]		tlak [MPa]		ohyb
	[kg/m ³]	kolmo s vlákny	rovnoběžně s vlákny	kolmo s vlákny	rovnoběžně s vlákny	[Mpa]
smrk	430	1,5	84	4,1	30	60
buk	720	3,5	130	7,9	46	104

Smrkové dřevo

Smrk je charakterizován jako měkké a trvanlivé dřevo s vysokým poměrem pevnosti k hmotnosti, díky čemuž je schopný snášet velká zatížení bez porušení. Je snadno opracovatelný, lze ho řezat, vrtat, brousit a lepit. Smrk má relativně nízkou hustotu.

Využívá se v různých oblastech, včetně stavebnictví, výroby nábytku, hudebních nástrojů, výroby papíru, dýh a řezbářství. Ve stavebnictví se používá na rámové konstrukce, střešní krytiny a opláštění, jakož i na lepené nosníky a vazníky. V nábytkářském průmyslu se používá k výrobě lehkých židlí a stolů. Smrk je oblíbenou volbou pro rezonanční desky akustických kytar, houslí a dalších strunných nástrojů díky své pevnosti a rezonanci. Je vhodný pro výrobu papíru díky dlouhým vláknům a vysokému obsahu celulózy. Jak bylo již uvedeno, smrk se používá na dýhy kvůli svému atraktivnímu vzhledu, pevnosti a zpracovatelnosti. Kromě toho se smrk používá na řezbářské práce, zejména při tvorbě soch a dekorativních ozdob. [26]



Obrázek 24 Smrková dýha

Bukové dřevo

Bukové dřevo se vyznačuje světle krémovou barvou, jemnou a rovnoměrnou strukturou a nevýraznou kresbou. Díky své trvanlivosti a vysoké hustotě je oblíbenou volbou pro různé aplikace.

Jednou z klíčových vlastností bukového dřeva je jeho pevnost. Je považováno za jedno z nejtvrdějších a nejpevnějších dřev díky své vysoké hustotě a vynikající odolnosti proti opotřebení. Proto se často používá k výrobě podlahových krytin, nábytku a rukojetí nástrojů.

Kromě pevnosti je bukové dřevo známé také svou dobrou opracovatelností. Snadno se tvaruje, řeže, brousí a opracovává, což z něj činí ideální materiál pro soustružení a ohýbání.

[26]

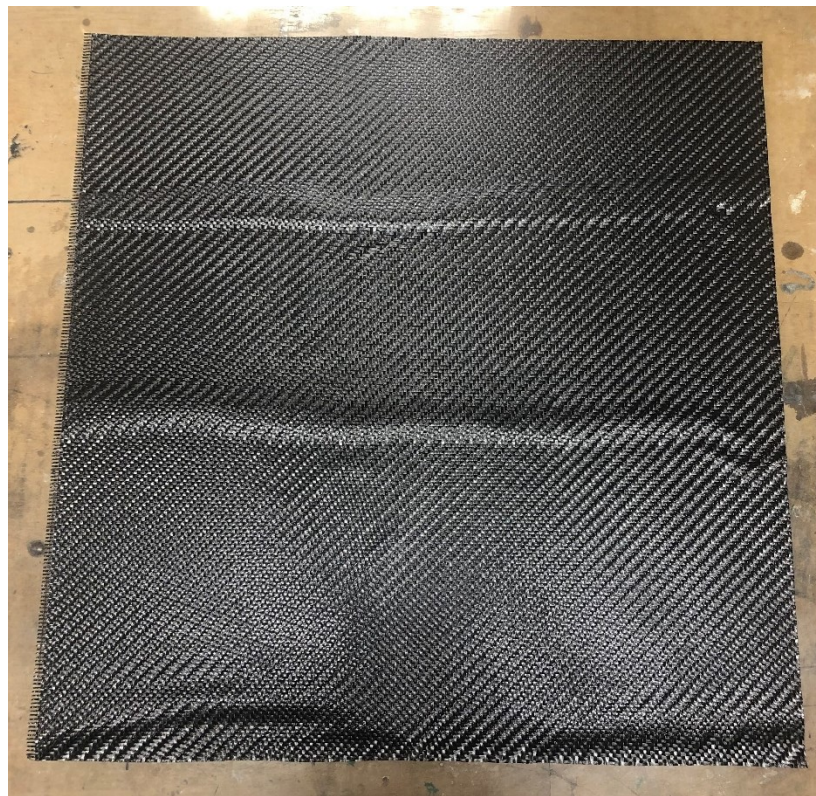


Obrázek 25 Buková dýha

Uhlíkový prepreg

Byl použit kompozit vhodný pro vytvrzování v autoklávu s epoxidovou pryskyřicí IMP503Z-HT a výztuží s uhlíkových vláken GG204T. Dosahuje plošné hustoty 204 g/m². Vlákná jsou uspořádána do keprové vazby. Použitý materiál odolává UV záření a je vhodný pro pohledové díly.

Tento druh prepregu je převážně používán v automobilovém průmyslu, k výrobě lodí a sportovního náčiní.



Obrázek 26 Uhlíkový prepreg s keprovou vazbou

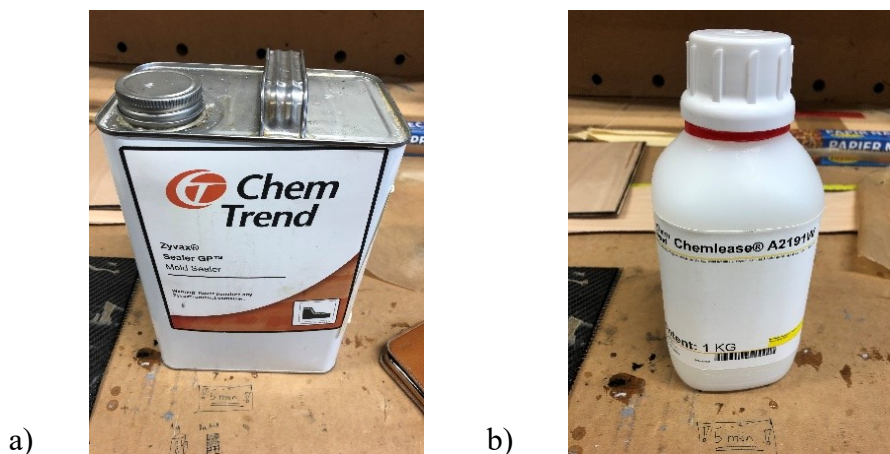
Ostatní použité pomůcky

- Nůžky na stříhání kompozitních vláken
- Laminační váleček
- Svinovací metr
- Ochranné rukavice
- Černý fix
- Papírové utěrky
- Líh

7.2 Příprava formy

Jako forma byla použita tabule tvrzeného skla, která byla nejdříve vyčištěna a odmaštěna alkoholem. Následně byla forma v místech kde se bude nacházet výrobek ošetřena plničem pórů Zyvax Sealer GP od výrobce Chem Trend. Plnič byl nanášen v tenké vrstvě na formu.

Po 15 minutách od nanesení vrstvy plniče byl povrch formy vyleštěn papírovým ubrouskem a byla nanesena další vrstva plniče. Tímto postupem byly naneseny 3 vrstvy plniče pórů Zyvox Sealer GP. sPodobným způsobem byly naneseny 2 vrstvy separátoru Chemlease 2191W od výrobce Chem Trend. Doba mezi jednotlivými vrstvami byla 10 minut.



Obrázek 27 Přípravky na separaci formy a) plnič pórů b) separátor

7.3 Kladení vrstev dřevo kompozitu

Na skleněnou naseparovanou formu byly kladeny vrstvy uhlíkového prepregu a dřevěné dýhy, skladba vrstev je uvedena na obrázku č.28. Prepreg je dodáváný v rolích opatřených ochranou polyetylenovou vrstvou bránící spleení prepregu. Před vložením prepregu na připravenou formu byl prepreg nastříhán nůžkami na stříhání kompozitních vláken na rozměry 400 x 400 mm. Rozměry dřevo kompozitních výrobků byly zvoleny tak aby bylo možné z nich nařezat dostatečné množství zkušebních tělísek pro testování mechanických vlastností. Po nastříhání byla z prepregu odstraněna ochranná fólie. Z dostupných listů smrkové a dubové dýhy byly vybrány vhodné dýhy které obsahují minimální množství vad jako jsou suky a praskliny. Dýhy byly rovněž nastříhány na rozměr 400 x 400 mm.

Jednotlivé vrstvy dýhy a prepregu byly po položení přitlačeny laminačním válečkem, aby došlo k jejich lepšímu spojení a odstranili se vzduchové mezery. Vrstvy dřevěné dýhy jsou kladeny křížem. Tímto způsobem byly vytvořeny dvě zkušební desky jedna tvořena bukovou dýhou s uhlíkovým prepregem a druhá tvořená smrkovou dýhou s uhlíkovým prepregem.



Obrázek 28 Skladba vrstev dřevo kompozitu

7.4 Pomůcky na vakuování

7.4.1 Separáční fólie

Separáční fólie je pouiv n  pro vakuování kompozitních d l . Je tvořena perforovanou fólii která umožňuje prostup vzduchu a přeb tečné pryskyřice z výrobku do odsávací rohože. Dále separáční fólie zajiřt uje snadnější oddělen  odsávací rohože i se separáční fólii od výrobku.

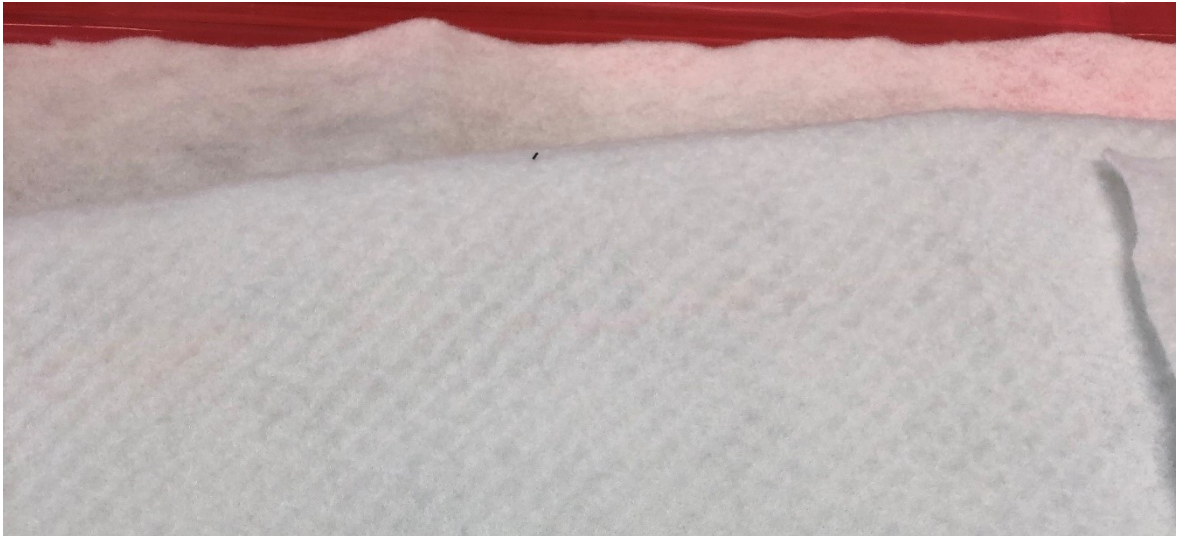
Obvykle je separáční fólie vyráběna z polyethylenu, polypropylenu nebo polyesteru. Volba materiálu fólie závisí na konkrétních požadavcích výrobního procesu, jako je typ pouitěho kompozitního materiálu, teplota a tlak vytvrzování a poadovan  povrchov  úprava konečného výrobku. [29]



Obrázek 29 Separáční fólie

7.4.2 Odsávací roho

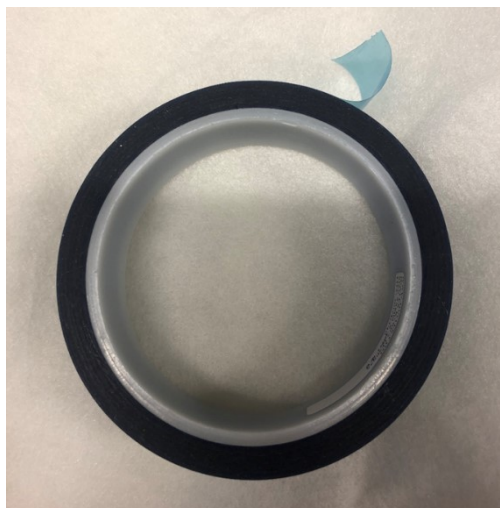
Odsávací roho je určena k zachycen  přeb tečné pryskyřice při procesu vytvrzování kompozitu. Běžně bývá vyroben  z polyamidu, polyesteru nebo skelných vláken. Plořn  hustota pouitě odsávací rohože dosahu je 240 g/m².



Obrázek 30 Odsávací rohož

7.4.3 Vysokoteplotní páska

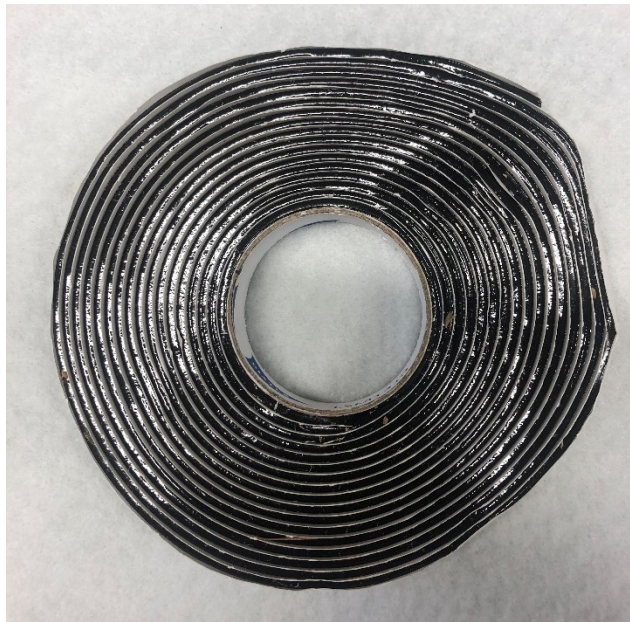
Vysokoteplotní páska Diatex K7666 je vyrobena z polyesterové fólie potažené vrstvou vysoce účinného silikonového lepidla. Tuto pásku lze použít v celé řadě aplikací, včetně vakuového lisování nebo vakuové infuze v peci nebo v autoklávu. Páska K7666 má dobrou chemickou odolnost a odolává působení mnoha činidel, a to i při zvýšených teplotách až do 204 °C. Po vytvrzení se snadno odstraňuje. Tlakově citlivé pásy K7666 se používají pro přidržování vakuových vaků a termočlávkových vodičů. [29]



Obrázek 31 Vysokoteplotní páska K7666

7.4.4 Těsnící páska

Těsnící páska Diatex LSM1310 je použita na zajištění těsnosti spoje mezi povrchem formy a vakuovou fólií. Jedná se o měkkou hmotu tvořenou butyl kaučukem a dalšími přísadami, která se nalepí okolo výrobku. Poté je na těsnící pásku přilepena vakuová fólie. [29]



Obrázek 32 Těsnící páska LSM1310

7.4.5 Vakuovací fólie

Vakuovací fólie zabezpečuje utěsnění mezi kompozitním výrobkem a formou při vytvrzování. Kompozitní výrobek je při vytvrzování překryt vakuovací fólií která je přilepena pomocí těsnící pásky k formě. Přes vakuovací fólii je pomocí vakuového ventilu a hadice připojena vývěva, která zajišťuje podtlak. [29]



Obrázek 33 Vakuovací fólie

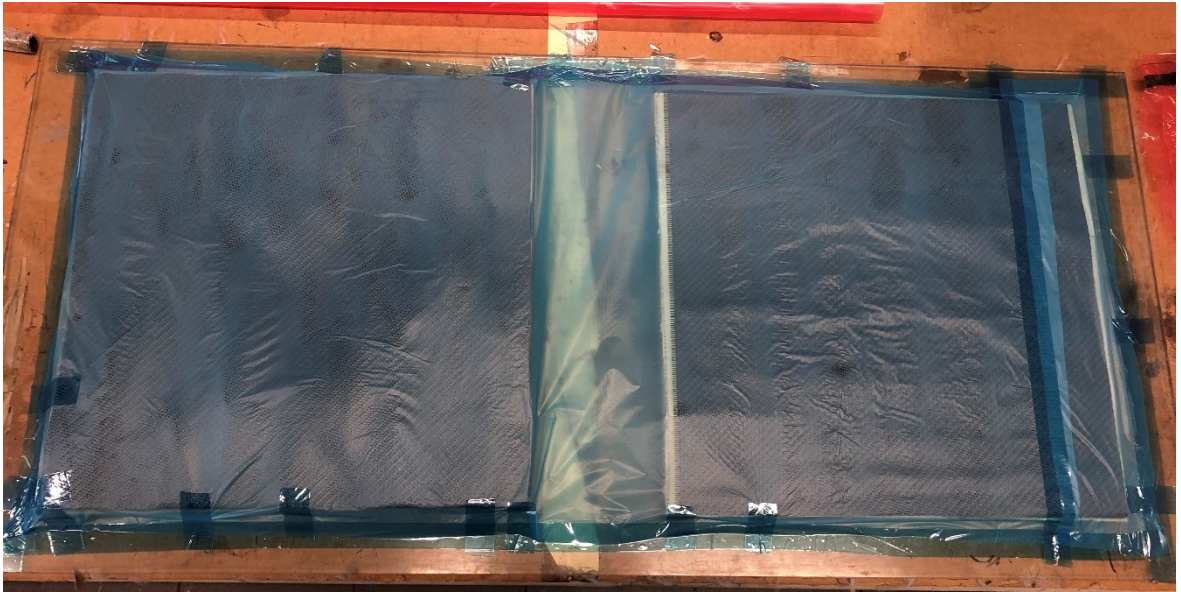
7.4.6 Vakuová hadice a odsávací ventil

Pomocí vakuové hadice a odsávacího ventilu je forma spojena s vývěvou. Vakuová hadice je obvykle vyrobena z PVC nebo silikonu a ke zvýšení tuhosti je vyztužena ocelovým drátem navinutým ve šroubovici kolem hadice. [29]

7.5 Příprava na vakuování výrobku

Pro snížení obsahu vzduchových bublin a dosažení dobré adheze je výrobek v autoklávu vystaven působení přetlaku za zvýšené teploty a zároveň je samostatný výrobek umístěn do vakuovacího vaku ze kterého je odsáván vzduch vývěvou.

Aby bylo možné výrobek vyjmout z vakuového vaku byla na vrstvy dýhy a uhlíkového prepregu umístěna separační fólie, která byla zajištěna proti posunutí vysokoteplotní páskou. Dále byla forma zabalena do odsávací rohože, která slouží k odsátí přebytečné pryskyřice.



Obrázek 34 Dřevo kompozit opatřený separační folii

7.6 Vytvrzování v autoklávu

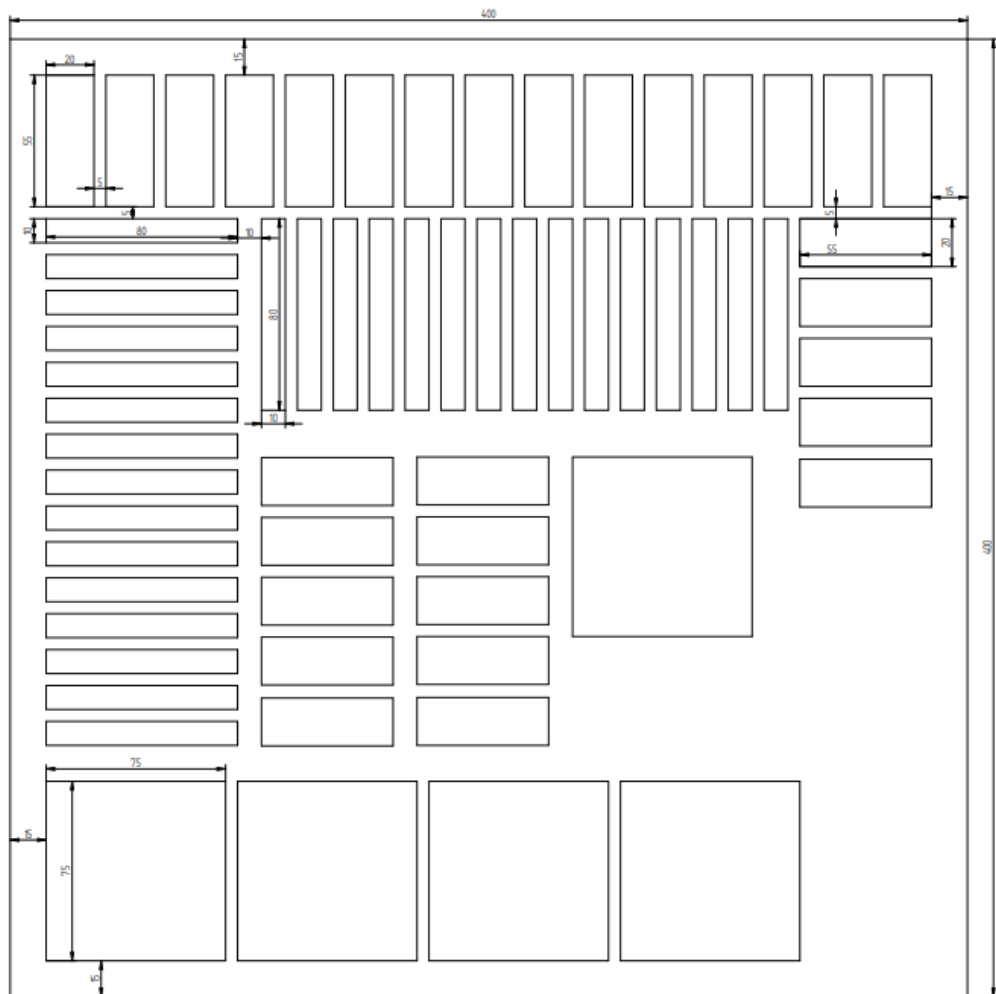
Výrobek byl v autoklávu vystaven vnějšímu tlaku o hodnotě 6 bar a teplotě 140 °C. Pomocí vakuové hadice byl výrobek připojen k vývěvě, která zaručuje vakuum. Doba potřebná k vytvrzení je stanovena výrobcem prepregu na 120 minut.



Obrázek 35 Použitý autokláv italského výrobce OP Panini

7.7 Řezání zkušebních vzorků

Zkušební vzorky byly manuálně nařezány z dřevokompozitní desky na rozměry, 20 x 60 mm pro měření metodou krátkého nosníku, 20 x 200 mm pro měření metodou trojbodového ohybu a 75 x 75 mm pro měření odtrhové pevnosti.



Obrázek 36 Příklad nářezového plánu

Pro testování metodou krátkého nosníku bylo zhotoveno z obou vyrobených desek dřevo kompozitu celkem 55 zkušebních tělísek. Tělíska byla nařezána v podélném směru (L) a příčném směru (T).



Obrázek 37 Zkušební tělísko 20 x 60 mm

Pro testování metodou trojbodového ohybu bylo nařezáno 10 tělísek z obou materiálů. Tělíska byla nařezána v pouze v jednom směru.



Obrázek 38 Zkušební tělísko 20 x 200 mm

Dále bylo zhotoveno 5 kusů čtveratých tělísek z obou materiálů o rozměrech 75 x 75 mm pro měření odtrhové pevnosti.



Obrázek 39 Zkušební tělísko 75x75 mm

8 TESTOVÁNÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

8.1 Zkušební stroj ZWICK 1456

Ke měření všech mechanických vlastností dřeva kompozitu byl použit univerzální zkušební stroj ZWICK 1456. Stroj je určen pro měření materiálových vlastností při statických zatíženích v tahu, tlaku a ohybu.

Tabulka 2 Technické údaje zkušebního stroje ZWICK 1456

Maximální posuv příčniku	800 mm/min
Maximální síla	20 kN
Testovací software	testXpert
Výška pracovního prostoru/ celková	1284/2012 mm
Šířka pracovního prostoru/ celková	420/630 mm
Hmotnost	150 kg



Obrázek 40 Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456

8.2 Stanovení zdánlivé mezilaminární smykové pevnosti podle ČSN EN ISO 14130 (Short-Beam Test)

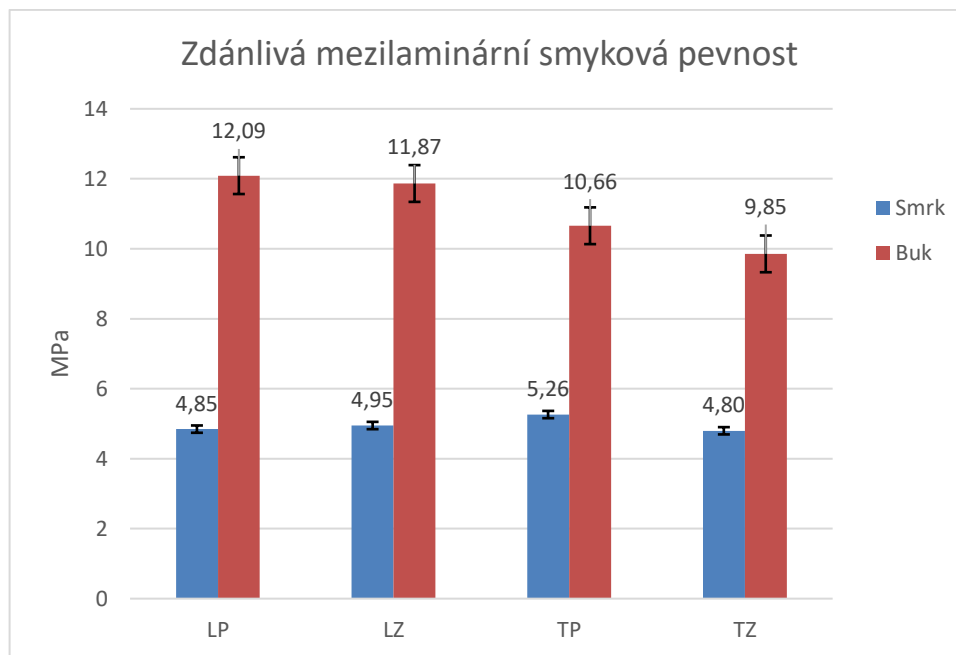
Pomocí zkoušky metodou Short-Beam Test se zjišťuje zdánlivá mezilaminární smyková pevnost kompozitních materiálů. Zkouška je provedena jako podobně jako tříbodový ohyb. Aby nedošlo k porušení zkušebního vzorku vlivem ohybového namáhání, musí být vzorek krátký a vysoký.

$$\tau = \frac{3}{4} \cdot \frac{F}{b \cdot h} \quad (1)$$



Obrázek 41 Umístění zkušebního vzorku

Metodou Short-Beam Test bylo otestováno celkem 55 vzorků. Byly použity vzorky nařezané podélně (L) a příčně (T), směr zatížení vzorků byl zvolen ve směru pohledové strany dřeva kompozitu (P) i ve směru zadní strany (Z). Vzdálenost podpor byla zvolena 40 mm. U každého vzorku byla změřena šířka a výška vzorku. Vzorky obsahující smrkovou dýhu jsou mírně vyšší 7,9 mm a vzorky obsahující bukovou dýhu jsou vysoké průměrně 5,7 mm.



Obrázek 42 Grafické zobrazení mezilaminární smykové pevnosti

Tabulka 3 Zdánlivá mezilaminární smyková pevnost

vzorek	průměr (MPa)	směrodatná odchylka	variační koeficient
smrk LP	4,85	0,49	10,15
smrk LZ	4,95	0,39	7,83
smrk TP	5,26	0,25	4,80
smrk TZ	4,80	0,17	3,64
buk LP	12,09	1,00	8,31
buk LZ	11,87	1,03	8,66
buk TP	10,66	1,50	14,04
buk TZ	9,85	1,11	11,26

Z naměřených hodnot je patrné, že směr zatížení i orientace vzorků mají jen minimální vliv na zdánlivou mezilaminární pevnost. Nejvíce je ovlivněna smyková pevnost použitou dýhou. Vzorky obsahující bukovou dýhu dosahuje podstatně lepších vlastností ve smyku.



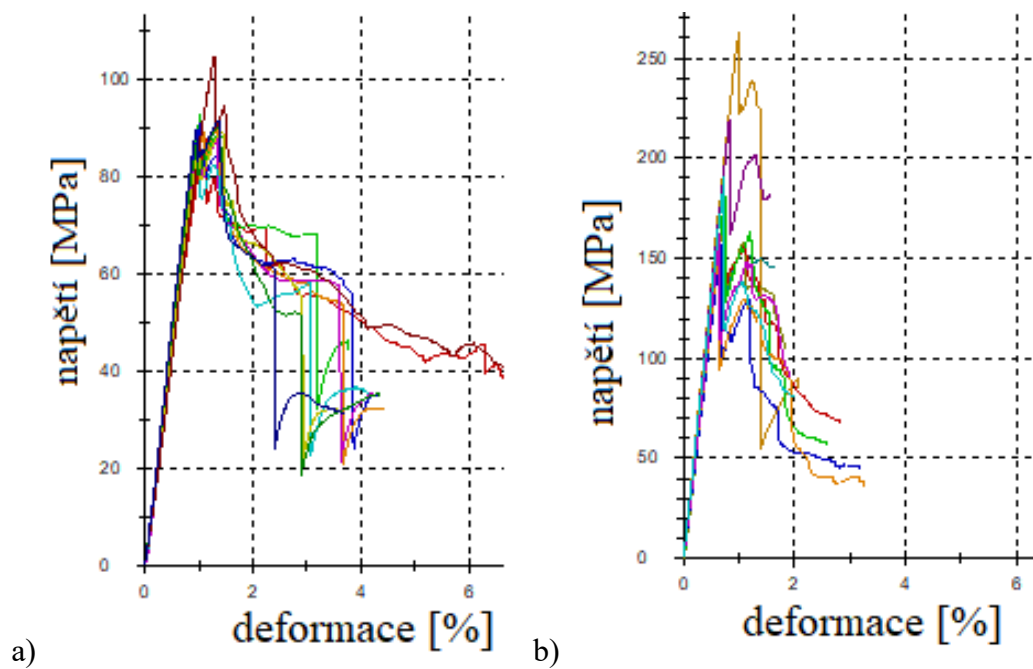
Obrázek 43 Detail porušení vzorku při Short-Beam Testu

8.3 Stanovení ohybových vlastností podle ČSN EN ISO 14125

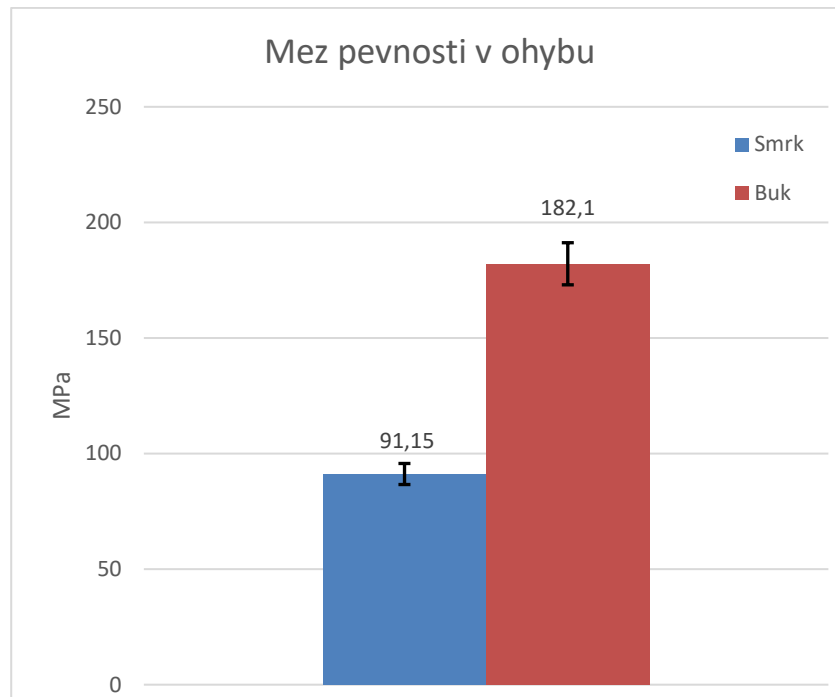
Pomocí trojbodového ohybu byly zkoumány hlavní pevnostní charakteristiky jako je modul pružnosti v ohybu, mez pevnosti v ohybu a poměrná deformace. Každý vzorek byl před samotným měřením na zkušebním stroji změřen posuvným měřítkem a rozměry byly zadány do testovacího softwaru testXpert. Vzdálenost podpor byla nastavena na 160 mm.



Obrázek 44 Umístění zkušební vzorku



Obrázek 45 Průběh ohybového napětí na deformaci a) dřevo kompozit se smrkovou dýhou
b) dřevo kompozit s bukovou dýhou

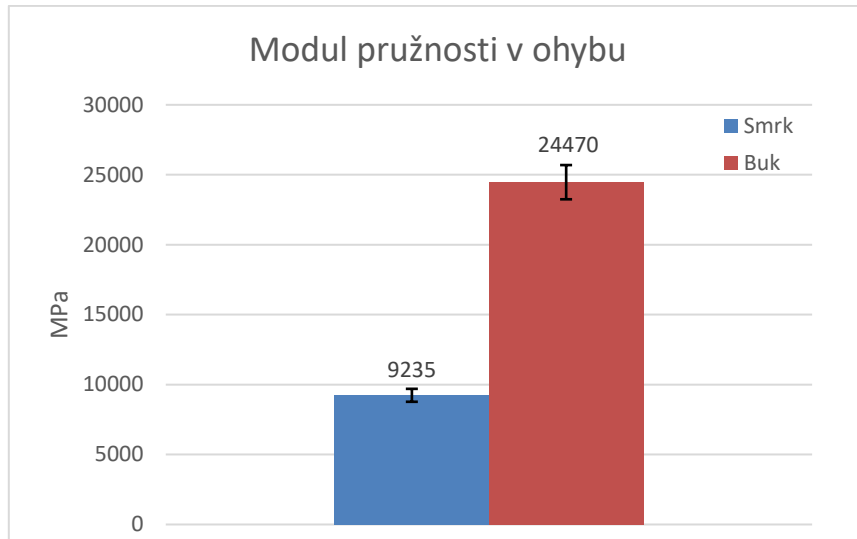


Obrázek 46 Mez pevnosti v ohybu

Tabulka 4 Mez pevnosti v ohybu

	mez pevnosti v ohybu		
	průměr MPa	směrodatná odchylka	variační koeficient
smrk	91	5	1862
buk	182	34	544

Na obrázku 45 lze vidět průběhy ohybového napětí na deformaci. Dřevo kompozit se smrkovou dýhou dosahuje v průměru pevnosti v ohybu $\sigma_f = 91 \pm 5$ MPa. Dřevo kompozit s bukovou dýhou dosahuje pevnosti v ohybu $\sigma_f = 182 \pm 34$ MPa.

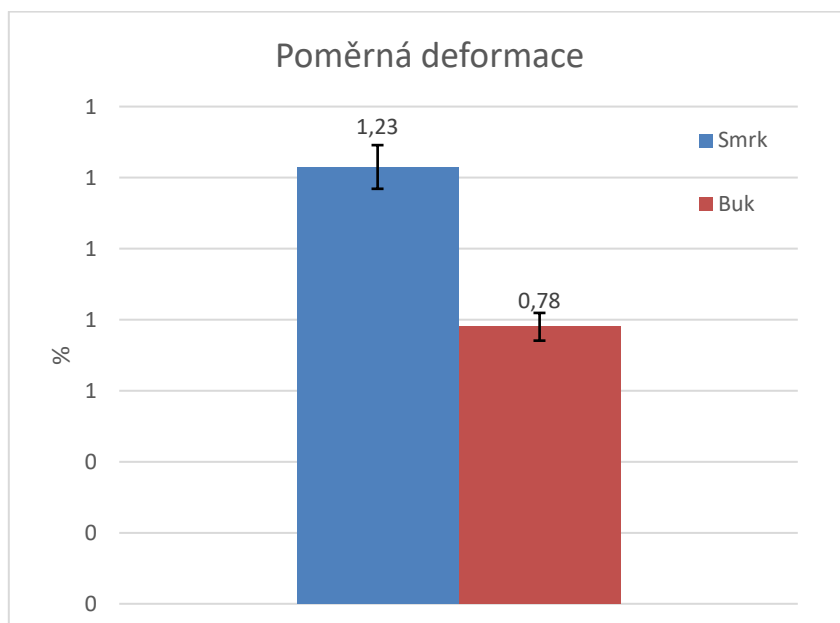


Obrázek 47 Modul pružnosti v ohybu

Tabulka 5 Modul pružnosti v ohybu

	modul pružnosti v ohybu		
	průměr MPa	směrodatná odchylka	variační koeficient
smrk	9235	444	2081,49
buk	24470	1442	1697,46

Na obrázku 47 lze vidět modul pružnosti v ohybu, který dosahuje u dřevu kompozitu se smrkovou dýhou $E_f = 9\,235 \pm 444$ MPa a $E_f = 24\,470 \pm 1\,442$ MPa u dřevu kompozitu s bukovou dýhou.



Obrázek 48 Poměrná deformace

Tabulka 6 Poměrná deformace

	poměrná deformace		
	průměr %	směrodatná odchylka	variační koeficient
smrk	1,23	0,17	708,96
buk	0,78	0,15	530,72

Na obrázku 48 lze vidět velikost poměrné deformace, která dosahuje u dřevu kompozitu se smrkovou dýhou $\varepsilon_f = 1,23 \pm 0,17 \%$ a u dřevu kompozitu s bukovou dýhou dosahuje poměrná deformace $\varepsilon_f = 0,78 \pm 0,15 \%$.



Obrázek 49 Detail tahového porušení vzorku



Obrázek 50 Detail mezilaminárního a tlakového porušení vzorku

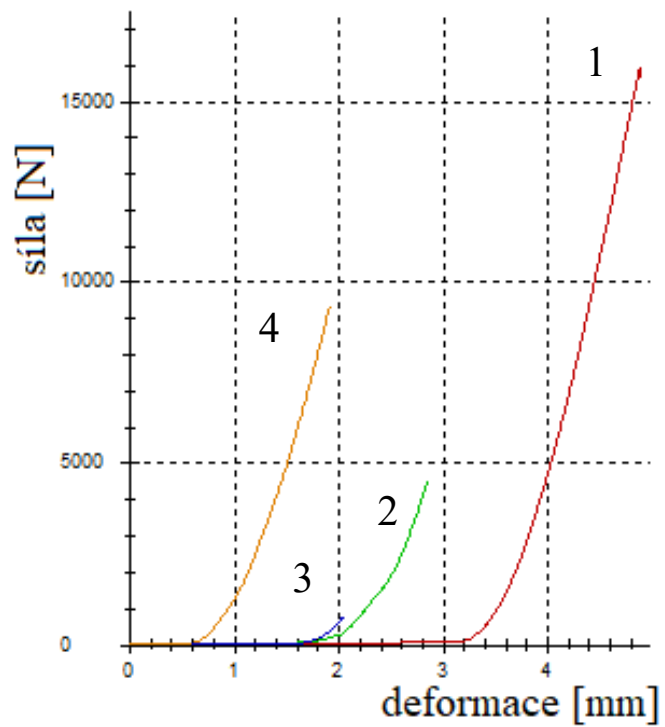
8.4 Stanovení odtrhové pevnosti dle ASTM C297/C297M (Flatwise test)

Test ke stanovení odtrhové pevnosti jsou používány dva ocelové bloky mezi něž je vlepen testovaný zkušební vzorek. Při testu dochází k tahovému namáhání vzorku, který by se měl porušit v testovaném materiálu. K zabezpečení porušení v testovaném vzorku je nutné použít velmi kvalitní lepidlo. Lepená plocha byla dřevu kompozitu i ocelových bloků byla očištěna a odmaštěna technickým benzínem. Ke slepení vzorků bylo použito lepidlo Scotch-Weld DP 100.



Obrázek 51 Nevhodné porušení vzorku při měření odtrhové pevnosti

Byly testovány čtyři vzorky obsahující bukovou dýhu. U všech testovaných vzorků došlo k porušení mezi dřevo kompozitem a ocelovým blokem. Z naměřených dat tedy nemůže být určena odtrhová pevnost materiálu. Z naměřených dat může pouze vyvodit že odtrhová pevnost materiálu bude vyšší než největší naměřená hodnota síly 15 962 N.



Obrázek 52 Grafický průběh síly na deformaci

Tabulka 7 Síla použitá k odtržení vzorku

číslo vzorku	maximální síla (N)
1	15962,7
2	4532,3
3	803,5
4	9386,8

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zpracovat literární rešerši na problematiku zpracování dřevo-kompozitních materiálů, rozdělení, výroba a využití v průmyslových aplikacích. Dále popsat aplikace, vlastnosti a podmínky zpracování a zrealizovat experimentální výrobu dřevo kompozitních materiálů při zvolených technologických podmínkách pomocí vhodné technologie. Na závěr experimentálně vyhodnotit dosažené výsledky a navrhnout možnou aplikaci.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část je zaměřena na stavbu dřeva jeho vlastnosti a použití. Dále pak jsou v teoretické části uvedeny druhy kompozitních materiálů, se zaměřením na dřevo kompozity a prepregy, a druhy testování mechanických vlastností kompozitů.

V praktické části je popsána technologie výroby dvou dřevo kompozitních desek. K výrobě byla zvolena metoda ručního kladení s následným vytvrzením v autoklávu. Obě desky jsou tvořeny kombinací dřevěné dýhy a uhlíkového prepregu. Vyrobené materiály se liší pouze použitou dýhou první využívá smrkovou dýhu a druhý dýhu bukovou.

Z vyrobených desek byly nařezány zkušební tělíska a materiály byly otestovány metodou Short-Beam Test, trojbodový ohyb a na odtrhovou pevnost. Dřevo kompozit vyrobený s bukovou dýhou dosahuje podstatně lepších mechanických vlastností než dřevo kompozit s smrkovou dýhou.

Cena

Cena bukové dýhy dosahuje dvojnásobku ceny smrkové dýhy. Metr čtverečný smrkové dýhy je prodáván přibližně za 70 Kč, buková dýha stojí asi 140 Kč za metr čtverečný. Cena uhlíkového prepregu je 1300 Kč/m². Při použití čtyř vrstev dýhy a pěti vrstev prepregu stojí metr čtverečný dřevo kompozitu se smrkovou dýhou 6 780 Kč a 7 060 Kč s bukovou dýhou. Rozdíl ve výsledné ceně je tedy minimální.

Použití

Dřevo kompozitní materiály vyztužené uhlíkovými vlákny mohou být použity k výrobě hudebních nástrojů a sportovního vybavení jako jsou baseballové páky, hokejky a páčky na stolní tenis.



Obrázek 53 Reprodukter KĚNTO Carbon [34]

Tento dřevo kompozitní materiál byl navržen pro použití v kvalitním reproduktoru jako ozvučnice. Samotné dřevo je díky svým vhodným akustickým vlastnostem tradiční materiál k výrobě reproduktorů. Kombinace dřeva s uhlíkovými vlákny zaručuje vysokou tuhost a nízkou hmotnost reproduktoru.

Námětem na pokračování této práce by mohl být návrh technologie výroby dřevo kompozitního reproduktoru a návrh konstrukce ozvučnice reproduktoru.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PECINA, Pavel a Josef PECINA. Materiály a technologie – dřevo. Brno: Masarykova univerzita, 2006. ISBN 80-210-4013-0.
- [2] M. ROWELL, Roger. HANDBOOK OF WOOD CHEMISTRY AND WOOD COMPOSITES. 2. CRC Press, 2013. ISBN 9781032099163
- [3] Acoustic properties of modified wood under different humid conditions and their relevance for musical instruments. *Applied Acoustics* [online]. 2018, (92-99) [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X17309416>
- [4] Global Forest Resources Assessment 2020 [online]. Řím: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.fao.org/3/ca9825en/ca9825en.pdf>
- [5] ZAHRADNÍK, Petr. Vlhkost dřeva. *Mezi stromy* [online]. 2016 [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/slovník/vlhkost-dreva>
- [6] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [7] S, Prashanth, Subbaya KM, Nithin K a Sachhidananda S. Fiber Reinforced Composites - A Review. *Journal of Material Science & Engineering* [online]. 2017, 06(03) [cit. 2023-04-10]. ISSN 21690022. Dostupné z: doi:10.4172/2169-0022.1000341
- [8] ARUN KUMAR, Sharma, Bhandari RAKESH, Aherwar AMIT a Rimašauskiene RUTA. Matrix materials used in composites: A comprehensive study. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 1559-1562.
- [9] MALLICK, P.K. *Processing of Polymer Matrix Composites*. Boca Raton: CRC Press, 2018. ISBN 978-1-4665-7822-7.

- [10] GROH, Rainer G. *Aerospace Engineering* [online]. Bristol, 2012 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://aerospaceengineeringblog.com/composite-manufacturing/>
- [11] DIMITRIOU, Eros a Marco PETRALIA. *CERAMIC AND POLYMER MATRIX COMPOSITES: PROPERTIES, PERFORMANCE AND APPLICATIONS*. New York: Nova Science Publishers, 2010. ISBN 978-1-61668-467-9.
- [12] THOMAS, Sabu, Joseph KURUVILLA, Sant Kumar MALHOTRA, Koichi GODA a Meyyarappallil Sadasivan SREEKALA, ed. *Polymer Composites* [online]. Wiley, 2012 [cit. 2023-04-16]. ISBN 9783527326242. Dostupné z: doi:10.1002/9783527645213
- [13] HU, Ning, ed. *Composites and Their Properties* [online]. InTech, 2012 [cit. 2023-04-16]. ISBN 978-953-51-0711-8. Dostupné z: doi:10.5772/2816
- [14] LENGSELD, Hauke, Felipe WOLFF-FABRIS, Johannes KRÄMER, Javier LACALLE a Volker ALTSTÄDT. *Composite Technology: Prepregs and Monolithic Part Fabrication Technologies*. Mnichov: Hanser Publishers, 2016. ISBN 978-1-56990-599-9.
- [15] XU, B. a H.Y LI. *Advanced Composite Materials and Manufacturing Engineering*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2012.
- [16] MORGAN, Peter. *Carbon fibers and their composites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. ISBN 0-8247-0983-7.
- [17] BAI, Jiping. *Advanced fibereinforced polymer (FRP) composites for structural applications*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. ISBN 978-0-85709-418-6.
- [18] STOKKE, Douglas D., Qinglin WU a Guangping HAN. *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites* [online]. Chichester: Wiley, 2013 [cit. 2023-04-17]. ISBN 9780470710913. Dostupné z: doi:10.1002/9780470711804
- [19] *The international handbook of FRP composites in civil engineering*. Editor Manoochehr ZOGHI. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 0849320135.

- [20] MAVINKERE RANGAPPA, Sanjay, Jyotishkumar PARAMESWARANPILLAI, Mohit Hemanth KUMAR a Suchart SIENGCHIN, ed. *Wood Polymer Composites* [online]. Singapore: Springer Singapore, 2021 [cit. 2023-04-17]. Composites Science and Technology. ISBN 978-981-16-1605-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-16-1606-8
- [21] KLESOV, Anatolij Aleksejevič. *Wood-plastic composites*. Hoboken, N.J.: Wiley, c2007. ISBN 978-0-470-14891-4.
- [22] *Materiály pro dřevostavby* [online]. 2022 [cit. 2023-04-18]. Dostupné z: <https://www.jafholz.cz/shop/materialy-pro-drevostavby~c829317>
- [23] HRÁZSKÝ, Jaroslav a Pavel KRÁL. *Kompozitní materiály na bázi dřeva*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-034-3.
- [24] ALLEN, Edward a Joseph IANO. *Fundamentals of building construction: materials and methods*. Seventh edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, [2019]. ISBN 978-1-119-44619-4.
- [25] STOKKE, Douglas D., Qinglin WU a Guangping HAN. *Introduction to wood and natural fiber composites*. Chichester: Wiley, 2014. Wiley series in renewable resource. ISBN 978-0-470-71091-3.
- [26] *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Madison: United States Department of Agriculture, 2010. ISBN 9780898750829.
- [27] CHANDA, Manas. *Plastics technology handbook*. 5th ed. Boca Raton: CRC Press; Taylor & Francis, 2007. ISBN 9781498786218.
- [28] *Handbook of Polymer Testing: Short-Term Mechanical Tests*. Editor Roger BROWN. New York: Marcel Dekker, 2002. ISBN 1-85957-324-X.
- [29] RANA, Sohail a Raul FANGUEIRO. *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering*. Elsevier, 2016. ISBN 978-0-08-100939-0.

[30] TORRE, L. a J.M. KENNY. Impact testing and simulation of composite sandwich structures for civil transportation. *Composite Structures*. 2000, 257-267.

[31] MITALOVA, Zuzana, Juliana LITECKA, Dusan MITAL, Marta HARNICAROVA, Jan VALICEK, Cristina Stefana MIRON-BORZAN a Marian BORZAN. Destructive Testing of Wood Plastic Composite. *Materiale Plastice* [online]. 2019, 57(2), 208-214 [cit. 2023-04-19]. ISSN 0025-5289. Dostupné z: doi:10.37358/MP.20.2.5367

[32] CASTRODEZA, E.M., J.M. RODRIGUES TOUÇA, J.E. PEREZ IPIÑA a F.L. BASTIAN. Determination of CTOD C in Fibre Metal Laminates by ASTM and Schwalbe Methods. *Materials Research* [online]. 2002, 5(2), 119-124 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1516-1439. Dostupné z: doi:10.1590/S1516-14392002000200006

[33] GIASIN, Khaled, Muhammad ATIF, Yuan MA, Chulin JIANG, Ugur KOKLU a Jos SINKE. Machining GLARE fibre metal laminates: a comparative study on drilling effect between conventional and ultrasonic-assisted drilling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2022, 123(9-10), 3657-3672 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-022-10297-x

[34] KĚNTO Carbon. VANDERSTEEN [online]. [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <https://www.vandersteen.com/products/kento-carbon>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ASTM Americká společnost pro testování

b šířka vzorku

CLT křížem lepené dřevo

ČSN Česká technická norma

E_f modul pružnosti v ohybu

F působící síla

h výška vzorku

L podélný směr

LVL lepené vrstvené dřevo

OSB orientovaná třísková deska

P pohledová strana

PVC Polyvinylchlorid

RTM resin transfer moulding

σ_F pevnost v ohybu

τ zdánlivá mezilaminární smyková pevnost

T příčný směr

Z zadní strana

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Prvky kmene na příčném řezu [1]	11
Obrázek 2 Vliv sesychání na tvar dřeva [2].....	12
Obrázek 3 Schéma výroby kompozitů ručním kladením [10].....	19
Obrázek 4 Schéma výroby kompozitů lisováním pomocí vakuového vaku [10].....	20
Obrázek 5 Schéma výroby kompozitů pultruzí [10].....	22
Obrázek 6 Schéma výroby kompozitů metodou RTM [10]	22
Obrázek 7 Schéma výroby kompozitů pomocí navíjení vláken [10].....	23
Obrázek 8 Truhlářská topolová překližka [22]	30
Obrázek 9 Voděvzdorná březová překližka s protiskluzovým povrchem [22].....	31
Obrázek 10 Výroba dýhy loupáním z kulatiny [23]	32
Obrázek 11 Lepené vrstvené dřevo [22].....	32
Obrázek 12 Schéma výroby LVL desek [25]	33
Obrázek 13 OSB deska [22]	34
Obrázek 14 Křížem lepené dřevo [22].....	35
Obrázek 15 Překližka vyztužená skelnými vlákny [22]	36
Obrázek 16 Kompozice materiálu Arall [32]	40
Obrázek 17 Kompozice materiálu Glare [33].....	41
Obrázek 18 Zkušební těleso pro tahovou zkoušku kompozitních materiálů [6]	42
Obrázek 19 Tříbodový ohyb krátkého nosníku (6).....	43
Obrázek 20 Zkušební těleso pro stanovení mezilaminární smykové pevnosti [6]	44
Obrázek 21 Zobrazení ohybových momentů a napětí při zkoušce tříbodovým a čtyřbodovým ohybem [6].....	47
Obrázek 22 Peel test [27].....	48
Obrázek 23 Flatwise test [27]	49
Obrázek 24 Smrková dýha.....	53
Obrázek 25 Buková dýha.....	54
Obrázek 26 Uhlíkový prepreg s keprovou vazbou	55
Obrázek 27 Přípravky na separaci formy a) plnič pórů b) separátor	56
Obrázek 28 Skladba vrstev dřevo kompozitu	57
Obrázek 29 Separáční fólie.....	57
Obrázek 30 Odsávací rohoř.....	58
Obrázek 31 Vysokoteplotní páska K7666	58
Obrázek 32 Těsnicí páska LSM1310.....	59
Obrázek 33 Vakuovací fólie	60

Obrázek 34 Dřevo kompozit opatřený separační folií	61
Obrázek 35 Použitý autokláv italského výrobce OP Panini	61
Obrázek 36 Příklad nářezového plánu	62
Obrázek 37 Zkušební tělísko 20 x 60 mm	63
Obrázek 38 Zkušební tělísko 20 x 200 mm	63
Obrázek 39 Zkušební tělísko 75x75 mm	63
Obrázek 40 Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456.....	64
Obrázek 41 Umístění zkušební vzorku	65
Obrázek 42 Grafické zobrazení mezilaminární smykové pevnosti	66
Obrázek 43 Detail porušení vzorku při Short-Beam Testu.....	67
Obrázek 44 Umístění zkušební vzorku	68
Obrázek 45 Průběh ohybového napětí na deformaci a) dřevo kompozit se smrkovou dýhou b) dřevo kompozit s bukovou dýhou	68
Obrázek 46 Mez pevnosti v ohybu	69
Obrázek 47 Modul pružnosti v ohybu	70
Obrázek 48 Poměrná deformace	70
Obrázek 49 Detail tahového porušení vzorku.....	71
Obrázek 50 Detail mezilaminárního a tlakového porušení vzorku.....	71
Obrázek 51 Nevhodné porušení vzorku při měření odtrhové pevnosti	72
Obrázek 52 Grafický průběh síly na deformaci	73
Obrázek 53 Reproduktor KĚNTO Carbon	75

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vlastnosti smrkového a bukového dřeva [26]	52
Tabulka 2 Technické údaje zkušebního stroje ZWICK 1456.....	64
Tabulka 3 Zdánlivá mezilaminární smyková pevnost	66
Tabulka 4 Mez pevnosti v ohybu.....	69
Tabulka 5 Modul pružnosti v ohybu.....	70
Tabulka 6 Poměrná deformace	71
Tabulka 7 Síla použitá k odtržení vzorku	73

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: MATERIÁLOVÝ LIST PREPREGU

Příloha P II: MATERIÁLOVÝ LIST ZYVAX SEALER GP

Příloha P III: MATERIÁLOVÝ LIST CHEMLEASE 2191W

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST PREPREGU



COMPANY WITH QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015 CERTIFIED BY BUREAU VERITAS N° 223933

Via Tiepolo, 19 20022 CASTANO PRIMO (MI) Tel. +39 0331 880564 www.impregnatex.it

MATRIX PRODUCT DATA

IMP503Z-HT

ST-010415- rev12-09/09/2020

DESCRIPTION

Modified epoxy matrix IMP503Z-HT preregs are suitable for high cosmetic applications such as Carbon Look composite parts.

IMP503Z-HT can withstand higher service temperatures than IMP503Z.

Both composite and metal tools can be used.

IMP503Z-HT preregs are best processed by autoclave curing or press moulding.

IMP503Z-HT is available with woven carbon, glass, aramid and natural fibers reinforcements.

Light-black pigmented IMP503Z-HT, named IMP503Z-HT P, is also available.

BENEFITS AND FEATURES

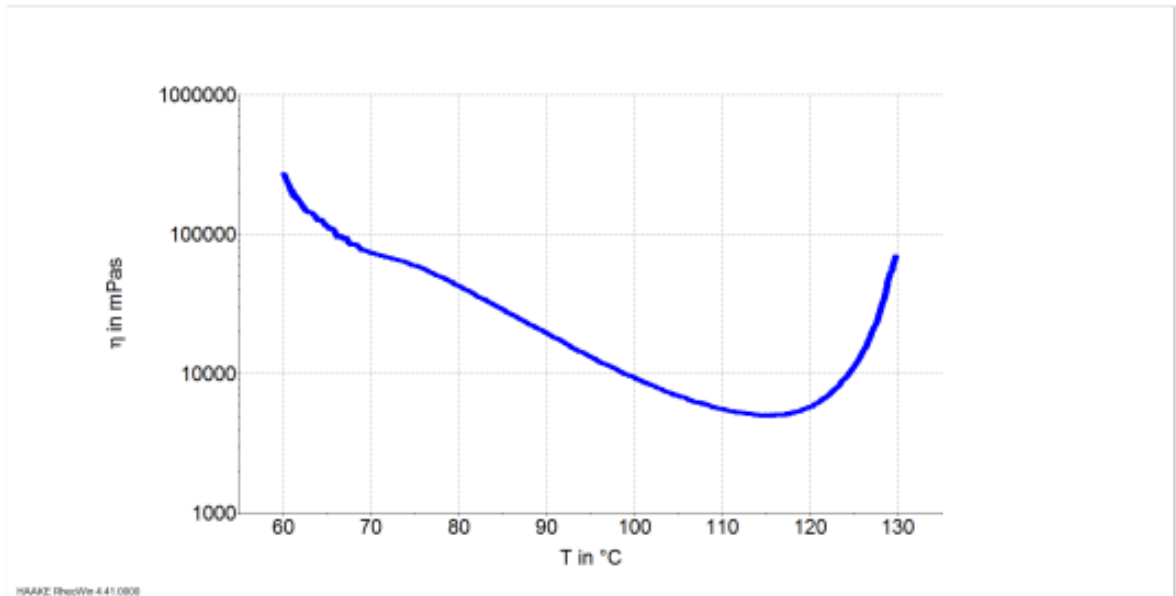
- IMP503Z-HT finds its main uses in automotive, sports & leisure, marine and industrial applications.
- Good mechanical properties.
- Toughened resin.
- Compatible with IMP503Z and IMP505L preregs.
- Excellent UV resistance and environmental stability for aesthetic cosmetic components.

RESIN PROPERTIES

TYPE		TOUGHENED
Cured resin's density	g/cm ³	1.20 to 1.22
Gel Time at 125 °C	min	6 to 8
Gel Time at 110 °C	min	20 to 25
TACK		MEDIUM
Out-life (23 °C)	weeks	5
Shelf Life (-18 °C)	months	12

VISCOSITY PROFILE

The chart below shows the rheological behaviour of IMP503Z-HT.
Cone-plate rheometer, frequency 0.2 Hz and heating rate 3 °C/min



RAAZE RheoWin 4.41.0808

Slope: 3 °C/min

Rotation cycles: 0.2 Hz

RECOMMENDED CURE SCHEDULES

One of the following autoclave cure schedules needs to be selected:

2 Hours @ 140°C

For Development of Maximum Glass Transition Temperature (115 °C to 120 °C, DMA Onset T_g).

or

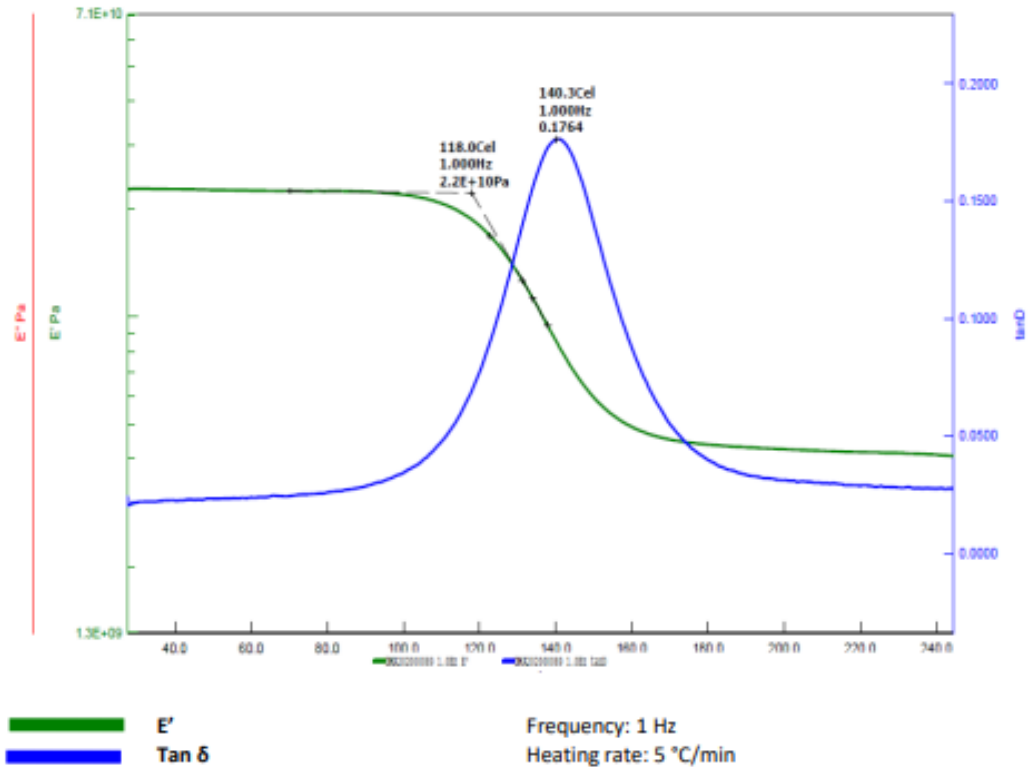
1.5 Hours @ 135°C

General Cure Cycle (T_g approximately 110 °C).

THERMAL PERFORMANCE

The following chart shows a DMA-Tg trace for GG204T-GG380T-IMP503Z-HT laminate, tested to ASTM D7028.

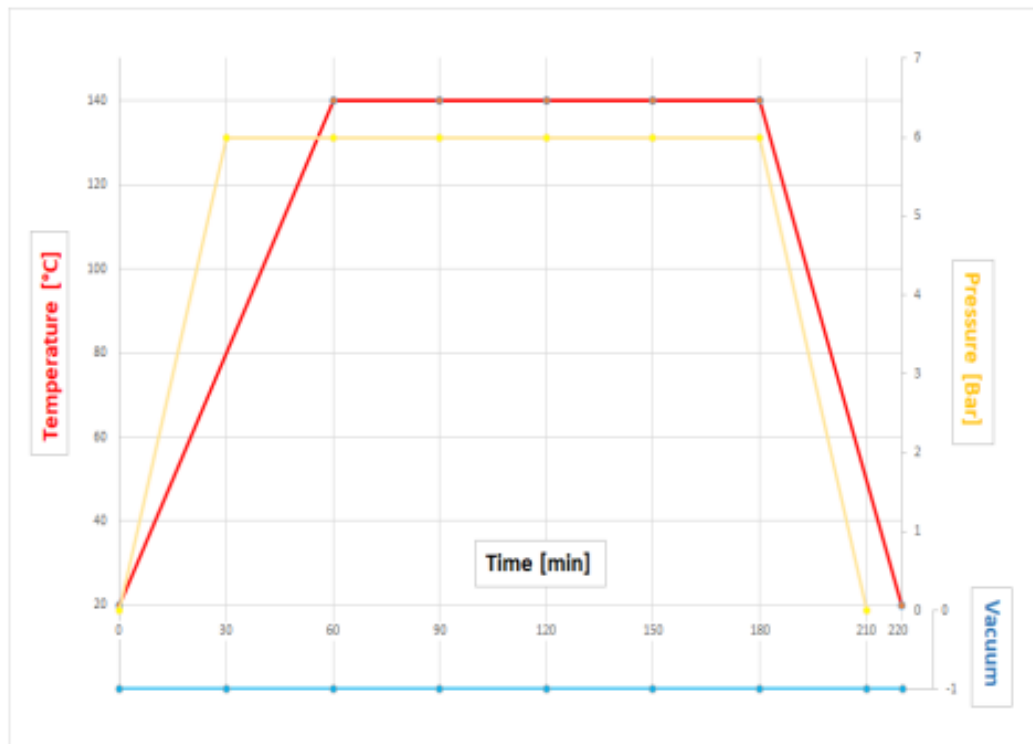
Cure schedule: 120 minutes @ 140 °C.



PROCESSING GUIDELINES

Recommended 140°C Autoclave Cure Cycle:

- From the beginning of the cure cycle apply maximum vacuum pressure to the bagged component(s).
- From the beginning of cure cycle apply an over pressure of 6.0 ± 1.0 Bar.
- Use temperature monitoring thermocouples applied to the surface of the component(s) to define the actual cure temperature. At those places with the highest thermal inertia in responding to heating ("Coldest Area").
- Use a controlled heating rate of 1.0 to 2.0 °C/min from room temperature to 140 °C.
- The tolerance on actual cure temperature on the component bag is 140 °C, +5 °C -0 °C.
- The cure cycle dwell duration starts once the slowest monitoring thermocouple on the component(s) reaches the 140 °C.
- The tolerance on the 120 minutes cure time at 140 °C is +30 minutes, -0 minutes.
- Once cured, the cooling rate can be 2.0 to 3.0 °C/min back to room temperature or 30 °C whichever is higher.



IMP503Z-HT is a reactive resin formulation which may undergo high exothermic heating during initial curing process if guidelines are not followed. Carefully setting recommended heating rate and dwell temperatures cure schedules is required. Exotherm risk increases with increasing laminate thickness.

MECHANICAL PROPERTIES

The table below shows average mechanical properties of IMP503Z-HT laminates.

Reinforcement	Flexural Strength ASTM D790 [MPa]	Flexural Modulus ASTM D790 [GPa]	ILSS ASTM D2344 [N/mm ²]	Volume of fibre [%]
GG204T	830	57	68	58
GG204P	846	58	67	59
GG 240T	901	54	59	54
GG380T	930	60	71	60
GG428T	920	57	69	62
GG450T	890	59	63	58
GG630T	705	62	55	63
UD-DYX HS 15/130 DLN2	1350	88	-	45
DYF15 GG180P	660	42	54	43
KK285T	456	22	46	58
GV335UD	650	234	59	43
VV 350	400	21	45	60

The mechanical data shown above refers to laminates press-mould cured 90 minutes @ 135°C.

STORAGE

Prepreg materials should be stored as received @ - 18 °C.

Shelf-life @ -18 °C : 12 months

Out-life @ 23 °C: 5 weeks

Allow the material to fully thaw before removing it from its packaging.

MATERIAL HANDLING - SAFETY

Operators should wear protective gloves to avoid direct contact with the skin and to prevent product contamination. Please consult MSDS.

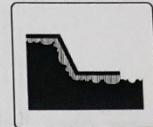
NOTE

The technical specifications, data and measures provided are accurate to the best of Impregmatex Compositi knowledge. Impregmatex Compositi give no warranty, express or implied, as to the completeness, accuracy, reliability or fitness for any specific or particular use, field of use, application, performance, result or purpose. Above mentioned technical information are based on our actual knowhow and accurate, reproducible laboratories tests but due to the product complexity and its further processing, is not possible guarantee these.

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST ZYVAX SEALER GP



Zyvax® Sealer GP Solvend-Based Mold Sealer



©2016 Chem-Trend L.P.

Description

Zyvax® Sealer GP is a high modulus, clear, flexible film with superior substrate adhesion that forms a protective shield on the mold surface. As a conditioner, Zyvax® Sealer GP is designed to treat both the chemical and physical bonding sites found on every "raw" mold surface. In addition, Zyvax® Sealer GP provides the base needed to extend the life of the release coating and will allow optimal performance from the release coating. For the mold release system best suited to your needs, see our website: www.chemtrend.com.

Benefits

- Retains mold detail and finish
- Thermal stability: 480°C (900°F)
- Restores vacuum integrity
- Can be used with all release agents

Uses

Zyvax® Sealer GP overcomes micro-porosity in mold surfaces, eliminates the break-in time for new molds, restores a uniform surface when used over a mold repair or patch, protects the surface of the mold from styrene emission and oxidation, therefore extending the useful life of the mold.

Application Instructions

Before applying Zyvax® Sealer GP: All previous surface treatments, residues, waxes or oils should be removed using a Zyvax® mold cleaner and part cleaner:

1. Apply Zyvax® Sealer GP to a small area of the mold (1-2 ft²; 0.2 m²) using a paper towel or clean, lint-free cloth.
2. While still wet, wipe dry using a separate clean paper towel or lint free cloth. Make sure entire mold surface is coated in this manner, slightly overlapping the last coated area if you are applying in sections. Be certain that all contours are adequately coated.
3. Allow a minimum of 15 minutes cure time before application of next coat.

4. Apply a second coat of Zyvax® Sealer GP in the same way, and wait for a minimum of 15 minutes before applying the next coat. Four coats are recommended for most substrates. Additional coats can be used for porous or repaired molds. After the final coat of Zyvax® Sealer GP, wait at least 30 minutes before applying release agent.

Storage

For best results, store between 5°C and 30°C (41°F and 86°F) Keep from freezing. Keep container tightly sealed to prevent evaporation and/or contamination. If stored in cold temperatures, allow product to warm to room temperature prior to use. Shelf life is 18 months from the date of manufacture, in the original unopened container. NOTE: *Product is moisture-sensitive. Container must be kept tightly closed when not in use.*

Handling

We believe Zyvax® Sealer GP has a low degree of hazard when used as intended. For more information, request a copy of Chem-Trend's Safety Data Sheet.

Packaging

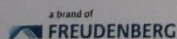
Zyvax® Sealer GP is available in a variety of package sizes. Please contact Chem-Trend customer service for details.

Further Information

Request information on our complete range of materials for this industry.

Legal Notice

The technical information and suggestions for use contained herein is based on our general experience and knowledge at the time of publication and is intended to give information of possible applications to a professional with technical experience. It does not release the customer from the obligation of performing own tests with the product selected for a specific application. While the information and suggestions are believed to be accurate and reliable, nothing stated in this bulletin is to be taken as a warranty either expressed or implied.



Chem-Trend (Deutschland) GmbH | Ganghoferstr. 47 | 82216 Maisach-Gernlinden, Germany
Tel +49 8142 417 0 | Fax: +49 8142 15884 | ChemTrend.com
Issue: 01/2018 replaces 05/2014, Page 1 of 1, Zyvax® Sealer GP

Copyright © Chem-Trend L.P., All Rights Reserved

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST CHEMLEASE 2191W



Chemlease® 2191W

Water-based semi permanent composite release agent

Description

Chemlease® 2191W is a semi permanent water-based release agent, which is effective for composite molding including processes using vacuum bagged epoxy carbon fiber prepreg components. It gives minimal transfer of release agent and multiple releases. Chemlease® 2191W is ready-to-use as shipped.

Application

Chemlease® 2191W can be applied on cold molds in a wipe-on mode or may be spray applied on to cold or hot molds. It is not recommended for application on cold steel molds as corrosion may occur. Certain mold surface textures, notably high gloss finishes, can cause the applied film to form into beads rather than a smooth, even film. This is normal and the special application instructions below should be followed in these cases

Mold Preparation

Thoroughly clean the mold with the appropriate Chemlease® mold cleaner to remove the previous release agent or other contamination. Wipe dry with a clean cloth.

Wipe on/ leave on application

Soak a clean, lint-free soft cotton cloth with Chemlease® 2191W. Apply three to five light* uniform coats to the clean mold surface. The film should proceed to dry evenly at ambient temperature. If the film appears to form beads, the wet wiping cloth should be used to spread the beads over the mold surface until the film appears smooth. In the case of high gloss finish molds, gently buff the smoothed film to a shine using a clean dry cotton cloth. Let the coats toughen for at least 10 minutes after each application. After the final coat, allow to cure for minimum one hour before starting production.

Spray on/ leave on application

Using a finely-atomized spray, apply three to five light* uniform coats of Chemlease® 2191W to the clean mold surface. The film should proceed to dry evenly at ambient temperature. If the film appears to form beads, a wiping cloth wetted with Chemlease® 2191W should be used to spread the beads over the mold surface until the film appears smooth. In the case of high gloss finish molds, gently buff the smoothed film to a shine using a clean dry cotton cloth. Let the coats dry 10 minutes after each application. After the final coat, allow to cure for minimum one hour before starting production.

Reapplication

Reapply a light coat of Chemlease® 2191W when required to maintain desired release. Allow to cure for one hour before starting production. To prevent buildup, avoid over application.

*As a guide to achieving a "light coat", when the film is applied to a **VERTICAL** mold surface, the wet film should shine, but there should be no runs in it. Runs in the film indicate too heavy an application.

Important

The recommended number of coats and cure times are a general guideline found to be more than sufficient in a broad spectrum of molding conditions. When molding products with extreme geometries or experiencing lowhumidity conditions in the shop, the customer may find the need to extend the cure time between coats and increase the number of coats applied to the mold. The efficiency of a release film is best determined through a combination of tape tests and experimentation in order to ensure optimum performance.

Storage

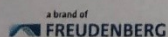
Do not store at temperatures above 38°C. Prolonged exposure to higher temperatures may reduce product stability and/or performance. Do not allow to freeze. Keep container tightly sealed to prevent evaporation and/or contamination. If stored in cold temperatures, allow product to warm to room temperature and shake well prior to use. Do not use, if the use-by date has been exceeded (see label on container).

Handling

We recommend all fluid handling equipment and piping be made of stainless steel or plastic. Brass, copper or aluminium is not suitable. For further information on storage, handling, hazards etc., please consult the Material Safety Data Sheet.

Packaging

Product is available in a variety of packaging. Please contact our customer service team for details.



Chem-Trend (Deutschland) GmbH | Ganghoferstr. 47 | 82216 Maisach-Gernlinden, Germany
Tel +49 8142 417 0 | Fax: +49 8142 15884 | ChemTrend.com
Issue: 06/2016 replaces 03/2010, Page 1 of 2, Chemlease® 2191W

Copyright © Chem-Trend L.P., All Rights Reserved



Chemlease® 2191W

Water-based semi permanent composite release agent

Safety Data

For more information on storage, handling, hazards, etc., please request a copy of Chem-Trend's Material Safety Data Sheet, which must be consulted prior to use of this product.

Further Information

Request information on our complete range of materials for this industry.

Legal Notice

The information contained in this document is given in good faith based on our current knowledge. It is only an indication and in no way binding, particularly as regards infringement of or prejudice to third party rights through the use of our products. Chem-Trend warrants only that its products will meet its sales specifications. This information must on no account be used as a substitute for necessary prior tests which alone can ensure that a product is suitable for a given use. Users are requested to check that they are in possession of the latest version of this document and Chem-Trend is at their disposal to supply any additional information.