

Korek jako výplňový materiál v kompozitních sendvičových konstrukcích

Bc. Petr Šedivý

Diplomová práce
2013

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Šedivý**
Osobní číslo: **T11037**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Korek jako výplňový materiál v kompozitních sendvičových konstrukcích**

Zásady pro vypracování:

I. Teoretická část

1. Rozdělení polymerních kompozitních materiálů
2. Vícevrstvé kompozitní materiály
3. Přehled jádrových materiálů
4. Způsoby výroby sendvičových kompozitních materiálů

II. Experimentální část

1. Návrh sendvičových systémů s korkovým materiálem
2. Výroba zkušebních vzorků pomocí navržených technologií
3. Mechanické testování navržených kompozitních sendvičových struktur dle zvolených testovacích metod
4. Porovnání dosažených výsledků a návrh praktických aplikací v průmyslu
5. Vyhodnocení výsledků a formulace závěru

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] Bareš,R.A.: Kompozitní materiály. SNTL Praha, 325 s, 1988.

[2] Daďourek,K.: Kompozitní materiály – druhy a jejich užití. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1.

[3] Ehrenstein,G.W.: Polymerní kompozitní materiály.Vyd.1.Praha:Scientia,2009. 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.

[4] Jančář,J.: Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s.

[5] Zenkert,D.: The Handbook of Sandwich Construction, EMAS Publishing, Nordic Industrial Fund, Worcestershire, 1997.

[6] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Soňa Rusnáková, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

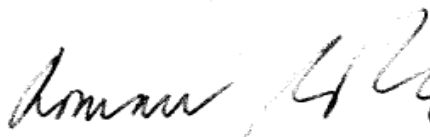
Datum zadání diplomové práce:

8. února 2013

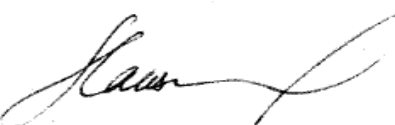
Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Bc. Šedivý Petr

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 užit 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 Zlíně10.5.2013

.....
Šedivý

²¹ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

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

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení 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.

²² 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).

²³ 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

V této diplomové práci bylo úkolem zpracovat studii na téma Korek jako výplňový materiál v kompozitních sendvičových konstrukcích. Práce je rozdělena na teoretickou část, která popisuje všeobecné znalosti o kompozitních materiálech se zaměřením na sendvičové konstrukce a praktickou část, jež se zabývá zkoumáním vlastností konkrétních vybraných materiálů a jejich testováním. Důležité jsou zde znalosti a přehled vnitřní výplně – jádra těchto sendvičových konstrukcí. K provedení praktické části byly použity zkoušky ohybových vlastností, odlupu, limitního kyslíkového čísla, metoda požární odolnosti a zkouška rázové odolnosti. Dosažené výsledky byly porovnány a vyhodnoceny z pohledu vhodnosti použití daného materiálu v železničním dopravním průmyslu. Za účelem výběru nejvhodnějšího materiálu jsem hledal sendvičovou strukturu, která by vyhovovala požadavkům na odolnost a bezpečnost, jež zákazník požaduje.

Klíčová slova: Prepreg, sendvičová konstrukce, korek, voština, troj-bodový ohyb, LOI – Limitní kyslíkové číslo, požární odolnost, odlup.

ABSTRACT

In this diploma thesis I have processed the topic „Cork as a filler material in composite sandwich structures.“ The thesis is divided into two parts. The theoretical part describes the general knowledge's of composite materials with a focus on sandwich structures. The practical part examines and tests specific properties of selected materials.

There are the following important things: the knowledge and overview of inner filling – the core of sandwich structures. In the practical part I have used tests of bending properties, the test of peel, limit oxygen index, the method of fire resistance and impact resistance test.

The results were compared and evaluated from the view of suitability for use of the material in the rail transportation industry. In order to select the best material I was looking for a sandwich structure that meets the requirements for resistance and safety required by the customer.

Keywords: Prepreg, sandwich structure, cork, honeycomb, three point bending, LOI - Limited Oxide Index, fire resistance, flaking off

Poděkování:

Především bych chtěl na tomto místě poděkovat vedoucímu práce, paní doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph.D., za odborné vedení, přínosné a nadmíru užitečné rady při vypracování diplomové práce, obětavý a ochotný přístup i ve svém osobním volnu. Dále bych určitě chtěl poděkovat panu Ing. Vladimíru Rusnákovi za podnětné zkušenosti při výrobě kompozitů a poskytnutí pracovních prostor pro výrobu, zkoumání a testování sendvičových struktur ve firmě FORM, s.r.o. ve Střelné. Rád bych také zmínil a poděkoval panu Ing. Milanovi Žaludkovi za jeho čas a pomoc při testování v univerzitní laboratoři a odborné rady, jež mně mnohokrát pomohly při dořešení zkoumaného problému.

„Nic, co by stálo za to, jsem neudělal náhodou. Vždy za tím byla poctivá práce“

Thomas Alva Edison

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	12
1.1 PODMÍNKY KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU	12
1.2 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	13
1.3 MIKROKOMPOZITY	14
2 PREPREG MATERIÁLY	16
2.1 PREPREG – POPIS A ROZDĚLENÍ	16
2.2 PREPREG – B STAV	17
2.3 ROZDĚLENÍ PREPREGŮ.....	19
2.4 ZPŮSOBY VÝROBY PREPREGŮ	20
2.5 METODY VÝROBY PREPREGŮ S TERMOPLASTICKOU MATRICÍ.....	23
2.6 VOŠTINY	23
2.7 MATERIÁL VOŠTIN	23
2.8 ZPRACOVATELSKÉ TECHNOLOGIE SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ	24
2.9 VYTVRZOVACÍ CYKLUS	26
2.10 REAKČNÍ STAVY PŘI VYTVRZOVÁNÍ FENOLICKÝCH PRYSKYŘIC (PF-R).....	27
2.10.1 Zpracování Prepregů v autoklávu	28
3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE	29
3.1 SROVNÁNÍ MEZI I – PROFILEM A VOŠTINOVOU KONSTRUKCÍ	30
3.2 VÝROBA SENDVIČE S JÁDREM Z POLYSTYRENOVÉ PĚNY	31
3.3 PRINCIP PŮSOBENÍ SIL	32
3.4 VÝCHOZÍ MATERIÁLY NA VÝROBU SENDVIČOVÝCH KOMPOZITŮ	33
3.5 POUŽITÍ	33
3.6 VÝHODY SENDVIČOVÝCH KOMPOZITŮ	33
3.7 VLASTNOSTI SENDVIČOVÝCH STRUKTUR - KONSTRUKCÍ	34
3.8 SENDVIČE – TUHOST A PEVNOST V OHYBU	34
3.9 TEPELNÁ ODOLNOST A ODOLNOST PROTI OHNI.....	35
3.10 PŘÍKLADY KONKRÉTNÍCH APLIKACÍ	35
3.11 VÝROBA SPECIÁLNÍCH PROSTOROVÝCH STRUKTUR.....	37
3.12 JÁDRA	38
3.12.1 Voština – honeycomb.....	38
3.12.2 Materiály na výrobu sendvičových kompozitů	38
3.12.3 Formování	39
3.12.4 Dřevo - překližka.....	40

3.13	KOREK	41
3.14	ZPRACOVÁNÍ SUROVÉHO KORKU	41
3.15	PRODUKCE A SKLIZEŇ KORKU	42
3.16	SLOŽENÍ KORKU	42
3.17	VLASTNOSTI A POUŽITÍ.....	42
3.18	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	42
4	ZKUŠEBNÍ PROCESY	43
4.1	ZKOUŠKY SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ	43
4.2	ZKOUŠKA OHYBEM.....	43
4.3	PODSTATA A PRŮBĚH ZKOUŠKY.....	44
4.3.1	Určování naměřených hodnot	44
4.4	ZATĚŽOVÁNÍ SENDVIČOVÉ POLYMERNÍ STRUKTURY	45
4.5	SHRnutí A PŘÍPRAVA NA PRAKTICKOU ČÁST.....	45
II	PRAKTICKÁ ČÁST	47
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
5.1	NÁVRH STRUKTURY A VRSTVENÍ MATERIÁLU ZKUŠEBNÍCH TĚLES	50
5.2	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	50
5.3	POSTUP VÝROBY	50
5.4	REŽIM VYTVRZOVÁNÍ.....	54
5.5	POVRCHOVÁ ÚPRAVA – LAKOVACÍ SYSTÉM ČÁSTI VZORKŮ.....	55
5.6	TROJBODOVÝ OHYB	56
5.7	LIMITNÍ KYSLÍKOVÉ ČÍSLO	66
5.7.1	Stanovení kyslíkového čísla	66
5.7.2	Výsledky a vyhodnocení zkoumaných vzorků	67
5.8	METODA UIC (UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FEU)	69
5.9	ODLUP.....	74
5.10	PRŮRAZ – STANOVENÍ CHOVÁNÍ TUHÝCH PLASTŮ PŘI VÍCERÉM RÁZOVÉM NAMÁHÁNÍ ČSN EN ISO 6603-2	79
5.10.1	Zkušební vzorky a jejich složení.....	79
5.11	VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ.....	82
5.12	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ Z HLEDISKA VOLBY MATERIÁLU.....	84
	ZÁVĚR	87
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	93
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	99
	SEZNAM PŘÍLOH.....	100

ÚVOD

Hlavním cílem této diplomové práce je zkoumání kompozitních materiálů, především s výplňovým materiálem v podobě korku. V úvodní teoretické části je cílem popsat pomocí rešerše význam kompozitů jako celku. Kompozity nabírají v poslední době na významu a důležitosti jak v leteckém průmyslu, tak v dopravě. Jejich příznivé mechanické vlastnosti jsou spolu s požadavky na snižování hmotnosti prioritou odběratelů v dopravním průmyslu. V době, kdy většina výrobců dopravních prostředků, hlavně rychlostních vlaků, klade velký důraz na snižování hmotnosti používaných materiálů u svých komponentů, jsou kompozity hlavním materiálem těchto výrobků.

Kompozitní materiály mohou splňovat při minimálních odlišnostech vlastního složení naprosto odlišné mechanické i specifické fyzikální vlastnosti. U vytvrzených kompozitních materiálů, můžeme velmi často sledovat, že se změnila jejich mechanické vlastnosti oproti základním strukturám, z nichž se takto složený kompozit skládá.

V této práci bude především zkoumán materiál „Corecork NL10“, jež bude podroben především zkouškám destruktivním, jako jsou trojbodový ohyb, odlup jednotlivých vrstev, průraz, hořlavost, zápalnost a zhášivost. Materiál bude zkoumán ve více variantách. Jednak v různých tloušťkách výplňového materiálu korku, a dále s použitím různých vstupních materiálů prepregů ať už fenolitických, nebo epoxidových. Dále tyto prepregy mohou být vyrobeny za různých teplotních podmínek od 130°C do 150°C.

Výsledky těchto zkoumání mohou naprosto zásadním způsobem ovlivnit využití a výběr daných typů tohoto materiálu v dopravním průmyslu, jež je již řadu let na velkém vzestupu a tím také zajistit výrobu a odběratele ubezpečit o vhodnosti použití toho kterého daného typu materiálu.

Ve firmě FORM s.r.o., jež bude hlavním konzultantem v tomto výzkumu, se tyto poznatky mohou využít pro další KNOW-HOW výroby a použití kompozitů v dopravním průmyslu. Především však mohou zákazníkovi na základě těchto zjištěných poznatků nabídnout zaručené a požadované informace o vlastnostech použitých materiálů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DEFINICE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ

Kompozity jsou takové heterogenní materiály, u kterých se po smíšení materiálů se zcela odlišnými vlastnostmi vytvoří jediná struktura. Jestliže se tyto vlastnosti doplňují, vzniká kompozitní materiál s přídatnými nebo lepšími vlastnostmi, než mají jednotlivé složky samy, nebo smíšené dohromady.

Hlavním předpokladem pro vznik kompozitního materiálu je vzájemná rozdílnost jednotlivých složek a fází v něm obsažených. Díky tomuto předpokladu tak materiál složený z více složek získává mnohem hodnotnější a výhodnější vlastnosti, než jsou vlastnosti klasického materiálu.

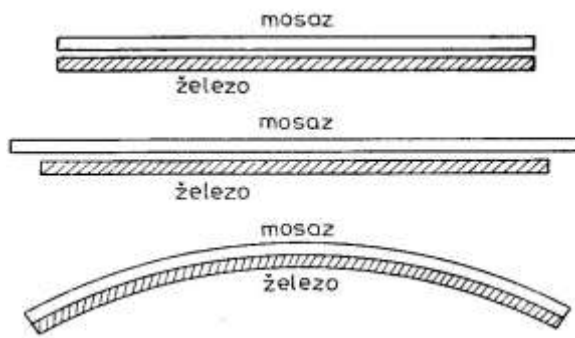
Samotný kompozit vzniká spojením jedné nebo více fází nespojitých do fáze spojitě. Nespojitou fází můžeme rozumět výztuž, oproti tomu spojitou fází představuje matrice. Protože zásadním účelem výztuže je vyztužení, obvykle je tato fáze tužší a pevnější. Zato matrice sloužící jako pojivo výztuže, je převážně poddajná a plastická. [1], [2]

1.1 Podmínky kompozitního materiálu

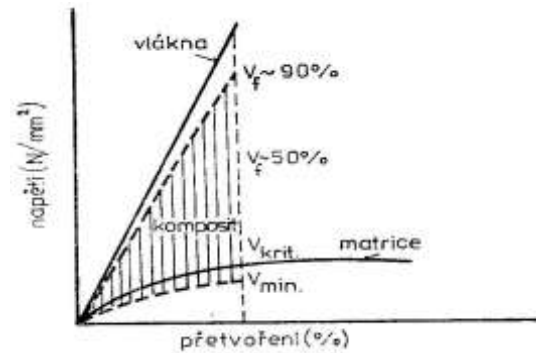
Složený technologický materiál je možné označit za kompozit pouze v případě, pokud splňuje určité podmínky. V odborné literatuře se dočteme, že jsou to tyto podmínky: [1], [2]

- vlastnosti složek se výrazně liší
- kombinací složek vznikají podstatně lepší vlastnosti v porovnání s vlastnostmi samostatných složek, včetně součtu všech vlastností jednotlivých složek
- podíl výztuže v kompozitním materiálu je větší než 5%
- výztuž je pevnější a tužší než matrice
- výroba kompozitního materiálu spočívá v mechanickém mísení komponentů
- složky jsou oddělitelné rozhraním

Slitiny kovů a plastů se jako kompozitní materiály neuvádějí, jelikož podmínka mísení jednotlivých složek v těchto případech nebyla splněna a během zpracování kovů dochází k vyloučení tvrdé fáze. [1]



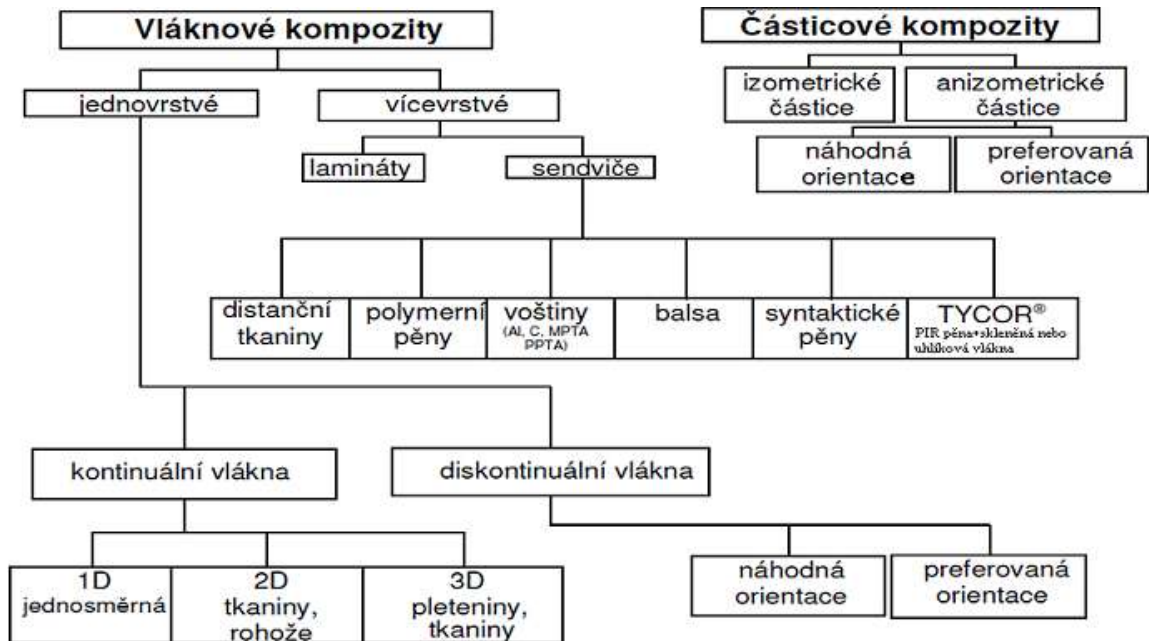
Obr. 1. Princip kompozitu demonstrováný bimetalickým článkem používaným v termostatech [2]



Obr. 2. Schematické znázornění pracovního diagramu křehkých vláken (f), kovové matrice a kompozitu (uvnitř šrafované části podle objemového zastoupení vláken) [2]

1.2 Rozdělení kompozitních materiálů

Hlavním hlediskem rozdělení dle povahy výztuže je její struktura. Máme tím na mysli geometrii a orientaci. Při tomto rozdělení vycházíme ze způsobu zpevnění kompozitního materiálu, jež může být dvojím způsobem. Zpevnění vláknou nebo částicemi. Díky tomuto zpevnění můžeme pojmenovat kompozit vláknový či částicový. [3], [4]



Obr. 3. Základní rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže [3]

1.3 Mikrokompozity

- částicové - obvykle anorganické částice
 - anizometrické (destičkovité) částice mají určitý štíhlostní (aspektní) poměr l/t , kde l je délka a t tloušťka částice
- vláknové částice
 - rozdělení mikrokompozitních materiálů (dále jen kompozitní materiály)

Dále mikrokompozity můžeme dělit podle geometrie a orientace výztuže. Toto rozdělení je definováno v následující tabulce.

Matrice

- polymerní
- kovová
- keramická
- skleněná, sklokeramická
- uhlíková

Vlákna

- skleněná
- uhlíková
- borová
- polymerní
- keramická (SiC, Al₂O₃, Si₃N₄)
- přírodní (rostlinná, čedičová a asbestová)
- proteinová (vlákna pavouků)
- piezoelektrická [3]

2 PREPREG MATERIÁLY

Prepregy jsou navinuty na různě široké role nebo kotouče, jež obsahují paralelně uspořádané rovingy, rohož nebo tkaninu. Dále termoplastickou či reaktoplastickou polovytvrzenou matricí. Také je možné vyrobit rovinový (pramenový) prepreg, v němž jsou vlákna impregnovaná termoplastickou, nebo reaktoplastickou (polovytvrzenou) matricí. Prepregy je také možno definovat jako zesílené nebo tvarované materiály (například papír nebo skleněné tkaniny) jež jsou napuštěné syntetickou pryskyřicí. [5]

2.1 Prepreg – popis a rozdělení

Prepreg můžeme označit jako předimpregnovanou tkaninu. Prepreg je doporučeno skladovat při teplotách kolem -20°C



Obr. 4. Prepreg v návínu role [5]

Prepregy se používají k získání špičkových polymerních kompozitů. Při výrobě prepregů je na rovingy, jež jsou paralelně vedeny, nanášen reaktoplast. Tkaniny se impregnují většinou roztokem pryskyřice.

Pro přípravu se především používají prepregy:

- bezrozpouštědlové
- bismaleinimidové
- benzoxazínové
- ftalonitrilové
- polychinoxalinové
- polyamidové

Prepregy připravují také z pryskyřic:

- polyesterových
- vinylesterových

Poslední druh polotovaru PREPREGu se používá k získání špičkových High kompozitů, jež se impregnují většinou roztokem pryskyřic. Pro přípravu kompozitů jsou vhodné především následující pryskyřice:

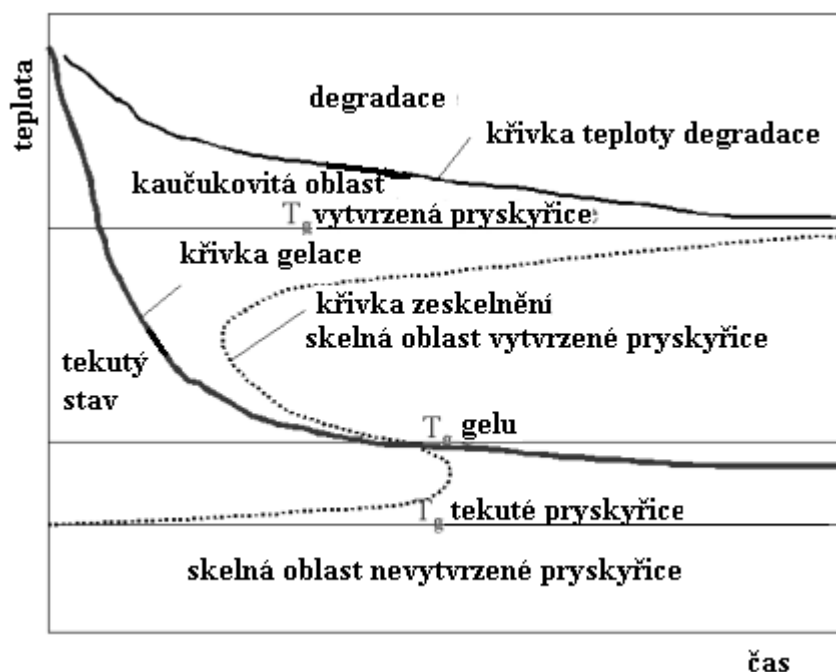
- epoxidové
- fenolformaldehydové
- kyanoesterové
- bismaleinimidové
- benzoxazínové
- ftalonitrilové
- polychinoxalinové
- polyimidové [3]

2.2 Prepreg – B stav

V prepregu se nachází pryskyřice ve stavu rezitolu (tzv. B stav), kdy již vzniklo zesítní molekul, ale síť má zatím velmi malou hustotu (pryskyřice je ve stavu lepkavého gelu). Pre-

preg je opatřen z jedné strany tzv. nosnou a z druhé strany separační fólií. Podle druhu použitého systému pryskyřice-tvrdidlo mají prepregy při teplotě 20°C různě dlouhou životnost.

Lepivost prepregu se postupně snižuje při stárnutí za pokojové teploty. Je to velice důležitá vlastnost z technologického hlediska, jež zabraňuje vzájemnému posouvání kladených vrstev a zmenšuje nebezpečí tvorby vzduchových polštářů mezi kladenými vrstvami. Při dalším stárnutí prepregu za teploty 20 °C pryskyřice vytvrzuje. U zestárlého a nelepivého prepregu lze kalorimetrickým měřením (obvykle metoda diferenciální dynamické kaloriemie, DSC) zjistit významný pokles entalpie exotermického vytvrzovacího procesu. Nízká teplota účinně zpomaluje stárnutí prepregů. Proto se role prepregů s reaktoplastickou matricí skladují v mrazicích boxech ve vodotěsných obalech při teplotách kolem -20 °C. Po vyndání z mrazicího boxu se role nechá v ochranném obalu vytemperovat na teplotu místnosti, aby po rozbalení nedošlo k orosení povrchu prepregu a tím navlhnutí matrice a povrchů vláken. Ze zmrazené role prepregu by také nešlo odvinout potřebnou délku. S poklesem teploty se totiž nevytvrzená pryskyřice může změnit až v tuhý a křehký materiál. Děje se tak z důvodu, že se nevytvrzená pryskyřice dostane pod svou teplotu skelného přechodu T_g podle transformačního diagramu reaktoplastu teplota-čas. [3]



Obr. 5. Skelná oblast nevytvrzené pryskyřice [3]

2.3 Rozdělení prepregů

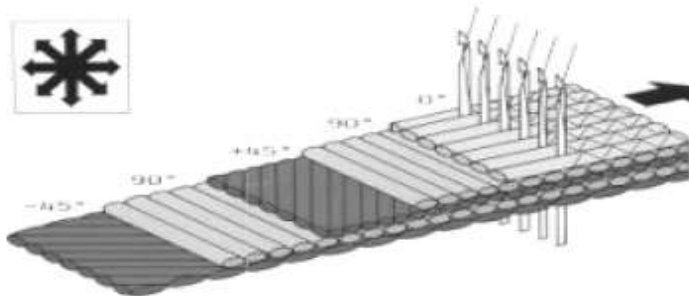
Dělení prepregů podle geometrie výztuže

1) **Jednosměrný prepreg** je vyrobený z rovingů.

Tento prepreg je určen pro mechanicky namáhané díly vyráběné kladením, navíjením pásů nebo pultruzí.. Má poměrně malou tloušťku (0,1-0,15 mm), dodává se v kotoučích různé šířky.

2) **Vícevrstvý (multiaxiální) prepreg** obsahuje jednosměrně vyztužené vrstvy vzájemně vůči sobě pootočené (obvykle pod úhly 0° , $+45^\circ$, -45° a 90°) a spojené prošitím polyesterovou nití.

Tento typ prepregu je vhodný pro rychlejší získání potřebné tloušťky laminátu. Obchodní značka vícevrstvého polotovaru tvořeného jednosměrně vyztuženými vrstvami spojenými prošitím je Cotech[®], Pyrofil[®]). Schéma vícevrstvé „tkaniny“, tvořené jednosměrnými vrstvami je uveden na následujícím obrázku.



Obr. 6. Schéma vrstvené multiaxiální výztuže stabilizované příčným prošitím [14]

3) **Kombinované prepregy**. Můžeme označit také jako únosnější vrstvy s tkaninovou výztuží, jež se dávají na mechanicky více namáhanou stranu výrobků (při namáhání v ohybu na taženou stranu)

Tímto způsobem se vyrábějí tkaninové a rohožové prepregy. Vrstvy s rohožemi se pokládají na stranu vystavenou koroznímu prostředí (mají větší podíl pryskyřice).

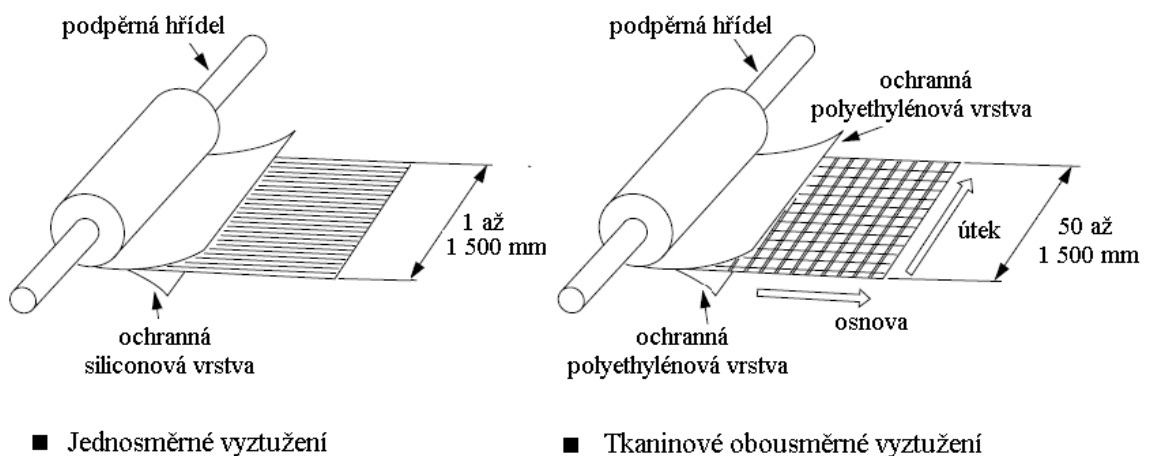
- 4) **Prepreg s prostorově vázanou výztuží.** Zde jsou vlákna buď pletena, nebo tkána.

Termín prepreg je používán i pro polotovary pro lisovací technologii SMC, které se vyrábějí s matricí na bázi rozpouštědlových pryskyřic - nenasyčené polyestery (UP) a vinyllestery (VE)) s výztuží ze sekaných skleněných vláken. Tomu, aby pryskyřice tekla, je zabráněno chemickou reakcí ztužující přísady nebo krystalizací složky pryskyřice (ne jejím částečným zesítním).

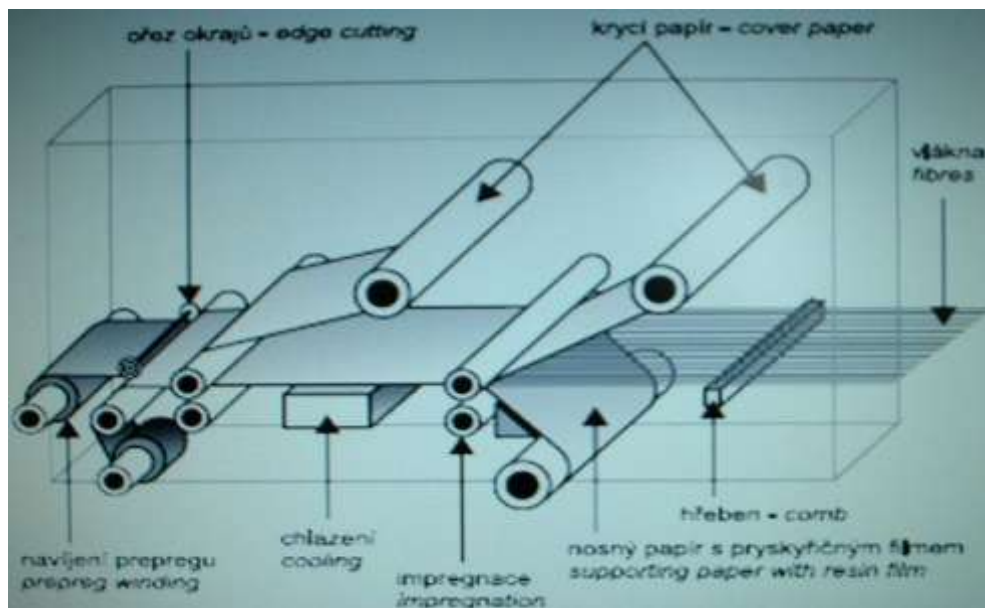
2.4 Způsoby výroby prepregů

- 1) Polotovar určený na výrobu vláknových kompozitů.

Jeho hlavní složkou je výstuž předimpregnovaná částečně vytvrzenou pryskyřicí.

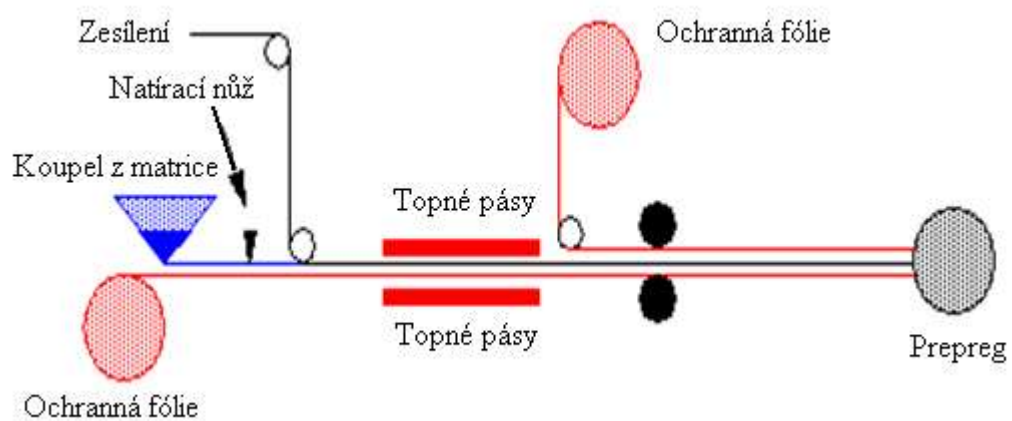


Obr. 7. Výroba prepregů [19]

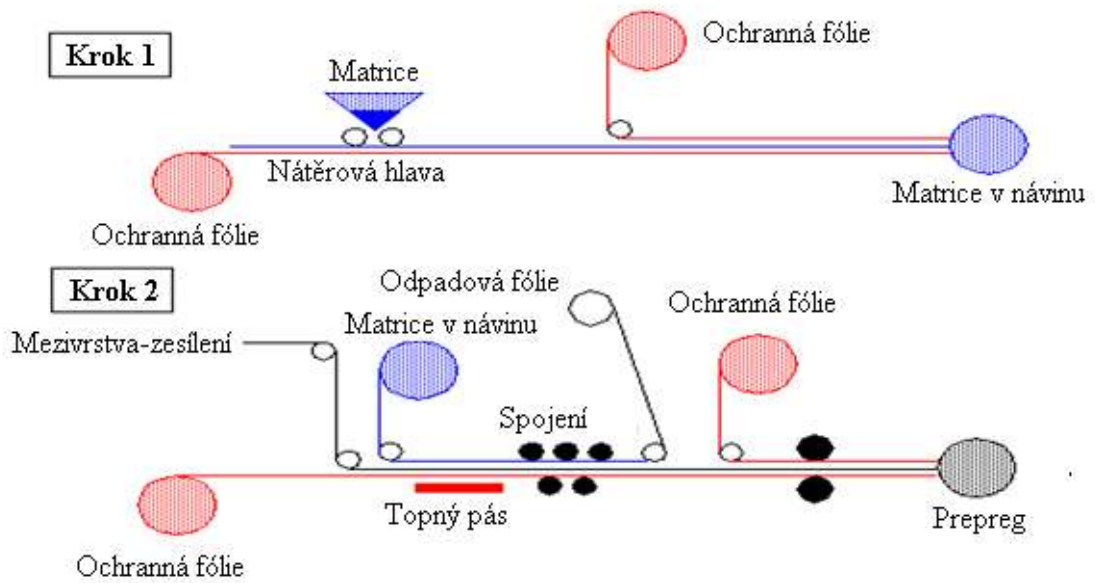


Obr. 8. Výrobní linka PREPREGŮ [23]

- 2) Výroba impregnováním tkaniny v koupeli z matrice
- 3) Horizontální ohřev



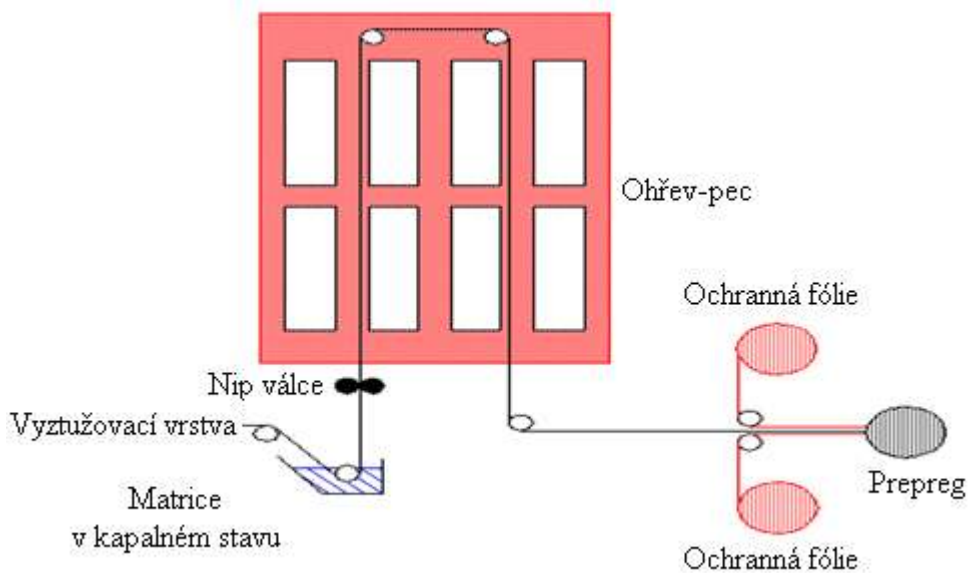
Obr. 9. Výroba impregnováním [19]



Obr. 10. Výroba postupným navíjením [19]

4) Výroba postupným navíjením

Jako první krok této konkrétní výroby, je výroba filmu z matrice. Následuje vzájemná konsolidace (zpevnění, sloučení) filmu matrice a vlákn.



Obr. 11. Výroba impregnováním tkaniny v koupeli [19]

- 5) Výroba impregnováním tkaniny koupelí v matrici
- 6) Vertikální ohřev v sušící věži [5]

2.5 Metody výroby prepregů s termoplastickou matricí

Při výrobě prepregů s termoplastickou matricí se používají tyto metody:

- 1) Nanášení termoplastu v roztaveném stavu (vytlačování taveniny) na výztuž
- 2) Nanášení roztoku termoplastu na výztuž
- 3) Nanášení vodné suspenze termoplastického prášku na výztuž
- 4) Nanášení prášku polymeru na jednotlivá vlákna rovingu
- 5) Slinování prášku (vytvoření filmu polymeru na vlákně) a opětné sdružení vláken

Při použití termoplastických prepregů při výrobě dílu (kladení nebo navíjení) se musí jejich matrice natavit, aby došlo ke spojení nové a předchozí vrstvy. Lze také použít poddajnou hybridní tkaninu, v níž je potřebné množství vláken termoplastu (PP, PA, PET), které se po roztavení změní v souvislou matrici. [3]

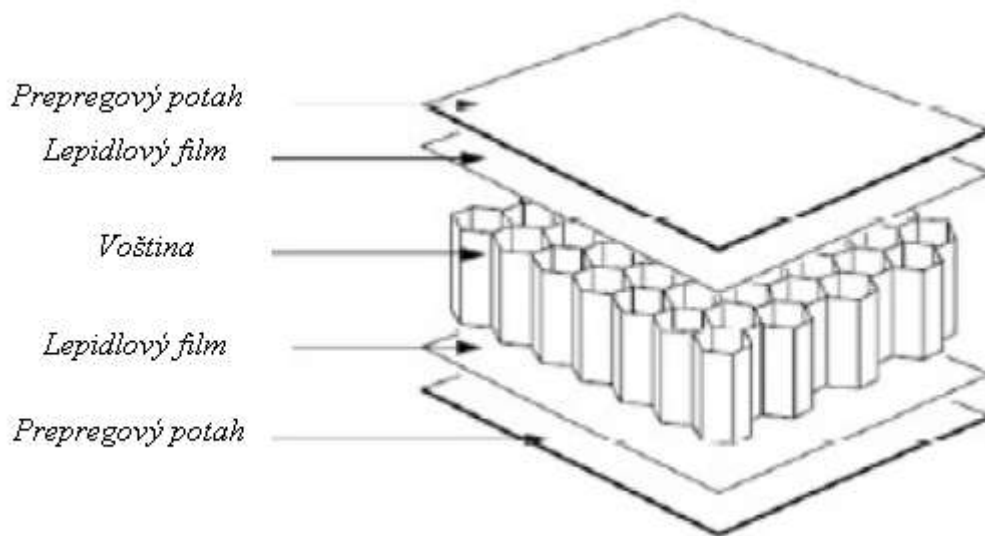
2.6 Voštiny

Je to zvláštní produkt, který je určen pro jádra sendvičových konstrukcí (angl. “honeycomb”). Voštiny mohou být s různou výškou, velikostí a tvarem buněk. Voštiny jsou k potahu přilepeny. Při výrobě sendvičů se používá fólie lepidla, kterou se voštiny překryjí před přiložením potahů. Při zvýšené teplotě se fólie roztaví a spojí oba prvky.

2.7 Materiál voštin

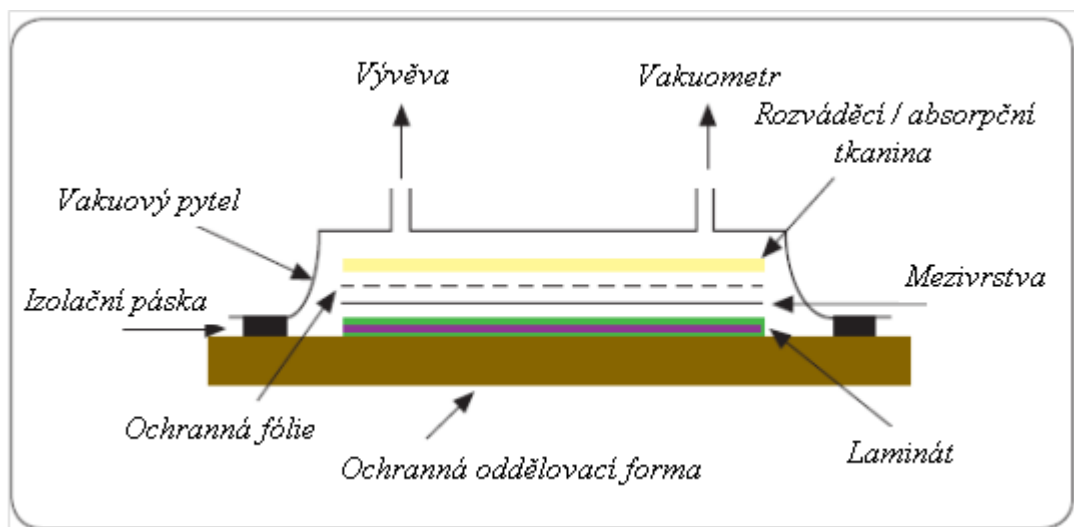
Používá se více typů voštin. Mezi nejvíce rozšířené typy můžeme zařadit:

- 1) Aluminiové voštiny, jež jsou relativně levné
- 2) Voštiny se skleněnými vlákny (skleněná rohož)
- 3) Voštiny s neuspořádanými vlákny aromatického polyamidu (aramidová rohož) značky Nomex[®] a Kevlar[®]. Výrobce firma Du Pont. Jedná se o voštiny ve fenol-formaldehydové pryskyřici (obě složky, tj. vlákna i pryskyřice, zaručují voštině nehořlavost a malý vývin kouře při expozici v plameni). [3]



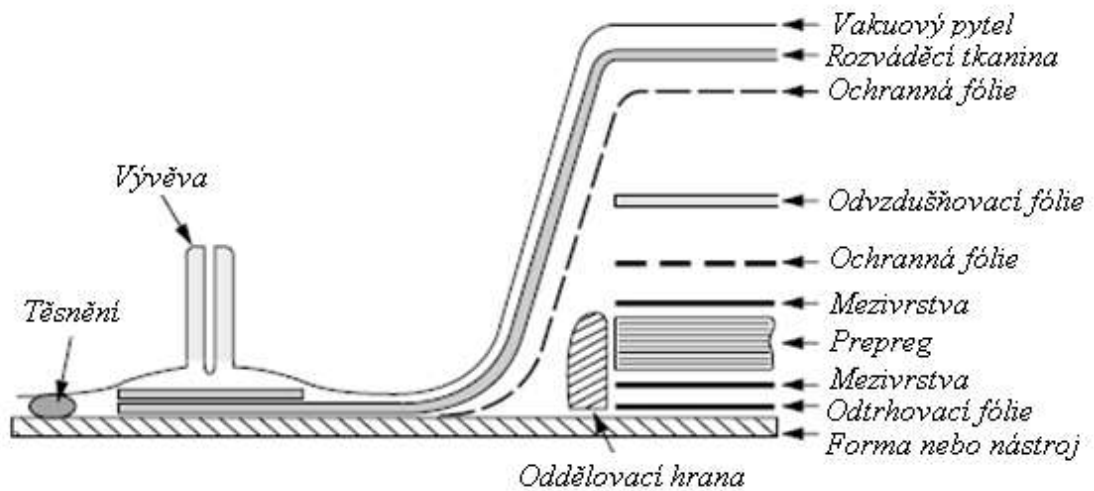
Obr. 12. Prepreg-sendvičová konstrukce [19]

2.8 Zpracovatelské technologie sendvičových materiálů



Obr. 13. Prepreg technologie – vytvrzování v peci [5]

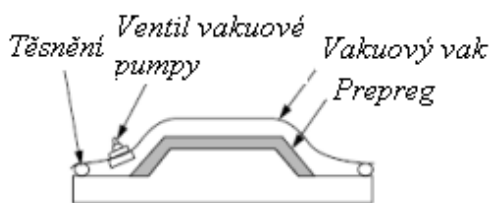
Takto koncipované rozložení jednotlivých vrstev je ideální pro vysoce kvalitní komponenty leteckých dílů. Nicméně určitou alternativu tohoto konceptu rozložení je možné aplikovat i ve zpracovatelském průmyslu.



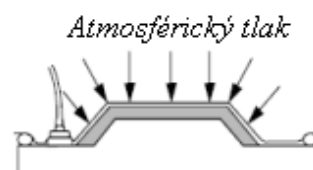
Obr. 14. Zpracování Prepregů v autoklávu [19]

Postup výroby a zpracování prepregů v autoklávu můžeme seřadit do čtyř kroků:

- 1) Vhodně umístit komponenty výrobků a velkých sendvičových konstrukcí.
- 2) Umístění a utěsnění pružného vaku přes přísátý kompozitní vak. (obr.15a.)
- 3) Je potřeba vysát (evakuovat) veškerý vzduch z pod „pytle“ (obr.15b.), odstranění vzduchu nutí vak k přísátí a vytvoření podtlaku 1 atmosféry (1 bar).
- 4) Dokončení dokonalého spojení za pomoci vakua, vše je umístěno uvnitř pece s dobrou cirkulací vzduchu, a kompozit je vyroben po relativně krátkém vytvrzovacím cyklu.



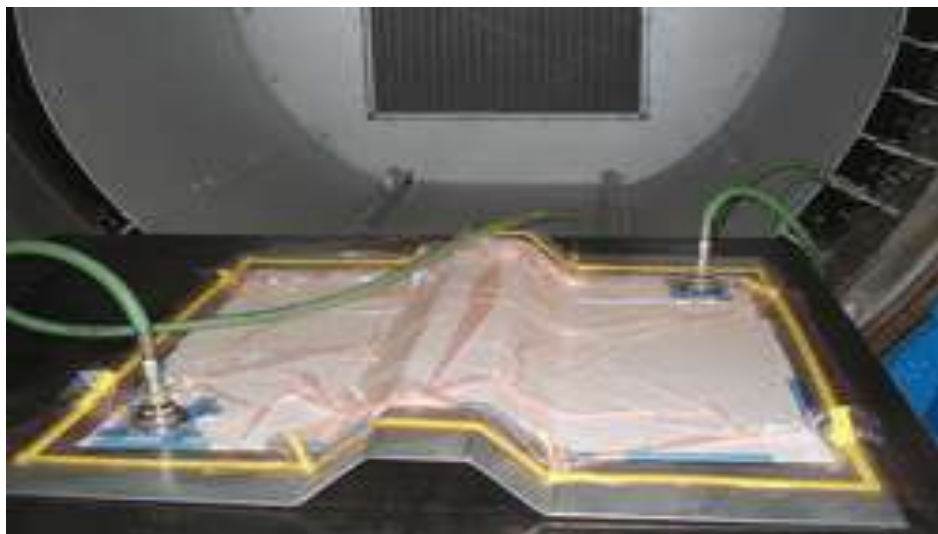
Obr. a) Utěsnění a položení vakuového vaku



Obr. b) Aplikování vakua pomocí vývěvy

Obr. 15. Technologie tzv. Vakuový vak [19]

Na obrázku 15. je zřejmý rozdíl před a po použití vývěvy a vytvoření podtlaku pro vytvrzovací cyklus v peci.



Obr. 16. Vakuové lisování Prepregů [23]

2.9 Vytvrzovací cyklus

Fenolické pryskyřice jsou základní materiály pro výrobu Prepregů. Jsou to reaktivní pryskyřice, které se vyrábějí kondenzací fenolů a 30 až 50% vodných roztoků aldehydů (zejména fenolformaldehydu).

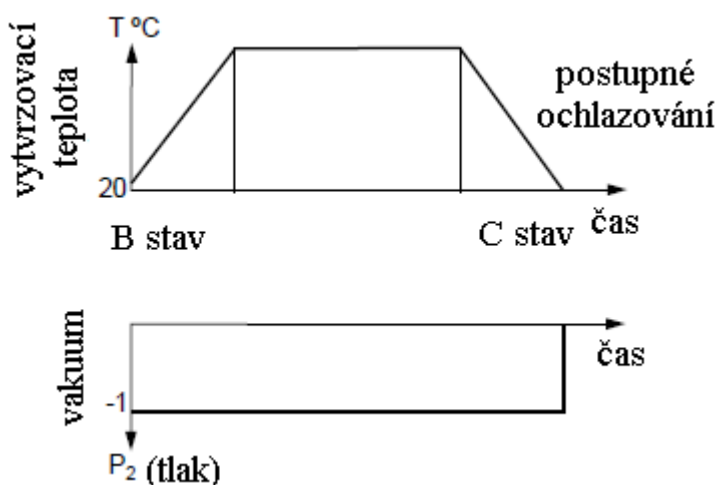
REZOLY jsou látky kapalné až pevné s bodem měknutí do 70°C. Zesíťování fenolu a formaldehydu na rezoly nebo novolaky je polykondenzační reakce. Reakce je exotermní, přesto však může dojít k ochlazení vlivem endotermního odpařování, např. vody (snížení viskozity kapalného rezolu). Celý vytvrzovací proces je procesem exotermním, který po počátečním zahřátí potřebuje silné chlazení. Konečným produktem vytvrzování fenolických pryskyřic je vysokomolekulární REZIT, který je nerozpustný a netavitelný.

Při zahřátí na teplotu asi 60 až 80°C začíná odpařování volné vody. Současně začíná měknutí dosud nevytvrzené hmoty, spojené s rostoucí molekulovou pohyblivostí řetězců. Oba tyto kroky jsou endotermní a probíhají až do teploty asi 110°C. Na to navazuje až do teploty 160°C první silně exotermní zesíťovací reakce. Tím se tedy získá prepreg ve stavu REZITU.

Obecně i z praktického hlediska lze tento vytvrzovací postup popsat jako ohřátí prepregu v B-stavu, tzv. REZITOLU na vytvrzovací teplotu, výdrž na této teplotě po dobu zesíťování a následné postupné ochlazování.

EXOTERMNÍ reakce – je taková, při které dochází k vývinu tepla a to při tvorbě chemických vazeb mezi molekulami výchozích materiálů, při které se uvolňuje teplo. Graf závislosti teploty na čase slouží ke sledování závislosti průběhu vytvrzování na teplotě. (obr. 17)

ENDOTERMNÍ reakce – je taková, při které se uvolní méně energie, než kolik jí bylo na začátku dodáno. [16]



Obr. 17. Vytvrzovací cyklus v peci [19]

2.10 Reakční stavy při vytvrzování fenolických pryskyřic (PF-R)

Stav A – výchozí lineární stav, REZOL nebo NOVOLAK.

Vlastnosti: Kapalný nebo pevný, tavitelný a rozpustný.

Stav B – ne zcela jednoznačně definovaná mezifáze, nazývaný REZITOL.

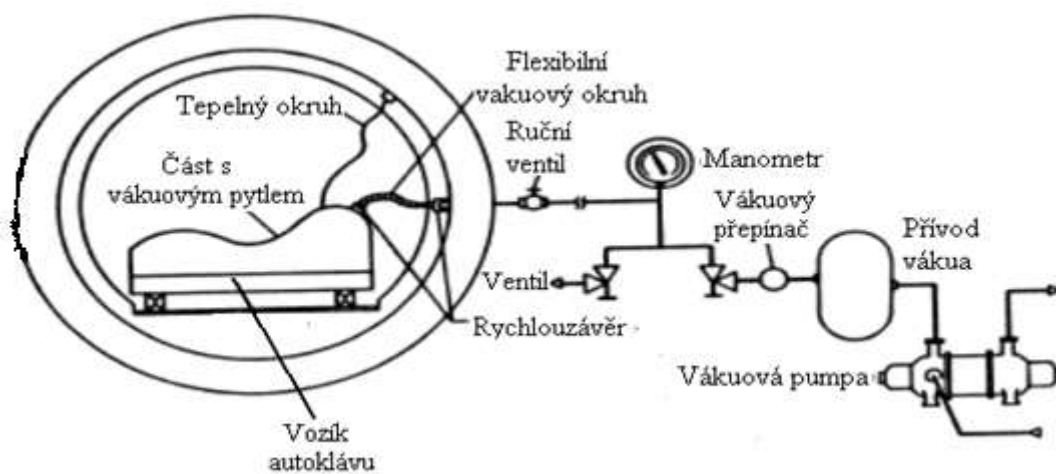
Vlastnosti: Tavitelný a za tepla ještě dostatečně formovatelný, nerozpustný, ale bobtnající. Nízká mechanická pevnost.

Stav C – Konečný stav, zvaný REZIT

Vlastnosti: Netavitelný, nerozpustný, vysoká mechanická pevnost a odolnost proti chemikáliím. [16]

2.10.1 Zpracování Prepregů v autoklávu

Autokláv je speciální tlaková nádoba, ve které působí na vložené prepregy vákuum, teplota a tlak. Tato technologie je ovšem finančně i technologicky nejnáročnější. Jsou zde delší vytvrzovací časy u pecí. Technologie výroby prepregů v autoklávu je nejideálnější využití pro výrobu hrubších kompozitů. Dále touto technologií lze vyrábět sendvičové struktury. Vyrobené kompozity mohou být tvarově značně složité, velkých rozměrů, mohou obsahovat vysoký podíl vláken a minimální množství nehomogenit. Vytvrzení se dosáhne tlaky do 1,5 MPa za zvýšených teplot. [5]



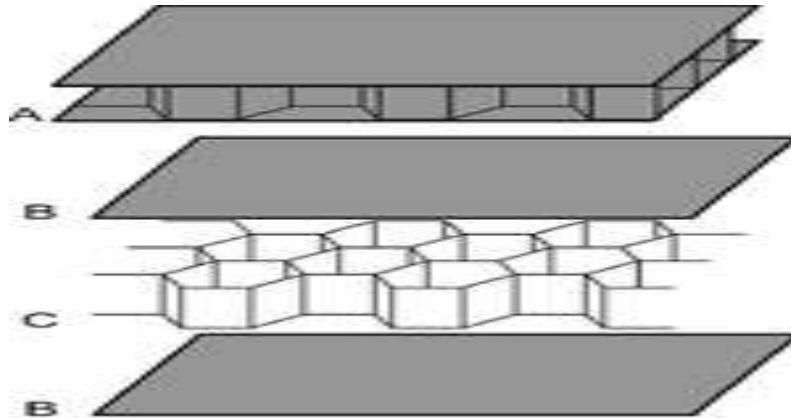
Obr. 18. Schematický obrázek výroby prepregu v autoklávu [19]



Obr. 19. Autokláv [23]

3 SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Sendvič je zvláštní druh laminárního kompozitu, který se skládá ze dvou vnějších vrstev překrývajících mezivrstvu (jádro) z lehkého materiálu. Vnější části jsou tenké ale tuhé, vnitřní vrstva (distanční), je tlustší, zpravidla méně pevná hmota. Na schematickém nákresu obr. 20. je **A**) sendvičový panel, **B**) obě vnější vrstvy a **C**) voštinové jádro laminátu.



Obr. 20. Schéma konstrukce sendviče s voštinovým jádrem [19]

Sendviče se od jednoduchých laminátů liší následovně:

- Složením

U laminátu jsou v principu dvě ploché vrstvy slepeny vrstvou pryskyřice. U sendviče je mezi vnějšími vrstvami navíc vrstva vnitřního jádra.

- Tuhostí

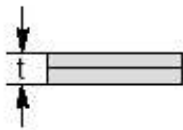
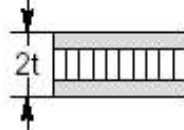
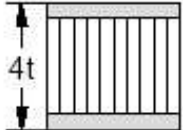
U sendvičů je tuhost až trojnásobně vyšší.

- Hmotností

U sendviče je to cca polovina váhy laminátu.

- Izolačními vlastnostmi

U sendvičů je izolační schopnost až dvojnásobná. [1]

	Celistvý materiál	Síla jádra t	Síla jádra $3t$
tuhost	 1.0	 7.0	 37.0
pevnost v ohybu	1.0	3.5	9.2
hmotnost	1.0	1.03	1.06

Obr. 21. Porovnání vlastností sendvičových konstrukcí [19]

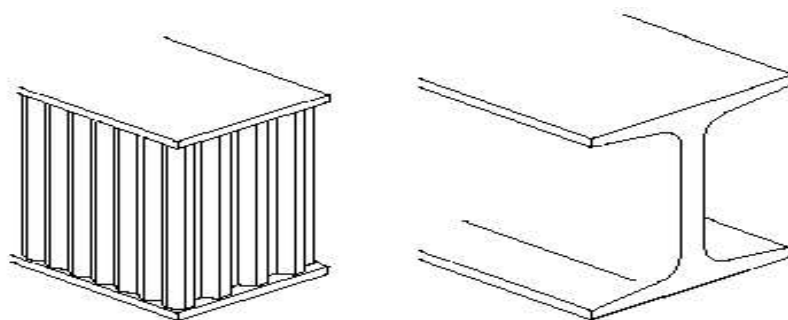
Sendviče jsou vyráběny z vrstev různých materiálů, které poskytují rozdílně potřebné vlastnosti – pevnost, tvrdost, korozní odolnost aj. Mohou to být např. plechy (pláty) zpevněné vlákny. Do této kategorie patří např. i tenké povlaky, bimetaly, ale především lamináty a mikrolamináty (např. kompozity, ve kterých se střídají vrstvy hliníku a polymeru, zpevněného vlákny). Mezi nejznámější mikrolamináty se širokým uplatněním především v letectví patří Arall (Aramid-Al) a Glare (sklohliníkový laminát). Samostatnou skupinu tvoří sendvičové materiály – laminární kompozity s velmi nízkou hmotností (dvě tenké vnější vrstvy překrývající nízko hmotnostní výplň – polymerní pěnu, voštinu – laminární). [5]

3.1 Srovnání mezi I – profilem a voštinovou konstrukcí

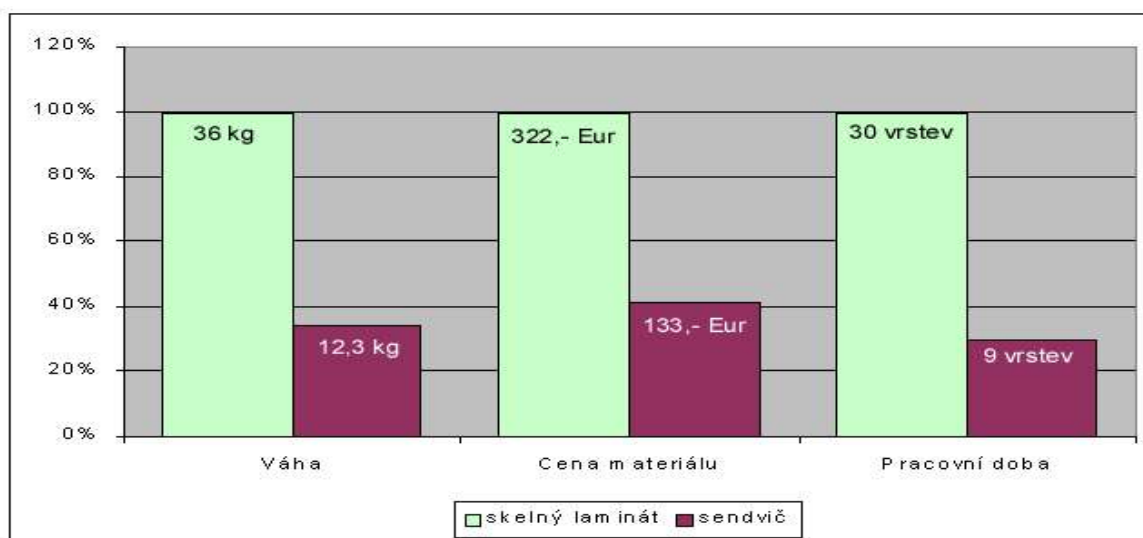
Výhody voštinových konstrukcí

U těchto konstrukcí porovnáváme zvláště parametry související s pevností a materiálovou odolností.

- 1) Smykové napětí je podporované voštinou.
- 2) Tahové a tlakové napětí je podporované krycí nosnou vrstvou.
- 3) Krycí nosná vrstva je stálá podél celé délky voštiny.
- 4) Je zde významná pevnost v několika směrech.
- 5) Velmi vysoká úspora hmotnosti.



Obr. 22. Srovnání mezi voštinovou konstrukcí a I – profilem [19]



Obr. 23. Porovnání skelného laminátu tloušťky 15mm a sendvičové struktury tloušťky 21mm [5]

3.2 Výroba sendviče s jádrem z polystyrenové pěny

Na vnější vrstvu kompozitu (např. laminát ze skleněných vláken) se nanáší pryskyřice, na kterou se pokládá a přitlačí jádro sendviče. Po několika sekundách se pryskyřice rozpustí a následuje napojení horní vnější vrstvy. Aby se dosáhlo optimálního spojení jednotlivých vrstev, prochází kompozit zařízením s vakuovým vakem, hydraulickým lisem nebo autoklávem.

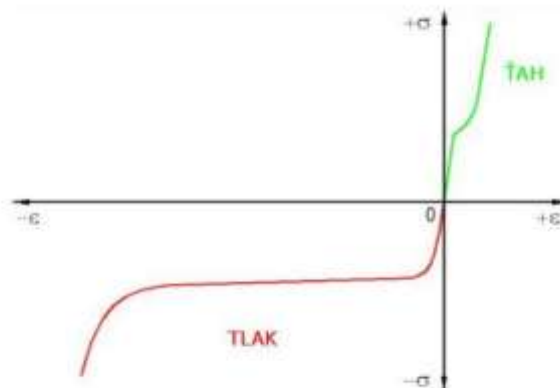


Obr. 24. Sendvič s jádrem z polystyrenové pěny [5]

Sériově se vyrábí kompozity s tloušťkou mezi 1 a cca. 100 mm, hmotnost může být až pod 40 g/m². [8]

3.3 Princip působení sil

Na vnější vrstvy sendviče působí tažné a tlakové síly, zatímco distanční materiál musí udržovat velikost průřezu a čelit smykovému zatížení. Podle pracovních diagramů je chování pěn v tahu a tlaku rozdílné. V tlaku je výrazná tzv. plató oblast. Zvláště deformace zde rozsáhle narůstají a to i při minimální změně napětí. Tím se zvyšuje jejich schopnost pohlcovat energii. V tahu je tato oblast velmi slabě výrazná. [26]



Obr. 25. Pracovní diagram distanční

materiál – pěna TAH-TLAK [26]

3.4 Výchozí materiály na výrobu sendvičových kompozitů

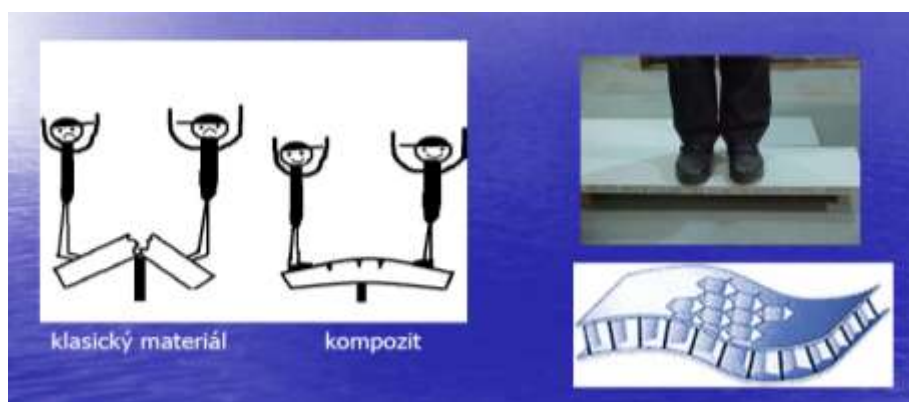
Na vnější vrstvy sendvičů se nejčastěji používají lamináty vyztužené skleněnými nebo uhlíkovými vlákny, pro některé účely také kovové folie. Mezivrstva může být např. z voštin, z lehkého dřeva nebo z polymerních pěn (PVC, PU aj.).

3.5 Použití

Použití sendvičových konstrukcí je velmi mnohostranné - od trupu lodí, letadel a automobilů, přes konstrukční díly ve stavebnictví až po rotory větrných elektráren. Laminární kompozity se často používají zejména tam, kde je požadována odolnost proti korozi a abrazi. [8]

3.6 Výhody sendvičových kompozitů

Jednou z hlavních výhod sendvičových kompozitů je jejich velmi nízká hmotnost, vysoká tuhost a pevnost. Sendvičové konstrukce se řadí k vrstveným konstrukcím. Tyto konstrukce jsou tvořeny jednoduchými nebo složenými materiály odlišného charakteru, jež jsou vzájemně pevně spojeny. Tyto konstrukce spojují vlastnosti tuhých povrchových materiálů a jádra odolného proti smyku. Velmi důležitá je vazba: povrchová vrstva – jádro. Mezi nejdůležitější jádra řadíme profilované vrstvy: honeycomby nebo pěny. Nejčastější materiály vnějších vrstev jsou: dřevo, plasty nebo kovy. Laminární kompozit se skládá ze dvou vnějších vrstev překrývající mezivrstvu (jádro) z lehkého materiálu. Vnější vrstvy jsou tenké, ale tuhé. Vnitřní vrstva (tzv. distanční) je silnější a zpravidla méně pevná hmota. [4]



Obr. 26. Rozdíl v tuhosti mezi klasickým materiálem a kompozitem [23]

Díky kompozitním materiálům a sendvičům z těchto materiálů, můžeme pozorovat zvýšenou efektivitu za pomoci tzv. hybné síly. Tato efektivita se projevuje zejména v dopravě díky redukci hmotnosti dopravních prostředků. U automobilové dopravy je 75% spotřebovaného paliva v přímé úměře k jeho hmotnosti. Na každých 10-ti % uspořené hmotnosti se ekonomické využití paliva zvýší o 6-8%.

3.7 Vlastnosti sendvičových struktur - konstrukcí

Důležitou vlastností sendvičových struktur je fakt, že díky snížení váhy konstrukce se produkce oxidu uhličitého při jízdě autem značně zredukuje. A to tak, že snížíme o 20 kilogramů produkci oxidu uhličitého v průběhu celé životnosti auta. Tento fakt se uplatňuje zejména v letecké a dopravní technice, kde se využívá jeho hlavní přednosti, což je ohybová pevnost a tuhost při nízké hmotnosti. Sendviče však můžeme najít i v ostatních průmyslových odvětvích. Mezi další výhody patří únavová odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, tepelná odolnost a odolnost proti ohni, tlumení, tepelná a akustická izolace. Tyto vlastnosti jsou určeny převážně materiálem jádra. [4], [5]

Sendviče jako součást kompozitních materiálů nemusí být vždy jen rovné desky. Mohou také tvořit složité plochy s prolisy a výstupky. Pro složitě tvarované sendviče je použití kovových potahů velmi nákladné. Proto se s oblibou používají kompozitní potahy. Vzhledem k požadavkům zákazníka a jím požadovaného tvaru sendviče, ovlivňuje tato skutečnost volbu vhodného jádra. Například pro zakřivené sendviče lze obtížně použít voštinu s hexagonální buňkou. V těchto případech se používá voština se speciálními tvary buňky. Jedná se o typy buněk s průřezem obdélníkovým, lasturovým apod. Dále lze použít také tepelně tvarovanou pěnu. [3]

3.8 Sendviče – tuhost a pevnost v ohybu

Ohybová tuhost sendviče je přímo úměrná druhé mocnině jeho tloušťky. Se zvětšující se tloušťkou sendviče, dochází k velmi malému nárůstu jeho hmotnosti – zvětšuje se jen tloušťka jádra, které obvykle má hustotu kolem 80 kg.m^{-3} . Pevnost v ohybu taktéž roste se vzdáleností vnější vrstvy, ale při dimenzování sendviče je nutné zároveň posuzovat

smykovou pevnost jádra. Pevnost jádra ve smyku narůstá s jeho hustotou. O pevnosti sendviče v tlaku ve směru jeho tloušťky rozhoduje především pevnost jádra v tlaku. Zde je také rozhodující faktor tuhost a tloušťka vnějších vrstev. Pevnost jádra v tlaku roste s jeho hustotou. Voštinová jádra mají lepší mechanické vlastnosti jak pěnová jádra při stejné hustotě. Pokud budeme hledat správnou volbu vhodného jádra sendviče, je bezpodmínečně nutné zohlednit všechny faktory.

3.9 Tepelná odolnost a odolnost proti ohni

Při výběru a určení vhodnosti sendviče pro určitý výrobek je nutné brát v potaz tepelnou odolnost všech složek sendviče. To znamená, že do úvahy musíme brát: vnější vrstvy, jádro, ale také spojovací lepidlo. U tepelné odolnosti hraje zásadní úlohu tepelná vodivost použitých materiálů. Při vysoké tepelné vodivosti použitých materiálů je ohřev sendviče nižší než při nízké tepelné vodivosti. (Při ohřevu sendviče jen na jedné straně). Tyto vlastnosti se využívají při stavbě kosmických raket, kde se právě z toho důvodu používají hliníkové voštiny. Pokud se navrhuje sendvič pro dopravní techniku, je důležité respektovat požadavky odborných konstrukčních předpisů na odolnost proti ohni. Veškeré použité materiály musí mít příslušný atest, že splňují požadované předpisy na odolnost proti ohni. [5], [6].

3.10 Příklady konkrétních aplikací

- 1) Materiál pro dopravní prostředky a pohyblivé části konstrukcí a strojů
- 2) Čela vlakových jednotek



Obr. 27. Vlakové a dopravní jednotky [5]

3) Lodě, čluny



Obr. 28. Příklady použití kompozitních materiálů – lodě, čluny [5]

- 4) Využití v leteckém průmyslu např. kryt hlavního podvozku letadla Aero Ae-270. Zde je sendvič tvořen kompozitními potahy s uhlíkovými vlákny a pěnovým jádrem. Použití pěny si vynutilo složitý tvar dílu s několika prolisy. Při výrobě se nejdříve obrábí pěnové jádro na NC stroji. Následně jsou vlepeny duralové vložky v místech závěsu. Poté je pěnové jádro obalené několika vrstvami uhlíkového prepregu. Následuje vytvrzovací proces v autoklávu.



Obr. 29. Letadlo Aero Ae-270 [5]

- 5) Sendviče pro zdravotnická polohovací lůžka, které umožňují rentgenovat pacienta přímo na lůžku.
- 6) Sendvičové panely pro nízko podlažní tramvaje typu Astra. Zde byly použity voštinové jádra z hliníku. A to z důvodu požadované vysoké tuhosti při nízké hmotnosti.

Byla zvolena klasická koncepce duralových potahů přilepených k hliníkové voštině fóliovým lepidlem. [5], [8].



Obr. 30. Použití sendvičových panelů s hliníkovým voštinovým jádrem – tramvaj [5]

3.11 Výroba speciálních prostorových struktur

Sendviče a honeycomby se skládají za dvou hlavních částí. Jsou to krycí povrchy a jádra. Významné používání sendvičových struktur můžeme datovat od roku 1950 v průmyslových aplikacích. Sendvičové materiály se začaly nejčastěji používat do panelů pro letadla.

Jádra:

- 1) balzové dřevo
- 2) Nomex™
- 3) honeycomb z hliníku
- 4) honeycomb z PVC
- 5) pěny – PVC, PET

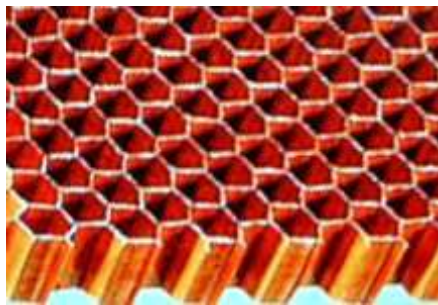
Krycí povrchy:

- 1) hliník
- 2) lamináty s uhlíkovými vlákny
- 3) lamináty se skelnými vlákny
- 4) ocel
- 5) titan
- 6) dekorativní plasty
- 7) dřevo

3.12 Jádra

3.12.1 Voština – honeycomb

Voština, anglicky též označována jako honeycomb, se používá jako jádro s různou výškou, velikostí a tvarem buněk v sendvičových kompozitech. Tento koncept vynalezl Norman de Buyne z Velké Británie a nechal si ho patentovat v roce 1938 jako hliníkovou voštinu pro sendvičové kompozity. Tyto voštiny v různých provedeních se průmyslově vyrábějí od roku 1945. Označení „Voština“ je odvozené z podobnosti se šestihhrannou strukturou plástu včelího medu. [3]

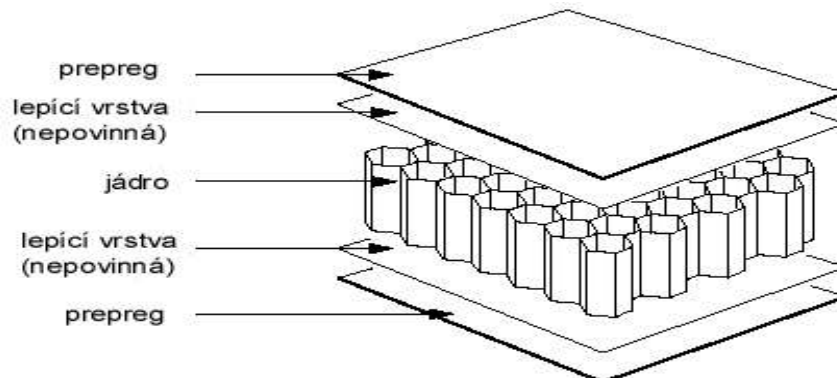


Obr. 31. Sendvičová struktura [18]

3.12.2 Materiály na výrobu sendvičových kompozitů

Mezivrstva – jádro může být aplikováno např. z voštin, lehkého dřeva, nebo z polymerních pěn (PVC, PET, PU, SAN).

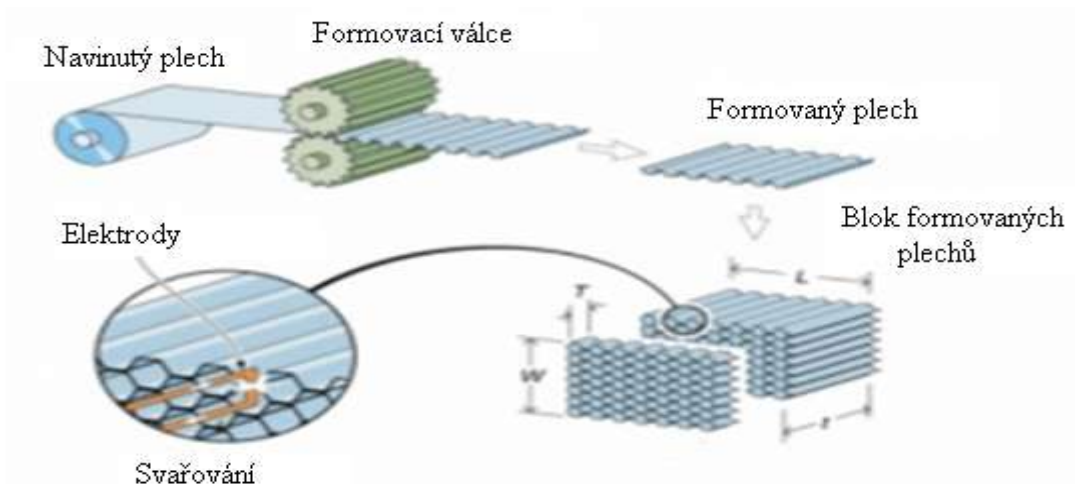
Voštiny z tenkého hliníkového plechu zn. Nomex – aramidová tkanina nasycená epoxidovou pryskyřicí, polypropylénu, ale taktéž papíru nasyceného polyesterovou nebo fenolicou pryskyřicí.



Obr. 32. Voštinový sendvič [19]

3.12.3 Formování

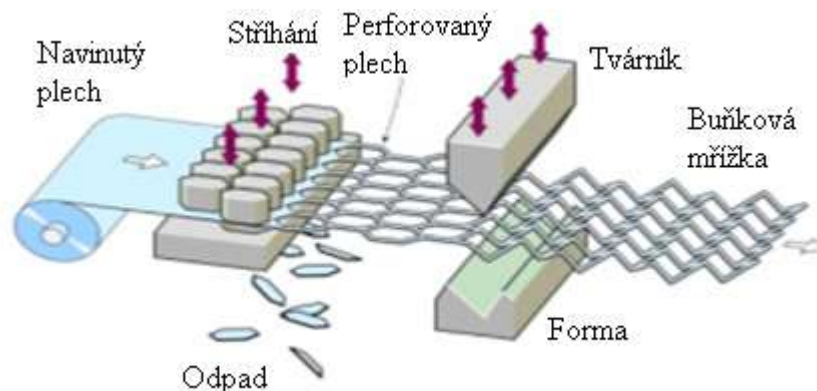
Výplňový materiál honeycomb se formuje způsobem skládání jednotlivých zformovaných vrstev, jež jsou válcovány na sebe. Spojování těchto vrstev jednotlivých plechů se provádí nejčastěji svařováním a výsledný blok se nařeže na požadovanou tloušťku. Tvar jednotlivých buněk je nejčastěji šestiúhelníkový, ale touto metodou se vytváří také čtvercové a trojúhelníkové buňky.



Obr. 33. Formování Honeycomb bloků jako výplňový materiál [19]

Stříhání a ohýbání

Vzor buňkové mřížky je vystříhován, nebo vyřezáván z plechu pomocí laseru nebo vodního paprsku. Plech se poté ohýbá do požadovaného tvaru. Velkou nevýhodou této metody je velký odpad materiálu.



Obr. 34. Výroba jednotlivých částí buňky z plechu [19]

Shrnutí

Sendviče představují progresivní konstrukci s vysokou ohybovou pevností a tuhostí při nízké hmotnosti. Tyto materiály ovšem mají ještě mnoho dalších výhod. Uplatnění těchto materiálů se nachází nejen v leteckém průmyslu a dopravní technice, ale i v ostatních průmyslových odvětvích. [19]

3.12.4 Dřevo - překližka

Jedná se o nejstarší výplňový materiál. Jeho předností je především nízká cena. Ovšem tento materiál je příliš těžký, má malou pevnost ve stříhu, je velmi citlivý na vlhkost. Po čase se působením vlhkosti rozvrstvuje. Taktéž vlhkost poměrně lehko vzlíná po vláknech. Tato vlhkost potom způsobuje vzhledové defekty na kompozitním potahu. Díky kvalitním lepidlům na bázi epoxidových pryskyřic se tyto defekty dají částečně eliminovat. [3], [4].



Obr. 35. Výplňový materiál dřevo-překližka [22]

Balza

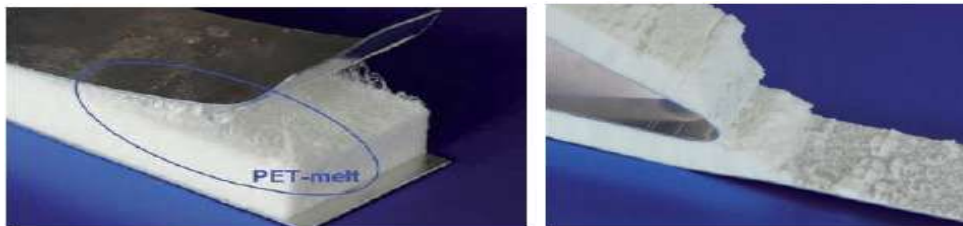
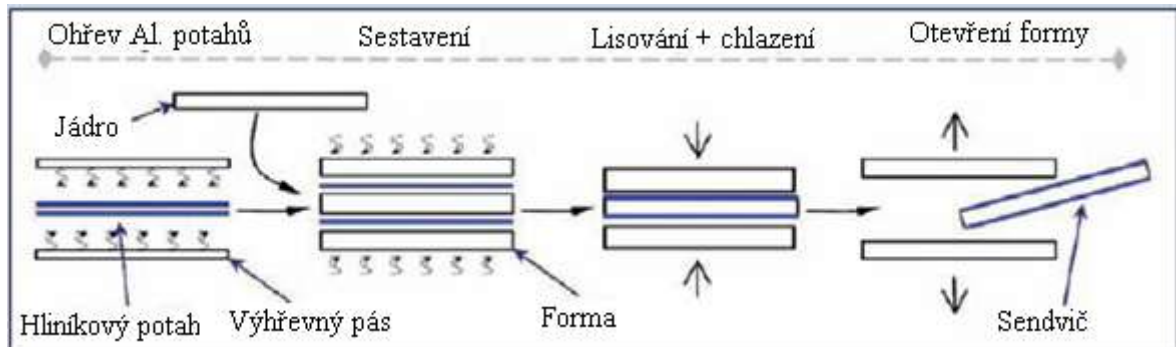
Hustota tohoto materiálu – balzy je $50 - 100 \text{ kg.m}^{-3}$. Vlákná balzy se lepí do bloků. Tyto bloky se řezou kolmo na vlákna, čímž se výrazně zvyšuje pevnost ve stříhu a v tlaku. Velkou nevýhodou je absorpce vody.



Obr. 36. Výplňový materiál balza [22]

Příčně síťované PVC

Díky příčnému zesíťování molekulových řetězců se zvyšuje pevnost a tuhost ovšem na úkor prodloužení. Takto vyrobený materiál získává teplotní odolnost, což umožňuje kombinaci s prepregy jako potahovým materiálem. [22]



Obr. 37. Sendviče s AL – potahem [22]

3.13 Korek

Korek (felém) je vnější část borky rostlin, která je nepropustná pro vodu i pro plyny a chrání rostlinu. Korek je vytvářen vrstvou buněk zvanou felogen (korkové kambium).

3.14 Zpracování surového korku

Surový korek se získává loupáním kůry (borky) korkového dubu. Nejvíce se korkový dub pěstuje v Portugalsku v kulturách, které vykazují jeho největší výtěžnost. Loupání se poprvé provádí v době, kdy je strom starý 10 až 12 let, a poté v přestávkách od 8 do 12 let. Nejvhodnější doba pro loupání je měsíc červenec. Po sklizni se kůra nejdříve volně uloží ve velkých hromadách na 6 až 12 měsíců. Teprve poté se začínají provádět jednotlivé fáze výroby. Nejdříve se kůra asi hodinu vaří, čímž se vyloučí třísloviny a přítomné mikroorga-

nismy. Jednotlivé kusy se přitom drží kladkou pod hladinou a postupným utahováním se lisují. Tím kůra ztratí své přirozené zakřivení a dostane se jí formy desek. Desky jsou pak rozřezány podle síly a kvality a jsou rozřezány na pásy.

3.15 Produkce a sklizeň korku

Korkové duby rostou převážně v oblasti Středomoří. 54 % světové produkce pochází z Portugalska, dalších 40 % ze Španělska, Alžírsko a Maroka. Celková plocha plantáží v těchto zemích je asi 2,7 miliónů hektarů, roční produkce pak asi 340 tisíc tun. Kůra dubů se odřezává pomocí speciálních nožů. Původní kůra stromů je nekvalitní a odstraňuje se z nich ve chvíli, kdy mají jejich kmeny obvod asi 30 centimetrů. Kůra pak znovu dorůstá a sklízí se po 9 - 15 letech (nejkvalitnější po 30 letech), kdy dosáhne požadované tloušťky.

3.16 Složení korku

- suberin- asi 45 procent - přírodní polymer způsobující pružnost korku
- lignin- asi 27 %, zpevnění buněčných stěn
- polysacharidy - 12 %
- taniny- asi 6 %, způsobují barvu korku
- ceroidy- asi 5 %

3.17 Vlastnosti a použití

Korek má rozmanité použití díky tomu, že dobře tepelně izoluje, odolává poměrně vysokým teplotám (asi do 120 °C), je pružný a lehký. Používá se na výrobu zátek (přes 80 % celosvětové produkce), podlahových krytin (korkové dlaždice), stélky obuvi aj.

3.18 Fyzikální vlastnosti

- hustota: 480 až 520 kg/m³
- tepelná vodivost: 0,04 až 0,05 W m⁻¹ K⁻¹
- měrná tepelná kapacita: 2100 kJ kg⁻¹ K⁻¹ [27], [28]

4 ZKUŠEBNÍ PROCESY

4.1 Zkoušky sendvičových materiálů

Mechanické vlastnosti jsou finální vlastností daného materiálu, které podmiňují jeho vhodnost pro určenou funkci a použití v praxi. Poznání a zlepšování mechanických vlastností konstrukčních materiálů je motivované jejich optimálním využitím při výrobě strojů a zatížení. [9]

Z hlediska působení síly na zkušební těleso je možné rozdělit mechanické zkoušky do několika skupin:

- 1) Zkoušky statické
 - a) za normálních teplot
 - b) za zvýšených nebo snížených teplot
- 2) Zkoušky dynamické
 - a) rázové
 - b) cyklické

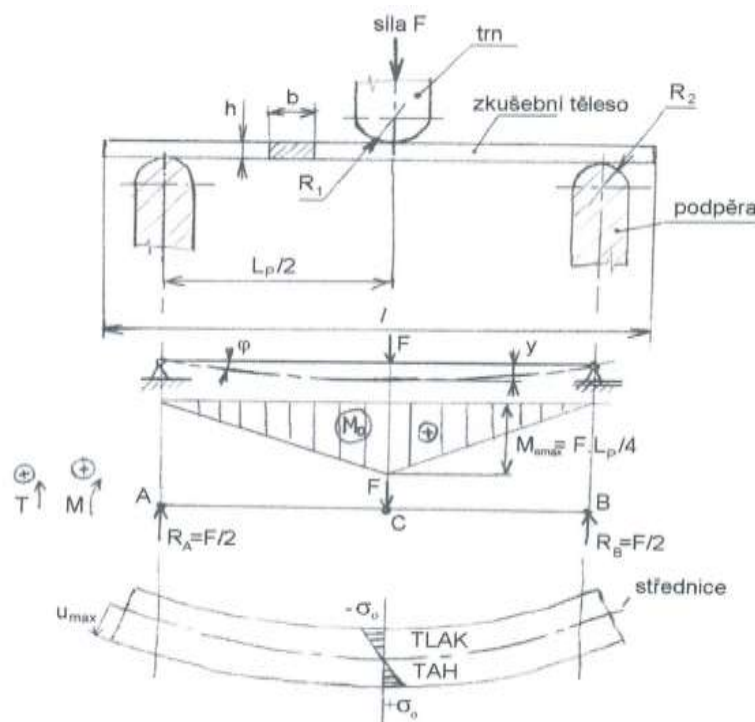
Měření mechanických vlastností je důležité k získávání dat pro konstruktéry a používají se jako důkaz kvality materiálu. Mechanické vlastnosti mohou být také kritériem pro výstupní kontrolu nebo pro přejímku materiálů. Dále se používají v materiálovém výzkumu, který usiluje o pochopení a strukturální vysvětlení chování konkrétních mechanických vlastností. [10]

4.2 Zkouška ohybem

Tento zkušební proces slouží ke zjištění mechanických vlastností. Největší význam tohoto procesu je u zkoušek materiálů s křehkým průběhem (jako jsou materiály např. litin). U materiálů, jež jsou houževnaté, nedochází vždy k celkovému porušení, ale můžeme sledovat deformace v závislosti na působící síle. Tuto zkoušku popisuje norma ČSN EN ISO 178 (64 0607). [11], [12]

4.3 Podstata a průběh zkoušky

Zkušební těleso podepřené jako nosník dvěma podpěrami je konstantní rychlostí prohýbáno trnem působícím uprostřed podpěr tak dlouho, dokud se těleso nezlomí nebo dokud deformace nedosáhne předem stanovené hodnoty. Napětí v průřezu je rozděleno nerovnoměrně, tj. od nulové hodnoty v neutrální ose roste do maxima v povrchových vláknech. Postupně, jak roste zatížení, měříme průhyb zkušebního tělesa „y“ až do okamžiku, kdy se tyč přelomí, nebo se trvale prohne. V průběhu procesu je měřena síla působící na těleso. [12]



Obr. 38. Schéma ohybové zkoušky [11]

4.3.1 Určování naměřených hodnot

Výpočet veličin při trojbodovém ohybu

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{\max}}}{W_o} = \frac{M_{o_{\max}}}{\frac{J_R}{u_{\max}}}, [MPa] \quad (1)$$

Ohybový moment

$$M_{o_{\max}} = \frac{F \cdot L_p}{4}, [N \cdot mm] \quad (2)$$

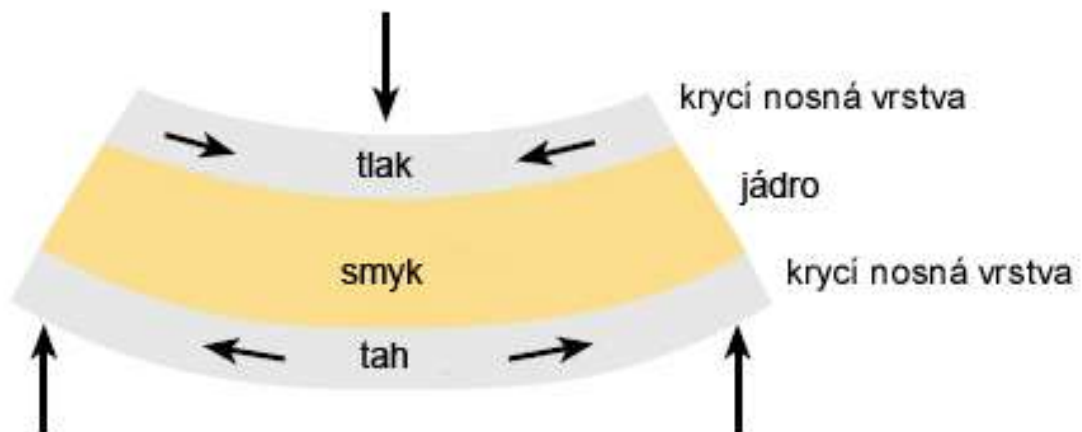
Průhyb
$$y = \frac{F \cdot L_p^3}{48E \cdot J_R}, [mm] \quad (3)$$

Poměrný průhyb
$$\varepsilon = \frac{y \cdot 6h}{L_p^2}, [-] \quad (4)$$

Modul pružnosti
$$E_o = tg\alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}, [MPa] \quad [13] \quad (5)$$

4.4 Zatěžování sendvičové polymerní struktury

Na vnější vrstvy sendviče působí tahové a tlakové síly, zatím co materiál jádra musí udržovat velikost průřezu a odolávat smykovému zatížení.



Obr. 39. Zatěžování sendvičové struktury [5]

Jádro přenáší smykové zatížení z jednoho pláště vnější stěny na druhý plášť stěny protilehlé. [5]

4.5 Shrnutí a příprava na praktickou část

V rámci praktické části této diplomové práce bude nejprve potřeba vybrat, které testované vzorky se budou vyrábět. Pro tento výběr budou rozhodující potřebné parametry. Parametry, které rozhodovaly o tomto výběru, je především potřeba firmy FORM, s.r.o. důkladně otestovat materiál „CORECORK NL20“, jež je kompozitní sendvičový materiál. Tento

materiál by měl odpovídat náročným požadavkům odběratelů na odolnost v rámci mechanických vlastností versus náklady na výrobu.

Důležitým předpokladem pro výběr vhodného materiálu budou dobré zvukově-izolační vlastnosti, tepelně-izolační vlastnosti a hořlavost materiálu.

Testované vzorky se budou lišit v těchto vlastnostech:

- Rozdílnost složení vrchní vrstvy prepregu
 - fenolické prepregy
 - PHG 840-300-42
 - PHG 840N
 - epoxidové prepregy
 - M34
 - PROSYSTEMS
- Technologické parametry
 - teplota vytvrzování zkušebních vzorků
 - 130°C
 - 150°C
- Tloušťka vnitřního jádra
 - korek tloušťky 3 mm
 - korek tloušťky 8 mm

Samotná výroba vzorků bude provedena ve firmě FORM, s.r.o., jež má dlouholeté zkušenosti s touto výrobou. Výroba je zde prováděna především ručním kladením prepregů pod pružnou fólií. Tato firma se zaměřuje na automobilový, železniční a tramvajový průmysl.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se v praktické části zabývá možností využití korku jako jádra v kompozitních prepreg konstrukcích. Korek je díky svému rozmanitému využití velmi vyhledávaným materiálem. Má velmi dobré tepelně-izolační vlastnosti a poměrně dobře odolává teplotám pohybujícím se okolo 120°C. Navíc korek je velmi lehký a pružný a tím můžeme velmi významně docílit snížení hmotnosti u používaných sendvičových materiálů.

Cíle diplomové práce můžeme shrnout do následujících bodů:

I. Teoretická část:

1. Rozdělení a definice polymerních kompozitních materiálů, předimpregnované materiály, vlastnosti, způsob výroby a jejich zpracovatelské technologie.
2. Vícevrstvé - sendvičové kompozitní struktury, popis a význam jednotlivých vrstev
3. Druhy jader, výhody, nevýhody a aplikace.
4. Způsoby výroby sendvičových kompozitních materiálů
5. Zkušební metody pro sendvičové kompozitní struktury, jejich popis a způsob vyhodnocení.

II. Experimentální část

1. Návrh struktury a vrstvení materiálu pro sendvičové konstrukce s korkem jako jádrovým materiálem.
2. Experimentální výroba navržených vzorků pre-preg technologií – ruční kladení s následným vytvrzováním ve vytvrzovací peci, příprava zkušebních tělísek pro následné testování mechanických a požárních vlastností dle doporučených metodik vedoucího práce.
3. Testování zkušebních vzorků dle zvolených testovacích norem
 - a) Stanovení ohybových vlastností dle normy ČSN ISO 178
 - b) Modifikovaná metoda odlupu
 - c) Limitní kyslíkové číslo ČSN ISO 4589-2

- d) Stanovení požární odolnosti dle směrnice UIC 564-2
 - e) Zkouška rázové odolnosti dle ČSN EN ISO 6603-2 Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání-
Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška.
4. Vyhodnocení dosažených výsledků, jejich porovnání s jinými typy použitých jader dle doporučení vedoucího práce.
 5. Ekonomické zhodnocení navržených kompozitních sendvičových struktur.
 6. Vyhodnocení dosažených výsledků, závěr a diskuze k dané problematice.

5.1 Návrh struktury a vrstvení materiálu zkušebních těles

Materiál na výrobu vzorků a tím i určení výsledného složení, byl navržen a vybrán dle požadavků firmy FORM, s.r.o. z hlediska potřeb a poptávky zákazníků. Při volbě materiálu a návržení struktury se postupovalo s ohledem na splnění požadavků pevnosti daných materiálů, nehořlavosti a odolnosti vůči rázům. Proto byly vybrány vzorky - kompozitní struktury se sendvičovým jádrem, korkem. U čtyř vzorků s korkovým jádrem byl povrch vnější vrstvy upraven lakem. Pro srovnání byly výsledky tohoto jádra porovnány s výsledky zkoušek u jádra voštinového. S voštinovým jádrem bylo vyrobeno šest kusů tělísek a ty byly podrobeny testům UIC. Tělíska s voštinovým jádrem byly ve čtyřech případech upraveny tak, že jejich vnější část povrchu byla opět opatřena vrstvou laku. Vrchní složení struktury bylo ovšem u navržených tělísek rozdílné. Jedna část tělísek byla vyrobena složením dvou vrstev prepregů z jedné strany a jedné vrstvy prepregu z druhé strany. Druhá část tělísek byla vyrobena ve složení jen jedné vnější vrstvy z každé strany. A třetí část tělísek byla vyrobena ve složení dvou vrstev prepregů z obou vnějších stran. Pro tuto úpravu povrchu byla použita struktura popsána v kapitole 5.5. Povrchová úprava-lakovací systém části vzorků.

5.2 Výroba zkušebních vzorků

Vzorky zkušebních sendvičových materiálů byly vyráběny ve tvaru rovné desky na otevřené formě. Byly připraveny metodou ručního kladení prepregů a následného vytvrzení v peci. Ruční kladení se též někdy nazývá kontaktní lisování. Jde o technologii vhodnou pro kusovou výrobu mechanicky vyráběných kompozitních dílů. Výhodou ručního kladení byla především jednoduchost technologie a minimální náklady na nástroje.

5.3 Postup výroby

Vyráběly se čtyři typy vzorků. Tyto se lišily ve složení a počtu vrstev použitých prepregů a použití vnitřního jádra.

Jako vnitřní jádro byl použit:

- a) Artboard Compolet (tloušťka 3 mm) - hustota 200 kg.m^{-3}
- b) Corecork NL 10 (tloušťka 3 mm) – hustota 120 kg.m^{-3}
- c) Corecork NL 10 (tloušťka 8 mm) - hustota 120 kg.m^{-3}

d) Papírová voština CORMASTER C2-3,2-48 (tloušťka 9 mm) - hustota 48 kg.m^{-3}

Pro výzkum byly navrženy tři výroby vzorků:

- 1) CORECORK NL 10 s vnitřním jádrem o tloušťce 3 mm
- 2) ARTBOARD COMPOLET také s vnitřním jádrem o tloušťce 3 mm
- 3) CORECORK NL 10 s vnitřním jádrem o tloušťce 8 mm

Dále byly tyto vzorky modifikovány na tělíska se složením vrstev:

- 1) Vrchní vrstva 1 prepreg, spodní vrstva 1 prepreg
- 2) Vrchní vrstva 2 prepregy, spodní vrstva 1 prepreg
- 3) Vrchní vrstva 2 prepregy, spodní vrstva 2 prepregy

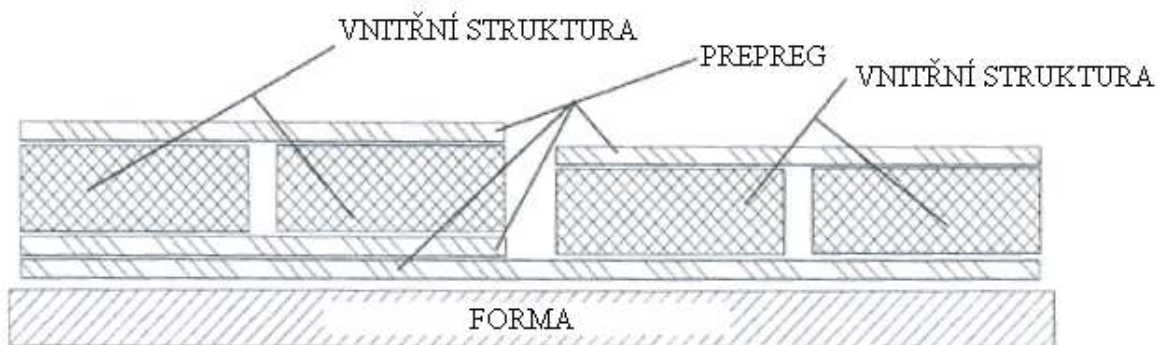
Výroba vzorků CORECORK NL 10 s jádrem tloušťky 8 mm dle následujících bodů:

Složení vrstev vzorku: prepreg 2 vrstvy, korek tloušťka 8 mm, prepreg 2 vrstvy

- 1) Příprava formy-očištění a vysušení
- 2) Položení separační fólie-slouží na oddělení technologických materiálů od vyráběného výrobku.
- 3) Prepreg 2 vrstvy – byl použit prepreg PH840-300-42 od firmy Gurit. Jedná se o prepreg vyrobený za použití fenolformaldehydové pryskyřice.
- 4) Corecork NL 10 tloušťka 8 mm – korek je zde použit jako jádro sendvičového kompozitu. Korek má velmi dobré tepelné a tlumící vlastnosti.
- 5) Prepreg 2 vrstvy – opět byl použit prepreg PH840-300-42 od firmy Gurit.
- 6) Separací fólie – její úlohou je bezpečně oddělit materiál vyráběného vzorku od technologických pomocných materiálů. Pokud by tato fólie nebyla aplikována, došlo by ke spojení vzorku s odsávací rohoží včetně vakuové fólie při vytvrzování a tepelném pochodu ve vytvrzovací peci.
- 7) Odsávací rohože – jedná se o netkanou textilií, která má dvě zásadní funkce: zabezpečit odsátí vzduchu z uzavřeného prostoru a absorbovat přes separační fólii přebytečnou pryskyřici.
- 8) Položení podkladního materiálu pod odsávací ventily – bylo použito opět odsávací rohože, jež se vícekrát přeložila. Tímto podložením se dosáhlo lepších estetických vlastností. Jelikož v případě většího tlaku po odsátí

vzduchu z prostoru pod vakuovou fólií by mohlo dojít k přitlačení na prepreg a následnému otláčení podložek do materiálu.

- 9) Položení držáků odsávacích ventilů 2x.
- 10) Instalace polymerní vakuové fólie – k vytvoření tlaku na horní část plochy. Slouží k uzavření celého systému a vyvození vakua. Tato fólie musí splňovat parametry tepelné a chemické odolnosti.
- 11) Utěsnění – použití těsnící pásky vytváří vzduchotěsný spoj mezi formou a vakuovací fólií. Musí splňovat parametry teplotního rozsahu, přilnavosti a lepivosti.
- 12) Montáž odsávacích ventilů – přes vakuovací fólii se odsávací ventily spojí s držáky pod touto fólií, aby se vysál vzduch a vytvořil se podtlak.
- 13) Kontrola těsnosti a podtlaku – pomocí měřicího přístroje, který se namontuje (jen pro kontrolu podtlaku) na odsávací ventily se zjistí, zda je správně vytvořen podtlak. Hodnota podtlaku by měla být 0,8 MPa.



Obr. 40. Uspořádání vnitřních struktur a prepregu na formě [30]



Obr. 41. Forma



Obr. 42. Kladení vrstev prepregu



Obr. 43. Položení korku



Obr. 44. Položení vrchních vrstev prepregu



Obr. 45. Umístění poslední vrstvy prepregu



Obr. 46. Kladení separační fólie



Obr. 47. Držáky odsávacích ventilů



Obr. 48. Utěsnění vakuovací fólií



Obr. 49. Umístění odsávacích ventilů



Obr. 50. Vytvoření vakua a kontrola těsnosti



Obr. 51. Rozvržení jednotlivých tělísek



Obr. 52. Rozřezání na jednotlivá tělíska

Vzorky byly připraveny na rozměry dle jednotlivých norem, které se vztahovaly ke specifickým zkušebním procesům, jež byly zkoumány.

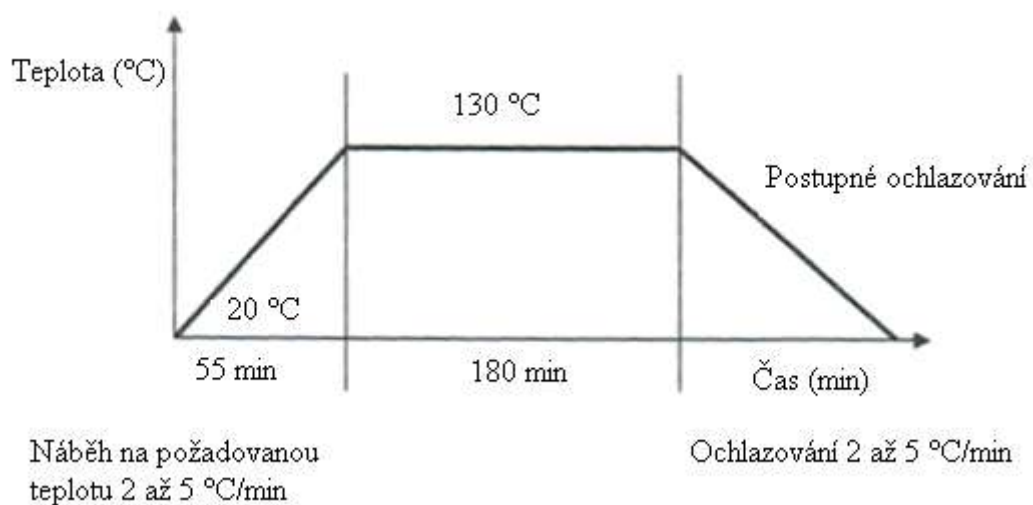
Zkušební procesy:

- 1) Trojbodový ohyb – rozměry vzorků: 150 x 20 mm
- 2) Limitní kyslíkové číslo LOI – rozměry vzorků: 150 x 10 mm
- 3) UIC (hořlavost) – rozměry vzorků: 400 x 160 mm
- 4) Odlup – rozměry vzorků: 150 x 50 mm
- 5) Průraz – rozměry vzorků: 100 x 100 mm

5.4 Režim vytvrzování

Samotný vytvrzovací proces probíhal podle materiálových listů pro daný prepreg PH840-300-42. Materiál se vkládal pro vytvrzení do vytvrzovací pece ve firmě FORM,

s.r.o. na jejich specializovaném pracovišti. Podmínky byly nastaveny tak, že jednotlivé části vzorku se skládaly na sebe (výroba sendviče) při 20 °C a do pece se tedy vkládaly za teploty cca 20 °C. Požadavky na ohřívání pece jsou dány tak, že se zvyšující teplota má pohybovat od 2 do 5 °C.min⁻¹ až do teploty vytvrzování, tedy v našem případě 130 °C. V průběhu ohřívání dochází od teploty kolem 80 °C k postupnému vytvrzování, jelikož materiál přechází přes tzv. teplotu zesklnění T_g. Po dosažení teploty 130 °C nastává výdrž na této teplotě a to po dobu 3 hod. Následuje postupné chladnutí v peci a to opět v rozmezí 2 až 5 °C.min⁻¹. Při dosažení teploty 80 °C, se materiál může vytáhnout z vytvrzovací pece a dále chladne na volném prostranství, až získá opět teplotu 20 °C.



Obr. 53. Graf vytvrzovacího režimu

5.5 Povrchová úprava – lakovací systém částí vzorků

U dvou typů vzorků s korkovým jádrem a dvou typů vzorků s voštinovým jádrem byla vnější vrstva opatřena lakem. Tato povrchová úprava je požadována odběrateli jak z důvodu finální úpravy vzhledu materiálů, tak pro svoje mechanické a fyzikální vlastnosti, jež jsou vyžadovány v železničním průmyslu. Použitá vrchní barva, její vlastnosti a složení musí splňovat jasně specifikované požadavky zákazníka.

Složení lakovacího systému postupně od základové vrstvy:

- 1) POLYtmel FINIŠ stříkací tmel – jedná se o dvousložkový polyesterový stříkací tmel, odolný, houževnatý a dobře brouditelný od výrobce BKP Group. Je vhodný ke sjednocení a tmelení obtížně přístupných míst a vyrovnávání hrubých povrchů. Používá se zejména pro lamináty a tmelení velkých a tvarově komplikovaných dílů. Tuží se iniciátorem FINIŠ 40 v poměru 100:5.
- 2) POLYtmel Plnič 2K PUR – jedná se o dvousložkový polyuretanový stříkací anti-korozní plnič pro vytvoření kvalitního podkladu pod vrchní email. Tento plnič je v nátěrovém systému určený pro vytvoření spojovací vrstvy mezi základními nátěry, popř. tmelenými místy a vrchním emailem.
- 3) NUVOVERN WR Emallack – jedná se o vrchní lak pololesklý. Je to dvousložkový vrchní lak na bázi polyuretanové pryskyřice pro tenkou vrstvu. Tento lak má vysokou pevnost filmu, dobrou chemickou odolnost a velkou odolnost vůči světlu a povětrnostním vlivům. Výhodou je rychlé schnutí. Použití je pro lakování vozidel, přístrojů a dílů z kovu.

5.6 Trojbodový ohyb

Je to zkušební metoda, která vychází z normy ČSN EN ISO 178 (64 0607). Tato norma je vhodná pro materiály jako jsou vlákny vyztužené termoplastové kompozity obsahující jednosměrné i vícesměrné výztuže. Jsou to např. rohože, vláknové a pramencové tkaniny a desky vyrobené z prepregů. [12]

Dle normy je také přesně definováno, jak mají vypadat zkušební tělesa a podle těchto požadavků se nastavují také charakteristické rozměry na zkušebním stroji, jako jsou např. vzdálenosti podpěr. Zkouška trojbodovým ohybem byla testována na zkušebním stroji ZWICK 1456. Tento univerzální testovací stroj je určený pro statické a dynamické (nízko-cyklové) zkoušky: tah, tlak, ohyb, smyk, creep. Testují se na něm: polymery (plasty a pryže), kompozity, kovy a jejich slitiny. Teplotní rozsah zkoušek: -70 °C až $+290\text{ °C}$. [12]

Jelikož vzorky byly vyrobeny v délce 150 mm, šířce 20 mm a dvou variantách tloušťky 4 mm a 8,5 mm, byla nastavena vzdálenost podpěr dle normy ČSN EN ISO 178 na zkušebním stroji následovně: Vzdálenost podpěr u trojbodového ohybu je 16 x tloušťka mate-

riálu. V tomto případě byla nastavena vzdálenost $16 \times 4 \text{ mm} = 64 \text{ mm}$ u jedné varianty tělísek a $16 \times 8,5 \text{ mm} = 136 \text{ mm}$ u druhé varianty tělísek.

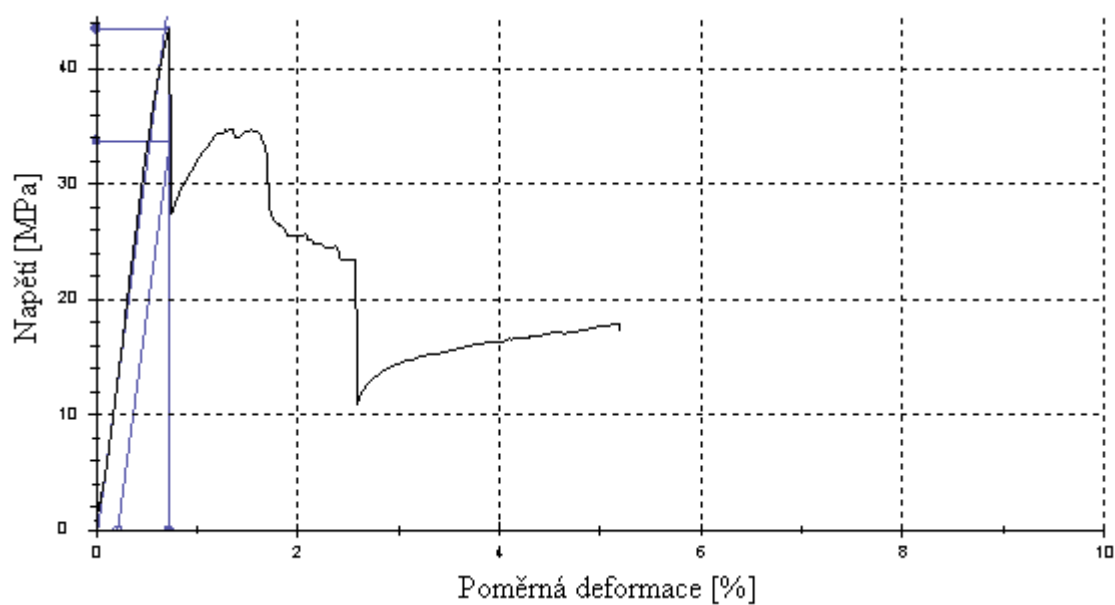
Pro tento typ zkoušky byly vybrány tělíska s výplňovým materiálem Corecork NL 10 (tloušťka 3 mm). Pro porovnávací metodu byl zvolen materiál, jenž je standardně používán ve firmě FORM, s.r.o. Tento materiál byl zvolen Artboard Compolet (tloušťka 3 mm). Materiál byl také sendvičový ve složení: spodní vrstva jeden prepreg, jedna vrstva jádra a dvě horní vrstvy prepregu. Na tomto materiálu byly také provedeny zkoušky v ohybu. Výsledky jsou uvedeny v tab. 1. Jako druhý typ tělísek byl vybrán materiál s výplňovým jádrem Corecork NL 10 (tloušťka 8 mm) ve dvou modifikacích (Ohyb A, Ohyb B) tab. 3. a 4. Pro porovnání byl vybrán typ tělísek s výplňovým materiálem papírová voština o tloušťce 9 mm. Tab. 5. a 6. [30]

*Tab. 1. Materiál COMPOLET ve složení: 2 vrstvy prepreg,
1 vrstva jádro-3mm, 1 vrstva prepreg*

č. vzorku	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
1	3,97	21,17	36,5	6350
2	4	21	43,7	7070
3	3,95	20,71	46,8	7400
4	4,12	21	43,2	6270
5	3,9	20,9	46,6	7050
6	3,9	20,9	43,4	6490
7	4,18	20,99	40,4	5830
8	4,21	21,17	40,7	6060
9	4,03	21,93	30,2	5840
10	4,25	21,11	34,3	5550

Compolet	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	4,051	21,09	40,6	6390
S	0,1298	0,3269	5,42	612
ν	3,2	1,55	13,37	9,58

Důležitá a směrodatná vlastnost, která byla zkoumána: „Napětí na mezi pevnosti“, při kterém nastává trvalá deformace a dochází k narušení soudržnosti spojených vrstev materiálu.



Obr. 54. Graf zk. v ohybu COMPOLET 3mm

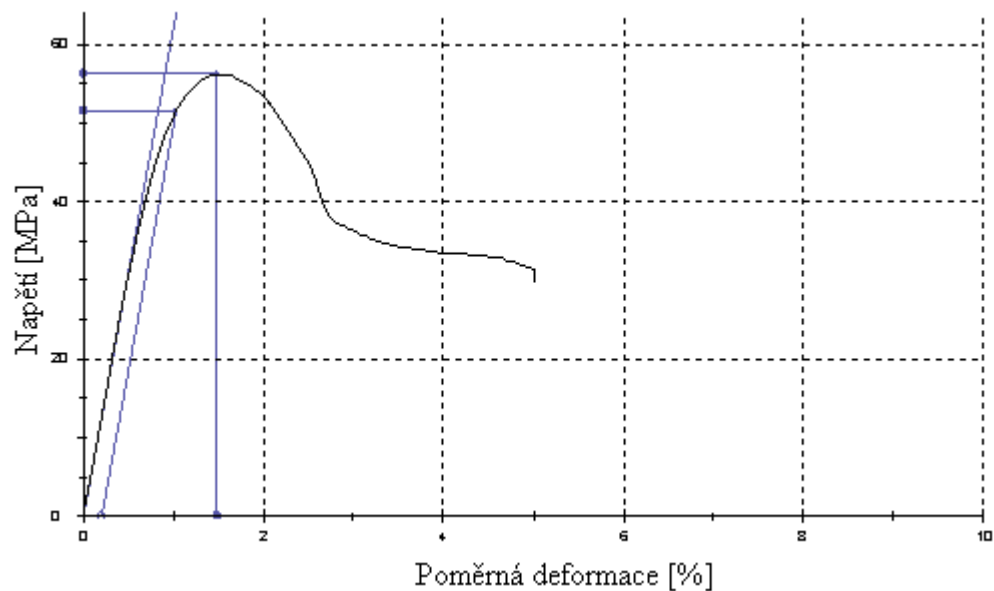


Obr. 55. Příklad ZWICK 1456 zk. OHYBU COMPOLET

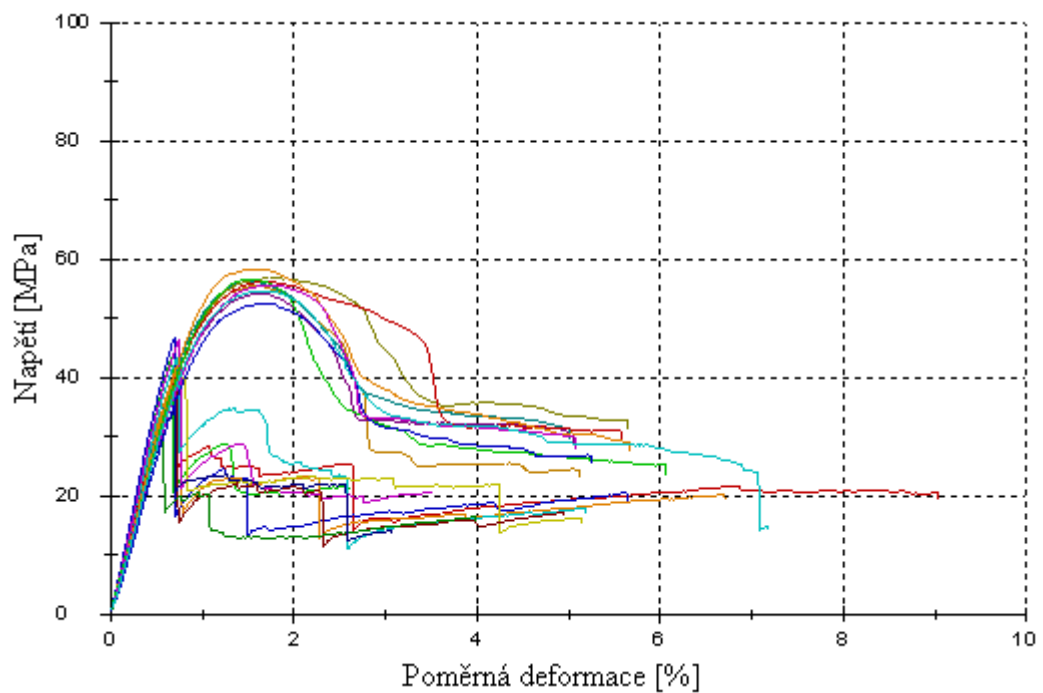
Tab. 2. Materiál CORECORK ve složení: 1 vrstvy prepreg,
1 vrstva jádro-korek 3mm, 1 vrstva prepreg

č. vzorku	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
1	3,9	20,49	55,6	6000
2	3,9	20,49	54,3	5490
3	3,82	21,79	56,3	6230
4	3,82	21,79	56,9	5330
5	3,87	20,31	56,2	6040
6	3,84	21,77	56,8	5680
7	3,95	20,99	52,6	5250
8	3,77	21,24	58,3	6000
9	3,96	21,12	55,7	5550
10	3,89	20,88	54,7	5640

corekork	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	3,872	21,09	55,7	5720
s	0,06015	0,5626	1,58	331
ν	1,55	2,67	2,84	5,79



Obr. 56. Graf zk. v ohybu CORECORK 3mm



Obr. 57. Graf srovnání „COMPOLET 3mm vs. CORECORK 3mm“



Obr. 58. zk. v ohybu CORECORK

Výroba a zkoušení vzorků „Corecork NL 10“ 8 mm, byla zvolena ve dvou modifikacích a tudíž byly tyto zkoušky pojmenovány „Ohyb A“ a „Ohyb B“. Pro srovnání byly použity výsledky 3-bodového ohybu u materiálu „Papírová voština C2-3,2-48“ (síla 9 mm) – hustota 48 kg.m^{-3} . Složení jednotlivých vrstev u papírové voštiny bylo porovnáváno také ve dvou modifikacích a to modifikace č.1: ve složení 2 vrstvy prepregu, 1 vrstva vnitřního

jádra a 2 vrstvy prepregu. Pojmenováno jako „Ohyb C“ a modifikace č.2: ve složení 1 vrstva prepregu, vnitřní voštinové jádro a 2 vrstvy prepregu. Bráno tak, že zatěžující síla působila na stranu, kde byly 2 vrstvy prepregu. Pojmenováno jako „Ohyb D“. [30]

Ohyb A – modifikace a složení vrstev:

- a) Vrchní vrstva (na ni působil trn při ohybové zkoušce) - 2x Prepreg PH840-300-42
- b) Jádro – Corecork NL 10 tloušťka 8 mm
- c) Spodní vrstva – 1x Prepreg PH840-300-42

Ohyb B – modifikace a složení vrstev:

- a) Vrchní vrstva - 2x Prepreg PH840-300-42
- b) Jádro – Corecork NL 10 tloušťka 8 mm
- c) Spodní vrstva – 2x Prepreg PH840-300-42

Ohyb C – modifikace a složení vrstev:

- a) Vrchní vrstva - 2x Prepreg PH840-300-42
- b) Jádro – Papírová voština C2-3,2-48 (tloušťka 9 mm)
- c) Spodní vrstva – 2x Prepreg PH840-300-42

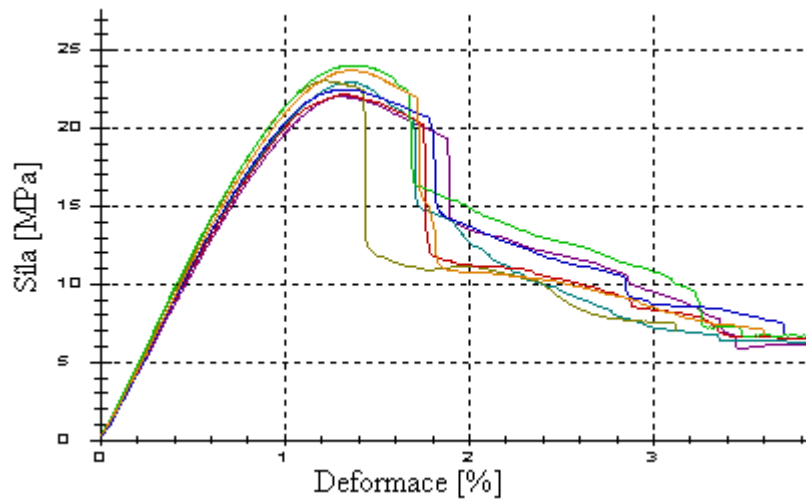
Ohyb D – modifikace a složení vrstev:

- a) Vrchní vrstva - 2x Prepreg PH840-300-42
- b) Jádro – Papírová voština C2-3,2-48 (tloušťka 9 mm)
- c) Spodní vrstva – 1x Prepreg PH840-300-42

*Tab. 3. Ohyb A materiál CORECORK NL 10 ve složení:
2 vrstvy prepreg, 1 vrstva jádro-Korek 8mm, 1 vrstva prepreg*

č. vzorku	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
1	7,9	21,9	22	2090
2	7,9	21,9	22,9	2190
3	7,84	19,83	23	2280
4	7,83	20,83	22,2	2150
5	7,94	20,39	24,1	2360
6	7,98	20,06	22,5	2260
7	7,99	20,13	23,7	2220

Ohyb A	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	7,911	20,72	22,9	2220
s	0,06283	0,8643	0,756	88,4
ν	0,79	4,17	3,3	3,98

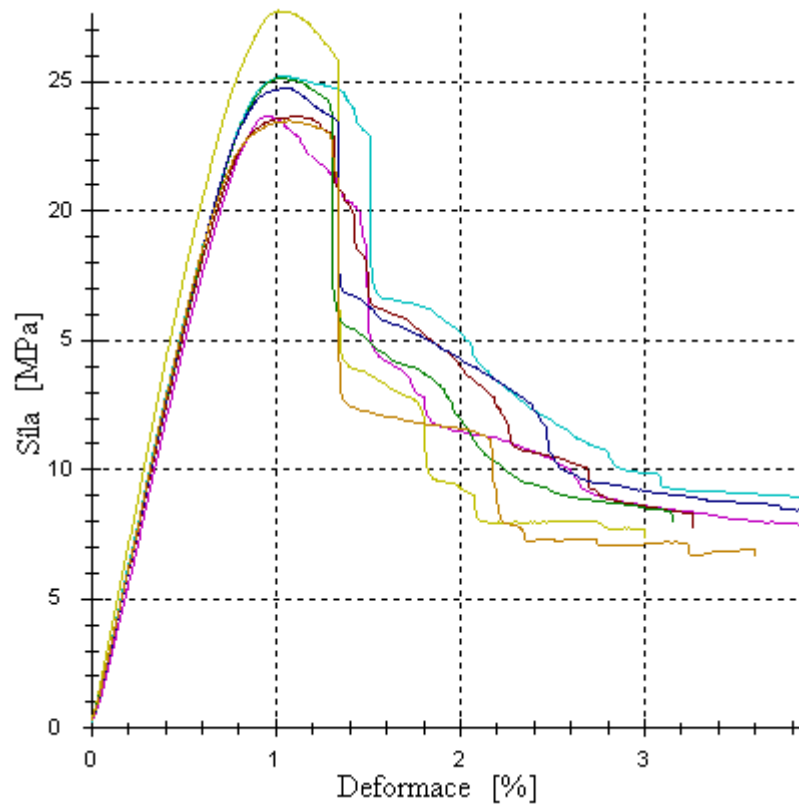


Obr. 59. Graf Ohyb A

Tab. 4. Ohyb B materiál CORECORK NL 10 ve složení:
2 vrstvy prepreg, 1 vrstva jádro-Korek 8mm, 2 vrstva prepreg

č. vzorku	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
1	8,16	24,06	23,7	2930
2	8,25	22,93	25,2	3190
3	7,92	23,74	27,7	3490
4	8,13	23,05	23,7	3050
5	8,19	21,34	25,1	3090
6	8,19	20,97	24,8	3120
7	8,17	20,99	23,5	3110

Ohyb B	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	8,144	22,44	24,8	3140
s	0,1055	1,317	1,48	173
ν	1,3	5,87	5,98	5,5



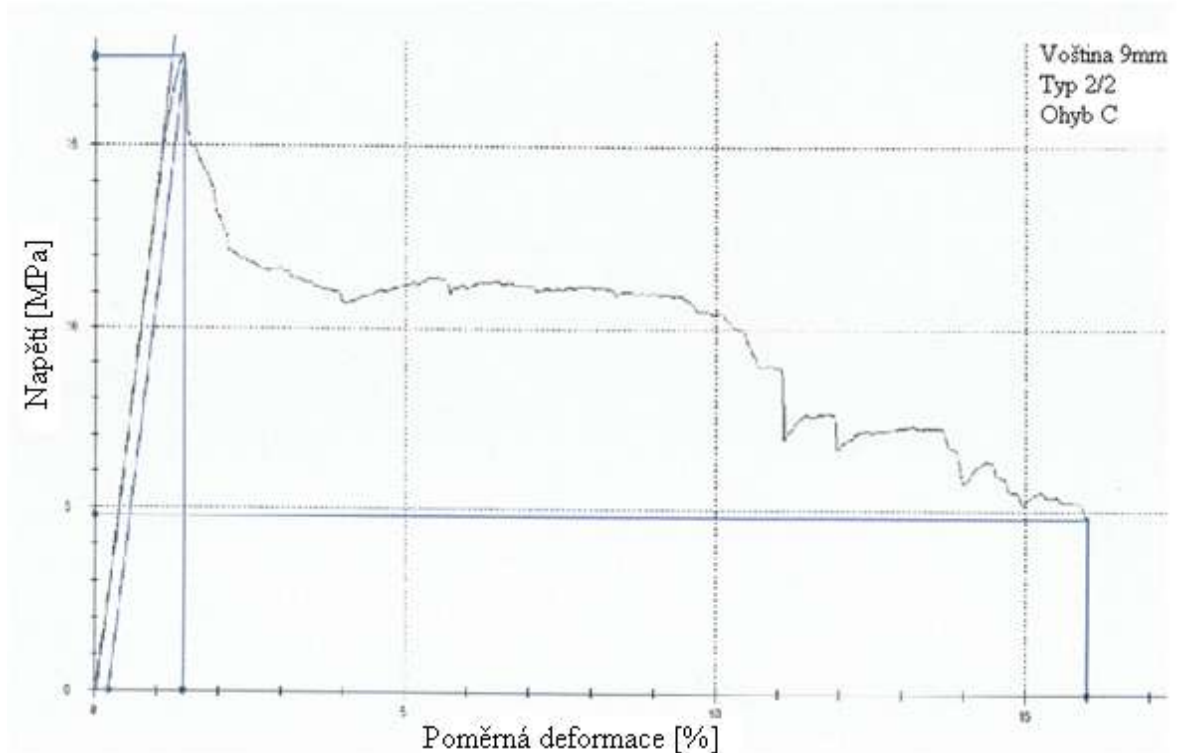
Obr. 60. Graf Ohyb B

Tab. 5 Ohyb C materiál PAPIŘOVÁ VOŠTINA C2-3,2-48 (síla 9mm) ve složení:
2 vrstvy prepreg, 1 vrstva jádro-voština 9 mm, 2 vrstvy prepreg [30]

Ohyb C	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	9,147	21,44	16,55	1358,75
s	0,1055	1,317	0,63	46,22

Tab. 6. Ohyb D materiál PAPIŘOVÁ VOŠTINA C2-3,2-48 (síla 9mm) ve složení:
2 vrstvy prepreg, 1 vrstva jádro-voština 9 mm, 1 vrstva prepreg [30]

Ohyb D	a_0 (mm)	b_0 (mm)	σ_m (MPa)	E (MPa)
\bar{x}	8,83	21,75	17,58	1391,25
s	0,1024	1,385	0,9	31,8



Obr. 61. Graf Ohyb C [30]

Tab. 7. Porovnání Pevnosti a Modulu pružnosti u
zkoumaných materiálů

\bar{x}	Pevnost - napětí	Modul pružnosti
	σ_m (MPa)	E (MPa)
Compolet	40,6	6390
Corecork	55,7	5720
Ohyb A	22,9	2220
Ohyb B	24,8	3140
Ohyb C	16,55	1359
Ohyb D	17,58	1391

Legenda popsaných tělísek – název značí použité jádro sendviče:

Compolet – Artboard Compolet (tloušťka 3 mm). Složení vrstev – 2/1 (Prepreg)

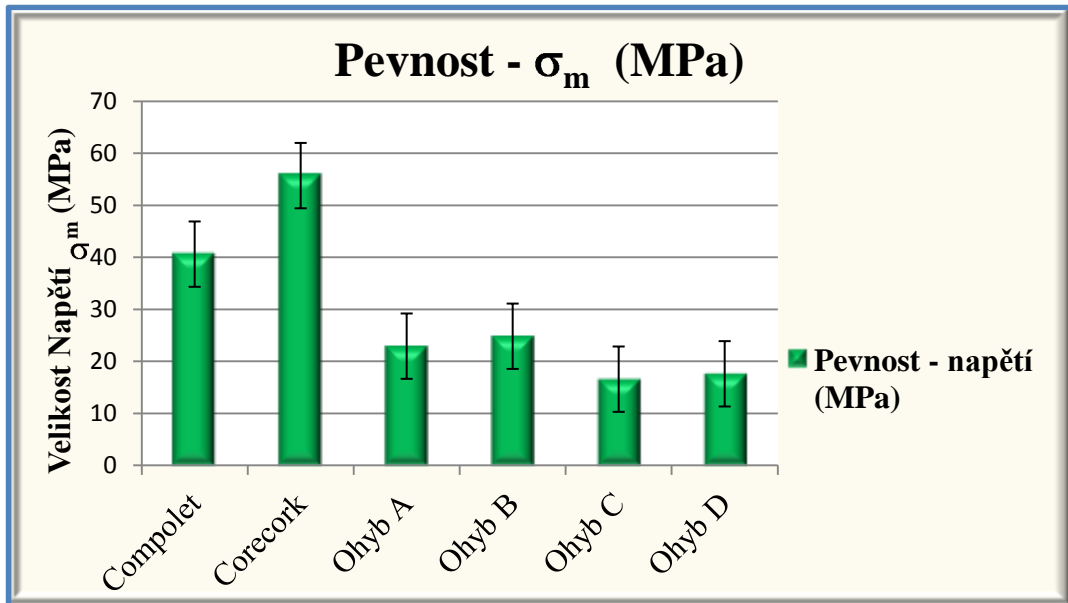
Corecork – Corecork NL 10 (tloušťka 3 mm). Složení vrstev – 1/1 (Prepreg)

Ohyb A – Corecork NL 10 (tloušťka 8 mm). Složení vrstev – 2/1 (Prepreg)

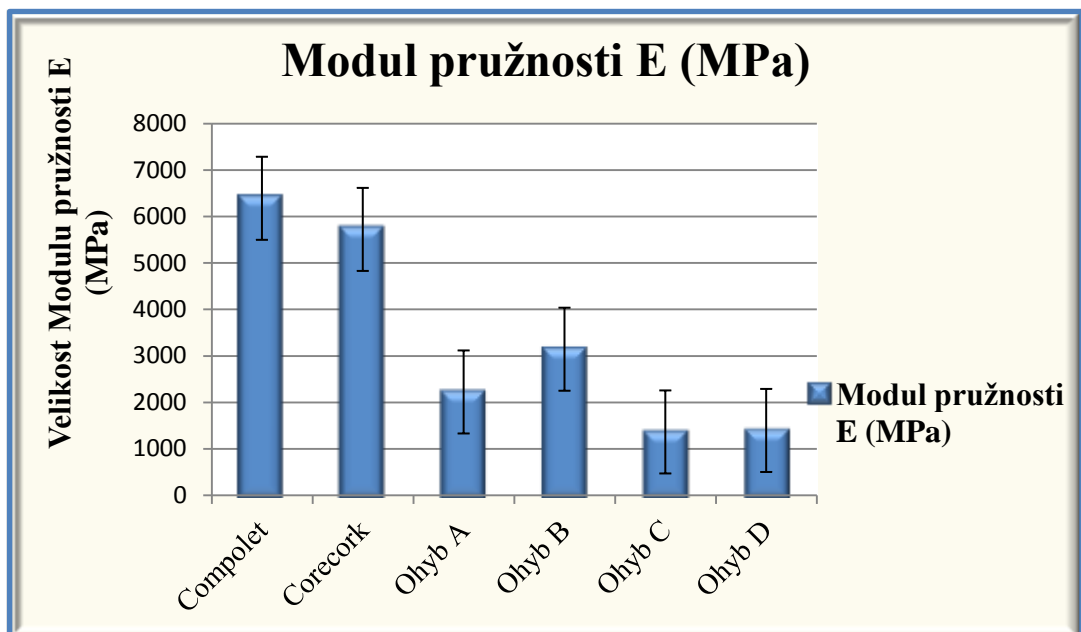
Ohyb B – Corecork NL 10 (tloušťka 8 mm). Složení vrstev – 2/2 (Prepreg)

Ohyb C – Papírová voština C2-3,2-48 (tloušťka 9 mm). Složení vrstev – 2/2 (Prepreg)

Ohyb D – Papírová voština C2-3,2-48 (tloušťka 9 mm). Složení vrstev – 2/1 (Prepreg)



Obr. 62. Graf porovnání Pevnosti u zkoumaných materiálů



Obr. 63. Graf porovnání Modulu pružnosti u zkoumaných materiálů

5.7 Limitní kyslíkové číslo

Kyslíkové číslo (LIMITING OXYGEN INDEX – LOI) udává minimální koncentraci kyslíku v definované směsi dusíku a kyslíku při které vzorek ještě hoří. Čím je tato hodnota vyšší, tím vyšší je odolnost materiálu proti vznícení a hoření. Např. u běžných plastů se pohybuje v rozmezí cca 20 až 30 %, u teflonu je větší než 95 %. Zkušební metoda se zakládá na normě ASTM D-2863 zavedené v USA v roce 1977. Tato metoda je velmi využívaná v textilním oboru, kdy se ověřuje a zkoumá textilní materiál a jeho odolnost proti hoření.

Výpočet % koncentrace následuje podle vzorce

$$LOI = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \cdot 100 \quad (6)$$

kde „ O_2 “ značí objem kyslíku a „ N_2 “ objem dusíku.

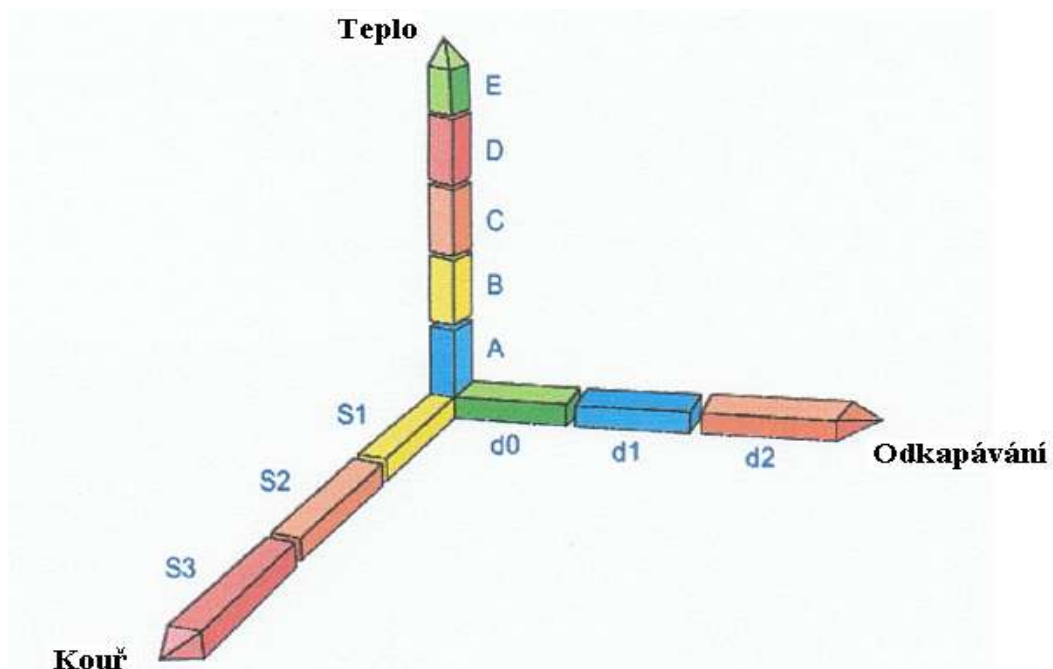
Čím vyšší je tato hodnota, tím větší je odolnost materiálu proti vznícení a hoření.

Polymery obsahující větší množství vodíkových atomů (polyethylen, celulóza) mají vysokou hořlavost. Za normálně hořlavé se zpravidla považují materiály s LKČ do 21 %. Za nehořlavé se někdy označují také materiály, které se v plameni pouze taví a po vyjmutí z plamene ihned zhasínají, např. PVC. Koncentrace kyslíku v ovzduší je 21 %, a materiály s kyslíkovým indexem nad 21 % bude vykazovat jistou míru samozhášivého chování. Některé zdroje doporučují 27 % jako bezpečnější práh. [29]

5.7.1 Stanovení kyslíkového čísla

Zkušební těleso se připevní do stojanu tak, aby bylo ve vertikální poloze. Zároveň se musí ovšem nacházet ve středu skleněné trubice, pokud tuto opětovně nasadíme. Horní hrana zkušebního tělesa se musí nacházet 100 mm pod otvorem příklopné redukce horního konce trubice. Tato trubice zajišťuje průtok výchozího plynu min. $90 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ a spodní hrana nejméně 100 mm nade dnem s rozptylovacím zařízením plynu. (Obr. 61.) Toto zařízení zajišťuje rovnoměrné rozptýlení směsi kyslíku a dusíkem vstupujícím do trubice. Díky regulačním ventilům se nastaví průtok kyslíku a dusíku, jež odpovídá zvolené hodnotě

kyslíkového čísla dle tabulky. Hodnotu průtoku kyslíku ukazuje na průtokoměru vrchol tmavé skleněné kuličky a hodnotu dusíku na druhém průtokoměru vrchol stříbrné ocelové kuličky. Z důvodu pročištění se zkušební těleso ponechává asi 30 sekund v proudu směsi kyslíku a dusíku o zvolené koncentraci. Poté se zapálí dle ČSN ISO 4589-2. Zapálení může probíhat dvěma způsoby. Buď metodou „A“, jež je zapálení na horním povrchu, nebo metodou „B“, jež je zapálení podporující vertikální hoření. Po odhoření 50-ti mm délky zkušebního tělesa, pokud doba hoření dosáhne 360 s, nebo proces hoření ustane dříve, než bude dosaženo zmíněných kritérií, zaznamenávají se tyto sledované hodnoty (doba hoření a délka prohoření). Následně se regulačními ventily zastaví přívod plynů. Nejprve se uzavírá přívod kyslíku z důvodu dalšího prohořívání. Následně se uzavírá přívod dusíku.



Obr. 64. Rozdělení klasifikace LOI dle evropské normy [31]

5.7.2 Výsledky a vyhodnocení zkoumaných vzorků

Tělíska, jež byla vyrobena pro tento druh zkoušek, měla rozměry 150 x 10 mm. Byla vyrobena ve dvou modifikacích. Každá série daného typu zkoumaných tělísek obsahovala 9 ks.

Výsledky, jež jsou níže popsány, jsou vyhodnoceny již jako střední aritmetický průměr \bar{x} .

Tělíska, která se touto zkouškou zkoumala:

SÉRIE 1. (9 ks)

1) Corecork NL 10 ve složení a vrstvení:

- a) 2 vrstvy prepregu
- b) 1 vrstva jádra korku (8 mm)
- c) 1 vrstva prepregu

SÉRIE 2. (9 ks)

2) Corecork NL 10 ve složení:

- a) 1 vrstva prepregu
- b) 1 vrstva jádra korku (8 mm)
- c) 1 vrstva prepregu

Tab. 8. Normy jednotlivých zemí při splnění rozsahu LOI (FORM,s.r.o. –interní dokumentace)

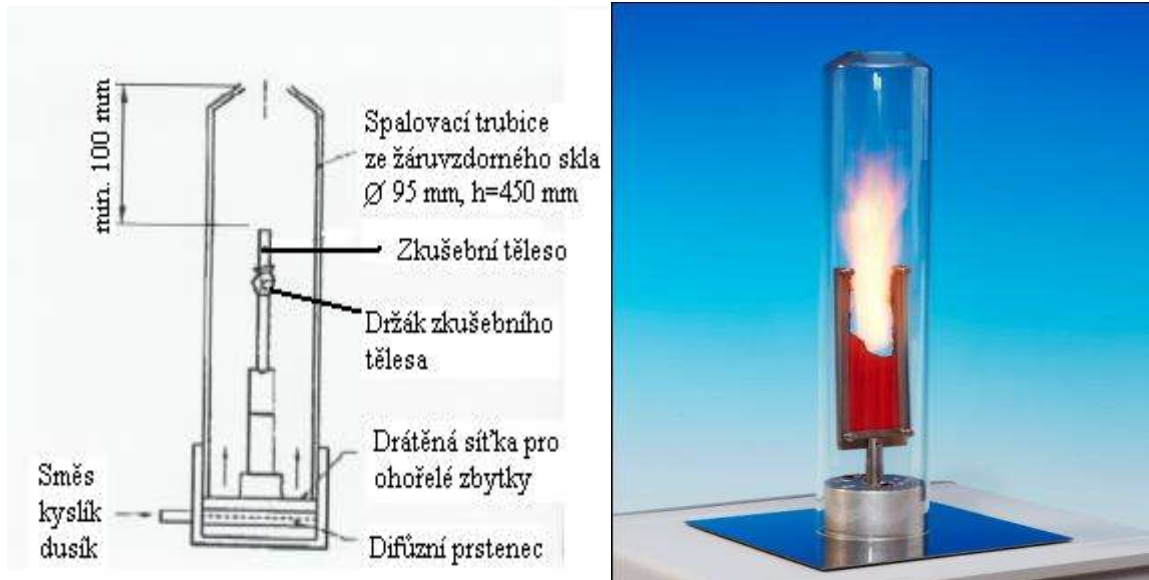
ASTM 2863 Oxygen index		UK BS 476 Part 6,7	Germany		France NF F 92 - 501	USA			Euroclass Single Burning Item (SBI)
LOI (low)	LOI (high)		4102	5510		ASTM E84	UL 94	UL 94	
41	↔ 50	Class 0	Class A2	S4	M1	25	5V	0	B
34,5	↔ 41	Class 1	Class B1	S4	M2	50	0	1	B/C
28,5	↔ 34,5	Class 2	Class B2	S3	M3	100	0	2	C/D
22	↔ 28,5	Class 3	Class B3	S2	M4	>100	1	3	D/E
19	↔ 22	Class 4	–	–	M5	>100	2	4	–

Tab. 9. Výsledky zkoušek LOI a zařídění

dle NORMY Germany 4102 a 5510

LOI%	série 1.	série 2.
\bar{x}	28,3	29,5
Germany 4102	Class B3	Class B2
Germany 5510	S2	S3

Vyhodnocení: Dle zjištěných hodnot při zkouškách, je viditelné, že lepší vlastnosti z pohledu hořlavosti má testovaná série č. 2. U této zkoušky platí: čím vyšší je procento u výsledku, tím vyšší je LOI a materiál v tomto složení méně podporuje hoření.



Obr. 65. Schéma měření-Limitní kyslíkové číslo [30], [29]

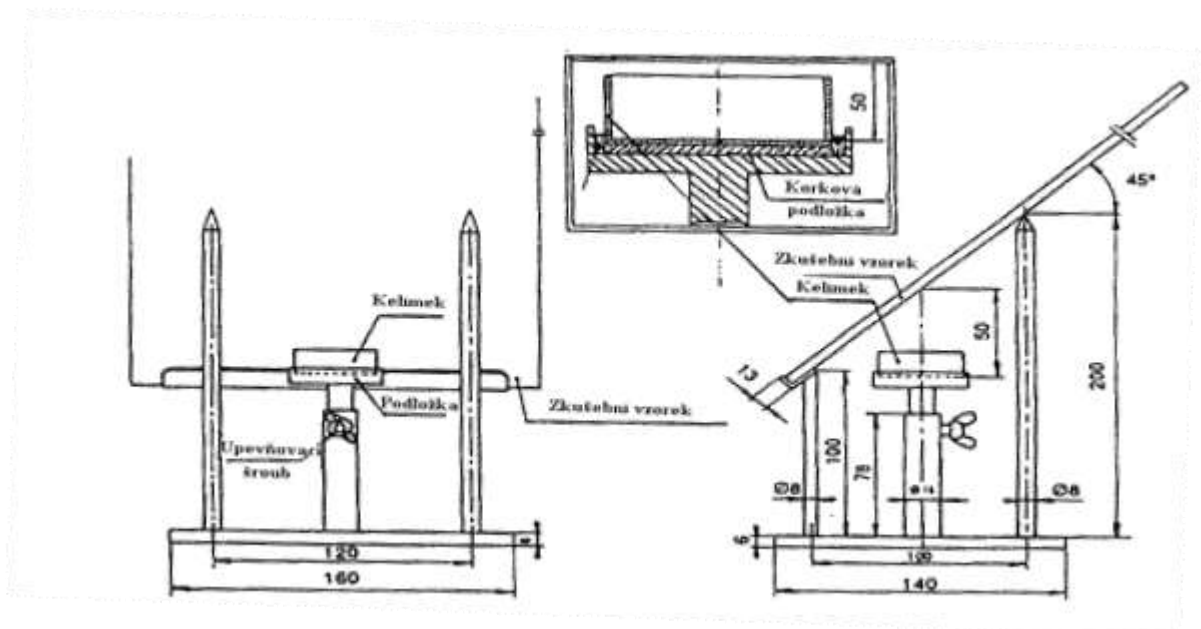
5.8 Metoda UIC (Union Internationale des Chemins de Feu)

Jedná se o zkušební metodu pro „Stanovení hořlavosti materiálů pro konstrukci kolejových vozidel“

Cílem této metody bylo definování reakce pevných materiálů na proces hoření. Jednalo se o materiály, jež jsou používány v konstrukci železničních vozidel. Převážně šlo o zkoušky na vícevrstvých, tzv. sendvičových materiálech. V tomto případě byly sledovány kompozitní sendvičové materiály s korkovým a voštinovým jádrem. U modifikace s použitým korkovým jádrem se ve čtyřech případech jednalo o materiály, které byly povrchově upraveny lakováním. Dále byly rozděleny na materiály skládající se v krajních vrstvách ze dvou prepregů a ve druhé skupině z jednoho prepregu. U modifikace s použitím voštinového jádra se jednalo celkem o šest vzorků, z toho ve čtyřech případech byly vzorky povrchově upraveny lakem. A opět byly také vzorky rozděleny na dvě a jednu testovanou vrstvu prepregu.

Princip zkoušky se sestával ze sledování působení vlivu ethanolového plamene, jež působil na spodní – zkoumanou stranu zkušebního tělíska. Toto tělísko bylo upevněno podle předem přesně definovaných parametrů vzdálenosti a úhlu upnutí od tohoto plamene. Přesná definice této zkoušky je popsána v normě UIC 564-2.

Důležitým ukazatelem vhodnosti daného materiálu byl zejména čas hoření tělíska po vyhasnutí plamene v nádobce, která byla umístěna pod zkoušeným tělískem. Viz. obr. 63. a 64. Přesně bylo také dodržováno prostředí zkoušky. Tato zkouška probíhá při teplotě 20 °C až 24 °C a relativní vlhkosti 50 % až 65 %. Kelímek, jenž byl umístěn pod zkušební tělísko, byl naplněn 4 ml hořlavé látky – Ethanolu. Tato látka byla zapálena a byl měřen čas, za jak dlouho vzorek umístěný nad hořlavinou začne hořet, jak dlouho tělísko hoří a jak dlouho po vyhasnutí hořlaviny v kelímku bude toto tělísko dále hořet. Zda podporuje složení a úprava vzorku hoření, či zda je tzv. samozhášivý. Dále byla měřena plocha v cm², která byla vyhodnocena Planimetrem – PLANIX 5 viz.obr. 66. Všechny tyto aspekty byly vyhodnoceny a potom bylo každé tělísko zaříděno do jedné ze tří kategorií „A“, „B“ a „C“, jak znázorňuje tab. 9, které určují vhodnost použitého materiálu pro dané místo v železničním vozidle.



Obr. 66. Zkušební stojan umožňuje držet vzorek v náklonu 45° k horizontální rovině.

Třída A:

Jednotlivé výsledky vzorků leží v poli I a zároveň:

- U žádného zkoušeného tělíska nedošlo k prohoření k hornímu okraji
- Nespádávaly hořící částice nebo kapky
- Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene

Třída B:

Aritmetický průměr časů dohořívání plamene a aritmetický průměr velikosti poškozených ploch leží buď v poli I (bílém), nebo v šedých polích (II a, II b, II c) posuzovací směrnice a zároveň platí:

- Nedošlo k prohoření k hornímu okraji zkušebních tělísek
- Nespádávaly žádné hořící částice nebo kapky
- Žádné místo nežhnulo déle než 10 s po uhasnutí plamene.

Třída C:

Výsledky zkoušky neodpovídají kategorii „A“ ani kategorii „B“ (leží tedy v polích III a, III b, III c, III d, III e).

Tab. 10. Zařazení do kategorií platné pro tuhé netermoplastické látky

Čas hoření plamene na tělísku po vyhasnutí Ethanolu (s)				
Poškozená plocha zkušebního tělíska (cm ²)		$P \leq 2$	$2 < P \leq 10$	$P > 10$
	$S \leq 100$	I	II c	III e
	$100 < S \leq 150$	II a	II b	III d
	$S > 150$	III a	III b	III c

Zkoumaný materiál (tělíska) – modifikace č.1

Prepreg – jádro Corecork NL 10 tloušťka 8 mm - Prepreg

Tab. 11. Vyhodnocení a zařídění poškozených tělísek do kategorií dle normy (Korek)

č. Vzor-ku	Lak	Pre-Preg	Vzplane za (min)	Hoří po dobu (min)	Žhne po uhasnutí plamene	Dohoří ethanol (min)	Poškozená plocha (cm ²)	Třída UIC	Poznámky
1	NE	2	NE	NE	NE	4:54	60,7	A	Nehoří, nekouří
2	NE	2	NE	NE	NE	5:20	69	A	Mírně kouří
3	NE	1	NE	NE	NE	4:30	103,9	B	Kouří
4	NE	1	NE	NE	NE	5:03	89,3	A	Kouří
5	ANO	1	0:40	0:50	NE	5:01	66,8	A	Ohoří lakovaná část
6	ANO	1	0:41	0:43	NE	4:25	73,6	A	Ohoří lakovaná část
7	ANO	2	0:55	1:00	NE	4:20	76,1	A	Ohoří lakovaná část
8	ANO	2	0:55	1:03	NE	4:30	69,3	A	Ohoří lakovaná část
9	NE	2	NE	NE	NE	4:45	98,2	A	Kouří mírně
10	NE	1	NE	NE	NE	4:10	108,9	B	Kouří
11	NE	2	NE	NE	NE	4:18	113,8	B	Kouří mírně
12	NE	2	NE	NE	NE	4:23	154,7	B	Kouří mírně

Zkoumaný materiál (tělíska) – modifikace č.2

Prepreg – jádro papírová voština CORMASTER C2 tloušťka 9 mm – Prepreg

Tab. 12. Vyhodnocení a zařídění poškozených tělísek do kategorií dle normy (voština)

č. Vzor-ku	Lak	Pre-Preg	Vzplane za (min)	Hoří po dobu (min)	Žhne po uhasnutí plamene	Dohoří ethanol (min)	Poškozená plocha (cm ²)	Třída UIC	Poznámky
1	NE	2	NE	NE	NE	4:45	58,4	A	Nehoří, nescapává, kouří
2	NE	1	NE	NE	NE	4:45	72,1	A	Nehoří, nescapává kouří
3	ANO	1	0:30	1:30	NE	4:30	128,7	B	Hoří lak, kouří (doutná) nescapává
4	ANO	1	0:30	1:30	NE	4:45	135	B	Lak hoří a taví se, nescapává
5	ANO	2	0:36	1:29	NE	4:35	128,7	B	Lak hoří a taví se, nescapává
6	ANO	2	0:37	1:22	NE	4:20	124,2	B	Lak hoří, doutná, taví se, nescapává



Obr. 67. Zapálení kelímku s Ethanolem a následné vzplanutí tělíska při zk. UIC



Obr. 68. Různé typy poškození zkušebních tělísek po zk. metodou UIC



Obr. 69. Měření poškozené plochy tělíska planimetrem PLANIX 5

5.9 Odlup

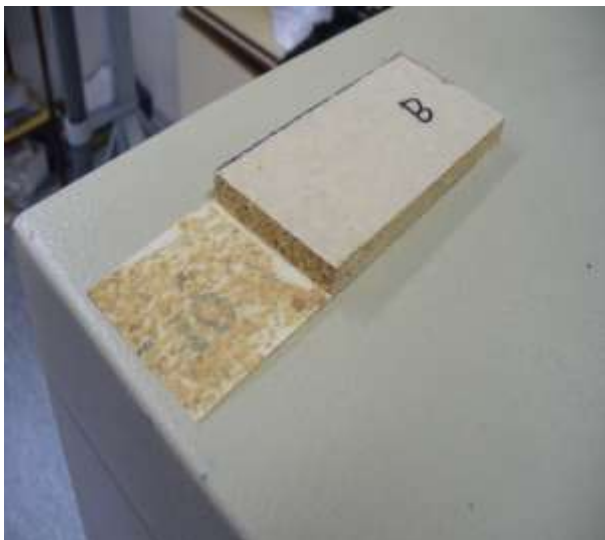
Tato metoda zkoumání vzorků, byla zvolena za účelem prověření soudržnosti vnější vrstvy prepregu a jádra sendvičového materiálu, v tomto případě korku.

Vzorky pro tento případ testu byly zvoleny identické se vzorky „B“ pro zkoušku ohybových vlastností.

Tyto vzorky byly ve složení a modifikaci:

Zkušební tělísko 1.

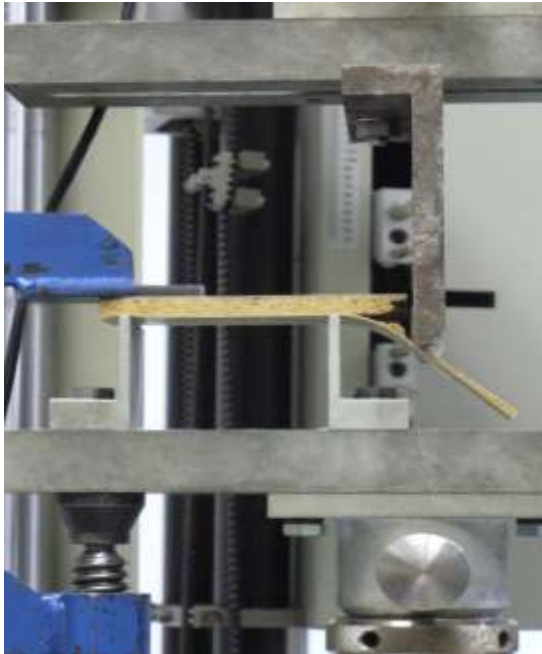
- a) Vrchní vrstva – 2 x Prepreg PH840-300-42
- b) Jádro – Corecork tloušťka 8 mm
- c) Spodní vrstva – 2 x Prepreg PH840-300-42



Obr. 70. Tělísko připravené pro zk. Odlupu



Obr. 71. Upnutí tělíska pro zk. Odlupu



Obr. 72. Průběh zkoušky na Odlup

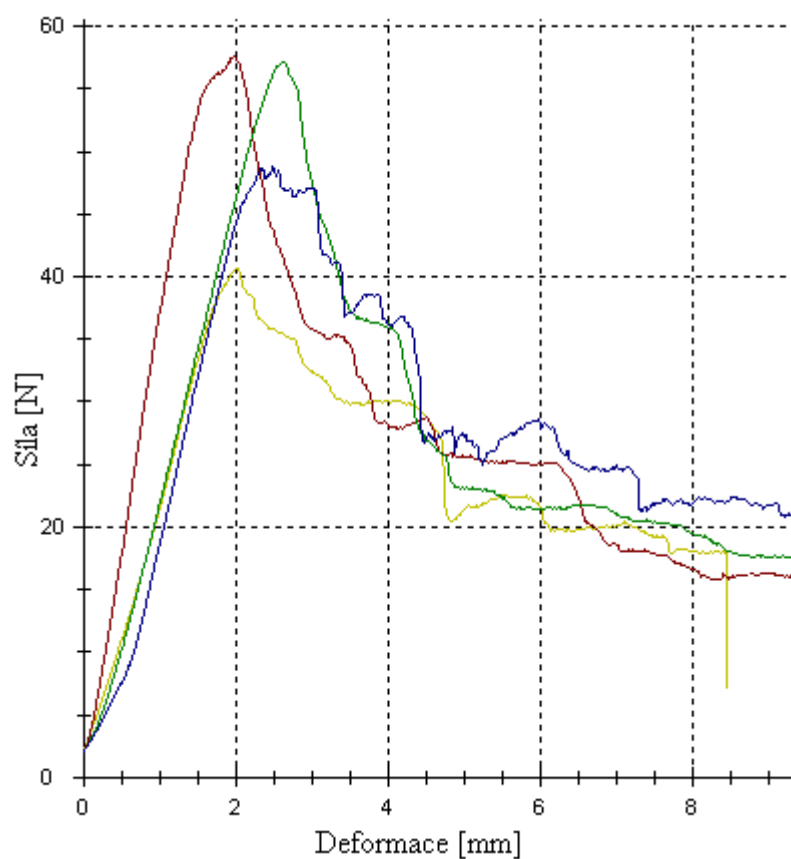


Obr. 73. Testovací zařízení

Tab. 13. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Prepreg - korek

č. tělíska	a_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm)	F (N)
1	8,2	50	410	40,6
2	8,2	50	410	57,6
3	8,2	50	410	57,2
4	8,2	50	410	48,8

ODLUP	a_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm)	F (N)
\bar{x}	8,2	50	410	51,1
s	0	0	0	8,04
v	0	0	0	15,75



Obr. 74. Graf zk. ODLUPU

Složení vrstev tělísek pro porovnání fyzikálních vlastností odlupu:

Zkušební tělísko 2.

- Vrchní vrstva – 2 x Prepreg Sprint XE 905/SS
- Jádro – PET, Airex T90.100, tloušťka 20 mm
- Spodní vrstva – 3 x Prepreg Sprint XE 905/SS [33]

Tab. 14. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Prepreg – PET [33]

ODLUP	a_0 (mm)	b_0 (mm)	S_0 (mm)	F (N)
\bar{x}	20	24,76	24,3	72,4
s	0	0	0	32,9
v	0	0	0	45,47

Zkušební tělísko 3.

- Pryskyřice - DION ® FR 850-M850
- Gelcoat – NGA HX3
- Vrchní vrstva – Rohože: 1 x 300 + 2 x 450 g.m⁻²
- Jádro – PET, Airex T90.100, tloušťka 20 mm
- Spodní vrstva – Rohože: 2 x 450 g.m⁻² [33]

Tab. 15. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Laminát – PET [33]

ODLUP	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	S ₀ (mm)	F (N)
\bar{x}	20	24,18	25,16	164,4
<i>s</i>	0	0	0	30,7
<i>v</i>	0	0	0	18,65

Zkušební tělísko 4.

- Pryskyřice - DION ® FR 850-M850
- Gelcoat – NGA HX3
- Vrchní vrstva – Rohože: 1 x 300 + 2 x 450 g.m⁻²
- Jádro – SAN, Gurit M80, tloušťka 20 mm
- Spodní vrstva – Rohože: 2 x 450 g.m⁻² [33]

Tab. 16. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Laminát – SAN [33]

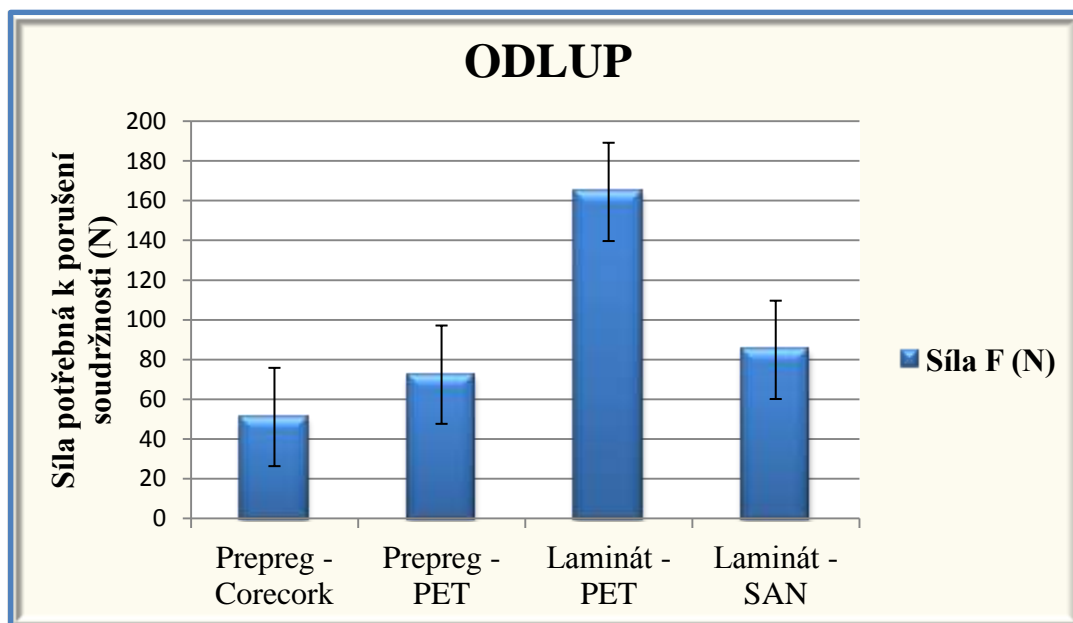
ODLUP	a ₀ (mm)	b ₀ (mm)	S ₀ (mm)	F (N)
\bar{x}	20	24,76	24,96	84,9
<i>s</i>	0	0	0	7,04
<i>v</i>	0	0	0	8,3

Pořadí tělísek vyhodnocení ODLUPU dle použité síly potřebné k porušení soudržnosti jednotlivých vrstev sestupně od nejpevnějších:

- Tělísko č.3. Laminát – PET - síla potřebná k porušení soudržnosti164,4 N
- Tělísko č.4. Laminát – SAN - síla potřebná k porušení soudržnosti84,9 N
- Tělísko č.2. Prepreg – PET - síla potřebná k porušení soudržnosti.....72,4 N
- Tělísko č.1. Prepreg – Corecork – síla potřebná k porušení soudržnosti.....51,1 N

Tab. 17. Porovnání soudržnosti - ODLUP

ODLUP	Síla F (N)
Prepreg 2x - Corecork tloušťka 8 mm	51,1
Prepreg 3x – PET tloušťka 20 mm	72,4
Laminát 2x – PET tloušťka 20 mm	164,4
Laminát 2x – SAN tloušťka 20 mm	84,9



Obr. 75. Graf porovnání soudržnosti - ODLUP

VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY ODLUPU

Vzhledem k tomu, že byl zkoumán jen jeden typ tělíska, použily se k porovnání výsledky zkoušek odlupu, jež byly vyhodnoceny v diplomové práci Bc. Lukáše Hasaly. Použití dosažených výsledků v této práci mělo zásadní vliv na vyhodnocení a porovnání soudržnosti i ostatních sendvičových materiálů. Bylo vyhodnoceno, že soudržnost mezi jádrem korku a vnější vrstvou prepregu je z hlediska síly potřebné na oddělení těchto vrstev velmi malá. Ze čtyř porovnávaných sendvičových materiálů, byla tato zvolená kombinace vrstvení nejhorší. Pokud by se zkoumané hledisko odlupu mělo zohledňovat v materiálových potřebách zákazníků a tento parametr měl zákazník upřednostňovat, bylo by složení vrstev Prepreg – Corecork málo vyhovující.

5.10 Průraz – Stanovení chování tuhých plastů při vícerém rázovém narážení ČSN EN ISO 6603-2

Norma uvádí zkušební metodu pro stanovení rázových vlastností plastů průrazem desky. Metoda se používá v případech, kdy je pro podrobnou charakterizaci rázového chování zapotřebí záznam křivky síla - průhyb, nebo síla - čas pro nominálně konstantní rychlost tlouku. Při zkoušce bylo 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. Tlouk byl opatřen snímačem síly, výsledná křivka se zaznamenávala elektronicky. [32]

Struktura normy se skládá ze dvou samostatných částí.

- 1) Neinstrumentovaná rázová zkouška
- 2) Instrumentovaná rázová zkouška

Pro naši potřebu a dle našich možností, byla zvolena Instrumentovaná rázová zkouška.

5.10.1 Zkušební vzorky a jejich složení

Byly zkoumány dva typy tělísek. Od každého typu byly zařazeny do tesu dva kusy.

Tělíska byly vyrobeny o velikosti 100 x 100 mm.

Složení tělísek č. 1:

Složení je bráno od vrchní vrstvy, která byla vystavena jako první nárazu.

- a) Prepreg 2 ks
- b) Vnitřní jádro korek tloušťka 8 mm
- c) Prepreg 2 ks

Parametry instrumentované rázové zkoušky, jež byly nastaveny pro vyhodnocení:

- | | |
|--|------------------------|
| 1) Výška pádu | 600 mm |
| 2) Celková hmotnost rázového tlouku s hrotem | 23,17 kg |
| 3) Nárazová rychlost | 3,43 m.s ⁻¹ |
| 4) Jmenovitá energie | 136,31 J |
| 5) Pokles rychlosti při průchodu zkušebním tělesem | 10,45 % |

Tab. 18. Rázová zkouška tělíska č.1. Prepreg 2/2

Průraz	F max (N)	Wm (J)	W celk. (J)
\bar{x}	3754,85	22,77	37,41
s	230,96	0,04	0,06
v	6,15	0,17	0,16

Složení tělísek č. 2:

Složení je bráno od vrchní vrstvy, která byla vystavena jako první nárazu.

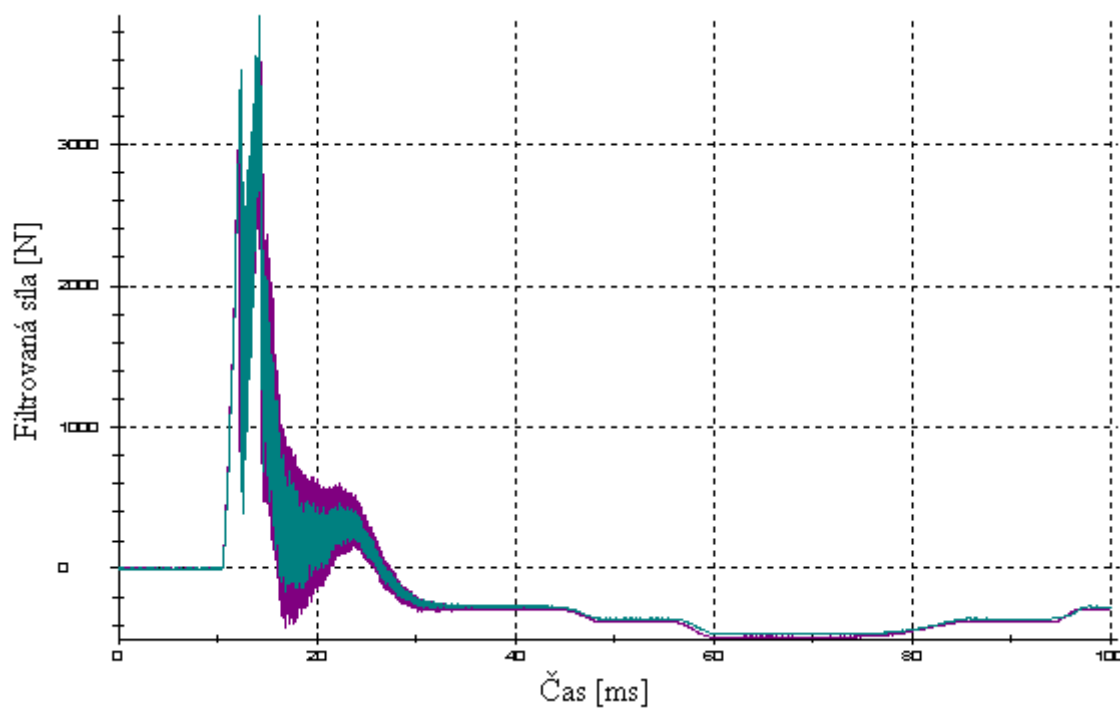
- a) Prepreg 2 ks
- b) Vnitřní jádro korek tloušťka 8 mm
- c) Prepreg 1 ks

Parametry instrumentované rázové zkoušky, jež byly nastaveny pro vyhodnocení:

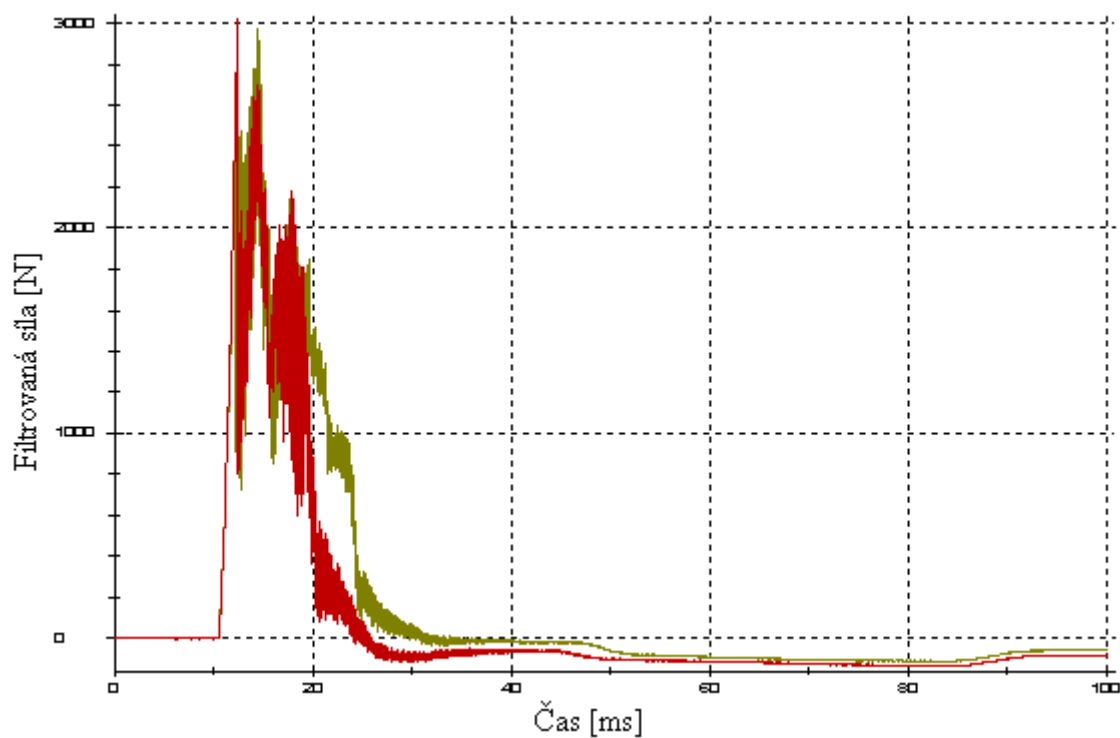
- 1) Výška pádu 600 mm
- 2) Celková hmotnost rázového tlouku s hrotem 23,17 kg
- 3) Nárazová rychlost 3,43 m.s⁻¹
- 4) Jmenovitá energie 136,31 J
- 5) Pokles rychlosti při průchodu zkušební tělesem 18,22 %

Tab. 19. Rázová zkouška tělíska č.2. Prepreg 2/1

Průraz	F max (N)	Wm (J)	W celk. (J)
\bar{x}	2998,48	13,58	54,73
s	39,49	8,53	9,19
v	1,32	62,77	16,79



Obr. 76. Graf-rázová zk. tělíska ve složení a vrstvení: Prepreg 2x, jádro, Pprepreg 2x



Obr. 77. Graf-rázová zk. tělíska ve složení a vrstvení: Prepreg 2x, jádro, Prepreg 1x

5.11 Vyhodnocení dosažených výsledků

Zkouška 3-bodový ohyb

Při vyhodnocení dosažených výsledků v trojbodovém ohybu, bylo testováno šest různých typů tělísek. Každý ze zkoumaných vzorků vykazoval specifické výsledky, které napomohly určit jejich fyzikální vlastnosti a tedy i vhodnost použití materiálu daného složení. Jestliže byla brána v potaz jako jedna z nejdůležitějších vlastností „Pevnost“ sendvičového kompozitu odolávat ohybovému namáhání, pak z vyhodnocených výsledků vyplývá, že nejlépe dopadl sendvič Corecork NL 10 (tloušťky 3 mm) ve složení: dvě vrstvy prepregu, jedna vrstva jádra korku, a jedna vrstva prepregu. Materiál byl zatěžován na stranu, kde byly jako vrchní vrstva položeny dvě vrstvy prepregu. Naopak nejhůře z testovaných byl vyhodnocen materiál Cormaster C2 3,2-48 (tloušťky 9 mm) ve složení: dvě vrstvy prepregu, vnitřní jádro papírová voština a dvě vrstvy prepregu, v experimentální části označován jako „Ohyb C“. Dále byla vyhodnocena vlastnost zkoumaných materiálů a to „Modul pružnosti“. Nejvyšší hodnotu modulu pružnosti z testovaných vzorků vykazoval materiál Artboard Compolet (tloušťky 3 mm) ve složení vrstev: dvě vrstvy prepregu, jedna vrstva jádra Artboard Compolet a dvě horní vrstvy prepregu. Naopak nejhůře z testovaných materiálů dopadl materiál pod pracovním názvem „Ohyb C“, což byl opět Cormaster C2 3,2-48 (tloušťky 9 mm).

Díky tomuto zjištění bylo vyhodnoceno při testu 3-bodového ohybu, že z testovaných materiálů má celkově nejlepší vlastnosti materiál Corecork NL 10 (tloušťka 3 mm), jež vykazoval velmi dobré vlastnosti pevnosti a také dobré vlastnosti modulu pružnosti.

Zkouška LOI

U metody zkoumání LOI, jež udává schopnost materiálu odolávat vznícení a hoření, bylo vyhodnoceno, že lepší vlastnosti a vyšší odolnost proti vznícení a hoření má sendvičový materiál z testované série č. 2. a to byl Corecork NL 10, ve složení vrstev: jedna vrstva prepregu, jedna vrstva vnitřního jádra korku a opět jedna vrstva prepregu.

Zkouška UIC

Následovala metoda zkoumání UIC. Zkoumaná tělíska obsahovala jádro Corecork NL 10. Tato tělíska byla doplněna o druhý typ materiálu a to o sendvič s vnitřním jádrem „Papírová voština Cormaster C2 (tloušťka 9 mm)“. Tato zkouška byla jedna z nejvíce sledovaných

a měla velmi vypovídající hodnotu, co se týká použitého materiálu a jeho bezpečnostních prvků. V prvním případě, kdy jádro bylo z korku, testy prokázaly, že korek vykazoval příznivější schopnost materiálu odolávat vznícení a hoření než u voštinového jádra. U jádra voštinového byla poškozená plocha zřetelně větší, než byla plocha poškození u materiálů s korkovým jádrem. Také poškození protilehlé – horní strany bylo u vzorku s voštinovým jádrem větší, než u vzorku s korkovým jádrem. Jelikož je voština již při výrobě napuštěna záměrně fenolickou pryskyřicí, nedochází při hoření vnější vrstvy k prohoření přes prepreg a následné vzplanutí voštiny. Tato pryskyřice se využívá v dopravním průmyslu, vzhledem k jejím příznivým FST (Fire-Smoke-Toxicity) vlastnostem. Při bližším pozorování bylo zjištěno, že materiál po skončení zkoušky u jádra z papírové voštiny ještě částečně pracoval a nastávaly v něm další mechanické změny a změny vlivem vývinu tepla. Bylo slyšet zřetelné praskání struktury voštiny, jak v ní dochází k následnému vnitřnímu pnutí vlivem vyrovnávání teplot po tepelném namáhání. Z hlediska bezpečnosti v oblasti vznícení a podporování hoření, bylo vyhodnoceno korkové jádro jako vhodnější materiál k použití a instalaci v železničním průmyslu, než materiál s voštinovým jádrem.

Zkouška odlupu

V případě zkoušek metodou „Odlupu“, bylo vyhodnoceno, že materiál v tomto složení, zejména vrstvení vnějších struktur prepregu není dostatečně vyhovující. Již v dřívějších studiích, jež se zabývaly touto metodou zkoumání, bylo zjištěno, že sendvičový materiál obsahující jiné než korkové jádro (např. PET, nebo SAN) ve spojení s prepregem i laminátem, má lepší vlastnosti soudržnosti, než testovaný sendvič prepreg - korek. Z výsledků těchto zkoušek je také patrné, že při složení více vrstev prepregu u vnější, odlupem zkoušené vrstvy, má tento materiál lepší vlastnosti soudržnosti. Důvod: Je potřeba vynaložit větší sílu na překonání odporu další vrstvy materiálu – prepregu. [33]

Zkouška průrazu

Poslední metodou zkoušení vlastností sendvičových materiálů s výplní korku, byla metoda průrazu. Při této zkoušce se jasně projevilo, že pozitivní vliv na odolnost proti průrazu má počet vrstev. Čím více vrstev (vzorky se lišily v počtu vnějších vrstev prepregu), tím kladl materiál větší odpor proti proražení zkušebním tloučkem na přístroji. Ovšem jeden z velmi důležitých ukazatelů vhodnosti a rentability výroby při použití daného materiálu, je ekonomické hledisko. Srovnáním této stránky se zabývá další kapitola.

5.12 Ekonomické hodnocení z hlediska volby materiálu

Cenové hledisko je v dnešní době jednou z velmi důležitých oblastí pro rentabilitu firmy daného vyráběného sortimentu. U zkoumaných materiálů je potřeba dodržet zákazníkem požadované bezpečnostní parametry, jež hrají důležitou roli při volbě materiálu a jeho použití v železničním průmyslu. V současnosti je opravdu kladen velký důraz na bezpečnost, jež musí používané materiály splňovat dle norem, ale velký význam při výběru materiálu hraje samozřejmě také cenové hledisko. Proto je tato kapitola zaměřena na ekonomickou stránku zkoumaných materiálů.

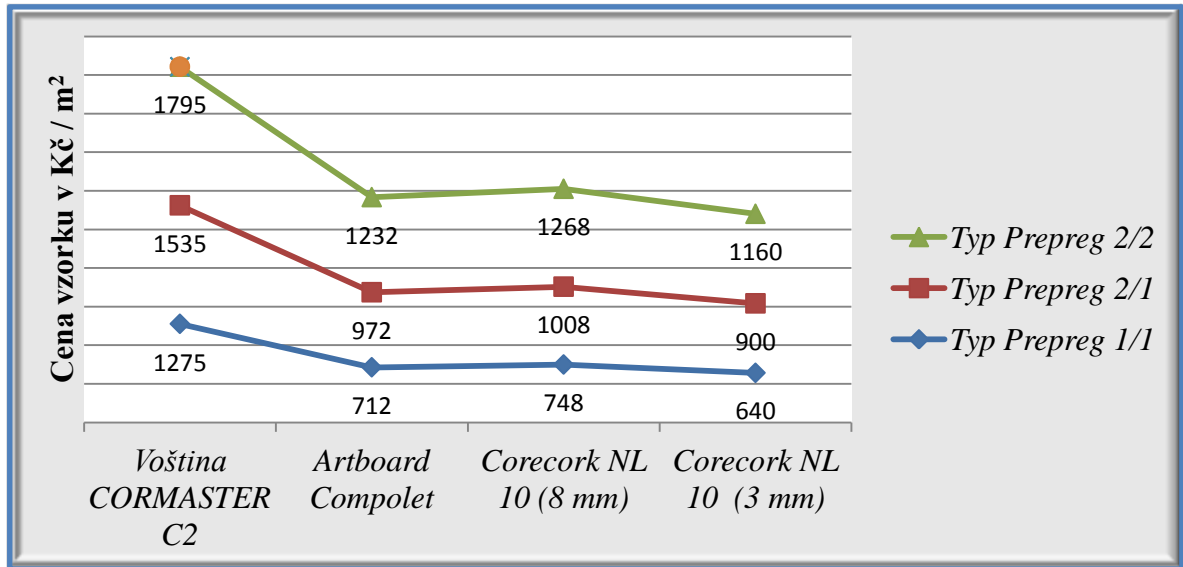
Pro porovnání byly použity dostupné ceny zvolených materiálů s dosaženými hodnotami při zkouškách.

Tab. 20. Ceny materiálů

Jednotlivé vrstvy materiálů (tloušťka)	Cena (Kč/m ²)
Prepreg PH-840-300-42 (1 mm)	260
Papírová voština CORMASTER C2 (9 mm)	755
Artboard Compolet (3 mm)	192
Corecork NL 10 (8 mm)	228
Corecork NL 10 (3 mm)	120

Tab. 21. Ceny jednotlivých složek z hlediska ceny materiálů

Za 1m ²	Cena včetně materiálu prepreg (Kč/m ²)					
	Počet prepregů	Prepreg PH-840-300-42	Voština CORMASTER C2 (9mm)	Artboard Compolet (3mm)	Corecork NL 10 (8 mm)	Corecork NL 10 (3 mm)
Typ 1/1	2	520	1275	712	748	640
Typ 2/1	3	780	1535	972	1008	900
Typ 2/2	4	1040	1795	1232	1268	1160



Obr. 78. Cenové srovnání jednotlivých kompozitů dle složení za m²

Tab. 22. Přepočtení ceny ve vztahu k pevnosti u materiálů s vnitřním jádrem 3 mm

Vnitřní jádro 3mm - Vytvrzovací teplota 130°C		Data
Artboard COMPOLET 2/1	Pevnost - Napětí σ_m [MPa]	40,6
	Cena vzorku v Kč/m ²	972
	Přepočtení - Cena / Pevnost [MPa/Kč]	23,94
CORECORK NL 10 1/1	Pevnost - Napětí σ_m [MPa]	55,7
	Cena vzorku v Kč/m ²	640
	Přepočtení - Cena / Pevnost [Kč/MPa]	11,49

Tab. 23. Přepočtení ceny ve vztahu k pevnosti u materiálů s vnitřním jádrem 8 mm

Vnitřní jádro 8mm - Vytvrzovací teplota 130°C		Data
CORECORK NL 10 2/1	Pevnost - Napětí σ_m [MPa]	22,9
	Cena vzorku v Kč/m ²	1008
	Přepočtení - Cena / Pevnost [Kč/MPa]	44,02
CORECORK NL 10 2/2	Pevnost - Napětí σ_m [MPa]	24,8
	Cena vzorku v Kč/m ²	1268
	Přepočtení - Cena / Pevnost [Kč/MPa]	51,13

Tab. 24. Přepoččet ceny ve vztahu k modulu pružnosti u materiálů s vnitřním jádrem 3 mm

Vnitřní jádro 3mm - Vytvrzovací teplota 130°C		Data
Artboard COMPOLET 2/1	Modul pružnosti E [MPa]	6390
	Cena vzorku v Kč/m ²	972
	Přepoččet - Cena / Modul pružnosti [Kč/MPa]	0,15
CORECORK NL 10 1/1	Modul pružnosti E [MPa]	5720
	Cena vzorku v Kč/m ²	640
	Přepoččet - Cena / Modul pružnosti [Kč/MPa]	0,11

Tab. 25. Přepoččet ceny ve vztahu k modulu pružnosti u materiálů s vnitřním jádrem 8 mm

Vnitřní jádro 8mm - Vytvrzovací teplota 130°C		Data
CORECORK NL 10 2/1	Modul pružnosti E [MPa]	2220
	Cena vzorku v Kč/m ²	1008
	Přepoččet - Cena / Modul pružnosti [Kč/MPa]	0,45
CORECORK NL 10 2/2	Modul pružnosti E [MPa]	3140
	Cena vzorku v Kč/m ²	1268
	Přepoččet - Cena / Modul pružnosti [Kč/MPa]	0,40

Cenové srovnání jednotlivých sendvičových kompozitů je popsáno v kapitole 5.12. a na obrázku 78. Tato kalkulace ovšem nemá potřebnou vypovídající hodnotu, proto bylo použito srovnání zkoumaných materiálů v poměru Cena – Pevnost a Cena - Modul pružnosti. Porovnání bylo zaříděno do kategorie vzorků, jež měly tloušťku vnitřního materiálu 3 mm a kategorie s tloušťkou vnitřního jádra 8 mm.

Jako ekonomicky nejnákladnější byl vyhodnocen materiál ve složení prepreg s vnitřním jádrem papírová voština, v jakémkoliv složení vrstev prepregů.

Jako nejvhodnější z pohledu ekonomického se z hlediska porovnání ceny k pevnosti materiálu jeví typ vzorku Corecork NL 10 s vnitřním jádrem o tloušťce 3 mm a ve složení vrstev: jedna vrstva prepregu, jedna vrstva jádra a jedna vrstva prepregu. Z hlediska porovnání ceny k modulu pružnosti vyšel opět nejlépe vzorek Corecork NL 10 ve složení vrstev: jedna vrstva prepregu, jedna vrstva jádra a jedna vrstva prepregu.

ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na výrobu kompozitních materiálů metodou ručního kladení prepregu, především výrobu sendvičových struktur s korkovým jádrem. Z hlediska samotného výrobního procesu je to metoda velmi šetrná k životnímu prostředí, jelikož nedochází k únikům výparů styrenu do ovzduší. Také vzhledem k pracovnímu prostředí zaměstnanců, kteří vyrábějí tento materiál, je to metoda, která nezatěžuje jejich zdraví.

Z pohledu výrobce železničního kolejového průmyslu je důležité vyrábět nejen z ekologických materiálů, ale zejména je nutné zohlednit při výrobě bezpečnost pasažérů, aby při případné nehodě dopravního prostředku došlo k co možná nejmenším škodám na zdraví i hmotným škodám. A to jak v důsledku požáru (zahoření použitých materiálů), tak z pohledu pevnostního hlediska použitých kompozitních materiálů.

A toto je jeden z hlavních cílů diplomové práce. Najít mezi zkoumanými kompozitními materiály nejvhodnější kompozitní sendvič, který by v co možná největší míře vyhovoval požadovaným vlastnostem. Nezanedbatelnou měrou se také na vývoji a následném použití materiálů musí promítat i ekonomické hledisko, jež je v této práci také zohledněno. Pro výrobce kolejových dopravních prostředků, kteří ve velké míře využívají kompozitních materiálů, je ekonomické hledisko také důležitým aspektem při rozhodnutí, se kterým dodavatelem budou spolupracovat při odběru kompozitních sendvičových materiálů.

V praktické části jsou popsány veškeré metody, jež byly použity pro testování daných vzorků. Ze zkoušek na těchto materiálech vyplývá následující.

- Z hlediska pevnosti materiálu zkoumaných vzorků, zcela jistě vyniká CORECORK NL 10. Tímto je myšleno použití vnitřního jádra, jelikož na všech testovaných vzorcích byl jako vrchní vrstva použit materiál PREPREG a to konkrétně PH840-300-42 od výrobce Gurit. Při testech je na všech vzorcích pozorováno, že v momentě, kdy dojde k překonání meze pevnosti, a tudíž materiál přestane mít své specifické vlastnosti, které odběratel i evropská norma požaduje, nedošlo u vnitřního jádra k viditelnému porušení. Vždy, nastalo porušení a defekt na vrchní vrstvě Prepregu, jelikož tato při vytvrzovacím režimu již přechází do stavu, kdy molekulové vazby daného materiálu zesilují a tyto vazby se i více zahustí. Tudíž materiál Prepreg se dostává ze stavu Rezitolu (tzv. B stavu), kdy je materiál ještě ohebný a ve

formě lepidivého gelu, do stavu sice pevného, ale již poměrně křehkého. Proto je zřejmé, že důležitou roli v požadavku pevnosti materiálu hraje vnitřní struktura. Proto použití korku, jako výplňového materiálu je bezesporu velmi dobré řešení. Evropské normy navíc stanovují určité tolerance na hořlavost a samozhášivost materiálu z pohledu bezpečnosti. Tyto normy použitý korek splňuje. Z toho důvodu byla také požadována zkouška UIC, jež měla tento předpoklad potvrdit, nebo vyvrátit.

- Při zkoušce metodou UIC je zde popsáno, na co klade odběratel velký důraz a opírá se zde o Evropskou normu, kterou je potřeba dodržovat. Tato norma a výsledky zkoušek jsou seříděny a vyhodnoceny v tab. 11. a 12. Jsou zde zohledněny a vyhodnoceny vlastnosti jako např. zda materiál hoří, jak dlouho hoří po zapálení, zda z něj unikají při hoření ve větší míře nebezpečné zplodiny, zda při hoření materiál odkapává v kapkách a velmi důležitá vlastnost, zda materiál jakýmkoliv způsobem ovlivní vnitřní strukturu jádra. Ve vyhodnocení je také popsáno, že ani na jednom vzorku u jádra korku, nebylo pozorováno porušení. Částečné ovlivnění korku vlivem teploty určitě nastane, ale pro potřebu bezpečnosti je použitý materiál vyhovující. Toto se ovšem nedalo až tak přesvědčivě říci o použitém vnitřním materiálu papírové voštiny CORMASTER C2, která při zkoušce UCI dosahovala horších výsledků. Pozorováním bylo zjištěno následující: vzorky s vnitřním jádrem papírovou voštinou se více tavily, nastalo ohoření a tudíž poškození větší plochy materiálu. Na druhou stranu, díky tomu, že papírová voština byla již při výrobě samotné napuštěna fenolickou pryskyřicí, také tady nedocházelo k prohoření jádra a většímu zahoření. Ovšem tento materiál byl podstatně více tepelně ovlivněn hořením než materiál s korkovým jádrem. Při testování byly u papírové voštiny použity také čtyři vzorky, jež byly opatřeny vrchní vrstvou laku ve třech vrstvách. Ani u této varianty materiálu nedošlo k většímu a tudíž nebezpečnému zahoření. Proto i takto povrchově upravený materiál vyhovuje evropské normě bezpečnosti. Z pohledu hořlavosti materiálu, je tedy opět korek lepší pro využití v dopravních prostředcích jako bezpečnější materiál.
- Ekonomické hledisko, jež bylo také součástí diplomové práce, mělo za úkol vyčíslit cenové rozpětí použitých materiálů a tudíž vyhodnotit z pohledu ekonomiky odběratele rentabilitu použitých a dodávaných kompozitních sendvičových konstrukcí.

Vyhodnocení výzkumu bylo provedeno z pohledu ceny v porovnání k bezpečnosti a pevnosti materiálu. Jelikož ekonomické hledisko je nutné vyhodnocovat vždy v aktuálním čase, diplomová práce hodnotí situaci, která je nyní v současné evropské ekonomice. Dá se totiž očekávat, že aktuálnost cen jednotlivých použitých materiálů se v čase může jakkoliv měnit, a proto je důležité jistě toto hledisko minimálně jednou za půl roku aktualizovat v závislosti na vývoji situace na trhu s cenami materiálů. V tomto případě a v současných podmínkách je cenově nejrentabilnější použití vnitřního jádra z materiálu Corecork NL 10 ve srovnání s jádrem z papírové voštiny Cormaster C2. Je na zvážení, zda cena zkoumaných vzorků u materiálu Artboard Compolet má významně ovlivnit rozhodování odběratele při výběru a volbě použitých materiálů, jelikož je cenově na srovnatelné úrovni jako Corecork NL 10. Ten má však dle vyhodnocení lepší vlastnosti jak pevnostní, tak vlastnosti hořlavosti.

Touto prací je dokázáno, že lze vyrábět cenově přijatelné materiály s velmi dobrými vlastnostmi, což je pozitivní zjištění pro firmu FORM, s.r.o. A může být využito jako argument při obchodních výběrových řízeních dodavatelů na trhu železničního kolejového průmyslu.

Z tohoto pohledu je zřejmé, že výše uvedené materiály jsou a budou na trhu s moderními technologiemi velmi hojně využívány.

Je zde samozřejmě spousta možností pro další podrobnější zkoumání nových technologií a materiálů. Z toho důvodu má výroba a využití korku jako jádra kompozitních sendvičů velkou budoucnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] AGARWAL, Bhagwan D - BROUTMAN, Lawrence J. Vláknové kompozity. 1. Vyd. Praha : SNTL, 1987. 294 s.
- [2] BAREŠ, Richard A. Kompozitní materiály. 1. vyd. Praha : SNTL, 1988. 325 s.
ISBN
- [3] KOŘÍNEK, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit. 05. 09. 2011] Dostupný z
<http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [4] DAŘOUREK, Karel. Kompozitní materiály - druhy a jejich užití. Vyd. 1. Liberec
Technická univerzita v Liberci, 2007. 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1 (brož.).
- [5] RUSNÁKOVÁ, Soňa, Přednáška TAVKM: Kompozitné materiály
- [6] AMBERCOMPOSITESCompany[on-line], Dostupné z [www.ambercomposites.com](http://www.ambercomposites.com/datasheet/hexweb)
datasheet/hexweb
- [7] ULTRACORNIC.[on-line], Dostupný z [www:ultracornic.com/papers/paper_body](http://www.ultracornic.com/papers/paper_body)
- [8] P.T.PETERS: Handbook of Composites, Chapman & Hall 1998, ISBN 0-412-54020-7
- [9] ZENKER, D. Sandwich Constructions. Londýn: Emas, 2000, 439 s.
- [10] MECHANICKÉ VLASTNOSTI, [online]. [cit.2012-05-02]. Dostupný z [www:
http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf).
- [11] HRDINA J., Nauka o materiálu TQNM, Cvičení č.2
- [12] ČSN EN ISO 178 (64 0607) článek 4, Stanovení ohybových vlastností
- [13] ŠUBA, Oldřich. Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta Technologická, 3. Vyd. 2010 ISBN 978-80-7318-948-8
- [14] JANČÁŘ, J. Úvod do materiálového inženýrství polymerních kompozitů.: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2003. 193 s., ISBN 8021424435.
- [15] VNOUČEK, Milan., [on-line]. Dostupný z [www: http://www.atem.czu.cz/
download/kompozity09_10.pdf](http://www.atem.czu.cz/download/kompozity09_10.pdf)

- [16] EHRENSTEIN, Gottfried W. Polymerní kompozitní materiály, 1. Vydání Praha: Scientia, 2009. 350 s. ISBN 978-8086960-29-6
- [17] DAVIES, J. M. Lightweight sandwich construction. Jon Wiley & Sons, 2001
- [18] CANADIANHONEYCOMB. [online]. [cit.2011-11-13]. Dostupné z: <http://www.canadianhoneycomb.com>
- [19] HEXCEL. [online],[cit.2012-01-21].Dostupné z: http://www.hexcel.com/Resources/dataSheets/Brochure-Data-Sheets/Honeycomb_Attributes_and_Properties.pdf
- [20] KOŠTIAL, Pavol. Zariadenie na bezkontaktné a automatické meranie tepelnej a teplotnej vodivosti ako aj mernej tepelnej capacity tuhých látok (užitkový vzor).[online].[cit. 2012-05-08]
- [21] [online]. [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/umvi/zk.raz.ohybu.pdf>
- [22] REINFORDCEDPLASTICS, <http://www.reifordcedplastics.com/>[online].[cit.2012-11-12].
- [23] RUSNÁKOVÁ, Soňa, Přednáška TAVKM: FORM-Prepregy.
- [24] [online]. [cit.2011-11-21]. Dostupné z: http://www.ellri.cz/vyroba_na_zakazku/Prepreg_sendvic_konstr.htm
- [25] [online]. [cit. 2012-01-19]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk?p=7861>
- [26] [online]. [cit. 2012-01-23]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk?p=7871>
- [27] [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Korek>
- [28] [online]. [cit. 2010-01-17]. Dostupné z: <http://www.proneco.cz/produkty/korky>
- [29] DYNISCO.[online].,Dostupné z: <http://www.dynisco.com/limiting-oxygen-index-analyzer--loi->
- [30] ROLEK, Vítězslav, Studium prepreg sendvičových konstrukcí s fenolickou maticí, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta Technologická, Diplomová práce 2012
- [31] REICHHOLD Company: Fire Retardant EMEA, 28.2.2005

- [32] ČSN EN ISO 6603-2, Třídící znak 64 0628, katalogové číslo 62507, 1.8.2001
- [33] HASALA, Lukáš, Návrh a testování sendvičových kompozitních materiálů pro dopravní aplikace, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta Technologická, Diplomová práce 2012

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

M_0	Moment ohybový [N.m]
σ_0	Napětí v ohybu [MPa]
σ_m	Napětí v ohybu maximální [MPa]
W_0	Modul průřezu v ohybu [mm ³]
J_R	Kvadratický moment [mm ⁴]
u_{max}	Vzdálenost středního vlákna od krajního vlákna zkoumaného materiálu [mm]
F	Síla [N]
L_p	Vzdálenost mezi podpěrami při ohybové zkoušce [mm]
y	Průhyb [mm]
E	Modul pružnosti [MPa]
ε	Poměrný průhyb [-]
a_0	Tloušťka testovaného materiálu [mm]
b_0	Šířka testovaného materiálu [mm]
S_0	Délka testovaného materiálu [mm]
\bar{x}	Medián
S	Směrodatná odchylka
v	Variační koeficient
n	Počet měření
x	Střední aritmetický průměr
LOI	Limitní kyslíkové číslo [%]
O ₂	Označení objemu kyslíku
N ₂	Označení objemu dusíku
FST	Fire smoke toxicity

SAN Styreneacrylonitril

PET Polyethylentereftalát

PUR Polyuretan

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Princip kompozitu demonstrováný bimetalickým článkem</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2. Schematické znázornění pracovního diagramu křehkých vláken (f), kovové matrice a kompozitu</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3. Základní rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4. Prepreg v návinnu role</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 5. Skelná oblast nevytvrzené pryskyřice</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 6. Schéma vrstvené multiaxiální výztuže stabilizované příčným prošitím</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7. Výroba prepregů</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 8. Výrobní linka PREPREGŮ</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 9. Výroba impregnováním</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 10. Výroba postupným navíjením</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 11. Výroba impregnováním tkaniny v koupeli</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 12. Prepreg-sendvičová konstrukce</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 13. Prepreg technologie – vytvrzování v peci</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 14. Zpracování Prepregů v autoklávu</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 15. Technologie tzv. Vakuový vak</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16. Vakuové lisování Prepregů</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 17. Vytvrzovací cyklus v peci</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 18. Schematický obrázek výroby prepregu v autoklávu</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 19. Autokláv</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 20. Schéma konstrukce sendviče s voštinovým jádrem</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 21. Porovnání vlastností sendvičových konstrukcí</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 22. Srovnání mezi voštinovou konstrukcí a I – profilem</i>	<i>31</i>

<i>Obr. 23. Porovnání skelného laminátu tloušťky 15mm a sendvičové struktury</i>	31
<i>Obr. 24. Sendvič s jádrem z polystyrenové pěny</i>	32
<i>Obr. 25. Pracovní diagram distanční materiál – pěna TAH – TLAK</i>	32
<i>Obr. 26. Rozdíl v tuhosti mezi klasickým materiálem a kompozitem</i>	33
<i>Obr. 27. Vlakové a dopravní jednotky</i>	35
<i>Obr. 28. Příklady použití kompozitních materiálů – lodě, čluny</i>	36
<i>Obr. 29. Letadlo Aero Ae-270</i>	36
<i>Obr. 30. Použití sendvičových panelů s hliníkovým voštinovým jádrem – tramvaj</i>	37
<i>Obr. 31. Sendvičová struktura</i>	38
<i>Obr. 32. Voštinový sendvič</i>	38
<i>Obr. 33. Formování Honeycomb bloků jako výplňový materiál</i>	39
<i>Obr. 34. Výroba jednotlivých částí buňky z plechu</i>	39
<i>Obr. 35. Výplňový materiál dřevo-překližka</i>	40
<i>Obr. 36. Výplňový materiál balza</i>	40
<i>Obr. 37. Sendviče s AL – potahem</i>	41
<i>Obr. 38. Schéma ohybové zkoušky</i>	44
<i>Obr. 39. Zatěžování sendvičové struktury</i>	45
<i>Obr. 40. Uspořádání vnitřních struktur a prepregu na formě</i>	52
<i>Obr. 41. Forma</i>	52
<i>Obr. 42. Kladení vrstev prepregu</i>	52
<i>Obr. 43. Položení korku</i>	53
<i>Obr. 44. Položení vrchních vrstev prepregu</i>	53
<i>Obr. 45. Umístění poslední vrstvy prepregu</i>	53
<i>Obr. 46. Kladení separační fólie</i>	53
<i>Obr. 47. Držáky odsávacích ventilů</i>	53

<i>Obr. 48. Utěsnění vakuovací fólií</i>	53
<i>Obr. 49. Umístění odsávacích ventilů</i>	54
<i>Obr. 50. Vytvoření vakua a kontrola těsnosti</i>	54
<i>Obr. 51. Rozvržení jednotlivých tělísek</i>	54
<i>Obr. 52. Rozřezání na jednotlivá tělíska</i>	54
<i>Obr. 53. Graf vytvrzovacího režimu</i>	55
<i>Obr. 54. Graf zk. v ohybu COMPOLET 3mm</i>	58
<i>Obr. 55. Přístroj ZWICK 1456 zk. OHYBU COMPOLET</i>	58
<i>Obr. 56. Graf zk. v ohybu CORECORK 3mm</i>	59
<i>Obr. 57. Graf srovnání „COMPOLET 3mm vs. CORECORK 3mm</i>	60
<i>Obr. 58. zk. v ohybu CORECORK</i>	60
<i>Obr. 59. Graf Ohyb A</i>	62
<i>Obr. 60. Graf Ohyb B</i>	63
<i>Obr. 61. Graf Ohyb C</i>	64
<i>Obr. 62. Graf porovnání Pevnosti u zkoumaných materiálů</i>	65
<i>Obr. 63. Graf porovnání Modulu pružnosti u zkoumaných materiálů</i>	65
<i>Obr. 64. Rozdělení klasifikace LOI dle evropské normy</i>	67
<i>Obr. 65. Schéma měření-Limitní kyslíkové číslo</i>	69
<i>Obr. 66. Zkušební stojan umožňuje držet vzorek v náklonu 45° k horizontální rovině</i>	70
<i>Obr. 67. Zapálení kelímku s Ethanolem a následné vzplanutí tělíska při zk. UIC</i>	73
<i>Obr. 68. Různé typy poškození zkušebních tělísek po zk. metodou UIC</i>	73
<i>Obr. 69. Měření poškozené plochy tělíska planimetrem PLANIX 5</i>	73
<i>Obr. 70. Tělíska připravené pro zk. Odlup</i>	74
<i>Obr. 71. Upnutí tělíska pro zk. Odlupu</i>	74
<i>Obr. 72. Průběh zkoušky na Odlup</i>	75

<i>Obr. 73. Testovací zařízení</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 74. Graf zk. ODLUPU</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 75. Graf porovnání soudržnosti - ODLUP</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 76. Graf-rázová zk. tělíska ve složení a vrstvení: Prepreg 2x, jádro, Pprepreg 2x ...</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 77. Graf-rázová zk. tělíska ve složení a vrstvení: Prepreg 2x, jádro, Prepreg 1x</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 78. Cenové srovnání jednotlivých kompozitů dle složení za m²</i>	<i>85</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Materiál COMPOLET ve složení: 2/1 Prepreg</i>	57
<i>Tab. 2. Materiál CORECORK ve složení: 1/1 Prepreg</i>	59
<i>Tab. 3. Ohyb A materiál CORECORK NL 10 ve složení: 2/1 Prepreg</i>	61
<i>Tab. 4. Ohyb B materiál CORECORK NL 10 ve složení: 2/2 Prepreg</i>	62
<i>Tab. 5. Ohyb C materiál PAPIŘOVÁ VOŠTINA C2-3,2-48 (síla 9mm) ve složení: 2/2</i> ...	63
<i>Tab. 6. Ohyb D materiál PAPIŘOVÁ VOŠTINA C2-3,2-48 (síla 9mm) ve složení: 2/1</i> ...	63
<i>Tab. 7. Porovnání Pevnosti a Modulu pružnosti u zkoumaných materiálů</i>	64
<i>Tab. 8. Normy jednotlivých zemí při splnění rozsahu LOI</i>	68
<i>Tab. 9. Výsledky zkoušek LOI a zařídění dle NORMY Germany 4102 a 5510</i>	68
<i>Tab. 10. Zařazení do kategorií platné pro tuhé netermoplastické látky</i>	71
<i>Tab. 11. Vyhodnocení a zařídění poškozených tělísek do kategorií dle normy (korek)</i> ...	72
<i>Tab. 12. Vyhodnocení a zařídění poškozených tělísek do kategorií dle normy (voština)</i> ..	72
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Prepreg – korek</i>	75
<i>Tab. 14. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Prepreg – PET</i>	76
<i>Tab. 15. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Laminát – PET</i>	77
<i>Tab. 16. Naměřené hodnoty zkoušky odlupu Laminát – SAN</i>	77
<i>Tab. 17. Porovnání soudržnosti - ODLUP</i>	78
<i>Tab. 18. Rázová zkouška tělíska č.1. Prepreg 2/2</i>	80
<i>Tab. 19. Rázová zkouška tělíska č.2. Prepreg 2/1</i>	80
<i>Tab. 20. Ceny materiálů</i>	84
<i>Tab. 21. Ceny jednotlivých složek z hlediska ceny materiálů</i>	84
<i>Tab. 22. Přepočítání ceny ve vztahu k pevnosti u materiálů s vnitřním jádrem 3 mm</i>	85
<i>Tab. 23. Přepočítání ceny ve vztahu k pevnosti u materiálů s vnitřním jádrem 8 mm</i>	85
<i>Tab. 24. Přepočítání ceny ve vztahu k modulu pružnosti u materiálů s jádrem 3 mm</i>	86
<i>Tab. 25. Přepočítání ceny ve vztahu k modulu pružnosti u materiálů s jádrem 8 mm</i>	86

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Technický list prepregu PH840-300-42

Příloha PII: Technický list Artboard Compolet

Příloha PIII: Technický list papírové voštiny CORMASTER C2

Příloha PIV: Technický list CORECORK NL 10

Příloha PV: Technický list POLY*Tmel* FINIŠ

Příloha PVI: Technický list POLY*Tmel* PLNIČ 2K PUR

Příloha PVII: NUVOVERN WR Emaillack

Příloha PVIII: PROTOKOL O ZKOUŠCE – Zkouška požární odolnosti

Kompletní seznam příloh je součástí elektronické verze

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY