

Výzkum polymerních kompozitů vyztužených přírodními vlákny

David Rokos

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Rokos**
Osobní číslo: **T11284**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výzkum polymerních kompozitů vyztužených přírodními vlákny**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši o problematice kompozitů vyztužených přírodními vlákny

- Rozdělení polymerních kompozitních materiálů, definice jednotlivých složek
- Popis druhů výtzuže a matrice
- Rozdělení výrobních technologií se zaměřením na vakuovou infuzi
- Testování kompozitních materiálů

2. Experimentální část

- Volba materiálu výtzuže a vhodné matrice
- Popis pomocných materiálů využívaných při technologii vakuové infuze
- Výroba zkušebních vzorků danou technologií
- Testování připravených vzorků
- Diskuze výsledků

3. Zhodnocení práce a závěry

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Ehrenstein, G. W.: Polymerní kompozitní materiály, Scientia Praha, 2009

[2] Kořínek, Z.: Kompozity, dostupné z: www.volny.cz/zkorinek

[3] Jančář, J.: Úvod do materiálového inženýrství kompozitu. Brno, 1999.

[4] Johnson, J. H., Kiepura, R., Humhries, D.: Engineered Materials Handbook, Volume 1, Composites, ASTM International, Ohio, 1998

[5] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Fojtl

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

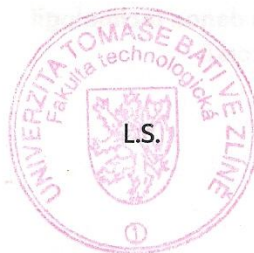
10. února 2014

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na výzkum polymerních kompozitů vyztužených přírodními vlákny, konkrétně jutovou tkaninou. V teoretické části práce je udělán úvod do kompozitních materiálů a popsány typy vyztužných materiálů se zaměřením právě na přírodní vlákna. Dále jsou také popsány technologie výroby. Experimentální část práce se zabývá výrobou kompozitu vyztuženého jutovou tkaninou. Pro jeho výrobu jsou použity dvě odlišné technologie, konkrétně ruční laminace a vakuová infuze. Vyrobené lamináty jsou mechanicky otestovány v tříbodovém ohybu a při rázové zkoušce. V závěru bakalářské práce jsou hodnoceny naměřené data.

Klíčová slova: Kompozit, laminát, juta, ruční laminace, vakuová infuze, ohybové vlastnosti, rázová houževnatost

ABSTRACT

The thesis is focused on the research of polymer composites reinforced with natural fibers, namely with jute fabric. Theoretical part of this thesis contains of introduction to composite materials and describes the types of reinforcing materials focusing on natural fibers. Furthermore production technologies are also described. The experimental part deals with the production of composites reinforced with jute fabric. Two different technologies are used for production, namely hand lay-up and vacuum infusion. Produced laminates are mechanically tested in three-point bending test and at impact test. The end of the thesis contains evaluation and discussion of measured data.

Keywords: Composite, Laminate, Jute, Hand lay-up, Vacuum infusion, Flexural properties, Impact toughness

Děkuji vedoucímu práce Ing. Ladislavovi Fojtlovi za výborné vedení, odbornou pomoc, ochotu, obětavost a věcné připomínky při vypracování této práce.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	12
1.1 VÝZNAM A VLASTNOSTI KOMPOZITŮ	12
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.2.1 Dělení podle typu disperzní fáze	13
1.2.2 Dělení podle typu matrice	13
1.2.3 Podle charakteru a uspořádání výztuže	14
1.3 POPIS DRUHŮ MATRICE A VÝZTUŽE	15
1.3.1 Matrice	15
1.3.2 Materiály výztuže	16
2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH DÍLCŮ	26
2.1 RUČNÍ LAMINOVÁNÍ	26
2.2 LISOVÁNÍ V AUTOKLÁVU	27
2.3 STRÍKÁNÍ	28
2.4 VAKUOVÁ INFUZE	28
2.5 VYSOKOTLAKÉ VSTŘIKOVÁNÍ – RTM	29
2.6 VYSOKOTLAKÉ VSTŘIKOVÁNÍ POMOCÍ VAKUA – VARTM	30
2.7 RESIN FILM INFUSION – RFI	30
3 TESTOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	31
3.1 ZKOUŠKA OHYBEM	31
3.1.1 Tříbodová zkouška ohybem	31
3.1.2 Čtyřbodová zkouška ohybem	32
3.2 TAHOVÁ ZKOUŠKA	33
3.3 RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST	35
3.3.1 Metoda Charpy	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
4 CÍLE PRÁCE	37
5 POPIS MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ LAMINÁTU	38
5.1 VÝZTUŽ	38
5.2 MATRICE	39
5.2.1 Biresin CR80 pryskyřice pro vakuovou infuzi	39
5.2.2 Araldit GY 764BD pryskyřice pro ruční laminování	40
5.3 JÁDROVÝ MATERIÁL	40
5.3.1 CoreCork NL10	41
6 POPIS POMOCNÝCH MATERIÁLŮ VYUŽÍVANÝCH PŘI TECHNOLOGII VAKUOVÉ INFUZE	42

6.1	ODTRHOVÁ TKANINA	42
6.2	DISTRIBUČNÍ MÉDIUM	42
6.3	VAKUOVÁ FÓLIE	42
6.4	RESINTRAK	42
6.5	HADICE A KONEKTOR	42
6.6	TĚSNÍCÍ PÁSKA.....	43
6.7	VAKUOVÁ VÝVĚVA	43
6.8	PŘEPADOVÁ NÁDOBA (REZERVOÁR).....	43
7	VÝROBA LAMINÁTŮ S PŘÍRODNÍ VÝZTUŽÍ.....	44
7.1	VÝROBA VZORKŮ POMOCÍ RUČNÍ LAMINACE	44
7.2	VÝROBA VZORKŮ POMOCÍ VAKUOVÉ INFUZE.....	46
7.3	VÝROBA SENDVIČOVÝCH VZORKŮ	49
8	TESTOVÁNÍ PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ	51
8.1	ZKOUŠKA OHYBEM.....	51
8.2	DISKUZE VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY OHYBEM.....	63
8.3	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI	67
8.4	DISKUZE VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY RÁZEM	75
	ZÁVĚR.....	76
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	77
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	80
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	82
	SEZNAM TABULEK	84
	SEZNAM PŘÍLOH	86

ÚVOD

Mnoho našich nejlepších vynálezů je kopií živé přírody nebo to příroda již používá. V dnešní době je cílem vytvářet komplexnější materiály a stroje napodobováním přírody. Přírodní produkty vznikají bez znečišťování, jsou pružné a lehké, ale přesto neuvěřitelně pevné. Například jeden gram kosti je pevnější než stejné množství oceli. Zdařilost živých organismů spočívá v jejich konstrukčním řešení a ve způsobu, jakým jsou složeny jejich nejmenší složky. Pozorováním těchto nejmenších složek se tedy podařilo izolovat látky, které dávají přírodním produktům záviděníhodnou pevnost a lehkost. Těmito látkami jsou různé formy přírodních kompozitních materiálů. [38]

Kompozity jsou pevné látky, které vzniknou sloučením dvou nebo více složek, takže se vytvoří nová látka s lepšími vlastnostmi, než byly původní složky. Použitím různých typů vláken a různých pryskyřic lze docílit mimořádně široké škály výrobků. V porovnání s tím, co přirozeně existuje u lidí, zvířat a rostlin, jsou lidmi vyrobené kompozity samozřejmě mnohem primitivnější. [38]

Kompozitní materiály se v dnešní době využívají v leteckém, automobilovém, chemickém i stavebním průmyslu. Za hlavní výhody kompozitních materiálů můžeme považovat zvýšenou pevnost, tuhost, houževnatost, stabilitu a odolnost vůči korozi nebo chemickému prostředí. Jako jedna z prvních technologií pro výrobu kompozitních materiálů byla ruční laminace. Technologie výroby kompozitů se nadále vyvíjela a v dnešní době se používají technologie typu RTM, vakuové infuze, pultruze atd.

Výzkum v této práci se zaměřuje na výrobu kompozitního materiálu s přírodní výztuží, vyrobeného pomocí ruční laminace a vakuové infuze. Připravené kompozity jsou porovnány na základě jejich ohybových vlastností a rázové houževnatosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály tvoří nejméně dvě materiálové složky, kdy kombinací komponentů o nestejných fyzikálních a chemických vlastnostech, dostaneme zcela nový materiál se specifickými vlastnostmi. Tvrdší, tužší a pevnější nespojitá složka je nazývána výztuž, naopak spjitá a obvykle poddajnější složka, která zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matricí. V praxi, pokud tedy vhodně spojíme skleněná, polymerní, či uhlíková vlákna s pojivem (pryskyřicí), dostaneme nový materiál, který vykazuje lepší vlastnosti než každá komponenta samostatně. [1,2,3]

Pro zařazení materiálu mezi kompozity musí být splněny tyto podmínky:

- podíl výztuže musí být větší než 5%
- vlastnosti výztuže a matrice se musí lišit
- kompozit musí být připraven mísením složek



Obr. 1. Kluzák TST-10M, jehož konstrukce je tvořena skelnými lamináty [4]

1.1 Význam a vlastnosti kompozitů

Jak již bylo zmíněno, kompozit je pevná látka složená nejméně ze dvou fází. Jako celek dosahuje vlastností, které nemají složky samostatně, ani pokud budeme jejich vlastnosti sumarizovat. U těchto nově vzniklých látek se projevuje takzvaný synergický efekt. [6]

Typickým příkladem synergického chování je kompozit složený z keramické matrice vyztužené keramickými vlákny. I když jsou jak matrice, tak vlákna samostatně velmi křehké, výsledný kompozit je charakteristický určitou mírou houževnatosti, tzn. odolností

proti náhlému křehkému porušení. Existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností. [5]

1.2 Rozdělení kompozitních materiálů

V dostupné literatuře se nachází různá kategorická rozdělení, neboť v praxi se používá velké množství kompozitních materiálů. Většina autorů uvádí dělení podle následujících tří kritérií:

- disperzní fáze
- typu matrice
- geometrie a orientace výztuže

1.2.1 Dělení podle typu disperzní fáze

Nejběžnější druh kompozitu zahrnuje pevnou fázi, i když to není podmínkou. Pro úplnost jsou uvedeny všechny tři základní typy:

- **Kompozity prvního typu**

Disperze (jedna i více) je tvořena z pevné fáze. Tyto kompozity se používají v technice nejčastěji. [6]

- **Kompozity druhého typu**

Poměrně málo časté provedení, kdy disperze je kapalného skupenství. Jedná se například o některé materiály samomazných ložisek (spékaný kov s disperzí oleje), nebo spékané kovy pro ložiska vodních strojů (čerpadlo, které musí pracovat pod hladinou). Nejčastěji se ovšem tento typ kompozitu vyskytuje v přírodě (dřevo tvoří systém trubic s mizou. [6]

- **Kompozity třetího typu**

Disperze je plynového charakteru. Patří sem především pěnové materiály. Pro ukázkou pěnoplasty (pěnový polystyren), kovové pěny (hliníková pěny) atd. [6]

1.2.2 Dělení podle typu matrice

Spojité složka, která zastává funkci pojiva výztuže a chrání většinou křehká vlákna, se nazývá matrice. Polymerní matrice jsou výrazně poddajnější než vlákna, pevnost v tahu je u všech matric menší než pevnost v tahu vláken (u polymerních matric až o dva řády).[7]

Konkrétně rozlišujeme následující typy:

- Kompozity s polymerovou maticí (polymer matrix composites – PMCs)
- Kompozity s kovovou maticí (metal matrix composites – MMCs)
- Kompozity s keramickou maticí (ceramic matrix composites – CMCs)
- Kompozity s uhlíkovou maticí

1.2.3 Podle charakteru a uspořádání výztuže

Podle tvaru výztuže a jejího uspořádání dále dělíme kompozity na dvě základní skupiny:

- částicové kompozity
 - a) sférické částice (izometrické)
 - b) destičkovité částice (anizometrické)
 - náhodná orientace
 - preferovaná orientace
- vláknové kompozity
 - a) jednovrstvé
 - s kontinuálními vlákny
 - s krátkými vlákny
 - b) vícevrstvé
 - lamináty
 - sendviče [7,10]

Jak je uvedeno výše, u vláknových kompozitů je výztuž tvořena krátkými, nebo dlouhými vlákny. Vzájemná orientace vláken určuje míru anisotropie. Vláknová výztuž v kompozitech je definována průměrem a délkou vlákna, vyjádřenou též jako štiřlostní poměr. Krátko-vláknové výztuže (poměr délky a průměru menší než 100) bývají neuspořádané (kompozit vykazuje více izotropní charakter), naopak dlouho-vláknové výztuže (poměr délky a průměru větší než 100) bývají uspořádané (kompozit vykazuje anizotropní charakter). [15]

1.3 Popis druhů matrice a výztuže

1.3.1 Matrice

Jelikož budou v experimentální části práce vyráběny polymerní kompozity, bude následující kapitola zaměřena na matrice (pojivo) na polymerové bázi. V textu budou tudíž vynechány výše zmíněné keramické, uhlíkové a kovové pojiva.

Jak již bylo zmíněno, matrice neboli pojivo, je materiál, kterým je prosycen systém vláken či partikulárních komponent. Úkolem matrice tedy je:

- Přenos namáhání na vlákna
- Převodění namáhání z vláken na vlákno
- Zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku
- Ochrana vlákna před vlivy okolí [8]

Matrice musí mít vhodné povrchové napětí a viskozitu, aby dokázala vlákna ideálně smočit. Pro tyto účely se mohou používat rozpouštědla, která matrici pomohou dosáhnout ideálních vlastností pro namáčení, a po té tvrdidla, která naopak pomáhají matrici vytvrdit.

Pro polymerní kompozity se používají matrice na bázi pryskyřic, které ještě dělíme na dvě skupiny, a to termoplasty a reaktoplasty. Nejdůležitější vlastnosti, podle kterých jsou matrice posuzovány, jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1. Vlastnosti pryskyřic [7]

Užité vlastnosti	Technologické vlastnosti
Pevnost	Viskozita pryskyřice
Modul pružnosti	Smáčivost vláken
Prodloužení při přetržení	Doba gelace
Houževnatost	Skladovatelnost
Odolnost proti tečení	Reakční rychlost
Tepelná odolnost	Recyklace
Hořlavost	Obsah těkavých složek
Navlhavost	Smrštění při reakci
Odolnost proti UV záření	Citlivost na poměr složek
Dielektrické vlastnosti	Vedlejší produkty vytvrzování
Chemická odolnost	Adheze k povrchu formy

- Matrice na bázi reaktoplastu (termosetické)

Pro kompozitní materiály se dříve používaly pouze vyztužené nenasyčené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto pryskyřice mají tu výhodu, že jsou při

pokožkové teplotě v tekutém stavu a jsou nízkomolekulární. Mají tedy nižší viskozitu než termoplasty. [8]

Z těchto důvodů se termosety lépe zpracovávají a lépe prosycují vlákna. I energetická náročnost na zpracování je oproti termoplastům nižší a jejich výroba probíhá při podstatně nižších teplotách. [8]

Termosetické pryskyřice se vytvrzují přidáním katalyzátoru, urychlovače, nebo dodáním energie (světlo, teplo), čímž získá výrobek své konečné vlastnosti. Výrobky založené na termosetických matricích mají výborné hodnoty pevnosti a tuhosti, jejich nevýhodou je ovšem velká křehkost a malá tažnost. [8]

Mezi nejdůležitější typy pryskyřic na bázi reaktoplastu patří:

- Nenasycené polyesterové pryskyřice
- Vinylesterové, fenalkrylátové pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice
- Fenolické pryskyřice
- Metalkrylátové pryskyřice
- Izokyanátové pryskyřice [8]

- **Matrice na bázi termoplastu**

Termoplasty se liší od termosetů uživatelskými i zpracovatelskými vlastnostmi. Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky, které musíme nejdříve zahřát nad bod tavení, většinou cca 200°C. Velkou výhodou je ovšem odolnost proti chemikáliím, dielektrické vlastnosti, nízká absorpce vody a dobrá tepelná stabilita. Nejčastější využití je pro letecký, automobilový a vojenský průmysl.[8,15]

K vyztužení termoplastů se používají:

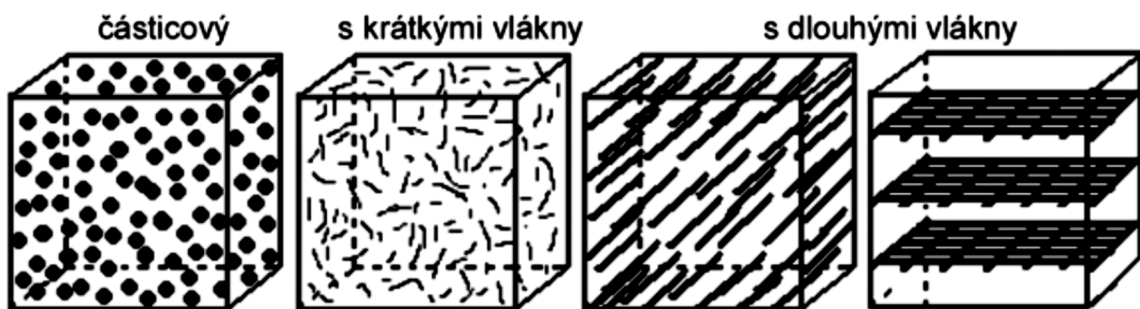
- Krátká vlákna
- Dlouhá vlákna
- Nekonečně dlouhá vlákna [8]

1.3.2 Materiály vyztuže

Kompozitní materiály mohou obsahovat vyztužující fáze různých rozměrů a materiálů. Nejmenší rozměry vyztuže mají nanokompozity, u kterých se délka nebo průměr vlákna pohybuje v řádu 100 nm. Další v pořadí jsou mikrokompozity, které mají největší význam

v průmyslu, jejich příčný rozměr výztuže je v rozmezí 10^0 až 10^2 μm . Největší rozměry vyztužující fáze mají makrokompozity. U těch se velikost příčného rozměru pohybuje okolo 100 mm a jejich největší uplatnění je především ve stavebnictví (železobeton).[7,13]

Výztuž je v kompozitech z důvodu zajištění lepších fyzikálně mechanických vlastností výsledného výrobku. Velice často jsou kompozity z epoxidové pryskyřice, která je plněná skelnými vlákny. Samotná výztuž by bez matrice tyto vlastnosti nedosahovala. Výztuže dělíme podle tvaru a velikosti a podle použitého materiálu.[1,9]



Obr. 2. Rozdělení materiálů dle výztuže [16]

- **Částicové výztuže**

V kompozitech můžeme použít nejrůznější druhy částic. Použit můžeme libovolný materiál, buď minerálního původu, kdy se částice zpracovávají průmyslově mechanickým mletím na určitou velikost a tvar, nebo jsou vyráběny průmyslově z přírodních zdrojů. Nejčastěji se setkáváme s keramickými částicemi. [6,13]

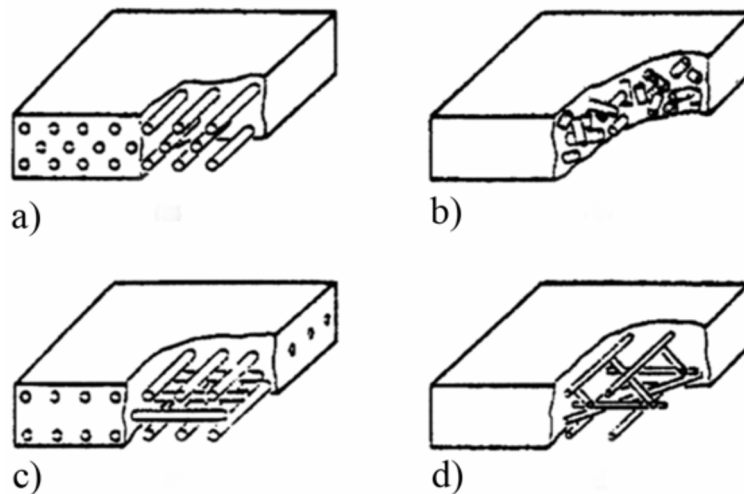
Na jejich zpracování závisí jejich výsledný tvar, díky tomu můžeme částicové výztuže dělit na izometrické, které mají tvar elipsoidu nebo koule, popřípadě anizometrické, které mají tvar jehlic nebo destiček. U těchto výztuží nejsou vlastnosti závislé na směru.[6,13]

Použití částicových výztuží slouží ke zlepšení mechanických vlastností, mnohem častěji ovšem ke zlepšení vlastností jako je například elektrická vodivost, útlum vibrací, tepelná odolnost apod. Zvýšení tuhosti a zlepšení tvarové stálosti se dosahuje použitím anorganických částic. Elastomerní částice v kompozitu zlepšují jeho houževnatost. Částice sulfidu a grafitu zvyšují odolnost proti otěru a zlepšují kluzné vlastnosti. [6,13]

- **Vláknové výztuže**

U vláknových výztuží je vždy jeden rozměr výrazně větší než dva ostatní. Oproti částicovým výztužím se tedy liší svými rozměry. Jsou uspořádána v matrici buďto náhodně, nebo s přednostní orientací. Vlákna výztuže ovlivňují vlastnosti jako tvarovou,

ohybovou a tahovou pevnost. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny jak orientací, tak procentuálním zastoupením vláken v kompozitu. [1,9,13]



Obr. 3. Orientace vláken v kompozitu

(a) Jednosměrně orientovaný dlouhovláknový kompozit, b) Krátkovláknový kompozit s náhodně orientovanými vlákny, c) Dlouhovláknový dvousměrně orientovaný kompozit, d) Kompozit s náhodně orientovanými dlouhými vlákny) [1]

Pevnost vláken roste se zmenšujícím se průřezem, protože přirozené defekty struktury jsou u vláken malých průměru také malé a jsou v nich minimalizovány vady materiálu. Vady existují v podobě submikroskopických až mikroskopických trhlinek, které jsou přednostně orientovány v podélném směru vlákna. Vlákna jsou tedy součástí kompozitu, které nesou zatížení a dodávají kompozitu tuhost a pevnost. Pevnost vlákna závisí také na jeho délce. Většina vyráběných vláken má kruhový průřez o průměru od 5 do 20 μm . Menší průměry se nepoužívají z technologických důvodů - produkty s velmi tenkými vlákny se obtížně prosycují matricemi. Pro kompozity jsou vyráběna vlákna skelná, uhlíková, polymerní, keramická, kovová a přírodní. Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech jsou skelná vlákna. [7]

Všechna vlákna se dodávají v podobě textilií nebo navinutá na válcovité cívce (roving). Polymerní matrice se nevyztužují keramickými ani kovovými vlákny nejen z důvodu vysoké ceny, ale také proto, že jde o vlákna s větší hustotou. Pro keramické a kovové matrice zase nemůžeme použít vlákna s malou tepelnou a chemickou odolností. Rozlišujeme proto vlákna pro polymerní matrice (skelná, uhlíková, polymerní a přírodní) a vlákna pro vysokoteplotní aplikace (uhlíková, keramická a kovová). [6,8,10]

- **Skelná vlákna**

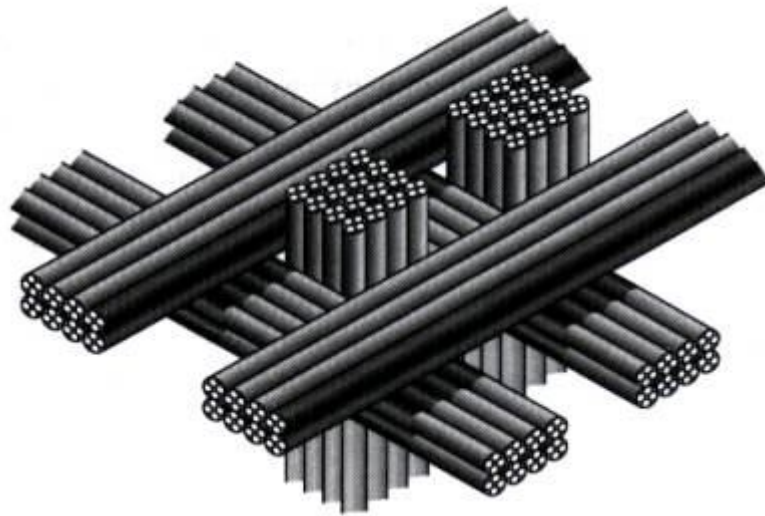
Tento druh vláken má amorfni strukturu, to znamená, že se předpokládá, že jejich vlastnosti budou shodné v podélném i příčném směru. Textilní skelná vlákna, je společný název pro tenká vlákna s pravidelným kruhovým průřezem. Vlastnosti skelných vláken jsou dány jejich chemickým složením. Nejčastěji se vyrábějí z tzv. E-skla (borosilikátové sklo, využívá se nejčastěji v elektrotechnice). To se ovšem vyznačuje absorpcí vody a malou korozní odolností proti vodným roztokům kyselin a zásad. Pro náročnější mechanicky namáhané díly se používají bezalkalická S-vlákna. Ty se vyznačují lepší korozní a teplotní odolností, stejně jako menší hustotou, větší pevností i modulem pružnosti. Ve formě rohoží nachází využití jako izolace proti žáru nebo chemickým vlivům. Tkaniny se používají jako základní výztuž laminátů například v dopravě či v letectví, z vláken samotných se pak mohou šít i ochranné oděvy, především pro extrémně horké provozy. [8,9,10]



Obr. 4. Skelné tkaniny – používané typy vazeb [22]

- **Uhlíková vlákna**

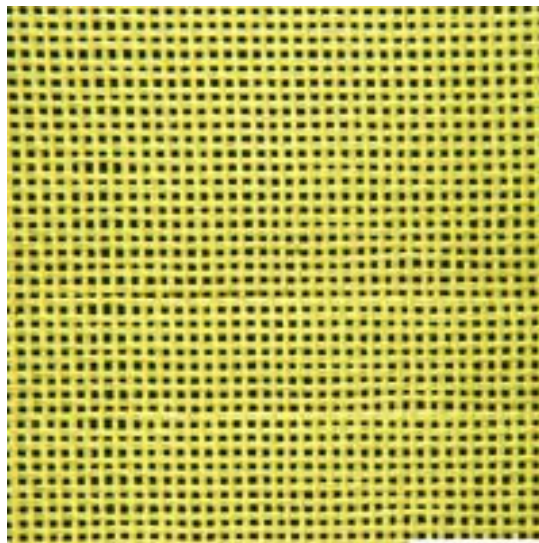
Uhlíková vlákna jsou krystalická, mají vysokou pevnost, modul pružnosti, tepelnou odolnost a vysokou únavovou pevnost současně s nízkou měrnou hmotností. Skládají se z více než 90% uhlíku, další prvky jsou kyslík, vodík a dusík. Jednou z jejich předností je také elektrická vodivost. Nevýhodou je nízká odolnost proti nárazu, způsobená křehkostí uhlíkového vlákna, při zpracování se velmi lehce lámou. Proto se povrchově upravují směsí epoxidové pryskyřice. Jejich využití je především pro špičkové aplikace pro lodě, automobily, sportovní potřeby, v letectví jako primární konstrukce a v kosmických programech. Zatím se i přes jejich specifické vlastnosti ceny pohybují příliš vysoko na hromadnější využití. [6,13]



Obr. 5. Trojrozměrný vláknový kompozit (z uhlíkových vláken)[34]

- **Aramidová (kevlarová) vlákna**

Předností kevlarových vláken je jejich vysoká tuhost, pevnost, rezistence proti většině organických i anorganických rozpouštědel a ohnivzdornost. Zpracování může probíhat všemi termoplasty i reaktivními pryskyřicemi. Jsou ideální pro protipožární obleky, používají se i jako náhrada azbestu v brzdových a třecích obloženích, využívají se i ve vojenském průmyslu (neprůstřelné vesty). Ze všech komerčně používaných vláken jde o nejlehčí vyztužující vlákno. [3,6,9,15]



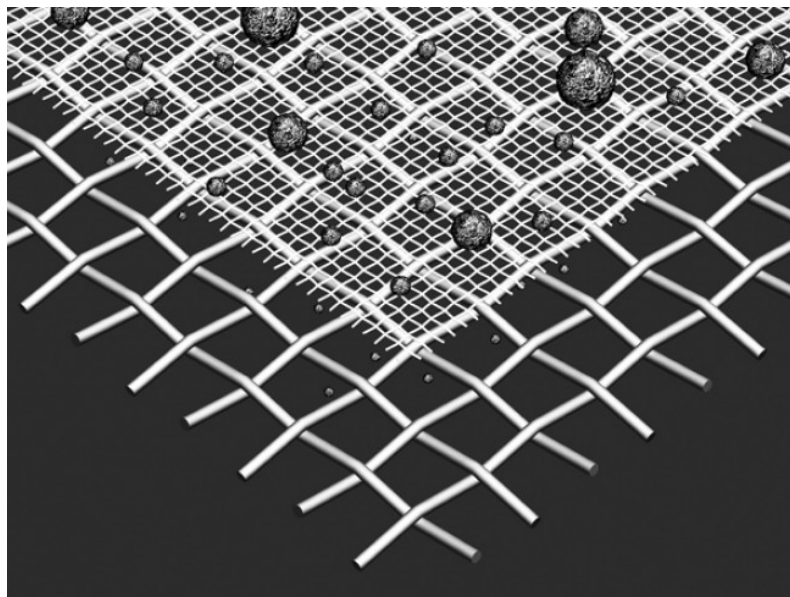
Obr. 6. Kevlarová tkanina (kepr)[27]

- **Čedičová vlákna**

Tyto vlákna mají podobné vlastnosti, jako vlákna skelného typu S. Širší výroba těchto vláken se zavedla teprve nedávno. Jejich výhodou je totiž jejich nižší cena, cca o 40% levnější než skelná vlákna typu S. Charakteristické vlastnosti jsou vysoká pevnost, nízká tažnost, nehořlavost, nízká nasákavost, nízká tepelná vodivost, vysoký elektrický odpor, dobrá tepelná odolnost. Naopak jsou zase velmi křehká. Technologie na výrobu těchto vláken je podobná jako pro výrobu vláken skelných. Uplatňují se hlavně ve stavebnictví (v podobě tepelně a zvukově izolačních desek, stropů, příček, podlah) a v různých dalších technických výrobcích jako rozbrušovací kotouče, lamináty, brzdové destičky. [8,13]

- **Kovová vlákna**

Tato vlákna bývají vyrobeny z ušlechtilých materiálů, například korozivzdorné a žáruvzdorné ocele a slitiny na bázi niklu. Využívají se ve formě vodivých tkanin, filtračních médií pro agresivní látky a vysoké teploty, tepelné štíty a k plnění elektricky vodivých plastů a kompozitů. [13]



Obr. 7. Kovová tkanina [28]

- **Keramická vlákna**

Největší předností keramických vláken je tepelná a chemická odolnost. Jsou relativně levná, jelikož jsou výchozí suroviny dostupné ve větším množství. V praxi jsou prozatím využívána v kombinaci s uhlíkovými, kovovými nebo keramickými matricemi. Konkrétně nachází uplatnění v leteckém průmyslu a u výrobků, které pracují za vysokých teplot. [13]

- **Přírodní vlákna**

Obecně jde o vlákna z obnovitelných zdrojů, nejčastěji na bázi celulózy – len, konopí, sisal, bavlna, juta. Všechny tyto vlákna jsou alternativou ke skelným vláknům, díky tomu, že jsou levnější. V poslední době se stále více využívají na pevnostně méně náročné a zároveň lehké dílce v interiérech automobilů a jiných dopravních prostředků. Jejich největší výhodou je úspora polymeru, recyklace odpadu, přírodní vzhled povrchu a možný rychlejší výrobní postup díky větší tepelné vodivosti. Nejčastěji se vyskytují ve formě pramenců a nití netkaných materiálů – rohoží ale také tkanin. [13]

Mezi hlavní přednosti přírodních vláken tedy patří:

- nízká hustota,
- malá abraze při mechanickém opracování,
- bio-rozložitelnost.

Nevýhody těchto vláken jsou pak:

- závislost vlastností vláken na podmínkách jejich růstu,
- citlivost na působení vlhkosti,
- omezená délka vláken,
- možnost změn vyvolaných biologickým napadením. [8]



Obr. 8. Plastový kompozit s obsahem přírodních vláken [23]

Juta

Juta patří mezi dlouhá, měkká, přírodní vlákna, která patří mezi nejlevnější, a proto se hojně pěstuje především v rozvojových zemích. Juta je především ekologickým produktem a hodnota jutových vláken se odvíjí od jejich barvy, síly, ale také jejich délky. Technická vlákna jsou charakteristická délkou od 150 až do 400 centimetrů. Juta je také vláknem, které dokáže výborně odolat všem různým mikroorganismům a dá se velice snadno obarvit. Tím, že je jutové vlákno ekologické, je zároveň i dobře recyklovatelné. Jutovník, tedy rostlina, která produkuje jutu je příbuzná s rostlinou konopí. Stejně jako konopná vlákna jsou šetrná k životnímu prostředí.



Obr. 9. Jutová tkanina [26]

Hrubé jutové tkaniny (např. Rupfen, Hessian, Bagging) se používají nejčastěji na obaly (pytlovina), jako podkladové tkaniny na vsívané koberce, dále jako dekorační tkaniny a v neposlední řadě také jako výztuž do kompozitů pro obkladové a designové dílce.

Kokosová vlákna

Kokosová vlákna jsou získávána ve svazcích ze slupky, obklopující semeno kokosu. Tyto vlákna mají výbornou odolnost proti mořské vodě, z toho důvodu jsou lana z kokosových vláken užívána v námořnickém průmyslu. Tato vlákna jsou však svými vlastnostmi použitelná i pro výrobu polymerních kompozitů. Kokosová vlákna zlepšují v kompozitech mechanicko-dynamické a mechanické vlastnosti. Nejvíce se kokosová vlákna produkují v Indonésii, Indii, Brazílii a na Filipínách. [29]

Sisalová vlákna

Sisalová vlákna získáváme z listů rostliny agáve (*Agave sisalana*), která se nejvíce produkuje například ve Východní Africe a Brazílii. Hlavní výhodou sisalových vláken je nízká hustota a vysoká specifická pevnost v tahu. Dále mají dobré akustické a tepelně-izolační vlastnosti. Sisalová vlákna se používají nejčastěji k výrobě lan, podložek nebo rohoží, dále se také používají k výrobě kompozitních materiálu pro nejrůznější použití. [29]

Konopná vlákna

Konopná vlákna společně s lněnými patří mezi nejdůležitější přírodní vlákna. Jsou získávána z lýka rostliny. Konopná vlákna obsažená v kompozitech se dají kombinovat jak s termosetickými, tak s termoplastickými matricemi. Kompozity na bázi konopných vláken se často používají v automobilovém průmyslu, například jako přístrojové desky nebo dveřní panely. Další využití kompozitů na bázi konopných vláken je ve sportovním vybavení. Jako příklad můžeme uvést tenisové rakety, surfovací prkna, lyže a helmy. [30]

Ve většině případů se při použití přírodních vláken mluví o vzniku tzv. biokompozitů. Termín "biokompozit" zahrnuje: 1) nebiodegradovatelné polymery z ropy, jako je polypropylen (PP), polyethylen (PE) nebo epoxidy vyztužené přírodními vlákny, 2) biopolymery (např. CHKO, PHA) vyztužené přírodními vlákny a 3) biopolymery vyztužené syntetickými vlákny, jako je sklo nebo uhlík. Biopolymery vyztužené přírodními vlákny, jsou obecně považovány za šetrnější k životnímu prostředí, jsou také někdy označovány jako "zelené kompozity". [36]

Biokompozity obecně se objevují jako životaschopná alternativa skleněných vláken kompozitu, zejména ve stavebnictví, automobilový průmysl a spotřebním zboží. [36]

Tab. 2. Různé typy přírodních rostlinných vláken a jejich vlastnosti ve vztahu ke skelným vláknům. [36]

Vlastnosti	E-sklo	Kenaf	Len	Konopí	Juta	Ramie	Kokos (vlákna)	Sisal	Abaka	Bavlna
Hustota g/cm ³	2,55	1,5	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,5	1,51
Pevnost v tahu 10 ⁶ N/m ²	2400	350-600	800-1500	550-900	400-800	500	220	600-700	980	400
E-moduly [GPa]	73	40	60-80	70	10-30	44	6	38	-	12
Specifický (E/hustota)	29	27	26-46	47	7-21	29	5	29	-	8
Prodloužení [%]	3	2,5-3,5	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3	-	3-10
Absorpce vlhkosti [%]	-	-	7	8	12	12-17	10	11	-	8-25
Cena/kg (\$) Syrový (mat/tkanina)	1,3 (1,7/3,8)	0,33-0,88	1,5 (2/4)	0,6-1,8 (2/4)	0,35 (1,5/0,9)	1,5-2,5	0,25-0,5	0,6-0,7	1,5-2,5	1,5-2,2

2 TECHNOLOGIE PRO VÝROBU KOMPOZITNÍCH DÍLCŮ

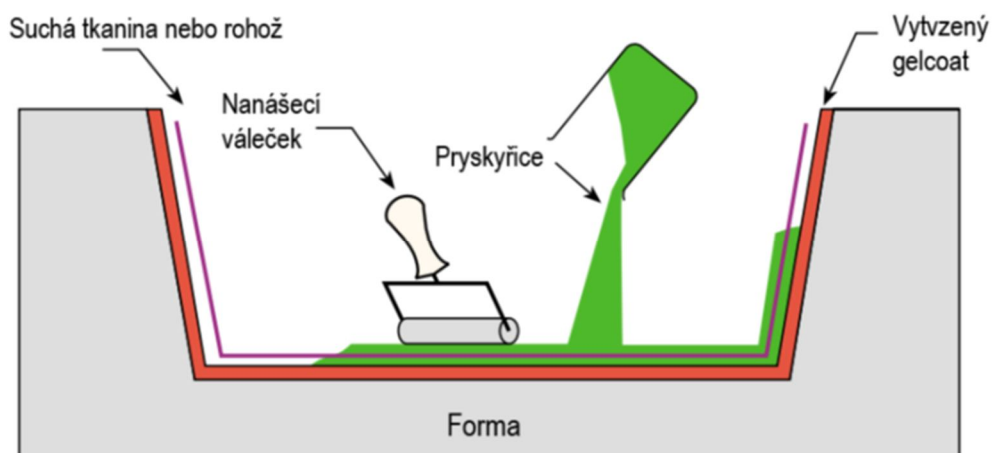
Správný výběr technologie na výrobu kompozitů hraje důležitou roli vzhledem k výsledku, který chceme dosáhnout. Technologií na výrobu kompozitů je nespočet. Jejich volbu určujeme i podle ekonomiky výroby, na některé postupy je potřeba větší počáteční investice, proto se nehodí pro malosériové výroby. Jednotlivé technologie je možné selektovat na základě následujících kritérií:

- typ formy - uzavřená, nebo otevřená
- sériovost – malosériové, velkosériové
- kvalita
- rozměry – malé, velké
- výsledné vlastnosti

Následující text popisuje nejpoužívanější technologie pro výrobu kompozitů včetně jejich průmyslových modifikací.

2.1 Ruční laminování

Tato technologie se používá se nejčastěji při výrobě prototypů, malých sérií, popřípadě velkoplošných dílů. Jedná se o nejstarší používanou technologii. Kvalita koncového výrobku nejvíce závisí na kvalifikaci a zkušenostech pracovníka, který jej vyrábí. Ekonomicky je tato metoda výroby středně náročná, vstupní náklady jsou nižší (v porovnání například s lisováním), hlavní část nákladů je na mzdové prostředky.



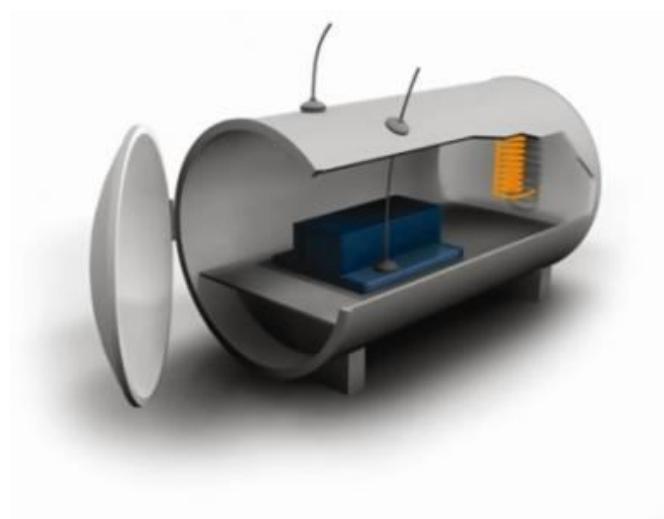
Obr. 10. Schéma ručního laminování [17]

Při výrobě je výztuž kladena ručně, stejně jako se provádí její prosycování. K dobrému prosycení slouží ruční nástroje – nejčastěji válce a štětce. Největší důraz je kladen na kvalitu práce, je nutné zamezit vzniku vzduchových mezer, které degradují výsledné vlastnosti. Odvzdušnění závisí pouze na kvalitě a zkušenosti pracovníka a ani tak není možné dosáhnout úplného odvzdušnění. Většina kompozitů se vytvrzuje při atmosférickém tlaku a pokojové teplotě. [8, 16, 17]

Mezi hlavní výhody patří výroba složitých tvarů a velkorozměrných výrobků. Dále ještě jednoduchá technologie a nízké nástrojové náklady. Mezi nevýhody patří tvorba vzduchových dutin (nutné mít odvzdušňovací systémy) a výsledný dílec má pouze jeden kvalitní, hladký povrch. Zásadní nevýhodou je pak skutečnost, že kvalita výrobku závisí na zkušenostech a schopnostech pracovníka. [17]

2.2 Lisování v autoklávu

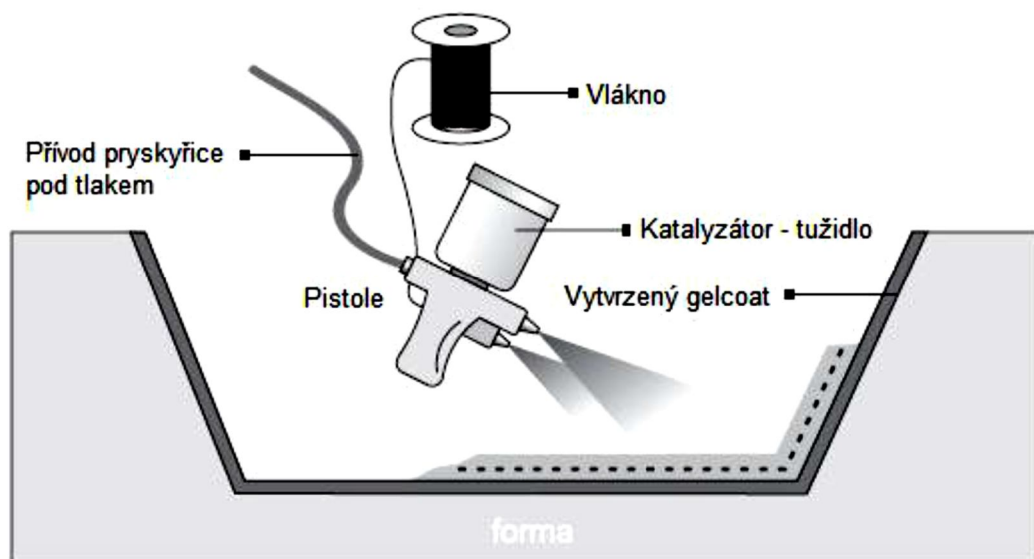
Daná technologie spojuje tlakové lisování a lisování pomocí vakuového vaku. Autokláv je vyhřívaná tlaková nádoba, u níž lze přesně regulovat teplotu a tlak a tím umožňuje stabilizaci a vytvrzení kompozitních materiálů. Lisování v autoklávu vyžaduje velké počáteční investice a dovoluje pouze malosériovou výrobu. Podle velikosti autoklávu se potom volí samotná velikost dílce, či počet dílců, které lze ve vnitřním prostoru vytvrzovat. Tento proces produkuje vysoce kvalitní výrobky, které se nejčastěji uplatňují v letectví a kosmonautice. [8]



Obr. 11. Autokláv [18]

2.3 Stříkání

Jedná se o technologii vzniklou modifikací metody ručního laminování, při které se využívá speciální stříkácí pistole, a to buď ručně, nebo lze tuto metodu i automatizovat. Při výrobě se současně nanáší pryskyřice i sekaná výztuž (vlákna o specifické délce). Tato technologie je vhodná pro sériovou výrobu středních a velkých dílů s jednoduchým tvarem. [8,13]



Obr. 12. Schéma stříkání [13]

Mezi hlavní výhody patří nízká cena nástroje a široká použitelnost. Dále rychlé nanášení vláken a pryskyřice. Nevýhodou je pak vysoká hmotnost výrobku (velké množství pryskyřice) a vyšší koncentrace styrenu, který je škodlivý. Další nevýhodou je použití krátkých vláken, které omezují vlastnosti laminátu a používané pryskyřice musejí mít malou viskozitu. [8,13]

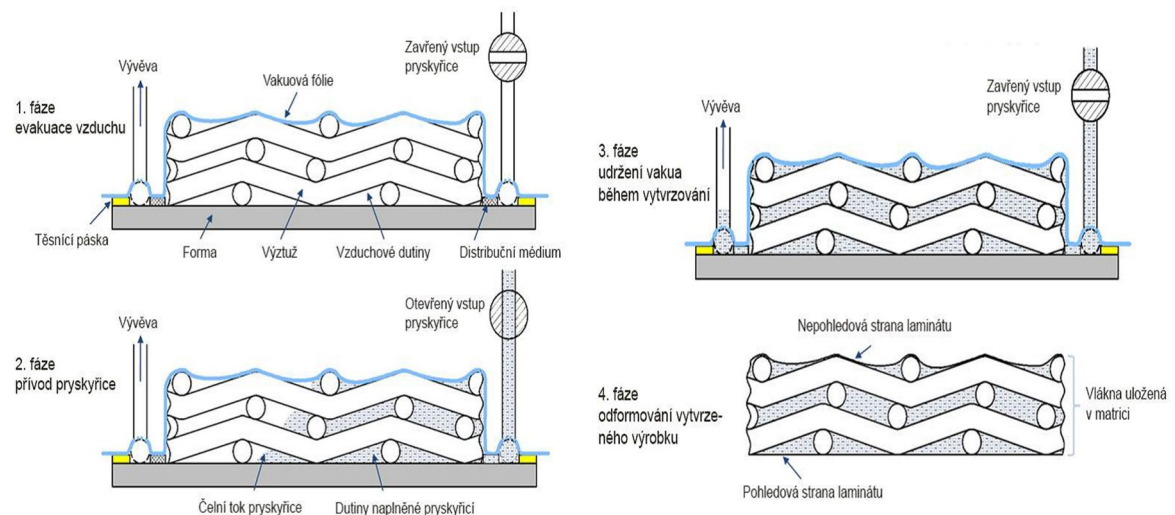
2.4 Vakuová infuze

Technologie vakuové infuze využívá podtlaku k prosycování pryskyřice přes suché výztuže, které jsou nejčastěji ve formě tkanin, nebo rohoží. Na tyto tkaniny se pokládají další nezbytné technologické vrstvy. Klíčovým prvkem je odsátí veškerého vzduchu před přívodem pryskyřice. Používají se výztužné materiály všeho druhu, od tkanin na bázi uhlíkových, skelných, nebo aramidových vláken, popřípadě jejich kombinace o různém stylu tkaní s různou orientací a různou gramáží. Dále je možné přidávat jádrové materiály

na tvorbu sendvičových struktur. Jako matrice se při této technologii používají polyesterové i epoxidové nízko-viskózní pryskyřice. [16,21,31,32]

Vakuovací fólie je na okrajích formy utěsněna těsnicí páskou, pod ní jsou veškeré technologické vrstvy potřebné k tvorbě kompozitu – výztuže, odtrhová tkanina, distribuční vrstva tkaniny a rozvodné kanálky. Dílce vyrobené touto technologií vynikají vysokou kvalitou, vysokou pevností. Dále vakuová infuze umožňuje výrobu velkoplošných výrobků. Mezi hlavní nevýhody technologie patří složitost celého procesu a nutnost výškolení zkušených pracovníků. [21]

Vakuová infuze se používá tam, kde by ostatní metody byly moc pracné nebo hodně nákladné. Hlavní využití vakuové infuze je například: paluby a trupy lodí, různé dílce pro kapotáž lokomotiv a vagónů, komponenty letadel, lopatky větrných elektráren. [32]



Obr. 13. Princip vakuové infuze [20]

2.5 Vysokotlaké vstřikování – RTM

Využívá se dvoudílná, robustní forma, která se po vložení výztuže uzavře. Pojivo je vstřikováno pomocí injektážní pistole z vysokotlaké pumpy. Pojivo vstřikujeme, dokud nedojde k úplnému prosycení výztuhy. To poznáme vytékáním pojiva z kontrolních otvorů. Necháme výrobek úplně vytvrdit, teprve potom jej vytáhneme. [7,13]

Hlavní výhodou je přesná výroba s možností výroby dílu s dobrým povrchem na obou stranách. Velkou výhodou této technologie je také fakt, že pryskyřice neuvolňují do ovzduší reaktivní rozpouštědlo. Mezi hlavní nevýhody patří nutnost těžkých a drahých

kovových forem a nemožnost dosáhnout vysokého obsahu skla - nižší fyzikální vlastnosti. [7]

2.6 Vysokotlaké vstřikování pomocí vakua – VARTM

Jedná se o analogii RTM metody, kdy prosycování napomáhá vakuum. Tak jako při RTM technologii je forma dvoudílná a pryskyřice je do ní vtahována podtlakem. Zde prosycuje výztuž. Dnes se běžněji používají jednodílné formy, kdy je druhá část nahrazena filmem, fólií nebo vakem. [21]

2.7 Resin film infusion – RFI

Suché vrstvy jsou prokládány vrstvami pojiva, které jsou ve formě fólií. Ohřevem na vytvrzovací teplotu a odčerpáním vzduchu z prostoru pod fólií dojde k roztavení fóliového pojiva a jeho prosáknutí do suchých výztužných vrstev.

Mezi hlavní výhody patří zkrácení doby cyklu, zlepšení kvality výrobku a nižší cena. Naopak mezi hlavní nevýhody patří, že nástroje musí odolávat procesní teplotě pryskyřice (60-100°C). [7]

3 TESTOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

3.1 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem dává důležité konstrukční podklady pro materiály, které jsou při aplikaci namáhány na ohyb. Jsou to nejen nosníky, ale např. samonosné střešní konstrukce z laminátů, obkladový materiál ve stavebnictví, který se prohýbá svou vlastní vahou, střešní krytiny, apod. Ohybová zkouška také umožňuje stanovit modul pružnosti u materiálů, u kterých to nelze dostatečně přesně určit z tahových nebo tlakových zkoušek.

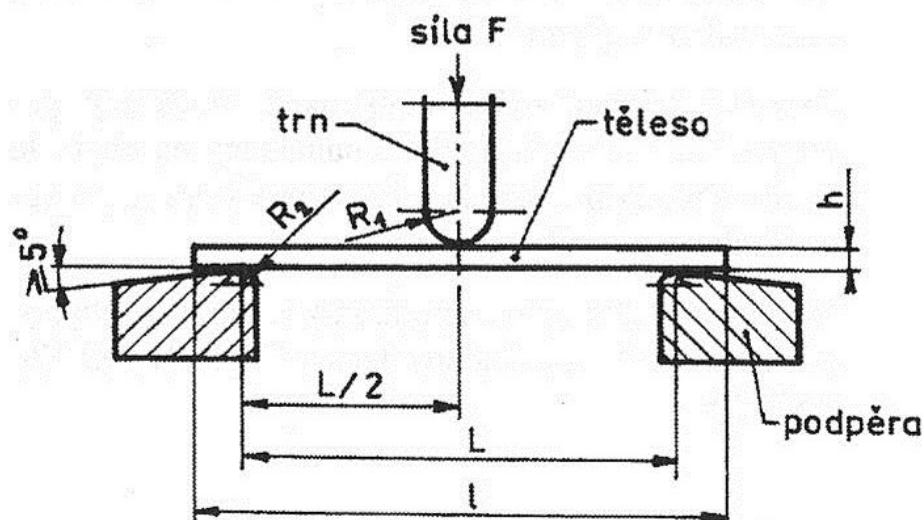
Při ohybu je napětí v principu rozloženo tak, že v dolních vrstvách je tahové a směrem k neutrální ose se zmenšuje a přes nulové napětí se mění v horní polovině průřezu (pod působícím nosníkem) na tlakové. Rozlišujeme třibodovou a čtyřbodovou zkoušku ohybem.

[11]

3.1.1 Třibodová zkouška ohybem

Zkušební těleso je při této zkoušce podepřeno jako nosník dvěma podpěrami (viz. Obr. 14) a konstantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty.

[11]



Obr. 14. Třibodový systém ohybové zkoušky [19]

Výsledkem zkoušky jsou také ohybové křivky síla (napětí) – průhyb (deformace v %), ze kterých se vyhodnocují potřebné charakteristické hodnoty. V průběhu zkoušky se dále zaznamenává síla (napětí) působící na těleso a velikost odpovídajícího průhybu zkušební tělesa. [11]

Pevnost v ohybu je maximální napětí v ohybu, které vzorek vydrží během zkoušky. Napětí v ohybu σ_f je napětí vnějšího povrchu vzorku uprostřed rozpětí podpěr, vyjádří se pomocí vztahu :

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot F_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} [MPa], \quad (1)$$

kde F [N] je zatěžující síla, l [mm] rozpětí podpěr, b [mm] je šířka vzorku a h [mm] tloušťka vzorku. [11]

Modul pružnosti ohybu E, získaný z oblasti namáhání, v níž je lineární závislost průhybu na zatížení, přičemž záleží na geometrii vzorku, se vyjádří pomocí vztahu:

$$E = \frac{F \cdot l^3}{4 \cdot X \cdot b \cdot h^3} [MPa], \quad (2)$$

kde X [m] je průhyb vzorku. [11]

3.1.2 Čtyřbodová zkouška ohybem

Zkušební těleso daného průřezu je podepřeno na dvou oporách (viz. Obr. 15). Těleso se uprostřed zatěhuje od nulové hodnoty čtyřbodovým ohybem (symetricky vzhledem ke středu tělesa). Při zatěžování zkušební tělesa se opět snímá závislost síly na průhybu vzorku. Průhyb se měří jako změna polohy středu tělesa vzhledem k nejbližším opěrám. Čtyřbodové uspořádání zkoušky má vyšší vypovídající hodnotu pevnosti ohybu - těleso se poruší ve střední třetině mezi oběma silami od zatížení. Protože jsou v této části nosníku při uvedeném zatížení posouvající síly rovny nule, dojde k porušení v oblasti namáhání čistým ohybem. U tříbodového uspořádání zkoušky se vždy jedná o kombinaci ohybu a smyku. Proto je čtyřbodové uspořádání zkoušky vhodnější. [33]

Působí-li dvě síly P ve stejné vzdálenosti a od podpěr, pak pro čtyřbodový systém platí:

$$M_{max} = P_{max} \cdot a [N \cdot mm] \quad (3)$$

Pevnost v ohybu se vypočítá:

$$\sigma_y = \frac{6 \cdot P_{max} \cdot a}{b \cdot h^2} [MPa], \quad (4)$$

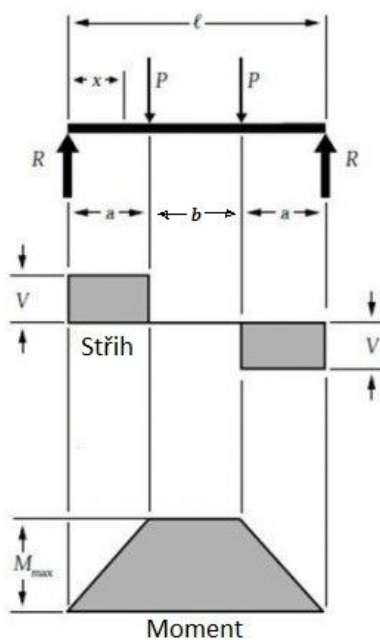
kde a je vzdálenost zatěžující síly od podpěr [mm]. [35]

Vztah pro výpočet modulu pružnosti při čtyřbodovém systému:

$$E_y = \frac{1}{2} \cdot \frac{P \cdot a}{b \cdot h^3 \cdot y} \cdot (3 \cdot (2a + b)^2 - 4 \cdot a^2) [MPa] \quad (5)$$

Pak průhyb y se vypočítá ze vztahu: [35]

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{P \cdot a}{b \cdot h^3 \cdot E_y} \cdot (3 \cdot (2a + b)^2 - 4 \cdot a^2) [mm] \quad (6)$$

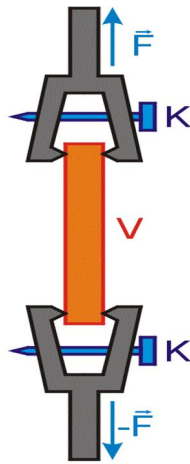


Obr. 15. Schéma zatěžovací zkoušky na čtyřbodový ohyb. [14]

3.2 Tahová zkouška

Pro kompozity je navrženo mnoho tvarů a geometrií zkušebních těles v příslušných normách, zohledňujících stav kompozitů. Praktické provedení zkoušky tahem je obdobné jako u materiálů kovových. Na zkušební těleso se působí ve směru jeho podélné osy stále se zvětšující silou až do okamžiku, při kterém dojde po určité deformaci k jeho přetržení nebo kdy měřené parametry dosáhnou zvolených hodnot. V průběhu zkoušky se trvale

zaznamenává síla a prodloužení tělesa. Vzorky u kompozitů jsou většinou obdélníkového tvaru. Volba rychlosti deformace by měla být taková, aby k přetržení došlo kolem 60 sekund. V protokolu o zkoušce je nutné vždy uvádět rychlost deformace, teplotu a relativní vlhkost. [19]



Obr. 16. Princip tahové zkoušky [12]

Po přetržení zkušební vzorku vypočítáme následující důležité hodnoty. Mez pevnosti v tahu R_m (tzv. smluvní napětí na mezi pevnosti z hodnoty maximálního zatížení- síly F_{max} a původního průřezu S_0) se vyjádří pomocí vztahu:

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} [MPa] \quad (7)$$

Tažnost A. Je určena poměrným prodloužením ε , vyjádřeným v procentech se vyjadřuje pomocí vztahu:

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 [\%], \quad (8)$$

kde l [mm] je délka vzorku při přetržení a l_0 [mm] je původní délka vzorku.

Modul pružnosti v tahu E , také Youngův modul, lze definovat jako poměr napětí a jím vyvolané deformace, což lze vyjádřit vztahem:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [MPa], \quad (9)$$

kde σ [MPa] je napětí v tahu a ε [-] je relativní deformace

3.3 Rázová houževnatost

Rázová houževnatost patří spolu s pevností k nejdůležitějším materiálovým charakteristikám. Houževnatost je schopnost materiálu odolávat iniciaci a šíření trhliny. Fyzikálně houževnatost představuje energii, kterou je materiál schopen lokálně absorbovat, než se poruší. Obecně tyto zkoušky poskytují určité informace o chování kompozitů při nárazu, tvaru lomu, jeho šíření, atd. Výsledky stanovení závisí na druhu materiálu, jeho složení, teplotě, zkušební metodě, podmínkách provedení zkoušky, tvaru zkušebního tělesa. [19]

3.3.1 Metoda Charpy

Kyvadlové kladivo s rozsahem podle typu materiálu a rozměru zkušebních těles, bývá opatřeno stupnicí, na které se absorbovaná energie W (spotřebovaná práce) odečítá přímo, nebo v dnešní době již může být celá zkouška zaznamenávána počítačem. Rázovou houževnatost Charpy vypočítáme z rovnice (6). [19]

$$a_{cU} = \frac{E_c}{h \cdot b} \cdot 10^3 \text{ [KJ/m}^2\text{]} , \quad (10)$$

kde E_c [J] je korigovaná energie spotřebovaná při přeražení zkušebního tělesa, h [mm] je tloušťka zkušebního tělesa, b [mm] je šířka zkušebního tělesa. [24]



Obr. 17. Charpyho kladivo [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

Cílem praktické části je navrhnout a vyrobit kompozit vyztužený přírodní tkaninou a vyhodnotit průběh výroby jednotlivými použitými technologiemi a dále také ověřit mechanické vlastnosti připravených laminátů. Kompozit bude testován v tříbodové ohybu a pomocí Charpyho testu bude zjišťována rázová houževnatost.

Hlavní body pro dosažení stanovených cílů práce jsou:





- výběr vhodných materiálů
- výroba zkušebních vzorků
- provedení zkoušky tříbodovým ohybem
- rázová zkouška provedením Charpyho testu
- vyhodnocení a diskuze výsledků

5 POPIS MATERIÁLOVÉHO SLOŽENÍ LAMINÁTU

5.1 Výztuž

Při volbě výztuže bylo hlavní kritérium, aby byla výztuž přírodního charakteru. Na základě těchto skutečností byly vytipovány jutové tkaniny s různou plošnou hmotností, které jsou uvedeny v následující tabulce (Tab.3). Popis vlastností a důležité informace jsou uvedeny v teoretické části práce.

Tab. 3. Jutové tkaniny.

Obrázek tkaniny	Plošná hmotnost [g/m ²]	Typ vazby
	365	plátnová
	427	plátnová
	500	plátnová
	700	plátnová

5.2 Matrice

Pro výrobu vzorků byly použity dva druhy pryskyřice. Jedna byla určena k výrobě vakuovou infuzí a druhá pro ruční nanášení.

5.2.1 Biresin CR80 pryskyřice pro vakuovou infuzi

Je dvousložková průsvitná epoxidová pryskyřice. Díky své viskozitě je vhodná pro zpracování vakuovou infuzí. Jako tvrdidlo je zde použito Biresin CH80-2.

Tab. 4. Vlastnosti kapalné pryskyřice při 25°C. [Příloha PI]

Vlastnosti	Pryskyřice Biresin CR80	Tvrdilo Biresin CH80-2
Viskozita [mPa.s]	900	45
Hustota [g/ml]	1.13	0.99
Směšovací poměr v hmotnostních dílech	100	30

Tab. 5. Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice. [Příloha PI]

Vlastnosti	Hodnoty
Hustota [g/cm ³]	1.17
Ohybový modulu [MPa]	3800
Pevnost v tahu [MPa]	3400
Pevnost v ohybu [MPa]	132
Prodloužení při přetržení [%]	4.7

5.2.2 Araldit GY 764BD pryskyřice pro ruční laminování

Je víceúčelová epoxidová laminační pryskyřice. Díky své viskozitě je vhodná pro dlouhá zpracování ruční laminací. Jako tvrdidlo je zde použito Tvrdidlo H285.

Tab. 6. *Vlastnosti kapalné pryskyřice při 25°C.* [Příloha PII]

Vlastnosti	Pryskyřice Araldit GY 764BD	Tvrdilo H285
Viskozita [mPa.s]	690	60-100
Hustota [g/ml]	1	0.94-0.97
Směšovací poměr v hmotnostních dílech	100	40
Bod vzplanutí [°C]	>200	109

Tab. 7. *Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice.* [Příloha PII]

Vlastnosti	Hodnoty
Hustota [g/cm ³]	1.05
Pevnost v tlaku [N/mm ²]	110-115
Teplota skelného přechodu [°C]	60-65
Pevnost v ohybu [N/mm ²]	110-120

5.3 Jádrový materiál

Jádro bude sloužit k prototypové výrobě sendvičových struktur. Jeho hlavním úkolem je přenášet smykové zatížení mezi vnějšími krycími vrstvami. S ohledem na požadované vlastnosti sendvičové konstrukce se používají jádra z různých materiálů. Pro výrobu v této práci byl vybrán pouze jeden typ jádrového materiálu, konkrétně korek. Sendvičová struktura bude vyrobena pro ověření možnosti vytvořit sendvičovou konstrukci s biozákladem (přírodní výztuž i jádro).

5.3.1 CoreCork NL10

CoreCork je přírodní sendvičový materiál z obnovitelných zdrojů, který nabízí výborné vlastnosti, dobré mechanické parametry a zpracování. Nízká hustota CoreCorku, flexibilita a vynikající přizpůsobivost, umožňují jeho snadné začlenění do výrobních procesů. CoreCork lze zpracovávat ručním kladením, vakuovou infuzí a injektážní technologií o teplotě do 150°C. Mezi specifické vlastnosti CoreCorku patří: uzavřená struktura vzduchových buněk, nízká absorpce vody, odolnost proti hnilobě, výborná ohnivzdornost, a vysoký stupeň tlumení hluku a vibrací.

Tab. 8. Mechanické vlastnosti sendvičového korkového jádra CoreCork NL10

[Příloha PIII]

Vlastnosti	Hodnoty
Hustota [Kg/m ³]	120
Pevnost v tlaku [MPa]	0.3
Modul pevnosti v tlaku [MPa]	5.1
Pevnost v tahu [MPa]	0.6
Pevnost ve smyku [MPa]	0.9
Modul pevnosti ve smyku [MPa]	5.9
Tepelná vodivost[W/mK]	0.042

Tab. 9. Mechanické vlastnosti korkového jádra CoreCork NL10 v sendvičovém laminátu

[Příloha PIII]

Vlastnosti	Hodnoty
Pevnost v ohybu [MPa]	37
Modul pevnosti v ohybu [GPa]	3.5
Pevnost ve smyku [MPa]	0.8
Modul pevnosti ve smyku [MPa]	44
Pevnost v tlaku [MPa]	1.2
Modul pevnosti v tlaku [MPa]	19
Nasákavost vody [%]	< 4

6 POPIS POMOCNÝCH MATERIÁLŮ VYUŽÍVANÝCH PŘI TECHNOLOGII VAKUOVÉ INFUZE

Při výrobě pomocí technologie vakuové infuze byly potřeba pomocné materiály. Z těchto pomocných materiálů se po dokončení výroby stává odpad. Konkrétní použité pomocné materiály jsou uvedeny v následujících kapitolách.

6.1 Odtrhová tkanina

Je to tkanina ze syntetických vláken, která je kladena jako první přímo na již impregnované výztužné tkaniny. Tato tkanina slouží k oddělení všech další pomocných materiálů, které jsou položeny na ní od vytvrzeného laminátu.

6.2 Distribuční médium

Tento pomocný materiál se používá při technologii vakuové infuze pro rychlejší a lepší tok pryskyřice do všech částí výrobku. Distribuční médium po prosycení pryskyřicí už nelze znovu použít, tak jako je tomu u většiny dalších pomocných materiálů.

6.3 Vakuová fólie

Je to pružná plastová fólie, která se vyrábí především z PA, PE, PTFE a umožňuje vytvořit vakuum v horní části otevřené formy. Fólie je mechanicky, chemicky i tepelně odolná. Při výrobě taktéž slouží ke stlačení jednotlivých vrstev právě účinkem vakua.

6.4 Resintrak

Tato páska vyrobená z polyesteru pomáhá během procesu vakuové infuze k lepšímu toku pryskyřice. Má velmi vysokou propustnost a dopravuje pryskyřici podél povrchu mezi jednotlivé vrstvy výztuže.

6.5 Hadice a konektor

Hadice vyrobená z PE slouží pro dopravu a odvod přebytečné pryskyřice. Spirálová hadice se umísťuje po obvodu formy a je určena k odvodu přebytečné pryskyřice do rezervoáru. Konektor je vyrobený s polyetylenem a používá se pro spojení mezi zavakuovanou formou a příívodem pryskyřice.

6.6 Těsnící páska

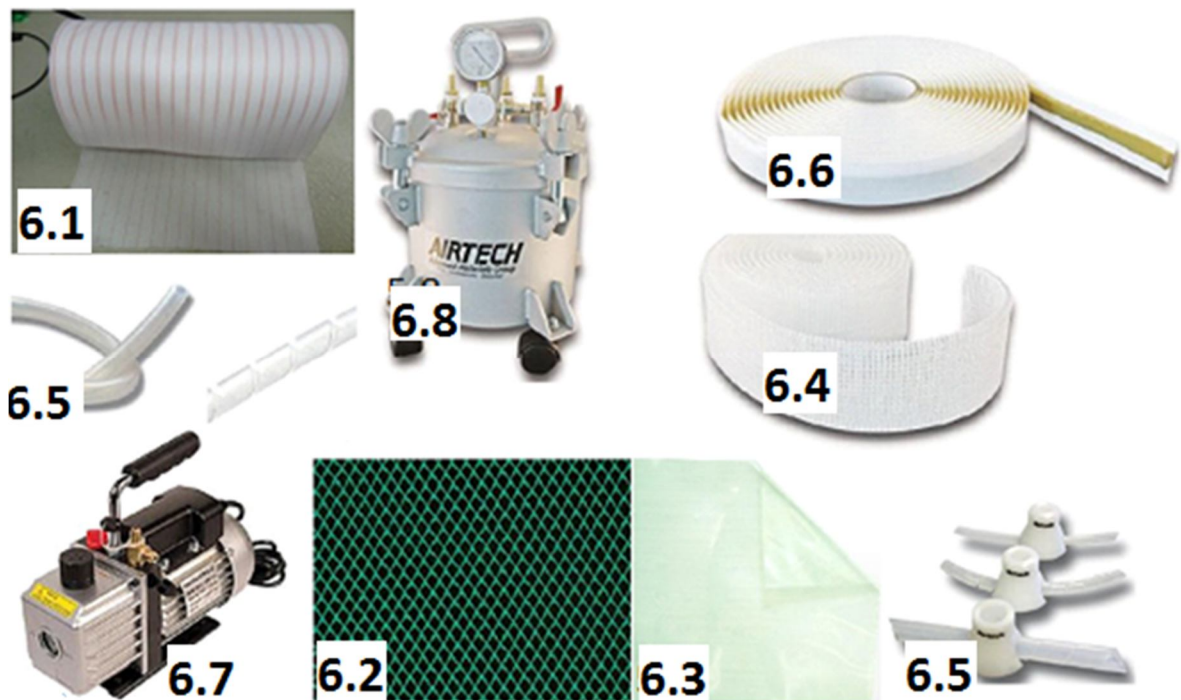
Tato těsnící oboustranná páska vytvoří nepropustný spoj mezi vakuovou fólií a formou. Je lehce snímatelná z kovových i nekovových povrchů forem.

6.7 Vakuová vývěva

Tato vývěva nám zajistí vytvoření vakua a transport pryskyřice ze zásobníku do utěsněné formy.

6.8 Přepadová nádoba (rezervoár)

Nádoba je připojena mezi oba hlavní členy soustavy, formu a vývěvu a slouží jako nádrž, kde se zachytí přebytečná pryskyřice, která je z formy odsávána za pomoci vakua.



Obr. 18. Ukázka pomocných materiálů.[37]

7 VÝROBA LAMINÁTŮ S PŘÍRODNÍ VÝZTUŽÍ

Hlavním cílem experimentální části je výroba laminátů s přírodní výztuží. Jak bylo zmíněno a popsáno, byla použita jutová tkanina. První série vzorků byla vyrobena technologií ruční laminace a druhá naopak pomocí vakuové infuze.






7.1 Výroba vzorků pomocí ruční laminace

Výroba vzorků začínala přípravou forem. Všechny vzorky byly vyrobeny pomocí forem ze skla, které byly naseparovány pomocí přípravku Tr mold relase. Následně bylo po odvážení výztužné tkaniny připraveno potřebné množství pryskyřice s tvrdidlem v hmotnostních dílech v poměru 100:40. Samotná pryskyřice byla nanášena na jednotlivé vrstvy výztuže ručně pomocí válečku. Pomocí rýhovaného válečku bylo zajištěno dokonalé prosycení a stejnoměrná struktura bez vzduchových kapes. Dokončený laminát byl vytvrzen za pokojové teploty po dobu 24 hodin. Po této době byl vzorek laminátu odformován a na jeho povrch orýsovány zkušební vzorky pro jednotlivé zkoušky. Řezání vzorků bylo provedeno pomocí diamantového kotouče na stolní řezačce.



Obr. 19. Příklad vyrobeného laminátu o rozměrech 300mm x 300mm (ruční laminace).

Tab. 10. Vyrobené vzorky kompozitů pomocí ruční laminace

Povrch vzniklé desky	Plošná hmotnost výztuže [g/m ²]	Označení	Počet vrstev
	365	A	2
	427	B	2
	500	C	2
	500	D	3
	700	E	2

Výroba vzorků pomocí ruční laminace byla rychlá a manuálně jednoduchá, avšak chemicky či fyzikálně neupravená jutová tkanina se vyznačovala velkou nasákavostí vedoucí k nutnosti nanesení velkého množství pryskyřice. Vzorky vyrobené touthle technologií byly celoplošně prosycené a bez pohledových vad. Nebyla zde žádná suchá místa a bubliny se zde nacházeli jen v malém množství. Celkový vzhled vzorků byl na vysoké úrovni.

7.2 Výroba vzorků pomocí vakuové infuze

Výroba vzorků začínala přípravou formy. Všechny vzorky byly vyrobeny pomocí laminátové formy, která byla naseparována pomocí přípravku Tr mold relase. Následně bylo po odvážení výztužné tkaniny připraveno potřebné množství pryskyřice s tvrdidlem v hmotnostních dílech v poměru 100:40. Na naseparovanou formu byly položeny jutové výztuže. Poté byla po obvodu výztuže na formě položena těsnící páska.



Obr. 20. Položené tkaniny s těsnící páskou okolo.

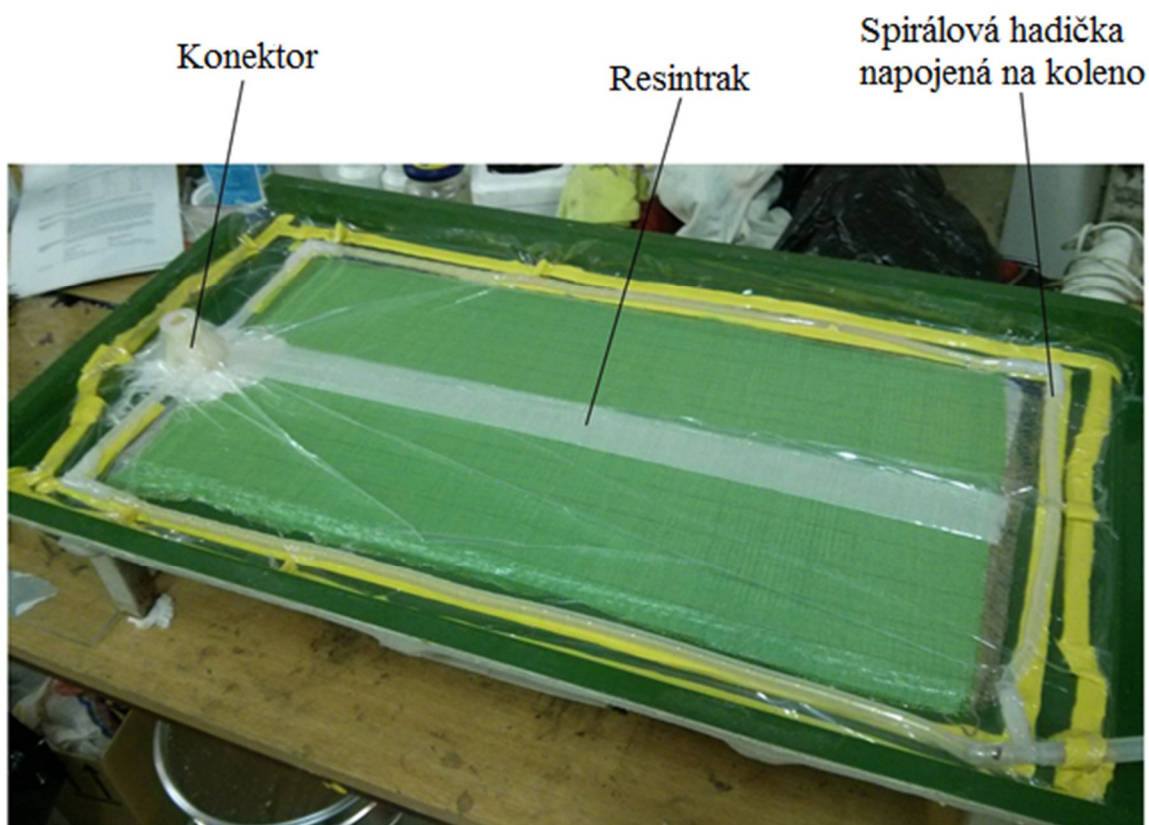
Následně byly kladeny další vrstvy pomocných materiálů. První pomocnou vrstvou byla odtrhová tkanina, která se klade přímo na výztuž. Na tuto odtrhovou tkaninu bylo položeno distribuční médium k lepšímu toku pryskyřice.



Obr. 21. Vlevo odtrhová tkanina, vpravo distribuční médium.

Následně byl položen pás resintraku podélně přes střed jednotlivých materiálů. Na distribuční médium a na začátek resintraku byl položen konektor na spojení mezi zavakuovanou formou a přívodem pryskyřice. Dalším krokem byla příprava spirálových hadiček na odvod přebytečné pryskyřice. Ty byly přilepeny k těsnicí pásce a v rozích spojeny „L“ koleno. Pro napojení hadičky na odvod pryskyřice do rezervoáru bylo použito „T“ koleno.

Jako poslední vrstva byla položena vakuová fólie, která pokrývá všechny pomocné materiály. Rozměr fólie musí být cca. o 30% větší než odtrhová tkanina a musí být volná, nenapnutá pro pokrytí rohů výrobku. Fólie byla nalepena a utěsněna na formu pomocí těsnicí. Při utěšňování se nechá působit podtlak a kontroluje se jeho hodnota na manometru, do doby jejího ustálení na pevné hodnotě. Hadička na přívod pryskyřice je sepnuta kleštěmi, aby do formy nevnikal nežádoucí vzduch. Samotná výroba začínala položením přívodní hadice do nádoby s pryskyřicí a odpojením kleští, kdy pomocí podtlaku nastává proces infuze a pryskyřice je dopravována do formy a impregnuje výztuž.



Obr. 22. Pohled na zavakuovaný výrobek.



Dokončený laminát byl vytvrzen za pokojové teploty po dobu 24 hodin. Po této době byl vzorek laminátu odformován a na jeho povrch orýsovány zkušební vzorky pro jednotlivé

zkoušky. Řezání vzorků bylo opět provedeno pomocí diamantového kotouče na stolní řezačce.



Obr. 23. Příklad vyrobeného kompozitu o rozměrech 600mm x 300mm (vakuová infuze).

Tab. 11. Vyrobené vzorky kompozitů pomocí vakuové infuze

Povrch vzniklé desky	Plošná hmotnost výztuže [g/m ²]	Označení	Počet vrstev
	500	C-I	2
	500	D-I	3

Výroba vzorků pomocí vakuovou infuzí byla složitější jak ruční laminace a vznikalo zde mnoho odpadu. Vzorky vyrobené touto technologií nebyly celoplošně prosycené a celý vzorek obsahoval velké množství suchých míst. Příčinou vzniku těchto míst byla skutečnost, že vakuum odsálo velké množství pryskyřice do reservoáru. To se projevilo na vzhledu vzorku a následně i na mechanických vlastnostech. Výroba vakuovou infuzí je vzhledem k ruční laminaci časově i finančně náročnější a kvalita vzorku je třeba odladit pomocí velké série zkoušek výroby a vhodnosti pryskyřice.

7.3 Výroba sendvičových vzorků

Výroba sendvičových vzorků probíhala na stejném principu jako výroba kompozitů ruční laminací. Popis výroby ruční laminací je popsána ve výše uvedené kapitole (7.1). Zde se pouze mezi dvě vrstvy výztuže vložilo jádro a celá struktura se stlačila pomocí vakua (viz. Obr.24), čímž se vnější vrstvy spojily s jádrem a dosáhlo se co nejlepšího vzhledu.



Obr. 24. Ukázka výroby sendvičového vzorku

Dokončený sendvič byl vytvrzen za pokojové teploty po dobu 24 hodin. Po této době byl vzorek sendviče odformován a na jeho povrch orýsovány zkušební vzorky pro jednotlivé zkoušky. Řezání vzorků bylo provedeno pomocí diamantového kotouče na stolní řezačce.




Obr. 25. Příklad desky vyrobeného sendviče o rozměrech 300mm x 300mm (ruční laminace + vakuum)



Obr. 26. Vyrobený sendvič v řezu

Tab. 12. Vyrobený vzorek sendviče pomocí ruční laminace

Povrch vzniklého sendviče	Plošná hmotnost výztuže [g/m ²]	Označení	Počet vrstev
	500	F	1/K/1

Sendvičové vzorky vyrobené ruční laminací byly celoplošně prosycené, avšak na povrchu jsou viditelné praskliny a vadná místa, která vznikla díky neopatrnému odformování a možnou špatnou separací formy. Tyto vady mohly ovlivnit výsledky z mechanických zkoušek.

8 TESTOVÁNÍ PŘIPRAVENÝCH VZORKŮ

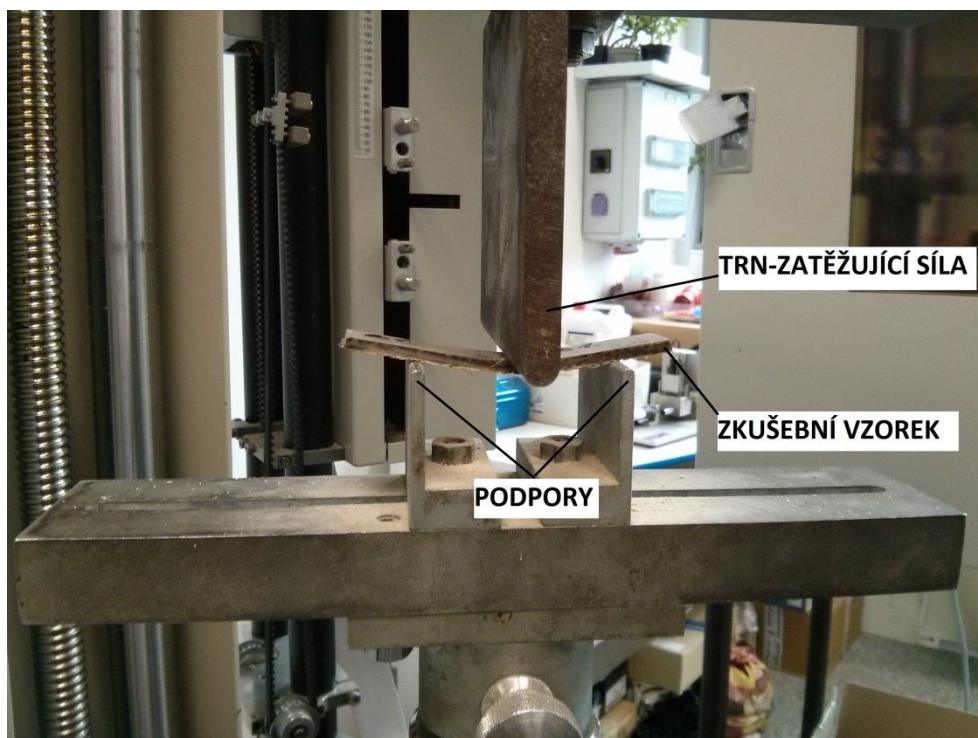
8.1 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem probíhala v laboratoři na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně na stroji Zwick 1456 s použitím softwaru testXpert v7.11 a to při pokojové teplotě (23°C) i při zvýšené teplotě (80°C) v teplotní komoře. Všechny výpočty ohybových parametrů z naměřených hodnot provádí stroj automaticky.

Technické údaje stroje Zwick 1456:

- Maximální posuv příčnicku je 800 mm/min.
- Teplotní komora pracuje v rozsahu -80°C až +200°C.
- Maximální síla je 20 kN

Zkouška byla prováděna dle normy ČSN EN 14 125 tříbodovým ohybem. Testované vzorky byly o rozměrech 100mm x 20m a tloušťky dle počtu vrstev. Vzdálenost mezi podpěrami byla 60 mm. Rychlost posuvu příčnicku byla 15 mm/min.



Obr. 27. Uchycení zkušebního vzorku

Z výsledků v programu TestExpert byly použity pouze následující data; E [MPa] modul pružnosti v ohybu, σ_f [MPa] pevnost v ohybu, ε [%] maximální prodloužení. Pro

vyhodnocení byly použity následující statistické veličiny; x jako označení pro aritmetický průměr, s jako směrodatná odchylka, v jako variační koeficient.

V následujících tabulkách (Tab. 13-20) jsou uvedena jednotlivá naměřená data pro testované vzorky při teplotě 23°C.

Tab. 13. Naměřené hodnoty vzorku A při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	1700	54	3
2	2310	59,7	3,6
3	2460	57,8	2,4
4	2260	59,9	2,5
5	2190	53,2	2,6
6	2260	59,5	2,4
7	2890	89,2	3
8	3320	75,8	2,8
9	3680	84,9	2,7
10	2030	53	2,7
x	2510	64,70	2,77
s	192	4,27	0,11
v [%]	7,66	6,59	4,14

Tab. 14. Naměřené hodnoty vzorku B při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	3190	73,8	2,7
2	3130	79	2,9
3	4150	88	2,4
4	3410	72	2,4
5	3540	74,6	2,6
6	3330	80,3	2,6
7	4350	96,4	2,6
8	2970	73,2	2,8
9	3570	72,2	2,1
10	4250	77	2,1
x	3589	78,65	2,52
s	156	2,50	0,09
v [%]	4,34	3,18	3,39

Tab. 15. Naměřené hodnoty vzorku C při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	3250	73,8	2,4
2	2390	78,3	2,7
3	3420	73,2	2,5
4	3830	79,2	2,6
5	3670	63	1,8
6	3800	73	2,3
7	3700	67,8	2,1
8	2600	64,9	2,8
9	2710	65,2	2,8
10	3670	64,5	2,1
x	3304	70,29	2,41
s	172	1,88	0,11
v [%]	5,19	2,68	4,39

Tab. 16. Naměřené hodnoty vzorku D při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	2730	74,9	2,7
2	3790	90,8	2,6
3	3180	90,6	2,7
4	3590	79,4	2,3
5	3390	86,4	2,6
6	3500	85,3	2,3
7	2460	70,8	2,4
8	3060	77,8	2,6
9	3780	80,5	2,2
10	2530	87,4	2,9
x	3201	82,39	2,53
s	156	2,14	0,07
v [%]	4,88	2,60	2,77

Tab. 17. Naměřené hodnoty vzorku E při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	2880	106	4
2	3090	85,5	3,2
3	2130	78,3	3,4
4	2140	76	3,4
5	3720	87,6	3
6	2040	101	3,5
7	2490	63,2	2,9
8	3220	90,3	3,2
9	2720	82,3	3,8
10	2490	81,9	3,7
x	2692	85,21	3,41
s	172	3,87	0,11
v [%]	6,38	4,54	3,26

Tab. 18. Naměřené hodnoty vzorku C-I při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	2900	46,4	2,6
2	3040	50,7	2,6
3	2700	49,8	3,3
4	2130	47,9	3,3
5	2380	45,4	3
6	3940	58,3	2
7	3050	50,3	2,7
8	1510	42,5	2,5
9	2690	51,6	3
10	1890	39,9	3,3
x	2623	48,28	2,83
s	217	1,63	0,14
v [%]	8,29	3,38	4,77

Tab. 19. Naměřené hodnoty vzorku D-I při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	3500	64,9	2,9
2	2670	50,8	2,5
3	2810	60,9	2,6
4	2430	43,7	2,9
5	2900	44,9	2,9
6	3080	59,9	2,8
7	2290	47,5	4
8	2860	45,2	2,9
9	3570	56,6	2,5
10	3390	54,7	2,8
x	2950	52,91	2,88
s	138	2,39	0,13
v [%]	4,68	4,52	4,68

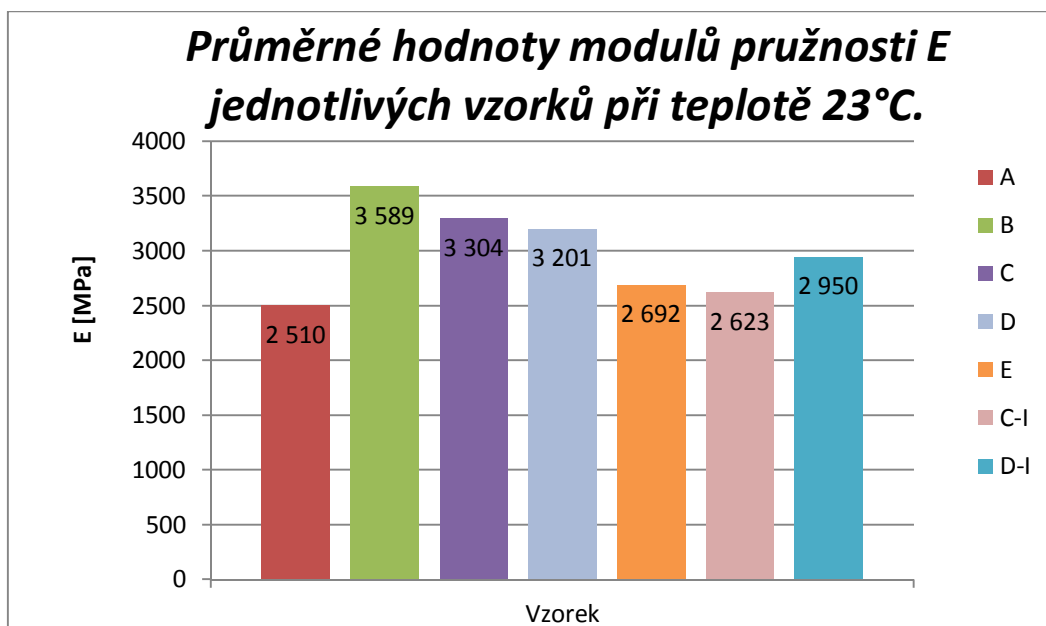
Tab. 20. Naměřené hodnoty sendvičového vzorku F při 23°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	452	11,2	6,6
2	181	14,2	9,7
3	462	13,6	4,9
4	576	14,2	6,3
5	362	15,2	7,2
6	434	16,3	6,4
7	402	14,1	6,6
8	424	12,1	8,3
9	189	13,6	13,7
10	428	12,9	4,7
x	391	13,74	7,44
s	38	0,46	0,84
v [%]	9,84	3,35	11,23

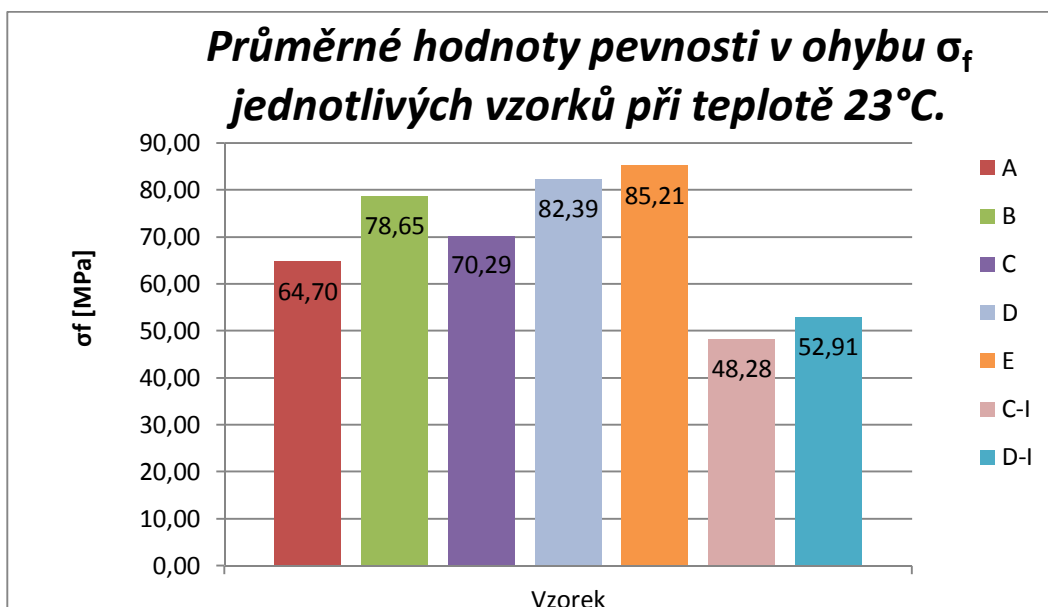
Z naměřených a vypočtených hodnot vyplývá, že u všech vzorku zkoušených při 23°C je nízký variační koeficient (do 10%), který nám udává samotnou spolehlivost aritmetického průměru. Nejvyšší variační koeficient modulu pružnosti v ohybu je u vzorku C-I, pevnosti v ohybu u vzorku A a prodloužení u vzorku C-I.

U sendvičového vzorku F, který porovnáváme se vzorky C a D je u modulu pružnosti dvakrát větší variační koeficient, avšak je stále nižší, jak hodnota 10%.

V následujících grafech (Obr. 28-30) jsou uvedeny jednotlivá naměřená data pro testované vzorky při teplotě 23°C.



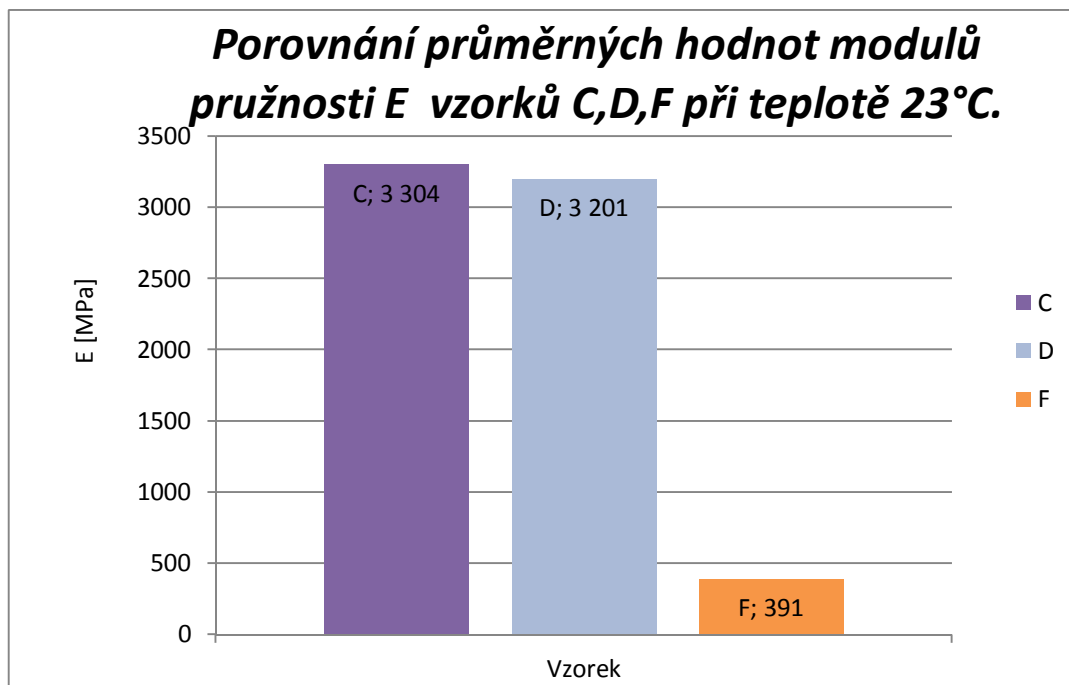
Obr. 28. Průměrné hodnoty modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při teplotě 23°C.



Obr. 29. Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při teplotě 23°C.

Porovnání vzorků laminátů obsahujících dvě, respektive tři vrstvy výztužné tkaniny o plošné hmotnosti 500 g/m² a sendvičového vzorku obsahujícího tuto jednu vrstvu této

tkaniny ve vnější vrstvách je uveden na Obr. 30. Jak je možné vidět, modul pružnosti vzorku F je roven pouze cca 12 % tohoto parametru u vzorků C a D.



Obr. 30. Porovnání průměrných hodnot modulů pružnosti (E) vzorků C,D,F při teplotě 23°C.

V následujících tabulkách (Tab. 21-28) jsou uvedena jednotlivá naměřená data pro testované vzorky při teplotě 80°C.

Tab. 21. Naměřené hodnoty vzorku A při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	388	9,78	5,4
2	193	6,87	5,4
3	233	7,36	5,2
4	316	7,77	5,8
5	228	7,02	8,4
6	343	6,93	6,2
7	211	6,52	4,9
8	119	4,13	5,4
9	244	9,05	7,2
10	325	10,8	5,2
x	260	7,62	5,91
s	26	0,59	0,35
v [%]	9,88	7,79	5,85

Tab. 22. Naměřené hodnoty vzorku B při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	234	8,62	6
2	217	8,04	5,3
3	251	8,97	7,5
4	351	10,5	6,8
5	337	9,64	6
6	313	9,71	5,5
7	294	8,59	4,6
8	342	8,84	5,6
9	353	10,6	5,8
10	383	12,7	4,7
x	308	9,62	5,78
s	18	0,43	0,28
v [%]	5,81	4,49	4,82

Tab. 23. Naměřené hodnoty vzorku C při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	346	10,9	5,4
2	257	9,09	5
3	219	9,11	5,6
4	393	11,1	4,8
5	301	10,7	6,2
6	279	10	6,8
7	232	11,2	5,7
8	237	8,97	6,4
9	322	10,2	5,2
10	185	8,01	8
x	277	9,93	5,91
s	20	0,34	0,31
v [%]	7,28	3,45	5,18

Tab. 24. Naměřené hodnoty vzorku D při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	224	10,8	10,5
2	367	12,7	8,8
3	338	12,4	8,8
4	304	10,3	7,5
5	252	9,95	7,6
6	384	13,9	7,2
7	263	12,2	10
8	293	11,9	8,6
9	252	11,1	8,4
10	271	12,2	8,4
x	295	11,75	8,58
s	17	0,38	0,33
v [%]	5,70	3,24	3,86

Tab. 25. Naměřené hodnoty vzorku E při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	547	13,2	9
2	268	10	6,7
3	242	9,86	6,5
4	270	9,81	8,5
5	197	8	8,7
6	195	8,16	9,5
7	268	10,5	5,5
8	207	7,99	8,5
9	261	8,31	8,5
10	266	9,79	7,7
x	272	9,56	7,91
s	32	0,51	0,40
v [%]	11,78	5,28	5,11

Tab. 26. Naměřené hodnoty vzorku C-I při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	198	6,49	5,4
2	432	8,47	3,5
3	271	6,94	5,3
4	383	7,36	3,7
5	125	4,55	7,3
6	223	7,51	5,7
7	325	8,64	4,9
8	123	4,29	8
9	283	7,46	5,3
10	287	7,62	5,6
x	265	6,93	5,47
s	32	0,46	0,44
v [%]	12,08	6,70	8,00

Tab. 27. Naměřené hodnoty vzorku D-I při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	244	7,84	6,1
2	219	8,12	5,5
3	264	8,69	8,1
4	234	8,32	7,1
5	292	11	9,7
6	215	8,69	7,6
7	211	7,97	7,9
8	382	11	6,9
9	257	9,8	7,5
10	299	9,08	8,5
x	262	9,05	7,49
s	16	0,37	0,38
v [%]	6,30	4,11	5,04

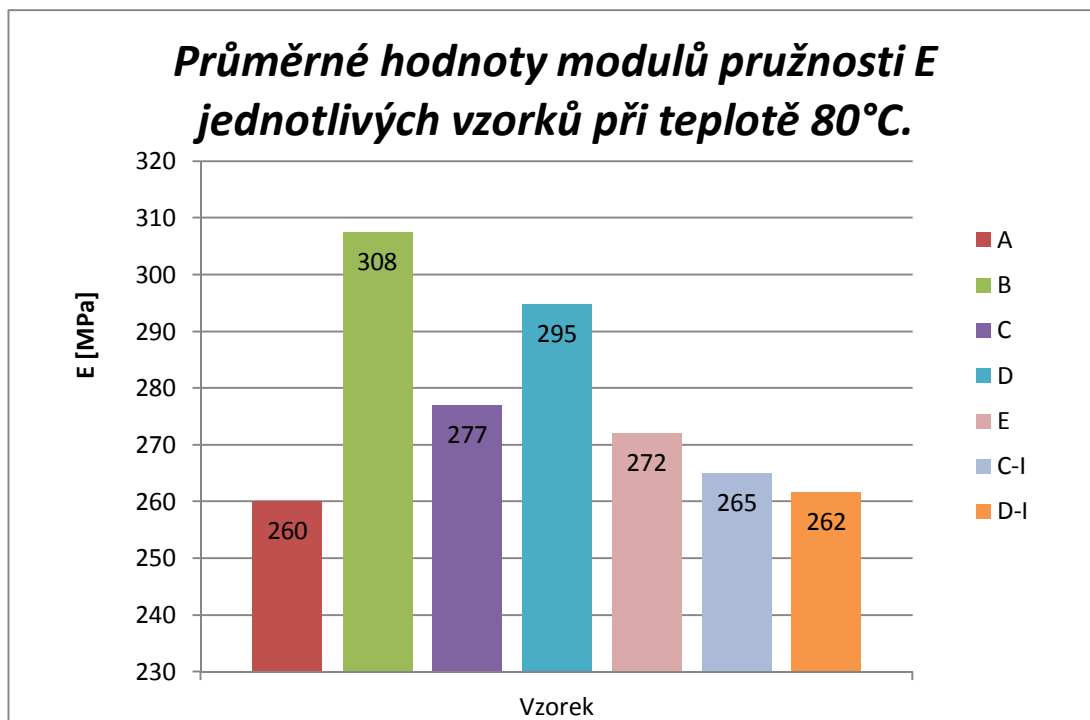
Tab. 28. Naměřené hodnoty sendvičového vzorku F při 80°C.

n	E [MPa]	σ_f [MPa]	ε [%]
1	12,7	1,25	14
2	10	1,66	13,8
3	13,7	1,38	14
4	7,85	1,21	14
5	6,37	1,25	14
6	9,76	1,3	13,9
7	18,2	1,37	14
8	12	1,38	14,1
9	8,47	1,27	13,9
10	10,3	1,44	14
x	11	1,35	13,97
s	1	0,04	0,03
v [%]	9,82	3,07	0,19

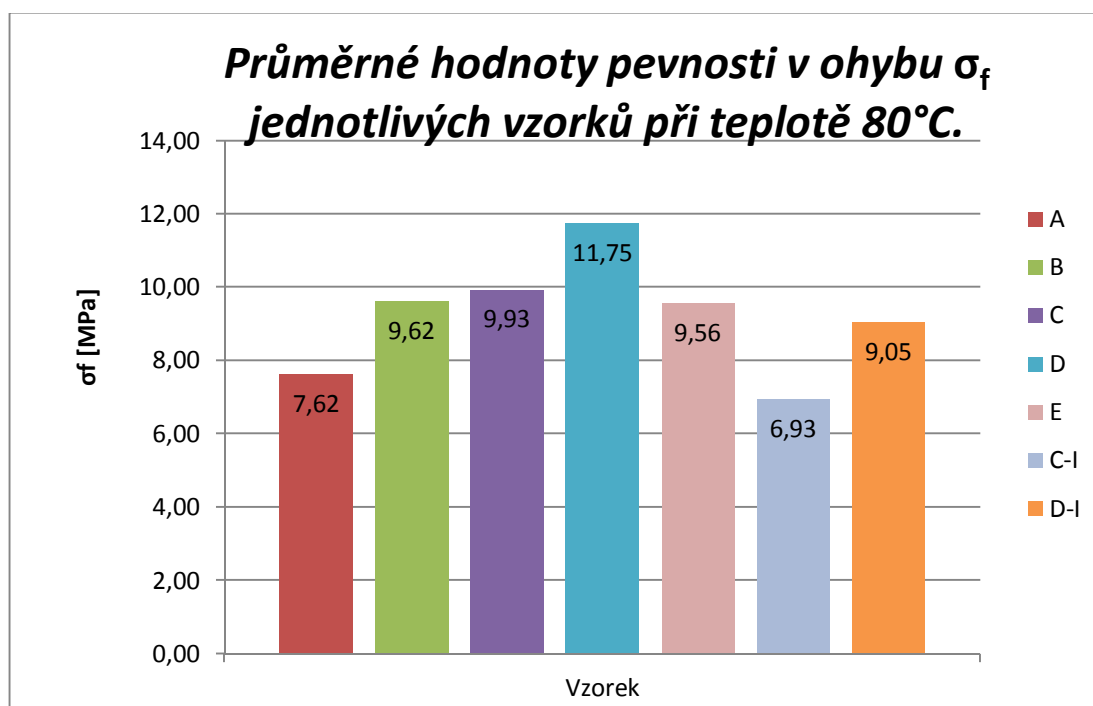
Z naměřených a vypočtených hodnot vyplývá, že u všech vzorku zkoušených při 80°C je již variační koeficient vyšší jak 10%, avšak všechny hodnoty leží pod hodnotou 15%. Nejvyšší variační koeficient modulu pružnosti v ohybu je u vzorku C-I, pevnosti v ohybu u vzorku A a prodloužení u vzorku C-I.

U sendvičového vzorku F, který porovnááme se vzorky C a D je u modulu pružnosti přibližně stejný variační koeficient (do 10%).

V následujících grafech (Obr. 31-33) jsou uvedeny jednotlivá naměřená data pro testované vzorky při teplotě 80°C.

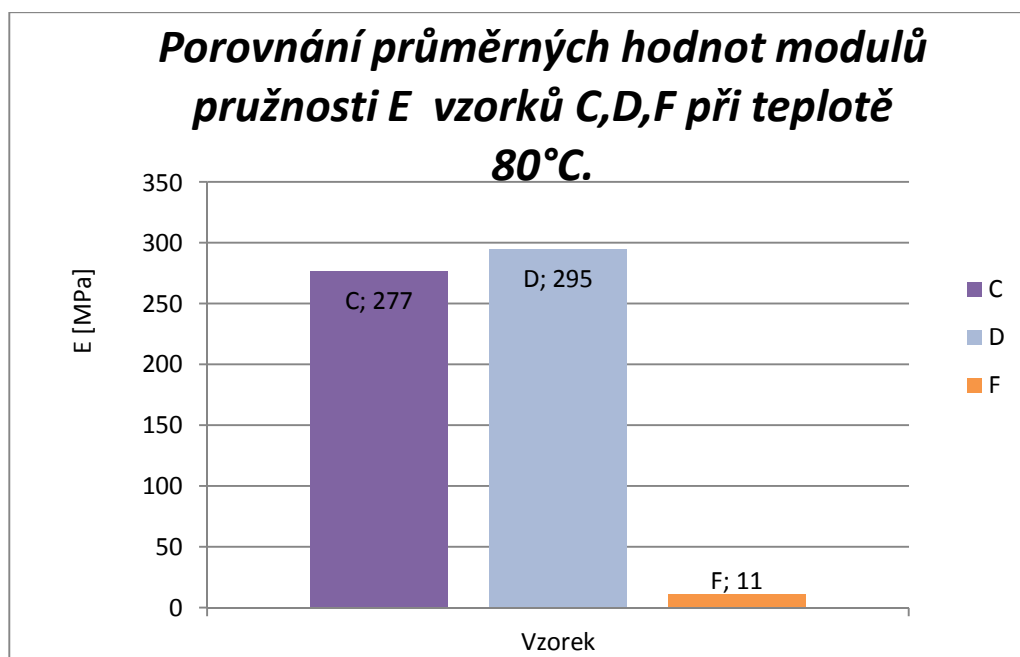


Obr. 31. Průměrné hodnoty modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při teplotě 80°C.



Obr. 32. Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při teplotě 80°C.

Porovnání vzorků laminátů obsahujících dvě, respektive tři vrstvy výztužné tkaniny o plošné hmotnosti 500 g/m² a sendvičového vzorku obsahujícího tuto jednu vrstvu této tkaniny ve vnější vrstvách je uveden na Obr. 33. Jak je možné vidět, modul pružnosti vzorku F je roven pouze cca 4 % tohoto parametru u vzorků C a D.



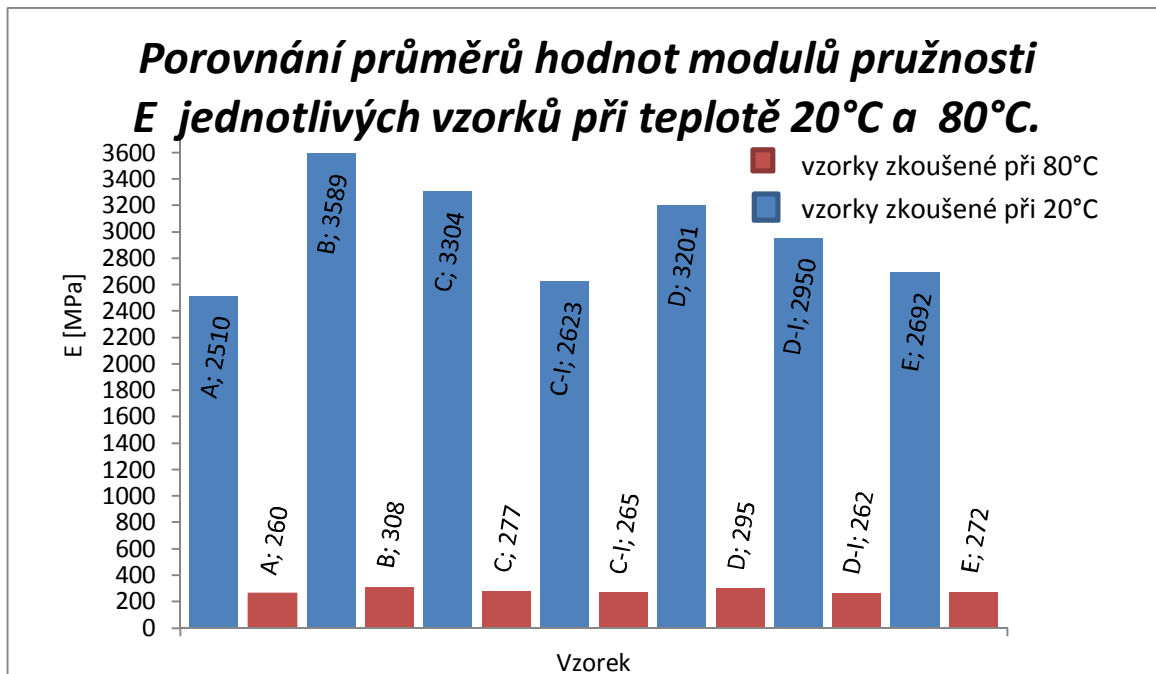
Obr. 33. Porovnání průměrných hodnot modulů pružnosti E vzorků C,D,F při teplotě 23°C .

8.2 Diskuze výsledků zkoušky ohybem

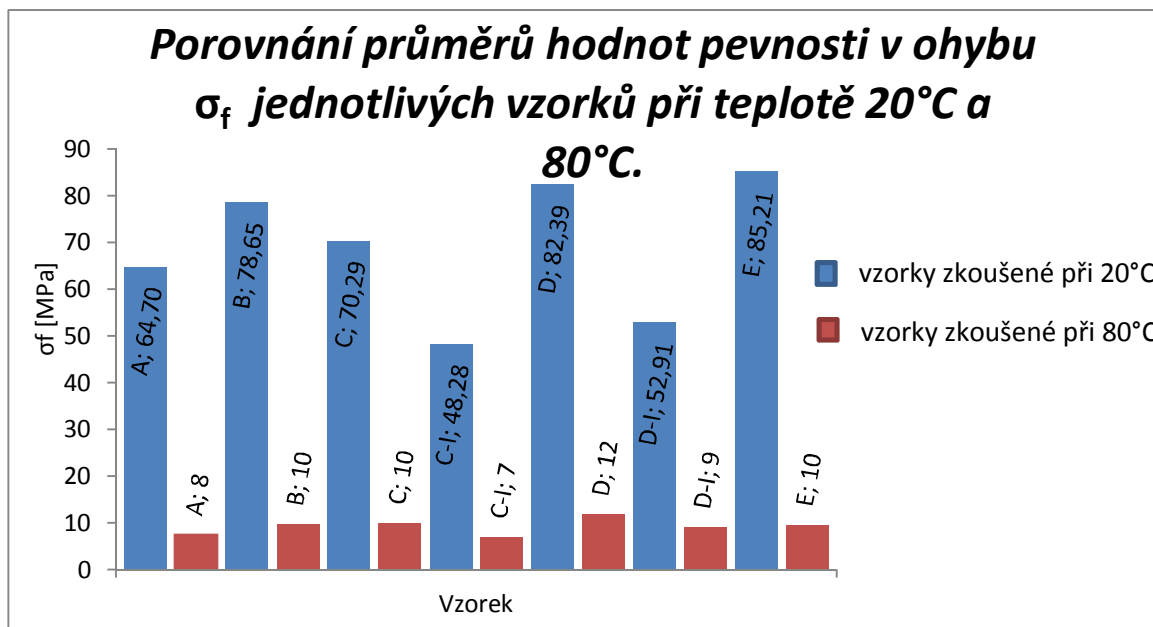
Z naměřených hodnot lze jasně určit, že nejvyšší modul pružnosti má vzorek B s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 427g/m^2 složenou ze dvou vrstev a to jak při pokojové teplotě (23°C) tak při zvýšené teplotě (80°C). Naopak nejmenší modul pružnosti má vzorek A s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 365g/m^2 složenou ze dvou vrstev. Rozdíl ve výsledcích modulu pružnosti mezi pokojovou teplotou (23°C) a zvýšenou teplotou (80°C) je značný. Největší pevnost v ohybu při pokojové teplotě (23°C) má vzorek E s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 700g/m^2 složenou ze dvou vrstev a při zvýšené teplotě (80°C) je to vzorek D s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 500g/m^2 složenou ze tří vrstev. I zde je vidět obrovský rozdíl v pevnosti v ohybu mezi pokojovou teplotou (23°C) a zvýšenou teplotou (80°C).

Vzorek C s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 500g/m^2 složenou ze dvou vrstev měl modul pružnosti 2623MPa a pevnost v ohybu $48,28\text{MPa}$, v porovnání se vzorkem D se stejnou výztuží, ale složenou ze tří vrstev měl modul pružnosti 3201MPa a pevnost v ohybu $82,39\text{MPa}$, rozdíl modulu pružnosti tedy činil 18% a pevnosti v ohybu $41,5\%$. Když byly porovnány vzorek A s nejmenší plošnou hmotností 365g/m^2 složenou ze dvou

vrstev a vzorek E s největší plošnou hmotností 700 g/m² složenou taktéž ze dvou vrstev, tak procentuální rozdíl v modulu pružnosti činil pouze 7 %, u pevnosti v ohybu to bylo 24%.



Obr. 34. Porovnání průměrů hodnot modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při teplotě 20°C a 80°C.












Obr. 35. Porovnání průměrů hodnot pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při teplotě 20°C a 80°C.

Nejvyšší hodnota modulu pružnosti při teplotě 23°C byla 3589 MPa a to u vzorku B, nejnižší byla 2510 MPa a to u vzorku A, kde rozdíl činí 30 %. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu při teplotě 23°C byla 85,21 MPa a to u vzorku E, nejnižší byla 48,28 MPa a to u vzorku C-I, kde rozdíl činí 43 %. Nejvyšší hodnota modulu pružnosti při teplotě 80°C byla 308 MPa a to u vzorku B, nejnižší byla 260 MPa a to u vzorku A, kde rozdíl činí 15,5 %. Nejvyšší hodnota pevnosti v ohybu při teplotě 80°C byla 12 MPa a to u vzorku D, nejnižší byla 7 MPa a to u vzorku C-I, kde rozdíl činí 42 %. U vzorku E s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 700 g/m² je vysoká pevnost v ohybu, avšak hodně malý modul pružnosti. Největší maximální prodloužení je u vzorku D při 80°C a to 8,58 %.

Sendvičový vzorek F v porovnání se vzorky C a D má jak u pokojové teploty tak i při zvýšené výrazně menší modul pružnosti, kde rozdíl činí okolo 90%. Mez pevnosti je u něj až šestkrát menší, naopak je u vzorku F dvakrát až třikrát větší prodloužení. Při pokojové teplotě má vzorek F modul pružnosti okolo 390 MPa, pevnost v ohybu 13 MPa a prodloužení 7,5 %.

Tab. 29. Ukázka vzorků po zkoušce ohybem

Vzorek po zkoušce ohybem	Plošná hmotnost výztuže [g/m ²]	Označení	Počet vrstev
	365	A	2
	427	B	2
	500	C	2
	500	D	3
	700	E	2
	500	C-I	2
	500	D-I	3
	500	F	1/K1
	500	F	1/K1

Ze vzorků v Tab. 29. můžeme vidět, jak se který vzorek deformoval. Například u vzorku B a E došlo k celkovému přelomení, u vzorků A, C, D,C-I a D-I došlo jenom k ohnutí vzorku. U sendvičového vzorku F došlo u většiny jenom k prohnutí vnější vrstvy a to v důsledku malého množství pryskyřice, u některých, ale došlo k prasknutí jádra, což bylo způsobeno povrchovými vadami na vnější vrstvě.

8.3 Zkouška rázové houževnatosti

Rázová zkouška byla provedena na zařízení *CEASTE RESIL IMPACTOR junior* dle normy ISO 179. Podstatou je přeražení jedním rázem zkušební vzorku. Rozměry zkušební vzorku byly zvoleny s ohledem na velikost padacího kladiva a jejich konkrétní hodnoty byly 15 mm výška a 100 mm délka. Tloušťka vzorku byla závislá na počtu vrstev výztuže. Vzorky byly k testování ukládány tak, aby jako první kladivo udeřilo na vzhledovou stranu vzorku.



Obr. 36. Zkouška rázové houževnatosti



Obr. 37. CEAST RESIL IMPACTOR junior

Z výsledků byly použity pouze následující data; F_m [N] maximální síla, A_m [kJ/m²] práce vynaložená do maximální síly, A_b [kJ/m²] celková práce vynaložená do přeražení vzorku. Pro vyhodnocení byly použity následující statistické veličiny; \bar{x} jako označení pro aritmetický průměr, s jako směrodatná odchylka, v jako variační koeficient.

V následujících tabulkách (Tab. 30-37) jsou uvedeny jednotlivá naměřená data pro testované vzorky rázovou zkouškou.

Tab. 30. Naměřené hodnoty vzorku A

n	F_m [N]	A_m [kJ/m ²]	A_b [kJ/m ²]
1	361,3	3,6	7,9
2	811,9	14,3	17,1
3	698,3	11,3	14,4
4	539,9	6,7	11,4
5	446,6	5,3	7,7
6	836,3	14,5	16,5
7	798,4	13,7	15,4
8	733,4	5,0	13,7
9	733,4	10,7	15,8
10	745,6	8,4	16,2
\bar{x}	670,52	9,36	13,61
s	51,75	1,30	1,10
v [%]	7,72	13,90	8,10

Tab. 31. Naměřené hodnoty vzorku B

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	600,8	6,3	10,5
2	640,1	6,9	9,5
3	724,0	4,5	9,8
4	439,8	5,5	7,0
5	481,7	6,4	10,3
6	392,4	7,5	9,0
7	659,0	8,9	10,5
8	527,8	13,0	18,1
9	396,5	3,5	10,0
10	696,9	5,4	7,8
x	555,90	6,78	10,23
s	39,41	0,84	0,95
v[%]	7,09	12,35	9,31

Tab. 32. Naměřené hodnoty vzorku C

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	518,3	5,1	8,6
2	966,2	7,4	11,3
3	970,2	9,9	12,5
4	733,4	10,7	17,7
5	706,4	8,6	10,1
6	488,5	7,7	10,1
7	982,4	11,7	15,1
8	1085,3	10,6	11,6
9	940,4	7,3	11,4
10	1031,1	12,1	12,8
x	842,22	9,10	12,08
s	68,00	0,71	0,83
v[%]	8,07	7,80	6,90

Tab. 33. Naměřené hodnoty vzorku D

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	1224,7	9,5	10,3
2	1050,1	4,1	15,8
3	1147,5	8,4	17,1
4	836,3	3,6	9,1
5	1044,7	8,8	16,2
6	829,5	8,7	9,8
7	1000,0	7,3	14,3
8	1054,1	7,1	11,4
9	1659,0	9,3	10,4
10	1051,4	4,8	9,1
x	1089,73	7,15	12,36
s	73,93	0,70	1,00
v[%]	6,78	9,83	8,06

Tab. 34. Naměřené hodnoty vzorku E

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	826,8	10,5	13,6
2	1282,8	10,3	20,5
3	956,7	13,5	14,5
4	1094,7	12,0	15,6
5	1331,6	11,6	14,0
6	1756,5	16,6	17,8
7	1450,6	14,4	18,9
8	977,0	9,5	18,8
9	1090,7	6,7	11,3
10	1220,6	12,4	20,5
x	1198,80	11,73	16,56
s	86,17	0,87	1,01
v[%]	7,19	7,43	6,09

Tab. 35. Naměřené hodnoty vzorku C-I

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	347,8	2,9	7,0
2	454,7	13,2	14,5
3	481,7	10,2	11,8
4	453,3	10,8	15,9
5	416,8	7,0	7,6
6	557,5	15,8	19,0
7	684,7	11,7	12,6
8	594,1	9,1	9,9
9	416,8	7,5	15,1
10	636,0	6,6	19,5
x	504,34	9,47	13,28
s	34,35	1,17	1,37
v[%]	6,81	12,31	10,32

Tab. 36. Naměřené hodnoty vzorku D-I

n	Fm[N]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1	867,4	13,5	27,4
2	935,1	14,5	16,9
3	1010,8	15,8	20,0
4	874,2	12,0	13,9
5	1012,2	12,4	17,3
6	894,5	15,6	17,7
7	1106,9	12,1	17,9
8	1150,2	8,0	15,6
9	909,4	12,3	15,3
10	996,0	7,9	15,8
x	975,66	12,40	17,77
s	30,79	0,86	1,19
v[%]	3,16	6,95	6,69

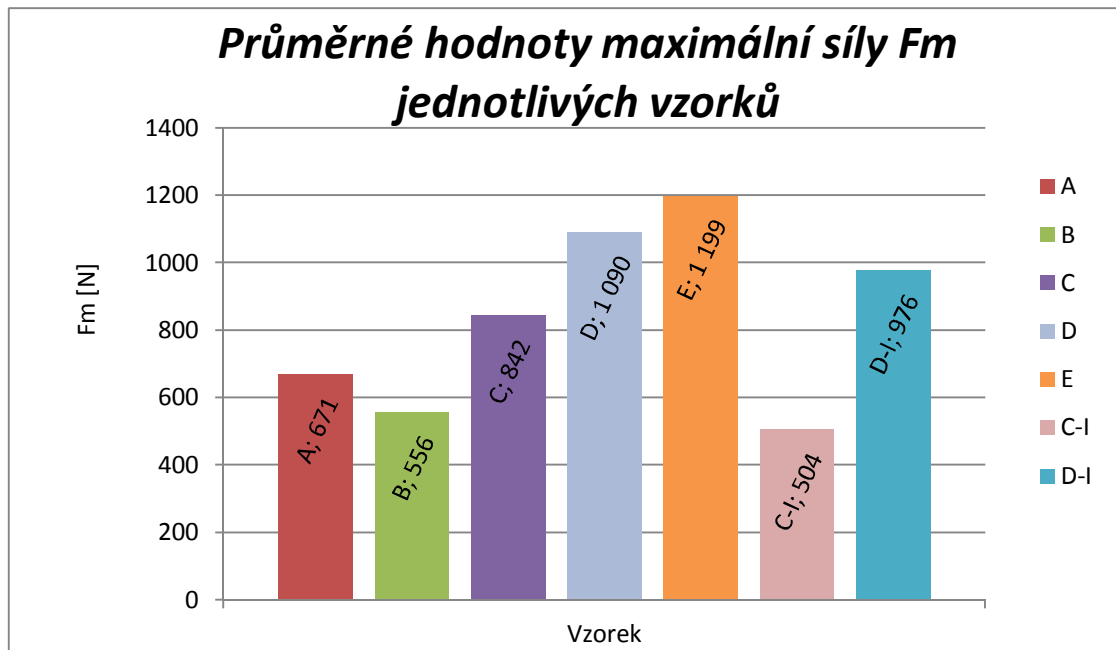
Tab. 37. Naměřené hodnoty vzorku F

n	F _m [N]	A _m [kJ/m ²]	A _b [kJ/m ²]
1	902,6	22,3	25,0
2	1066,3	26,9	33,8
3	1069,0	18,9	21,3
4	948,6	24,3	27,3
5	1094,7	30,4	36,3
6	817,3	19,5	23,5
7	1008,1	29,3	32,2
8	1050,1	29,3	36,0
9	1157,0	22,7	26,4
10	1019,0	23,8	27,8
x	1013,28	24,74	28,95
s	31,53	1,30	1,68
v	3,11	5,25	5,79

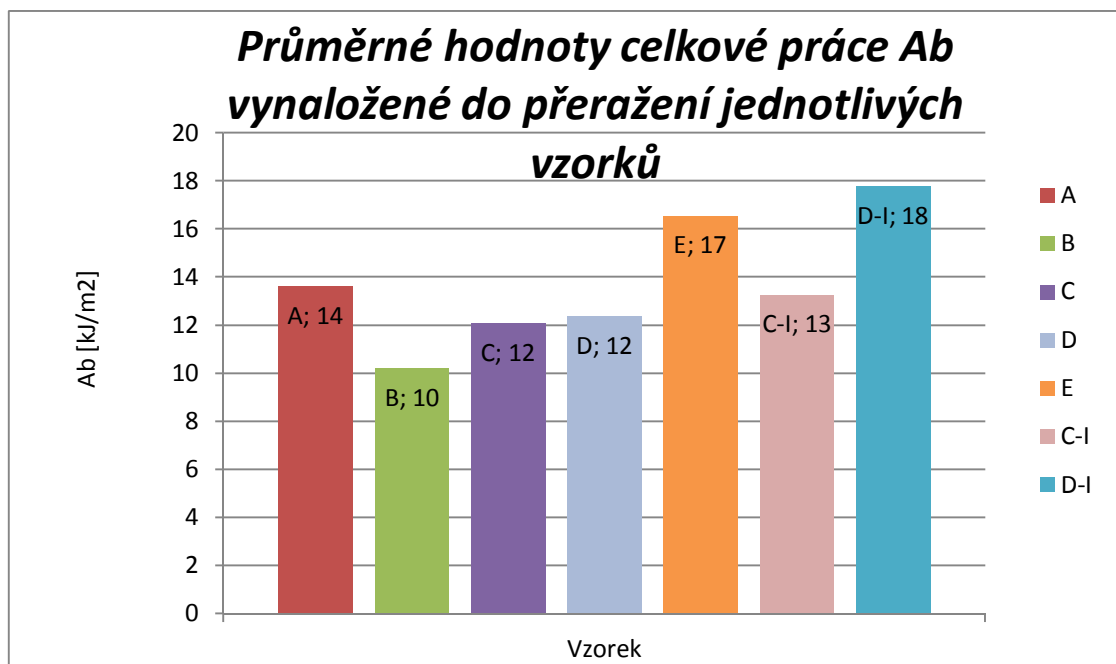
Z naměřených a vypočtených hodnot vyplývá, že u všech vzorku je nízký variační koeficient (do 10%). Nejvyšší variační koeficient maximální síly je u vzorku C, práce vynaložené do maximální síly je u vzorku A a celkové práce vynaložené do přeražení vzorku je u vzorku C-I.

U sendvičového vzorku F, který porovnáváme se vzorky C a D je u modulu pružnosti variační koeficient velmi nízký, okolo 3%.

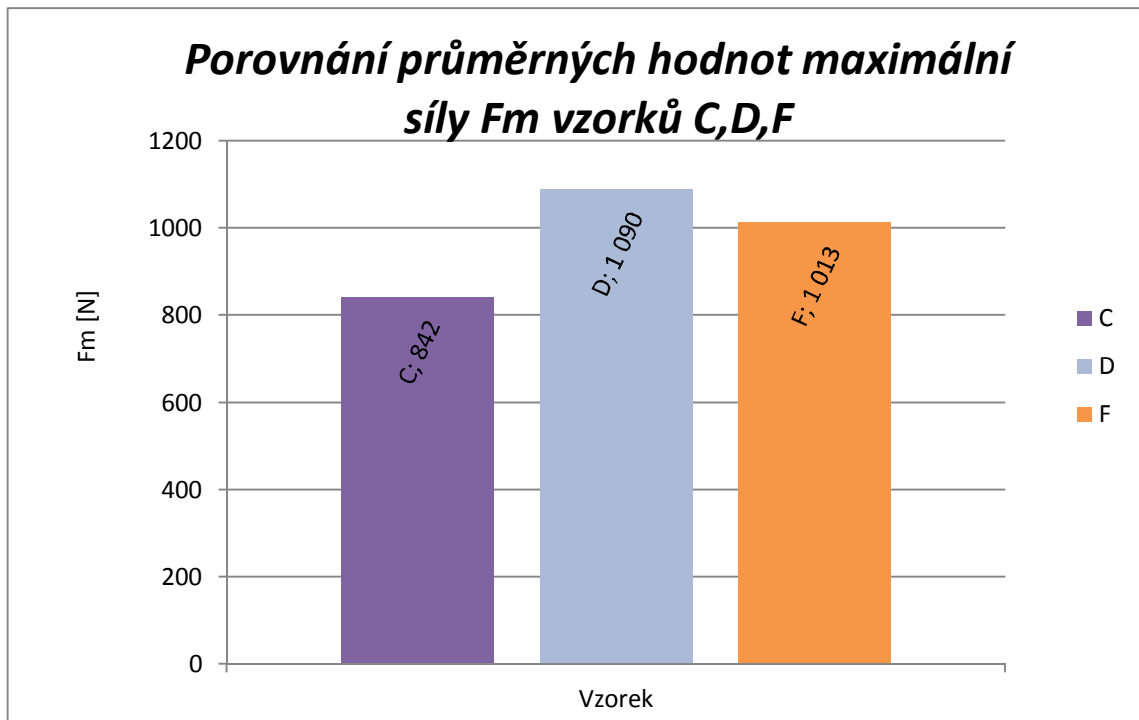
V následujících grafech (Obr. 38-41) jsou uvedeny jednotlivá naměřená data pro testované vzorky rázovou zkouškou.



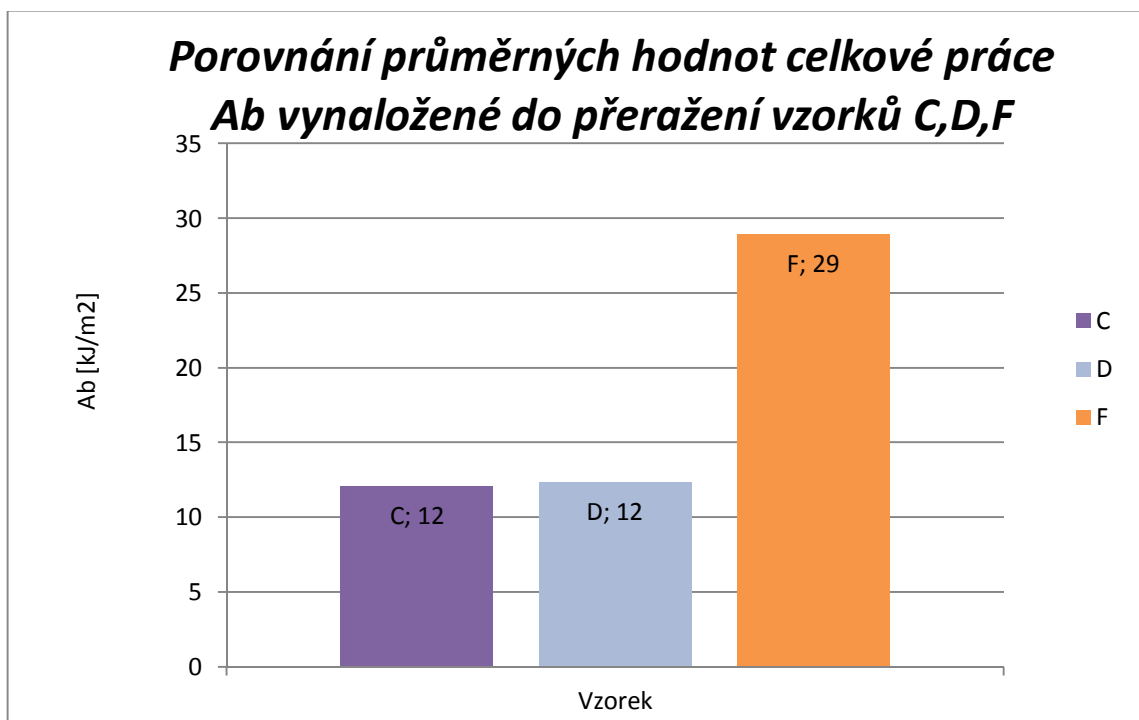
Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální síly F_m jednotlivých vzorků



Obr. 39. Průměrné hodnoty celkové práce Ab vynaložené do přeražení jednotlivých vzorků



Obr. 40. Porovnání Průměrných hodnot maximální síly F_m vzorků C,D,F



Obr. 41. Porovnání průměrných hodnot celkové práce A_b vynaložené do přeražení vzorků C,D,F

8.4 Diskuze výsledků zkoušky rázem

U všech vzorků došlo k přeražení křehkým lomem. Z naměřených hodnot vyplívá, že nejvyšší maximální sílu má vzorek E s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 700g/m^2 složenou ze dvou vrstev. Naopak nejmenší maximální sílu má vzorek C-I s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 500g/m^2 složenou ze dvou vrstev. Největší celkovou práci vynaloženou k přeražení vzorku má vzorek D-I s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 500g/m^2 složenou ze tří vrstev. Naopak nejmenší celkovou práci vynaloženou k přeražení vzorku má vzorek B s jutovou výztuží o plošné hmotnosti 427g/m^2 složenou ze dvou vrstev.

Nejvyšší hodnota maximální síly byla tedy 1199 N a to u vzorku E, nejnižší byla 504 N a to u vzorku C-I, kde rozdíl činí 58% . Nejvyšší hodnota celkové práce byla tedy 18 kJ/m^2 a to u vzorku D-I, nejnižší byla 10 kJ/m^2 a to u vzorku B, kde rozdíl činí $44,5\%$.

Sendvičový vzorek F v porovnání se vzorky C a D má zhruba stejnou hodnotu maximální síly. Naopak celková práce vynaložená do přeražení vzorku je dvakrát vyšší než u vzorku C a D. Maximální síla k přeražení vzorku F je rovna 1013 N a celková práce vynaložená k přeražení vzorku je 29 kJ/m^2 .

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vyrobit a otestovat mechanické vlastnosti kompozitů s přírodní výztuží, konkrétně jutovou tkaninou o různé plošné hmotnosti a v různém počtu vrstev.

Při výrobě vzorků ruční laminací bylo dosaženo daleko lepšího povrchu vzorků než u technologie vakuové infuze, kde povrch vzorku obsahoval téměř po celé své ploše neprosycená místa z důvodu nedostatku pryskyřice. Při další výrobě touto technologií je třeba otestovat vhodný čas gelace a také typ pryskyřice a vhodně nastavit samotný proces impregnace skrz výztuže. Dále byly také provedena prototypová výroba sendvičové struktury s korkovým jádrem, čímž vznikla struktura s velkým zastoupením přírodních, biorozložitelných materiálů.

Při zkoušce ohybem bylo zjištěno, že největší modul pružnosti měl vzorek B s dvouvrstvou jutovou výztuží o gramáži 427g/m^2 . Největší pevnost v ohybu byla naměřena u vzorku E s dvouvrstvou výztuží o gramáži 700g/m^2 . Při zvyšování teploty se nám zmenšoval jak modul pružnosti, tak i pevnost v ohybu. U vzorků sendvičových struktur byly naměřeny mnohem menší hodnoty modulu pružnosti a ohybové pevnosti, než u vzorků se stejným typem výztuže a shodným počtem vrstev.

Při zkoušce rázové houževnatosti pomocí Charpyho kladiva bylo zjištěno, že největší maximální síla k přeražení vzorku byla naměřena u vzorku E s dvouvrstvou výztuží o gramáži 700g/m^2 . Největší celková práce vynaložená k přeražení vzorku byla naměřena u vzorku D-I s třívrstvou výztuží o gramáži 500g/m^2 vyrobený vakuovou infuzí díky jeho značné houževnatosti. U vzorků sendvičových struktur dosáhla maximální síla téměř stejné hodnoty jako u vzorku se stejným typem výztuže, avšak s jiným počtem vrstev. Celková práce vynaložená k přeražení vzorku zde byla dvakrát vyšší než u kompozitů a to z důvodu dobré houževnatosti jádra.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] JANČÁŘ, Josef. *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů*. 1. vyd. Brno: VUT, 2003, 194 s. ISBN 80-214-2443-5.
- [2] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
- [3] Pedagogická fakulta MU katedra fyziky [online]. [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>
- [4] Test and Fly. TEST, spol. s r.o. - Výroba ultralehkých bezmotorových a motorizovaných kluzáků. *Test and Fly* [online]. 2013 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.testandfly.cz/?c=tst10m>
- [5] MICHNA, Štefan. *Kompozitní materiály*. 2008. Dostupné z: http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/kompozitni_materialy.pdf
- [6] DOC. ING. DAĐOUREK, Karel. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Kompozitní materiály: Definice a složení*. Liberec, 2008. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defroz d.pdf
- [7] ING. KOŘÍNEK CSC., Zdeněk. [Http://www.volny.cz/zkorinek/](http://www.volny.cz/zkorinek/) [online]. 2013 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [8] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [9] JANOVEC, Jiří, Jiří CEJP a Josef STEIDL. *Perspektivní materiály*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 135 s. ISBN 80-010-2341-9.
- [10] ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ. *Kompozitní materiály*. 2012. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/6_kompozitni-materialy.pdf
- [11] *MECHANICKÉ VLASTNOSTI PLOŠNÝCH KOMPOZITŮ S PLETENOU VÝZTUŽÍ Z ČEDIČOVÝCH VLÁKEN S EPOXIDOVOU A POLYESTEROVOU MATRICÍ: Třibodový ohyb*. [online]. 2012. vyd. [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: <http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/22-2012/pdf/086-089.pdf>

- [12] Formulace základní úlohy teorie pružnosti. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/3_2
- [13] MIKULA, Martin. *KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI UHLÍKOVÝCH VLÁKEN*. Brno, 2012. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/7937/2012_BP_Mikula_Martin_126219.pdf?sequence=1. BP. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel NĚMEC, Ph.D.
- [14] TESTRESOURCES: *Composites | 3 and 4 Point Flexural Bend Test Equipment*. [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.testresources.net/material-type/composites-test-equipment/4-3-point-flexural-bend-testing-composites-astm-d6272/>
- [15] HULL, D., CLYNE, T.W. *An introduction to composite materials*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. ISBN 0-521-38855-4
- [16] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-708-0568-4.
- [17] GURIT HOLDING AG. *Guide to Composites*. 2004. Dostupné z: http://www.gurit.com/files/documents/Gurit_Guide_to_Composites.pdf
- [18] Výroba pohledových dílů z polymerů vyztužených uhlíkovými vlákny: Autoklávová technologie. *Mmspektrum.com* [online]. 2010 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-pohledovych-dilu-z-polymeru-vyztuzenych-uhlikovymi-vlakny.html>
- [19] Mechanické vlastnosti polymeru: *zkouška tahem* [online]. 2011. vyd. [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/NEkM/NeM%20Kro/Mechanicke%20vlastnosti%20polymeru.ppt
- [20] Introduction to the resin infusion (or vacuum infusion) process. *Vacuum pump systems for resin; vacuum infusion, VARTM; vacuum bagging* [online]. 2012 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: http://www.vacmobiles.com/resin_infusion.html
- [21] Technologie jejich popis a schémata. *Havel-composites.com* [online]. 2005 [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>
- [22] Všeobecný popis materiálů používaných při výrobě kompozitů: *Tkaniny*. [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: <http://www.modding.cz/?p=73>
- [23] Konopí: kvalitní biomasa s všestranným použitím: *plastové kompozity*. [online]. 2009 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/konopi-kvalitni-biomasa-s-vsestrannym-pouzitim.aspx>

- [24] ANIZOTROPIE VLASTNOSTÍ VLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ S POLYMERŇÍ MATRICÍ: *Kompozity s textilní výztuží*. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/projekty/frvs139/P3.pdf>
- [25] TECHNICKÁ MĚŘIDLA A POČÍTAČOVÉ SYSTÉMY: *Charpy kladiva do 50 J*. [online]. [cit. 2014-02-13]. Dostupné z: <http://www.tempos.cz/zkusebni-stroje/charpyho-kladiva/charpy-kladiva-do-50-j>
- [26] OZRZ s.r.o.: *Jutová tkanina*. [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <http://www.ozrz.cz/de/catalog/article-id15>
- [27] Tkanina + roving: *Kevlarová tkanina (kepr)*. [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <http://www.kostkamodelcentrum.cz/obchod.aspx?kategorie=337>
- [28] Kovové tkaniny. [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <http://www.progress-screens.cz/prumyslova-sita/katalog/prumyslova-sita/dratena-sita/kovove-tkaniny.html>
- [29] MÜSSIG, Jörg. Industrial application of natural fibres: structure, properties, and technical applications. Wiley, 2010, xxi, 538 p. ISBN 978-047-0695-081.
- [30] REYNE, Maurice a Préface Frédérique MUTEL. Flax and Hemp fibres: a natural solution for the composite industry. 1st ed. Paris: JEC, 2012. ISBN 978-2-9526276-1-0.
- [31] Rusnáková Soňa: Přednášky z předmětu zpracovatelské inženýrství kompozitů T5ZIK; FT UTB. 2011
- [32] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály*. Vydání 1. Nakladatelství SNTL-nakladatelství technické literatury. 1988
- [33] Pevnost betonu v tahu za ohybu: *zkouška*. [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/pevnost-betonu-v-tahu-za-ohybu-zkouska>
- [34] Keramika, kompozity, polymery.: *Kompozity, vyztužené vlákny*. [online]. [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet3.htm>
- [35] SCHÄTZ, M.; VONDRÁČEK, P. Zkoušení polymerů, 2 vyd.; VSCHT: Praha, 1988. 264 s. ISBN není
- [36] FENG, Loh Yueh. The biomaterial for green composites: Natural fibres are generally derived from plants, animals, or mineral resources. *Časopis JEC*. 2010.
- [37] Airtech.lu [online]. [cit. 2014-05-11]. Catalogue Airtech. Dostupné z [www: http://catalogue.airtech.lu/index.php?lang=EN](http://catalogue.airtech.lu/index.php?lang=EN)
- [38] Online knihovna: Učíme se z konstrukčních řešení v přírodě. [online]. [cit. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://wol.jw.org/cs/wol/d/r29/lp-b/102000042>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

UP-R	Polyesterové pryskyřice
EP-R	Epoxidové pryskyřice
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
RTM	Vysokotlaké vstřikování
VARTM	Vysokotlaké vstřikování pomocí vákua
RFI	Resin film infusion
σ_f	Pevnost v ohybu
F	Zatěžující síla
b	Šířka
h	Tloušťka
E	Modul pružnosti ohybu
X,y	Průhyb
R _m	Mez pevnosti v tahu
F _m	Maximální síla
S ₀	Původní průřez
A	Tažnost
l	Délka
l ₀	Původní měrná délka
σ	Napětí
ε	Deformace
W	Spotřebovaná práce
E _c	Korigovaná energie
PA	Polyamid

PTFE	Polytetrafluorethylen
x	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
v	Variační koeficient
A_m	Práce vynaložená do F_m
A_b	Celková práce vynaložená do přeražení vzorku

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Kluzák TST-10M, jehož konstrukce je tvořena skelnými lamináty [4]</i>	12
<i>Obr. 2. Rozdělení materiálů dle výztuže [16]</i>	17
<i>Obr. 3. Orientace vláken v kompozitu</i>	18
<i>Obr. 4. Skelné tkaniny – používané typy vazeb [22]</i>	19
<i>Obr. 5. Trojrozměrný vláknový kompozit (z uhlíkových vláken)[34]</i>	20
<i>Obr. 6. Kevlarová tkanina (kepr)[27]</i>	20
<i>Obr. 7. Kovová tkanina [28]</i>	21
<i>Obr. 8. Plastový kompozit s obsahem přírodních vláken [23]</i>	22
<i>Obr. 9. Jutová tkanina [26]</i>	23
<i>Obr. 10. Schéma ručního laminování [17]</i>	26
<i>Obr. 11. Autokláv [18]</i>	27
<i>Obr. 12. Schéma stříkání [13]</i>	28
<i>Obr. 13. Princip vakuové infuze [20]</i>	29
<i>Obr. 14. Tříbodový systém ohybové zkoušky [19]</i>	31
<i>Obr. 15. Schéma zatěžovací zkoušky na čtyřbodový ohyb. [14]</i>	33
<i>Obr. 16. Princip tahové zkoušky [12]</i>	34
<i>Obr. 17. Charpyho kladivo [25]</i>	35
<i>Obr. 18. Ukázka pomocných materiálů.[37]</i>	43
<i>Obr. 19. Příklad vyrobeného laminátu o rozměrech 300mm x 300mm (ruční laminace).</i>	44
<i>Obr. 20. Položené tkaniny s těsnící páskou okolo</i>	46
<i>Obr. 21. Vlevo odrthová tkanina, vpravo distribuční médium.</i>	46
<i>Obr. 22. Pohled na zavakuovaný výrobek.</i>	47
<i>Obr. 23. Příklad vyrobeného kompozitu o rozměrech 600mm x 300mm (vakuová infuze).</i>	48
<i>Obr. 24. Ukázka výroby sendvičového vzorku</i>	49
<i>Obr. 25. Příklad desky vyrobeného sendviče o rozměrech 300mm x 300mm (ruční laminace + vakuum)</i>	50
<i>Obr. 26. Vyrobený sendvič v řezu</i>	50
<i>Obr. 27. Uchycení zkušební vzorku</i>	51
<i>Obr. 28. Průměrné hodnoty modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při</i>	56
<i>Obr. 29. Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při</i>	56

<i>Obr. 30. Porovnání průměrných hodnot modulů pružnosti (E) vzorků C,D,F.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 31. Průměrné hodnoty modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při teplotě 80°C.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 32. Průměrné hodnoty pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při teplotě 80°C.....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 33. Porovnání průměrných hodnot modulů pružnosti E vzorků C,D,F při teplotě 23°C.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 34. Porovnání průměrů hodnot modulů pružnosti E jednotlivých vzorků při teplotě 20°C a 80°C.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 35. Porovnání průměrů hodnot pevnosti v ohybu σ_f jednotlivých vzorků při teplotě 20°C a 80°C.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 36. Zkouška rázové houževnatosti.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 37. CEASTE RESIL IMPACTOR junior.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 38. Průměrné hodnoty maximální síly F_m jednotlivých vzorků.....</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 39. Průměrné hodnoty celkové práce Ab vynaložené do přeražení jednotlivých vzorků</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 40. Porovnání Průměrných hodnot maximální síly F_m vzorků C,D,F.....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 41. Porovnání průměrných hodnot celkové práce Ab vynaložené do přeražení vzorků C,D,F.....</i>	<i>74</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vlastnosti pryskyřic [7].....</i>	15
<i>Tab. 2. Různé typy přírodních rostlinných vláken a jejich vlastnosti ve vztahu ke skelným vláknům.[36]</i>	25
<i>Tab. 3. Jutové tkaniny.....</i>	38
<i>Tab. 4. Vlastnosti kapalné pryskyřice při 25°C. [Příloha PI]</i>	39
<i>Tab. 5. Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice. [Příloha PI].....</i>	39
<i>Tab. 6. Vlastnosti kapalné pryskyřice při 25°C. [Příloha PII].....</i>	40
<i>Tab. 7. Vlastnosti nevyztužené vytvrzené pryskyřice. [Příloha PII].....</i>	40
<i>Tab. 8. Mechanické vlastnosti sendvičového korkového jádra CoreCork NL10.....</i>	41
<i>Tab. 9. Mechanické vlastnosti korkového jádra CoreCork NL10 v sendvičovém laminátu [Příloha PIII]</i>	41
<i>Tab. 10. Vyrobené vzorky kompozitů pomocí ruční laminace</i>	45
<i>Tab. 11. Vyrobené vzorky kompozitů pomocí vakuové infuze.....</i>	48
<i>Tab. 12. Vyrobený vzorek sendviče pomocí ruční laminace.....</i>	50
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty vzorku A při 23°C.</i>	52
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty vzorku B při 23°C.</i>	52
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty vzorku C při 23°C.</i>	53
<i>Tab. 16. Naměřené hodnoty vzorku D při 23°C.</i>	53
<i>Tab. 17. Naměřené hodnoty vzorku E při 23°C.</i>	54
<i>Tab. 18. Naměřené hodnoty vzorku C-I při 23°C.</i>	54
<i>Tab. 19. Naměřené hodnoty vzorku D-I při 23°C.</i>	55
<i>Tab. 20. Naměřené hodnoty sendvičového vzorku F při 23°C.</i>	55
<i>Tab. 21. Naměřené hodnoty vzorku A při 80°C.</i>	57
<i>Tab. 22. Naměřené hodnoty vzorku B při 80°C.</i>	58
<i>Tab. 23. Naměřené hodnoty vzorku C při 80°C.</i>	58
<i>Tab. 24. Naměřené hodnoty vzorku D při 80°C.....</i>	59
<i>Tab. 25. Naměřené hodnoty vzorku E při 80°C.</i>	59
<i>Tab. 26. Naměřené hodnoty vzorku C-I při 80°C.</i>	60
<i>Tab. 27. Naměřené hodnoty vzorku D-I při 80°C.</i>	60
<i>Tab. 28. Naměřené hodnoty sendvičového vzorku F při 80°C.</i>	61
<i>Tab. 29. Ukázka vzorků po zkoušce ohybem.....</i>	66
<i>Tab. 30. Naměřené hodnoty vzorku A</i>	68

<i>Tab. 31. Naměřené hodnoty vzorku B</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 32. Naměřené hodnoty vzorku C</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 33. Naměřené hodnoty vzorku D</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 34. Naměřené hodnoty vzorku E</i>	<i>70</i>
<i>Tab. 35. Naměřené hodnoty vzorku C-I</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 36. Naměřené hodnoty vzorku D-I</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 37. Naměřené hodnoty vzorku F</i>	<i>72</i>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI Pyskyřice Biresin CR80

Příloha PII Pyskyřice Araldit GY 764BD

Příloha PIII Korek CoreCork NL10

PŘÍLOHA P I: PRYSKYŘICE BIRE SIN CR80

Product Data Sheet
Version 07 / 2010

Biresin® CR80 Composite resin system

Areas of Application

- For infusion and injection processing
- Specially for applications when curing temperatures of $\geq 75^\circ\text{C}$ can not be implemented
- The hardeners Biresin® CH80-1 und CH80-2 can be applied for the manufacture of smaller parts in hand lay-up processing too

Product Benefits

- Approved by Germanischer Lloyd for the production of components
- One resin with four hardeners with different reactivity
- Uniform mixing ratio of 100 : 30
- The reactivity can be adapted by mixing the hardeners
- Because of low mixed viscosity fast infiltration of dry fabrics and nonwovens
- Glass transition temperatures up to 80°C dependent on curing conditions

Description

- Basis Two-component-epoxy-system
- Resin Biresin® CR80, epoxy resin, translucent, unfilled
- Hardener Biresin® CH80-1, amine, colourless to yellowish
- Hardener Biresin® CH80-2, amine, colourless to yellowish
- Hardener Biresin® CH80-6, amine, colourless to yellowish
- Hardener Biresin® CH80-10, amine, colourless to yellowish

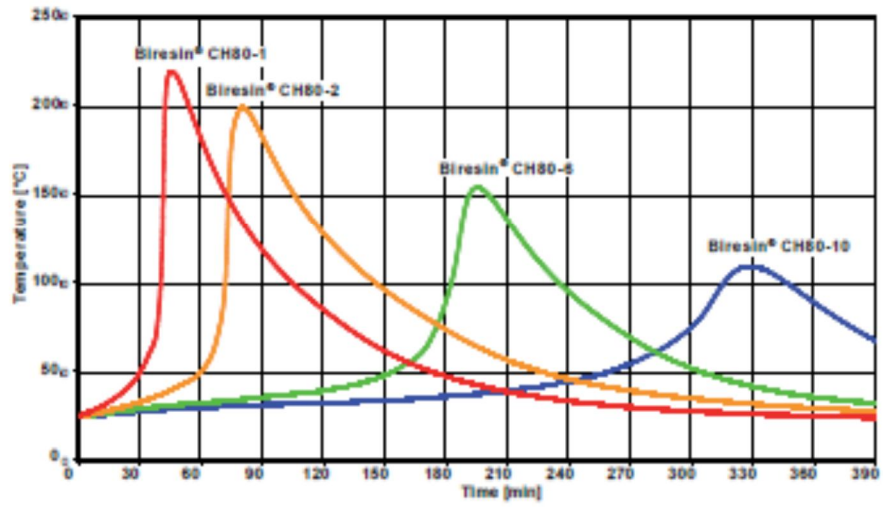
Physical Data	Resin		Hardener			
	Biresin® CR80	Biresin® CH80-1	Biresin® CH80-2	Biresin® CH80-6	Biresin® CH80-10	
Individual Components						
Viscosity, 25°C	mPas	900	50	45	< 10	< 10
Density, 25°C	g/ml	1.13	1.00	0.99	0.95	0.95
Mixing ratio	in parts by weight	100	30			
			Mixture			
Potlife, 100 g / RT, approx. values	min		45	80	190	330
Mixed viscosity, 25°C, approx. values	mPas		400	350	230	210

Processing

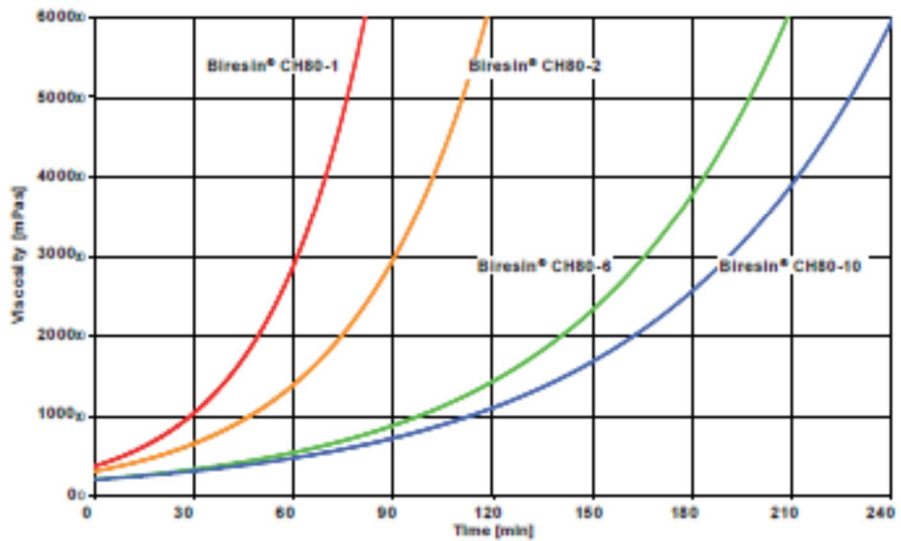
- The material and processing temperatures should be 18 - 35°C .
- With the hardeners Biresin® CH80-1 and Biresin® CH80-2 demoulding after room temperature curing is possible.
- With the hardeners Biresin® CH80-6 and Biresin® CH80-10 curing at 45°C before demoulding is required dependent on components.
- To clean brushes or tools immediately Sika Reinigungsmittel 5 is recommended.
- Additional informations are available in "Processing Instructions for Composite Resins".



Development of Exotherm of Biresin® CR80-Resin-Hardener-Mixtures, 100g / RT, Insulated



Development of Viscosity of Biresin® CR80-Resin-Hardener-Mixtures, 26°C



Test conditions: rotation viscosimeter, plate/plate, measuring gap 0,2 mm



Mechanical Data, neat resin specimen at different post curing conditions

Part 1: approx. values after 18 h / 66°C (source: accredited testing institute)

BirecIn® CR80 resin	with hardener BirecIn®	CH80-1	CH80-2	CH80-8	CH80-10
Density	ISO 1183 g/cm³	1.17	1.17	1.16	1.16
Flexural E-Modulus	ISO 178 MPa	3,400	3,800	3,600	3,600
Tensile E-Modulus	ISO 527 MPa	3,200	3,400	3,400	3,300
Flexural strength	ISO 178 MPa	120	132	127	122
Elongation at maximum flexural strength	ISO 527 %	4.9	4.7	4.6	4.6
Tensile strength	ISO 527 MPa	69	76	72	69
Elongation at maximum tensile strength	ISO 527 %	3.9	3.8	3.6	3.6
Water absorption	ISO 175 %	0.37	0.25	0.30	0.31

Part 2: approx. values after 18 h / 66°C + 3 h / 70°C (source: accredited testing institute)

BirecIn® CR80 resin	with hardener BirecIn®	CH80-1	CH80-2	-	-
Density	ISO 1183 g/cm³	1.17	1.17	-	-
Flexural E-Modulus	ISO 178 MPa	3,300	3,600	-	-
Tensile E-Modulus	ISO 527 MPa	3,000	3,300	-	-
Flexural strength	ISO 178 MPa	116	129	-	-
Elongation at maximum flexural strength	ISO 527 %	5.2	5.1	-	-
Tensile strength	ISO 527 MPa	65	73	-	-
Elongation at maximum tensile strength	ISO 527 %	4.3	4.0	-	-
Water absorption	ISO 175 %	0.37	0.26	-	-

Part 3: approx. values after 18 h / 66°C + 8 h / 70°C (source: accredited testing institute)

BirecIn® CR80 resin	with hardener BirecIn®	-	-	CH80-8	CH80-10
Flexural E-Modulus	ISO 178 MPa	-	-	3,400	3,400
Tensile E-Modulus	ISO 527 MPa	-	-	3,300	3,200
Flexural strength	ISO 178 MPa	-	-	126	121
Elongation at maximum flexural strength	ISO 527 %	-	-	5.3	5.3
Tensile strength	ISO 527 MPa	-	-	73	70
Elongation at maximum tensile strength	ISO 527 %	-	-	4.2	4.2

Part 4: approx. values after 12 h / 80 °C (source: Sika internal)

BirecIn® CR80 resin	with hardener BirecIn®	CH80-1	CH80-2	CH80-8	CH80-10
Density	ISO 1183 g/cm³	1.18	1.18	1.17	1.17
Shore hardness	ISO 868 -	D 86	D 86	D 86	D 86
Flexural E-Modulus	ISO 178 MPa	2,700	2,800	2,900	2,900
Tensile E-Modulus	ISO 527 MPa	2,900	2,900	3,000	3,000
Flexural strength	ISO 178 MPa	117	120	126	124
Compressive strength	ISO 604 MPa	101	107	110	106
Tensile strength	ISO 527 MPa	78	81	83	80
Elongation at break	ISO 527 %	7.1	6.1	6.3	6.5
Impact resistance	ISO 179 kJ/m²	84	75	68	76



Thermal data of neat resin specimen at different post curing conditions								
Biresin® CR80 resin	with hardener Biresin®		CH80-1	CH80-2	CH80-8	CH80-10		
Post curing conditions								
Heat distortion temperature	16 h/55°C	ISO 75A	°C	69	69	67	66	
	16 h/55°C + 3 h/70°C	ISO 75A	°C	73	74	-	-	
	16 h/55°C + 8 h/70°C	ISO 75A	°C	-	-	72	72	
Glass transition temperature			ISO 11357	°C	88	92	85	85

Packaging

Individual components	Biresin® CR80 resin	1000 kg; 200 kg; 30 kg; 10 kg net
	Biresin® CH80-1 hardener	180 kg; 25 kg; 3.0 kg net
	Biresin® CH80-2 hardener	180 kg; 25 kg; 3.0 kg net
	Biresin® CH80-8 hardener	900 kg; 180 kg; 20 kg; 3.0 kg net
	Biresin® CH80-10 hardener	900 kg; 180 kg; 25 kg; 3.0 kg net

Storage

- Minimum shelf life of Biresin® CR80 resin is 24 month and of Biresin® CH80-1, CH80-2, CH80-6 and CH80-10 hardener is 12 month under room conditions (18 - 25°C), when stored in original unopened containers.
- After prolonged storage at low temperature, crystallisation of resin may occur. This is easily removed by warming up for a sufficient time to 50-60°C.
- Containers must be closed tightly immediately after use. The residual material needs to be used up as soon as possible.

Health and Safety information

For information and advice on the safe handling and storage of products, users should refer to the current Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety related data.

Disposal considerations

Product Recommendations: Must be disposed of in a special waste disposal unit in accordance with the corresponding regulations.

Packaging Recommendations: Completely emptied packagings can be given for recycling. Packaging that cannot be cleaned should be disposed of as product waste.

Value Bases

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Legal Notice

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at:

Sika Deutschland GmbH

Subsidiary Bad Urach

Stuttgarter Str. 139

D - 72574 Bad Urach

Germany

Tel:

+49 (0) 7125 940 492

Fax:

+49 (0) 7125 940 401

Email:

tooling@de.sika.com

Internet:

www.sika.com



Statement of Approval



Approval No. **WP 0620005 HH**

The material described below complies with the applicable requirements as given in the Rules and Regulations of Germanischer Lloyd. On this basis the material is

approved as **Laminating Resin**

for the construction of components provided that the recommendations for use as specified by the producer are observed.

Type **Biresin CR80**

Description **Epoxy Resin with different Hardener**

Producer **SIKA Deutschland GmbH
Stuttgarter Str. 139
72574 Bad Urach
Germany**

Normative Reference **Rules for Classification and Construction,
II - Material and Welding Technology
Part 2 Non-Metallic Materials**

Remarks **A post curing of at least 3h @ 70°C is required.**

This document consists of this page and a one-page annex which is integral part of the approval.

This Statement of Approval is valid until 2012-01-20.

Hamburg, 2008-01-21

Germanischer Lloyd


Sven Koller


Dr. Eva Junghans

Statement of Approval



ANNEX

Approval No. WP 0820005 HH

Date: 2008-01-21

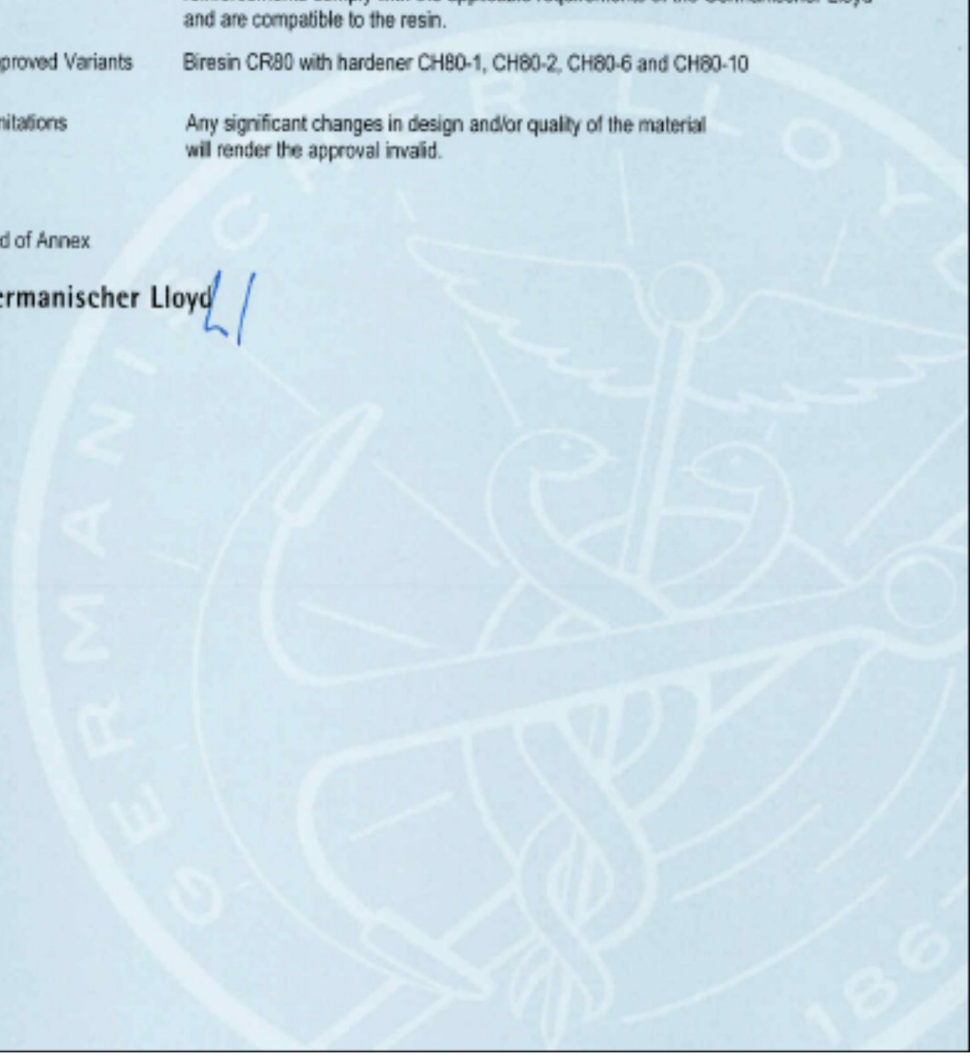
Page 1 of 1

Reference Documents	Technical specifications deposited at Germanischer Lloyd Head Office.
Assessed Documents	Technical Data Sheet 12/2006 Test Report B175/7 issued by IMA Dresden
Fields of Application	Construction of FRP laminates of components, on condition that the fibre reinforcements comply with the applicable requirements of the Germanischer Lloyd and are compatible to the resin.
Approved Variants	Biresin CR80 with hardener CH80-1, CH80-2, CH80-6 and CH80-10
Limitations	Any significant changes in design and/or quality of the material will render the approval invalid.

End of Annex

Germanischer Lloyd

21



PŘÍLOHA P II: PRYSKYŘICE ARALDIT GY 764BD



SKOLIL KOMPOZIT s.r.o.

Performance
Polymers

Tooling Systems

Víceúčelová laminační pryskyřice

®Araldit GY 764BD

Tvrdidlo H285

nebo

Tvrdidlo H286

Epoxidová laminační pryskyřice

100 hmot. dílů

40 hmot. dílů

40 hmot. dílů

- Specifické vlastnosti**
- středně reaktivní laminační systém s nízkou viskozitou
 - zpracování při pokojové teplotě
 - vytvrzuje při pokojové teplotě

- Použití**
- Laminační systém pro ruční laminaci

Technické parametry

Vlastnost	Viskozita při 25 °C (mPa.s)	Hustota (g/cm3)	Bod vzplanutí DIN 51758 (°C)	Skladovatelnost 18-25 °C
Araldit GY764BD	690	1.0	>200	3 rok
Tvrdidlo H285 (H286)	60 - 100	0,94-0,97	109	1 rok

Zpracování

Směšovací poměry

Komponenta	Hmotnostní díly	Objemové díly
Araldit GY764 BD	100	100
Tvrdidlo H285	40	42

Komponenta	Hmotnostní díly	Objemové díly
Araldit GY764 BD	100	100
Tvrdidlo H286	40	42

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Viskozita při 23 °C	mPa.s	300 – 350
Doba zpracovatelnosti 100g směsi při 23 °C	min	40-45 s tvrdidlem H285 100-120 s tvrdidlem H286
Doba vytvrzení při 23 °C	hod	12-16+ s tvrdidlem H285 18-24+ s tvrdidlem H286

+ v závislosti na teplotě okolí a tloušťce laminované vrstvy

Vlastnosti

Po vytvrzení 7 dní při pokojové teplotě nebo 14 hod při 40 °C

Vlastnost	Jednotka	Hodnota
Hustota	g/cm ³	1.05
Tvrdost Shore D ISO 686	ShoreD	85
Pevnost v tlaku ISO 604	N/mm ²	110 - 115
Ohybová pevnost ISO 178	N/mm ²	110 - 120
Teplota skleného přechodu	(°C)	60-65+
Nasákavost 24 hod /23 °C	(%)	0.20 – 0.30
Nasákavost 3 dny / 23 °C	(%)	0.30 – 0.40

+ v závislosti na temperančním cyklu

Skladování

Produkty uvedené v tomto datovém listu je nutno skladovat při teplotách 10- 30°C. Těmto podmínkám odpovídá doba zpracovatelnosti uvedená na obalu.

Bezpečnostní opatření

Pozor!

Produkty firmy Huntsman Advanced Materials lze zpracovávat bez jakéhokoli nebezpečí, jestliže jsou dodržovány obvyklé postupy při práci s chemikáliemi. Nevytvrzené materiály nedávejte do blízkosti požívatin. Z důvodu zabránění nežádoucí alergické reakce organismu se doporučuje použít gumové nebo plastické rukavice stejně jako ochranné brýle. Po každé práci je nutno umýt si ruce teplou vodou. Nedoporučuje se používat ředidla. Po umytí ruce otřete do papírových (ne textilních) ubrousků na jedno použití. Pracovní prostor musí být dobře odvětrán, pracovní místo odsáváno. Přesný popis bezpečnostních opatření najdete v příručce „hygiena práce a způsoby zpracování produktů“ firmy Ciba Spezialitätenchemie GmbH (publ. Č. 24 264/d) stejně jako v bezpečnostních listech jednotlivých produktů. Rádi Vám tuto publikaci zašleme.

Ciba Spezialitätenchemie Performance Polymers

Naše technické rady pro zpracování materiálů odpovídají dnešnímu stavu našich znalostí. Přesto nezapomínejte na vlastní zkoušky materiálů v souvislosti s Vaším konkrétním použitím, zkušenostmi atd. Vlastní použití materiálů je mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. Zaručujeme bezvadnou kvalitu odpovídající našim všeobecným podmínkám prodeje a dodání.

Huntsman GmbH
Breitenfurterstrasse 251
1231 – Wien
Rakousko
Tel. 0043 1 801 32 0
Fax.0043 1 801 32 421

SKOLIL KOMPOZIT s.r.o.
Jankovcova 1059/12B
170 00 Praha 7
CZ
Tel/Fax 00420 220 873 550, 551
E-mail: skolilkompozit@skolilkompozit.cz

PŘÍLOHA P II: KOREK CORECORK NL10



CORECORK[®]
by Amorim

technický list



CoreCork je přírodní sendvičový materiál z obnovitelných zdrojů, porovnatelný s existujícími sendvičovými materiály, který nabízí výborné FST (oheň, dým, toxicita) vlastnosti, s dobrými mechanickými parametry a zpracováním.

Nízká hustota **CoreCorku**, flexibilita a vynikající přizpůsobivost, umožňují jeho snadné začlenění do výrobních procesů.

CoreCork lze zpracovávat ručním kladením, vakuovou infuzí a injektážní technologií o teplotě do 150 °C.

Mezi specifické vlastnosti **CoreCorku** patří: uzavřená struktura vzduchových buněk, nízká absorpce vody, odolnost proti hnilobě, výborná ohnivzdornost, a vysoký stupeň tlumení hluku a vibrací. To z něj ve spojení s novými požadavky po, činí velmi vhodnou alternativu pro kompozity.

Mechanické vlastnosti sendvičového korkového jádra

Vlastnosti	Testovací metoda	Jednotka	NL10	NL20	NL25
Hustota	ASTM C271	Kg/m ³	120	200	250
Pevnost v tlaku	ASTM C365	MPa	0,3	0,5	0,6
Modul pevnosti v tlaku	ASTM C365	MPa	5,1	6,0	6,9
Pevnost v tahu	ASTM C297	MPa	0,6	0,7	0,7
Pevnost ve smyku	ASTM C273	MPa	0,9	0,9	1,0
Modul pevnosti ve smyku	ASTM C273	MPa	5,9	5,9	6,0
Teplotná vodivost	ASTM E1530	W/mK	0,042	0,044	0,046
Činitel ztrát (při 1 KHz)	ASTM E756	-	0,022	0,043	0,062

Mechanické vlastnosti korkového jádra v sendvičovém laminátu [*]

Vlastnosti	Testovací metoda	Jednotka	NL10	NL20	NL25
Pevnost v ohybu	ASTM C790	MPa	37	56	63
Modul pevnosti v ohybu	ASTM C790	GPa	3,5	4,0	4,3
Pevnost ve smyku	ASTM C392	MPa	0,8	0,9	0,9
Modul pevnosti ve smyku	ASTM C392	MPa	44	41	38
Pevnost v tlaku	ASTM C365	MPa	1,2	2,2	2,5
Modul pevnosti v tlaku	ASTM C365	MPa	19	23	26
Nasákavost vody (%)	ASTM C272	%	< 4	< 4	< 4
Hustota panelu	-	-	0,600	0,560	0,630

[*] Vzorky jsou vyrobeny infuzí (0,6 baru) z epoxidové pryskyřice SR 8100 / ref. číslo SD 8824 a dvou vrstev 300 g/m² sklolámné rovingové tkaniny, z obou stran, tloušťka sendvičového laminátu 6,5 mm, vytvrzení při 60 °C, 5 dní po zhotovení.



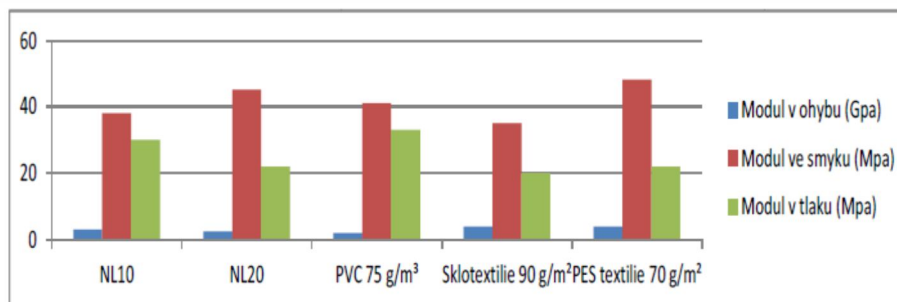
**GAZECHIM
COMPOSITES**

SKOLIL KOMPOZIT, spol. s r.o. - ul. 5. května 419, 551 02 Jaroměř - Josefův
☎: +420 491 813 888 - 📠: +420 491 814 816 - Mobil: +420 602 660 155
✉: netolicky@skolilkompozit.cz - <http://www.skolil.cz/>

Sendvičové aplikace s jádrem **CoreCork** dosahují nebo přesahují mechanické vlastnosti podobných vyztužených plastů se syntetickým nebo přírodním jádrem.

Srovnávací hodnoty naměřené na sendvičových panelech ukazují, že stejnou nebo lepší mechanickou odolnost lze dosáhnout při stejných konstrukcích.

Mechanické vlastnosti sendvičových panelů při použití různých typů jádra



Pokyny k technologii zpracování		Kompatibilita s pryskyřicemi	
Spotřeba pryskyřice {*} na m ² /1 mm	NL10 NL20	270 g 170 g	Epoxidová Vynikající
Maximální teplota při zpracování		180 °C	Polyesterová Vynikající
Vakuová infuze		do 150 °C	Fenolická Vynikající
Autokláv		Lze	Vinylesterová Vynikající
Koeficient tepelné roztažnosti (ASTM E831-06)		110x10 ⁻⁶ /°C při pt.	Polyuretanová Vynikající

{*} Vzorčky jsou vyrobeny infuzí (0,6 baru) z epoxidové pryskyřice SR 8100 / ref. číslo SD 8824 a dvou vrstev 300 g/m² skloláknité rovinové tkaniny, z obou stran, tloušťka sendvičového laminátu 6,5 mm, vytvrzení při 60 °C, 5 dní po zhotovení.



**GAZECHIM
COMPOSITES**

SKOLIL KOMPOZIT, spol. s r.o. - ul. 5. května 419, 551 02 Jaroměř - Josefov
 ☎: +420 491 813 888 - 📠: +420 491 814 816 - Mobil: +420 602 660 155
 ✉: netolicky@skolilkompozit.cz - <http://www.skolil.cz/>

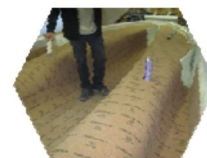
Mnohostranně použitelný a nákladově efektivní

Tenký sendvičový materiál zabraňující prorysování vláken, vhodný pro technologie otevřených i uzavřených forem.

CORECORK® NL MAT je tenký sendvičový materiál zařazený do nové zelené klasifikace.

- Přírodní tenký sendvičový materiál, který nabízí vyšší tuhost a sníženou hmotnost výrobku díky nižší spotřebě skla a pryskyřice.
- CORECORK® se skládá z buněk, které nenasávají pryskyřici.
- Je to vynikající blokátor prorysování vláken, snižuje spotřebu pryskyřice až o 40% celkové hmotnosti výrobku, a zvyšuje pohlcování hluku a tlumení chvění a vibrací na povrchu výrobku.
- Úspora nákladů z hlediska výrobního času a spotřeby pryskyřice.

Jako přírodní pěnová hmota, je korek vysoce odolný vůči zatížení a zabraňuje snížení tloušťky dokonče i když na něj působí tlak vakuového vaku nebo RTM. Přírodní kanálky v rohoži NL MAT napomáhají průtoku pryskyřice a vytváří laminát s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi a vynikajícím propojením vnějších vrstev

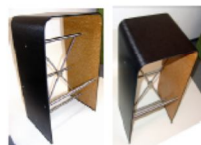


Courtesy of EMI France



Courtesy of Ortema GmbH

Technická data		CORECORK® NL 10 MAT			CORECORK® NL 20 MAT		
Tloušťka	mm	-	3,0	5,0	1,0	3,0	5,0
Ztráta tloušťky při 0,8 Bar	%	-	-	-	< 3	< 3	< 3
Maximální teplota zpracování	°C	-	150	150	150	150	150
Spotřeba pryskyřice	g/m ²	-	675	1100	170	459	750
Suchá hmotnost	g/m ²	-	405	675	200	600	1000
Měrná hmotnost po impregnaci	kg/m ³	-	360	355	370	353	350



©Frank Kunststofftechnik, I. Frank

Mechanické vlastnosti		NL 10 MAT 3 mm (1)	NL 20 MAT 3 mm (2)	zkušební metoda
tloušťka 3 mm prosycený polyesterovou pryskyřicí				
Ohybová pevnost	MPa	66	57	ISO 1209-1
Modul pružnosti v ohybu	MPa	5250	4650	ISO 1209-1
Pevnost v tlaku (10% pnutí)	MPa	3,1	2,0	ISO 844
Modul pružnosti v tlaku	MPa	37	25	ISO 844
Smyková pevnost	MPa	3,6	3,3	ASTM C273-1
Modul pružnosti ve smyku	MPa	36	33	ASTM C273-1
Nasákavost	%	< 2,5	< 2,5	ASTM C272

(1) 2+2 (600g/m²) skelná výtzuž., polyesterová pryskyřice, ruční kladení
(2) 2+2 (600g/m²) skelná výtzuž., epoxidová pryskyřice, infuze



Courtesy of Azimut Yachts - Magellano 50

Rozměry x	Tloušťka (mm)							
	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Šířka 1000 mm & 1250 mm								
Délka návinu role (metrů)	40 ^(a)	40	32	26	23	20	17	16

(a) Mimo NL 10 MAT. Minimální tloušťka 2,0 mm

The data provided in this document represents typical values only and should not be used as specification or engineering data. Amorim Cork Composites cannot be held liable for any indirect, special, incidental, or punitive damages as a result of using the information listed in this document, its products or any future use or re-use of them by any person or entity. Amorim Cork Composites reserves the right to change the material specification without notice or obligation.