

Mechanické chování HP kompozitů

Petr Šiška

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Petr ŠÍŠKA

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Mechanické chování HP kompozitů

Zásady pro vypracování:

- 1. Zpracujte literární rešerši v oblasti HP kompozitů**
- 2. Připravte zkušební tělesa pro mechanické zkoušky v tahu**
- 3. Provedte standardní zkoušky tahem**
- 4. Získané výsledky vyhodnoťte z hlediska praktických aplikací**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010


Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010


doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

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 nevýdělečně 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). Odpírá-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

Hlavním cílem mé bakalářské práce je popsat alespoň některé mechanické vlastnosti vysokotlakého laminátu HPL od čtyř světových výrobců tohoto typu materiálu a výsledky jednotlivých zkoušek vzájemně mezi sebou porovnat. V teoretické části se zaměřuji na všeobecný popis vlastností kompozitů a jejich použití v praxi. V praktické části se věnuji experimentálnímu provedení tahové zkoušky a zkoušky rázové houževnatosti, jejich popisu a popisu strojů, na kterých byly prováděny.

Klíčová slova: vysokotlaký laminát HPL, tahová zkouška, zkouška rázové houževnatosti, kompozit

ABSTRACT

The main aim of my Bachelor graduate thesis is to describe at least some of the mechanical features of high-pressure laminate HPL from four global manufacturers of this type of material and the results of individual tests with each other to compare. In the theoretical part I focus on general discription of the features of composites and their application in practice. In the practical part I attend to the measurement of the tensile test and impact toughness test, their description and the description of machines on which they were carried out.

Keywords: high-pressure laminate HPL, tensile test, impact toughness test, composite,

Rád bych poděkoval Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a obětavý přístup při vypracovávání mé bakalářské práce, panu Mgr. Romanu Dlabajovi, PhD. z ITC Zlín za ochotu při provádění měření. Poděkování patří také vedení firmy Frajt s.r.o. za bezplatné poskytnutí a vyrobení zkušebních vzorků, finanční podporu při hrazení nákladů na zkoušku úniku formaldehydu doplňující mou bakalářskou práci a za celkovou vstřícnost a podporu při studiu.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ČLOVĚK A MATERIÁLY	12
2 VŠEOBECNĚ O KOMPOZITECH	14
2.1 DEFINICE	14
2.2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA KOMPOZITŮ	14
2.3 KOMPOZITY V PŘÍRODĚ	16
2.4 KLASIFIKACE.....	17
2.5 PARTIKULOVÉ KOMPOZITY	18
3 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY	19
3.1 JEDNOVRSTVOVÉ KOMPOZITY	19
3.1.1 Krátkovláknové kompozity	19
3.1.2 Dlouhovláknové kompozity	20
3.2 MNOHOVRSTVOVÉ KOMPOZITY	20
3.2.1 Hybridní lamináty.....	21
3.2.2 Lamináty.....	21
4 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA	22
4.1 SKLENĚNÁ VLÁKNA.....	22
4.2 ARAMIDOVÁ VLÁKNA.....	22
4.3 UHLÍKOVÁ VLÁKNA.....	24
4.4 PŘÍRODNÍ VLÁKNA	25
5 MATRICE - POJIVO	26
5.1 TERMOPLASTICKÉ LISOVACÍ HMOTY	27
5.2 REAKTIVNÍ PRYSKYŘICE.....	27
5.2.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	28
5.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R).....	28
5.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R).....	29
5.2.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)	29
5.3 TERMOPLASTY	29
5.4 SPOJENÍ VLÁKNO - MATRICE	30
5.4.1 Textilní skleněná vlákna	31
5.4.2 Uhlíková vlákna	31
5.4.3 Přírodní vlákna	31
6 VLÁKNA V KOMPOZITU	32
7 ZPRACOVÁNÍ - TECHNOLOGIE	33

7.1	ZPRACOVÁNÍ POLOTOVARŮ	33
7.2	ZPRACOVÁNÍ VYZTUŽENÝCH REAKTIVNÍCH (LICÍCH) PRYSKYŘIC	33
7.3	RECYKLACE	34
7.3.1	Opakované zpracování materiálů	34
7.3.2	Spalování.....	34
8	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ.....	35
8.1	NĚKTERÉ TYPICKÉ VLASTNOSTI VYZTUŽENÝCH PLASTŮ	35
8.2	MECHANISMUS PORUŠOVÁNÍ.....	36
8.3	ZKOUŠKA JEDNOSMĚRNÝM TAHEM.....	36
8.4	ZKOUŠKA JEDNOSMĚRNÝM TLAKEM.....	38
8.5	RÁZOVÉ ZATÍŽENÍ	39
8.6	ROVINNÉ ZKOUŠKY SMYKEM.....	40
8.7	ZKOUŠKY JEDNOOSÝM OHYBEM	41
8.8	ZKOUŠKY TVRDOSTI	42
8.9	STATICKE DLOUHODOBÉ ZKOUŠKY	42
8.10	PROVEDENÍ ZKOUŠEK	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST	44
9	ZKUŠEBNÍ TĚLESA.....	45
9.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES	46
10	PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY	47
10.1	ZKOUŠKA TAHEM	47
10.1.1	Youngův modul pružnosti	49
10.1.2	Mez pevnosti v tahu	50
10.1.3	Vyhodnocení výsledků tahové zkoušky	51
10.2	ZKOUŠKA RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	55
10.2.1	Vyhodnocení výsledků rázové zkoušky	56
10.3	ZKOUŠKA ÚNIKU FORMALDEHYDU	59
	ZÁVĚR	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	62
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	66
	SEZNAM GRAFŮ	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ÚVOD

Pro svoji bakalářskou práci jsem si zvolil vlastní téma a to „Mechanické chování HP kompozitů“. Důvod tohoto výběru byl dán mým zaměstnáním. Pracuji ve firmě, která se specializuje na výrobu výrobků z vysokotlakého laminátu HPL. Tento materiál používáme na výrobu zejména šatních skříněk, skříněk na cennosti, sprchových a pisoárových zástěn, převlékacích a WC kabinek, umývadlových desek, ale i například obkladů stěn a výrobu dveří do mokrého prostředí.



Tyto výrobky, a zejména šatní skřínky, dodáváme především do aquaparků, bazénů, wellness center, ale i do škol. Je tedy zřejmé, že na takovýchto místech jsou na naše výrobky kladeny velmi vysoké nároky. A to především na zvýšenou odolnost proti bezohledným uživatelům. Právě z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro bakalářskou práci se zaměřením na toto téma.

Pro zkoušky jsem si vybral vzorky vysokotlakého laminátu HPL a to od čtyř různých výrobců: z Francie Polyrey, z Rakouska Fundermax, z Itálie Abet a z Číny Rexin. Tři z těchto výrobců patří ve výrobě HPL materiálů mezi velmi uznávané.

V teoretické části mé bakalářské práce se zaměřuji na všeobecný popis HP kompozitů, jejich rozdělení, vlastnosti a zejména použití v praxi. Dále zde popisuji druhy prováděných zkoušek u těchto materiálů a detailněji se zabývám tahovou zkouškou a zkouškou vrubové houževnatosti.

V praktické části popisuji přípravu tělísek pro jednotlivé zkoušky, zkoušku tahovou a zkoušku rázové houževnatosti. Zmiňuji se i o zkoušce, která nebyla nutností pro tuto bakalářskou práci, ale její výsledky zajímají téměř každého z nás - jaké množství formaldehydu uniká z materiálu jednotlivých výrobců.

Cílem mé bakalářské práce je zjistit, jaké hodnoty mají dané materiály v jednotlivých směrech a jak se výrobci v těchto hodnotách liší. Tímto porovnáním získám přehled o kvalitě, se kterou tento materiál uvedení výrobci vyrábějí a budu moci říci, který výrobce je na tom nejlépe a nejvíce se hodí pro zmíněné výrobky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ČLOVĚK A MATERIÁLY

Existence lidstva začíná hluboko v pravěku. Historici předpokládají, že pravěk obsahuje 99,9 % celkové doby prozatímního vývoje lidské populace, zatímco historické období pouze 0,1 % (asi 2000 let). Pravěk je tedy startem vývoje člověka. Zde vzniká společenské vědomí, jazyk, myšlení, ideje a zejména práce a výroba. [1]

Stupně v rozvoji lidské společnosti jsou spojeny se změnami ve využívání materiálů a lze říci, že každý nový materiál, který člověk dovedl využívat, představoval i novou kvalitu v jeho činnosti a životě. Tak lidstvo prošlo dobou kamennou, dobou bronzovou, dobou železnou a směřuje na novou úroveň spojenou s tím, že budou vytvořeny nové, syntetické materiály, které příroda neposkytuje. [2]

Výroba hmotných prostředků (hmotná kultura) má v celé racionální éře vývoje lidstva stejné cíle. Jedná se o výrobu nástrojů (strojů, obecně výrobních prostředků), zbraní, šperků a toaletních potřeb, oděvů, prostředků komunikace, prostředků bydlení a některých dalších předmětů denní potřeby nebo uměleckého využití. [1]

Kompozitní materiály se staly v 90. letech 20. století průmyslovými materiály v celém světě. Původní vojenská použití za II. světové války podnítila v široké míře jejich komerční aplikace, zvláště koncem 40. a počátkem 50. let v námořním průmyslu. Průmysl letecký, automobilový, sportovních potřeb, elektronický a i spotřební je zcela závislý na plastech vyztužených vlákny a tyto kompozity jsou běžně navrhovány, vyráběny a užívány. Využití méně náročných kompozitů, používaných původně pouze pro snížení nákladů - především plastů plněných částicemi nebo minerály - v průmyslu vzrůstá a jejich používání se bude dále rozšiřovat, pokud budou minerální látky dostupnější než suroviny potřebné pro syntézu polymerů.

Úspěch vláknových kompozitů vyplývá z využití vynikající pevnosti, tuhosti a nízké hustoty vláken skleněných, uhlíkových nebo kevlarových a dalších. Není divu, že při své schopnosti kombinovat vynikající mechanické vlastnosti s konstrukční přizpůsobivostí a snadné výrobě, které kompozity nabízejí, daleko předstihly rychlostí růstu výroby jiné materiálů. Další jedinečnou charakteristikou, která kompozity (zejména vláknové) odlišuje od jiných materiálů, je to, že zároveň s výrobou konstrukce nebo prvku je vytvářena i struktura materiálu. [3]

Kompozitní materiály jsou především předmětem rostoucího zájmu odborníků všech profesí. Bez nich není možno zajistit další technický pokrok, ani udržet dosavadní úroveň rychle rostoucí populace na Zemi. [2]

2 VŠEOBECNĚ O KOMPOZITECH

2.1 Definice

Slovo „kompozitní“ znamená „vytvořený či skládající se ze dvou nebo více odlišných částí“. Materiál, mající dvě nebo více odlišných materiálových složek, neboli fází, je podle toho tedy složeným materiálem. Avšak jen tehdy, když mají vytvářející fáze značně rozdílné fyzikální vlastnosti, a tudíž i vlastnosti složeného materiálu jsou zřetelně odlišné od vlastností jeho složek, označujeme takový materiál jako kompozit. Například běžné kovy obsahují většinou vždy nežádoucí nečistoty nebo slitinové prvky; plasty všeobecně obsahují malá množství plniv, apretur, pohlcovačů ultrafialového záření a jiných materiálů z důvodů ekonomických pro usnadnění výroby aj., nejsou však obecně klasifikovány jako kompozity. [3]

2.2 Obecná charakteristika kompozitů

Kompozity tvoří jedna nebo více nespojitých fází, ponořených ve spojitě fázi. Diskontinuitní fáze je obvykle tvrdší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se vyztužení nebo vyztužovací materiál, zatímco spojitá fáze se nazývá matrice. Nejpozoruhodnější výjimkou z tohoto pravidla je skupina materiálů známých jako polymery modifikované kaučukem, skládající se z tuhé polymerní matrice, plněné kaučukovými částicemi.

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivňovány vlastnostmi svých materiálových složek, jejich distribucí a interakcí mezi nimi. [3]

Plasty vyztužené vlákny obsahují konečná nebo nekonečná 3,5 až 24 μm silná vyztužující vlákna ze skla, uhlíku nebo aramidu a maticí z termosetu nebo termoplastu. Jednotlivé složky jsou vybírány individuálně. U vyztužených plastů se v mnoha případech požaduje cíleně vyztužení ve směru namáhání, takže výsledkem je – na rozdíl od kovů nebo nevyztužených plastů – anizotropní materiál, tj. materiál vykazující v různých směrech rozdílné vlastnosti.

Mechanické vlastnosti jednotlivých vrstev se mohou výrazně lišit, zejména v závislosti na druhu, orientaci, obsahu a tloušťce vláken vyztuže. Protože složení a pořadí jednotlivých vrstev je libovolně volitelné, je možné v projekční fázi předem zvolit vhodné

složení, a tím i vlastnosti laminátu. Výhodou tohoto postupu je, že se vlastnosti takového laminátu mohou relativně dobře zkoušet.

Pevnost a tuhost kompozitního materiálu závisí v rozhodující míře na pevnosti a tuhosti vláken. Vlákná a jejich orientace výrazným způsobem ovlivňují také další mechanické vlastnosti kompozitů. V důsledku velmi odlišných mechanických vlastností vláken a matrice vznikají ve struktuře kompozitu místní složité stavy napjatosti. Jejich analýzou se zabývá mikromechanika.

Vstříkované plasty vyztužené krátkými vlákny se často řadí mezi vyztužené plasty, protože technologie zpracování, která je obdobná jako u nevyztužených plastů, pouze omezeně ovlivňuje požadovanou anizotropii. Avšak 90 % všech vyztužených plastů se skládá ze směsi dlouhých skleněných vláken a polyesterových nebo vinylesterových pryskyřic. Z aplikačního hlediska je většina vyztužených plastů uspořádána vrstevnatě a je nazývána lamináty. Tento materiál má řadu výhod, ale i nevýhod, které ovlivňují jeho uplatnění na trhu.

Výhody laminátu:

- velká pružnost při deformaci,
- vysoká pevnost a tuhost, kterou lze přizpůsobit směru a druhu zatížení, zejména při zatížení v tahu ve směru vláken, při nízké hmotnosti kompozitu,
- značná přizpůsobivost každému tvaru,
- značná odolnost vůči dynamickému namáhání při vysokém mechanickém tlumení,
- nízký součinitel teplotní délkové roztažnosti,
- vysoká odolnost proti stárnutí a korozi,
- mnoho možností kombinace matrice a vláken, umožňujících složení materiálu tzv. „na míru“,
- dobrá surovinová základna,
- menší požadavky na investice při malém počtu výrobků (i velkoplošných),
- možnost opravy při použití termosetické matrice.

Nevýhody laminátu:

- množství variant materiálového složení, neexistuje standardní kompozit,
- neobvyklé chování materiálů (vlastnosti kompozitů nelze jednoduše odvodit součtem vlastností jeho složek),

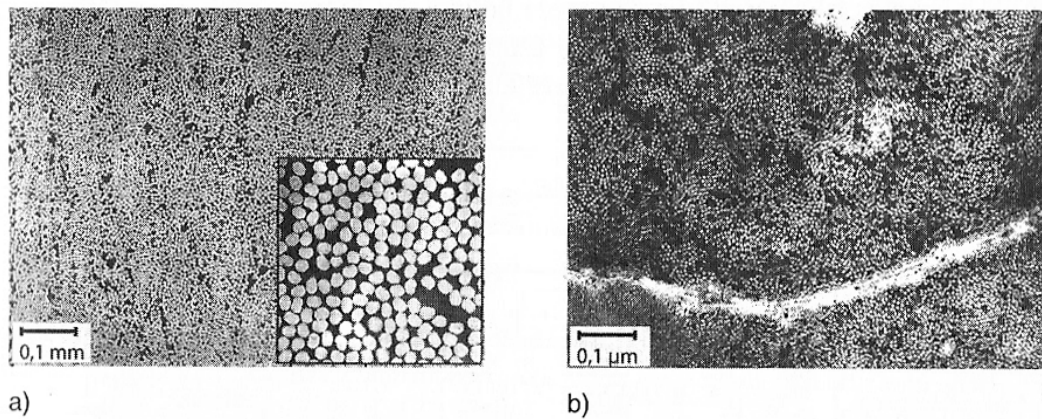
- specifické vlastnosti materiálu a způsoby zpracování,
- obtížné nedestruktivní zkoušení materiálů,
- nízká mez pevnosti v tahu ve směru kolmo ke směru uložení vláken (tvorba trhlin, oslabení spojení vlákna a matrice),
- možné katastrofální následky při havárii,
- vysoké náklady při dimenzování náročných konstrukcí,
- nízká odolnost proti působení vlhkosti za tepla,
- místní poškození, například rázem, se obtížně poznávají a hůře opravují než např. u hliníkových konstrukcí.

Podle oblastí použití lze vyztužené plasty rozdělit do tří skupin:

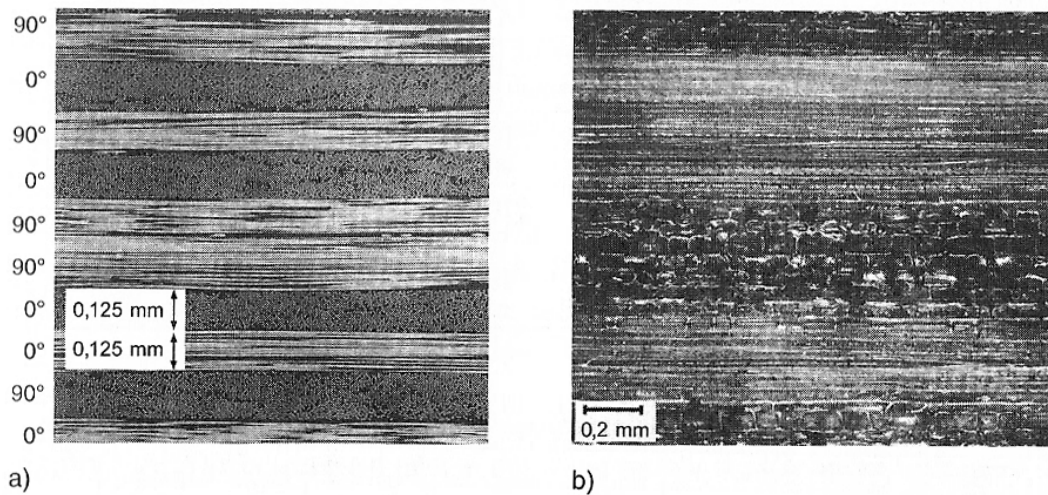
- spotřební zboží – charakteristickým znakem je použití rohoží jako výztuže a vysoká kvalita povrchové úpravy
- průmyslové aplikace – základem je použití pryskyřic se zvláštními užitnými vlastnostmi, vyztužených převážně skleněnými vlákny
- výrobky pro speciální aplikace (letectví a kosmonautika, vojenské účely a sport) – používají pryskyřice s vynikajícími vlastnostmi (nejčastěji epoxidové) a uhlíková nebo aramidová vlákna. [4]

2.3 Kompozity v přírodě

Je běžné, že příroda využívá spolupráce účinků různorodých materiálů pro dosažení lepších vlastností a vytváří materiály připomínající materiály kompozitní. Například řez buňkou vlny merino a příčný výbrus epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny mají podobnou strukturu, lišící se ovšem rozměry. Obdobně lze porovnávat vrstvenou strukturu epoxidové pryskyřice vyztužené uhlíkovými vlákny se strukturou bambusového stonku. [4]



Obrázek 1 Řez kompozitem z epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny (a) a buňkou vlny merino (b) (Povšimněte si různých měřítek!) [4]

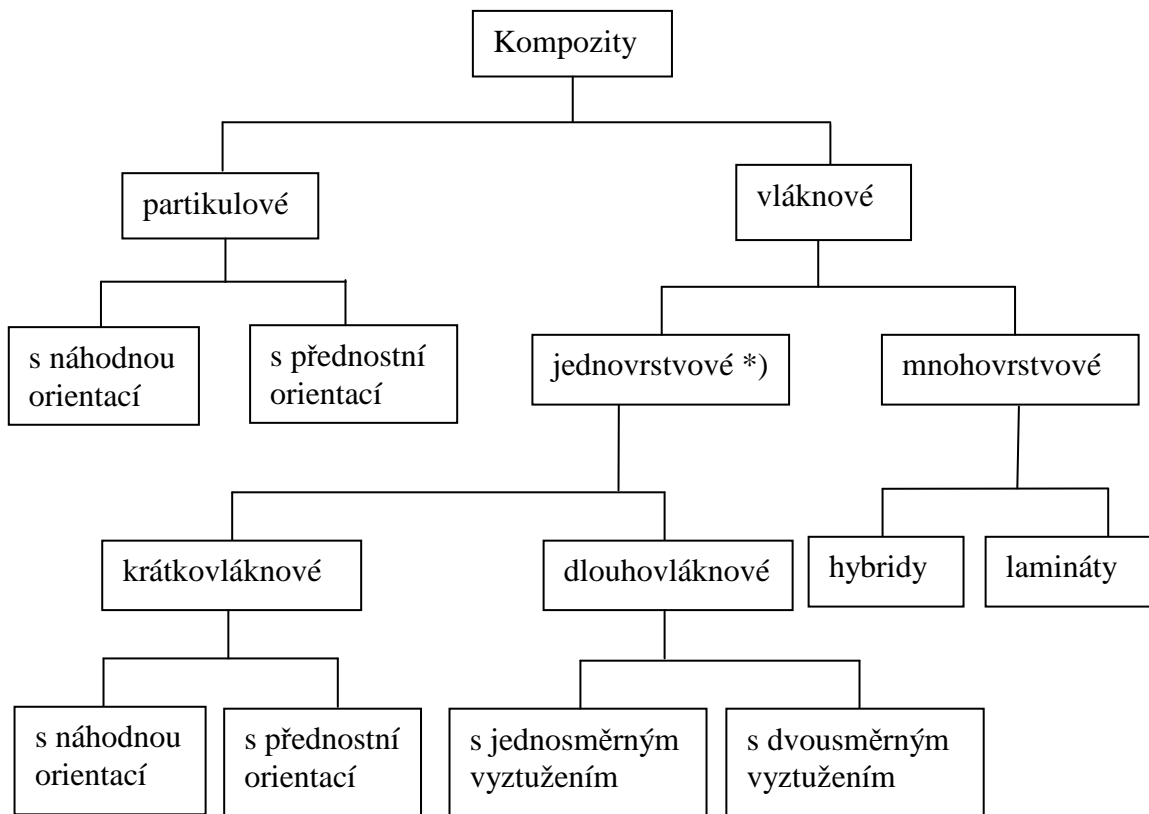


Obrázek 2 Řez laminátem z epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken (a) a bambusovým stonkem (b) [4]

2.4 Klasifikace

Většina dosud vyvinutých kompozitních materiálů je vyráběna pro zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tuhost, tažnost a vysokoteplotní odolnost. Je pak přirozené, že se společně studují kompozity, které mají společný mechanismus pevnostního chování. Tento mechanismus je silně závislý na geometrii vyztužení. Proto je vhodné rozřadit kompozitní materiály na základě geometrie reprezentativní jednotky vyztužení. Obrázek 3 představuje obecně přijaté klasifikační schéma pro kompozitní materiály.

Kompozity vyztužené částicemi jsou někdy označovány jako partikulové kompozity. Kompozity vyztužené vlákny se pak nazývají vláknové kompozity. [3]



*) Včetně kompozitů se stejnou orientací a vlastnostmi v každé vrstvě.

Obrázek 3 Klasifikace kompozitních materiálů [3]

2.5 Partikulové kompozity

Kompozit, jehož plnění může být klasifikováno jako částicové, se nazývá partikulový kompozit. Částice je definována jako nevláknový útvar a nemá žádný dlouhý rozměr s výjimkou destiček. Rozměry vyztužení určují její schopnost přispívat k vlastnostem kompozitu. [3]

3 VLÁKNOVÉ KOMPOZITY

Z důvodu malých průřezových rozměrů se vlákna nemohou používat v technických aplikacích přímo. Vkládají se proto do matricových materiálů, aby vytvořily vláknové kompozity. Matrice spojuje vlákna dohromady, slouží k přenosu namáhání do vláken a chrání je proti narušení okolím a poškození při zpracování. V kompozitech s krátkými vyztužovacími vlákny je přenosová funkce matrice závažnější než v kompozitech se spojitými vlákny. Vláknové kompozity se stávají nejdůležitější třídou kompozitních materiálů, protože jsou schopny dosahovat vysokých pevností.

Vláknové kompozity lze zhruba třídit na jednovrstvové a na mnohovrstvové na základě studia jejich jak teoretických, tak experimentálních vlastností. [3]

3.1 Jednovrstvové kompozity

Jednovrstvové kompozity mohou být ve skutečnosti zhotoveny z několika samostatných vrstev, z nichž každá má tutéž orientaci a tytéž vlastnosti, a tudíž celý laminát lze uvažovat jako jednovrstvový kompozit.

Vrstva kompozitu tudíž představuje základní stavební blok pro jeho konstrukční aplikace. Vyztužovací vlákna v jednovrstvovém kompozitu mohou být krátká nebo dlouhá vzhledem k jejich průřezovým rozměrům. Kompozity s dlouhými vlákny se nazývají dlouhovláknové (vyztužené spojitými vlákny) a kompozity s krátkými vlákny krátkovláknové (vyztužené diskontinuitními vlákny). [3]

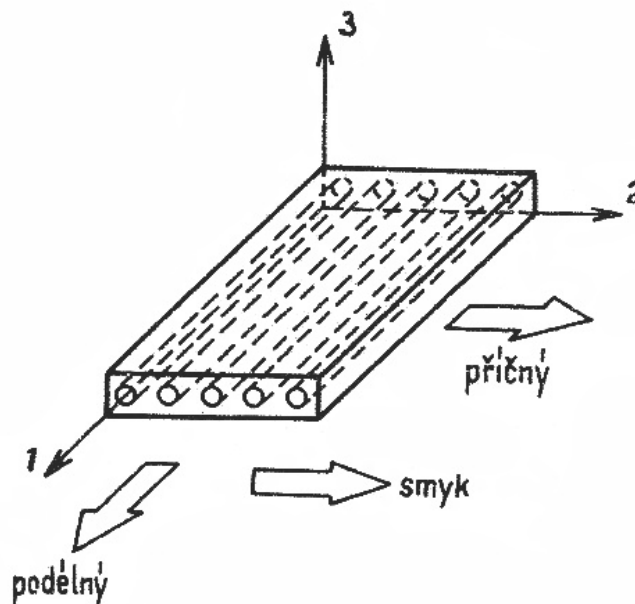
3.1.1 Krátkovláknové kompozity

Charakteristickým rysem jednosměrových kompozitů je jejich vyšší pevnost a modul ve směru osy vláken, a naopak nízká pevnost a modul v příčném směru. Je velmi výhodné, když se takové kompozity použijí na aplikace, ve kterých lze napjatost přesně určit, takže lamináty mohou být zhotoveny z jednosměrových vrstev s pevností přizpůsobenou potřebám konstrukce.

V kompozitech nepůsobí zatížení přímo na vlákna, nýbrž je zaváděno do matricového materiálu a přenášeno do vláken jednak prostřednictvím jejich konců, jednak též válcovým povrchem vlákna v okolí jeho konců. [3]

3.1.2 Dlouhovláknové kompozity

Jednosměrový kompozit je tvořen rovnoběžnými vlákny včleněnými do matrice. Několik jednosměrových vrstev je pak možno pojit v určitém pořadí jejich orientace a vytvářet tak lamináty s požadovanou pevností a tuhostí. Každá vrstva jednosměrového kompozitu se nazývá prostě kompozitní vrstva nebo lamina.



Obrázek 4 Schematické znázornění jednosměrového kompozitu [3]

Jednosměrové vyztužené vrstvy vykazují obecně ortotropní vlastnosti. Mají tři vzájemně kolmé roviny souměrnosti. Tyto roviny jsou určeny dvojicemi ortogonálních os, na obrázku popsanych číslicemi 1, 2, 3. Tyto osy nazýváme rovněž materiálové osy. Směr rovnoběžný s vlákny se nazývá podélný (longitudiální) (osa 1), směr kolmý na vlákna je směr příčný (transverzální), to znamená libovolný směr v rovině 2, 3. Vrstva má největší pevnost ve směru podélném. Vlastnosti a chování vyztužené vrstvy v obou dalších směrech jsou přibližně tytéž. Vrstvu můžeme považovat v příčných směrech za izotropní, tj. izotropní v rovině 2, 3. [3]

3.2 Mnohovrstvové kompozity

Kompozity používané v konstrukčních aplikacích jsou většinou vícevrstvé (úhlové vrstvení); to znamená, že se skládají z několika vrstev vláknových kompozitů (lamin). Každá vrstva nebo plátek (lamina) je jednovrstvový kompozit a tato orientace se střídá

podle konstrukčního návrhu. Každá vrstva kompozitu je obvykle velmi tenká, obvykle o tloušťce 0,1 mm, a proto nemůže být použita přímo. Pro použití v technických aplikacích se několik stejných nebo odlišných vrstev spojuje dohromady do vícevrstvého kompozitu. Jsou-li materiály složek v každé vrstvě stejné, nazývají se stručně lamináty. [3]

3.2.1 Hybridní lamináty

Znamenají vícevrstvé kompozity sestávající z vrstev zhotovených ze složek u různých materiálů. Například jedna vrstva hybridního laminátu může být epoxid vyztužený skleněnými vlákny, zatímco jiná vrstva může být epoxid vyztužený grafitovými vlákny. [3]

3.2.2 Lamináty

Skládají se z vrstevnatě uložených plochových vrstev výztuže a pojiva, které je vzájemně spojuje. Tyto spojovací mezivrstvy jsou posuzovány jako nekonečně tenké a odolné proti smyku, tj. schopné přenést zcela deformace jednotlivých vrstev na vrstvu sousední. Tím je při namáhání v rovině laminátu zaručena stejná deformace všech vrstev. Laminát se tak chová jako vrstva určitého kompozitu. [4]

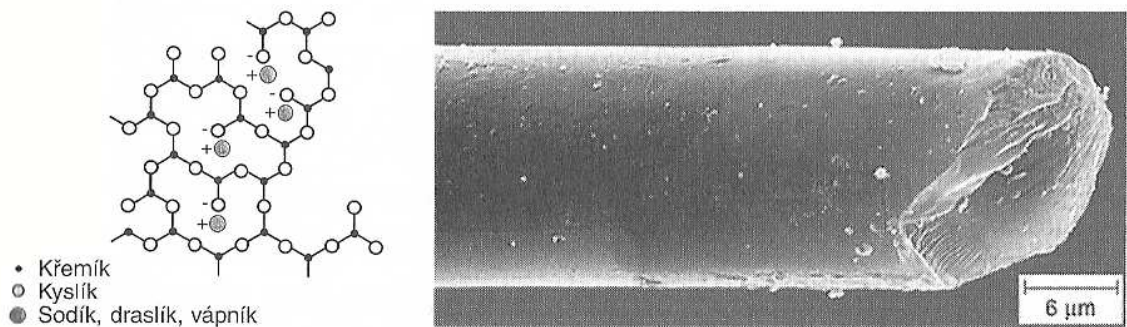
4 VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA

Materiály ve formě vláken se cíleně jako konstrukční prvky používají zřídka. Zajímavou skupinou materiálů se stávají teprve v kompaktní formě, jako je tomu v kompozitních materiálech. Kompozitní - vlákny vyztužené - plasty se skládají jednak z vláken s vysokou měrnou pevností, příp. tuhostí, jednak z rozmanitě přizpůsobivého úložného materiálu - matrice. [4]

4.1 Skleněná vlákna

Textilní skleněná vlákna (GF - Glass Fiber) je společný název pro tenká vlákna (\varnothing 3,5 až 24 μm) s pravidelným kruhovým průřezem, tažená z roztavené skloviny a používaná pro textilní účely.

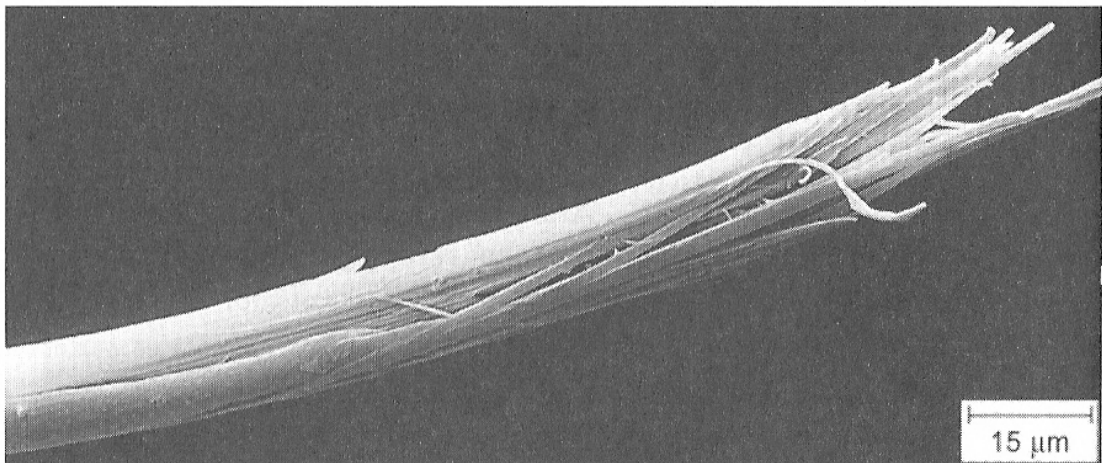
Skleněná vlákna z bezalkalické skloviny jsou vynikajícím elektrickým izolantem s vysokou prostupností pro záření, proto se označují jako E-vlákna (elektrická) a jejich sklovina jako E-sklovina. Je to nejčastěji používaný druh skloviny pro výrobu vláken, který postupně jako standardní typ obsadil téměř 90 % trhu. [4]



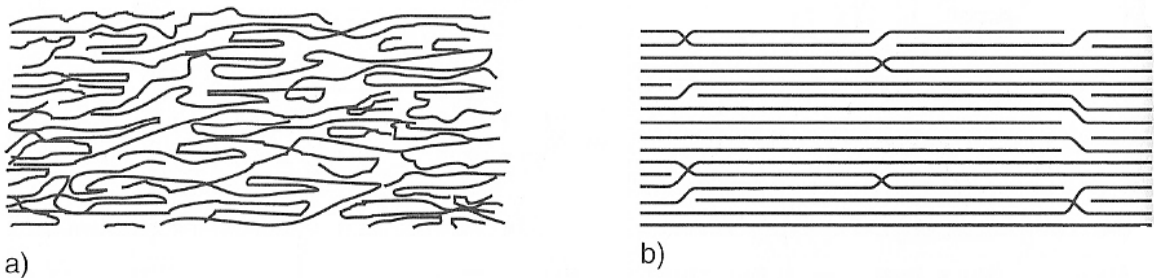
Obrázek 5 *Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem)* [4]

4.2 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (AF - Aramid Fiber) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů, jejichž kovalentní vazby jsou orientovány podle osy vlákna; předností těchto vláken je vysoká pevnost a tuhost. [4]



Obrázek 6 Řez aramidovým vláknem se silným roztřepením v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [4]



Obrázek 7 Orientace řetězců

a) normální organická vlákna s řetězci se záhyby a kolísáním jejich orientace (krystalické a amorfní oblasti)

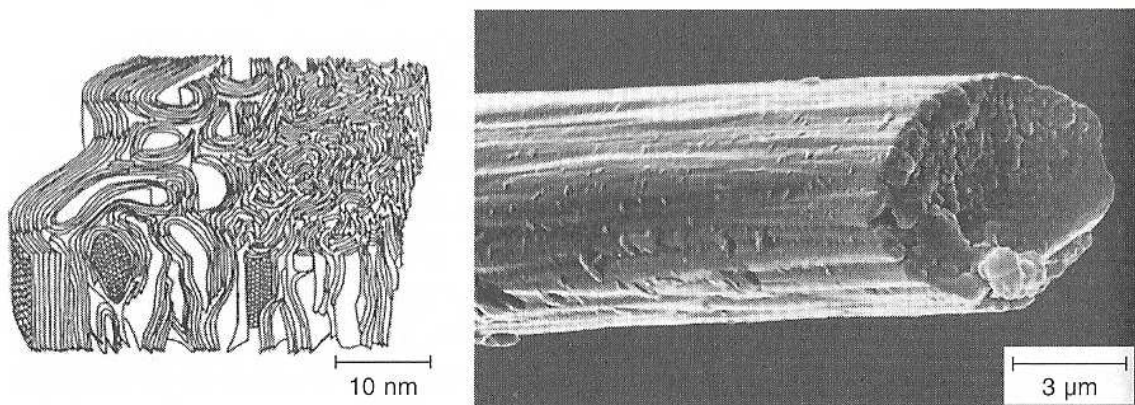
b) aramidové vlákno s dlouhými přímými úseky bez záhybů, orientovanými podél osy vlákna (struktura vysoce krystalická) [4]

Aramidová vlákna se mohou zpracovávat se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi i termoplasty. V laminátu lze využít až 70 % jejich skutečné pevnosti, při zvláště těžné matrici dokonce ještě více.

Aramidová vlákna mají vzhledem k vysoké orientaci molekul záporný součinitel teplotní délkové tepelné roztažnosti ve směru vláken, podobně jako vlákna uhlíková. Aramidová vlákna jsou citlivá na působení vody. [4]

4.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna (CF - Carbon Fiber) jsou technická vlákna s extrémně vysokou pevností a tuhostí, ale s nízkou tažností. Výchozí organické suroviny ve vláknitém tvaru jsou nejprve karbonizovány. Přitom se odštěpí téměř všechny prvky až na uhlík. Se stoupající teplotou, a tím se zvyšující grafitizací, zlepšují se mechanické vlastnosti. Při teplotě nad 1 800 °C je tvorba grafitové struktury ukončena, i když vzdálenost vrstev ve vláknech zůstává vždy větší než u vrstev v čistém grafitu. [4]



Obrázek 8 Uhlíkové vlákno - mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem [4]

Výchozí surovinou pro výrobu uhlíkových vláken jsou tři materiály:

- **celulóza** - vyrobená vlákna však mají méně dokonalou strukturu, používají se převážně jako izolační materiál pro vysoké teploty;
- **polyakrylonitril (PAN)** - používá se od r. 1980 stále častěji, vlákna z něj vyrobená jsou považována za standardní vlákna;
- **smola**, ze které se nákladným způsobem připravují vlákna, jejichž konečná cena je vzhledem k nízké ceně výchozí suroviny příznivá. Tato vlákna mají velmi vysokou hodnotu E-modulu a velice dobré tepelné a elektrické vlastnosti. Jejich pevnost v tlaku je ve srovnání se standardními vlákny podstatně nižší, protože vazby mezi jednotlivými grafitovými roviny jsou řídké. Na trhu mají pouze malý podíl. Většina vláken s vysokým modulem pružnosti (HM) a vysokou pevností (HT) se používá pro speciální účely (ČSN EN ISO 13002-1-2).

Uhlíková vlákna se skládají z více než 90 % z uhlíku, < 7 % dusíku, < 1 % kyslíku a < 0,3 % vodíku. Mají průměr mezi 5 a 10 μm . [4]

4.4 Přírodní vlákna

Pro vyztužování plastů jsou ze všech přírodních vláken vhodná pouze vlákna rostlinná, která mají jako základ celulózu. Mezi ně patří len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Jejich výhodou je odolnost proti stárnutí a čichová nezávadnost při měnících se klimatických podmínkách. Pozoruhodné jsou i pevnosti v tahu. Vzhledem k nízké měrné hmotnosti jsou tato přírodní rostlinná vlákna zajímavou surovinou pro lehké konstrukce.

Jako přednosti je nutno uvést:

- nízkou hustotu,
- malou abrazivitu při mechanickém opracování,
- výhodnou likvidaci spalováním.

Problémy působí:

- závislost vlastností vláken na podmínkách jejich růstu,
- citlivost na působení vlhkosti,
- omezená možnost volby matrice vzhledem k nebezpečí rozkladu vláken při vysoké teplotě zpracování (odolnost do 200 °C),
- nákladná předběžná úprava pro zlepšení vazby s matricí,
- omezená délka vláken,
- možnost změn vyvolaných biologickým napadením.

Mezi nejrozšířenější druhy přírodních vláken patří len (světová spotřeba 650 000 tun/rok) a juta (2 700 000 tun/rok). Vlastnosti vhodných přírodních a skleněných vláken jsou porovnány v Tab. 1. [4]

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken [4]

Vlákno	Sklo	Konopí	Len	Juta	Sisal
E -modul ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	75 000	70 000	30 000	55 000	20 000
Mez pevnosti v tahu ($\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$)	3 500	600	750	550	600
Tažnost (%)	4	1,6	2,0	2,0	2,0
Hustota ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	2,54	1,45	1,48	$\approx 1,4$	1,45

5 MATRICE - POJIVO

Úloha matrice a její druhy

Pod pojmem matrice se rozumí materiál, kterým je prosycen systém vláken a partikulárních komponent tak, že po zpracování vznikne tvarově stálý výrobek. Vzniklá surovina se označuje jako kompozit.

Úkolem matrice je zaručení geometrického tvaru, zavedení a přenos sil, ochrana vláken, tj.:

- přenos namáhání na vlákna,
- převedení namáhání z vlákna na vlákno,
- zajištění geometrické polohy vláken a tvarové stálosti výrobku,
- ochrana vlákna před vlivy okolí.

Zásadním hlediskem pro kvalitu kompozitu je zajištění adheze na fázovém rozhraní matrice-vlákno. Pro dosažení lepší fyzikální a příp. i chemické vazby mezi vláknem a matricí se nanese na vlákno apretace vhodná pro určitý druh matrice. Matrice musí mít vhodnou viskozitu a povrchové napětí, aby vlákno smočila úplně a bez bublin.

U polymerních kompozitů se matrice dělí na termosety (reaktoplasty) a termoplasty, ale původně se pro kompozity používaly pouze vyztužené nenasycené polyesterové (UP-R) nebo epoxidové (EP-R) pryskyřice. Tyto reaktivní pryskyřice tvoří i dnes většinu kompozitních aplikací. Mají tu přednost, že jsou ve výchozím stavu nízkomolekulární a většinou při normální teplotě v tekutém stavu. I v případě, že jsou zpracovávány ve formě taveniny, je jejich viskozita nižší než viskozita taveniny termoplastů. Viskozita reaktivních licích pryskyřic se pohybuje při teplotě zpracování řádově ve stovkách mPa . s, zatímco u termoplastů dosahuje hodnot 10^3 až 10^5 mPa . s.

Proto se termosety snadněji zpracovávají, snadněji smáčejí a lépe prosycují vlákna.

[4]

Tab. 2 Porovnání viskozit termoplastových tavenin a kapalných reaktivních pryskyřic při typických zpracovatelských teplotách [4]

Matrice	Teplota zpracování	Viskozita při teplotě zpracování
Nevyztužená nenasyčená polyesterová pryskyřice (UP-R) vytvrzovaná za studena	10 až 40 °C	stovky mPa . s
Nenasycená polyesterová pryskyřice (UP-R) vytvrzovaná za tepla (např. SMC pasta)	≈ 140 °C	≈ 1 000 mPa . s
Nevyztužená epoxidová pryskyřice (EP-R) vytvrzovaná za tepla	např. 130 °C	stovky mPa . s
Polypropylen (PP)	200 až 270 °C	10 ³ Pa . s
Polyéteréterketon (PEEK)	≈ 350 až 400 °C	10 ³ až 10 ⁴ Pa . s

5.1 Termoplastické lisovací hmoty

Jsou vyztužené krátkými vlákny o délce kolem 0,2 mm, vhodné pro sériovou výrobu vstřikováním, jsou dnes běžně používány a jejich podíl na trhu je daleko vyšší než podíl termosetů. Polypropylen, polyamid, polyester, polykarbonát a mnoho dalších termoplastů, vyztužených 50 a více procenty skleněných nebo uhlíkových vláken, patří mezi materiály pro velmi namáhané aplikace. Menší, ale stále rostoucí skupinu tvoří termoplasty vyztužené rohoží nebo tkaninou, které se zpracovávají na velkoplošné dílce lisováním. Plasty vyztužené skleněnými vlákny dosahují - v závislosti na použitých složkách - hodnot mechanických vlastností ve velmi širokém rozsahu. [4]

5.2 Reaktivní pryskyřice

Reaktivní pryskyřice tvoří skupinu termosetů nejčastěji používanou při výrobě kompozitů. Jsou to kapalné nebo tavitelné pryskyřice, které se buď samostatně, nebo za pomoci jiných složek - tvrdidel, tj. iniciátorů, katalyzátorů, urychlovačů, aldehydů (fenolů) apod. - vytvrzují polyadici nebo polymerací bez odštěpení těkavých složek (ČSN 64 2001). Reaktivní pryskyřice nazýváme také licí, laminační, impregnační, prosycovací nebo zalévací (elektro) pryskyřice.

Mezi nejdůležitější typy reaktivních pryskyřic patří:

- Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

- Vinylesterové (VE-R) nebo fenakrylátové (PFA-R) pryskyřice
- Epoxidové pryskyřice (EP-R)
- Fenolické pryskyřice
- Metakrylátové pryskyřice (MA-R)
- Izokyanátové pryskyřice

Reaktivní pryskyřice se vytvrzují smícháním s tvrdidly. Mezi nejdůležitější tvrdidla patří iniciátory a urychlovače, ale také aldehydy (fenol).

Tvrdidla jsou sloučeniny, které iniciují katalyticky polymerizaci pryskyřic MA-R, UP-R, VE-R nebo FA-R, příp. ovlivňují vytvrzování v průběhu polyadice epoxidových (EP-R) nebo izokyanátových pryskyřic.

Urychlovače jsou látky, které přidány v malém množství urychlují síťovací reakci.

Směsi reaktivních pryskyřic s potřebnými tvrdidly (katalyzátor, urychlovač apod.) s plnivou nebo bez plniv, příp. obsahující rozpouštědlo, ale neobsahující vyztužující vlákna, jsou lisovací směsi. [4]

5.2.1 Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)

Tyto reaktivní pryskyřice jsou bezbarvé, až slabě nažloutlé roztoky v reaktivních rozpouštědlech, které je možno vytvrzovat za normální nebo zvýšené teploty, aniž by vznikaly těkavé vedlejší produkty. Při vytvrzování se uvolňuje reakční teplo a dochází k objemovému smrštění o 5 až 9 %.

Vzhledem k nízké viskozitě, dobrému smáčení vláken, vysoké (resp. pružně regulovatelné) rychlosti vytvrzování a přiměřeně nízké ceně jsou UP-R v mnoha případech nejčastěji používaným materiálem pro kompozitní aplikace.

UP-R (ČSN EN ISO 3672-1, 2) jsou známy již od roku 1936 a v kompozitech se uplatňují nejvíce. Přes 70 % výroby těchto pryskyřic je zpracováno ve formě kompozitů. [4]

5.2.2 Vinylesterové pryskyřice (VE-R)

Vinylesterové pryskyřice (VE-R) se liší od nenasycených polyesterových pryskyřic (UP-R) tím, že zesíťování probíhá pomocí koncových metakrylátových skupin, kde jsou také esterové vazby. U VE-R na bázi bisfenolu A je příčinou vysoké houževnatosti, velmi

dobré odolnosti proti alkalickému prostředí, ale také - vzhledem ke dvojným vazbám - i nižší tvarové stálosti za tepla. Vinylesterové pryskyřice, vycházející ze základních složek fenolických pryskyřic, jsou podstatně reaktivnější a vzhledem ke kratším molekulovým řetězcům mají nižší viskozitu a vyšší stupeň zesítnění. Jsou proto odolné vyšším teplotám, ale také relativně křehké. [4]

5.2.3 Epoxidové pryskyřice (EP-R)

Epoxidové pryskyřice (ČSN EN ISO 3673 1-2) jsou za normální teploty kapalné až pevné látky, které mohou obsahovat přidané pomocné látky, např. rozpouštědla.

Epoxidové pryskyřice patří mezi velmi hodnotné termosety s velice dobrými mechanickými vlastnostmi, vysokou rozměrovou stálostí a přilnavostí k podkladu. Pouze 8 % se zpracovává ve formě vyztužených kompozitů. Důležitými aplikačními oblastmi jsou zalévací hmoty pro elektroniku, výroba forem a nástrojů a různé povlaky, zejména pro práškové nanášení. [4]

5.2.4 Fenolické pryskyřice (PF-R)

Fenolické pryskyřice (ČSN EN ISO 10082) jsou reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolů a 30 až 50% vodných roztoků aldehydů (zejména formaldehydu). [4]

5.3 Termoplasty

Pro vyztužení termoplastů jsou používána

- krátká vlákna ($\approx 0,2$ mm) - především pro vyztužení a zesílení matrice při vstřikování,
- dlouhá vlákna (až do 25 mm) (LFT) - většinou se dávkuje z plastifikačního extruderu přímo do lisovací formy,
- nekonečně dlouhá vlákna - např. u termoplastů vyztužených skleněnou rohoží (GMT), tkaninou nebo jednosměrnými pásy se používají na polotovary pro další zpracování.

Termoplasty se liší od termosetů zpracovatelskými i uživatelskými vlastnostmi, avšak vzhledem k velkému počtu různých materiálů jako matrice je jejich všeobecné porovnání velmi obtížné.

Reaktivní pryskyřice (termosety) jsou v počátečním stavu nízkomolekulární, a proto za normální teploty nízkoviskozní, takže dobře smáčejí a prosycují vlákna výztuže. Musí se nejprve chemicky vytvrdit, aby dosáhly své konečné konzistence.

Termoplasty jsou za normální teploty pevné látky a teprve po zahřátí na teplotu většinou nad 200 °C jsou dostatečně tekuté. Použití rozpouštědel pro snížení viskozity termoplastů je problematické, protože i po odstranění rozpouštědla zůstává u termoplastů snížená odolnost proti korozi při napětí.

Zatímco se vyztužené termoplasty mohou zpracovávat a tvarovat pouze po zahřátí nad teplotu roztavení, převládá u reaktivních pryskyřic proces chemického vytvrzování, spojený s vývojem reakčního tepla. Vlastnosti matrice musí vyhovovat kritériím tvarovatelnosti a chemického vytvrzování.

Protože se zpracování reaktivních pryskyřic i termoplastů lisostřikem provádí obvykle při zvýšené teplotě, je nutné ukončit oba procesy chlazením. [4]

5.4 Spojení vlákno - matrice

Pro dosažení dobré adheze mezi vláknem a matricí je nutno provést předúpravu vlákna, např. přidávkem apretury, což může částečně odporovat požadavkům textilního zpracování (spřádání, tkaní apod.). Aby se zamezilo hromadění mnoha po sobě následujících výrobních procesů, je nutno vybrat pro vlákno takovou lubrikaci, která vyhoví jak pro textilní zpracování, tak pro vyztužení plastu. Lubrikace obsahují vazebný prostředek, který tvoří pevnou vazbu mezi vláknem a matricí. Skutečný mechanismus reakce není dosud zcela objasněn. Mezi nejběžnější vazebné prostředky patří organosilany, zejména pro kombinaci skleněných vláken a polárních plastů. Modifikované nepolární plasty (např. polyolefiny) slouží jako vazebný prostředek pro odpovídající druh matrice. Není nutno je nanášet přímo na vlákno, ale lze je použít pro formulování zpracovávaných směsí jiným způsobem. Dobrá adheze mezi vláknem a matricí zlepšuje mechanické a tepelné vlastnosti výrobků tak, že daleko překonávají vlastnosti výrobků z neupravených vláken. [4]

5.4.1 Textilní skleněná vlákna

Ve spojení s vlákny se u všech plastů uplatňují vedlejší kovalentní vazby. Proto je pevnost vzájemného spojení slabá. K jeho zlepšení se u kompozitů s reaktivní matricí používají povrchové úpravy vláken na bázi organosilanů, které se vyznačují dobrou adhezí jak k vláknům, tak i k matrici.

γ -aminosilan, který se používá často jako apretura pro epoxidové pryskyřice, obsahuje koncové aminoskupiny, které snadno reagují s epoxidovými skupinami a působí jako přídavné tvrdidlo. [4]

5.4.2 Uhlíková vlákna

Povrch uhlíkových vláken obsahuje řadu reaktivních skupin, které umožňují spojení matrice s vlákny. Výztuže určené pro aplikaci s epoxidovými pryskyřicemi jsou povrchově upraveny lubrikačními obsahující epoxidy, která současně usnadňuje přípravu textilního výrobku. Nově jsou vyvíjeny lubrikace určené pro vinylesterové a fenolické pryskyřice. Pro vyztužování termoplastů jsou používány polyuretanové lubrikace.

Adhezi zlepšuje také oxidace. Vyšší povrchové napětí uhlíkových vláken zlepšuje adhezi zejména vlivem oxidace zvýšeného polárního podílu. Často používaný tzv. finiš pro epoxidovou pryskyřici je založen na oxidaci povrchu vláken a následné úpravě kyselými skupinami. [4]

5.4.3 Přírodní vlákna

Pro úpravu povrchu přírodních vláken, která se často používají pro vyztužení polypropylenu, se používá polypropylen modifikovaný anhydridem kyseliny maleinové (MSA). Ke zlepšení adheze lze použít také úpravu plazmou. [4]

6 VLÁKNA V KOMPOZITU

Podmínky vyztužujícího účinku

Vyztužením se rozumí zvýšení pevnosti a tuhosti, které vznikne uložení výztuže do základního materiálu (matrice), přičemž musí být splněny tyto podmínky:

- vyztužující vlákna musí být pevnější než matrice:

$$\sigma_{fP} > \sigma_{mP}$$

- vyztužující materiál musí mít vyšší tuhost než matrice:

$$E_f > E_m$$

- matrice se nesmí porušit dříve než vlákno:

$$\epsilon_{mP} > \epsilon_{fP}$$

kde je E_m , příp. E_f - modul pružnosti matrice, příp. vlákna, v tahu,

ϵ_{mP} , příp. ϵ_{fP} - mezní prodloužení (tažnost) matrice, příp. vlákna,

σ_{mP} , příp. σ_{fP} - pevnost matrice, příp. vlákna. [4]

7 ZPRACOVÁNÍ - TECHNOLOGIE

7.1 Zpracování polotovarů

Vyztužené plasty se skládají z vláken jako vyztužujícího materiálu a z pryskyřic, příp. z termoplastů, jako pojiva neboli matrice.

Jednotlivá vlákna nebo příze se zpracovávají na pramence, tkaniny a rohože.

Plošné hmotnosti - gramáže tkanin jsou:

- pro skleněná vlákna 25 až 900 g . m⁻² (u rohoží 225 až 450 g . m⁻²),
- pro uhlíková vlákna 90 až 800 g . m⁻²,
- pro aramidová vlákna 60 až 460 g . m⁻².

Reaktivní pryskyřice jsou složeny z nízkomolekulárních až oligomerních podílů, které se chemickou reakcí spojují na pevnou hmotu. To je podstatnou předností při smáčení a prosycování výztuže, která se většinou používá ve formě plochých polotovarů.

Termoplasty jsou zcela polymerované makromolekulární látky, které se působením teploty roztaví, ve formě taveniny smáčí a prosytí výztuž a po ochladnutí ztuhnou jako polotovar. Jejich viskozita je všeobecně mnohonásobně vyšší než viskozita reaktivních pryskyřic ve výchozím stavu. Aby nedošlo k poškození hotových výrobků, používají se pro jejich snadnější vyjímání z formy separátory. [4]

7.2 Zpracování vyztužených reaktivních (licích) pryskyřic

Zpracování vláken a pryskyřic na výrobky zahrnuje přípravu pryskyřičných hmot, prosycení vyztužujících vláken, tvarování polotovaru s následným vytvrzením a případným dodatečným opracováním vytvrzeného výrobku.

Použité pracovní postupy jsou velmi rozmanité a je možno je rozdělit na postupy:

- manuální,
- částečně automatizované,
- zcela automatizované,
- kontinuální,
- zvláštní. [4]

7.3 Recyklace

Je velmi obtížné najít účelnou kombinaci recyklovatelného materiálu a z hlediska recyklovatelnosti vhodnou konstrukci. Výběr materiálů, které jsou vhodné pro recyklaci, je nutno posoudit z hlediska jejich další využitelnosti. Kritéria pro jejich využití jsou odlišná od kritérií, jako jsou pevnost, modul pružnosti, odolnost proti stárnutí, chemická odolnost, barva a kvalita povrchu. [4]

7.3.1 Opakované zpracování materiálů

Pro opakované zpracování kompozitních materiálů platí, že ani po roztřídění a sběru čistých starých dílů nemůže být znovu získán materiál, který by odpovídal původnímu. Je proto nutné buď snížit požadavky na materiál pro určité aplikace, nebo najít nové aplikace tak, aby velká množství recyklovaného materiálu našla odbyt na trhu. Každé nové použití recyklátu zhoršuje vlastnosti, takže je nutno najít stupňovitou škálu aplikací se stále nižšími požadavky, na jejímž konci by bylo využito pouze energetické zhodnocení výrobou tepla. [4]

7.3.2 Spalování

Spalovny vybavené odpovídajícími ohništi a zařízením pro čištění spalin umožňují při současném stavu techniky ekologicky přijatelné spalování plastů a získávání energie. Náhradou příměsí, jejichž spalováním vznikají škodlivé látky (např. separátory prepregů na bázi stearátů zinku, změkčovadla, nehořlavé přísady obsahující halogeny atd.), je možno výsledný obsah škodlivých látek dále snížit.

Tvrzení, že spalování cenných surovin je plýtváním, není odůvodněné, protože 90 % nafty se spotřebuje na výrobu topného oleje a benzinu a pouze 5 % se spotřebuje na výrobu plastů.

S ohledem na skutečnost, že při výrobě plastů se spotřebuje pouze část energie, která je nutná na výrobu tradičních konstrukčních materiálů, jako je ocel nebo hliník, se bude využití plastů právě s ohledem na životní prostředí dále zvyšovat. [4]

8 ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

8.1 Některé typické vlastnosti vyztužených plastů

V porovnání s nevyztuženými plasty není závislost vlastností kompozitů na teplotě, době zatížení a podmínkách prostředí (vlhkost vzduchu, agresivní média, UV záření) tak výrazná. Vliv na jejich chování při mechanickém namáhání má především vytvrzení matrice, rozložení plniva nebo vláken, orientace vláken, příp. jejich zakřivení a zvláště obsah vláken. Proto je třeba při vzájemném srovnávání vlastností nepominout velikost obsahu vláken.

Při statických, stejně jako dynamických, zkouškách pevnosti kompozitů jsou to lokální poškození různého druhu, způsobující porušení nosných vláken, která předcházejí celkový lom materiálu. Zejména ve vrstvách, kde existuje nebezpečí vzniku mezivláknové poruchy, např. při zatížení tahem kolmo ke směru vláken nebo smykem pod úhlem 45° , mohou vzniknout trhliny, které se negativně projeví i u vrstev zatížených ve směru vláken. Z toho plyne, že vrstvy s orientací vláken 0° ke směru zatížení samy vykazují vyšší pevnosti než stejné vrstvy ve spojení s vrstvami s orientací výztuže 90° ke směru zatížení, ve kterých dochází k prvním poruchám.

Při zatížení tlakem je v takovém případě snížena lokální schopnost podepření vláken maticí, a je tak umožněno jejich lokální vybočení. Při zatížení tahem vedou lokální přerozdělení napětí a vzniklá vrubová napětí ke koncentracím napětí a vrubovým účinkům v přilehlých vrstvách. Zvětšuje se upínací délka. Vlivem různého působení lokálních poškození a jejich dalšího nového vzniku jsou proto při dynamickém zatěžování míjivá namáhání příznivější než střídavá.

Okrajové podmínky vlastní techniky provedení zkoušek často ovlivňují výsledek měření. V oblasti zavedení síly dochází k počátečním deformacím a k bránění v příčné kontrakci. To u vysokopevných a tuhých kompozitů s anizotropními vlastnostmi vyvolává zvýšenou úroveň trojrozměrné napjatosti v okolí upnutí zkušebních těles a může to výrazně ovlivnit výsledek zkoušky. [4]

8.2 Mechanismus porušování

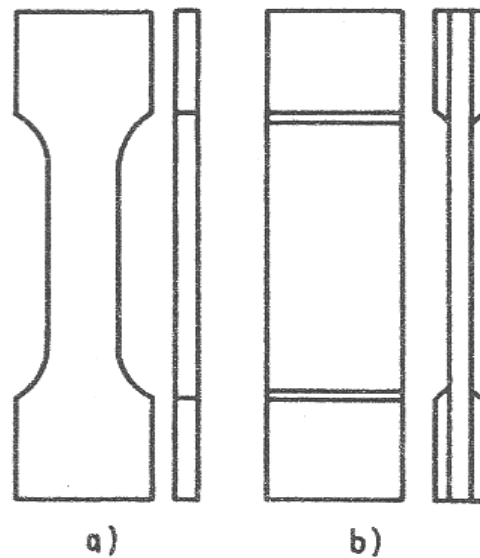
U laminátů zatížených víceosým namáháním existuje větší nebezpečí vzniku mezivláknového poškození než u jednosměrně vyztužených vrstev při namáhání ve směru vláken. Vznik poškození závisí na druhu zatížení. Nepravidelnosti v uspořádání vláken, vzduchové bubliny, nedostatky v adhezním spojení složek se projevují jako koncentrace protažení a napětí. Podle druhu zatížení lze očekávat vznik tvorby různých typů trhlin.

V případě, že je tažnost samotné matrice vyšší než tažnost vláken, lze její velikost snížit pod velikost tažnosti vláken přidáním plniv.

Při rázovém namáhání závisí forma poškození na velikosti namáhání. Při nižší energii rázu vznikají trhliny v jednotlivých vrstvách. Počet příčných trhlin je u křehké matrice vyšší než u tažné. [4]

8.3 Zkouška jednosměrným tahem

Statická zkouška jednosměrným (osovým) tahem je pravděpodobně nejjednodušší a nejobvyklejší mechanická zkouška. Tato zkouška se používá k určení modulu pružnosti a pevnosti v tahu a Poissonova čísla materiálu. V případě kompozitních materiálů je tahová zkouška obvykle prováděna na plochých vzorcích. Nejčastěji užívaný tvar vzorků je normovaná plochá tyč (ve tvaru kosti) nebo vzorek s rovnými stranami a koncovým zesílením, jak ukazuje Obrázek 9. Osově zatížení je přenášeno na vzorek buď čepem nebo čelistmi, jak ukazuje Obrázek 10. [3]

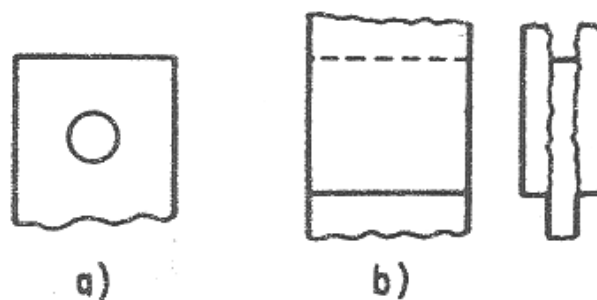


Obrázek 9 Vzorky pro tahovou zkoušku:

a) plochá tyč normovaného tvaru (tvaru kosti),

b) plochá tyč s rovnými stranami a zesílenými

konci [3]

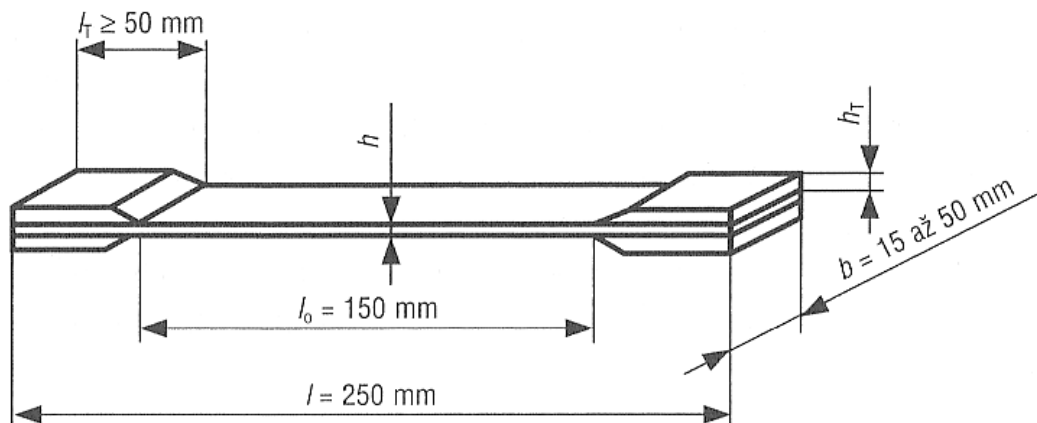


Obrázek 10 Koncové uchycení vzorků pro tahovou

zkoušku: a) typ s čepem,

b) typ s čelistmi [3]

Pro kompozity je navrženo mnoho tvarů a geometrií zkušebních těles v příslušných normách (např. ČSN EN ISO 527-1 až 5), zohledňujících stavbu kompozitu. U laminátů s výztuží ve formě tkaniny a jednosměrně vyztužených laminátů se pro zkoušky v tahu osvědčila prizmatická tělesa se zesílením v místě upnutí (Obrázek 11). [4]



Obrázek 11 Příklad zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu jednosměrně, izotropně i anizotropně vyztuženého plastového kompozitu dle doporučení ČSN EN ISO 527 [4]

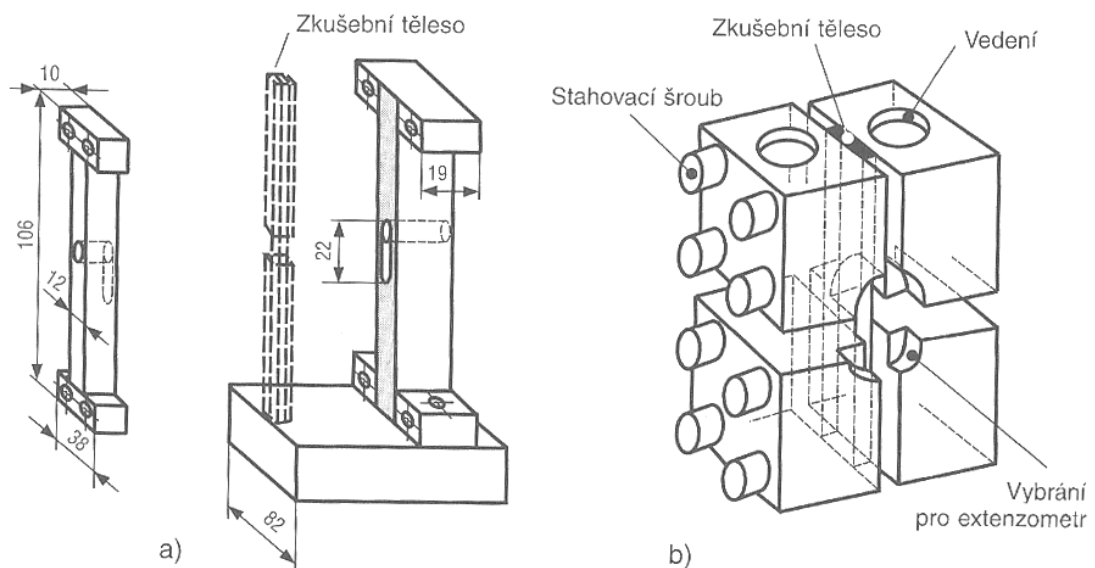
Materiál zesílení má mít modul pružnosti přibližně rovný modul zkušebního tělesa a zesílení má být na konci ve směru k měrné délce tělesa zkoseno, aby se snížil vliv koncentrace napětí. Síla působí na vzorek smykem přes vrstvu lepidla. Lom má nastat uvnitř měrné délky, minimálně 10 mm od konců zesílení. [4]

8.4 Zkouška jednosměrným tlakem

Z důvodu nebezpečí ztráty stability při určování pevnosti v tlaku jednosměrně vyztuženého laminátu musí být zkušební vzorek pečlivě navržen (ČSN EN ISO 604). Vhodná jsou pravoúhlá prizmata, válce nebo trubky, neboť zajišťují symetrické zatížení.

Při dobré adhezi vlákno-matrice nastává lom vlivem smyku, při špatné adhezi vlivem delaminace.

Aby se odstranilo rozvrstvení v kontaktní rovině se zatěžovacím zařízením, byly navrženy různé opěrné přípravky, sloužící také k vyloučení vybočení zkušebního tělesa (Obrázek 12). [4]



Obrázek 12 *Modifikované přípravky pro zkoušku pevnosti v tlaku s opěrným provedením*
 a) *přípravek vyvinutý v Boeing (podle ASTM D 695, DIN 65375)*
 b) *přípravek CLC (Combined-Loading-Compression podle ASTM D 6641) [4]*

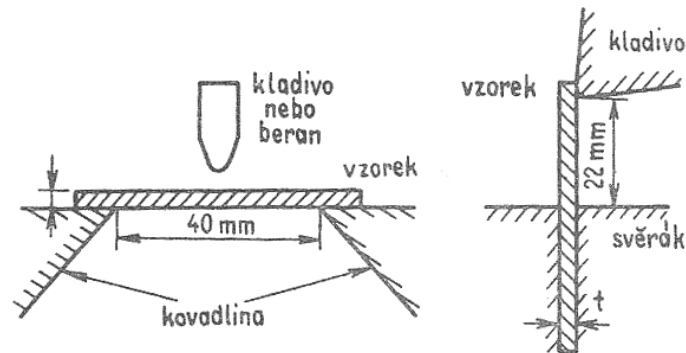
Při zatížení tlakem je obtížné v celém zkušebním tělese realizovat jednoznačně čistý stav napjatosti během celé zkoušky. Plochy sloužící k zavedení vnějšího zatížení musí být zcela rovné a rovnoběžné. Zeslabení tloušťky stěny vede k rozdílům v odolnosti vůči ztrátě stability.

Zkušební tělesa pro zkoušku tlakem lze stabilizovat připevněním zesílení k jejich koncům. Tvar zesílení může významně ovlivnit výsledky zkoušek, zejména při zkouškách za zvýšených teplot. [4]

8.5 Rázové zatížení

Velmi častý způsob hodnocení rázových vlastností je určení houževnatosti materiálu měřením energie potřebné k přelomení vzorku určitého tvaru. Pro tento účel jsou užívány dobře známé rázové zkoušky Charpy a Izod, odvozené pro izotropní materiály. Uspořádání zkoušek jsou schematicky naznačena na obrázku (Obrázek 13). Při Charpyho zkoušce je vzorek prostě podepřen na obou koncích a přerážen kyvadlem uprostřed rozpětí. Ve zkoušce podle Izoda je zkušební vzorek vetknut na jednom konci jako konzola a přerážen kyvadlem na volném konci. Homogenní izotropní materiály se obvykle zkoušejí na vzor-

cích s vrubem na tažené straně. Vrub vyvolává vysokou koncentraci napětí a tím minimalizuje energii potřebnou pro vznik porušení. Celková změřená energie potřebná pro porušení je pak převážně energie pro rozvoj porušení. [3]



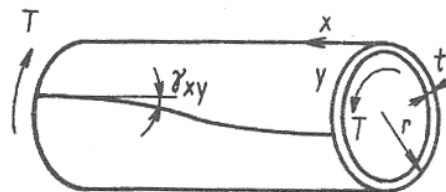
Obrázek 13 Schematické uspořádání rázové zkoušky:

a) Charpyho zkouška,

b) zkouška podle Izoda [3]

8.6 Rovinné zkoušky smykem

Zkoušky, ve kterých dochází ke smykovému zkosení pouze v rovině vzorku z kompozitního materiálu, jsou nazývány rovinné zkoušky smykem. Vlastnosti, které se určí touto zkouškou, jsou modul pružnosti ve smyku a pevnost ve smyku. V těchto zkouškách je vzorek materiálu vystaven zatížení, které vyvolá stav napjatosti v čistém smyku, a měří se vznikající přetvoření. [3]



Obrázek 14 Zkouška trubky krutem [3]

Nejsnadnější způsob, jak vyvodit stav čistého smyku, je namáhat tenkostěnnou kruhovou trubku kroucením kolem její osy, jak schematicky ukazuje Obrázek 14. Tak vzniká

rovnoměrný smyk na povrchu trubky. Vztah mezi kroutícím momentem T a smykovým napětím τ_{xy} je

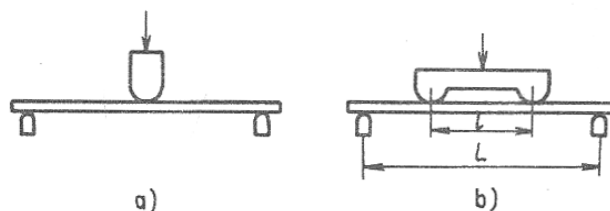
$$\tau_{xy} = \frac{T}{2\pi r^2 t}$$

kde r je střední poloměr a t je tloušťka trubky. [3]

Ke zvláštnostem kompozitních materiálů patří též závislost pevnosti ve smyku na směru zatížení. [4]

8.7 Zkoušky jednoosým ohybem

Nejběžnější ohybové zkoušky jsou tříbodová a čtyřbodová zkouška, jak je schematicky znázorněno na Obrázek 15. Při těchto zkouškách se plochý vzorek podepře na dvou koncích a zatíží buď středovým břemenem (tříbodová zkouška) nebo dvěma symetricky umístěnými břemeny (čtyřbodová zkouška). Středové břemeno při tříbodovém ohybu vyvolá ohybový moment v nosníku, který se mění lineárně od nuly u podpor k maximální hodnotě uprostřed. Současně je vyvoláno rovnoměrně rozdělené interlaminární smykové napětí po celé délce vzorku. To může způsobit předčasné porušení vlivem nízké intralaminární smykové pevnosti kompozitů. Dvě symetrická břemena při čtyřbodovém ohybu vyvolají ohybové momenty lineárně rostoucí od nuly na podpoře k maximální hodnotě pod břemenem. Ohybový moment mezi břemeny zůstává konstantní. V tomto případě nevzniká žádné smykové napětí mezi břemeny a tato část nosníku je tedy namáhána čistým ohybem. Interlaminární napětí jsou vyvolána pouze ve vnějších částech rozpětí, tj. mezi břemeny a podporami. Z hlediska stavu napětí je proto čtyřbodová ohybová zkouška vhodnější, kdežto tříbodová ohybová zkouška je snáze proveditelná.



Obrázek 15 Zkouška jednoosovým ohybem:

a) tříbodový ohyb,

b) čtyřbodový ohyb [3]

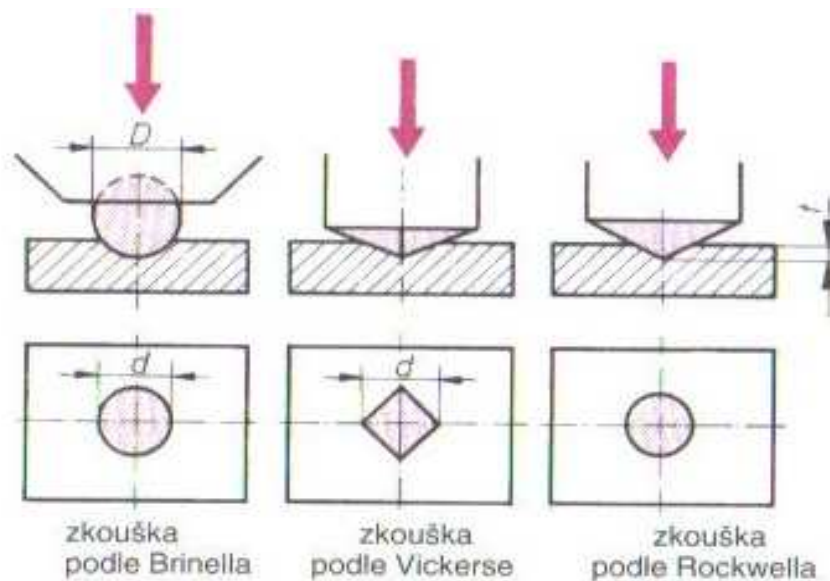
Pevnost v ohybu je teoretická hodnota napětí na povrchu vzorku při porušení. Vypočítá se z maximálního ohybového momentu za předpokladu přímkového pracovního diagramu až do lomu. Pro nosník obdélníkového průřezu je dána výrazem

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2}$$

kde M je ohybový moment při porušení, určený z lomového zatížení a rozměrů vzorku, b je šířka vzorku a h je výška vzorku. [3]

8.8 Zkoušky tvrdosti

Jako tvrdost se označuje odpor, který tělesa kladou proti vniknutí jiného, tvrdšího tělesa. Nejdůležitější zkoušky tvrdosti jsou statické a vnikací zkoušky tvrdosti, které pracují se stálými tlaky, např. zkušební postupy podle Brinella, Vickerse a Rockwella. Postupy se od sebe liší hlavně tvarem zkušebního tělíska a velikostí zatížení (Obrázek 16). Dynamické zkoušky tvrdosti, pracují rázem nebo odrazem, např. tvrdost zjištěná odrazem. [5]



Obrázek 16 Zkoušky tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwella [5]

8.9 Statické dlouhodobé zkoušky

Vyztužené plasty mají podstatně menší sklon ke krípu (zvětšování deformace při konstantním dlouhodobém zatížení) než nevyztužené. Nejdůležitějšími zkouškami při

dlouhodobém namáhání jsou kríp ($\sigma = \text{konst.}$) a relaxace ($\varepsilon = \text{konst.}$). Provádějí se při konstantním zatížení za různých podmínek namáhání, např. při zatížení tahem, tlakem, ohybem a krutem, při jednoosém i víceosém namáhání, při kombinovaném zatížení, jakož i za působení teploty, zpracovatelských vlivů, podmínek okolního prostředí a v závislosti na konstrukčních vlivech (vruby). Nejrozšířenější jsou však kríповé zkoušky při namáhání tahem (ČSN EN ISO 899-1). [4]

8.10 Provedení zkoušek

Kompozity se při každém použití nově navrhují a vyrábějí. Výsledky zkoušek na vzorcích jsou proto srovnatelné a použitelné na zhotovený díl pouze při dodržení shodných výrobních podmínek. Rozprostření pryskyřice, pečlivé promíchání složek a průběh vytvrzovací reakce ovlivňují u termosetických matric vytvrzení a jeho stupeň. Je nutné brát zřetel na dotvrzení, zvláště při měření s měnicí se teplotou. Tlak při zpracování, teplota a čas se musí pečlivě kontrolovat.

Výroba a příprava zkušební tělesa

Pro zkoušku materiálu se používají normalizované zkušební vzorky, které musí být vyrobeny předepsaným způsobem (ČSN EN ISO 295, ČSN ISO 293). Nejčastěji to jsou plochá zkušební tělesa vyříznutá z hladkých, pro tento účel vyrobených desek. Zkušební tělesa se musí vyřezávat v minimální vzdálenosti 20 mm od okrajů desky.

Při výrobě vzorku se vzhledem k bezpodmínečně nutným hladkým řezům a nepoškození hran používají kotouče osazené diamantem, příp. frézy s nástavci z tvrdého kovu za současného použití chladicího prostředku (voda, olej k vrtání).

Pro určité zkoušky (např. smyk nebo víceosé namáhání) nejsou ploché vzorky vždy vhodné. Užívají se proto trubková nebo kroužková zkušební tělesa.

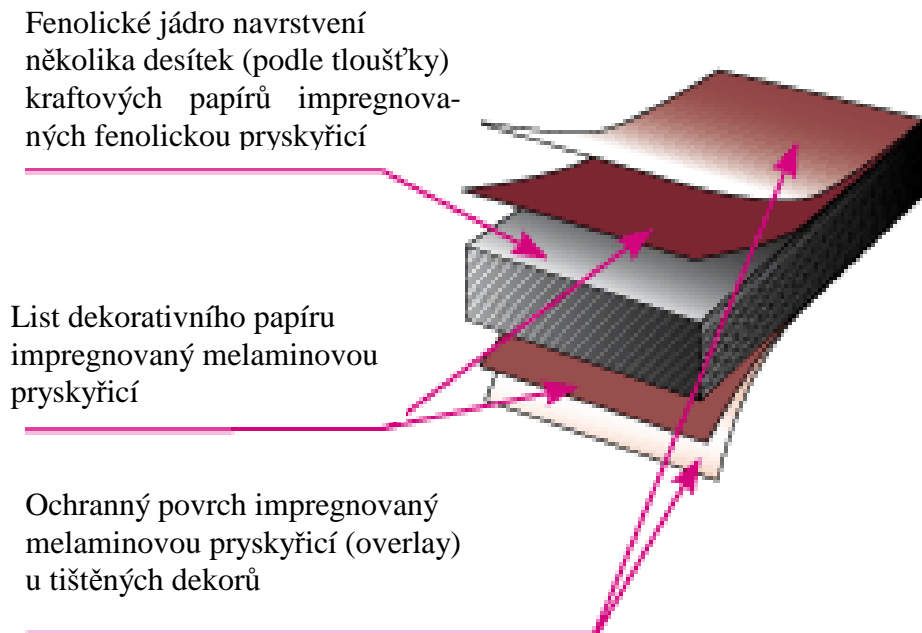
Aby se dosáhlo srovnatelných výsledků měření, jsou zkušební vzorky před zkouškou kondicionovány, což znamená jejich uložení ve vzduchu při normou stanovené teplotě a relativní vlhkosti. Podle ČSN ISO 291 je toto normální prostředí 23 ± 2 °C při $50 \pm 5\%$ relativní vlhkosti. [4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Zkušební tělesa jsem připravoval z vysokotlakého laminátu HPL od čtyřech různých výrobců. Jedním z nich je rakouský FUNDERMAX, který udává ve svých technických listech popis tohoto materiálu.

Laminátové desky se skládají z pásů přírodních vláken asi 65 % váhy a syntetických pryskyřic (zejména fenolické), které se při velkém tlaku (cca 100 bar) a vysoké teplotě (cca 150 °C) roztavují a nenávratně tvrdnou. Doba lisování je 30 až 90 minut podle lisované tloušťky materiálu. Nosné jádro je tvořeno z fenoplastových pryskyřic a krycí vrstvy jsou z laminoplastových pryskyřic (melaminová pryskyřice) (Obrázek 17).



Obrázek 17 *Struktura HPL laminátu* [11]

Tento materiál je elektricky nevodivý, odolný vůči teplu, chladu, vodní páře a je zde vyloučena i koroze, protože neoxiduje. Materiál neobsahuje organické halogeny (chlór, fluor, brom atd.) a sloučeniny, které se vyskytují v pohonných plynech nebo PVC. Neobsahuje ani azbest a ochranný přípravek na dřevo (fungicidy, pesticidy atd.) ani síru, rtuť, kadmium a jiné těžké kovy. HPL laminát je vysoce odolný proti oděru, je hygienický a může tedy přijít i do přímého styku s potravinami a dá se také snadno očistit.

Při zpracování (řezání a frézování) HPL laminátu vznikají třísky, které nejsou zdraví škodlivé a to znamená, že při tepelné likvidaci odpadu, za předpokladu moderního topného zařízení, nevznikají žádné životnímu prostředí škodlivé jedy jako kyselina solná, or-

ganické sloučeniny chlóru nebo dioxiny. Laminátové desky se rozkládají při odpovídajících vysokých teplotách ve spalovacím prostoru, při odpovídající době prodlení hořlavých plynů ve spalovacím prostoru a při dostatečném přívodu kyslíku ke kysličníku uhličitým, dusíku, vodě a popelu. Energie, která vzniká při tomto procesu, může být využita. Bez problému je i odklizení na řádné průmyslové skládky.

9.1 Příprava zkušebních těles

Zkušební tělesa jsem připravoval z ploten různých formátů a proto řezání probíhalo na formátovací pile. Po nařezání byly hrany zkušebních těles velice ostré a některé i roztřepené. Hrozilo, že se při manipulaci se vzorky poraníme a hrany jsem tedy raději obrousil na kotoučové brusce. Rozměry zkušebních těles jsem zvolil délky 150 mm, šířky 20 mm a tloušťky 4 mm pro zkoušku tahem.



Obrázek 18 Zkušební tělesa pro tahovou a rázovou zkoušku

10 PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY

V praktické části se zabývám tahovou zkouškou, zkouškou rázové houževnatosti a únikem formaldehydu do destilované vody. Tahová zkouška spolu se zkouškou úniku formaldehydu byla prováděna v Institutu pro testování a certifikaci a.s. ve Zlíně. Pro rázovou zkoušku houževnatosti byl využit přístroj v laboratoři UTB.

10.1 Zkouška tahem

Pevnost v tahu byla stanovena jako síla potřebná k přetržení vzorku HPL laminátu. Stanovení bylo provedeno při pokojové teplotě $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Ke zkoušce byl použit přístroj INSTRON 5500R (jeho maximální zatěžovací síla je 100 kN). Kromě tahové zkoušky lze na tomto přístroji provádět i tlakové, ohybové a další speciální zkoušky. Testována byla pevnost v podélném i příčném směru vždy u pěti vzorků. Počítačový program vyhodnotil naměřené údaje pro mez pevnosti, tahové napětí při přetržení, Youngův modul pružnosti, protažení při maximálním zatížení, protažení při přetržení, maximální sílu, aritmetický průměr, standardní (směrodatnou) odchylku, medián a maximální a minimální naměřenou hodnotu.

Podmínky měření:

Přístroj:	Instron 5500R
Rozsah zatížení:	0 - 100 kN
Vzdálenosti čelistí:	75 mm
Rychlost příčnicku:	1 a 5 mm/min
Rozměry vzorku:	20x150x4 mm
Přídavný přístroj:	Extensometr Instron 2630 - 100
Maximální zdvih:	100 mm
Upínací délka:	50 mm



Obrázek 19 Měřící stroj INSTRON 5500R



Obrázek 20 Upnutí zkušebního tělesa v čelistech stroje



Obrázek 21 Vzorky po provedené zkoušce

10.1.1 Youngův modul pružnosti

Konstantu úměrnosti mezi napětím a deformací nazýváme modulem pružnosti E (Youngovým modulem) a vztah Hookovým zákonem

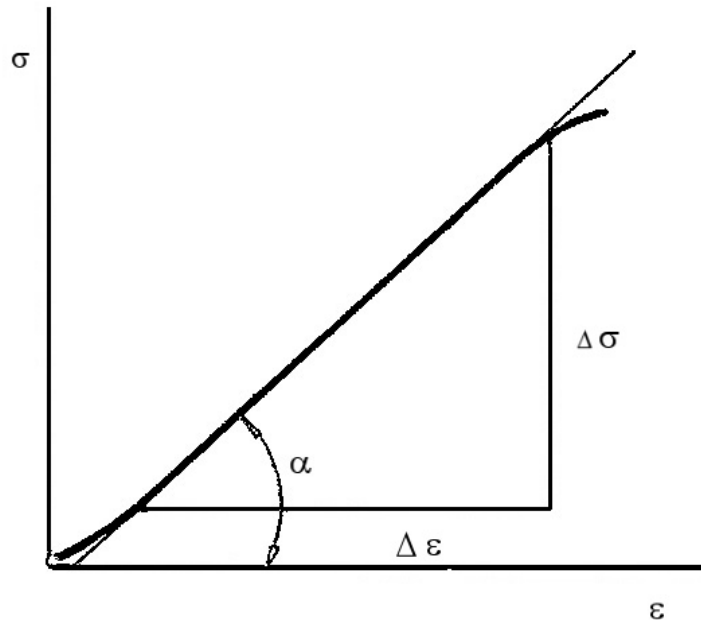
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Modul E není u ideálně elastického tělesa závislý na velikosti použité deformace. Nezávisí ani na čase, to znamená, že deformace vyvolaný působením určitého napětí vznikne okamžitě a s časem se již nemění.

Modul pružnosti u běžných druhů pryží leží v rozmezí asi 1 - 5 MPa, u polyetylénu asi kolem 100 MPa, u polyamidu 1 000 MPa a u polyesteru zpevněného skelnými vlákny asi kolem 10 000 MPa.

Modul pružnosti se stanovuje z tahových křivek jen u takových materiálů, kde lze příslušný úsek napětí a deformace v lineární části křivky přesně odečíst. I některé sklovité

polymery mají v určitém úseku křivky přímkový průběh, jak ukazuje Obrázek 22. V tomto případě se provede výpočet modulu pouze z přímkového úseku.[6]



Obrázek 22 Vyhodnocení modulu pružnosti z reálné tahové křivky [6]

10.1.2 Mez pevnosti v tahu

Mez pevnosti v tahu, krátce nazývaná pevnost v tahu, je definována jako napětí potřebné k přetržení, vztažené na původní průřez, nebo krátce jako smluvní napětí potřebné k přetržení. Pro výpočet se dosazuje vždy maximální hodnota F_{\max} , i když k destrukci došlo později při nižším napětí:

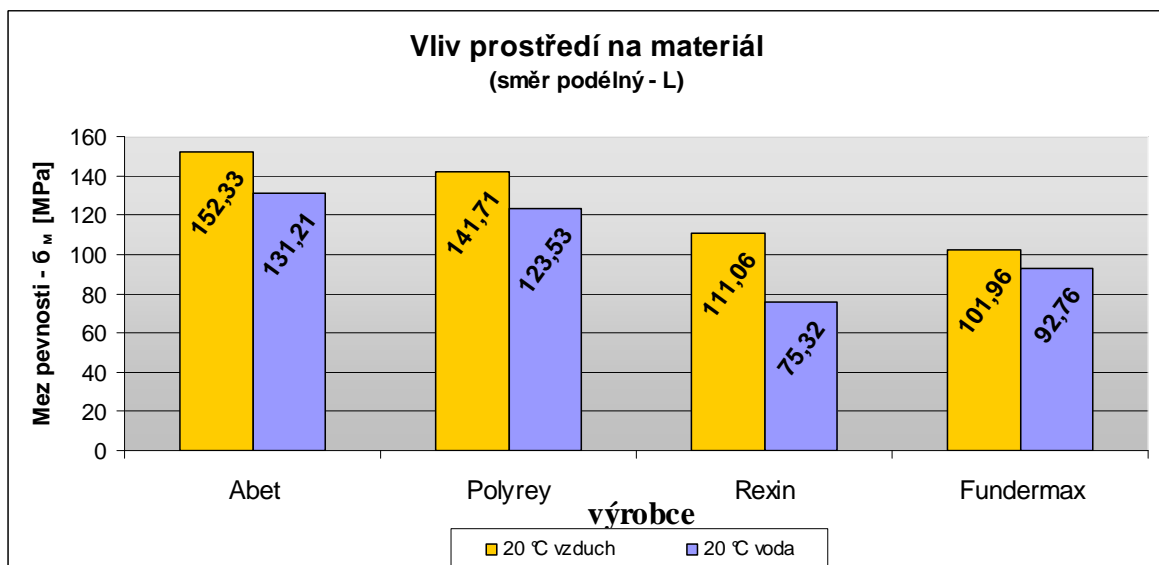
$$\sigma = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad [\text{MPa}]$$

[6], [7]

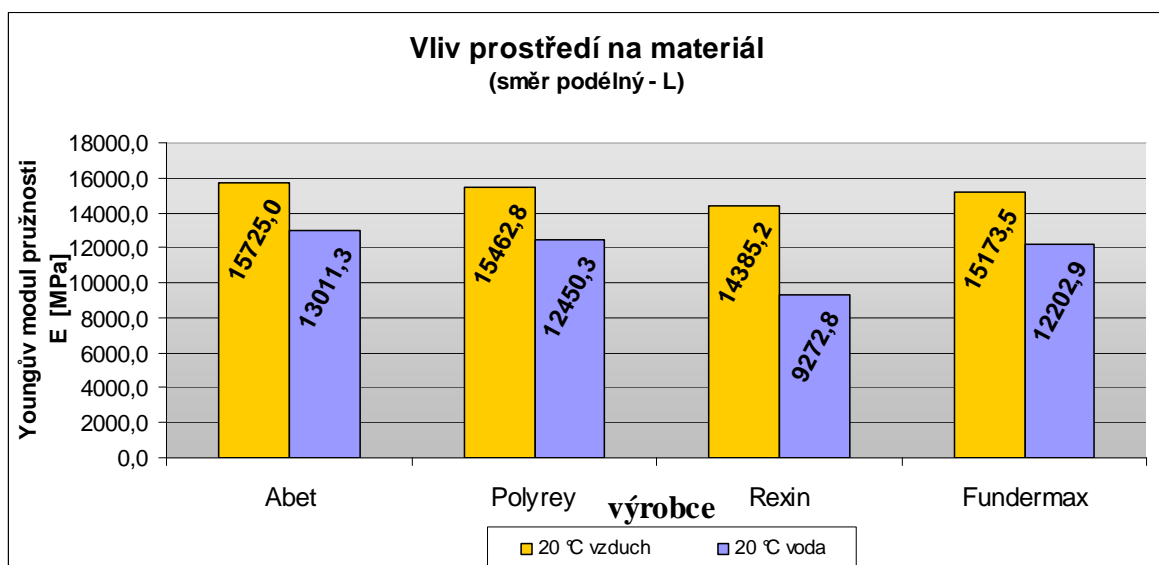
10.1.3 Vyhodnocení výsledků tahové zkoušky

Tab. 3 Směr podélný: vzduch 20 °C x 3000 hod. ve vodě

Výrobce		při 20 °C vzduchu		po 3000 hod. ve vodě (20 °C)	
		Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)	Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)
Abet	podélný - L	152,33	15725,0	131,21	13011,3
Polyrey	podélný - L	141,71	15462,8	123,53	12450,3
Rexin	podélný - L	111,06	14385,2	75,32	9272,8
Fundermax	podélný - L	101,96	15173,5	92,76	12202,9

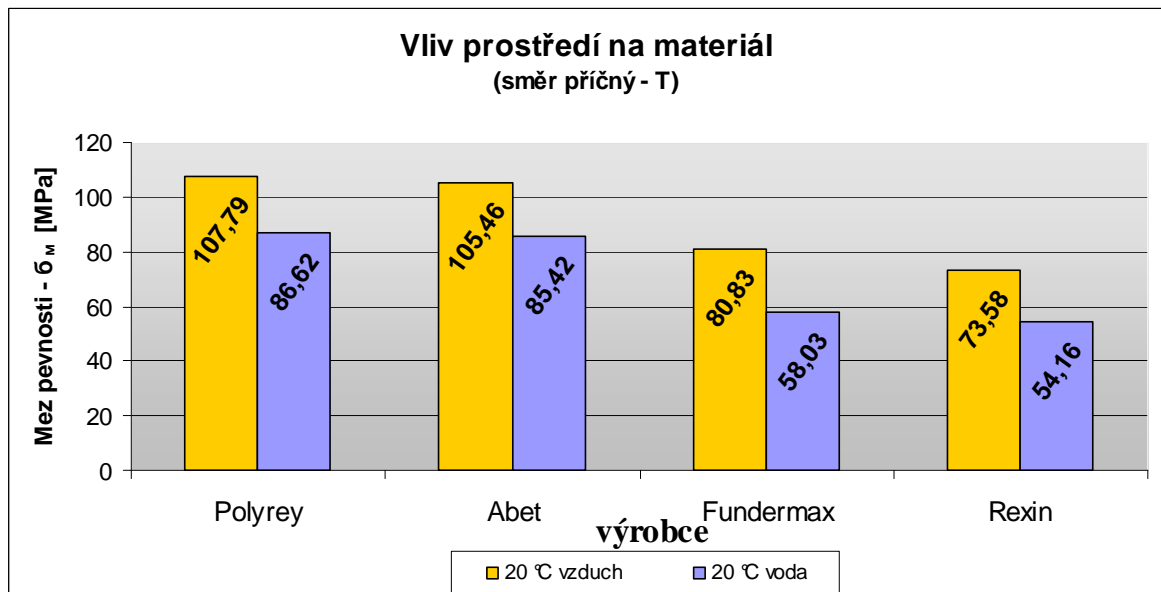
Graf 1 Vliv prostředí na materiál - směr podélný pro σ_M 

Graf 2 Vliv prostředí na materiál - směr podélný pro E

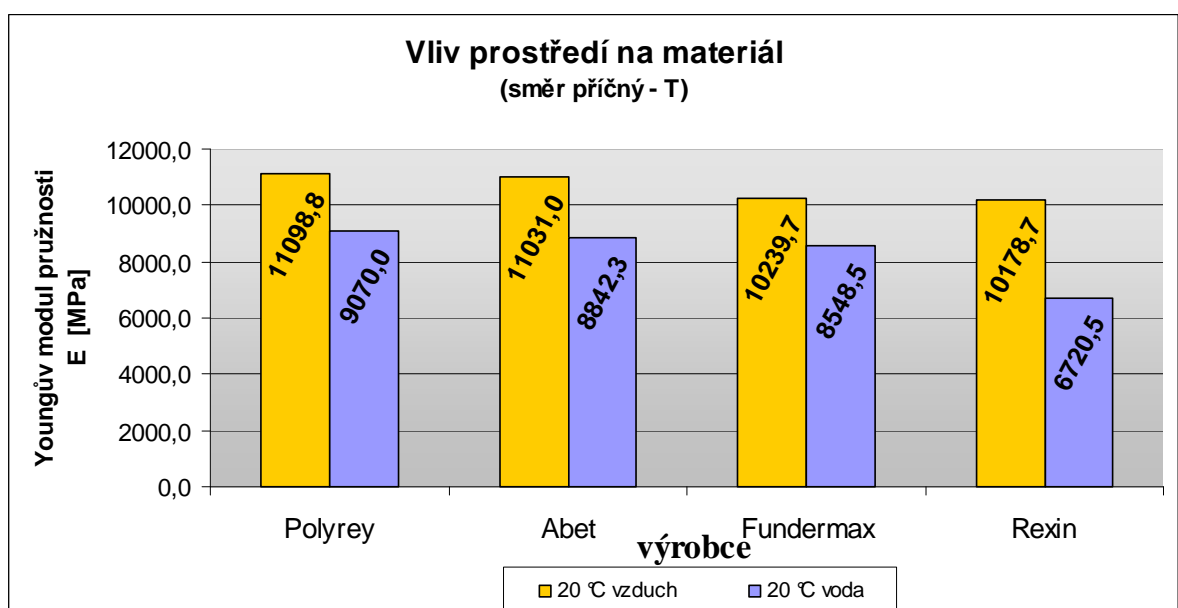


Tab. 4 Směr příčný: vzduch 20 °C x 3000 hod. ve vodě

Výrobce		při 20 °C vzduchu		po 3000 hod. ve vodě (20 °C)	
		Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)	Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)
Polyrey	příčný - T	107,79	11098,8	86,62	9070,0
Abet	příčný - T	105,46	11031,0	85,42	8842,3
Fundermax	příčný - T	80,83	10239,7	58,03	8548,5
Rexin	příčný - T	73,58	10178,7	54,16	6720,5

Graf 3 Vliv prostředí na materiál - směr příčný pro σ_M 

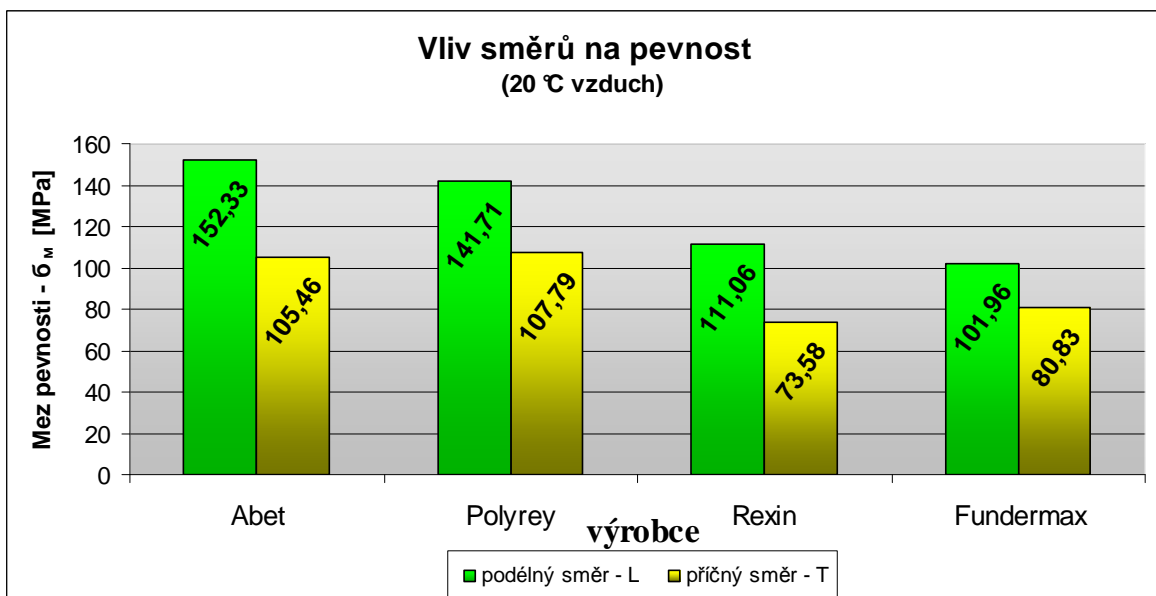
Graf 4 Vliv prostředí na materiál - směr příčný pro E



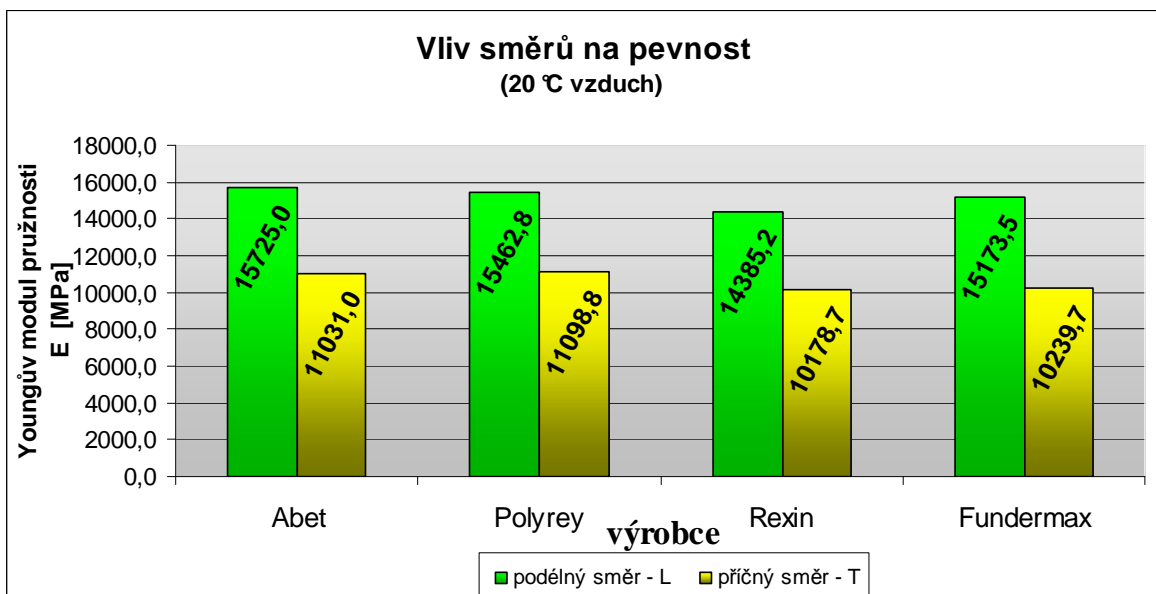
Tab. 5 Vzorky měřené při 20 °C

Výrobce		podélný směr - L		příčný směr - T	
		Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)	Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)
Abet	20 °C vzduch	152,33	15725,0	105,46	11031,0
Polyrey	20 °C vzduch	141,71	15462,8	107,79	11098,8
Rexin	20 °C vzduch	111,06	14385,2	73,58	10178,7
Fundermax	20 °C vzduch	101,96	15173,5	80,83	10239,7

Graf 5 Vliv směru na pevnost - vzduch 20 °C pro σ_M



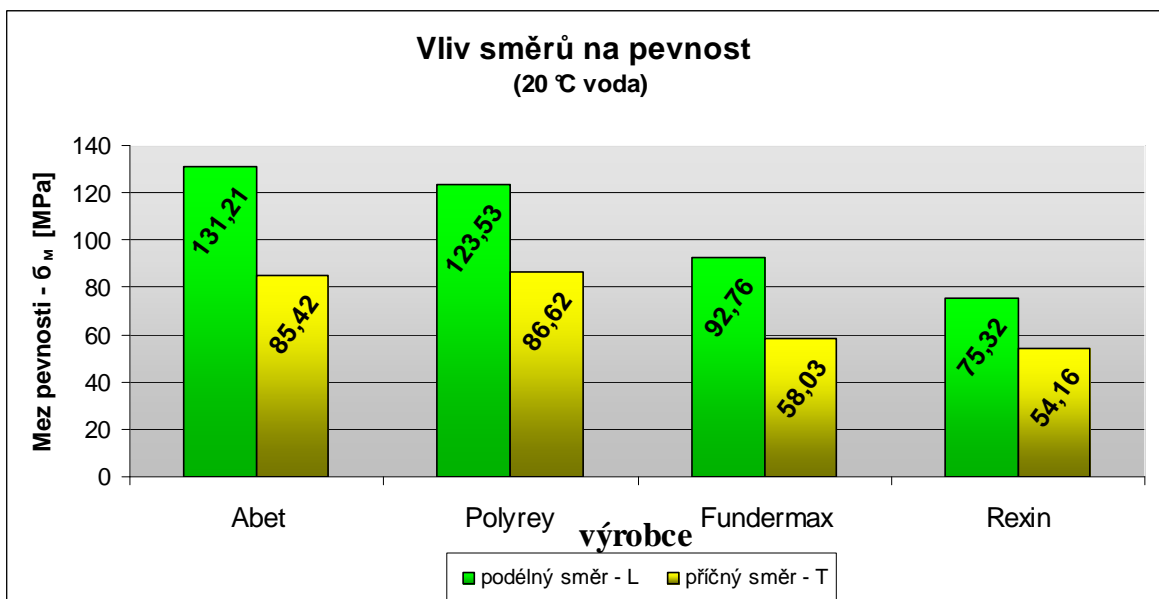
Graf 6 Vliv směru na pevnost - vzduch 20 °C pro E



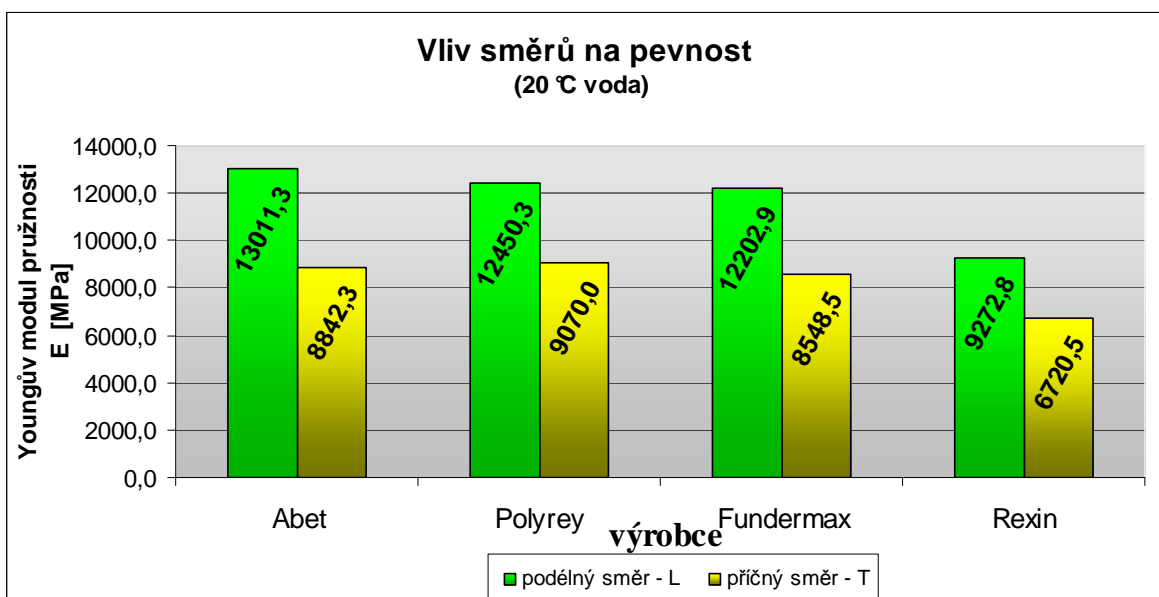
Tab. 6 Vzorky měřené po 3000 hod. ponoření ve vodě

Výrobce		podélný směr - L		příčný směr - T	
		Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)	Mez pevnosti σ_M (MPa)	Youngův modul pruž. E (MPa)
Abet	20 °C voda	131,21	13011,3	85,42	8842,3
Polyrey	20 °C voda	123,53	12450,3	86,62	9070,0
Fundermax	20 °C voda	92,76	12202,9	58,03	8548,5
Rexin	20 °C voda	75,32	9272,8	54,16	6720,5

Graf 7 Vliv směrů na pevnost (vzorky 3000 hod. ve vodě) pro σ_M



Graf 8 Vliv směrů na pevnost (vzorky 3000 hod. ve vodě) pro E



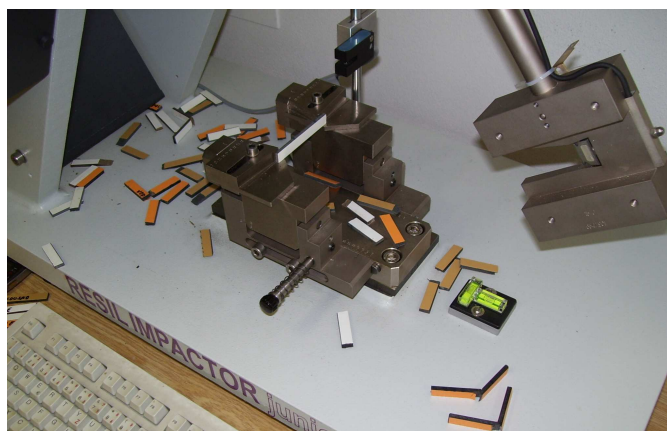
10.2 Zkouška rázové houževnatosti

Zkouška rázové houževnatosti patří k dynamickým zkouškám mechanických vlastností materiálů. Provádí se na tzv. Charpyho kladivu (Obrázek 23), ke zkoušce byl použit přístroj CEAST RESIL IMPACTOR junior určený pro testy polymerních materiálů a kompozitů dle normy ISO 179, kladivo vyvíjí energii 7,5 J - 3,7 m/s. Podstatou je přeražení jedním rázem zkušební destičky o rozměrech 74x10x4 mm (Obrázek 24) umístěné na podporách kladiva. Kladivo o hmotnosti F_G dopadá na destičku z výšky h_1 a po jejím přeražení se vyhoupne do výšky h_2 .

$$A_b = F_G \cdot (h_1 - h_2) \quad [J]$$



Obrázek 23 CEASTE RESIL IMPACTOR junior



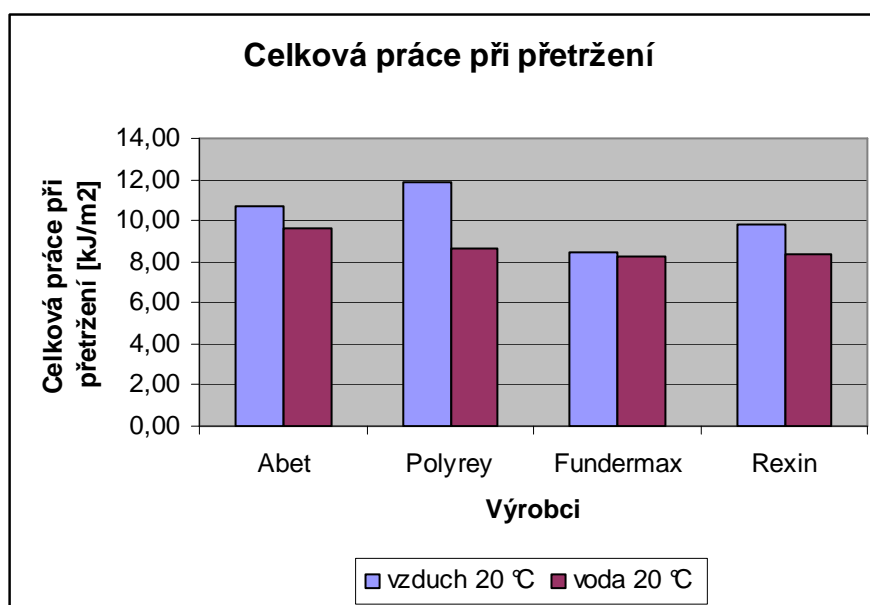
Obrázek 24 Průběh rázové zkoušky

10.2.1 Vyhodnocení výsledků rázové zkoušky

Tab. 7 Celková práce při přetržení v podélném směru

Výrobce		Celková práce při přetržení A_b [kJ/m ²]	
		vzduch 20 °C	voda 20 °C
Abet	podélný směr - L	10,66	9,59
Polyrey	podélný směr - L	11,82	8,62
Fundermax	podélný směr - L	8,51	8,29
Rexin	podélný směr - L	9,79	8,34

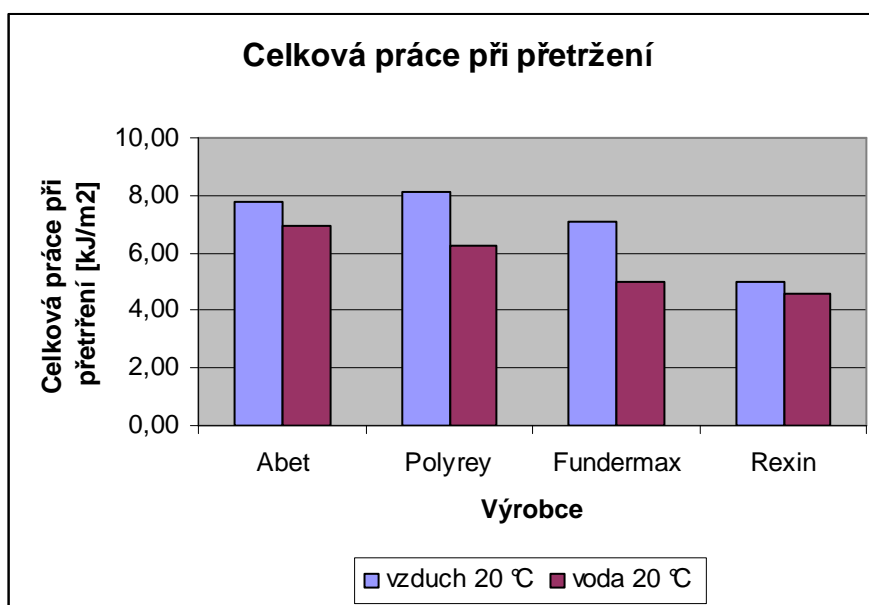
Graf 9 Celková práce při přetržení v podélném směru



Tab. 8 Celková práce při přetržení v příčném směru

Výrobce		Celková práce při přetržení Ab [kJ/m ²]	
		vzduch 20 °C	voda 20 °C
Abet	příčný směr - T	7,80	6,98
Polyrey	příčný směr - T	8,13	6,22
Fundermax	příčný směr - T	7,07	5,00
Rexin	příčný směr - T	5,01	4,58

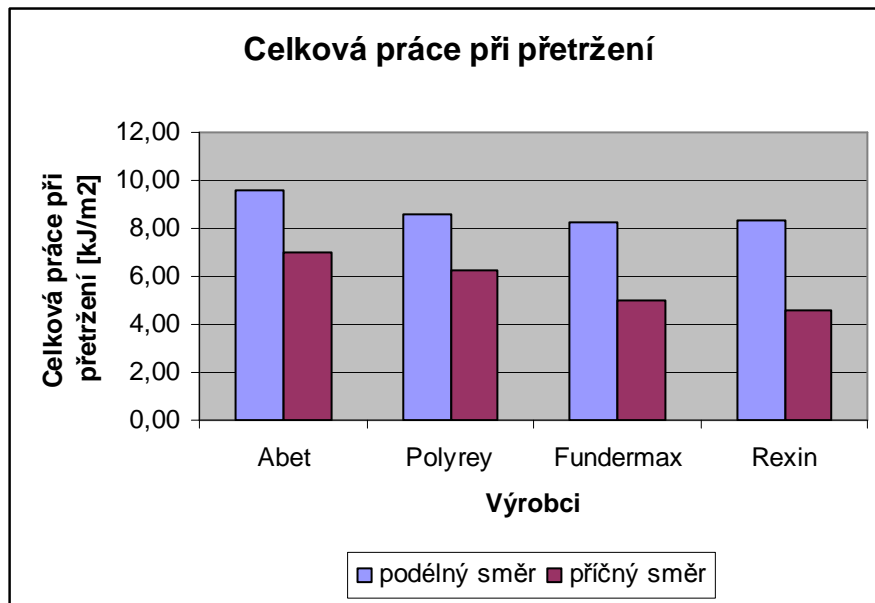
Graf 10 Celková práce při přetržení v příčném směru



Tab. 9 Celková práce při přetržení (vzorky 3000 hodin ve vodě)

Výrobce		Celková práce při přetržení Ab [kJ/m ²]	
		podélný směr - L	příčný směr - T
Abet	20 °C voda	9,59	6,98
Polyrey	20 °C voda	8,62	6,22
Fundermax	20 °C voda	8,29	5,00
Rexin	20 °C voda	8,34	4,58

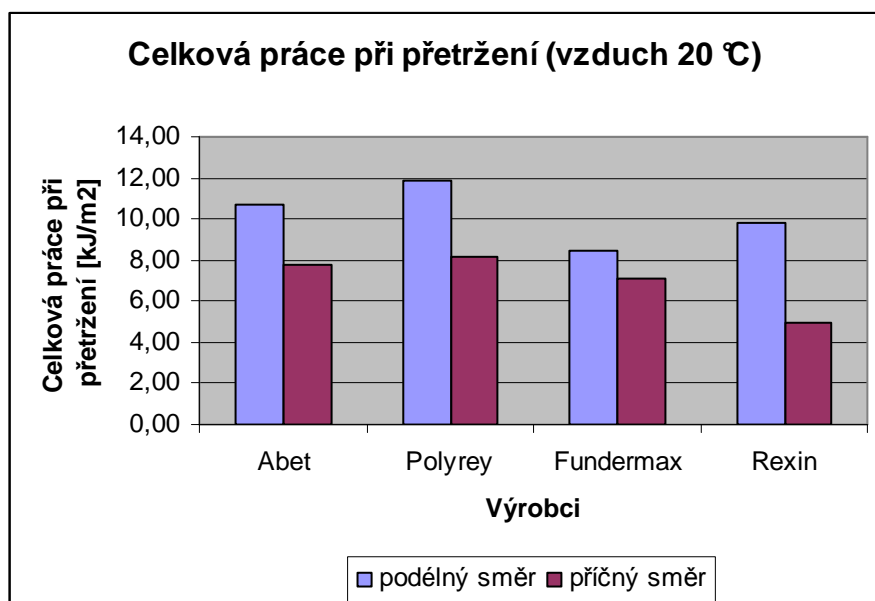
Graf 11 Celková práce při přetržení (vzorky 3000 hod. ve vodě)



Tab. 10 Celková práce při přetržení (vzduch 20 °C)

Výrobce		Celková práce při přetržení Ab [kJ/m ²]	
		podélný směr - L	příčný směr - T
Abet	20 °C vzduch	10,66	7,80
Polyrey	20 °C vzduch	11,82	8,13
Fundermax	20 °C vzduch	8,51	7,07
Rexin	20 °C vzduch	9,79	5,01

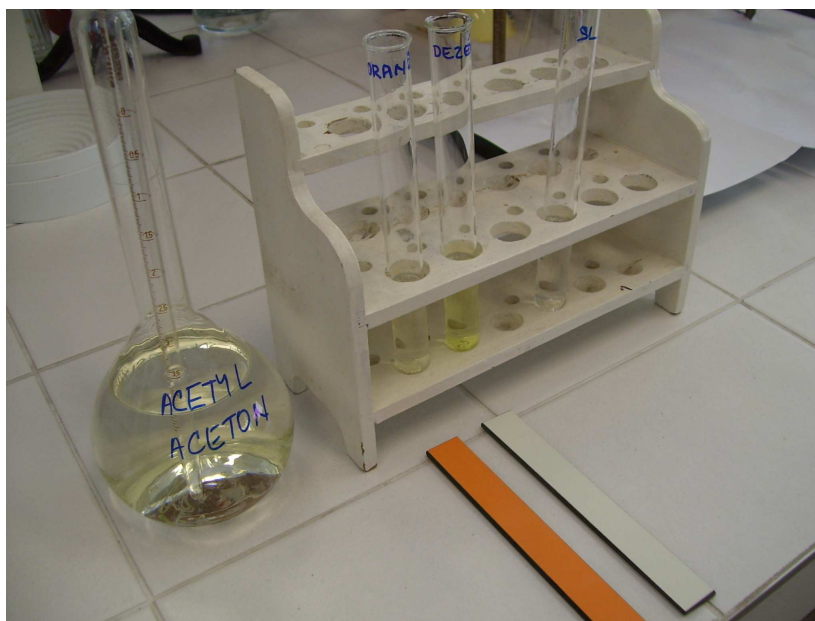
Graf 12 Celková práce při přetržení (vzduch 20 °C)



10.3 Zkouška úniku formaldehydu

Pro výrobky z tohoto materiálu by bylo potřebné zjistit únik formaldehydu do vzduchu. Tato zkouška by však byla časově, technologicky a hlavně finančně velmi náročná, proto jsem zvolil zkoušku úniku formaldehydu do destilované vody, která se používá pro stanovení celkových aldehydů ve vyluzích z výrobků určených pro styk s potravinami, ve výrobcích určených pro děti nebo pro styk s pokožkou z různých materiálů (plasty, laky, textilie apod.). Tato zkouška se vyhodnocuje na základě zbarvení roztoku.

Množství formaldehydu ve vyluzích se stanoví fotometricky po reakci s acetylacetonovým činidlem ve viditelné oblasti spektra při 412 nm. Intenzita žlutého světla, která se měří spektrofotometrem vybaveným skleněnými nebo křemennými kyvetami, vypovídá o množství formaldehydu ve vyluhu.



Obrázek 25 Zabarvení vyluhu formaldehydem

Obsah formaldehydu se vypočte ze vzorce:

$$C = \frac{C_f \cdot V}{S \cdot 10} \text{ [mg/dm}^2\text{]}$$

kde C_f = koncentrace formaldehydu odečtená z příslušné kalibrační křivky v mg/l

V = objem vyluhu v ml

S = plocha vzorku použitá při migraci v cm^2 .

Výsledek je vyjádřen v mg/dm^2 plochy vzorku.

Přestože všichni výrobci splňují podmínky pro další využití svých materiálů, jsou rozdíly u tří z nich minimální, u čtvrtého však znatelné. Od toho se odvíjejí rozdíly v jejich použitelnosti.

Podle Zkušebního protokolu akreditované laboratoře (viz příloha P III) v této zkoušce dopadl nejlépe francouzský výrobce Polyrey, který dosáhl hodnoty $0,50 \text{ mg/dm}^2$.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo zjistit, jakých hodnot dosahují materiály vysokotlakého laminátu HPL od čtyř výrobců (Polyrey - Francie, Fundermax - Rakousko, Abet - Itálie, Rexim - Čína) v podélném a příčném směru v různých prostředích a jejich porovnání.

V rázové zkoušce při teplotě vzduchu $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ je nejpevnější v podélném i příčném směru materiál od výrobce Polyrey. Ze vzorků, které byly ponořené ve vodě 3 000 hodin, měl největší pevnost v podélném i příčném směru Abet. Při změnách prostředí má v podélném směru největší stálost Fundermax, ale v příčném směru Rexin.

Při tahové zkoušce má v podélném směru mez pevnosti i Youngův modul pružnosti nejlepší vlastnosti Abet, a to i při změně prostředí. Největší stálost má však pouze při Youngově modulu pružnosti. V mezi pevnosti má v tomto směru nejlepší stálost Fundermax. V příčném směru má mez pevnosti i Youngův modul pružnosti, a to i při změně prostředí, nejlepší vlastnosti Polyrey. Při změnách prostředí má v příčném směru v mezi pevnosti nejlepší stálost Rexin a v Youngově modulu pružnosti Fundermax.

V doplňující zkoušce úniku formaldehydů do destilované vody nebyly mezi Polyreym, Abetem a Fundermaxem téměř žádné rozdíly. Výjimkou byl Rexin, který dosáhl téměř 10 x vyšší hodnoty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu I.* Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2003. 519 s. ISBN 80-7204-283-1.
- [2] BAREŠ, Richard A. *Kompozitní materiály.* Praha 1 : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1988. 328 s.
- [3] BHAGWAN, D. Agarwal; LAWRENCE, J. Broutman. *Vláknové kompozity.* Praha 1 : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1987. 296 s.
- [4] GOTTFRIED, W. Ehrenstein. *Polymerní kompozitní materiály.* 1. Praha 5 : NAKLADATELSTVÍ SCIENTIA, spol. s.r.o., 2009. 352 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [5] FRISCHHERZ, Adolf; SKOP, Paul; KNOUREK, Jiří. *Technologie zpracování kovů 1 : Základní poznatky.* Praha 2004 : SNTL Praha, 2004. 268 s. ISBN 80-902655-5-3.
- [6] SCHATZ, Miroslav; VONDRÁČEK, Petr. *Zkoušení polymerů.* PRAHA : SNTL-Nakladatelství technické literatury , 1979. 264 s.
- [7] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie.* VUT Brno : Nakladatelství Vysoké učení technické Brno, 1992. 272 s.
- [8] LUKOVICS,I.: *Konstrukční materiály a technologie.*1.vyd., VUT Brno 1992
- [9] RYBNÍKÁŘ, F., et al. *Analýza a zkoušení plastových hmot.* Praha 1 : Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1965. 420 s.
- [10] MEISSNER, Bohumil; ZILVAR, Václav. *Fyzika polymerů : Struktura a vlastnosti polymerních materiálů.* Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury Alfa, 1987. 308 s.
- [11] *Polyrey HPL, vysokotlaký laminát* [online]. [cit. 2010-05-28]. Dostupný z www.taun.cz/index.php?site=polyrey-hpl

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AF	Aramidová vlákna (Aramid Fiber).
CF	Uhlíková vlákna (Carbon Fiber).
EP-R	Epoxidové pryskyřice.
FA-R	Fenakrylátové pryskyřice.
GF	Skleněná vlákna (Glass Fiber).
GMT	Skleněná rohož.
HM	Uhlíková vlákna s vysokým modulem pružnosti.
HT	Standardní typ uhlíkových vláken.
LFT	Termoplast vyztužený dlouhými skleněnými vlákny.
MA-R	Metakrylátová pryskyřice.
MSA	Anhydrid kyseliny maleinové.
PAN	Polyakrylonitril.
PEEK	Polyéteréterketon.
PF-R	Fenolycké pryskyřice, fenolformaldehydové pryskyřice.
PP	Polypropylen.
UP-R	Nenasycené polyesterové pryskyřice.
VE-R	Vinylesterové pryskyřice.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Řez kompozitem z epoxidové pryskyřice jednosměrně vyztužené uhlíkovými vlákny (a) a buňkou vlny merino (b) (Povšimněte si různých měřítek!) [4]	17
Obrázek 2 Řez laminátem z epoxidové pryskyřice a uhlíkových vláken (a) a bambusovým stonkem (b) [4].....	17
Obrázek 3 Klasifikace kompozitních materiálů [3]	18
Obrázek 4 Schematické znázornění jednosměrového kompozitu [3]	20
Obrázek 5 Struktura skleněného vlákna (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [4].....	22
Obrázek 6 Řez aramidovým vláknem se silným roztřepáním v místě lomu (snímek pořízen rastrovacím elektronovým mikroskopem) [4].....	23
Obrázek 7 Orientace řetězců a) normální organická vlákna s řetězci se záhyby a kolísáním jejich orientace (krystalické a amorfní oblasti) b) aramidové vlákno s dlouhými přímými úseky bez záhybů, orientovanými podél osy vlákna (struktura vysoce krystalická) [4].....	23
Obrázek 8 Uhlíkové vlákno - mikrostruktura a snímek rastrovacím elektronovým mikroskopem [4].....	24
Obrázek 9 Vzorky pro tahovou zkoušku: a) plochá tyč normovaného tvaru (tvaru kosti), b) plochá tyč s rovnými stranami a zesílenými konci [3]	37
Obrázek 10 Koncové uchycení vzorků pro tahovou zkoušku: a) typ s čepem, b) typ s čelistmi [3]	37
Obrázek 11 Příklad zkušebního tělesa pro zkoušku v tahu jednosměrně, izotropně i anizotropně vyztuženého plastového kompozitu dle doporučení ČSN EN ISO 527 [4]	38
Obrázek 12 Modifikované přípravky pro zkoušku pevnosti v tlaku s opěrným provedením a) přípravek vyvinutý v Boeing (podle ASTM D 695, DIN 65375) b) přípravek CLC (Combined-Loading-Compression podle ASTM D 6641) [4].....	39
Obrázek 13 Schematické uspořádání rázové zkoušky: a) Charpyho zkouška, b) zkouška podle Izoda [3].....	40
Obrázek 14 Zkouška trubky krutem [3].....	40
Obrázek 15 Zkouška jednoosovým ohybem: a) tříbodový ohyb, b) čtyřbodový ohyb [3]	41

Obrázek 16 Zkoušky tvrdosti podle Brinella, Vickerse, Rockwella [5].....	42
Obrázek 17 Struktura HPL laminátu [11]	45
Obrázek 18 Zkušební tělesa pro tahovou a rázovou zkoušku	46
Obrázek 19 Měřicí stroj INSTRON 5500R	48
Obrázek 20 Upnutí zkušebního tělesa v čelistech stroje	48
Obrázek 21 Vzorky po provedené zkoušce	49
Obrázek 22 Vyhodnocení modulu pružnosti z reálné tahové křivky [6]	50
Obrázek 23 CEASTE RESIL IMPACTOR junior.....	55
Obrázek 24 Průběh rázové zkoušky	55
Obrázek 25 Zabarvení výluhu formaldehydem	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání mechanických vlastností přírodních a skleněných vláken [4].....	25
Tab. 2 Porovnání viskozit termoplastových tavenin a kapalných reaktivních pryskyřic při typických zpracovatelských teplotách [4]	27
Tab. 3 Směr podélný: vzduch 20 °C x 3000 hod. ve vodě.....	51
Tab. 4 Směr příčný: vzduch 20 °C x 3000 hod. ve vodě	52
Tab. 5 Vzorky měřené při 20 °C	53
Tab. 6 Vzorky měřené po 3000 hod. ponoření ve vodě.....	54
Tab. 7 Celková práce při přetržení v podélném směru	56
Tab. 8 Celková práce při přetržení v příčném směru	57
Tab. 9 Celková práce při přetržení (vzorky 3000 hodin ve vodě).....	57
Tab. 10 Celková práce při přetržení (vzduch 20 °C).....	58
Tab. 11 Polyrey - směr podélný (vzduch 20 °C)	70
Tab. 12 Polyrey - směr příčný (vzduch 20 °C).....	71
Tab. 13 Polyrey - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	72
Tab. 14 Polyrey - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	73
Tab. 15 Fundermax - směr podélný (vzduch 20 °C)	74
Tab. 16 Fundermax - směr příčný (vzduch 20 °C).....	75
Tab. 17 Fundermax - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	76
Tab. 18 Fundermax - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	77
Tab. 19 Rixin - směr podélný (vzduch 20 °C).....	78
Tab. 20 Rixin - směr příčný (vzduch 20 °C).....	79
Tab. 21 Rixin - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	80
Tab. 22 Rixin - směr příčný (3000 hod. ve vodě)	81
Tab. 23 Abet - směr podélný (vzduch 20 °C)	82
Tab. 24 Abet - směr příčný (vzduch 20 °C).....	83
Tab. 25 Abet - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	84
Tab. 26 Abet - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	85
Tab. 27 Rázová zkouška - POLYREY - směr podélný (vzduch 20 °C).....	86
Tab. 28 Rázová zkouška -POLYREY - směr příčný (vzduch 20 °C)	86
Tab. 29 Rázová zkouška - POLYREY - směr podélný (3000 hod. ve vodě)	86
Tab. 30 Rázová zkouška - POLYREY - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	87

Tab. 31 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr podélný (vzduch 20 °C).....	87
Tab. 32 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr příčný (vzduch 20 °C)	87
Tab. 33 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr podélný (3000 hod. ve vodě)	88
Tab. 34 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	88
Tab. 35 Rázová zkouška - REXIN - směr podélný (vzduch 20 °C).....	88
Tab. 36 Rázová zkouška - REXIN - směr příčný (vzduch 20 °C).....	89
Tab. 37 Rázová zkouška - REXIN - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	89
Tab. 38 Rázová zkouška - REXIN - směr příčný (3000 hod. ve vodě)	89
Tab. 39 Rázová zkouška - ABET - směr podélný (vzduch 20 °C)	90
Tab. 40 Rázová zkouška - ABET - směr příčný (vzduch 20 °C).....	90
Tab. 41 Rázová zkouška - ABET - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	90
Tab. 42 Rázová zkouška - ABET - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	91

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Vliv prostředí na materiál - směr podélný pro σ_M	51
Graf 2 Vliv prostředí na materiál - směr podélný pro E	51
Graf 3 Vliv prostředí na materiál - směr příčný pro σ_M	52
Graf 4 Vliv prostředí na materiál - směr příčný pro E	52
Graf 5 Vliv směrů na pevnost - vzduch 20 °C pro σ_M	53
Graf 6 Vliv směrů na pevnost - vzduch 20 °C pro E	53
Graf 7 Vliv směrů na pevnost (vzorky 3000 hod. ve vodě) pro σ_M	54
Graf 8 Vliv směrů na pevnost (vzorky 3000 hod. ve vodě) pro E	54
Graf 9 Celková práce při přetržení v podélném směru.....	56
Graf 10 Celková práce při přetržení v příčném směru.....	57
Graf 11 Celková práce při přetržení (vzorky 3000 hod. ve vodě).....	58
Graf 12 Celková práce při přetržení (vzduch 20 °C).....	58
Graf 13 Polyrey - směr podélný (vzduch 20 °C).....	70
Graf 14 Polyrey - směr příčný (vzduch 20 °C).....	71
Graf 15 Polyrey - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	72
Graf 16 Polyrey - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	73
Graf 17 Fundermax - směr podélný (vzduch 20 °C).....	74
Graf 18 Fundermax - směr příčný (vzduch 20 °C).....	75
Graf 19 Fundermax - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	76
Graf 20 Fundermax - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	77
Graf 21 Rixin - směr podélný (vzduch 20 °C).....	78
Graf 22 Rixin - směr příčný (vzduch 20 °C).....	79
Graf 23 Rixin - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	80
Graf 24 Rixin - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	81
Graf 25 Abet - směr podélný (vzduch 20 °C).....	82
Graf 26 Abet - směr příčný (vzduch 20 °C).....	83
Graf 27 Abet - směr podélný (3000 hod. ve vodě).....	84
Graf 28 Abet - směr příčný (3000 hod. ve vodě).....	85

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: TABULKY A GRAFY NAMĚŘENÝCH HODNOT TAHOVÉ ZKOUŠKY

PŘÍLOHA P II: RÁZOVÁ ZKOUŠKA

PŘÍLOHA P III: ZKOUŠKA ÚNIKU FORMALDEHYDU - PROTOKOL

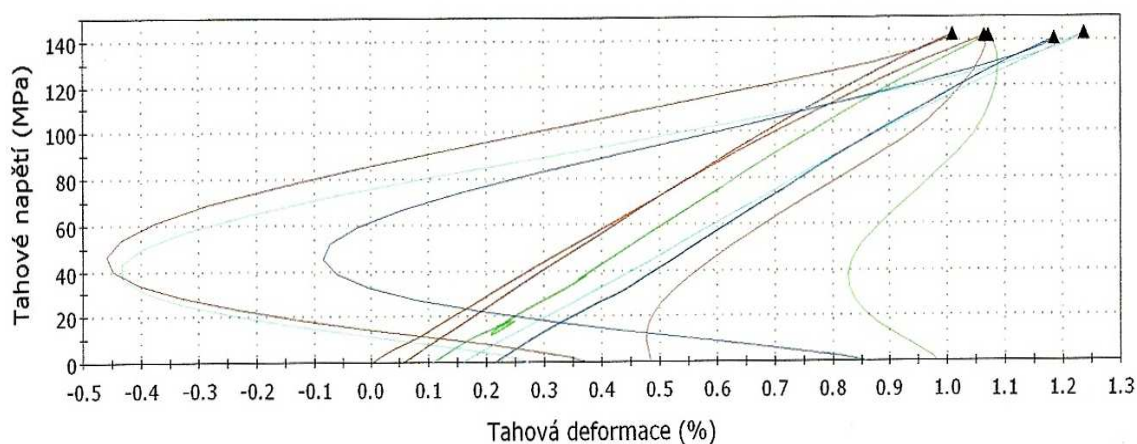
PŘÍLOHA PI: TABULKY A GRAFY NAMĚŘENÝCH HODNOT TAHOVÉ ZKOUŠKY

Tab. 11 Polyrey - směr podélný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,09	19,86	141,55	141,55	14852,6	1,06	1,06	11498,0
vzorek č.2	4,06	19,57	142,27	142,27	16559,3	0,95	0,95	11304,1
vzorek č.3	4,03	19,93	141,70	141,70	15872,3	0,96	0,96	11381,1
vzorek č.4	4,02	19,74	142,61	142,61	14205,7	1,08	1,08	11316,8
vzorek č.5	4,05	19,77	140,40	140,40	15823,9	0,97	0,97	11241,8
Střední	4,05	19,77	141,71	141,71	15462,8	1,01	1,01	11348,4
Standardní odchylka	0,02739	0,13649	0,85	0,85	929,1	0,06	0,06	97,2
Max. hod.	4,09	19,93	142,61	142,61	16559,3	1,08	1,08	11498,0
Min.hod.	4,02	19,57	140,40	140,40	14205,7	0,95	0,95	11241,8
Medián	4,05	19,77	141,70	141,70	15823,9	0,97	0,97	11316,8

Graf 13 Polyrey - směr podélný (vzduch 20 °C)

Vzorek 1 až 5

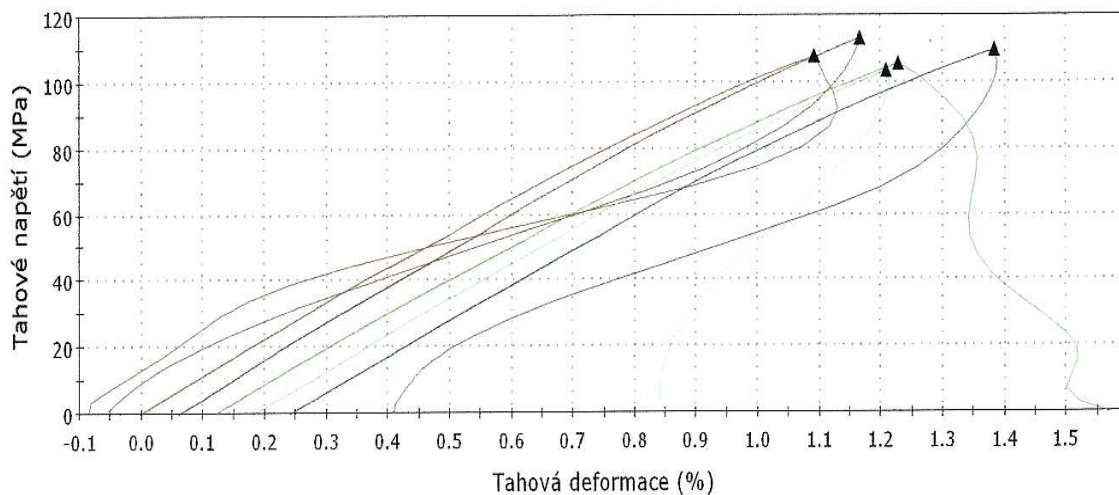


Tab. 12 Polyrey - směr příčný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,02	19,73	107,56	107,56	11167,1	1,09	1,09	8531,3
vzorek č.2	3,97	19,75	113,09	113,09	11831,8	1,10	1,10	8867,2
vzorek č.3	4,10	19,69	105,41	105,41	10879,3	1,11	1,11	8509,4
vzorek č.4	4,08	19,71	103,30	103,30	10852,4	1,03	1,03	8307,3
vzorek č.5	4,13	19,73	109,59	109,59	10763,6	1,14	1,14	8930,0
Střední	4,06	19,72	107,79	107,79	11098,8	1,09	1,09	8629,1
Standardní odchylka	0,05762	0,02280	3,78	3,78	436,8	0,04	0,04	262,1
Max. hod.	4,13	19,75	113,09	113,09	11831,8	1,14	1,14	8930,0
Min.hod.	3,97	19,69	103,30	103,30	10763,6	1,03	1,03	8307,3
Medián	4,08	19,73	107,56	107,56	10879,3	1,10	1,10	8531,3

Graf 14 Polyrey - směr příčný (vzduch 20 °C)

Vzorek 1 až 5

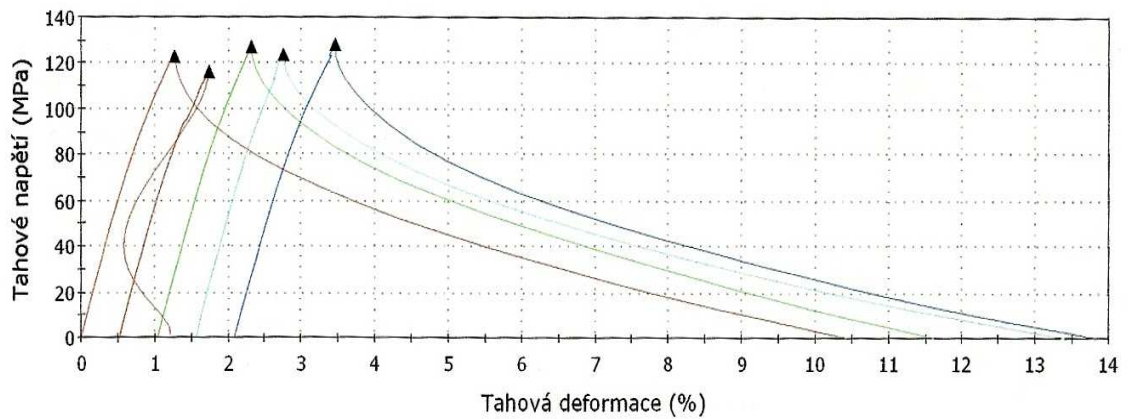


Tab. 13 Polyrey - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (Mpa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,25	19,77	122,71	122,71	12663,8	1,27	1,27	10310,2
vzorek č.2	4,26	19,88	116,04	116,04	12480,0	1,23	1,23	9827,2
vzorek č.3	4,19	19,80	127,03	127,03	12276,0	1,27	1,27	10538,4
vzorek č.4	4,20	19,71	123,77	123,77	12916,8	1,18	1,18	10246,0
vzorek č.5	4,21	19,79	128,08	128,08	11914,9	1,37	1,37	10671,5
Střední	4,22	19,79	123,53	123,53	12450,3	1,27	1,27	10318,6
Standardní odchylka	0,03114	0,06124	4,74	4,74	381,2	0,07	0,07	323,9
Max. hod.	4,26	19,88	128,08	128,08	12916,8	1,37	1,37	10671,5
Min.hod.	4,19	19,71	116,04	116,04	11914,9	1,18	1,18	9827,2
Medián	4,21	19,79	123,77	123,77	12480,0	1,27	1,27	10310,2

Graf 15 Polyrey - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

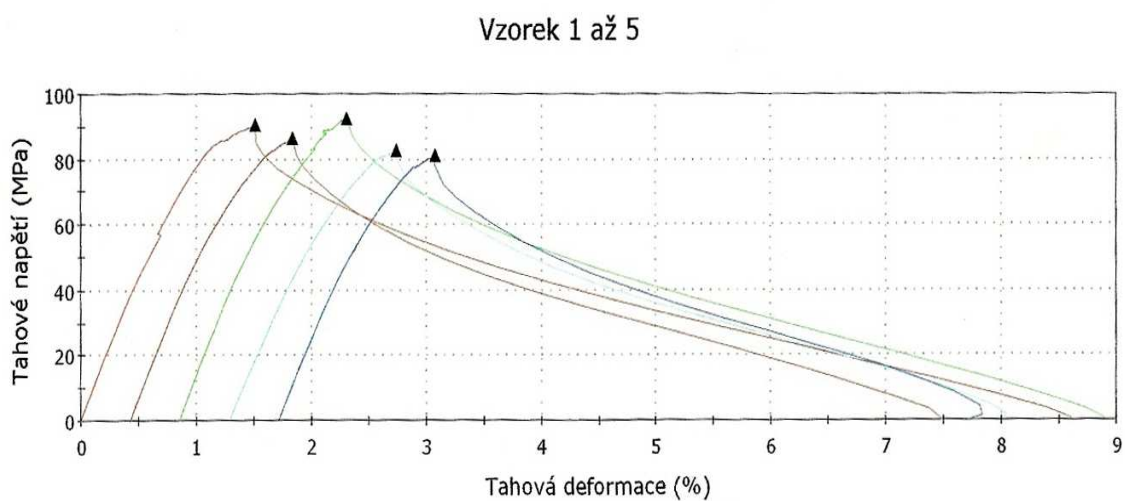
Vzorek 1 až 5



Tab. 14 Polyrey - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (Mpa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,22	19,94	90,50	90,50	9273,0	1,52	1,52	7615,0
vzorek č.2	4,26	19,77	86,35	86,35	9199,8	1,41	1,41	7272,5
vzorek č.3	4,17	19,75	92,39	92,39	9441,5	1,45	1,45	7608,8
vzorek č.4	4,29	19,63	82,68	82,68	8402,2	1,45	1,45	6962,8
vzorek č.5	4,27	19,78	81,16	81,16	9033,5	1,36	1,36	6855,0
Střední	4,24	19,77	86,62	86,62	9070,0	1,44	1,44	7262,8
Standardní odchylka	0,04764	0,11059	4,84	4,84	401,0	0,06	0,06	353,6
Max. hod.	4,29	19,94	92,39	92,39	9441,5	1,52	1,52	7615,0
Min.hod.	4,17	19,63	81,16	81,16	8402,2	1,36	1,36	6855,0
Medián	4,26	19,77	86,35	86,35	9199,8	1,45	1,45	7272,5

Graf 16 Polyrey - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

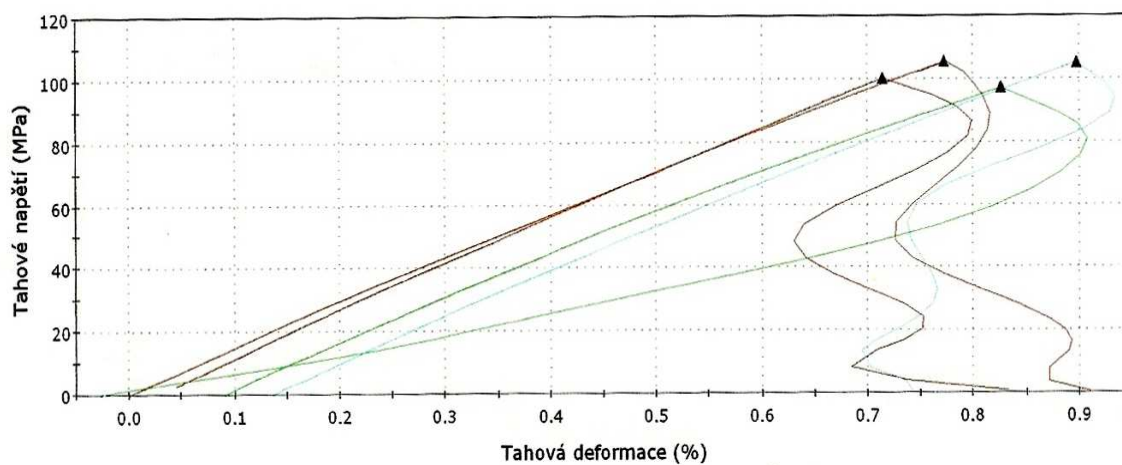


Tab. 15 *Fundermax* - směr podélný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,10	20,40	105,44	105,44	15033,5	0,77	0,77	8818,8
vzorek č.2	4,02	20,02	100,13	100,13	15822,7	0,67	0,67	8058,5
vzorek č.3	4,02	20,02	97,12	97,12	14562,0	0,73	0,73	7816,5
vzorek č.4	4,11	20,04	105,16	105,16	15275,9	0,76	0,76	8661,2
Střední	4,06	20,12	101,96	101,96	15173,5	0,73	0,73	8338,7
Standardní odchylka	0,04924	0,18690	4,04	4,04	524,6	0,05	0,05	478,1
Max. hod.	4,11	20,40	105,44	105,44	15822,7	0,77	0,77	8818,8
Min.hod.	4,02	20,02	97,12	97,12	14562,0	0,67	0,67	7816,5
Medián	4,06	20,03	102,64	102,64	15154,7	0,75	0,75	8359,8

Graf 17 *Fundermax* - směr podélný (vzduch 20 °C)

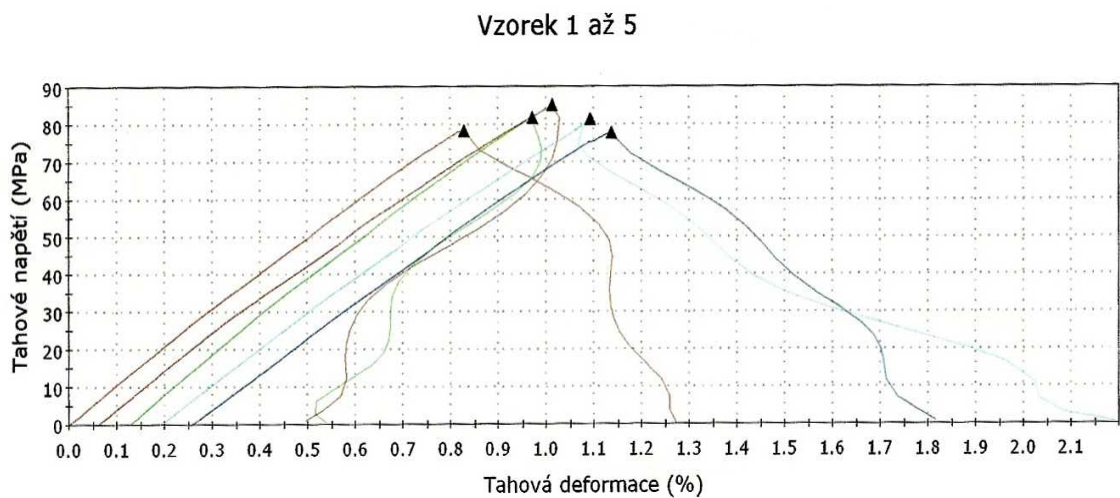
Vzorek 1 až 4



Tab. 16 *Fundermax* - směr příčný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,05	20,30	78,22	78,22	10591,4	0,83	0,83	6430,6
vzorek č.2	4,03	20,17	85,11	85,11	10330,0	0,95	0,95	6917,9
vzorek č.3	4,07	20,28	81,82	81,82	10817,1	0,84	0,84	6753,6
vzorek č.4	4,06	20,08	81,40	81,40	9719,3	0,90	0,90	6636,0
vzorek č.5	4,06	20,21	77,63	77,63	9740,5	0,88	0,88	6369,4
Střední	4,05	20,21	80,83	80,83	10239,7	0,88	0,88	6621,5
Standardní odchylka	0,01357	0,08871	3,03	3,03	496,3	0,05	0,05	226,7
Max. hod.	4,07	20,30	85,11	85,11	10817,1	0,95	0,95	6917,9
Min.hod.	4,03	20,08	77,63	77,63	9719,3	0,83	0,83	6369,4
Medián	4,06	20,21	81,40	81,40	10330,0	0,88	0,88	6636,0

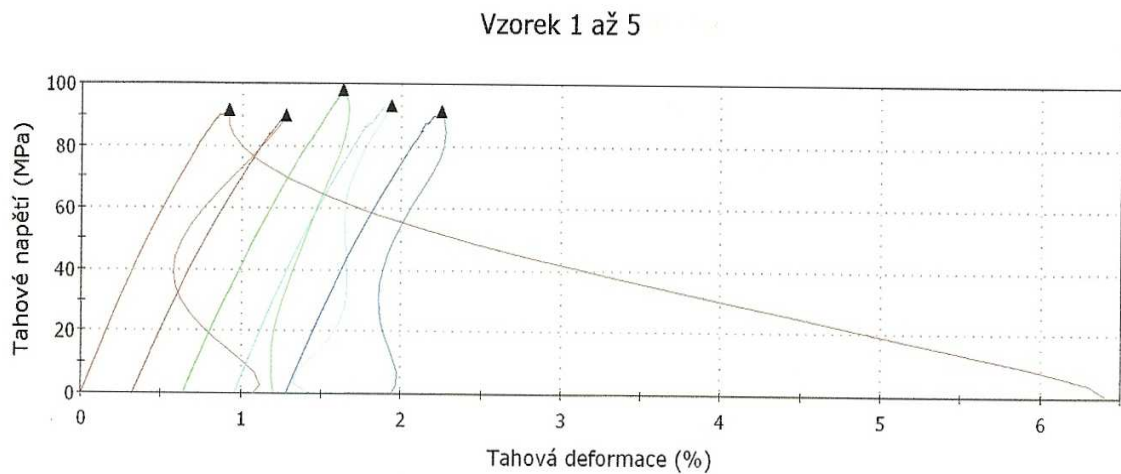
Graf 18 *Fundermax* - směr příčný (vzduch 20 °C)



Tab. 17 *Fundermax* - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,21	20,16	91,57	91,57	12720,5	0,92	0,92	7771,6
vzorek č.2	4,20	20,11	89,83	89,83	11766,1	0,96	0,96	7587,5
vzorek č.3	4,22	20,16	97,99	97,99	11944,7	0,99	0,99	8336,2
vzorek č.4	4,21	20,09	93,12	93,12	12571,3	0,98	0,98	7875,9
vzorek č.5	4,25	20,09	91,32	91,32	12012,2	0,97	0,97	7796,9
Střední	4,22	20,12	92,76	92,76	12202,9	0,96	0,96	7873,6
Standardní odchylka	0,01924	0,03564	3,14	3,14	417,6	0,03	0,03	279,4
Max. hod.	4,25	20,16	97,99	97,99	12720,5	0,99	0,99	8336,2
Min.hod.	4,20	20,09	89,83	89,83	11766,1	0,92	0,92	7587,5
Medián	4,21	20,11	91,57	91,57	12012,2	0,97	0,97	7796,9

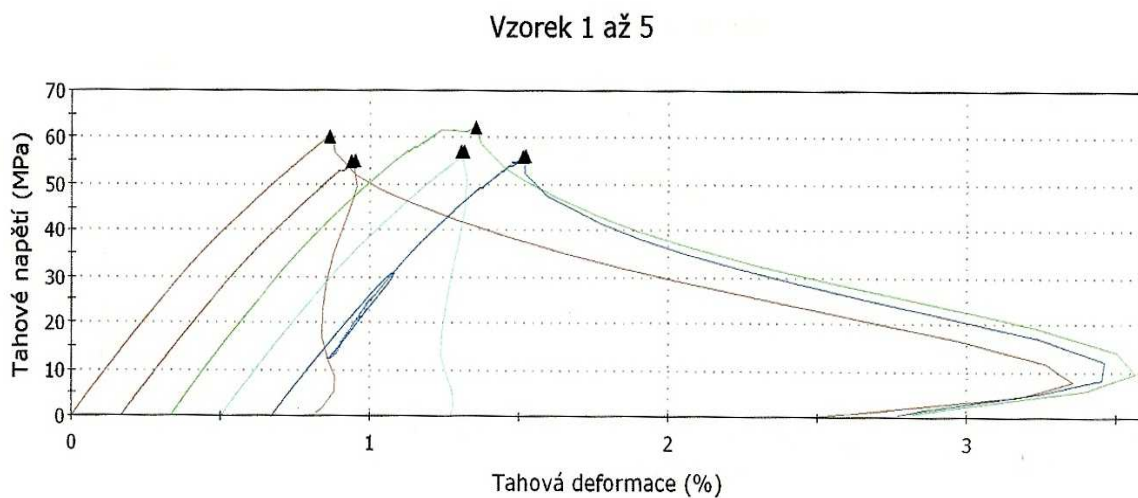
Graf 19 *Fundermax* - směr podélný (3000 hod. ve vodě)



Tab. 18 *Fundermax* - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,20	20,17	60,14	60,12	8574,3	0,86	0,86	5094,3
vzorek č.2	4,24	20,13	54,95	54,79	8465,9	0,78	0,77	4689,7
vzorek č.3	4,21	20,17	62,07	62,07	8947,2	1,02	1,02	5270,6
vzorek č.4	4,18	20,20	56,94	56,93	8531,0	0,81	0,80	4807,8
vzorek č.5	4,24	20,21	56,06	55,89	8224,2	0,85	0,84	4803,7
Střední	4,21	20,18	58,03	57,96	8548,5	0,87	0,86	4933,2
Standardní odchylka	0,02608	0,03130	2,97	3,04	260,7	0,09	0,10	240,6
Max. hod.	4,24	20,21	62,07	62,07	8947,2	1,02	1,02	5270,6
Min.hod.	4,18	20,13	54,95	54,79	8224,2	0,78	0,77	4689,7
Medián	4,21	20,17	56,94	56,93	8531,0	0,85	0,84	4807,8

Graf 20 *Fundermax* - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

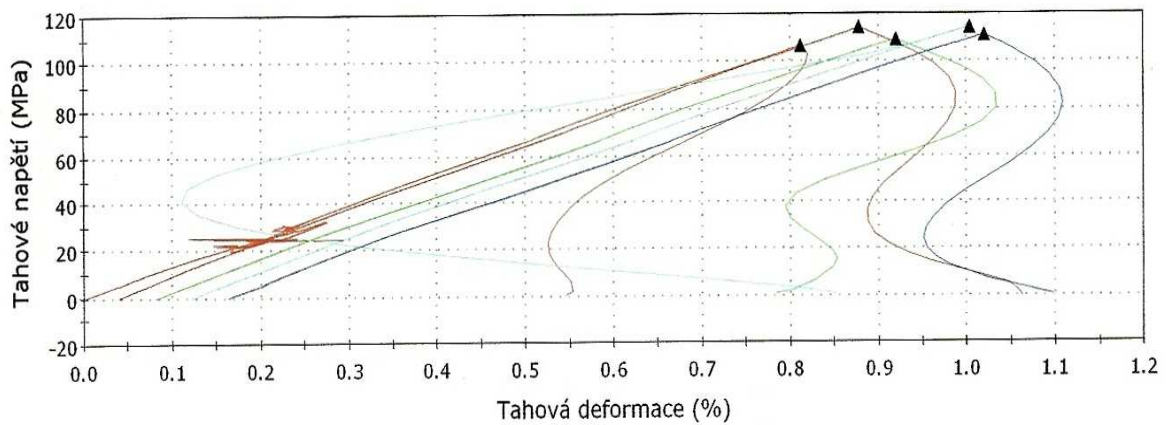


Tab. 19 Rixin - směr podélný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	3,83	20,16	106,55	106,55	13662,9	0,81	0,81	8226,6
vzorek č.2	3,73	20,25	114,15	114,15	14844,1	0,84	0,84	8621,7
vzorek č.3	3,74	20,22	109,15	109,15	14245,2	0,84	0,84	8254,0
vzorek č.4	3,65	20,12	114,35	114,35	14253,3	0,88	0,88	8397,6
vzorek č.5	3,80	20,24	111,12	111,12	14920,4	0,86	0,86	8546,2
Střední	3,75	20,20	111,06	111,06	14385,2	0,84	0,84	8409,2
Standardní odchylka	0,06964	0,05586	3,33	3,33	513,7	0,03	0,03	174,3
Max. hod.	3,83	20,25	114,35	114,35	14920,4	0,88	0,88	8621,7
Min.hod.	3,65	20,12	106,55	106,55	13662,9	0,81	0,81	8226,6
Medián	3,74	20,22	111,12	111,12	14253,3	0,84	0,84	8397,6

Graf 21 Rixin - směr podélný (vzduch 20 °C)

Vzorek 1 až 5

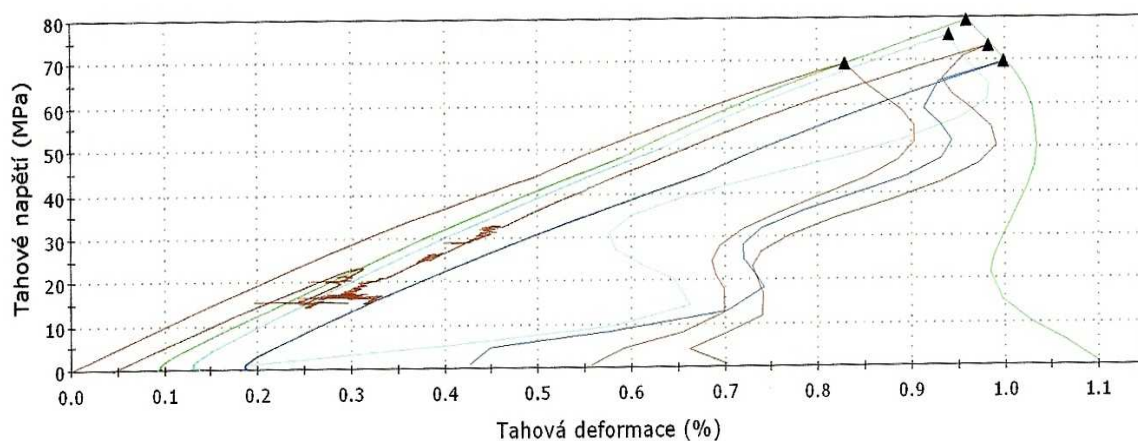


Tab. 20 Rixin - směr příčný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,15	20,01	69,44	69,44	9888,8	0,83	0,83	5766,1
vzorek č.2	3,87	20,00	73,55	73,55	9036,3	0,94	0,94	5692,8
vzorek č.3	3,74	20,11	79,20	79,20	10356,3	0,87	0,87	5956,6
vzorek č.4	3,80	20,05	76,03	76,03	11182,0	0,80	0,80	5792,8
vzorek č.5	4,11	20,03	69,67	69,67	10430,2	0,82	0,82	5735,5
Střední	3,93	20,04	73,58	73,58	10178,7	0,85	0,85	5788,8
Standardní odchylka	0,16572	0,04359	4,18	4,18	789,1	0,05	0,05	100,9
Max. hod.	4,15	20,11	79,20	79,20	11182,0	0,94	0,94	5956,6
Min.hod.	3,74	20,00	69,44	69,44	9036,3	0,80	0,80	5692,8
Medián	3,87	20,03	73,55	73,55	10356,3	0,83	0,83	5766,1

Graf 22 Rixin - směr příčný (vzduch 20 °C)

Vzorek 1 až 5

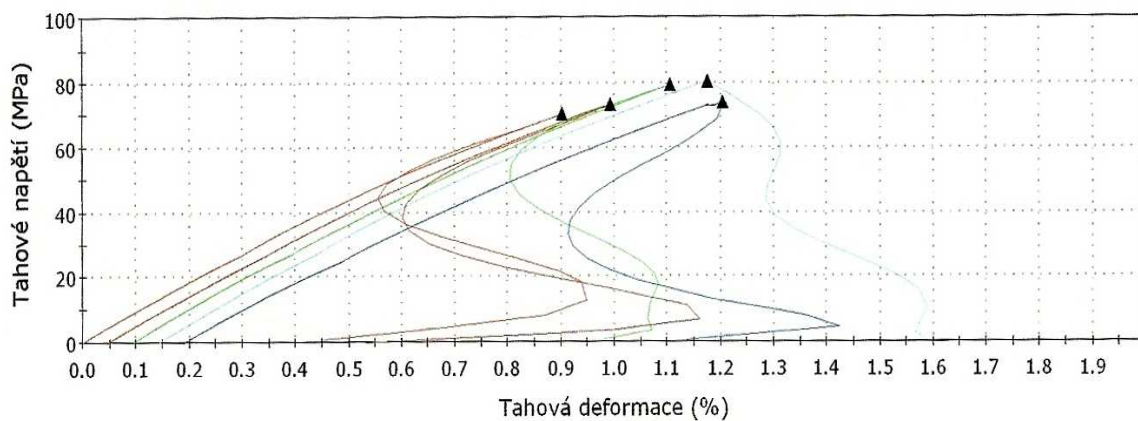


Tab. 21 Rixin - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,13	20,20	70,26	70,26	9227,5	0,90	0,90	5861,5
vzorek č.2	4,05	20,17	73,08	73,08	9126,3	0,95	0,95	5970,1
vzorek č.3	3,95	20,24	79,22	79,22	9501,8	1,01	1,01	6333,8
vzorek č.4	3,95	20,28	80,33	80,33	9553,3	1,03	1,03	6435,2
vzorek č.5	3,85	20,20	73,72	73,72	8955,1	1,01	1,01	5733,1
Střední	3,99	20,22	75,32	75,32	9272,8	0,98	0,98	6066,7
Standardní odchylka	0,10714	0,04266	4,29	4,29	252,8	0,06	0,06	304,1
Max. hod.	4,13	20,28	80,33	80,33	9553,3	1,03	1,03	6435,2
Min.hod.	3,85	20,17	70,26	70,26	8955,1	0,90	0,90	5733,1
Medián	3,95	20,20	73,72	73,72	9227,5	1,01	1,01	5970,1

Graf 23 Rixin - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

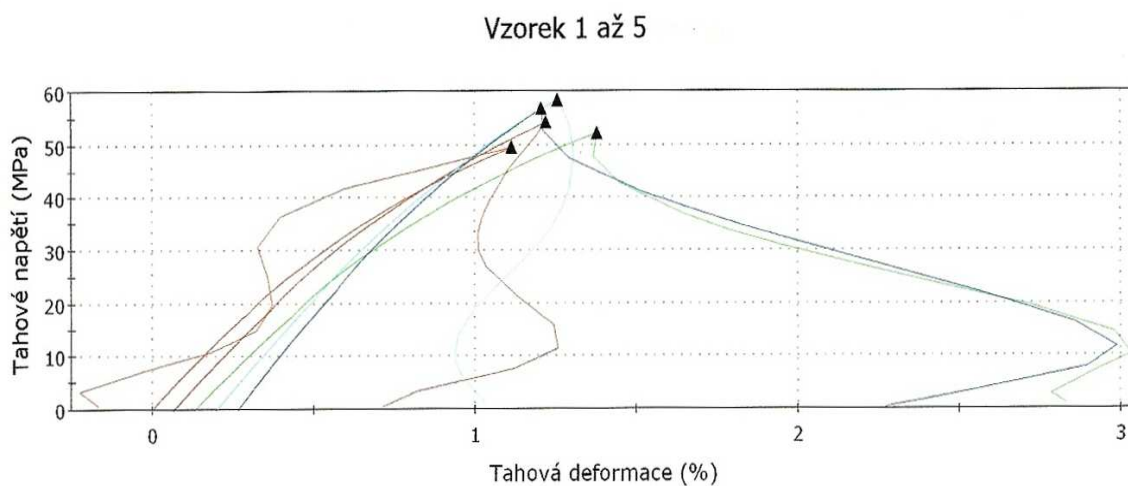
Vzorek 1 až 5



Tab. 22 Rixin - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,33	20,03	49,43	49,43	6389,0	1,11	1,11	4287,1
vzorek č.2	4,07	20,05	54,18	54,18	6498,9	1,15	1,15	4421,5
vzorek č.3	4,30	20,00	52,10	52,10	5971,0	1,24	1,24	4480,4
vzorek č.4	3,97	20,02	58,34	58,34	6949,8	1,06	1,06	4636,8
vzorek č.5	3,94	20,10	56,77	56,77	7793,6	0,94	0,94	4496,0
Střední	4,12	20,04	54,16	54,16	6720,5	1,10	1,10	4464,3
Standardní odchylka	0,18295	0,03808	3,57	3,57	693,7	0,11	0,11	126,7
Max. hod.	4,33	20,10	58,34	58,34	7793,6	1,24	1,24	4636,8
Min.hod.	3,94	20,00	49,43	49,43	5971,0	0,94	0,94	4287,1
Medián	4,07	20,03	54,18	54,18	6498,9	1,11	1,11	4480,4

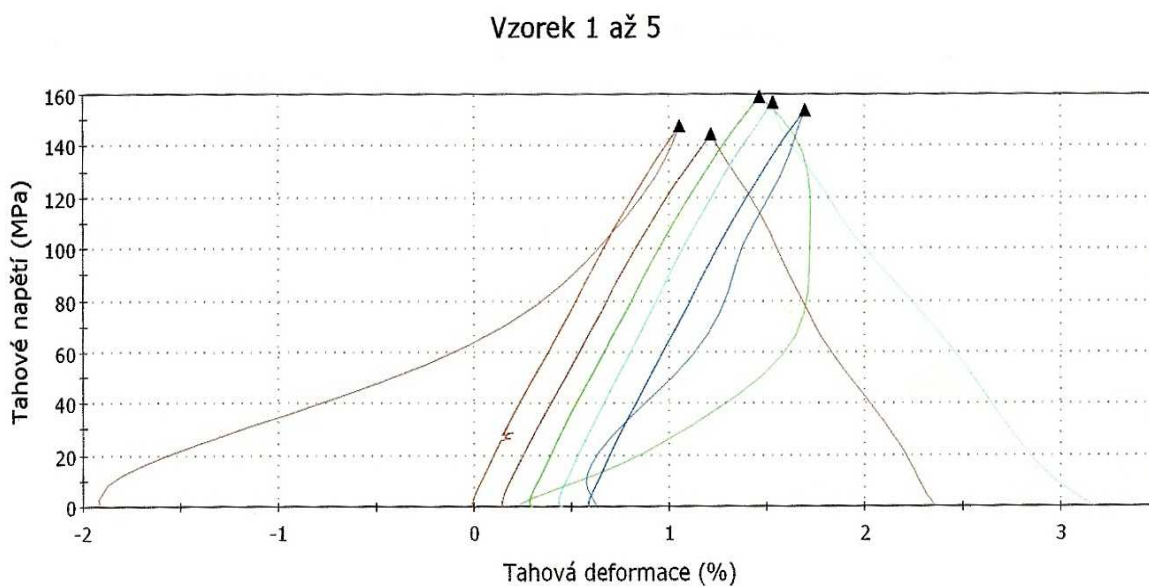
Graf 24 Rixin - směr příčný (3000 hod. ve vodě)



Tab. 23 Abet - směr podélný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	3,99	20,19	147,61	147,61	15140,5	1,05	1,05	11890,8
vzorek č.2	3,99	20,29	144,35	144,35	15325,2	1,06	1,06	11686,1
vzorek č.3	3,97	20,27	158,95	158,95	15758,3	1,16	1,16	12791,1
vzorek č.4	3,97	20,25	156,83	156,83	16328,0	1,08	1,08	12607,6
vzorek č.5	3,98	20,29	153,91	153,91	16072,8	1,10	1,10	12429,2
Střední	3,98	20,26	152,33	152,33	15725,0	1,09	1,09	12281,0
Standardní odchylka	0,00894	0,04147	6,18	6,18	496,8	0,04	0,04	473,0
Max. hod.	3,99	20,29	158,95	158,95	16328,0	1,16	1,16	12791,1
Min.hod.	3,97	20,19	144,35	144,35	15140,5	1,05	1,05	11686,1
Medián	3,98	20,27	153,91	153,91	15758,3	1,08	1,08	12429,2

Graf 25 Abet - směr podélný (vzduch 20 °C)

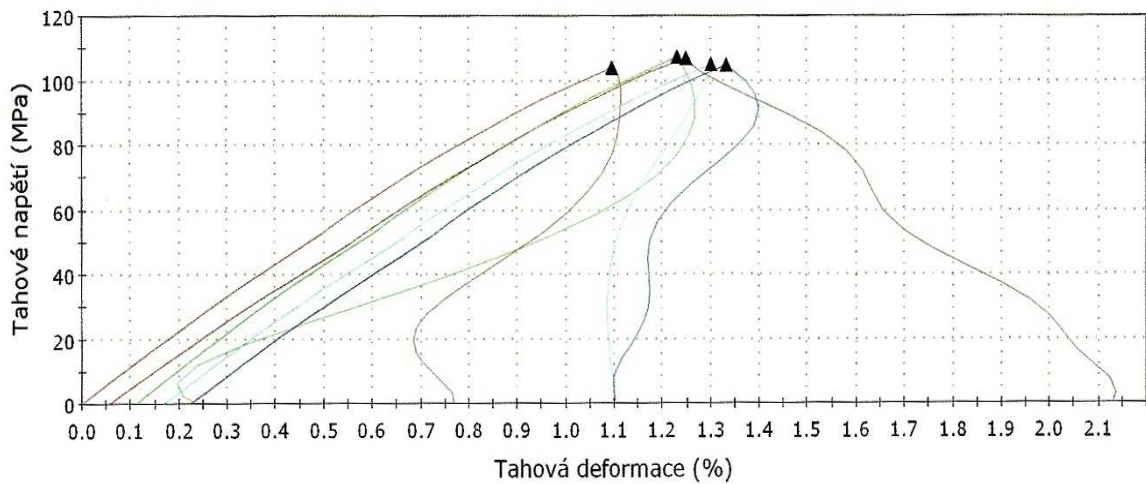


Tab. 24 Abet - směr příčný (vzduch 20 °C)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	3,98	20,29	103,87	103,87	11144,6	1,10	1,10	8387,7
vzorek č.2	3,98	20,27	106,74	106,74	10338,6	1,19	1,19	8611,5
vzorek č.3	3,97	20,27	107,21	107,21	11461,7	1,12	1,12	8627,5
vzorek č.4	3,98	20,29	104,78	104,78	11068,6	1,13	1,13	8461,7
vzorek č.5	3,94	20,26	104,72	104,72	11141,5	1,11	1,11	8359,1
Střední	3,97	20,28	105,46	105,46	11031,0	1,13	1,13	8489,5
Standardní odchylka	0,01549	0,01342	1,44	1,44	415,8	0,04	0,04	124,6
Max. hod.	3,98	20,29	107,21	107,21	11461,7	1,19	1,19	8627,5
Min.hod.	3,94	20,26	103,87	103,87	10338,6	1,10	1,10	8359,1
Medián	3,98	20,27	104,78	104,78	11141,5	1,12	1,12	8461,7

Graf 26 Abet - směr příčný (vzduch 20 °C)

Vzorek 1 až 5

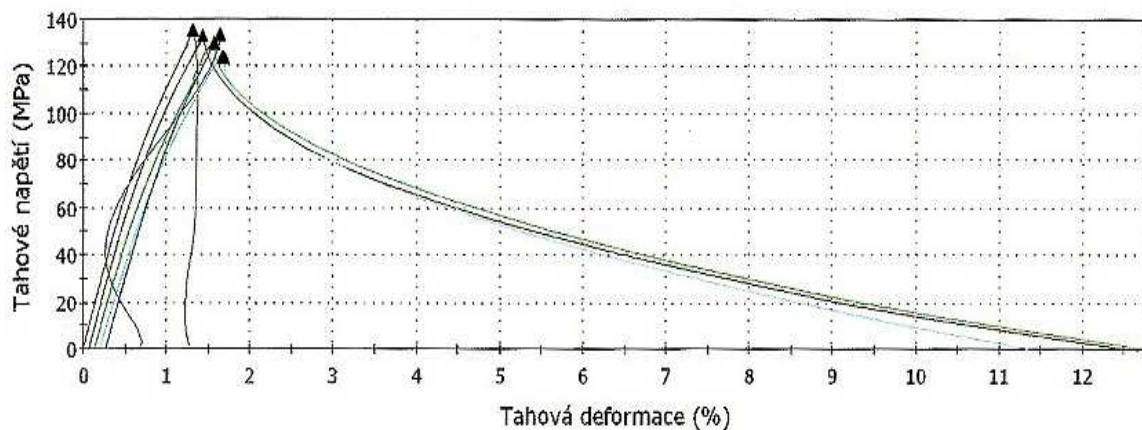


Tab. 25 Abet - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,09	20,45	135,32	135,32	13891,3	1,32	1,32	11318,2
vzorek č.2	4,10	20,44	132,96	132,96	13423,5	1,37	1,37	11142,2
vzorek č.3	4,13	20,28	130,10	130,10	12562,8	1,44	1,44	10896,8
vzorek č.4	4,14	20,23	123,92	123,78	12078,7	1,47	1,49	10378,2
vzorek č.5	4,12	20,21	133,74	133,74	13100,2	1,37	1,37	11135,9
Střední	4,12	20,32	131,21	131,18	13011,3	1,39	1,40	10974,3
Standardní odchylka	0,02074	0,11520	4,49	4,55	711,2	0,06	0,07	365,3
Max. hod.	4,14	20,45	135,32	135,32	13891,3	1,47	1,49	11318,2
Min.hod.	4,09	20,21	123,92	123,78	12078,7	1,32	1,32	10378,2
Medián	4,12	20,28	132,96	132,96	13100,2	1,37	1,37	11135,9

Graf 27 Abet - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

Vzorek 1 až 5

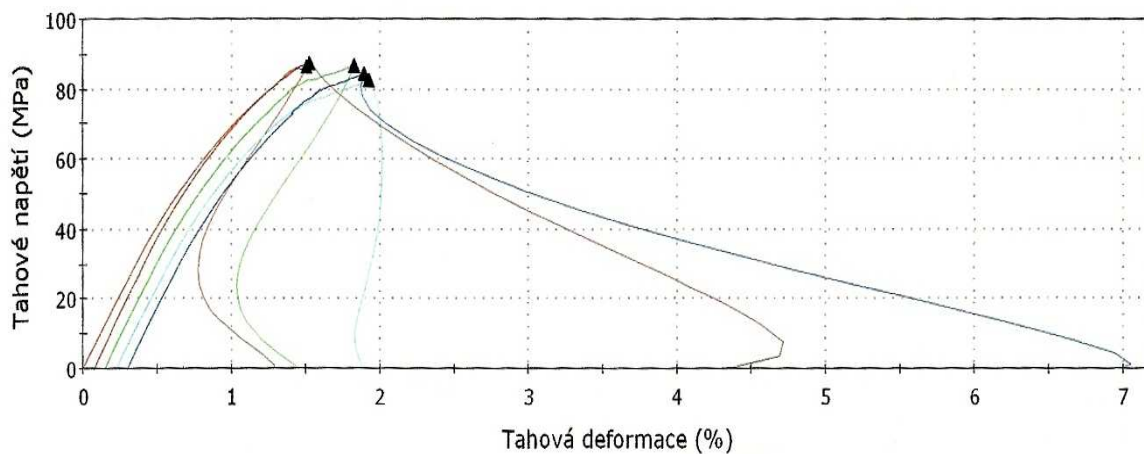


Tab. 26 Abet - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Tahové napětí při přetržení (MPa)	Youngův modul pružnosti (MPa)	Protažení při max. zatížení (%)	Protažení při přetržení (%)	Max. síla (N)
vzorek č.1	4,11	20,24	86,40	86,28	8475,9	1,51	1,51	7187,0
vzorek č.2	4,10	20,23	87,41	87,41	9230,6	1,45	1,45	7250,5
vzorek č.3	4,14	20,29	86,49	86,47	8836,2	1,67	1,68	7265,6
vzorek č.4	4,12	20,26	82,43	82,42	8688,5	1,70	1,70	6880,6
vzorek č.5	4,11	20,27	84,35	84,30	8980,3	1,59	1,60	7026,9
Střední	4,12	20,26	85,42	85,38	8842,3	1,58	1,59	7122,1
Standardní odchylka	0,01517	0,02387	2,01	2,01	286,2	0,11	0,11	164,8
Max. hod.	4,14	20,29	87,41	87,41	9230,6	1,70	1,70	7265,6
Min.hod.	4,10	20,23	82,43	82,42	8475,9	1,45	1,45	6880,6
Medián	4,11	20,26	86,40	86,28	8836,2	1,59	1,60	7187,0

Graf 28 Abet - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

Vzorek 1 až 5



PŘÍLOHA P II: RÁZOVÁ ZKOUŠKA

Tab. 27 Rázová zkouška - POLYREY - směr podélný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	339,51	1,70	1,81	6,29	6,81
2.	408,91	2,30	2,38	12,06	12,39
3.	404,08	2,24	2,37	11,48	12,28
4.	430,92	2,40	2,42	13,50	13,65
5.	420,04	2,25	2,35	12,14	12,56
6.	423,66	2,39	2,41	13,11	13,25
průměr	404,52	2,21	2,29	11,43	11,82
standardní odchylka	30,41364	0,23774	0,21595	2,39550	2,29412

Tab. 28 Rázová zkouška -POLYREY - směr příčný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	305,42	1,93	2,14	6,93	8,06
2.	317,51	2,11	2,24	7,75	8,33
3.	309,77	2,02	2,05	7,68	7,81
4.	313,15	1,82	2,02	6,47	7,50
5.	316,06	2,14	2,25	8,11	8,52
6.	318,23	2,08	2,16	7,99	8,54
průměr	313,36	2,02	2,14	7,49	8,13
standardní odchylka	4,54982	0,11116	0,08654	0,59049	0,37955

Tab. 29 Rázová zkouška - POLYREY - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	334,68	2,27	2,32	9,61	9,76
2.	333,95	2,12	2,15	9,95	10,11
3.	310,74	1,89	1,95	7,82	8,17
4.	291,87	1,88	2,05	6,60	7,29
5.	302,51	2,13	2,17	7,56	7,75
průměr	314,75	2,06	2,13	8,31	8,62
standardní odchylka	17,06011	0,15092	0,12400	1,27329	1,11785

Tab. 30 Rázová zkouška - POLYREY - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	256,57	1,91	1,97	5,91	6,18
2.	264,55	1,90	1,93	6,03	6,13
3.	274,70	1,84	2,06	6,18	7,08
4.	236,26	2,06	2,23	5,49	5,94
5.	229,24	1,66	1,90	4,63	5,77
průměr	252,26	1,87	2,02	5,65	6,22
standardní odchylka	17,08271	0,12924	0,11889	0,55837	0,45392

Tab. 31 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr podélný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	365,39	1,88	2,02	8,34	9,27
2.	341,20	1,85	1,92	7,54	7,78
3.	365,39	1,79	1,96	7,53	8,58
4.	328,15	1,72	1,75	6,78	7,02
5.	381,83	1,97	2,08	9,52	9,99
6.	358,37	1,78	1,90	7,68	8,40
průměr	356,72	1,83	1,94	7,90	8,51
standardní odchylka	17,51517	0,08029	0,10367	0,85511	0,96072

Tab. 32 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr příčný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	267,69	1,68	1,88	4,81	6,03
2.	273,98	1,93	1,95	6,54	6,63
3.	291,15	2,10	2,24	7,55	8,14
4.	277,36	2,02	2,12	6,72	7,02
5.	275,43	2,05	2,08	6,89	6,99
6.	289,70	1,99	2,13	6,69	7,62
průměr	279,22	1,96	2,07	6,53	7,07
standardní odchylka	8,46933	0,13631	0,11940	0,83568	0,67472

Tab. 33 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	260,20	1,52	3,01	4,88	8,51
2.	323,79	1,96	2,06	8,20	8,70
3.	260,68	1,38	2,22	3,92	7,22
4.	317,99	1,91	2,06	7,72	8,60
5.	324,52	1,85	2,01	7,64	8,40
průměr	297,44	1,72	2,27	6,47	8,29
standardní odchylka	30,29213	0,23070	0,37573	1,72944	0,54213

Tab. 34 Rázová zkouška - FUNDERMAX - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	243,51	1,82	1,88	5,30	5,47
2.	220,05	1,53	1,70	3,58	4,15
3.	226,58	1,73	1,75	4,40	4,47
4.	219,57	1,53	1,82	3,75	4,56
5.	256,33	2,00	2,02	6,29	6,37
průměr	233,21	1,72	1,83	4,66	5,00
standardní odchylka	14,44864	0,17927	0,11128	1,01277	0,81175

Tab. 35 Rázová zkouška - REXIN - směr podélný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	299,37	2,33	2,45	8,49	9,26
2.	303,24	2,57	2,59	9,85	10,00
3.	289,94	2,02	2,10	6,90	7,39
4.	329,11	2,48	2,53	10,00	10,37
5.	313,40	3,44	3,48	13,43	13,69
6.	297,92	2,18	2,22	7,80	8,02
průměr	305,50	2,50	2,56	9,41	9,79
standardní odchylka	12,66292	0,45653	0,44488	2,09923	2,03160

Tab. 36 Rázová zkouška - REXIN - směr příčný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	234,32	1,81	1,88	4,84	5,15
2.	224,41	1,85	1,95	4,57	5,01
3.	213,04	1,74	1,77	4,27	4,40
4.	226,58	1,48	1,72	3,30	4,39
5.	248,10	1,93	2,02	5,47	5,94
6.	240,61	1,70	1,88	4,22	5,14
průměr	231,18	1,75	1,87	4,45	5,01
standardní odchylka	11,40996	0,14229	0,10132	0,66012	0,52563

Tab. 37 Rázová zkouška - REXIN - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	278,82	2,52	2,54	8,88	8,98
2.	262,61	2,24	2,26	7,94	8,01
3.	257,78	2,74	2,75	8,39	8,45
4.	262,13	2,38	2,41	8,30	8,49
5.	255,84	2,25	2,33	7,27	7,77
průměr	263,44	2,43	2,46	8,16	8,34
standardní odchylka	8,10857	0,18715	0,17314	0,53504	0,41905

Tab. 38 Rázová zkouška - REXIN - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	191,52	1,91	1,94	4,54	4,67
2.	208,20	1,88	1,98	4,47	4,73
3.	187,65	2,06	2,13	4,71	4,83
4.	195,87	1,38	2,05	2,39	3,71
5.	185,72	2,02	2,09	4,77	4,94
průměr	193,79	1,85	2,04	4,18	4,58
standardní odchylka	7,99940	0,24429	0,06969	0,89964	0,44261

Tab. 39 Rázová zkouška - ABET - směr podélný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	400,69	2,26	2,41	11,49	12,54
2.	394,16	2,35	2,45	11,50	12,16
3.	365,39	2,01	2,18	8,58	9,67
4.	359,82	1,77	1,93	7,82	8,87
5.	386,67	2,22	2,37	10,82	11,75
6.	369,01	2,05	2,13	8,36	8,97
průměr	379,29	2,11	2,25	9,76	10,66
standardní odchylka	15,33792	0,19209	0,18328	1,54165	1,52822

Tab. 40 Rázová zkouška - ABET - směr příčný (vzduch 20 °C)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	302,27	2,20	2,26	7,99	8,39
2.	305,17	2,16	2,30	7,95	8,51
3.	279,54	1,97	2,16	6,41	7,15
4.	306,14	2,17	2,29	8,13	8,58
5.	287,04	2,04	2,22	6,59	7,33
6.	273,50	2,01	2,03	6,73	6,83
průměr	292,28	2,09	2,21	7,30	7,80
standardní odchylka	12,91321	0,08821	0,09309	0,73128	0,71238

Rázová zkouška - voda

Tab. 41 Rázová zkouška - ABET - směr podélný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	343,38	2,14	2,26	9,61	10,30
2.	338,79	2,19	2,30	9,69	10,29
3.	303,24	1,86	2,00	7,04	7,72
4.	338,06	2,13	2,30	9,52	10,36
5.	322,34	2,10	2,25	8,62	9,29
průměr	329,16	2,08	2,22	8,90	9,59
standardní odchylka	14,78184	0,11569	0,11285	1,00504	1,01724

Tab. 42 Rázová zkouška - ABET - směr příčný (3000 hod. ve vodě)

Pokus č.	Fm [N]	Sm [mm]	Sb [mm]	Am [kJ/m ²]	Ab [kJ/m ²]
1.	275,67	2,12	2,15	6,52	6,62
2.	277,61	1,98	2,00	6,21	6,31
3.	262,13	2,12	2,15	6,56	6,66
4.	254,88	1,98	2,09	6,25	6,81
5.	338,54	2,55	2,57	8,39	8,48
průměr	281,77	2,15	2,19	6,79	6,98
standardní odchylka	29,61807	0,20957	0,19681	0,81409	0,76938

PŘÍLOHA P III: ZKOUŠKA ÚNIKU FORMALDEHYDU - PROTOKOL



INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a. s.

tř. T. Bati 299, 764 21 Zlín

Akreditovaná zkušební laboratoř č.1004



Zkušební laboratoř * Kalibrační laboratoř * Certifikační orgán pro výroby * Certifikační orgán systémů jakosti
Inspekční orgán * Autorizovaná osoba * Notifikovaná osoba
tel.: +420 577 601 272 fax: +420 577 601 702 e-mail: itc@itczlin.cz www.itczlin.cz

Počet stran : 3

Strana : 1 č.j. 472104113

ZKUŠEBNÍ PROTOKOL AKREDITOVANÉ LABORATOŘE č. j. 472104113

Objednavatel: Frajt s.r.o.
IČ 255 56 550

Adresa: Chropyňská 2848, 767 01 Kroměříž

Vzorek: 4 vzorky destiček – popis viz strana 2

Zadání: Stanovení formaldehydu

Datum přijetí vzorku: 19.5.2010

Vypracoval: Ing. Věra Vilímková

Místo a datum vydání: Zlín, 27.5.2010

Příloha: -



Doc. Ing. Vladimír Klepal, CSc.
vedoucí akreditované laboratoře

Upozornění: Výsledky uvedené v tomto zkušebním protokolu se týkají jen vzorků námi zkušných.
Bez písemného souhlasu Institutu pro testování a certifikaci, a.s. se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý!



INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a. s.

tř. T. Bati 299, 764 21 Zlín

Akreditovaná zkušební laboratoř č.1004



Počet stran : 3
Strana : 2 č.j. 472104113

Popis a identifikace vzorků

Zadavatel předložil k testování 5 vzorků destiček o rozměrech cca (2x15x0,4) cm v různých barvách. Destičky byly zadavatelem označeny následovně:

- POLYREY - oranžová destička – vzorku bylo v laboratoři přiřazeno evidenční číslo laboratoře 4113/1
- FUNDERMAX – béžová destička – vzorku bylo v laboratoři přiřazeno evidenční číslo laboratoře 4113/2
- ABET – bílá lesklá hladká destička – vzorku bylo v laboratoři přiřazeno evidenční číslo laboratoře 4113/3
- REXIN – bílá destička s dezénem – vzorku bylo v laboratoři přiřazeno evidenční číslo laboratoře 4113/4

Způsob odběru vzorků:

Výběr vzorku určeného ke zkouškám provedl objednavatel. Laboratoř neručí za chyby vzniklé nesprávným odběrem vzorku.

Zadání

Stanovení obsahu formaldehydu.

Použité metody zkoušení:

1. Stanovení volného a extrahovatelného formaldehydu ve výluhu do destilované vody spektrofotometricky dle zkušební předpisu ITC A-08-81

Použité zkušební zařízení

Analytické váhy Mettler AE 240, sušárna Venticell 222, UV-VIS spektrofotometr Shimadzu

Podmínky zkoušky

Teplota migrační zkoušky / doba migrační zkoušky: (40 ± 2) °C / 24 h

Migrační poměr: 100 cm²/100 ml destilované vody

Fotometrické stanovení: Acetylacetonová metoda

Vlnová délka: 412 nm

Místo provedení zkoušek:

Všechny zkoušky byly provedeny v laboratořích Institutu pro testování a certifikaci, a.s., Zlín.

Výsledky zkoušek

Výsledky zkoušek jsou uvedeny v následující tabulce I.

Upozornění: Výsledky uvedené v tomto zkušebním protokolu se týkají jen vzorků námi zkoušených.

Bez písemného souhlasu Institutu pro testování a certifikaci, a.s. se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý !



INSTITUT PRO TESTOVÁNÍ A CERTIFIKACI, a. s.

tř. T. Bati 299, 764 21 Zlín

Akreditovaná zkušební laboratoř č.1004



Počet stran : 3

Strana : 3

č.j. 472104113

Tabulka I. Výsledky stanovení obsahu volného a extrahovatelného formaldehydu

Vzorek	Jednotka	Výsledek měření	Údaj o nejistotě ¹⁾
4113/1 POLYREY oranžový	mg/dm ²	0,50	0,03
4113/2 FUNDERMAX béžový	mg/dm ²	0,64	0,01
4113/3 ABET lesklý bílý	mg/dm ²	0,62	0,01
4113/4 REXIN bílý s dezénem	mg/dm ²	5,02	0,09

Poznámky k tabulce:

¹⁾ Nejistota měření vyjádřená ve formě výběrové směrodatné odchylky aritmetického průměru σ_{n-1}/\sqrt{n} ; n=2

Zkoušel

Ivana Holcová, dne 26.5.2010

Ing. Jiří Samsonek, Ph.D.
vedoucí laboratoře analytické chemie
a mikrobiologie



Upozornění: Výsledky uvedené v tomto zkušebním protokolu se týkají jen vzorků námi zkoušených.

Bez písemného souhlasu Institutu pro testování a certifikaci, a.s. se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý!