

Studium prepreg sendvičových konstrukcí s fenolickou matricí

Bc. Vítězslav Rolek

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vítězslav ROLEK**
Osobní číslo: **T10544**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Studium prepreg sendvičových konstrukcí
s fenolickou maticí**

Zásady pro vypracování:

1. Prepregy – polotovary pro výrobu vláknových kompozitů, vlastnosti.
2. Výroba a zpracování pre-pregů. Způsob použití.
3. Experimentální část. Navrhněte složení různých pre-pregů s a bez jádrového materiálu pro zvolené aplikace.
4. Testování vyrobených vzorků dle vybraných norem.
5. Studium kvality povrchu s ohledem na složení a způsob zpracování (suché místa, delaminace, ..).
6. Závěr a diskuse výsledků.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

[2] Reinhart, T. J.: Engineered materials handbook. Composites. Vol. 1., ASM INTERNATIONAL, 1987.

[3] Kořínek, Z.: Kompozity. dostupné na: www.volny.cz/korinek

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

[5] Bareš, R. A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 1988.

[6] www.hexcel.com

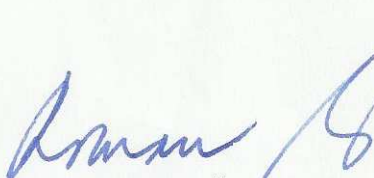
[7] www.gurit.com

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

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Rolek Vítězslav

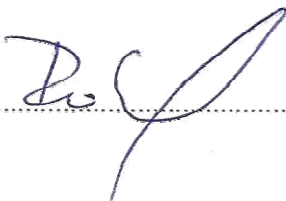
Obor: Výrobní inženýrství

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, považuji 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 06.05.2012



.....

³⁾ 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 díla:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Opírá-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 přihlídně k větší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Práce v teoretické části popisuje kompozity, jejich význam a samotnou výrobu. Praktická část se věnuje návrhu jednotlivých kompozitů, jejich výrobě a srovnání jejich vlastností. Srovnání probíhá za rozmanitých podmínek, přičemž výrobky jsou testovány trojbodovým ohybem, dynamicky na průraz a také je stanoveno kyslíkové číslo výrobku. Závěr je věnovaný praktickému zhodnocení provedených testů, ekonomickému srovnání a popisuje také možné uplatnění těchto výrobků.

Klíčová slova: Kompozity, Srovnání vlastností, Voština, PET Pěna AIREX, Artboard Compolet, Corekork NL, Impact test, Trojbodový ohyb, Kyslíkové číslo, Výroba kompozitu.

ABSTRACT

Working in the theoretical part describes composites, their significance and the production itself. The practical part deals with design of various composites, their manufacturing and comparison of their properties. The comparison takes place under various conditions, the products are tested by three-point bending, the dynamic breakdown and it is set by the oxygen number. The conclusion is devoted to evaluation of practical tests which are carried out, the economic comparison is done and also describes the possible application of these products.

Keywords: composites, comparison features, Honeycomb, PET foam Airex, Artboard Compolet, Corekork NL, Impact test, three-point bending, Oxygen number, Production of the composite.

Především děkuji vedení společnosti FORM, s.r.o. za poskytnutí zajímavého tématu Diplomové práce, za poskytnutí výrobních materiálů, prostorů a zařízení pro realizaci výroby vzorků. Děkuji za ochotný a obětavý přístup vedoucí mé práce paní docentce Rusnákové, děkuji za podnětné zkušenosti inženýru Rusnákovi z firmy FORM v Horním Lidči. A také firmě JKZ Bučovice, že mi umožnili, mnohdy i v rámci zaměstnání, věnovat se tak časově náročnému úkolu.

„Důkazem vysokého vzdělání je schopnost mluvit o největších věcech nejjednodušším způsobem.“

Emerson Ralph Waldo

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	11
1.1 ROZDĚLENÍ ZPRACOVATELSKÝCH TECHNOLOGIÍ PŘI VÝROBĚ KOMPOZITU	11
1.1.1 Ruční kladení	11
1.1.2 Vakuové prosyčování.....	12
1.1.3 RTM – Resin transfer moulding	13
1.1.4 Vakuové lisování prepregů	14
1.1.5 Pulturze	14
1.1.6 Navíjení	15
1.2 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ VOLBU TECHNOLOGIE	16
2 PREPREG	17
2.1 VÝZTUŽE.....	17
2.2 MATRICE	19
2.3 VÝROBA A VYUŽITÍ PREPREGŮ	20
2.3.1 Výroba prepregů.....	20
2.3.2 Využití prepregů.....	21
3 ZKUŠEBNÍ PROCESY	23
3.1 ZKOUŠKA OHYBEM.....	23
3.1.1 Průběh zkoušky ohybem	23
3.1.2 Určování naměřených hodnot	24
3.2 IMPACT TEST	24
3.3 KYSLÍKOVÉ ČÍSLO	25
3.3.1 Stanovení kyslíkového čísla.....	25
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
4 VÝROBA VZORKŮ	28
4.1 POSTUP VÝROBY	28
4.2 REŽIM VYTVRZOVÁNÍ.....	30
4.3 TROJBODOVÝ OHYB	30
4.3.1 Výsledky zkoušky trojbodovým ohybem – Série A	31
4.3.1 Statistické zhodnocení – Série A.....	34
4.3.1 Výsledky zkoušky trojbodovým ohybem – Série B.....	36
4.3.2 Statistické zhodnocení – Série B.....	38
4.4 IMPACT TEST	42
4.4.1 Výsledky IMAPCT Test	43
4.4.2 Statistické zhodnocení.....	51
4.5 KYSLÍKOVÉ ČÍSLO	52
4.5.1 Výsledky	52
4.6 EKONOMICKÉ HLEDISKO PŘI VOLBĚ MATERIÁLU	53
4.7 ZMĚNY VNITŘNÍCH A POVRCHOVÝCH STRUKTUR KOMPOZITU PO OHYBU	56
4.7.1 Po Impact testu	60
ZÁVĚR	62

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
SEZNAM OBRÁZKŮ	67
SEZNAM TABULEK.....	70
SEZNAM PŘÍLOH.....	72

ÚVOD

Práce si klade za cíl popsat, v úvodní teoretické části, rešerší samotný význam kompozitů, jejich složení a praktické uplatnění takto vyráběných struktur. Význam těchto materiálů skutečně poslední dobou nabírá na důležitosti. Jejich příznivé mechanické vlastnosti jdou ruku v ruce s požadavkem na snižování hmotnosti u dopravních prostředků, kde splňují i přísné hledisko na budoucí design výrobku. Samotná technologie výroby pak umožňuje relativně levně vyrábět i velmi malé výrobní dávky.

Kompozitní materiály mohou obsahovat mechanicky odlišné struktury, které po vytvrzení mohou a velmi často i mění své výrobní vlastnosti. U takto volených struktur může být i proto náročné predikovat jejich konečné pevnostní statické a dynamické charakteristiky, jejich odolnost vůči vyšším, resp. nižším teplotám a také odolnost vůči hoření plamenem.

V této práci jsou výše uvedené podmínky zhodnoceny a experimentálně ověřeny. Ve firmě FORM proto mohou ze stanovených závěrů těžit při konstruování nových výrobků, při návrhu výrobních technologií a také při jednání se zákazníkem, který vyžaduje ověřené informace při schvalování nových řešení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozit je taková látka, kterou tvoří více než jeden druh materiálu a jejich vzájemné působení vyvolává synergicky žádané vlastnosti. Nejčastěji máme zájem vytvořit velmi lehkou, korozi odolnou kompozitní strukturu, která bude poskytovat požadované mechanické vlastnosti. Z hlediska konstrukce je dělíme na:

- Granulové
- Vláknové
- Laminární [6]

1.1 Rozdělení zpracovatelských technologií při výrobě kompozitu

1.1.1 Ruční kladení

Ruční kladení se někdy nazývá i kontaktní lisování a jedná se o proces, ve kterém je nanášení pryskyřice i výztuže prováděno ručně na vhodný povrch pozitivní nebo negativní formy. Podle toho, na který povrch jsou komponenty nanášeny, je dosaženo kvality povrchu vytvrzeného kompozitního dílce.

Postup výroby je následující:

Jednotlivými fázemi tohoto procesu jsou:

1. povrchová úprava formy separačním činidlem
2. gel-coat pokud je třeba
3. katalyzovaná pryskyřice
4. výztuž
5. další vrstva pryskyřice je válečkem vtlačena do výztuže a je přitom vytlačen přebytek vzduchu tvořícího bubliny
6. tyto dva kroky jsou opakovány tak dlouho, až je vytvořena požadovaná tloušťka stěny
7. vytvrzení v klidu
8. vyjmutí z formy.

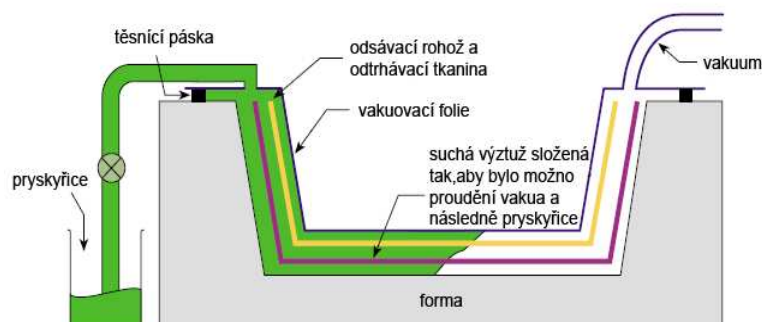
Mezi hlavní výhody patří především cena této technologie, která je velmi příznivá. Další výhodou je také velká tvarová rozmanitost. Bohužel se u tohoto způsobu výroby nedá uplatnit reprodukovatelnost výrobku..

1.1.2 Vakuové prosycování

Jedná se o technologii, která je obdobná metodě ručního laminování. Jde o její modifikaci, která poskytuje vyšší kvalitu vyráběného dílce. Díky evakuaci vzduchu dochází k distribuci pryskyřice. Ta je rovnoměrně rozmístěna po celé ploše dílce a neobsahuje nežádoucí bubliny, které mohou být esteticky závadné a současně zhoršují mechanické vlastnosti výrobku. Tato technologie je nicméně velmi náročná zejména na zručnosti obsluhy a současně i časově náročná. Nezbytným úkonem každého vakuového prosycování je apretace, při níž jsou odstraněny okrajové části výrobku – tímto krokem pochopitelně vzniká poměrně velké množství odpadu.

Postup prací je následující:

1. ruční naklazení laminátu
2. fólie je položena přes volný povrch kompozitního dílce
3. prostor formy je evakuován
4. ručně je film dotlačen na kompozit a všechen přebytečný vzduch je vytlačen ven
5. vytvrzení FRC
6. film je stržen z laminátu a výrobek je dokončen. [9]

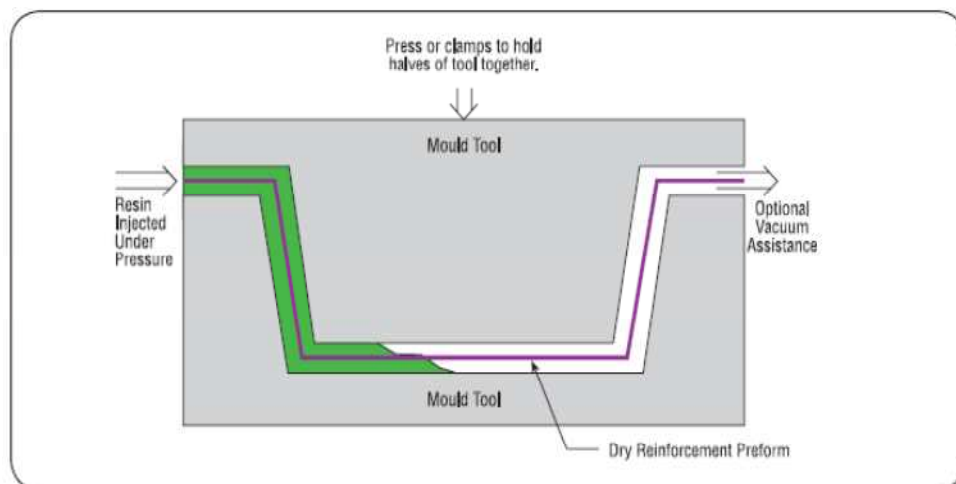


Obrázek 1 – Schéma vakuové infuze[6]

1.1.3 RTM – Resin transfer moulding

Metoda založená na transferu pryskyřice do uzavíratelné formy. Výhoda takovéto metody je zřejmá – oproti ručnímu laminování resp. vakuovému laminování poskytuje vyšší produktivitu práce. Uplatňuje se tedy zejména v případě sérií 300 – 5000ks. Povrchové vlastnosti takového výrobku jsou většinou shodné s kvalitou opracování formy, která je jeho negativem. Možnost využití této technologie je omezena zejména nutností následného snadného odformování výrobku. Postup operací je následující:

1. obě strany formy jsou nejdříve navoskovány (separace) a poté je nanesen gel coat
2. po vytvrzení gel coatu je do formy vložena suchá výztuž podle schématu daného typem výrobku
3. do uzavřené formy je potom vstříknuta pryskyřice pod tlakem 0,2-0,35MPa tak, aby došlo k úplnému prosycení výztuže a pryskyřice začala vytékat odtokovými otvory, tyto otvory jsou potom uzavřeny a forma je uzavřená ponechána až do úplného vytvrzení
4. forma je otevřena a díl je vytažen
5. výrobek je dokončen.



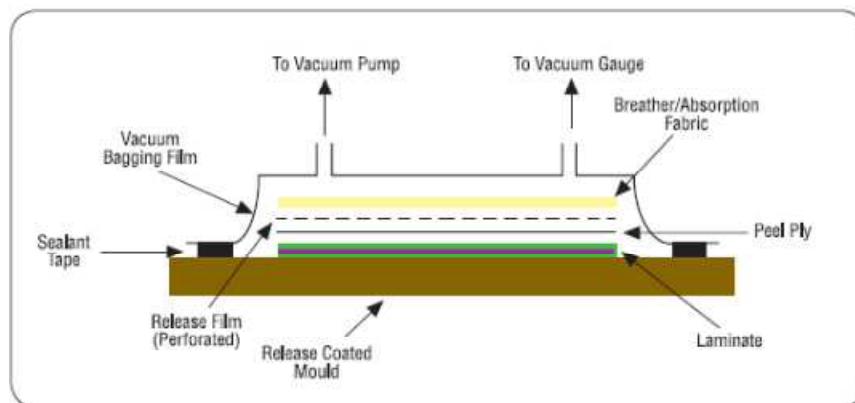
Obrázek 2 – Schéma RTM[6]

1.1.4 Vakuové lisování prepregů

Prepregy je útvar, jehož hlavní složkou je výztuž předimpregnované pryskyřice, která je částečně vytvrzená. Tento lisovaný polotovár lze na sebe vrstvit do požadované tloušťky a ve formách je pak dotvarovat a dotvrdit působením tepla, případně i tlaku. (Havel Composites nedatováno)

Postup prací je následující:

- 1.) Prepreg se postupně klade v několika vrstvách.
- 2.) Na naskládané, předimpregnované výztuže ve formě se postupně klade další technologický materiál jako je odtrhová tkanina, separační fólie, odsávací rohož a vakuovací fólie.
- 3.) Pomocí vakuovací fólie a aplikací vakua se veškerý materiál ve formě slisuje.
- 4.) Celá forma se přemístí do vyhřívací pece a nebo do autoklávu. Teplota a použitý tlak záleží na zvoleném materiálu.



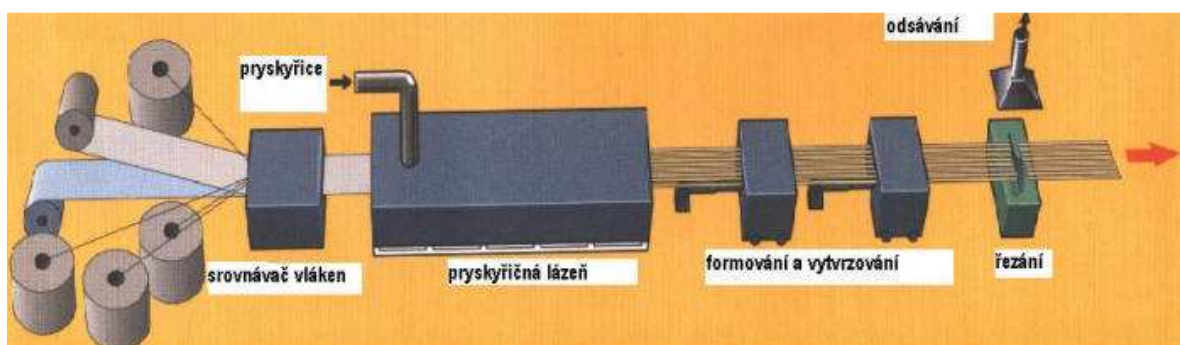
Obrázek 3 – Vakuové lisování prepregů[6]

1.1.5 Pulturze

Pulturze je technologie založena na kontinuální výrobě kompozitních profilů. Rozlišujeme uzavřený a otevřený výrobní proces. Přičemž:

Při otevřeném postupu se vedou vyztužovací vlákna přes ponořovací válec do vany s pryskyřicí. S pomocí zvláštní mřížky se rozdělením vláken tvoří žádaný profil. Vlákna se pak smáčí v pryskyřici a prochází několika oddíly, ve kterých se směs vláken a pryskyřice postupně formují až na konečný tvar.

Při uzavřeném postupu se dostávají všechna vyztužovací vlákna do styku s pryskyřicí teprve při formování, zde však pod tlakem. Tímto výrobním postupem se dosahují vyšší objemy obsažených vláken, lepší impregnace a snížení emise styrenu. [8]



Obrázek 4 – Schéma pulturní výroby [8]

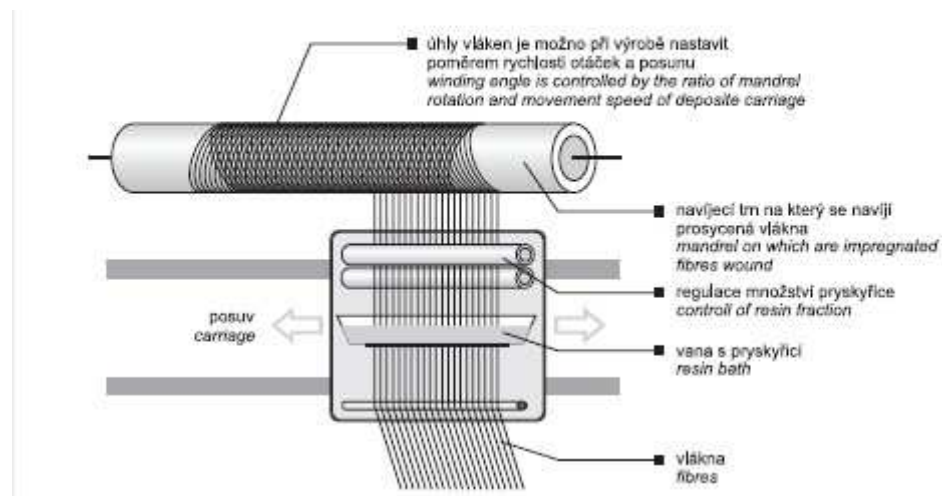
1.1.6 Navíjení

U osově souměrných a rozměrných výrobků je velmi výhodné využít technologii navíjení. Jedná se o kontinuální proces, při němž se vlákna, za pomoci odvíjecího zařízení, postupně nanášejí na připravený trn. Vlákna mohou být již navlhčena pryskyřicí. Samotný trn se po vytvrzení odstraní, nebo se stane součástí výrobku. Velkou výhodou tohoto způsobu výroby je možnost orientovat nanášení vláken s ohledem na pozdější mechanické vlastnosti výrobku.

Způsob výroby je následující:

- 1.) Do rotačního zařízení je upnuto jádro.
- 2.) Jsou navinuty výtzuže za předem naprogramovaného předpětí, složení a orientace.
- 3.) Navíjecí stopa je měněna podle požadavku designu a výpočtu vlastností tak dlouho, až je výrobek hotov.
- 4.) Kompozit je i s jádrem vložen do pece, kde se vytvrzuje při neustálé rotaci.

5.) Po vytvrzení je jádro vyndáno a výrobek je dokončen. [9]



Obrázek 5 – Schéma navíjení[4]

1.2 Parametry ovlivňující volbu technologie

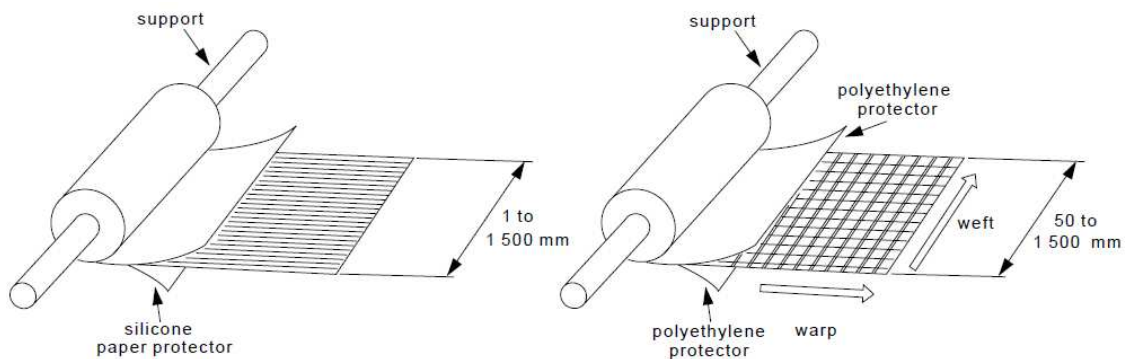
Vhodnou technologii je nutné stanovit zejména s ohledem na konečnou cenu výrobku a pochopitelně je nutné také docílit vlastností, které si žádá zákazník. Jedná se zejména o kvalitu povrchu a jeho mechanické vlastnosti. Z pohledu tvorby cen je nutné přihlížet k sériovosti produkce a taktéž tvarové členitosti výrobku. (Composites nedatováno)

2 PREPREG

Prepregy jsou pryskyřicí předimpregnované a vrstvené tkaniny, které mají výrobcem určené mechanické a vytvrzovací parametry. Z hlediska orientace vláken výztuže a tedy schopnosti přenášet napětí v jednotlivých směrech je můžeme rozdělovat na:

- a.) Jednosměrné
- b.) Vícesměrné

Velkou výhodou využití technologie předimpregnované tkaniny je vysoký podíl vláknové výztuže, minimalizace dutin a rovnoměrná distribuce pryskyřice. Pochopitelně je samotná využitelnost tohoto způsobu výroby laminovaných výrobků omezena cenou materiálu a požadavky na uskladnění. Uskladnění prepregů je řešeno v mrazničkách při teplotách okolo -20°C , které zabraňují předčasnému vytvrzení. Prepregy se prodávají ve formě rolí o určité šířce, z které výrobce stanovuje nástřihový plán. Úkolem nástřihového plánu je samozřejmě minimalizovat možný odpad, jeho objem přesto zůstává značný.



Obrázek 6 – Jednosměrně a dvousměrně orientovaný prepreg [5]

2.1 Výztuže

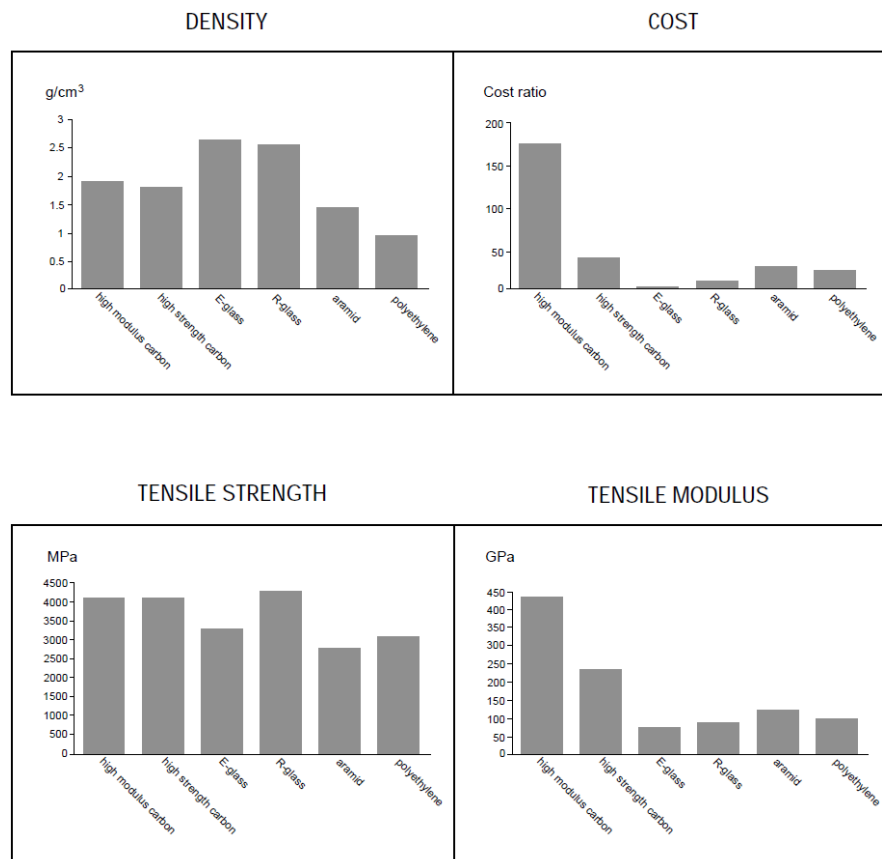
Výztuž přenáší zejména tahové napětí a z větší části určuje mechanické vlastnosti polotovaru jako je jeho celková pevnost a houževnatost. Použité výztuže taktéž částečně charakterizují výslednou tepelnou a elektrickou vodivost. Na výsledné vlastnosti produktu má významný podíl i způsob uspořádání jednotlivých vláken v matrici. Ty se mohou vyskytovat v následující formě:

- a.) Tkanin
- b.) Pásků
- c.) Rovingových svazků

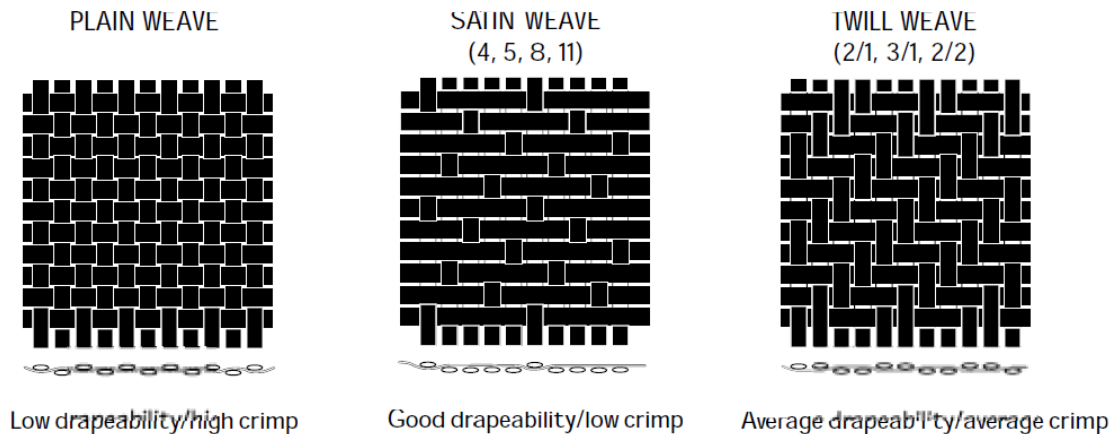
Materiály, které se využívají pro tyto účely, jsou následující:

- a.) Skelná vlákna
- b.) Karbonová vlákna
- c.) Aramidová vlákna
- d.) Polyethylenová vlákna [5]

Pevnost v tahu, modul tažnosti, srovnání nákladů a hustoty jednotlivých materiálů srovnává následující tabulka.



Obrázek 7 – Srovnání vlastností užívaných výztuží [5]



Obrázek 8 – Plátnová, saténová a krepová vazba [5]

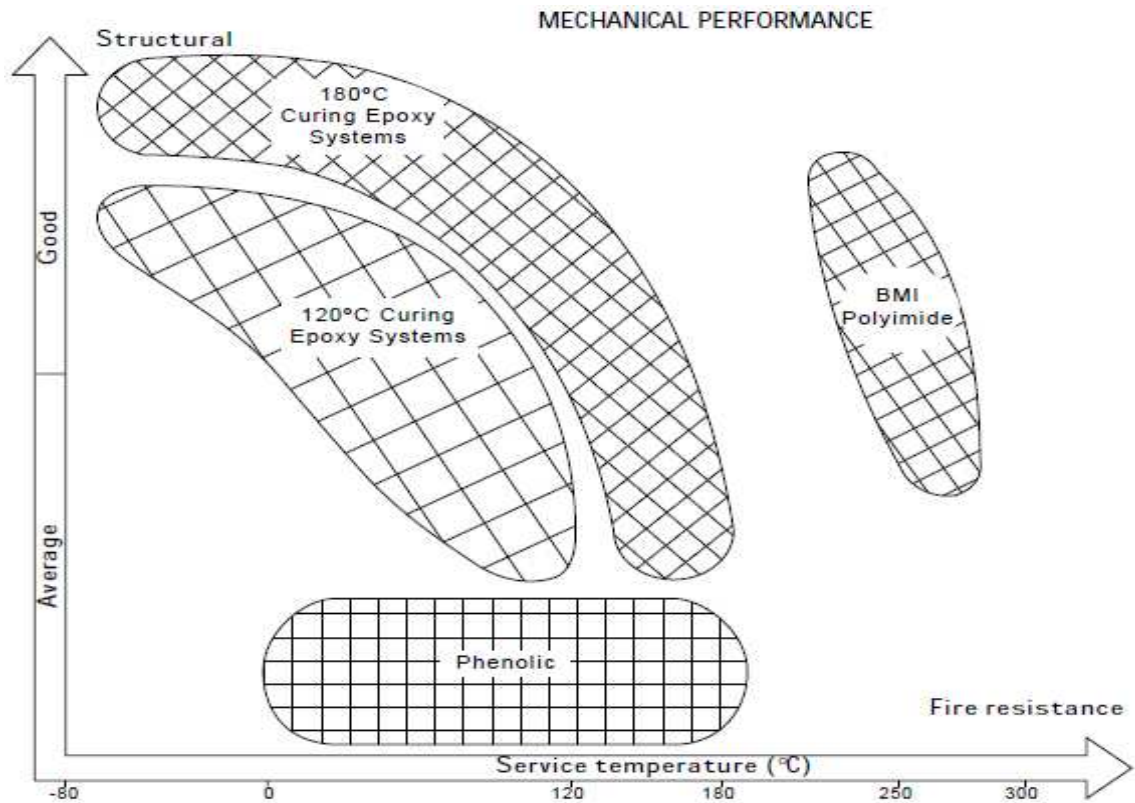
2.2 Matrice

Role matrice je především ve fixaci (je zajištěna jejich vzájemná orientace) a přenosu napětí na vlákna. Matrice také zajišťuje ochranu vláken před účinkem prostředí a určuje maximální provozní teplotu prepregů. Právě provozní teplota výrobku je důležitým parametrem pro volbu prepregové matrice.

Vlastnosti používaných matric:

Tabulka 1 – Srovnání vlastností užívaných matric [5]

<p>Epoxidová (EPOXY)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vynikající mechanické vlastnosti - Vysoká houževnatost - Snadné zpracování
<p>Fenolická (PHENOLIC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vynikající odolnost vůči hoření - Odolnost vůči vysokým teplotám - Nízká toxicita zplodin - Levná výroba výroba
<p>Bismalitická (BISMALEIMIDE)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Excelentní odolnost vůči vysokým provozním teplotám (až do 260°C) - Dobré mechanické vlastnosti - Dobrá odolnost vůči působení chemikálií, ohně a radiačního záření.

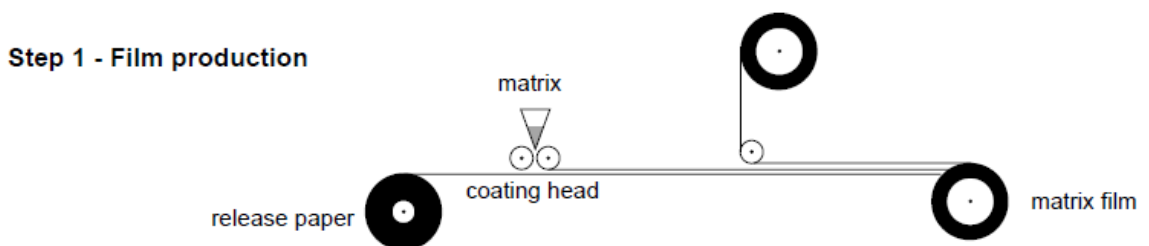


Obrázek 9 – Srovnání mechanických vlastností a pracovní teploty [5]

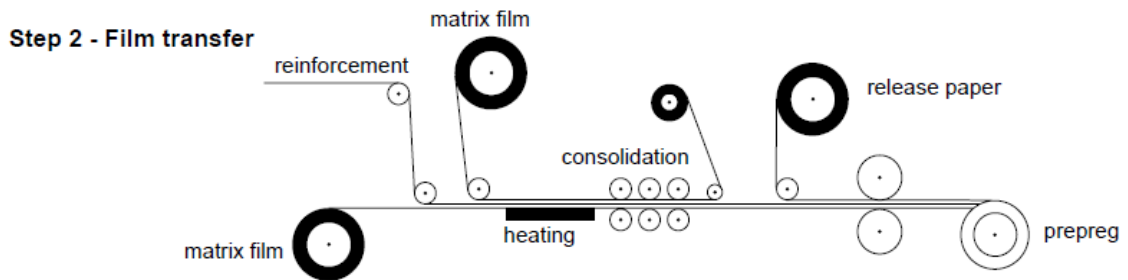
2.3 Výroba a využití prepregů

2.3.1 Výroba prepregů

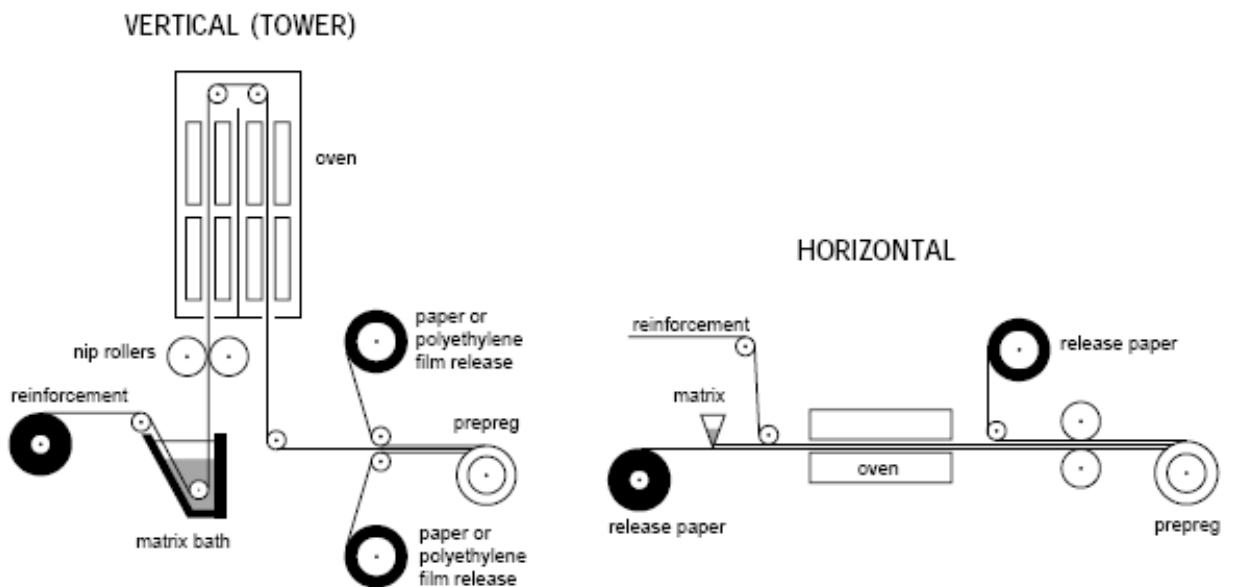
Výroba je navržena jakou dvoukrokový proces, který zahrnuje v první etapě výrobu nosného filmu, na který se následně nanáší vrstva pryskyřice a tkaniny. V praxi se můžeme setkat s dvěma typy uspořádání výrobní linky – horizontální a vertikální.



Obrázek 10 – Krok 1: Výroba nosného filmu [5]



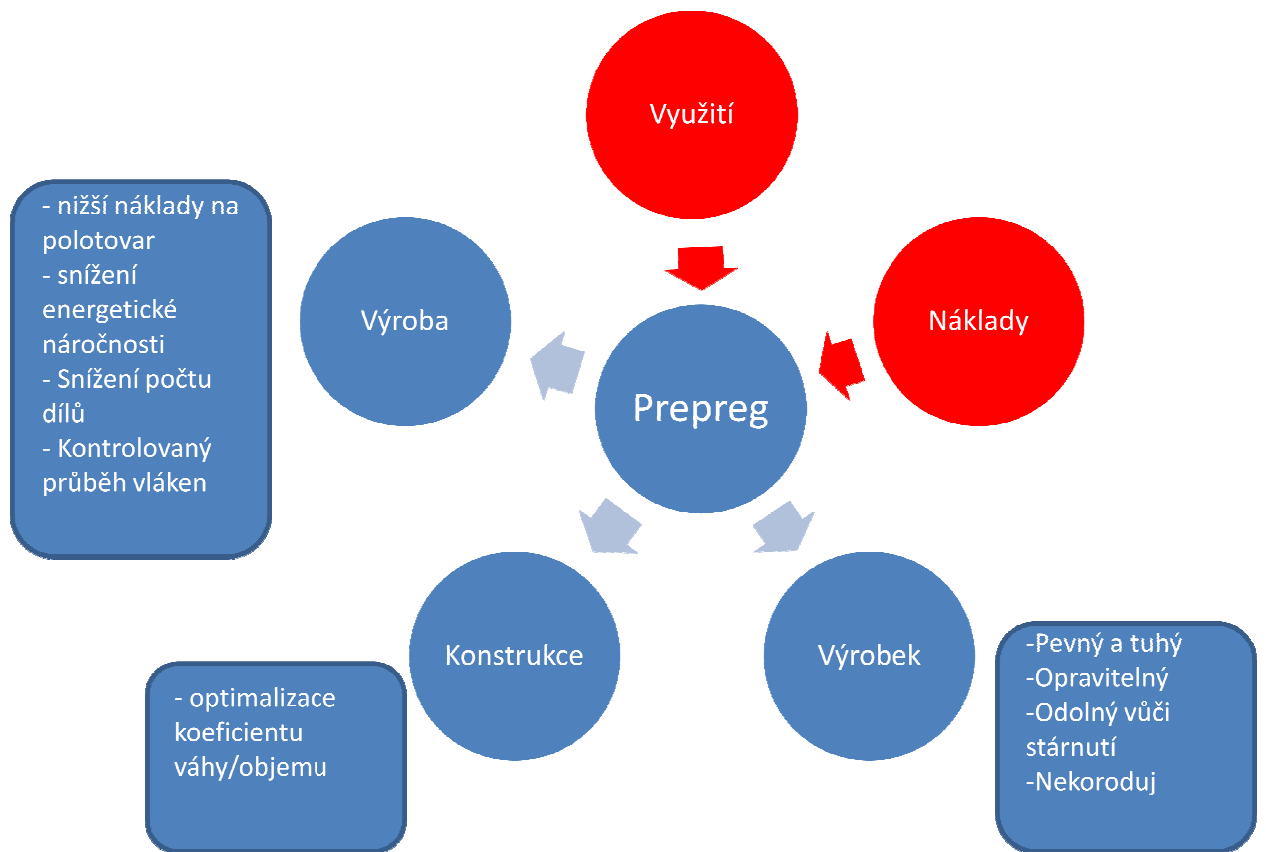
Obrázek 11 – Krok 2: Nanášení pryskyřice a tkaniny [3]



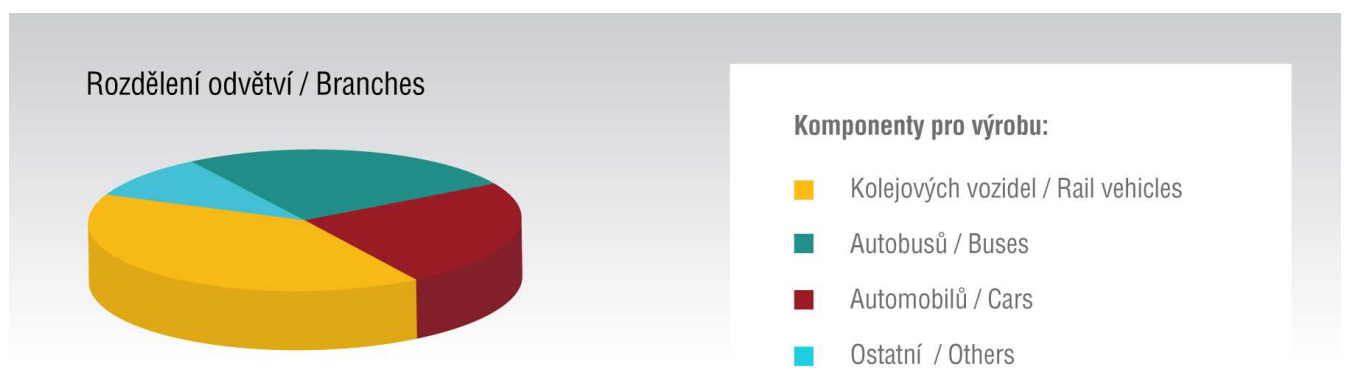
Obrázek 12 – Horizontální a vertikální uspořádání výrobní linky [5]

2.3.2 Využití prepregů

Široké spektrum uplatnění nacházejí prepregy zejména v oblasti velkoplošných výrobků, na které jsou kladeny vysoké estetické požadavky a současně je od nich vyžadována adekvátní pevnost a odolnost vůči okolnímu prostředí. Prakticky se s nimi můžeme setkat v odvětví výroby kolejových vozidel, letadel a energetiky. Bilanční schéma od společnosti Hexcel porovnává přínosy, které může využití této technologie poskytnout výrobcí a uživateli.



Obrázek 13 – Bilanční schéma přínosu prepregů [5]



Obrázek 14 – Zastoupení jednotlivých odvětví v produkci firmy FORM Composite [1]

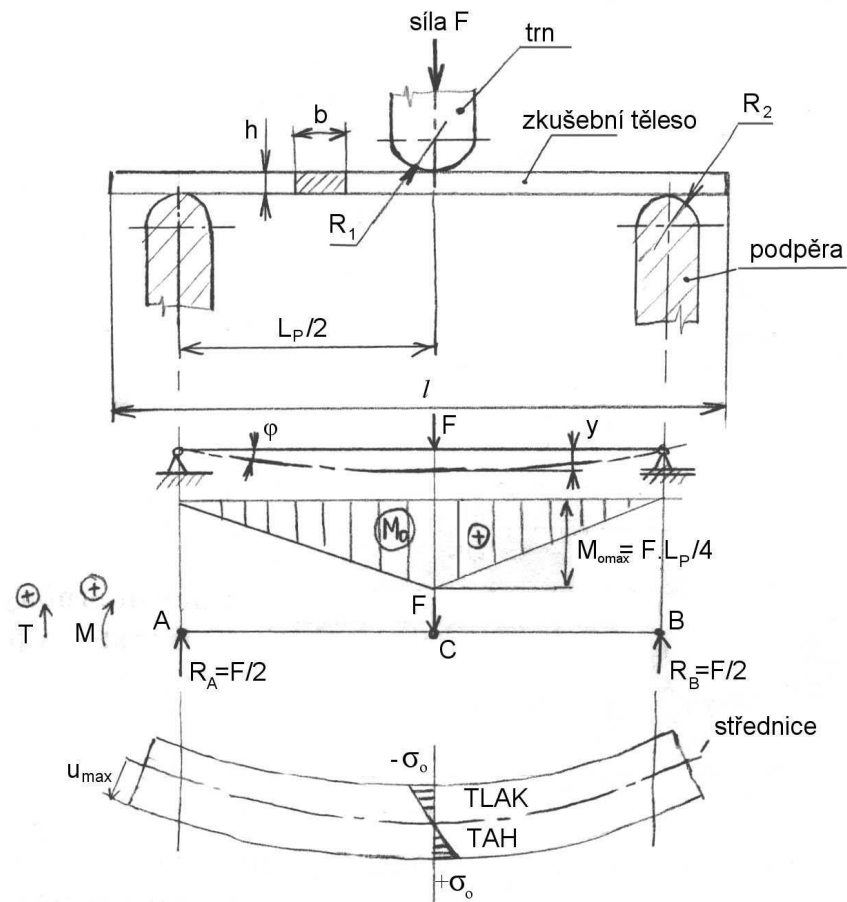
3 ZKUŠEBNÍ PROCESY

3.1 Zkouška ohybem

Slouží ke zjištění mechanických vlastností materiálu, přičemž její největší význam je u materiálů s křehkým průběhem zkoušky (např. litiny). U materiálů houževnatých nedochází vždy k celkovému porušení, ale lze sledovat deformace v závislosti na působící síle. Zkoušku popisuje norma ČSN EN ISO 178.

3.1.1 Průběh zkoušky ohybem

Zkušební tyč je uložena na podpěrách a uprostřed tyče působí zatěžující síla. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Při postupně rostoucím zatížení odměřujeme průhyb tyče y až do okamžiku, kdy se tyč přelomí nebo se trvale prohne. [7]



Obrázek 15 – Schéma ohybové zkoušky [7]

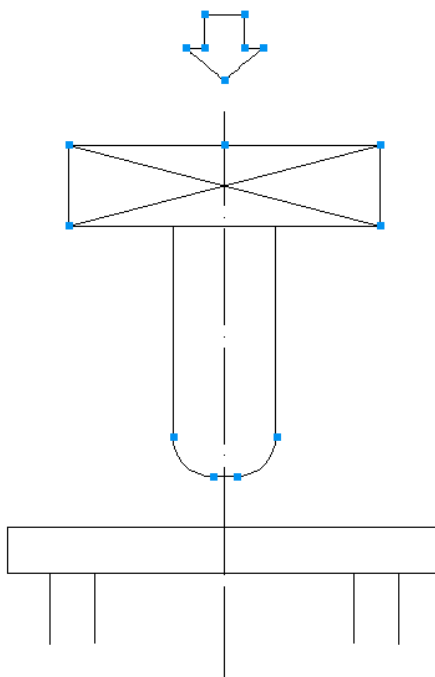
3.1.2 Určování naměřených hodnot

Tabulka 2 – Výpočet veličin při trojbodovém ohybu[7]

Napětí v ohybu	$\sigma_o = \frac{M_{o \max}}{J_Z} = \frac{M_{o \max}}{W_o}, [MPa]$ u_{\max}
Ohybový moment	$M_{o \max} = \frac{F \cdot L_p}{4}, [N \cdot mm]$
Průhyb	$y = \frac{F \cdot L_p^3}{48E \cdot J_Z}, [mm]$
Poměrný průhyb	$\varepsilon = \frac{y \cdot 6h}{L_p^2} [-]$
Modul pružnosti	$E_o = tg \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}, [MPa]$

3.2 Impact test

Norma uvádí zkušební metodu pro stanovení rázových vlastností plastů průrazem desky ČSN EN ISO 6603-1 se používá v případech, kdy k popisu rázového chování postačuje jediná prahová hodnota rázové energie potřebné k porušení tělesa. Tato část ISO 6603 se používá v případech, kdy je požadován celý průběh procesu rázu, vyjádřený pomocí křivky síla-průhyb nebo síla-čas. Při zkoušce je zkušební těleso podrobena nárazu tlouku, který dopadá nominálně konstantní rychlostí kolmo na povrch tělesa. Je předepsáno mazání nárazové plochy tlouku pro snížení tření mezi tloukem a tělesem. Upnutí zkušebního tělesa je volitelné. Tlouk je opatřen snímačem síly, výsledná křivka se zaznamenává elektronicky. [12]



Obrázek 16 – Schéma Impact testu

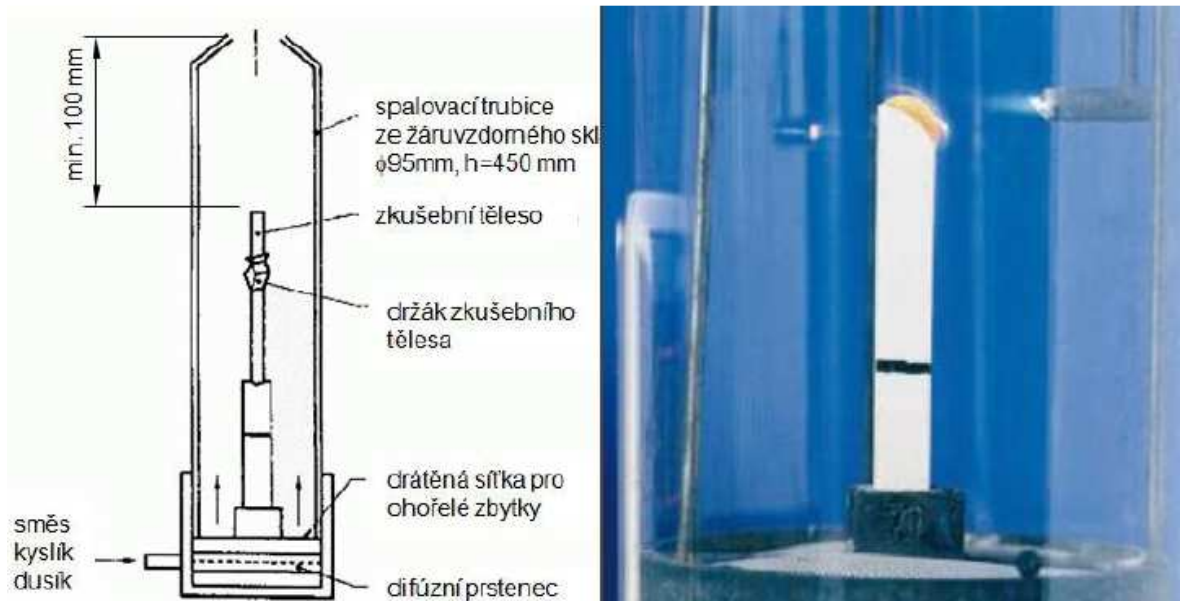
3.3 Kyslíkové číslo

Kyslíkové číslo stanovuje, v objemových procentech, minimální koncentraci kyslíku ve směsi s dusíkem, při které materiál ještě hoří.

3.3.1 Stanovení kyslíkového čísla

Zkušební těleso se připevní do stojanu, tak aby se nacházelo ve vertikální poloze a zároveň po opětovném nasazení skleněné trubice v jejím středu. Horní vrchol zkušební tělesa se musí nacházet 100 mm pod otvorem příklopné redukce horního konce trubice, která zajišťuje průtok výchozího plynu min. 90mm/s, a spodní vrchol nejméně 100mm nad dnem s rozptylovacím zařízením plynu, které zajišťuje rovnoměrné rozptýlení směsi kyslíku s dusíkem vystupující do trubice. Pomocí regulačních ventilů se nastaví průtok kyslíku a dusíku odpovídající zvolené hodnotě kyslíkového čísla dle tabulky. Hodnotu průtoku kyslíku ukazuje na pravém průtokoměru vrchol tmavé skleněné kuličky a hodnotu průtoku dusíku na levém průtokoměru vrchol stříbrné ocelové kuličky. Zkušební těleso se ponechá, za účelem pročištění, v proudu směsi kyslíku s dusíkem o zvolené koncentraci minimálně 30sekund a teprve potom se zapálí jednou z metod dle ČSN ISO 4589-2 („metoda A“ – zapálení na horním povrchu nebo „metoda B“ zapálení podporující vertikální hoření). Pře-

dem zvolený konstantní průtok a složení směsi kyslíku s dusíkem udržujeme po celou dobu zapalování a měření. Po odhoření 50mm (tělesa typu I, II, III, IV, V a VI dle ČSN ISO 4589 – 2) nebo 80 mm (těleso typu V dle ČSN ISO 4589-2) délky zkušební tělesa, pokud doba hoření dosáhne 360 s nebo pokud proces hoření ustane před dosažením zmíněných kritérií, se zaznamenají sledované hodnoty (délka prohoření a doba hoření) a regulačními ventily se zastaví přívod plynů. Za účelem zabránění dalšího prohořívání se nejprve uzavírá přívod kyslíku, popř. se následně krátkodobě zvýší přívod dusíku.



Obrázek 17 – Schéma měření kyslíkového čísla [11]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 VÝROBA VZORKŮ

V rámci praktické části této práce předcházelo výrobu a následné testování vzorků vytipování vhodných výrobních materiálů. Ty následně byly vybrány podle potřeb firmy FORM z hlediska poptávky zákazníků a řešení aktuálních projektů. Byly vybrány následující materiály (pro porovnání uvedena též hustota jednotlivých materiálů):

PREPREG – PH840-300-42

Použité vnitřní struktury:

- 1.) Papírová voština C2-3,2 – 48 (síla 9mm) – 48kg/m^3
- 2.) PET Pěna AIREX T90.100 (síla 9mm) – 110kg/m^3
- 3.) Artboard Compolet (síla 9mm) – 85kg/m^3
- 4.) COREKORK NL20 (síla 3mm) - 200kg/m^3

Součástí praktické části tedy bylo:

- Vyrobit a vytvrdit vzorky pro následující testování
- Otestovat vzorky trojbodovým ohybem
- Provést IMPACT test
- Analyzovat vzorky formou měření kyslíkového čísla
- Vyhodnotit získané výsledky
-

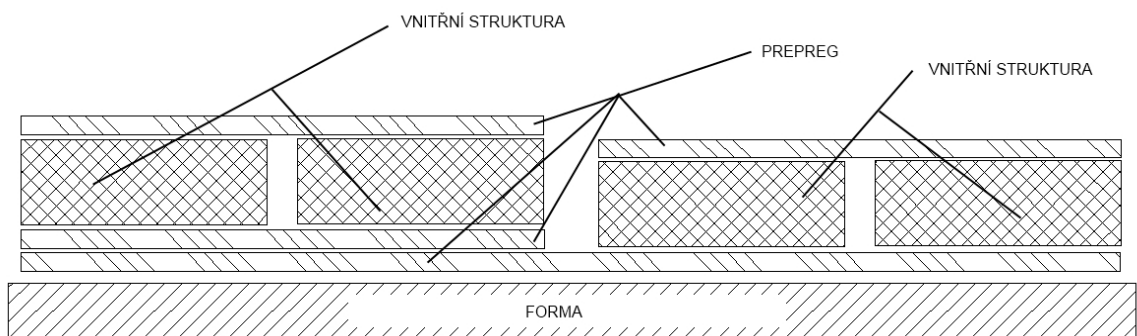
4.1 Postup výroby

- 1.) Separace formy
- 2.) Položení prvního prepregu 450x900mm
- 3.) Položení prepregů 450x450mm – 1ks
- 4.) Umístění vnitřní struktury (voštiny, resp. korku, nebo pěny)
- 5.) Položení prepregu 450x450mm – 2ks
- 6.) Umístění separační fólie
- 7.) Umístění odsávací rohože
- 8.) Umístění evakuačních ventilů

9.) Umístění vakuovací fólie včetně obvodové lepicí pásky pro izolaci vnitřního vakua

10.) Zkouška vakua (optimální hodnota dosaženého vakua je 0,8bar.

11.) Vytvrzování vzorků v příslušném režimu



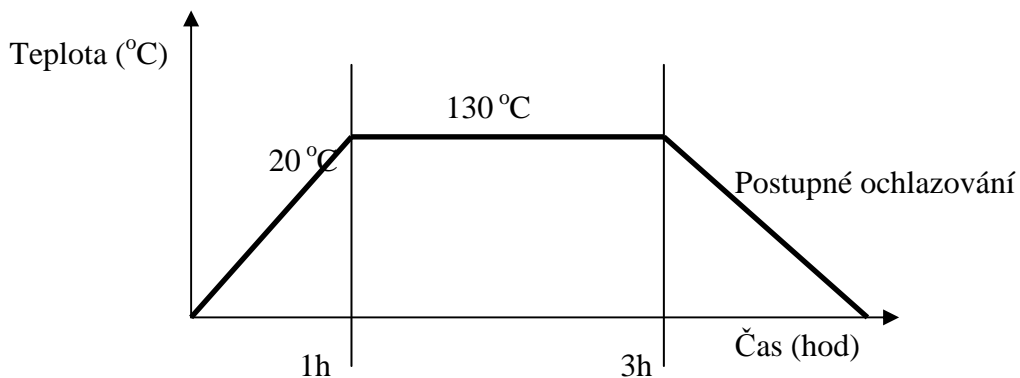
Obrázek 18 – Uspořádání vnitřních struktur a prepregu na formě



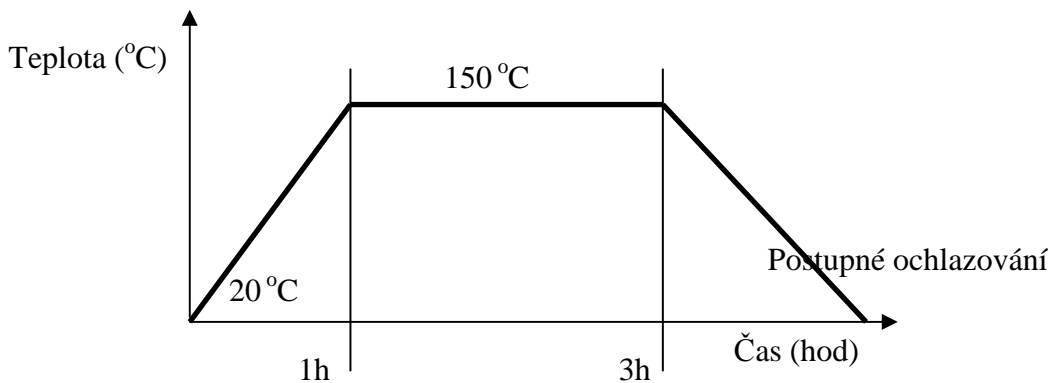
Obrázek 19 – Uspořádání jednotlivých vrstev na formě

4.2 Režim vytvrzování

Samotný vytvrzovací režim probíhal ve dvou režimech. První série vzorků byla vytvrzována při nižší teplotě 130 °C a následně byla označena jako série „A“. Druhá série byla vytvrzována za zvýšené teploty 150 °C. Tato série nese označení „B“.



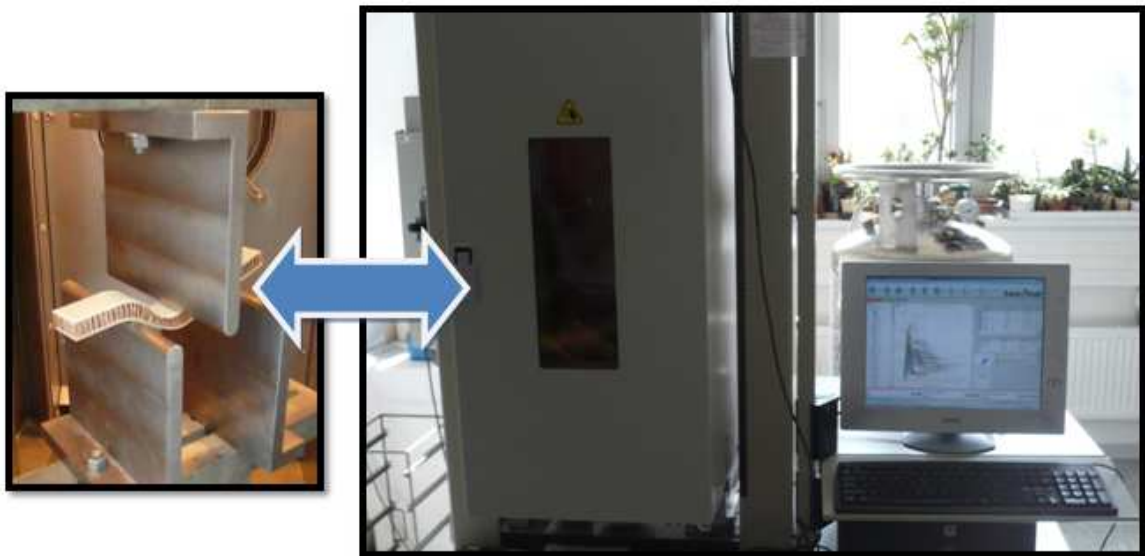
Obrázek 20 – Vytvrzovací proces série „A“



Obrázek 21 – Vytvrzovací proces série „B“ Testování vzorků

4.3 Trojbodový ohyb

Zkoušeno dle ČSN EN ISO 178 na zařízení ZWICK 1456 Vzorky byly testovány ve třech teplotních situacích: za pokojové teploty, -20 °C a +60 °C. Zkušební vzorky měli rozměry dle zvoleného materiálu 3-10mm*20mm*150mm.



Obrázek 22 – Zkouška trojbodovým ohybem v teplotní komoře

4.3.1 Výsledky zkoušky trojbodovým ohybem – Série A

Tabulka 3 – Trojbodový ohyb - Artboard Compolet „A“

	Artboard Compolet	n=5	Série A	Složení 1/1		Složení 2/2	
				Ar. průměr	Směr. odchylka	Ar. průměr	Směr. odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	0	0	1056,43	72,79
	Maximální napětí	Gp	MPa	0	0	11,77	1,02
	Maximální deformace	%		0	0	1,74	0,16
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	922,40	13,09	1071,83	105,25
	Maximální napětí	Gp	MPa	8,58	0,18	11,35	1,15
	Maximální deformace	%		2,34	0,05	1,65	0,35
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	799,40	37,51	0	0
	Maximální napětí	Gp	MPa	8,08	0,03	0	0
	Maximální deformace	%		2,82	0,15	0	0

Tabulka 4 – Trojbodový ohyb - Voština „A“

	Voština 9mm	n=7	Série A	Složení 1/1		Složení 2/2		Složení 2/1*		Složení 2/1**	
				Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	812,14	79,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	8,12	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximální deformace	%		1,24	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	968,75	79,13	1358,75	46,22	1391,25	31,80	1303,75	86,01
	Maximální napětí	Gp	MPa	10,32	1,28	16,55	0,63	17,58	0,90	11,05	0,78
	Maximální deformace	%		1,29	0,09	1,48	0,04	1,56	0,12	0,93	0,08
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	0,00	0,00	1292,00	63,37	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	0,00	0,00	15,64	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00
	Maximální deformace	%		0,00	0,00	1,48	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 5 – Trojbodový ohyb – PET Pěna „A“

	PET Pěna Airex	n=5	Série A	Složení 1/1		Složení 2/2	
				Ar.	Směr.	Ar.	Směr.
				Průměr	Odchylka	Průměr	Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	1101,667	38,04237	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	16,38333	3,090532	0,00	0,00
	Maximální deformace	%		2,616667	1,162493	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	1091,00	86,86	1370,00	48,17
	Maximální napětí	Gp	MPa	16,40	2,71	16,54	0,45
	Maximální deformace	%		2,04	0,28	2,16	0,15
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	0,00	0,00	1375	81,4862
	Maximální napětí	Gp	MPa	0,00	0,00	15,96	1,52
	Maximální deformace	%		0,00	0,00	1,94	0,10198

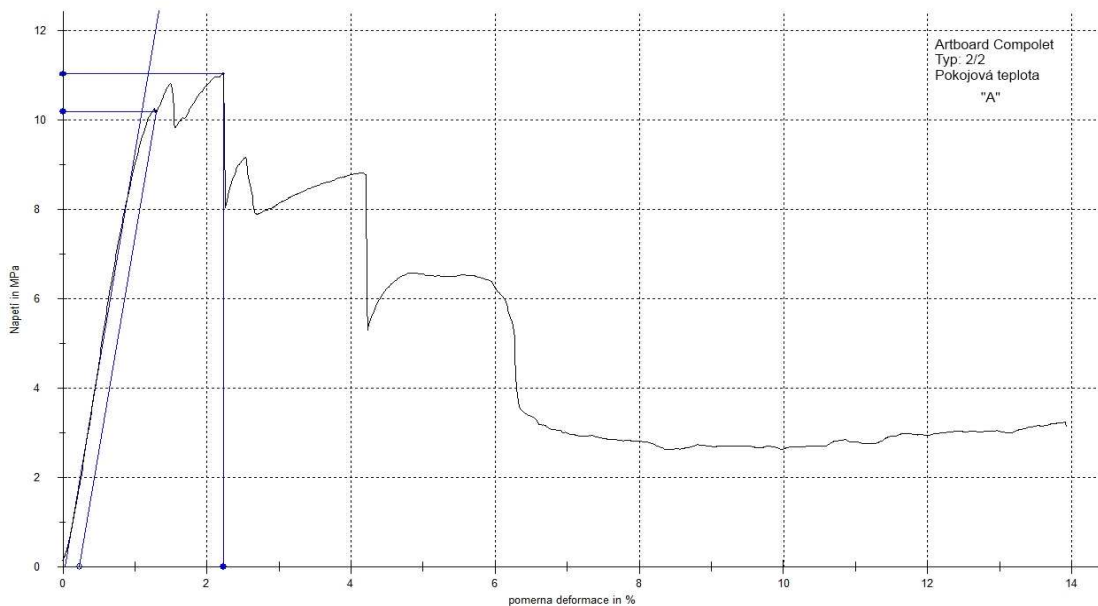
Tabulka 6 – Trojbodový ohyb – Corekork „A“

	Corekork NL20	n=5	Série A	Složení 1/1		Složení 2/2		Složení 2/1*		Složení 2/1**	
				Ar.	Směr.	Ar.	Směr.	Ar.	Směr.	Ar.	Směr.
				Průměr	Odchylka	Průměr	Odchylka	Průměr	Odchylka	Průměr	Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	4222,00	98,06	4544,00	155,13	4422,00	161,67	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	25,62	0,63	43,38	1,82	45,18	1,17	0,00	0,00
	Maximální deformace	%		0,70	0,00	1,76	0,15	1,76	0,10	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	0,00	0,00	0,00	0,00	6312,50	136,82	6200,00	163,10
	Maximální napětí	Gp	MPa	0,00	0,00	0,00	0,00	70,60	2,24	43,90	2,98
	Maximální deformace	%		0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,11	0,80	0,00
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	5594,00	135,29	6340,00	140,29	5892,00	70,54	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	35,60	1,59	62,60	0,87	62,84	1,05	0,00	0,00
	Maximální deformace	%		0,68	0,04	1,38	0,04	1,56	0,19	0,00	0,00

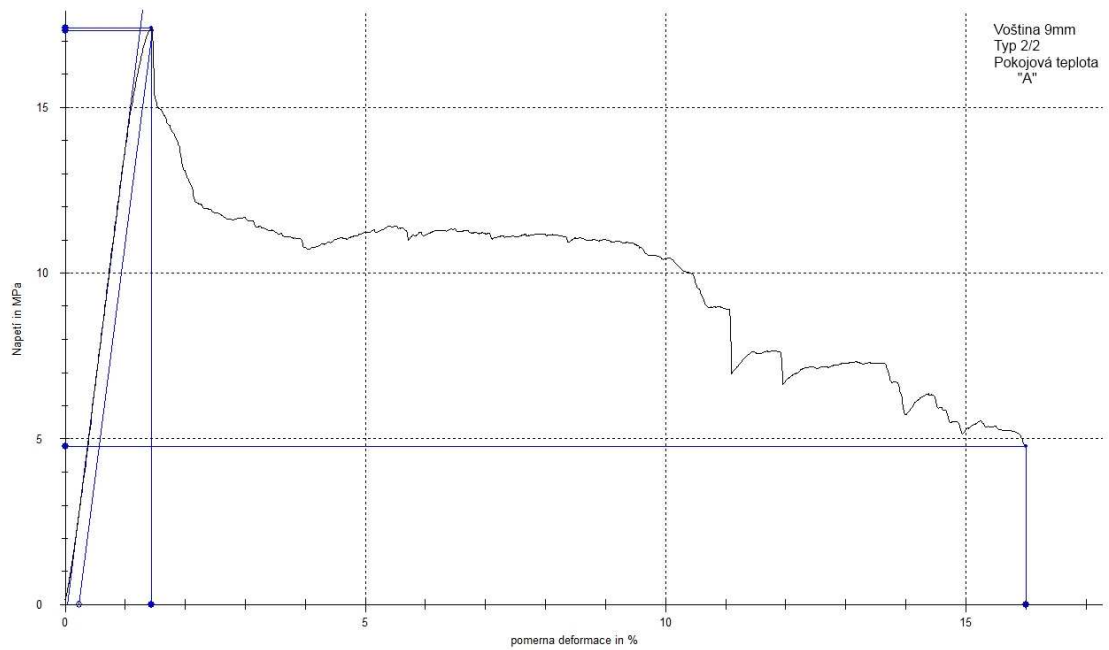
Pozn.:

2/1* - zatěžující síla působila na stranu, která byla opatřena dvěma vrstvami prepregů

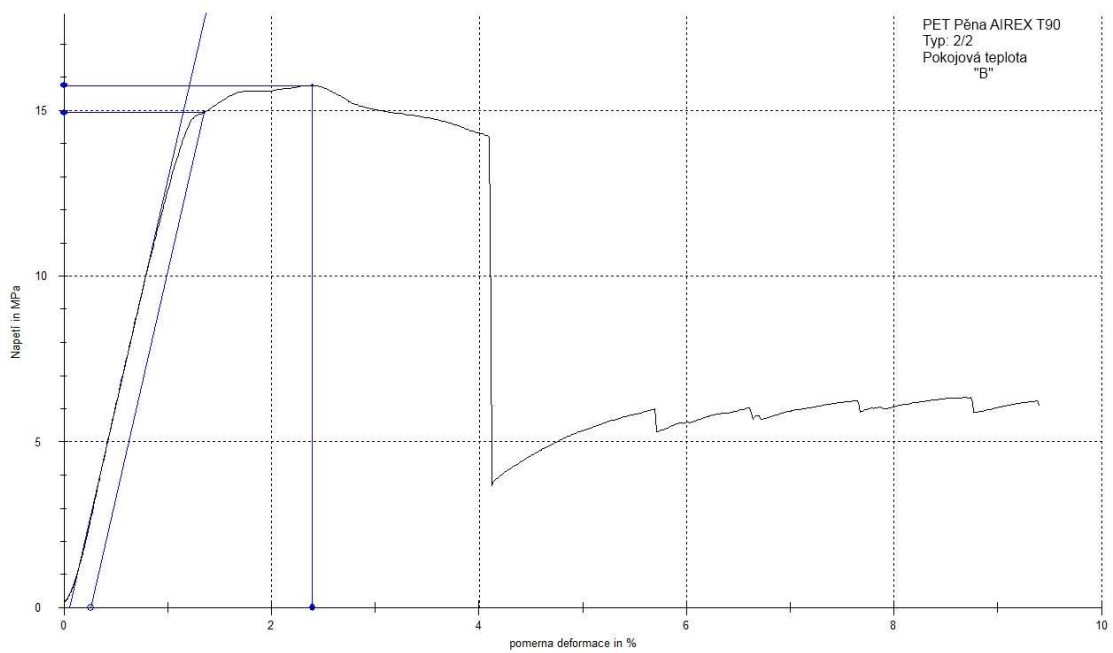
2/1** - zatežující síla působila na stranu, která byla opatřena jednou vrstvou prepregu



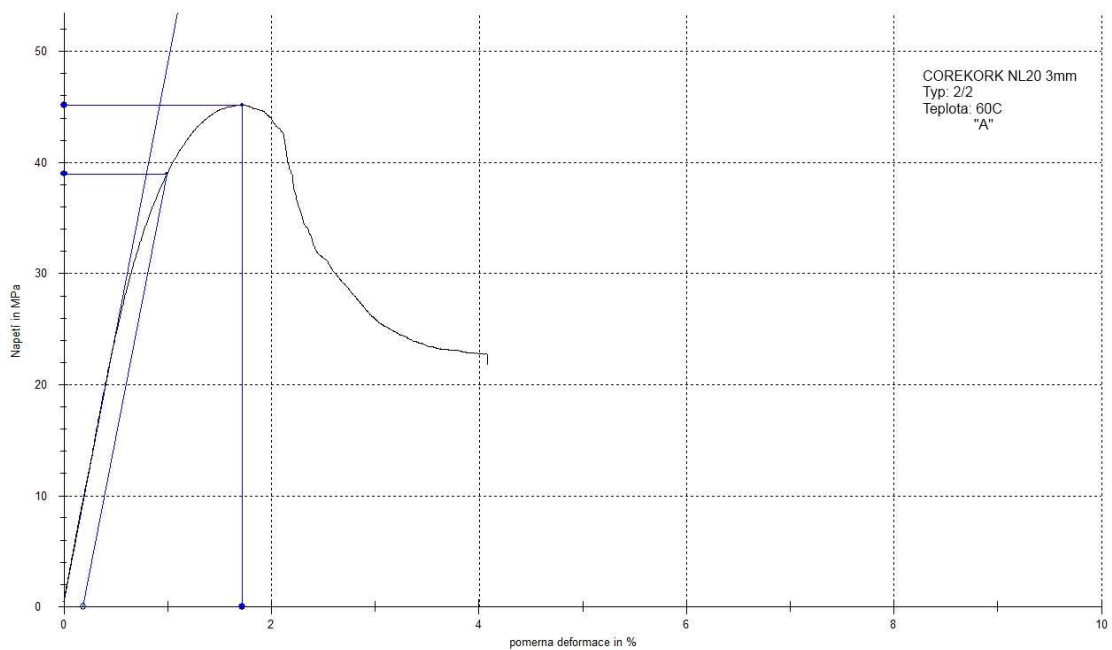
Obrázek 23 –Průběh ohybového napětí pro Artboard Compolet „A“



Obrázek 24 – Průběh ohybového napětí pro Voštinu „A“



Obrázek 25 – Průběh ohybového napětí pro PET Pěnu AIREX T90 „A“

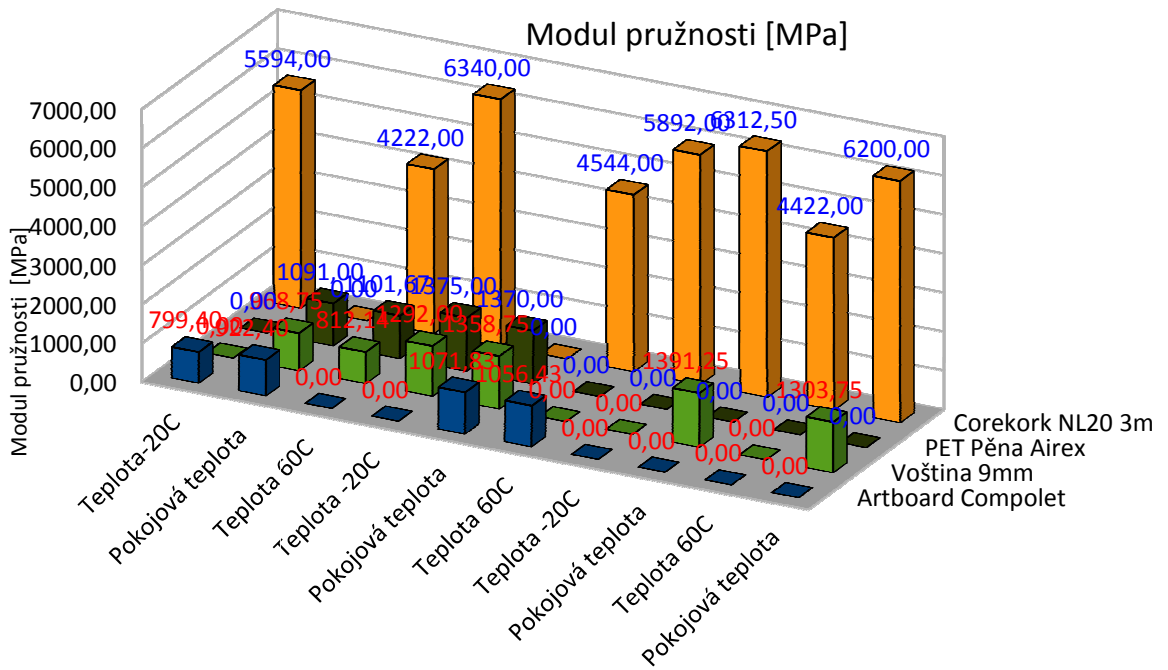


Obrázek 26 – Průběh ohybového napětí pro Corekork NL20 3mm „A“

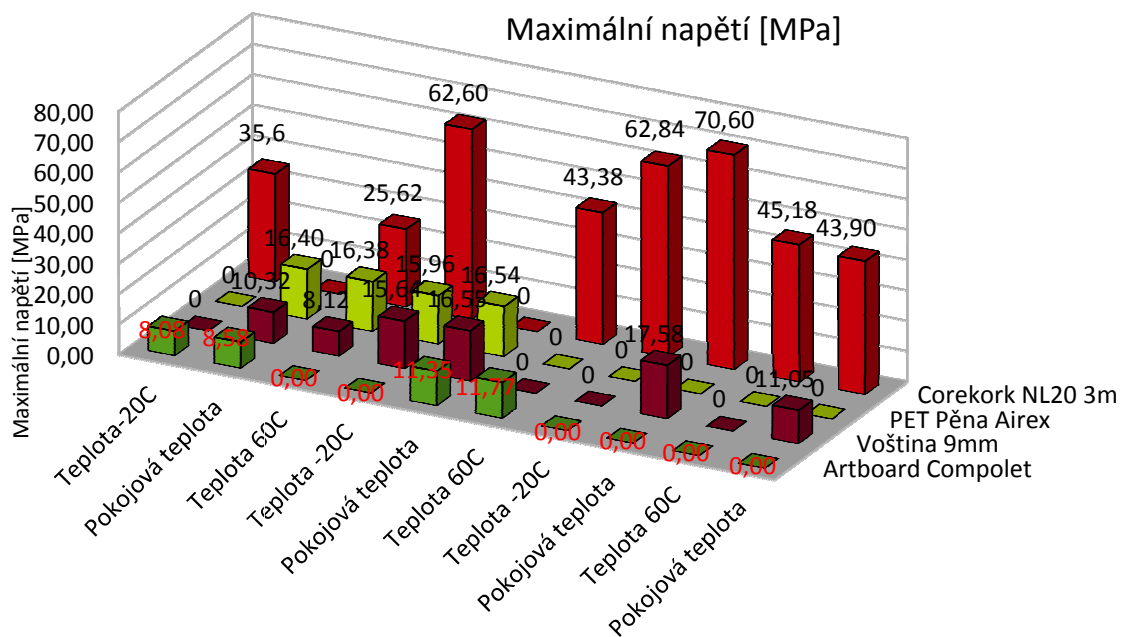
4.3.1 Statistické zhodnocení – Série A

Tabulka 7 – Vliv prepregu na měřené veličiny „A“

		Typ 1/1	Výchozí hodnota	Typ 2/2	Procentuální vyjádření	Typ 1/2(*)	Procentuální vyjádření	Typ 1/2(**)	Procentuální vyjádření
Artboard Compolet	Modul pružnosti [MPa]	922,40	100%	1071,83	116%	0	0%	0	0%
	Maximální napětí [MPa]	8,58	100%	11,35	132%	0	0%	0	0%
	Poměrná deformace [%]	2,34	100%	1,65	71%	0	0%	0	0%
Voština 9mm	Modul pružnosti [MPa]	968,75	100%	1358,75	140%	1391,25	144%	1303,75	135%
	Maximální napětí [MPa]	10,32	100%	16,55	160%	17,575	170%	11,05	107%
	Poměrná deformace [%]	1,29	100%	1,48	115%	1,5625	121%	0,925	72%
PET Pěna Airex	Modul pružnosti [MPa]	1091,00	100%	1370,00	126%	0	0%	0	0%
	Maximální napětí [MPa]	16,40	100%	16,54	101%	0	0%	0	0%
	Poměrná deformace [%]	2,04	100%	2,16	106%	0	0%	0	0%



Obrázek 27 – Grafické znázornění – Modul pružnosti „A“



Obrázek 28 – Grafické znázornění – Napětí v ohybu „A“

Tabulka 9 – Trojbodový ohyb – Voština 9mm „B“

	Voština 9mm	n=6	Série B	Složení 1/1		Složení 2/2		Složení 2/1*		Složení 2/1**	
				Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	1624,29	69,87	1365,00	26,30	1396,00	28,71	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	17,37	1,76	17,58	0,47	18,78	0,40	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	1,14	0,13	1,72	0,07	1,80	0,13	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	1811,43	115,07	1605,00	63,05	1478,00	41,67	1480,00	30,33
	Maximální napětí	Gp	MPa	18,96	1,73	18,49	0,99	19,28	0,74	16,06	0,48
	Maximální deformace		%	1,14	0,09	1,59	0,28	1,64	0,10	1,16	0,05
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	1748,00	45,78	1544,00	55,71	1450,00	57,27	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	18,70	1,42	18,20	0,66	19,64	0,41	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	1,12	0,04	1,40	0,00	1,72	0,07	0,00	0,00

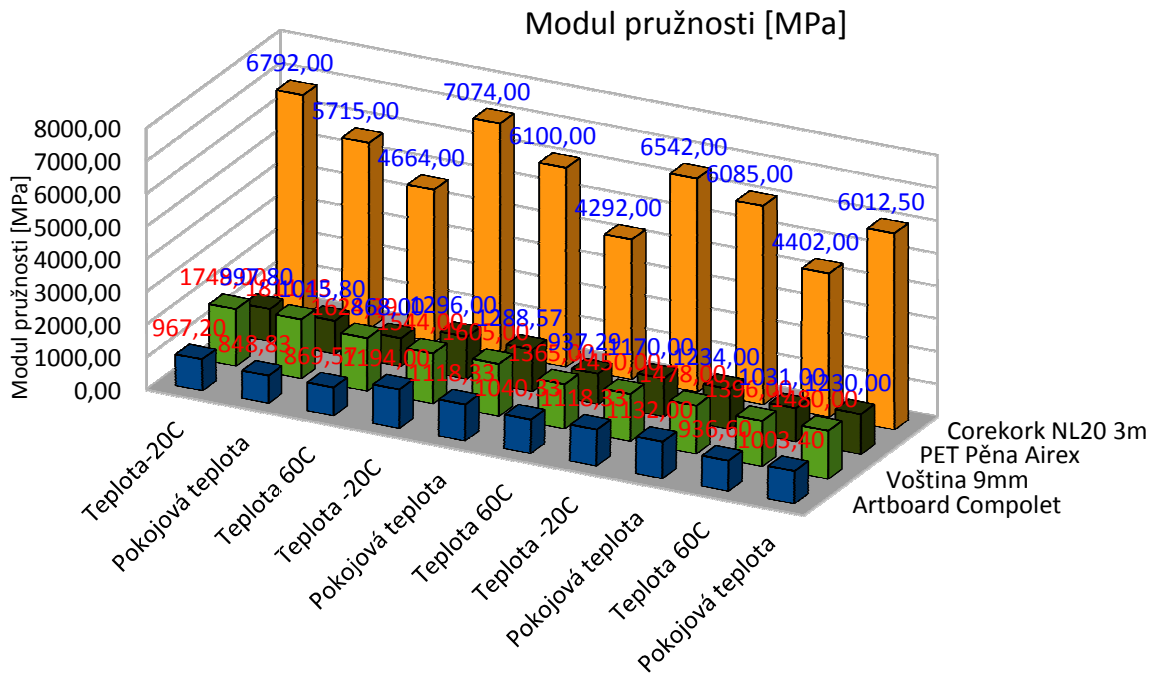
Tabulka 10 – Trojbodový ohyb – PET Pěna „B“

	PET Pěna Airex	n=5	Série B	Složení 1/1		Složení 2/2		Složení 2/1*		Složení 2/1**	
				Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	868,00	30,44	937,29	40,35	1031,00	31,69	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	8,60	0,82	14,84	0,67	13,82	1,26	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	1,22	0,31	6,46	0,94	2,58	0,38	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	1015,80	34,46	1288,57	59,80	1234,00	41,28	1230,00	90,83
	Maximální napětí	Gp	MPa	10,00	0,53	23,10	2,19	18,54	0,90	12,70	2,38
	Maximální deformace		%	1,10	0,11	5,11	2,51	2,32	0,15	1,40	0,35
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	997,80	29,33	1296,00	41,28	1170,00	22,80	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	9,94	0,59	20,98	1,82	15,48	4,60	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	1,10	0,11	2,70	0,39	1,96	0,65	0,00	0,00

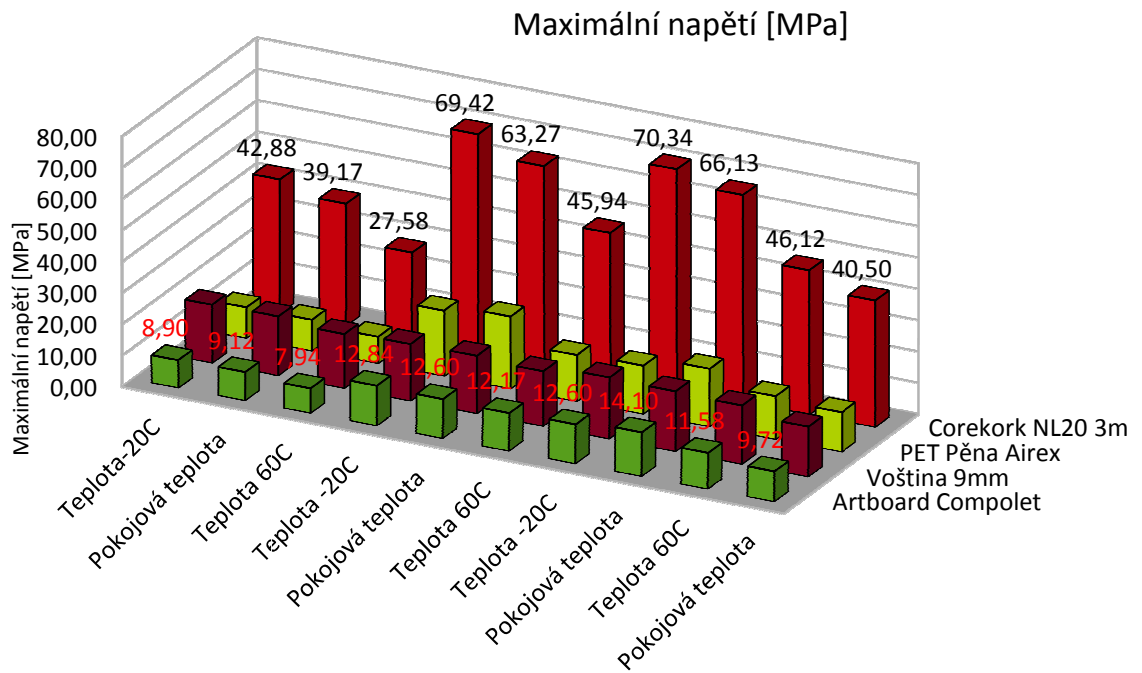
Tabulka 11 – Trojbodový ohyb – Corekork NL20 3mm „B“

	Corekork NL20 3mm	n=5	Série B	Složení 1/1		Složení 2/2		Složení 2/1*		Složení 2/1**	
				Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka	Ar. Průměr	Směr. Odchylka
Teplota 60C	Modul pružnosti	E	MPa	4664,00	193,35	4292,00	61,12	4402,00	76,26	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	27,58	0,86	45,94	2,45	46,12	1,09	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	0,66	0,05	2,42	0,22	1,88	0,12	0,00	0,00
Pokoj. teplota	Modul pružnosti	E	MPa	5715,00	153,31	6100,00	286,59	6085,00	219,15	6012,50	186,33
	Maximální napětí	Gp	MPa	39,17	1,65	63,27	2,02	66,13	2,63	40,50	3,18
	Maximální deformace		%	0,77	0,04	1,94	0,22	1,78	0,08	0,83	0,04
Teplota -20C	Modul pružnosti	E	MPa	6792,00	102,25	7074,00	113,07	6542,00	216,83	0,00	0,00
	Maximální napětí	Gp	MPa	42,88	3,02	69,42	4,00	70,34	2,92	0,00	0,00
	Maximální deformace		%	0,68	0,07	1,64	0,17	1,64	0,08	0,00	0,00

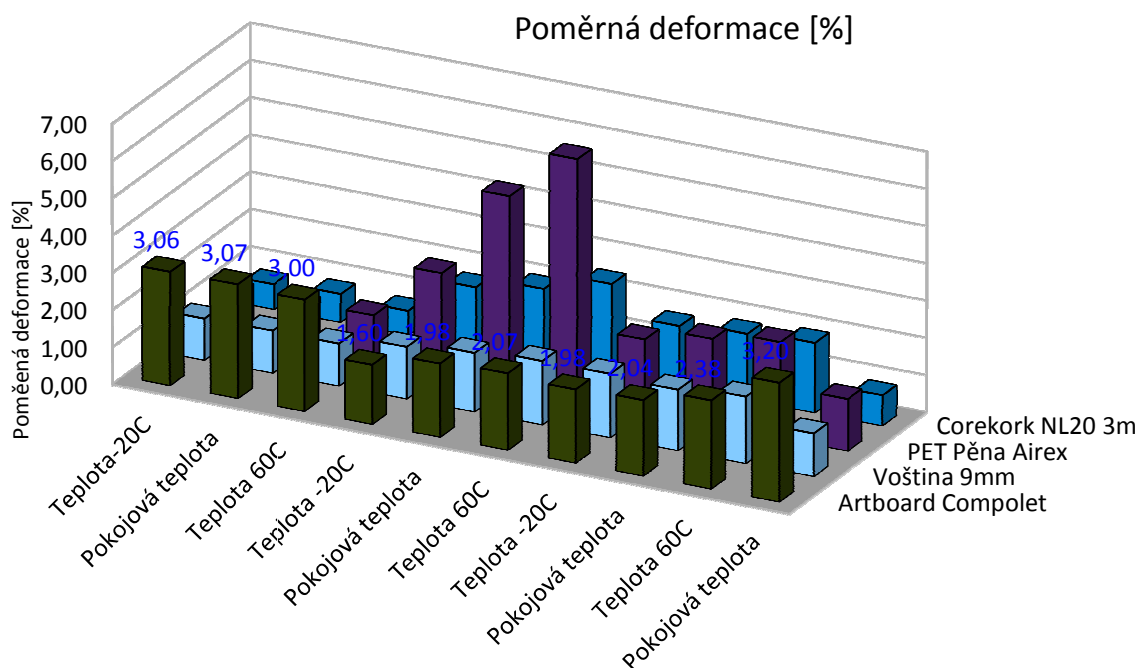
4.3.2 Statistické zhodnocení – Série B



Obrázek 30 – Grafické znázornění – Modul pružnosti „B“



Obrázek 31 – Grafické znázornění – Maximální napětí „B“



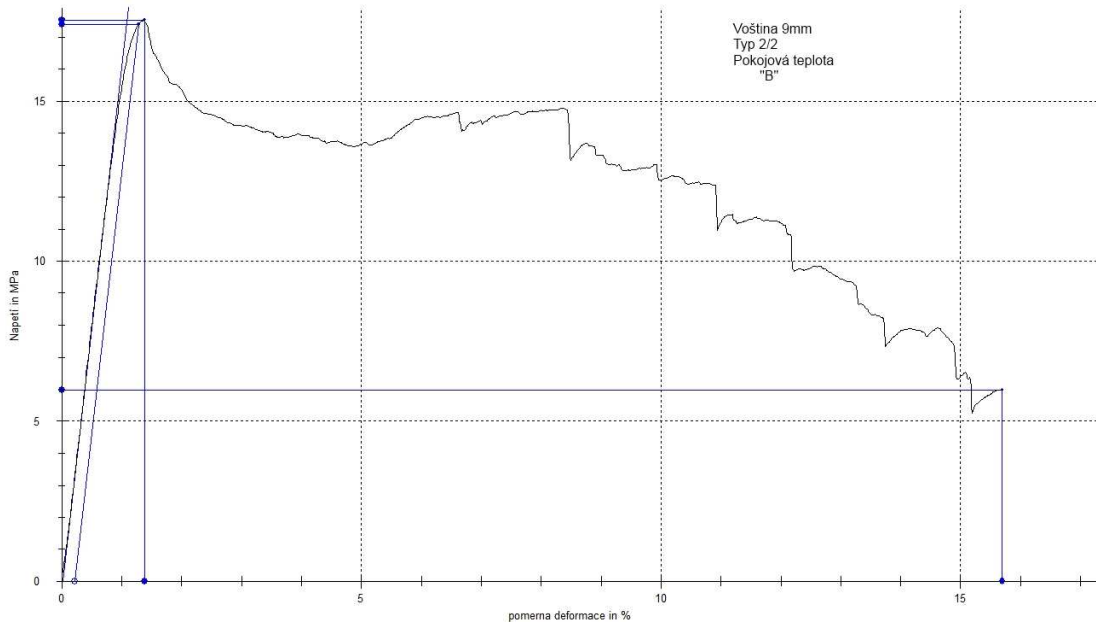
Obrázek 32 – Grafické znázornění – Poměrná deformace „B“

Tabulka 12 – Vliv prepregu na měřené veličiny „B“

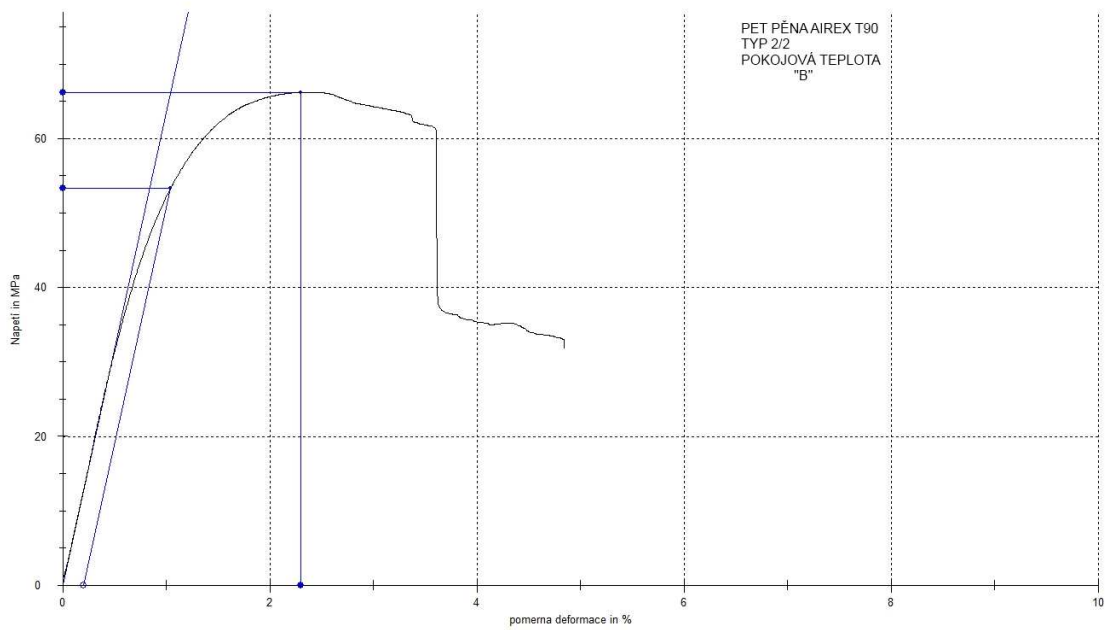
		Typ 1/1	Procent. vyjádření	Typ 2/2	Procent. Vyjádření	Typ 1/2(*)	Procent. Vyjádření	Typ 1/2(**)	Procent. Vyjádření
Artboard Compolet	Modul pružnosti [MPa]	848,83	100%	1118,33	132%	1132	133%	1003,4	0%
	Maximální napětí [MPa]	9,12	100%	12,60	138%	14,1	155%	9,724	0%
	Poměrná deformace [%]	3,07	100%	1,98	65%	2,04	67%	3,2	0%
Voština 9mm	Modul pružnosti [MPa]	1811,43	100%	1605,00	89%	1478,00	82%	1480,00	82%
	Maximální napětí [MPa]	18,96	100%	18,49	98%	19,28	102%	16,06	85%
	Poměrná deformace [%]	1,14	100%	1,59	139%	1,64	144%	1,16	102%
PET Pěna Airex	Modul pružnosti [MPa]	1015,80	100%	1288,57	127%	1234	121%	1230	0%
	Maximální napětí [MPa]	10,00	100%	23,10	231%	18,54	185%	12,7	0%
	Poměrná deformace [%]	1,10	100%	5,11	465%	2,32	211%	1,4	0%
Corekork NL20 3mm	Modul pružnosti [MPa]	5715	100%	6100	107%	6085,00	106%	6012,50	0%
	Maximální napětí [MPa]	39,16667	100%	63,27143	162%	66,13	169%	40,50	0%
	Poměrná deformace [%]	0,766667	100%	1,942857	253%	1,78	232%	0,83	0%

Tabulka 13 – Porovnání vytvrzovacích režimů a jejich důsledky

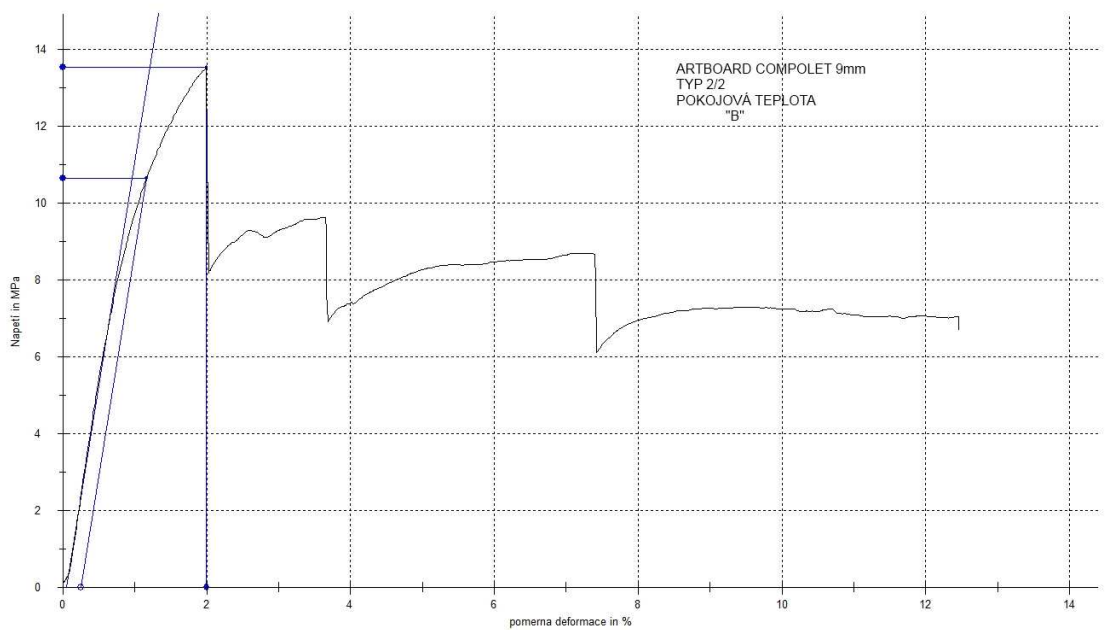
		Při pokojové teplotě 1/1			Při pokojové teplotě 2/2		
		Série A	Série B	Procent. vyjádření A=100%	Série A	Série B	Procent. vyjádření A=100%
Artboard Compolet	Modul pružnosti [MPa]	922,40	848,83	92%	1071,83	1118,33	104%
	Maximální napětí [MPa]	8,58	9,12	106%	11,35	12,60	111%
	Poměrná deformace [%]	2,34	3,07	131%	1,65	1,98	120%
Voština 9mm	Modul pružnosti [MPa]	968,75	1811,43	187%	1358,75	1605,00	118%
	Maximální napětí [MPa]	10,32	18,96	184%	16,55	18,49	112%
	Poměrná deformace [%]	1,29	1,14	89%	1,48	1,59	108%
PET Pěna Airex	Modul pružnosti [MPa]	1091,00	1015,80	93%	1370,00	1288,57	94%
	Maximální napětí [MPa]	16,40	10,00	61%	16,54	23,10	140%
	Poměrná deformace [%]	2,04	1,10	54%	2,16	5,11	237%
Corekork NL20 3m	Modul pružnosti [MPa]	0	5715	0%	0	6100	0%
	Maximální napětí [MPa]	0	39,166667	0%	0	63,27143	0%
	Poměrná deformace [%]	0	0,7666667	0%	0	1,942857	0%



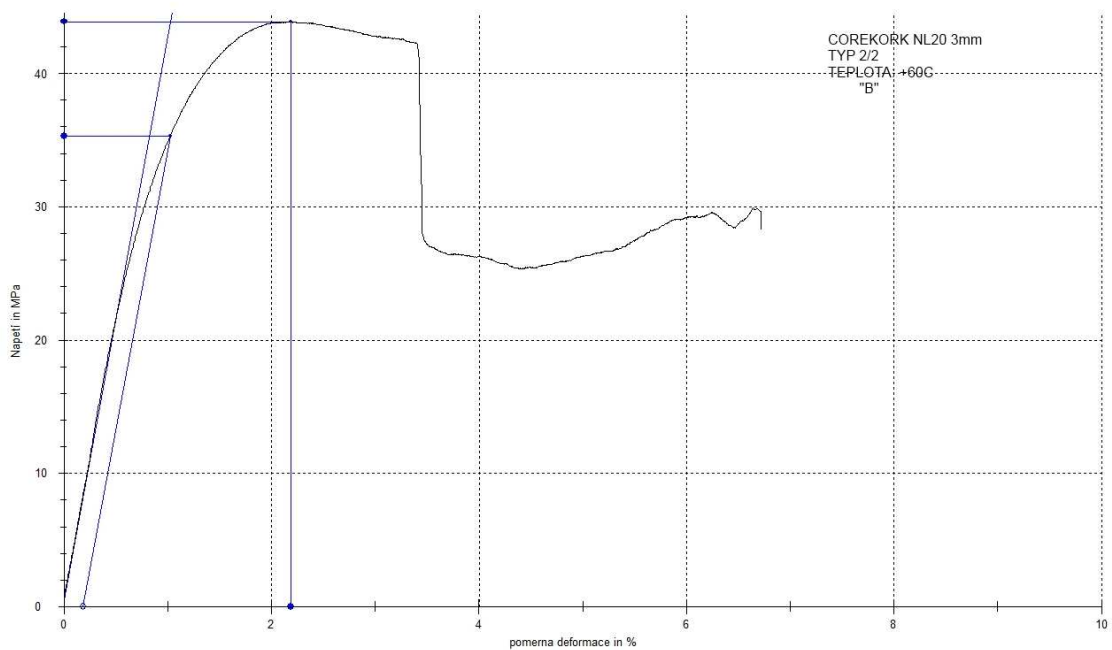
Obrázek 33 – Průběh ohybového napětí pro Voštinu „B“



Obrázek 34 – Průběh ohybového napětí pro PET Pěnu AIREX T90 „B“



Obrázek 35 – Průběh ohybového napětí pro ARTBOARD COMPOLET „B“



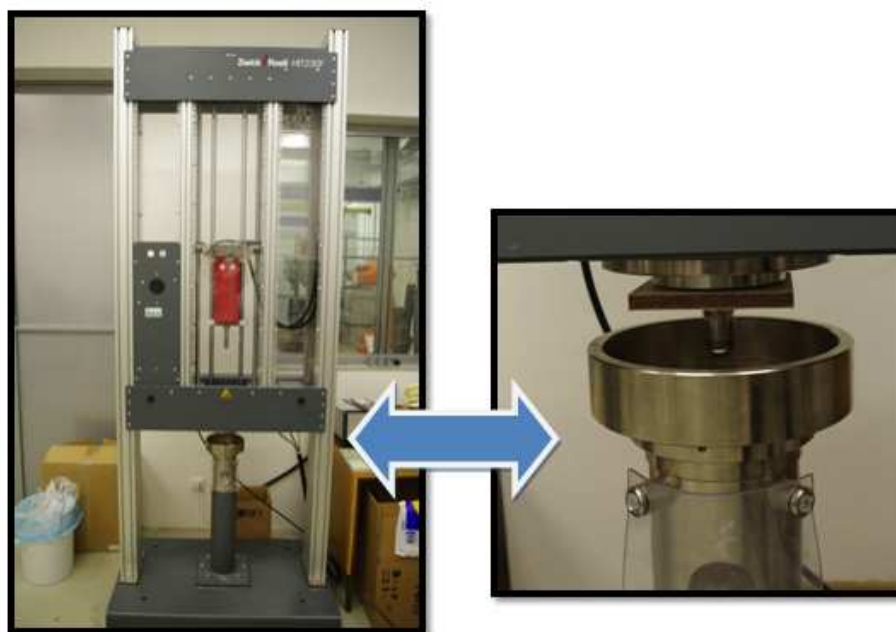
Obrázek 36 – Průběh ohybového napětí pro COREKORK NL20 „B“

4.4 IMPACT TEST

Velikost zkušebního vzorku: 100x100xVýška tělesa

Zkoušeno jen za pokojové teploty

Hodnocená šarže: „B“ – vzorky vyrobené při vyšší vytvrzovací teplotě



Obrázek 37 – Zkouška na padostroji

4.4.1 Výsledky IMAPCT Test

Tabulka 14 – Impact test – Corekork NL 20, typ 2/1

Corekork 2/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{\lo Begin}	V{\lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{\lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	4604,6	7,57	14,28	2,93	2,52	14,18	440	7,64	2302,3	14,56	37,72
s	0	0	0	0	85,25	0,12	0,15	0,01	0,02	0,65	0	0,16	43,01	0,53	1,06
{ny}	0	0	0	0	1,78	2,21	2,07	0,04	0,93	3,33	0	2,25	2,76	4,26	2,23
med	2,938	23,17	0	99,96	4604,6	7,57	14,28	2,93	2,52	14,18	440	7,64	2302,3	14,56	37,72

Tabulka 15 – Impact test – Corekork NL 20, typ 2/2

Corekork2/2	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{\lo Begin}	V{\lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{\lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	4824,8	6,99	14,15	2,93	2,33	20,36	440	7,26	2412,4	15,22	48,28
s	0	0	0	0	116,17	0,15	0,33	0	0,02	0,73	0	0,18	58,08	0,66	1,08
{ny}	0	0	-	0	2,41	2,11	2,35	0,04	0,96	3,58	0	2,47	2,41	4,31	2,25
med	2,938	23,17	0	99,96	4824,8	6,99	14,15	2,93	2,33	20,36	440	7,26	2412,4	15,22	48,28

Tabulka 16 – Impact test – Corekork NL 20, typ 1/1

Corekork 1/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{\lo Begin}	V{\lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{\lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	3923,3	7,16	10,95	2,95	2,71	8,11	440	7,27	1961,6	11,28	26,17
s	0	0	0	0	152,07	0,03	0,27	0,02	0,02	1,15	0	0,09	76,04	0,11	2,63
{ny}	0	0	-	0	3,88	0,4	2,51	0,57	0,68	14,13	0	1,2	3,88	0,99	10,03
med	2,938	23,17	0	99,96	3923,3	7,16	10,95	2,95	2,71	8,11	440	7,27	1961,6	11,28	26,17

Tabulka 17 – Impact test – Artboard Compolet, typ 2/1

Arboard Compolet 2/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	5133,1	11,99	23,73	2,94	2,09	28,87	440	12,59	2566,6	25,99	62,37
s	0	0	0	0	602,21	0,43	3,32	0	0,03	0,91	0	0,11	301,1	1,62	1,54
{ny}	0	0	-	0	11,73	3,57	14	0,08	1,37	3,16	0	0,85	11,73	6,23	2,47
med	2,938	23,17	0	99,96	5133,1	11,99	23,73	2,94	2,09	28,87	440	12,59	2566,6	25,99	62,37

Tabulka 18 – Impact test – Artboard Compolet, typ 2/2

Arboard Compolet 2/2	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	6388,8	12,77	32,04	2,94	1,77	39,78	440	13,06	3194,4	33,66	76,86
s	0	0	0	0	420,23	0,29	1,91	0	0,01	0,47	0	0,27	210,12	1,92	0,43
{ny}	0	0	-	0	6,58	2,23	5,95	0,06	0,84	1,18	0	2,09	6,58	5,71	0,56
med	2,938	23,17	0	99,96	6388,8	12,77	32,04	2,94	1,77	39,78	440	13,06	3194,4	33,66	76,86

Tabulka 19 – Impact test – Artboard Compolet, typ 1/1

Arboard Compolet 1/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	3692,3	12,78	21,04	2,94	2,46	16,26	440	12,97	1846,1	21,63	42
s	0	0	0	0	215,36	0,35	1,65	0,06	0,06	0,38	0	0,32	198,2	1,89	0,25
{ny}	0	0	-	0	8,78	3,35	5,46	0,83	0,76	1,35	0	2,15	6,32	5,68	0,28
med	2,938	23,17	0	99,96	3692,3	12,78	21,04	2,94	2,46	16,26	440	12,97	1846,1	21,63	42

Tabulka 20 – Impact test – PET Pěna, typ 2/1

PET Pěna 2/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	n	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	3199,9	12,47	15,09	2,94	2,51	14,43	440	12,79	1599,9	16,03	38,91
s	0	0	0	0	48,25	0,35	1,2	0,07	0,07	2,15	0	0,65	25,36	0,98	2,98
{ny}	0	0	-	0	1,28	0,96	2,85	0,46	0,52	3,39	0	0,69	1,12	4,25	6,21
med	2,938	23,17	0	99,96	3199,9	12,47	15,09	2,94	2,51	14,43	440	12,79	1599,9	16,03	38,91

Tabulka 21 – Impact test – PET Pěna, typ 2/2

PET Pěna 2/2	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	m	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	4208,4	12,46	21,31	2,93	2,29	21,83	440	12,94	2104,2	23	50,55
s	0	0	0	0	35,75	0,03	0,67	0,01	0,02	1,01	0	0,08	17,87	0,89	2,06
{ny}	0	0	-	0	0,85	0,26	3,16	0,33	0,96	4,63	0	0,62	0,85	3,86	4,07
med	2,938	23,17	0	99,96	4208,4	12,46	21,31	2,93	2,29	21,83	440	12,94	2104,2	23	50,55

Tabulka 22 – Impact test – PET Pěna, typ 1/1

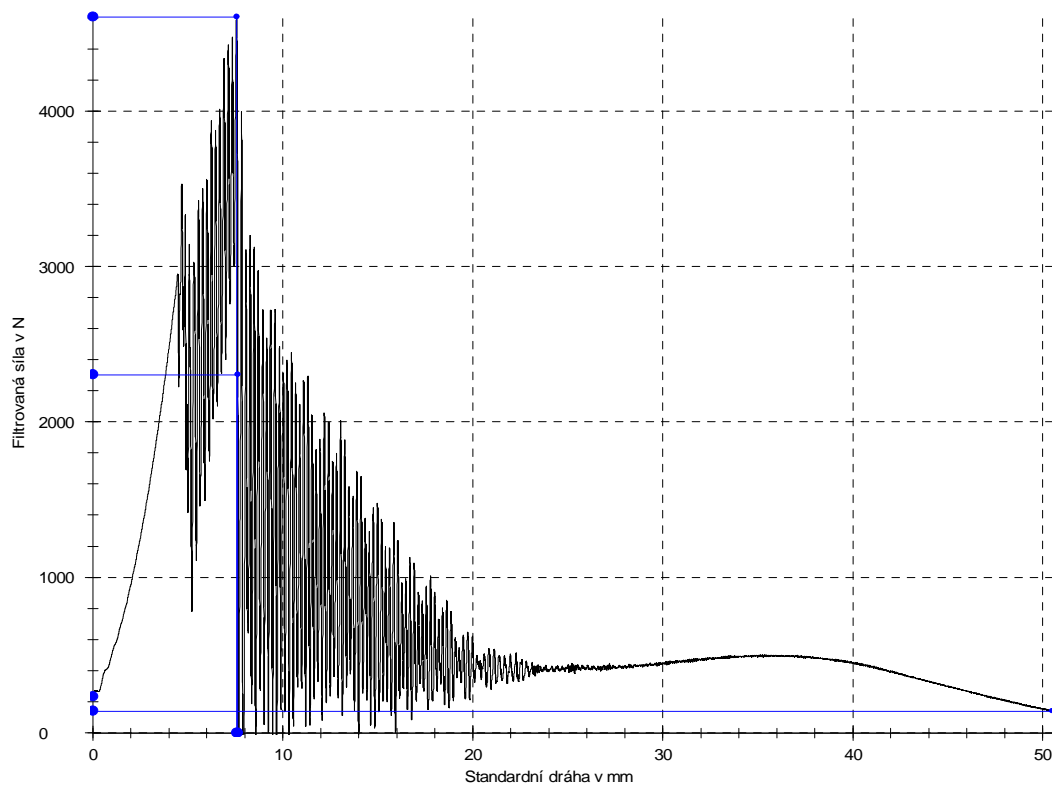
PET Pěna 1/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	m	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	2968,7	15,4	22,33	2,92	2,58	11,58	440	15,62	1484,4	22,96	32,42
s	0	0	0	0	452,34	3,09	13,13	0	0,21	7,13	0	3,22	226,17	13,61	12,07
{ny}	0	0	-	0	15,24	20,08	58,8	0,01	8,07	61,59	0	20,6	15,24	59,26	37,23
med	2,938	23,17	0	99,96	2802,2	13,84	14,93	2,92	2,7	7,61	440	13,92	1401,1	15,14	25,8

Tabulka 23 – Impact test – Voštiny typ 2/2

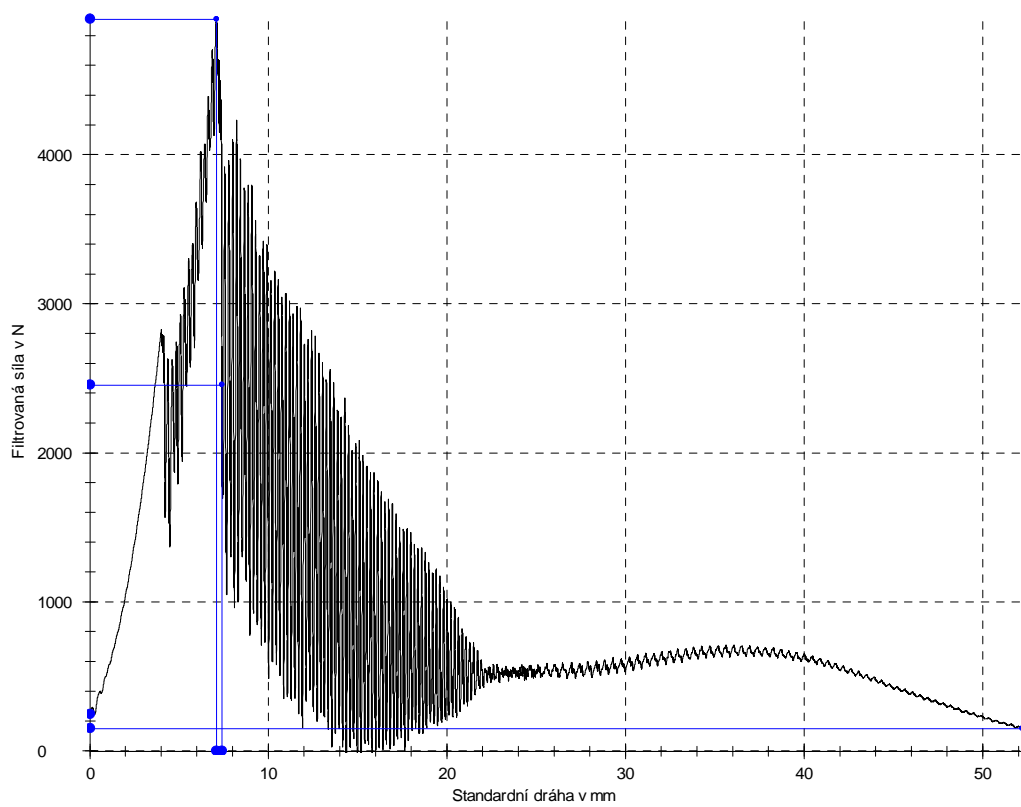
Voštiny 2/2	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	m	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	3473,7	13	19,77	2,92	2,38	18,26	440	13,23	1736,8	20,43	44,73
s	0	0	0	0	126,24	0,17	0,56	0	0,02	0,54	0	0,05	63,12	0,12	0,84
{ny}	0	0	-	0	3,63	1,33	2,82	0,02	0,64	2,93	0	0,37	3,63	0,58	1,88
med	2,938	23,17	0	99,96	3473,7	13	19,77	2,92	2,38	18,26	440	13,23	1736,8	20,43	44,73

Tabulka 24 – Impact test – Voštiny typ 1/1

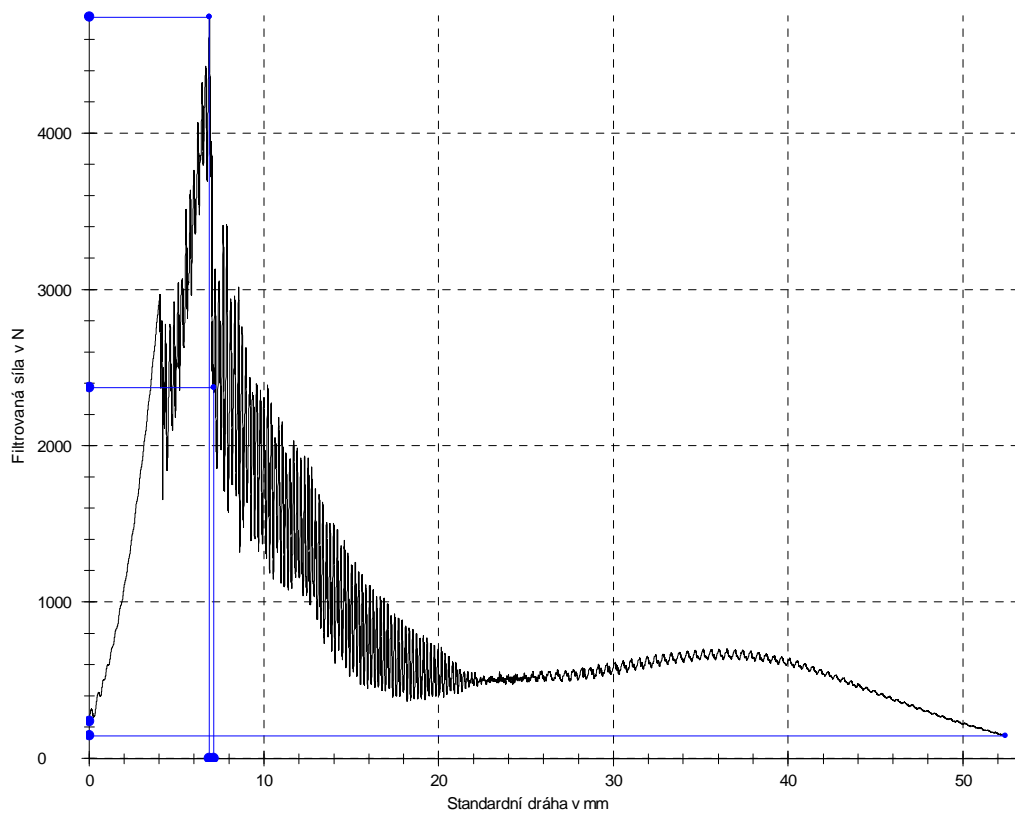
Voštiny 1/1	Teoretická nárazová rychlost	Celková hmotnost	Nominální energie	Jmenovitá energie	Fmax	Sm	Wm	V{lo Begin}	V{lo End}	Pokles rychlosti	Výška pádu	Ip	Fp	Ep	W{lo konec}
n = 5	m	kg	J	J	N	mm	J	m/s	m/s	%	mm	mm	N	J	J
{ol x}	2,938	23,17	0	99,96	1751,8	5,6	4,98	2,92	2,77	5,19	440	5,67	875,89	5,09	21,19
s	0	0	0	0	227,42	0,36	0,61	0	0,01	0,4	0	0,38	113,71	0,67	0,5
{ny}	0	0	-	0	12,98	6,4	12,23	0	0,42	7,65	0	6,77	12,98	13,13	2,35
med	2,938	23,17	0	99,96	1751,8	5,6	4,98	2,92	2,77	5,19	440	5,67	875,89	5,09	21,19



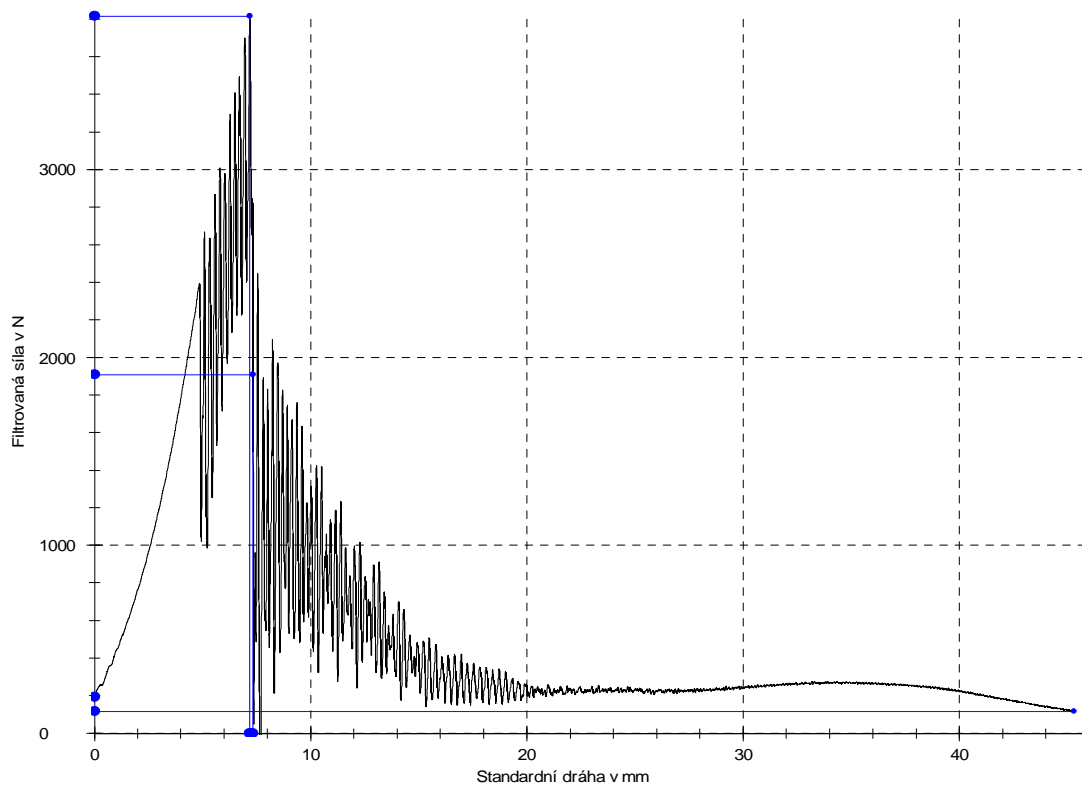
Obrázek 38 – IMPACT Test pro COREKORK NL20 – 2/1



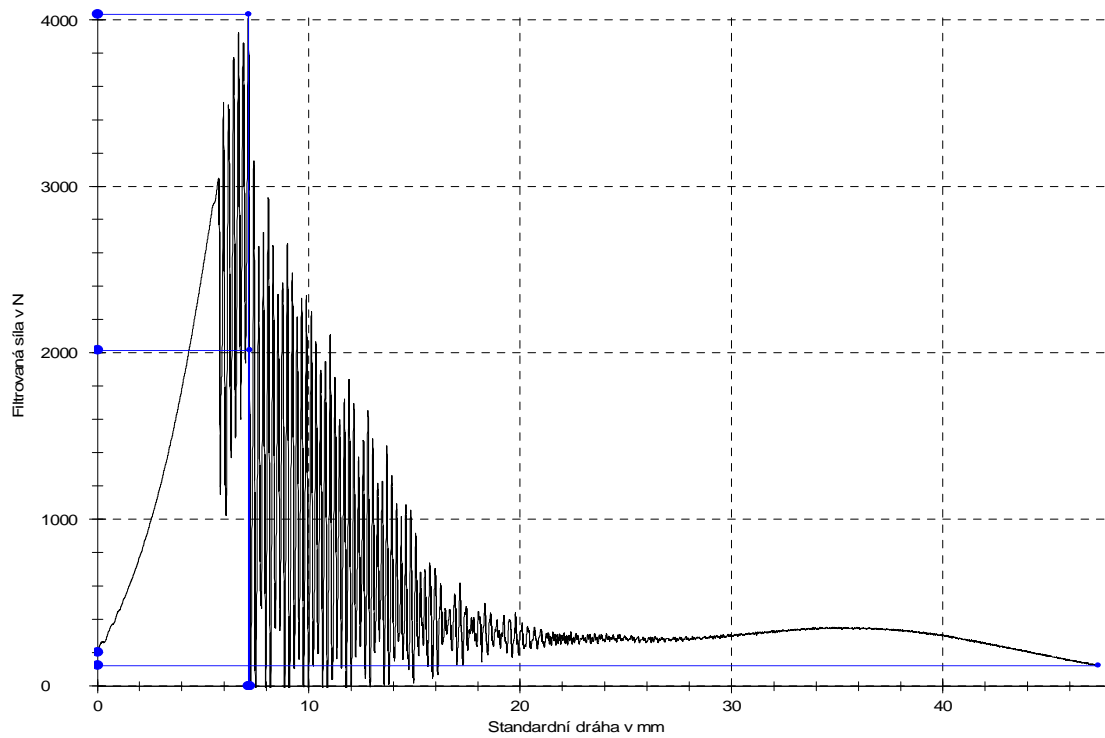
Obrázek 39 – IMPACT Test pro COREKORK NL20 – 2/2



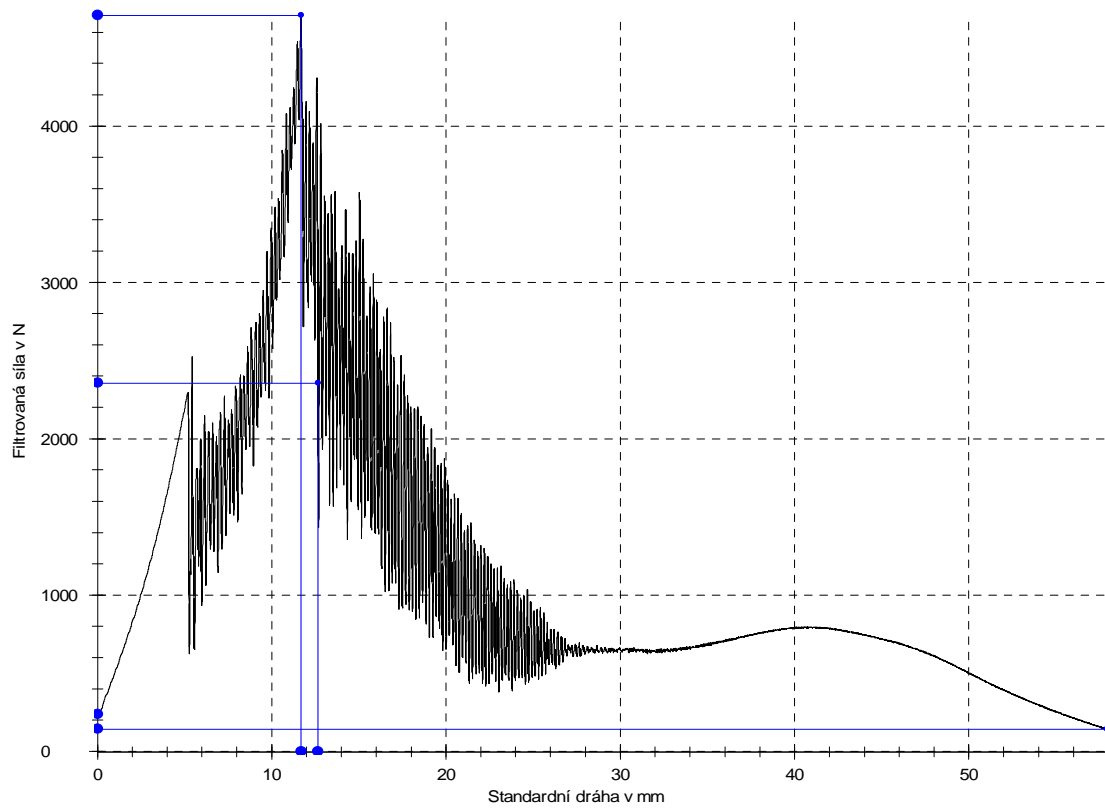
Obrázek 40 – IMPACT Test pro COREKORK NL20 – 1/1



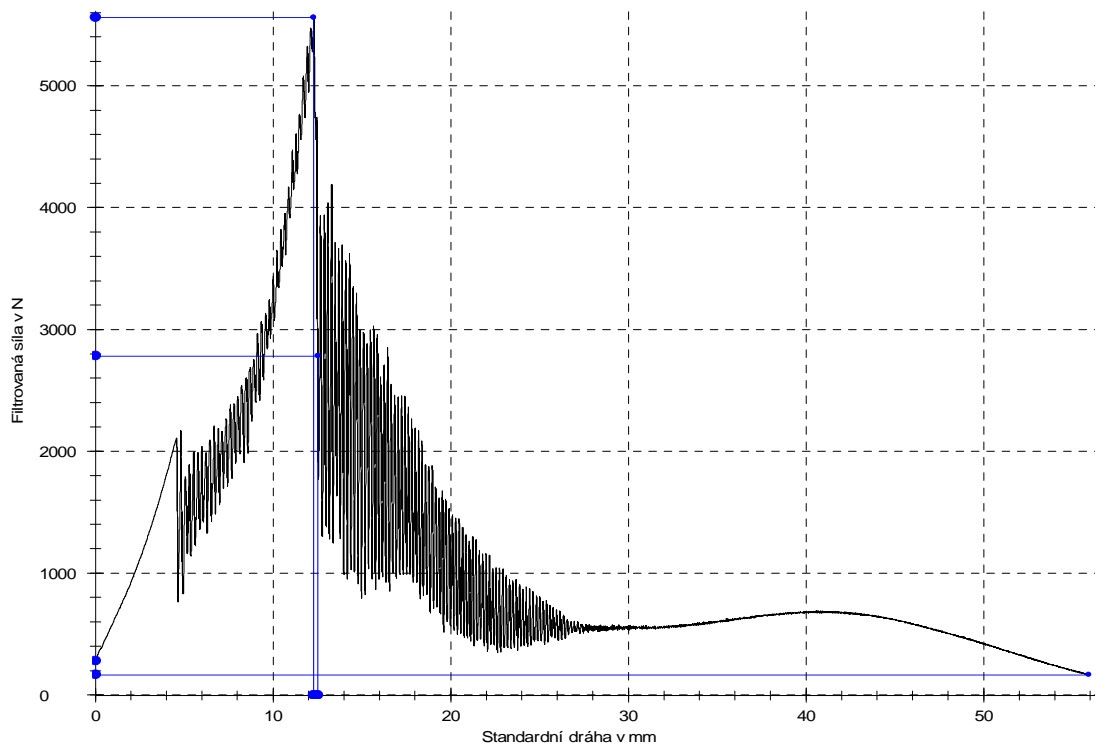
Obrázek 41 – IMPACT Test pro Artboard Compolet – 2/1



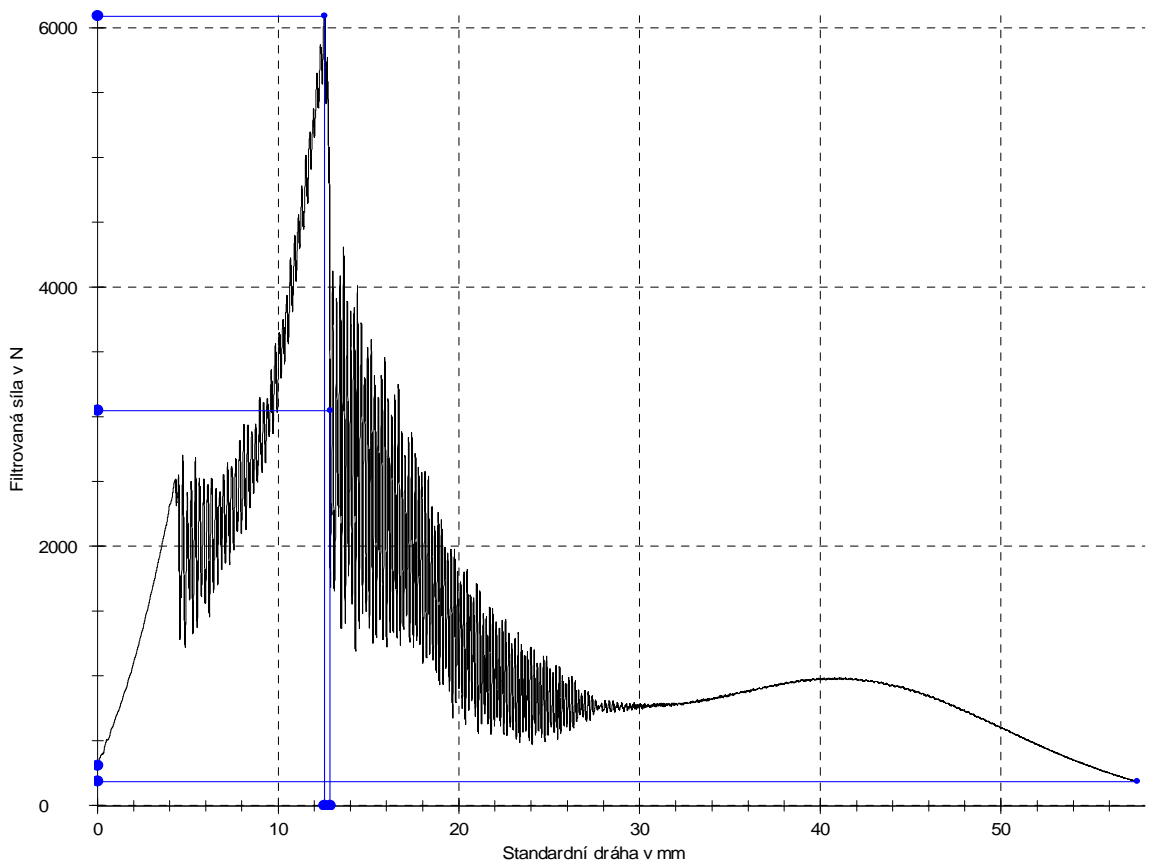
Obrázek 42 – IMPACT Test pro Artboard Compolet – 2/2



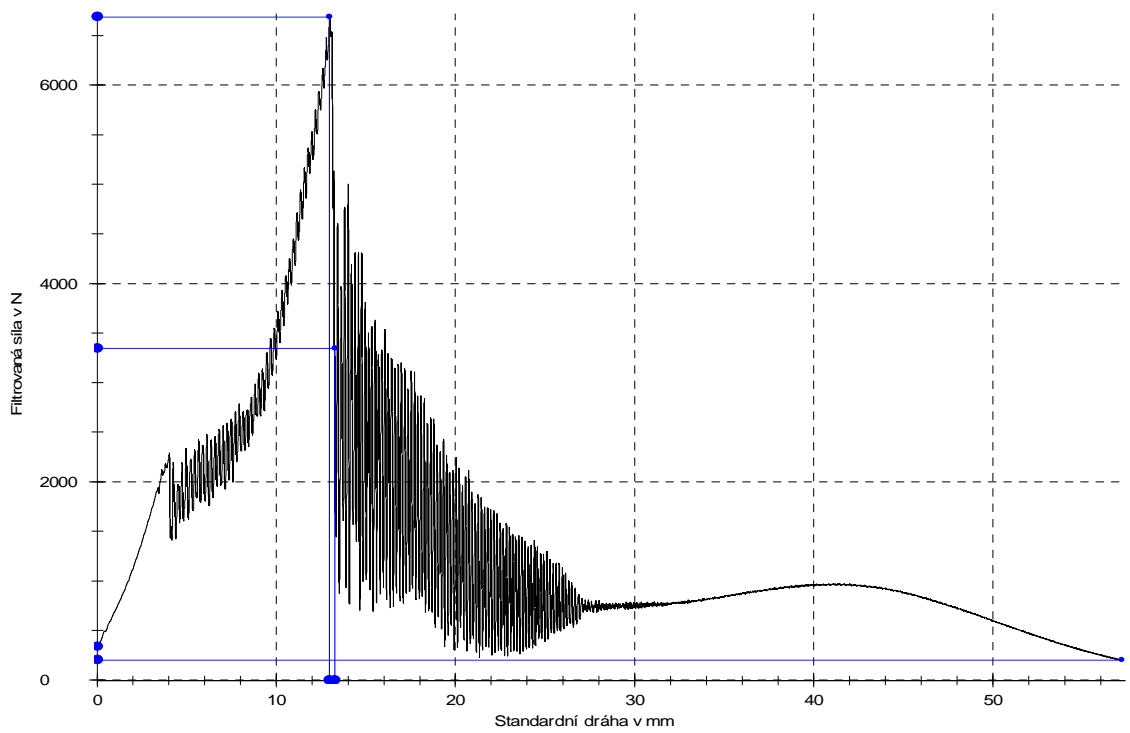
Obrázek 43 – IMPACT Test pro Artboard Compolet – 1/1



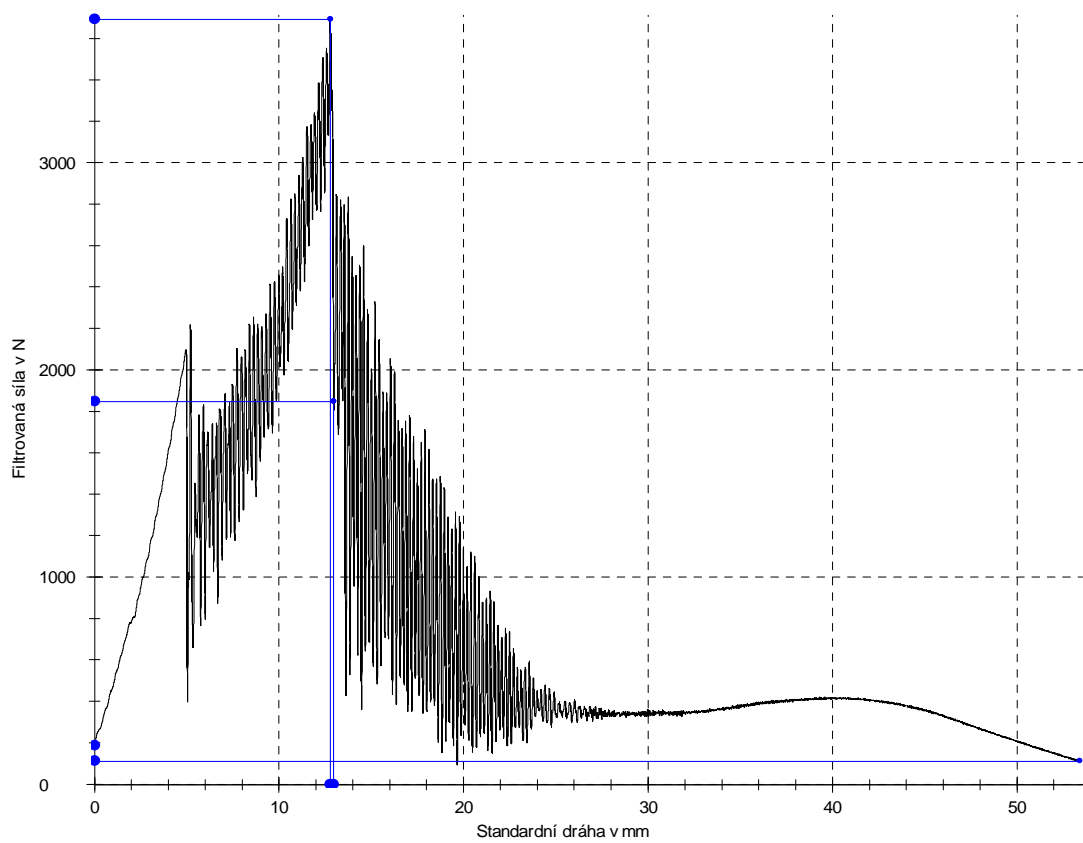
Obrázek 44 – IMPACT Test pro PET Pěnu – 2/1



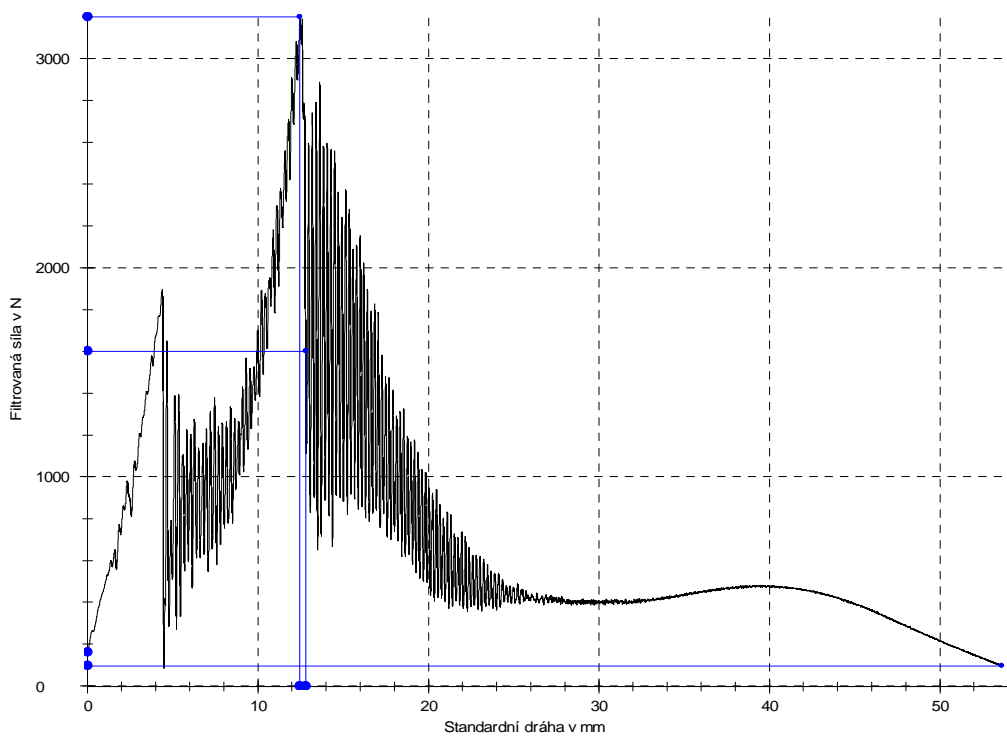
Obrázek 45 – IMPACT Test pro PET Pěnu – 2/2



Obrázek 46 – IMPACT Test pro PET Pěnu – 1/1



Obrázek 47 – IMPACT Test pro Voštinu – 2/2

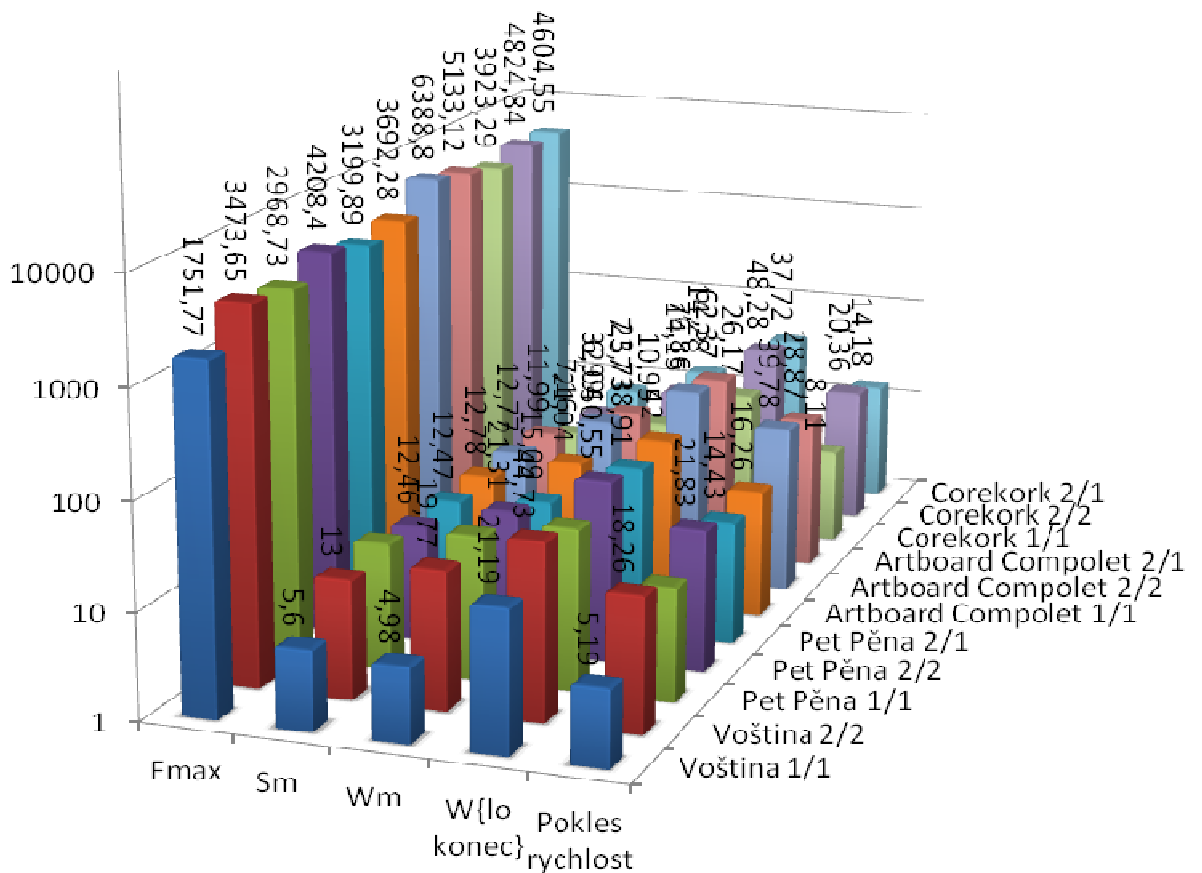


Obrázek 48 – IMPACT Test pro Voštinu – 1/1

4.4.2 Statistické zhodnocení

Tabulka 25 – Impact test – Přehled výsledků

Průměrné hodnoty - PADOSTROJ, Série B		Fmax	Sm	Wm	W{to konec}	Pokles rychlost
Voština	typ 1/1	1751,77	5,6	4,98	21,19	5,19
	typ 2/2	3473,65	13	19,77	44,73	18,26
PET Pěna	typ 1/1	2968,73	15,4	22,33	32,42	11,58
	typ 2/2	4208,4	12,46	21,31	50,55	21,83
	Typ 2/1	3199,89	12,47	15,09	38,91	14,43
Artboard Compolet	typ 1/1	3692,28	12,78	21,04	42	16,26
	typ 2/2	6388,8	12,77	32,04	76,86	39,78
	Typ 2/1	5133,12	11,99	23,73	62,37	28,87
Corekork NL	typ 1/1	3923,29	7,16	10,95	26,17	8,11
	typ 2/2	4824,84	6,99	14,15	48,28	20,36
	Typ 2/1	4604,55	7,57	14,28	37,72	14,18



Obrázek 49 – Grafické vyjádření hodnot - IMPACT Test

4.5 Kyslíkové číslo

Hodnocení kyslíkového číslo pro firmu FORM v Horním Lidči provedla laboratoř firmy SYNPO, a.s. dne 04.04.2012.

Inv. číslo: 4088
 Evid. č. metrologa: PM 420/31
 Umístění: laboratoř č.13, objekt č. 101

4.5.1 Výsledky

Legenda:

Vz.č 1 – 3 = Voština

Vz.č. 4 – 6 = PET Pěna AIREX

Vz. č. 7 – 9 = Artboard Compolet

Vz. č. 10 – 12 = Corekork NL 20

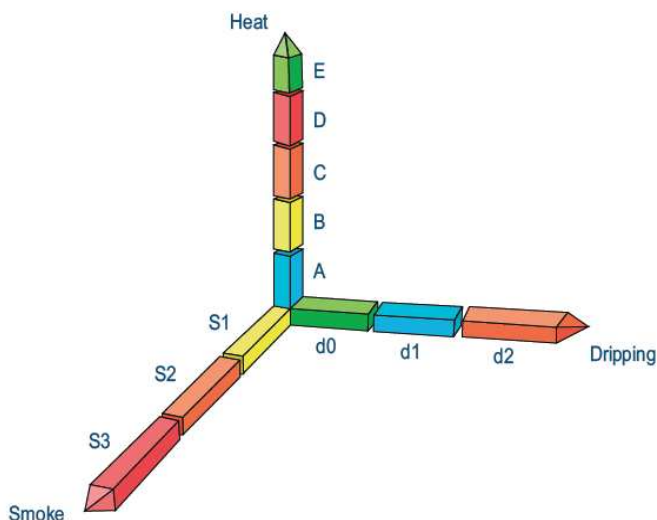
Pozn.: * - Hoření probíhalo žhnutím

Tabulka 26 – Výsledky měření kyslíkového čísla

Vz. č.	1	2	3	4	5	6
Kyslíkové číslo	>51	>51	>51	26,6	27,8	26,9
Vz. č.	7	8	9	10	11	12
Kyslíkové číslo	>51	>51	49*	27,5	33,4	29,5

Tabulka 27 – Normy jednotlivých zemí při splnění rozsahu LOI [2]

ASTM 2863 Oxygen index LOI(low) LOI(High)		UK BS 476 Part 6,7	Germany 4102 5510		France NF P 92- 501	USA ASTM E84 UL94 UL94			Euroclass Single Burning Item (SBI)
41	↔ 50	Class 0	Class A2	S4	M1	25	5V	0	B
34,5	↔ 41	Class 1	Class B1	S4	M2	50	0	1	B/C
28,5	↔ 34,5	Class 2	Class B2	S3	M3	100	0	2	C/D
22	↔ 28,5	Class 3	Class B3	S2	M4	>100	1	3	D/E
19	↔ 22	Class 4	—	—	M5	>100	2	4	—



Obrázek 50 – Rozdělení klasifikace LOI dle evropské normy [10]

4.6 Ekonomické hledisko při volbě materiálu

Ceny materiálu pochopitelně představují, pro hodnocení jejich budoucího uplatnění, zcela zásadní význam. Proto následující srovnání je věnované právě tomuto hledisku.

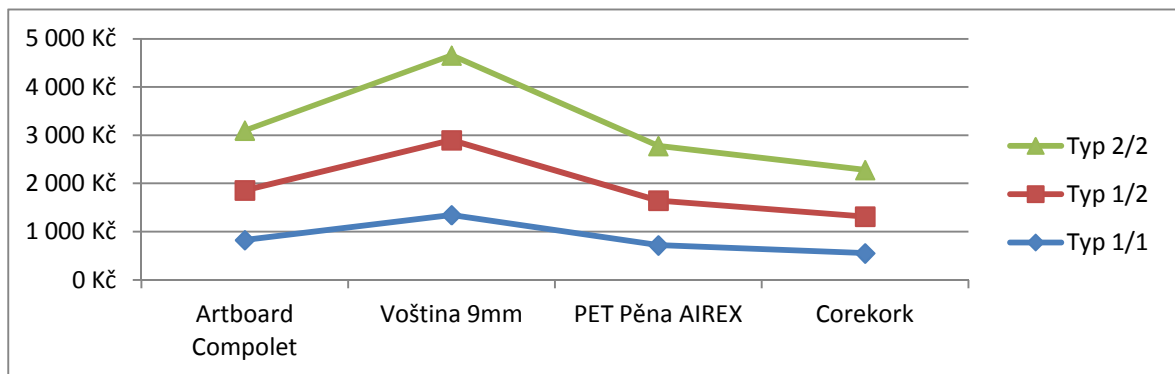
Pozn. Tab.31 a Tab. 32(*) – pro srovnání jsou využity průměrné hodnoty měřené při pokojové teplotě. Jedná se o šarži B

Tabulka 28 – Ceny materiálů

Vnitřní struktura	Cena za Kč/m2
Papírová voština	931
Artboard Compolet	412
Airex T90.100	305
Corekork 3mm	139
Prepreg	
Phg 840-300	207

Tabulka 29 – Ceny jednotlivých kompozitů z hlediska ceny materiálů

Za 1m2	Počet prepregů	Cena			
		Artboard Compolet	Voština 9mm	PET Pěna AIREX	Corekork
Typ 1/1	2	826	1345	719	553
Typ 1/2	3	1033	1552	926	760
Typ 2/2	4	1240	1759	1133	967



Obrázek 51– Cenové srovnání jednotlivých kompozitů

Tabulka 30 – Přepočítání ceny ve vztahu k modulu pružnosti (*)

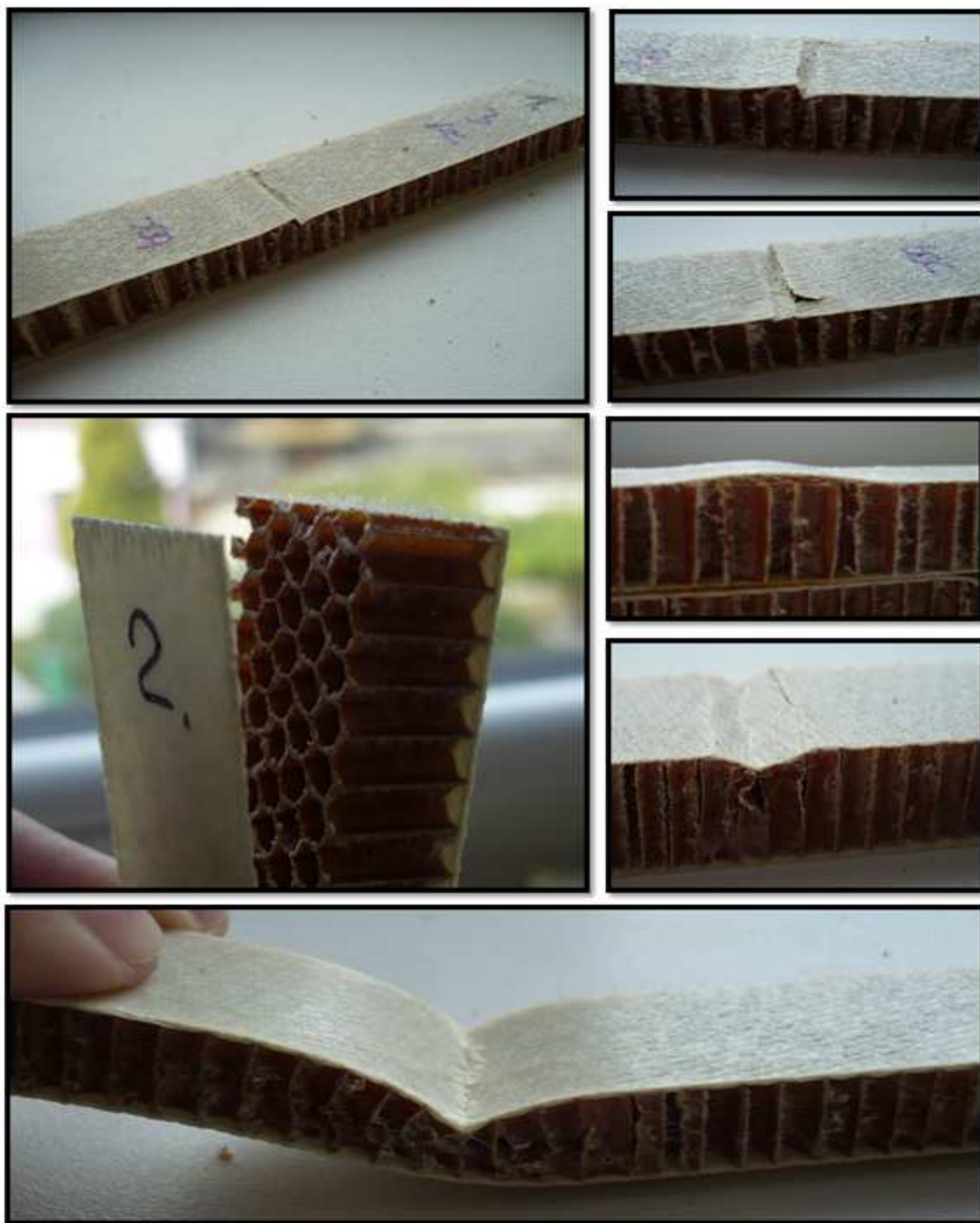
Série B, Vytvrzovací teplota 150C		Typ 1/1	Typ 2/2	Typ 1/2 (*)
Artboard Compolet	Modul pružnosti [MPa]	848,83	1118,33	1132
	Cena Kč/m ²	826	1240	1033
	Přepočít -Kč/MPa	0,97	1,11	0,91
Voština 9mm	Modul pružnosti [MPa]	1811,429	1605	1478
	Cena Kč/m ²	1345	1759	1552
	Přepočít -Kč/MPa	0,74	1,10	0,95
PET Pěna Airex	Modul pružnosti [MPa]	1015,8	1288,571	1234
	Cena Kč/m ²	719	1133	926
	Přepočít -Kč/MPa	0,71	0,88	0,75
Corekork NL20 3m	Modul pružnosti [MPa]	5715	6100	6085
	Cena Kč/m ²	553	967	760
	Přepočít -Kč/MPa	0,10	0,16	0,12

Tabulka 31 – Přepočít ceny ve vztahu k pevnosti (*)

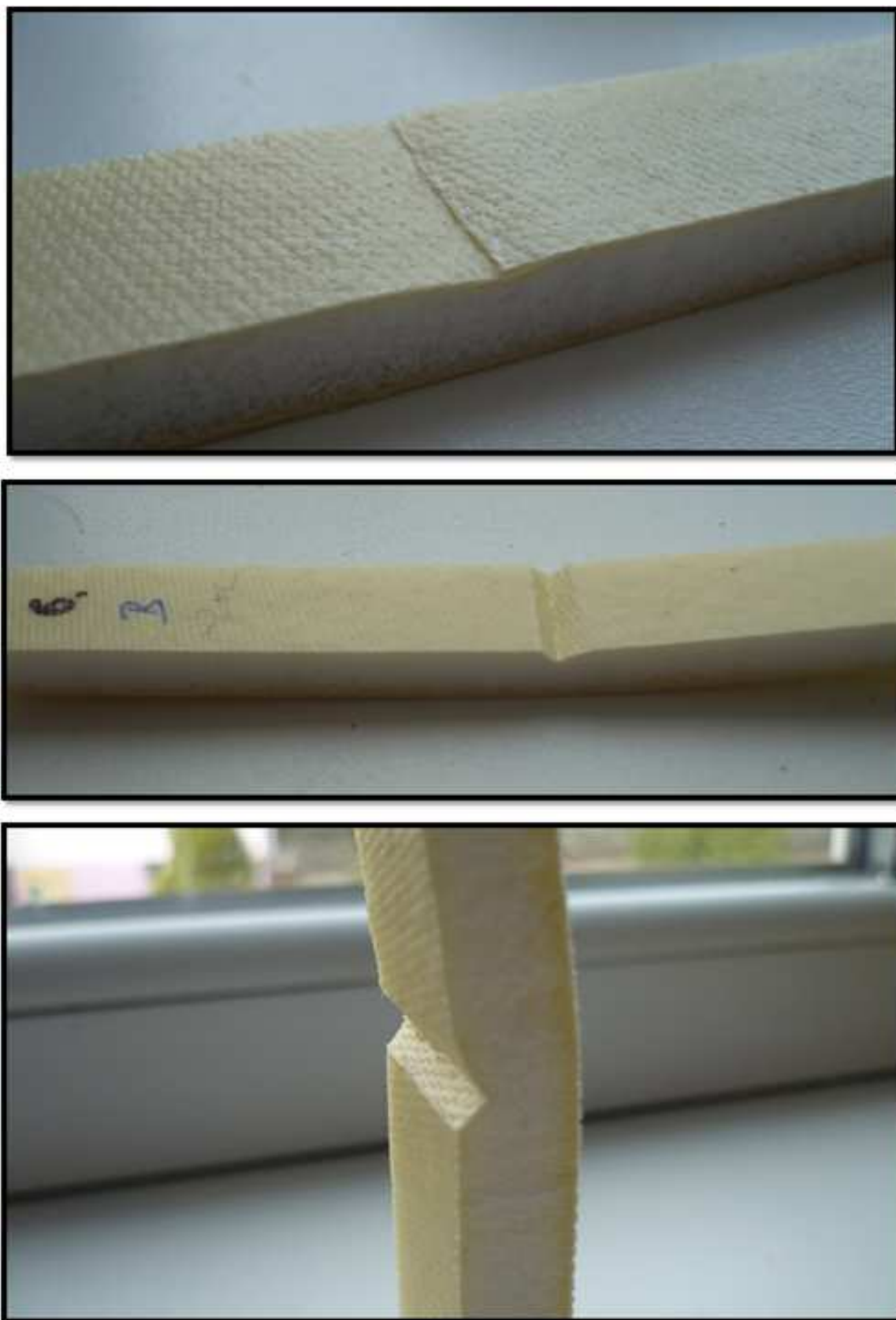
Série B, Vytvrzovací teplota 150C		Typ 1/1	Typ 2/2	Typ 1/2 (*)
Artboard Compolet	Pevnost	9,12	12,60	14,10
	Cena Kč/m ²	826	1240	1033
	Přepočít - MPa/Kč	90,62	98,43	73,26
Voština 9mm	Modul pružnosti [MPa]	18,96	18,49	19,28
	Cena Kč/m ²	1345	1759	1552
	Přepočít - Kč/MPa	70,95	95,15	80,50
PET Pěna Airex	Modul pružnosti [MPa]	10,00	23,10	18,54
	Cena Kč/m ²	719	1133	926
	Přepočít - Kč/MPa	71,93	49,05	49,95
Corekork NL20 3m	Modul pružnosti [MPa]	39,17	63,27	66,13
	Cena Kč/m ²	553	967	760
	Přepočít - Kč/MPa	14,12	15,28	11,49

- - Zastupuje hodnoty měřené působením síly na stranu, kde jsou umístěny dvě vrstvy prepregů.

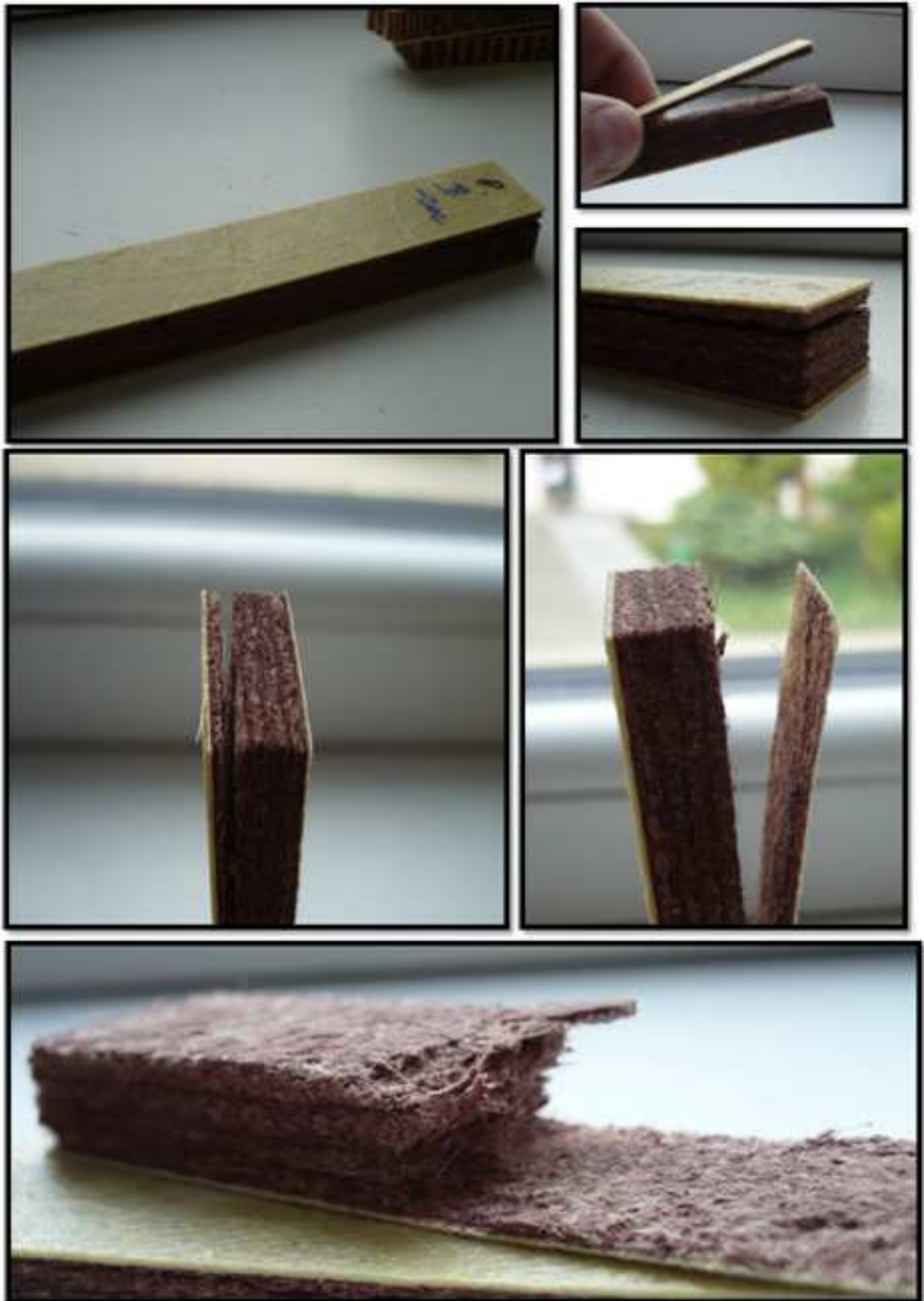
4.7 Změny vnitřních a povrchových struktur kompozitu po ohybu



Obrázek 52 – Změny vnitřních a povrchových struktur - Voština



Obrázek 53 – Změny vnitřních a povrchových struktur – PET Pěna Aires T90

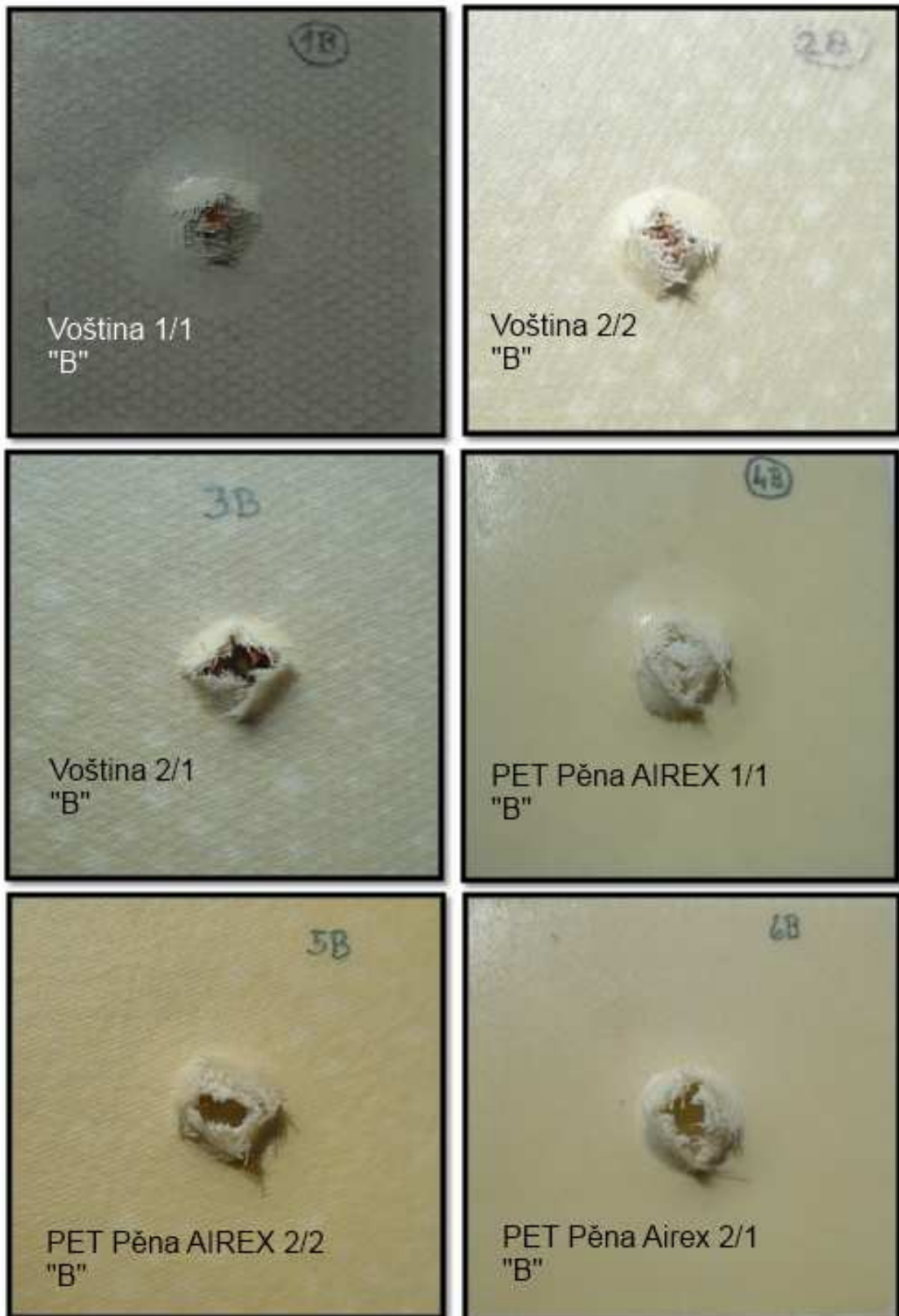


Obrázek 54 – Změny vnitřních a povrchových struktur – Artboard Compolet

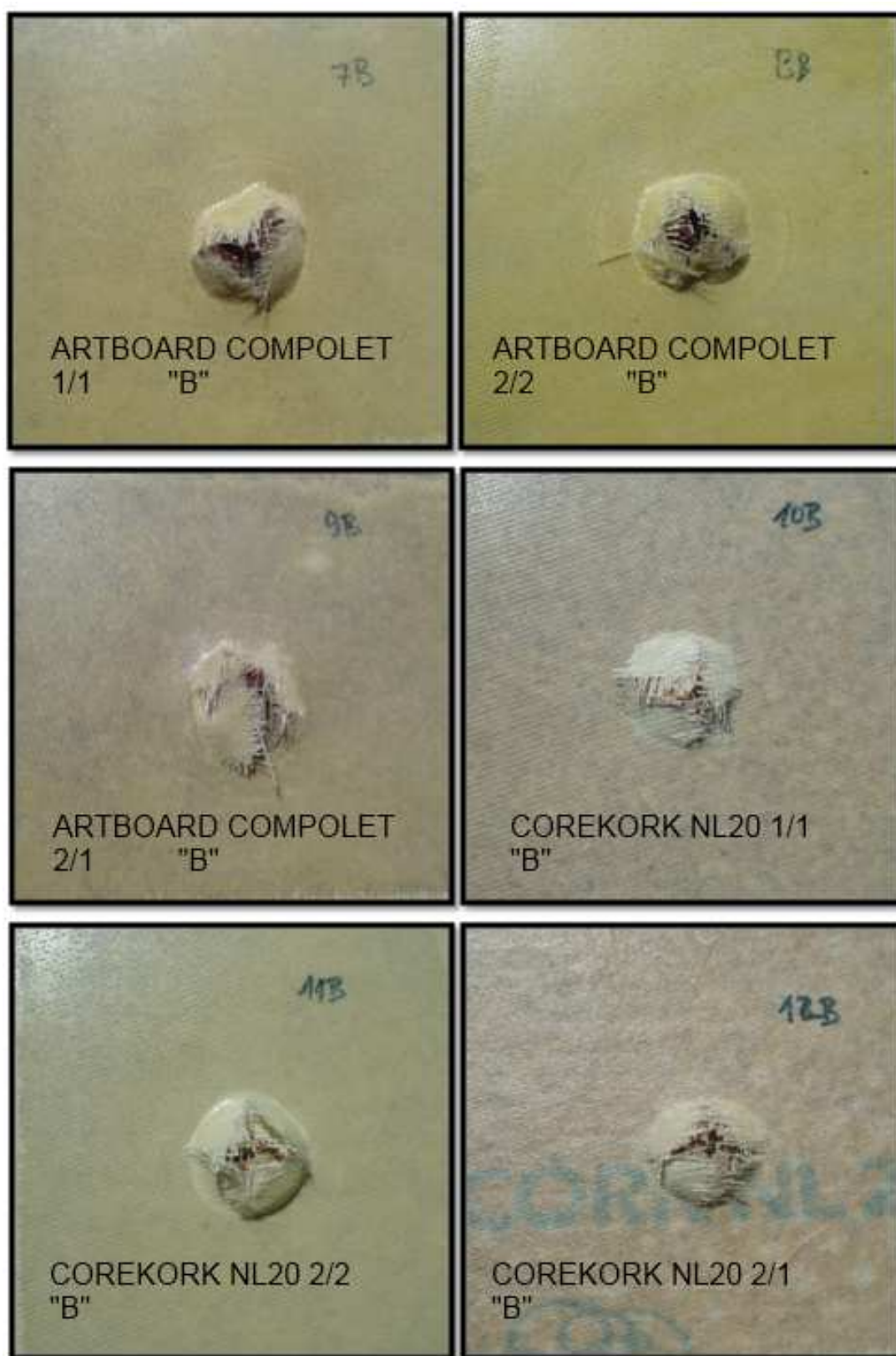


Obrázek 55 – Změny vnitřních a povrchových struktur – Corekork NL

4.7.1 Po Impact testu



Obrázek 56 – Vzorok po IMPACT testu



Obrázek 57 – Vzorke po IMPACT testu

ZÁVĚR

Kompozitní materiály vyráběny metodou vakuového tváření představují z hlediska samotného výrobního procesu velmi perspektivní součást tohoto segmentu. Při výrobě nedochází k rozptylu styrenových výparů do prostředí a technologie je tedy velmi šetrná k životnímu prostředí a lokálně nepůsobí zdravotní obtíže pracovníkům.

Abychom stanovili možné využití testovaných kompozitů, byly výše uvedené vzorky podrobeny statistickému porovnání, ze kterého vyplývá následující:

- Z hlediska pevnosti testovaných dílů zcela vyniká materiál Corekork NL20, který také nabízí násobně vyšší modul pružnosti. Modul pružnosti je v porovnání s pevností tělesa veličinou stochastickou (náhodnou). Každý materiál má jakousi kritickou velikost defektu. Je-li v tělese z daného materiálu přítomen defekt kritické velikosti, dojde při působení i velmi malých vnějších napětí ke katastrofickému lomu tělesa v důsledku lokálního překonání meze pevnosti koncentrací napětí na defektu. Je tedy zřejmé, že kromě stavu materiálu bude o pevnosti rozhodovat geometrie tělesa.[13] Při pozorování v rámci zkoušky ohybem v zásadě nedocházelo k narušení jádra. Test prakticky ustal při porušení svrchních vrstvy prepregů.
- Právě prepregy mohou a také zlepšují materiálové charakteristiky kompozitů. Detailně je jejich vliv popsán v tab. č. 7 a tab. č. 12, kde jsou jednotlivé materiály srovnány z hlediska počtu vrstev prepregů. V každém případě je nicméně nutné zvážit ekonomickou stránku věci. Cena prepregů může být i vyšší než cena jádra (např. u Corekorku). I z tohoto důvodu byly porovnávány vzorky s asymetricky (vůči jádru) situovaným prepregem. Vzorky vykazovaly vyšší pevnost v případě, že síla působila v místě, kde se nacházely dvě vrstvy preimpregnované tkaniny. Toto chování lze přisuzovat tomu, že vlákna namáhaná na tlak mají nižší pevnost, než vlákna namáhaná na tah. Proto při posílení vrstvy, která je tlaku vystavena o jeden další prepreg dochází k celkovému zlepšení mechanických vlastností.
- Jistou možností jak zvýšit pevnost kompozitů, je změna vytvrzovacího režimu. Při testování se potvrdilo původní očekávání, že vyšší teplota při vytvrzování může mít pozitivní dopad na pevnost materiálu. Konkrétní srovnání nabízí tab. 13. Z výsledků je patrné, že nelze dělat obecné závěry pro všechny typy materiálů. V zásadě příznivě působí vyšší vytvrzovací teplota na Voštinu a také na Corekork NL20. V tabulce nenajdeme porovnání pro Corekork, protože v rámci srovnání byla použita jen data

naměřená při pokojové teplotě. Corekor byl v sérii A měřen jen při teplotách -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$.

- Trojbodový ohyb přinesl výsledky nejen v podobě grafů a číselných hodnot. Ukázal také chování kompozitu z hlediska vzájemné soudržnosti jednotlivých vrstev. Znamky odlupování nese zejména voština. Patrně je možné toto chování přisuzovat nižší celkové ploše mezi prepregem a jednotlivými buňkami. Voština se projevila jako materiál, který po provedené zkoušce velmi často nejevil známky vážnějšího narušení, to bylo znatelné jen na prepregu. Delaminace se naopak téměř neobjevila na materiálu Artboard Compolet. U takto konstruovaného kompozitu je zřejmé, že dochází k postupnému narušování po vrstvách (viz. příslušný diagram ohybového napětí) uvnitř materiálu. U PET pěny AIREX je vhodné upozornit na vysokou pevnost jádra, které se výrazně deformovalo jen v horních vrstvách, poté měřicí program vyhodnotil zkoušku jako provedenou a ukončil měření.
- V rámci testování trojbodovým ohybem byly také kvantifikovány hodnoty při změně okolní teploty. Očekávaný nárůst pevnosti, doprovázený vyšší křehkostí při nižší okolní teplotě, se evidentně projevil. Stejně jako opačný efekt při zvýšené teplotě.
- Mimo statických zkoušek bylo nutné stanovit a také odzkoušet dynamické zatížení materiálu. Pro tyto účely byl vybrán Impact test, který na rozdíl od Charpyho poskytuje více charakteristických hodnot (tab. 25). Jednou z nich je i pokles rychlosti tlouku a energie zachycená kompozitem. Z testovaných materiálů poskytl nejlepší výsledky Artboard Compolet. V porovnání si také velmi dobře vedl materiál Corekork NL20. U voštiny a také u PET pěny se u některých vzorků (se složením prepregu 1/1) projevilo odlupování jádra od prepregu.
- Měření kyslíkového čísla poskytlo velmi dobré hodnocení použité voštiny a také kompozitu s jádrem Artboard Compolet (tab. 26). Tyto materiály splňovaly ty nej přísnější požadavky (tab. 27) na LOI. Z hlediska hodnocení v rámci Evropy, jsou tyto kompozity zařazeny do nejvyšší skupiny B (dle SBI). Podstatně hůře dopadlo hodnocení zbylých dvou typů jádrové výplně – PET pěny a Corekorku NL20, tyto vzorky splňují dle SBI nároky na zařazení do skupiny D/E resp. C/D. U takto koncipovaných kompozitů se proto podstatně zužuje oblast využití. Je velmi pravděpodobné, že zejména u dopravních prostředků budou požadavky klientů na toto kritérium velmi přísné a striktní.

- Hodnocení ekonomické náročnosti jednotlivých konstrukčních řešení poskytuje kapitola 4.6. Zejména je zajímavé srovnání v tab. 30 a tab. 31, které poskytují přepočet nákladů na materiál ve vztahu k modulu pružnosti resp. pevnosti kompozitu. Z tohoto srovnání velmi dobře vychází materiál Corekork NL20, který násobně snižuje náklady ve srovnání s jiným konstrukčním řešením. V rámci tohoto porovnání nebylo možné kvantifikovat např. podíl práce na úpravu takového kompozitu, který bude vždy záviset na tvarové složitosti vyráběných produktů. Artboard Compolet z tohoto porovnání vychází nepříliš kladně. Náklady na výrobu tohoto materiálu jsou v rámci srovnání nejvyšší.

Tato práce poskytuje velmi širokou škálu hodnot ve vztahu k použitým materiálům a zkoušenému prostředí. Jistě se může vyskytnout celá řada dalších srovnání, které je možné z takto kvantifikovaných údajů stanovit. Nicméně srovnávaná kritéria poskytují velmi cenné údaje pro budoucí rozhodování zainteresovaných pracovníků. V konečném důsledku není možné stanovit jednoznačně, který materiál je vhodný a který vhodný není. Toto rozhodnutí bude v zásadě vždy konané v závislosti na konkrétní aplikaci.

Kompozity nepochybně představují velmi vhodné řešení pro celou řadu strojírenských aplikací. Jejich nízká hmotnost ve srovnání s ocelí, velmi dobrá tvarovatelnost a designová variabilita poskytují pro projektanty a konstruktéry důležité know-how pro řešení budoucích projektů. Je třeba pozdější výzkumnou práci více zaměřit na srovnání využití kompozitů např. vůči lehkým slitinám kovů, které jsou vzhledem k rostoucím cenám surovin mnohdy příliš nákladné řešení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FORM s.r.o.: Technologie [on-line] Dostupný z www.:
<http://www.formcomposite.com/technologie.htm> [cit. 2012-04-10]
- [2] FORM s.r.o.: Interní dokumentace
- [3] HAVEL COMPOSITES.[on-line] *Dostupný z www:* <http://www.havel-composites.com/clanky/0-/74-Vseobecny-a-zakladny-popis-materialov-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitov.html> [cit. 2011-09-11]
- [4] HAVEL COMPOSITES.[on-line] *Dostupný z www:* <http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html> [cit. 2012-04-10]
- [5] © HEXCEL CORPORATION.: *Prepreg Technology. Květen 2005*
- [6] RUSNÁKOVÁ S., *Přednáška TAVKM: Kompozitné materiály.*
- [7] HRDINA J., *Nauka o materiálu TQNM, Cvičení č. 2,*
- [8] KOMPOZITY, [on-line] Prefa. *Pulturze.* <http://www.prefa-kompozity.cz/technologie/informace-o-technologie/> [cit. 2011-09-13].
- [9] POLCER, ing. Jaroslav. *Způsoby výroby vláknových kompozitů.* 1997.
- [10] REICHHOLD Company: *Fire Retardant EMEA, 28.2.2005*
- [11] TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI .[on-line], *Dostupný z www:*
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/horlavost.pdf,
[cit.2012-04-15]
- [12] TECHNOR .[on-line], *Dostupný z www:* http://www.technicke-normy-csn.cz/640628-csn-en-iso-6603-2_4_62507.html, [cit. 2012-04-10],
- [13] JANČÁŘ, J. . *Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů.: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s. ,ISBN 8021424435.*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LOI Limitní oxidační číslo

F_{max} Maximální síla

S_m Míra deformace

δ_p Mez pevnosti

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma vakuové infuze	13
Obr. 2 – Schéma RTM	14
Obr. 3 – Vakuové lisování prepregů	15
Obr. 4 – Schéma pulturze	16
Obr. 5 – Schéma navíjení	17
Obr. 6 – Jednosměrně a dvousměrně orientované prepregy	18
Obr. 7 – Srovnání vlastností užívaných výztuží	19
Obr. 8 – Plátňová, saténová a kreповá vazba	20
Obr. 9 – Srovnání mechanických vlastností a pracovní teploty	21
Obr. 10 – Výroba nosného filmu	21
Obr. 11 – Nanášení pryskyřice a tkaniny	22
Obr. 12 – Horizontální a vertikální uspořádání výrobní linky	22
Obr. 13 – Bilanční schéma přínosu prepregů	23
Obr. 14 – Zastoupení jednotlivých odvětví v produkci firmy FORM	23
Obr. 15 – Schéma ohybové zkoušky	24
Obr. 16 – Schéma Impact test	26
Obr. 17 – Schéma měření kyslíkového čísla	27
Obr. 18 – Uspořádání vnitřních struktur a prepregu na formě	30
Obr. 19 - Uspořádání jednotlivých vrstev na formě	30
Obr. 20 – Vytvrzovací proces série „A“	31
Obr. 21 – Vytvrzovací proces série „B“	31
Obr. 22 – Zkouška trojbodovým ohybem v teplotní komoře	32
Obr. 23 – Průběh ohybového napětí pro Artboard Compolet „A“	33
Obr. 24 – Průběh ohybového napětí pro Voštinu „A“	34
Obr. 25 – Průběh ohybového napětí pro PET pěnu AirexT90 „A“	34

Obr. 26 – Průběh ohybového napětí pro Corekork NL20 3mm „A“	35
Obr. 27 – Grafické znázornění – Modul pružnosti „A“	36
Obr. 28 – Grafické znázornění – Napětí v ohybu „A“	36
Obr. 29 – Grafické znázornění - Poměrná deformace „A“	37
Obr. 30 – Grafické znázornění – Modul pružnosti „B“	39
Obr. 31 – Grafické znázornění – Maximální napětí „B“	39
Obr. 32 – Grafické znázornění – Poměrná deformace „B“	40
Obr. 33 – Průběh ohybového napětí pro voštinu „B“	41
Obr. 34 – Průběh ohybového napětí pro PET pěnu Airex T90 „B“	42
Obr. 35 – Průběh ohybového napětí pro Artboard Compolet „B“	42
Obr. 36 – Průběh ohybového napětí pro COREKOR NL20 „B“	43
Obr. 37 – Zkouška na padostroji	43
Obr. 38 – IMPACT Test pro Corekork NL20 – 2/1	47
Obr. 39 – IMPACT Test pro Corekork NL20 – 2/2	47
Obr. 40 – IMPACT Test pro Corekork NL20 – 1/1	48
Obr. 41 – IMPACT Test pro Arboard Compolet – 2/1	48
Obr. 42 – IMPACT Test pro Arboard Compolet – 2/2	49
Obr. 43 – IMPACT Test pro Arboard Compolet – 1/1	49
Obr. 44 – IMPACT Test pro PET pěnu – 2/1	50
Obr. 45 – IMPACT Test pro PET pěnu – 2/2	50
Obr. 46 – IMPACT Test pro PET pěnu – 1/1	51
Obr. 47 – IMPACT Test pro voštinu – 2/2	51
Obr. 48 – IMPACT Test pro voštinu – 1/1	52
Obr. 49 – Grafické vyjádření hodnot – IMPACT Test	53
Obr. 50 – Rozdělení klasifikace LOI dle evropské normy	54
Obr. 51 – Cenové srovnání jednotlivých kompozitů	55

Obr. 52 – Změny vnitřních a povrchových struktur – voština	57
Obr. 53 - Změny vnitřních a povrchových struktur – PET pěna	58
Obr. 54 – Změny vnitřních a povrchových struktur – Arboard Compolet	59
Obr. 55 – Změny vnitřních a povrchových struktur – Corekor NL	60
Obr. 56 – Vzorky po IMPACT testu	61
Obr. 57 – Vzorky po IMPACT testu	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Srovnání vlastností užívaných matric	20
Tab. 2 – Výpočet veličin při trojbodovém ohybu	25
Tab. 3 – Trojbodový ohyb – Artboard Compolet „A“	32
Tab. 4 – Trojbodový ohyb – Voština „A“	32
Tab. 5 – Trojbodový ohyb – PET Pěna „A“	33
Tab. 6 - Trojbodový ohyb – Corekork „A“	33
Tab. 7 – Vliv prepregu na měřené veličiny „A“	35
Tab. 8 - Trojbodový ohyb – Artboard Compolet „B“	37
Tab. 9 - Trojbodový ohyb – Voština „B“	38
Tab. 10 - Trojbodový ohyb – PET Pěna „B“	38
Tab. 11 - Trojbodový ohyb – Corekork „B“	38
Tab. 12 – Vliv prepregu na měřené veličiny „B“	40
Tab. 13 – Porovnání vytvrzovacích režimů	41
Tab. 14 – IMPACT test – Corekork NL20, typ 2/1	44
Tab. 15 – IMPACT test – Corekork NL20, typ 2/2	44
Tab. 16 – IMPACT test – Corekork NL20, typ 1/1	44
Tab. 17 – IMPACT test – Artboard Compolet, typ 2/1	45
Tab. 18 – IMPACT test – Artboard Compolet, typ 2/2	45
Tab. 19 – IMPACT test – Artboard Compolet, typ1/1	45
Tab. 20 – IMPACT test – PET Pěna, typ 2/1	45
Tab. 21 – IMPACT test – PET Pěna, typ 2/2	46
Tab. 22 – IMPACT test – PET Pěna, typ 1/1	46
Tab. 23 – IMPACT test – Voština, typ 2/2	46
Tab. 24 – IMPACT test – Voština, typ 1/1	46
Tab. 25 – IMPACT test – Přehled výsledků	52

Tab. 26 – Výsledky měření kyslíkového čísla	54
Tab. 27 - Normy jednotlivých zemí při splnění rozsahu LOI	54
Tab. 28 – Ceny materiálů	55
Tab. 29 – Ceny jednotlivých komponentů z hlediska ceny materiálů	55
Tab. 30 – Přepočet ceny ve vztahu k modulu pružnosti	56
Tab. 31 – Přepočet ceny ve vztahu k pevnosti	56

/

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Technický list prepregu PH840-300-42

Příloha PII: Technický list Artboard Compolet

Příloha PIII: Technický list Aires T90

Příloha PIV: Technický list Corekork

Příloha PV: Technický list pro voštinu Cormaster C2

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY