

# **Popis mechanických vlastností vrstevnatých sendvičových struktur s přírodním jádrem**

Pavel Mikel

---

Bakalářská práce  
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Mikel**  
Osobní číslo: **T13092**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Popis mechanických vlastností vrstevnatých sendvičových struktur s přírodním jádrem**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši o problematice sendvičových struktur s přírodním jádrem.
2. Základní definice sendvičových struktur, vlastnosti a použití
3. Popis a vlastnosti používaných přírodních jádrových materiálů
4. Testování mechanických vlastností sendvičových struktur
5. Experimentální část
6. Výběr vhodných materiálů a návrh vrstvených struktur
7. Příprava zkušebních těles (panelů)
8. Mechanické testy připravených zkušebních těles
9. Vyhodnocení naměřených dat, závěry

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ladislav Fojtl**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**8. ledna 2016**

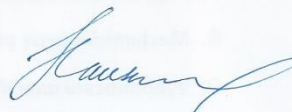
Termín odevzdání bakalářské práce:

**20. května 2016**

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: MIKEL PAVEL

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

## 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<sup>1)</sup>;
- 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<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> 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<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18.5.2016

  
.....

<sup>1)</sup> 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 proběhlo obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

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

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

<sup>2)</sup> 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).

<sup>3)</sup> 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 přihlídá k větší výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je srovnání mechanických vlastností sendvičových konstrukcí s korkovým jádrem s rozdílnou variantou počtu vrstev prepregu a korkového jádra uvnitř struktury.

Součástí práce je teoretická část, která se zabývá obecně kompozitními materiály, sendvičovými konstrukcemi a využitím přírodních materiálů pro tyto vrstvené struktury.

Praktická část popisuje materiály a zařízení, která byla využita při výrobě, samotnou výrobu sendvičových panelů a příprava zkušebních těles. Všechny naměřené mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách a vneseny do grafů, kde jsou poté jednotlivé výsledky srovnány z pohledu stavby struktury i změny teploty.

Klíčová slova: kompozit, sendvičové kompozity, přírodní jádro, prepreg, kork, mechanické vlastnosti

## **ABSTRACT**

The main objective of this bachelor is to compare the mechanical properties of sandwich structures with a cork core with a different variant of prepreg and cork core layers inside the structure.

First part of this work is the theoretical part which generally deals with composite materials, sandwich structures and usage of natural material for this layered structures

The practical part describes the materials and devices that were used for the production, manufacturing of sandwich panels itself and preparation of testing samples of sandwich panels and test samples. All measured mechanical properties are given in in tables and depicted in into graphs, where the individual results then compared in terms of stucture composition structures and temperature changes.

Keywords: composite, sandwich composites, natural core, prepreg, cork, mechanical properties

Chtěl bych poděkovat touto formou svému vedoucímu Ing. Ladislavu Fojtlovi za odborné vedení, rady, obětavost a čas který mi během této práce věnoval.

*Nečekejte na motivaci před vlastní činností,*

*pusťte se do práce a motivace se dostaví!*

*(Arnold Allan Lazarus)*

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ .....	12
1.2 MATRICE .....	13
1.2.1 Funkce výztuže.....	14
1.3 VÝZTUŽ.....	14
1.3.1 Druhy výztuže .....	15
<b>2 SENDVIČOVÉ STRUKTURY</b> .....	<b>16</b>
2.1 VLASTNOSTI SENDVIČOVÉ STRUKTURY .....	17
2.2 POUŽITÍ SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ .....	17
2.2.1 Letecký průmysl.....	17
2.2.2 Lodní průmysl .....	18
2.2.3 Stavební průmysl.....	19
2.2.4 Automobilový průmysl .....	19
2.2.5 Železniční průmysl.....	21
2.2.6 Další využití .....	22
2.3 VÝROBA .....	22
2.3.1 Vytvrzování v peci za pomoci vakua .....	22
2.3.2 Vytvrzování v autoklávu .....	23
2.3.3 Lisování ve vyhřátém lisu .....	24
<b>3 PŘÍRODNÍ JÁDROVÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>25</b>
3.1 BALZOVÉ DŘEVO .....	25
3.2 KOREK .....	27
3.2.1 Zpracování surového korku.....	27
3.2.2 Produkce korku .....	28
3.2.3 Vlastnosti a složení korku .....	28
3.2.4 Použití korku .....	29
3.2.5 Porovnání korku s pěnou Rohacell .....	30
<b>4 ZKOUŠKY SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>33</b>
4.1 ZKOUŠKA OHYBEM.....	33
4.2 TESTY SOUDRŽNOSTI VRSTEV.....	35
4.2.1 Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu .....	35
4.2.2 Zkouška odlupem za pomoci konzole.....	36
4.2.3 Zkouška za pomoci tlaku a vzduchu .....	37
4.2.4 Zkouška soudržnosti tahem naplocho .....	38
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>39</b>
<b>5 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>40</b>
<b>6 POPIS POUŽITÝCH MATERIÁLŮ</b> .....	<b>41</b>
6.1 JÁDROVÝ MATERIÁL.....	41
6.2 PREPREG MATERIÁL .....	42



<b>7</b>	<b>VÝROBA SENDVIČOVÝCH PANELŮ A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....</b>	<b>44</b>
7.1	POMOCNÉ MATERIÁLY A KOMPONENTY .....	45
7.1.1	Vakuová fólie .....	45
7.1.2	Páska na utěsnění .....	46
7.1.3	Separáční fólie.....	46
7.1.4	Rohož na odsávání .....	46
7.1.5	Vzduchotechnika.....	46
7.2	PŘÍPRAVA KOMPONENTŮ NA VÝROBU .....	46
7.3	VÝROBA SENDVIČOVÝCH VZORKŮ .....	46
<b>8</b>	<b>MECHANICKÉ TESTOVÁNÍ .....</b>	<b>49</b>
8.1	ZKOUŠKA TŘÍBODOVÝM OHYBEM .....	49
<b>9</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>57</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>67</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>68</b>

## ÚVOD

První myšlenka sendvičového kompozitu se vyskytla už v první polovině 19. století ve Francii. Rozmach a častější využití však nastalo až během druhé světové války, kdy se začaly využívat u letadel. Nebylo to ale ani tak kvůli lepším vlastnostem, jako spíše z nedostatku jiných běžně používaných materiálů. Nejčastěji používaným jádrovým materiálem byla balza. Od té se později ustoupilo a kolem 50. a 60. let se začaly vyskytovat voštiny, později i syntetické pěnové materiály. [1]

Postupem času se využití sendvičových kompozitů rozrostlo. Můžeme se s nimi setkávat prakticky denně, jelikož jsou hojně využívány například v dopravě, v leteckém ale třeba i stavebním průmyslu, kde se hojně využívá různých sendvičových kompozitů pro jejich izolační schopnosti. Svoje zastoupení si najdou sendviče i v lodním a vojenském průmyslu, zejména pro malou hmotnost při velké tuhosti. Je možné je najít v podobě sportovního příslušenství, jako jsou například surfovací prkna.

Dnes se postupně začíná znovu stále víc a víc využívat přírodních materiálů, jako je například korek, nebo právě i balza. Tyto materiály jsou velmi výhodné vzhledem k jejich obnovitelnosti. Za nemalou a v dnešní době nezanedbatelnou výhodu je považována i šetrnost přírodních materiálů k životnímu prostředí, na což je v současnosti upírána velká pozornost.

Tato bakalářská práce se věnuje charakterizaci vlastností připravených sendvičových konstrukcí s přírodním jádrem. Konkrétně se práce zabývá změnou ohybových vlastností sendvičových struktur se dvěma materiálovými typy korkových jader, kdy jsou testovány různé varianty počtu vrstev prepregu a korku uvnitř struktury.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiály jsou definovány tím, že se skládají minimálně ze dvou a více chemicky i fyzikálně rozdílných složek. Ty se dělí na výztuže a matrice. Nespojitou složku tvoří výztuž, která vyniká tím, že je tvrdší, tužší a pevnější. Naopak matrice tvoří složku spojitou, bývá většinou poddajnější a plní zde funkci pojiva výztuže. V současné době se dá daný materiál zařadit mezi kompozitní materiály, splňuje-li dané kritéria:

- Musí být připraven ze dvou a více složek,
- Množství výztuže musí být nejméně 5 %,
- Výztuž se musí lišit od matrice svými mechanickými, fyzikálními i chemickými vlastnostmi (v tahu je výztuž výrazně pevnější). [1] [2]

### 1.1 Rozdělení kompozitních materiálů

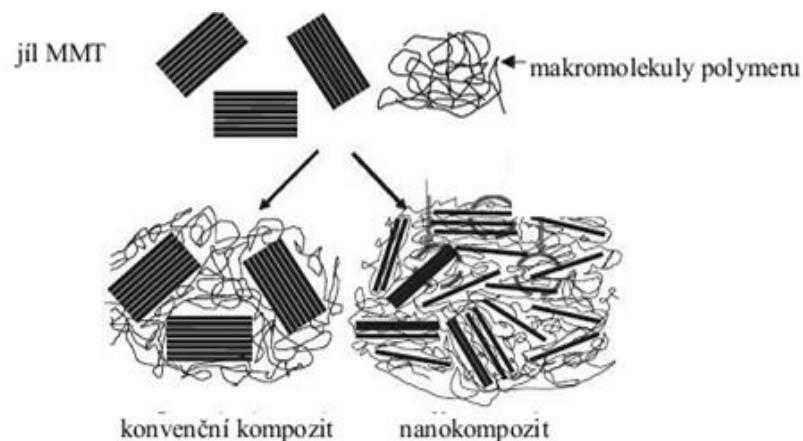
Kompozitní materiály se dají rozdělit podle mnoha kritérií. Dají se například dělit podle velikosti vyztužující fáze na makrokompozity, mikrokompozity a nanokompozity.

#### ➤ Makrokompozity

- Výztuže o velikosti příčného rozměru  $10^0$  až  $10^2$   $\mu\text{m}$ .
- Využití ve stavebnictví (železobeton, polymerbeton).
- Lze za ně brát i plátované kovy, vícevrstvé materiály a konstrukce (např. silnice).

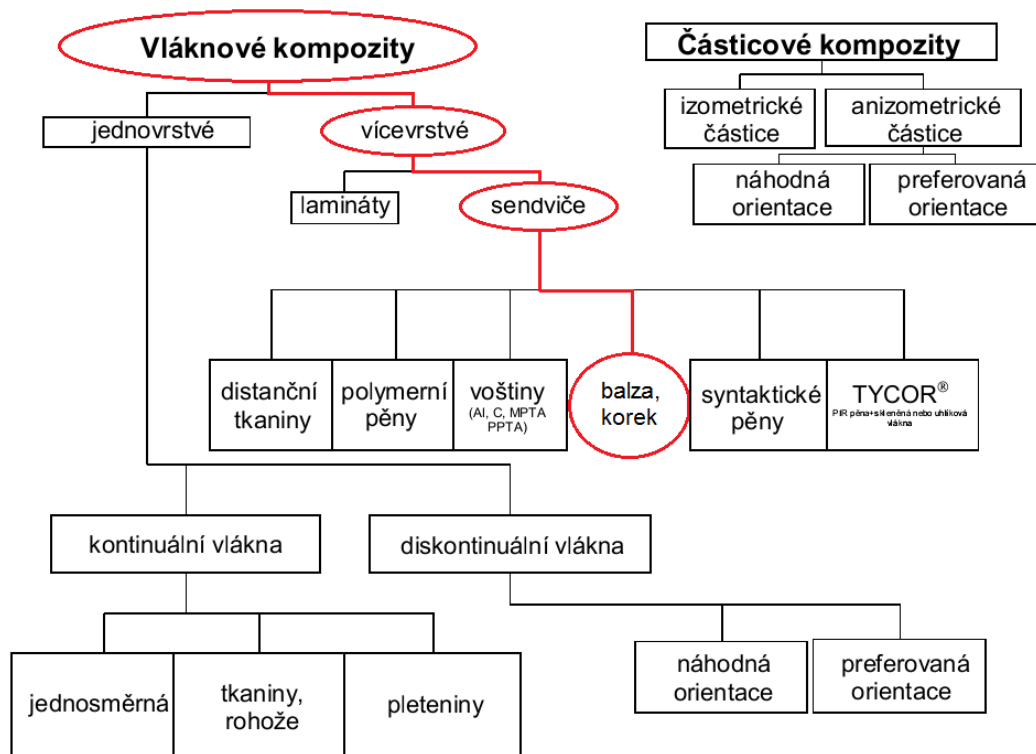
#### ➤ Nanokompozity

- Výztuže mají rozměry (průměr vláken i délku částic) v rozmezí jednotek nm.
- Odlišnost mikrokompozitu od nanokompozit, který má výztuž na bázi destičkových částic jílu, je vidět na následujícím obrázku (Obr. 1). [1] [2]



Obr. 1. Rozdíl mezi mikrokompozitem a nanokompozitem [2]

- Mikrokompozity
  - Dělí se na vláknové a částicové.
  - Příčné rozměry výztuže (vláken, částic) mají mikrokompozity  $10^0$  až  $10^2$   $\mu\text{m}$ .
  - Na rozdíl od kovů a slitin kovů je hustota mikrokompozitů menší a mají tudíž lepší poměr pevnosti v tahu a taky poměr modul pružnosti vůči hustotě je vyšší.
  - V průmyslu jsou nejvyužívanější. [3]



Obr. 2. Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže [1]

## 1.2 Matrice

Spojité složka, plnicí funkci pojiva výztuže a ochranu křehkých vláken, se nazývá matrice. Matrice má v kompozitním profilu úlohu spojovat dohromady výztuže, zařídit v příčném řezu vhodné rozmístění výztuže, aby mechanické vlastnosti byly co nejlepší. Matrice z polymerního materiálu je podstatně poddajnější než vlákna. Matrice má zároveň mnohem menší pevnost v tahu, než je pevnost v tahu vláken. Díky druhu matrice získává výsledný kompozit také další vlastnosti, jako například izolační vlastnosti, odolnost proti různým teplotám, proti korozi, ohni a žáru. [4] [2]

### 1.2.1 Funkce výztuže

- Zaručení geometrického tvaru a polohy vláken,
- Přenos namáhání na vlákna,
- Přenos namáhání z vlákna na vlákno,
- Chránění vlákna před vlivem okolí.

Nejčastěji používané pojivo je nenasycený polyester (UP), polyamid a polypropylen (termosty), epoxid (EP) a vinylester (VE). [2] [5]

Tab. 1. Vlastnosti různých druhů pryskyřice [5]

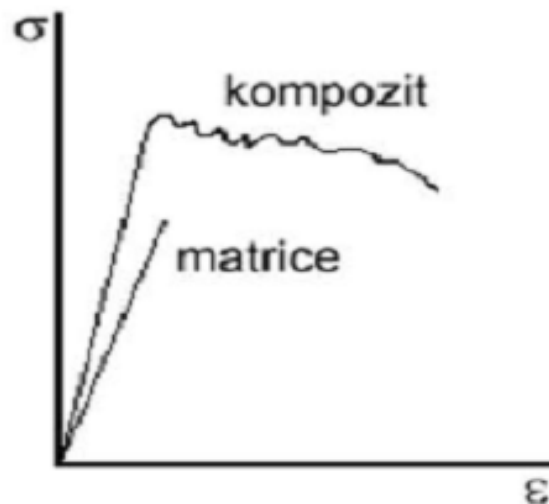
Druh pryskyřice	Epoxidové	Polyesterové	Fenolové	Polyamidové
Modul pružnosti $E_m$ [MPa]	4500	4000	3000	4000 - 19000
Poissonova konst. $\nu_m$ [-]	0,4	0,4	0,4	0,35
Modul pružnosti ve smyku $G_m$ [MPa]	1600	1400	1100	1100
Pevnost v tahu $\sigma_{pm}$ [MPa]	130	80	70	70
Hustota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1200	1200	1300	1400
Maximální teplota $T_{max}$ [°C]	90 - 200	60 - 100	120 - 200	250 - 300

### 1.3 Výztuž

Výztuž musí zajišťovat zvýšení mechanických vlastností, zejména pak požadovanou tuhost a pevnost. Záleží také i na elastických vlastnostech výztuže, proto také má výztuž na vlastnosti kompozitu klíčový vliv. Na vlastnosti kompozitních materiálů má velký podíl způsob a typ uložení. Pro porovnání vlastností matrice a kompozitu slouží tahový diagram (Obr. 3). [2]

Výztuž musí splňovat tyto podmínky:

- Vlákna výztuže musí mít větší pevnost než matrice,
- Materiál výztuže musí mít větší tuhost než matrice,
- Nesmí dojít dříve k poruše matrice než výztuže. [2] [4]



Obr. 3. Tahový diagram matrice a kompozitu [4]

Tab. 2. Vlastnosti různých druhů vláken [5]

Typ vlákna	Sklo	Aramid	HM - uhlík	Hliník	Ocel
Modul pružnosti v podélném směru $E_{fL}$ [MPa]	74000	130000	390000	75000	210000
Modul pružnosti v příčném směru $E_{fT}$ [MPa]	74000	5400	6000	75000	210000
Modul pružnosti ve smyku $G_{fLT}$ [MPa]	30000	12000	20000	30000	81000
Pevnost v tahu $\sigma_{fL}$ [MPa]	2100	3000	3800	500	1800
Hustota $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2500	1500	1700	2700	7850

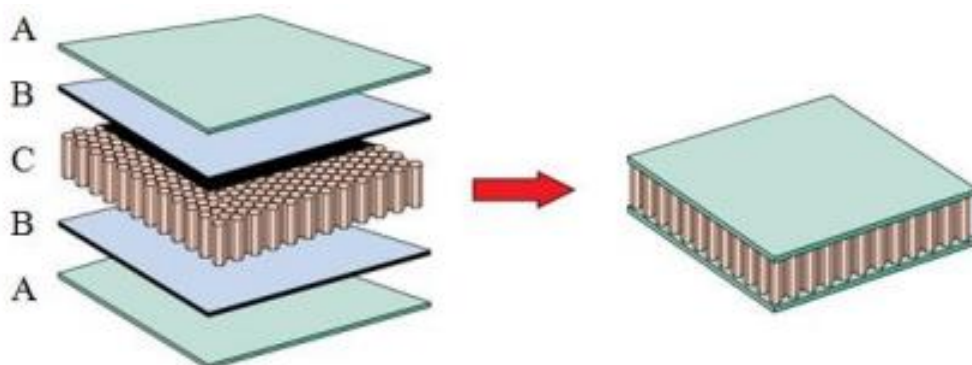
### 1.3.1 Druhy výztuže

- Vlákna (dlouhá a krátká)
- Rohože
- Tkaniny
- Kombinované výztuže
- Roving
- Úplety
- Trojrozměrné tkaniny – 3D tkaniny [6]

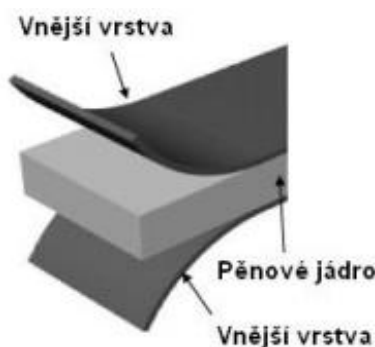
## 2 SENDVIČOVÉ STRUKTURY

Sendvičové struktury patří mezi poměrně nové a výkonné struktury a využití mají především ve vysoce technicky zaměřených průmyslech, jako je automobilový průmysl, kolejový průmysl, letecký průmysl, ale taky ve stavebnictví, kde se používají například jako izolační stěny. Využívá se především jejich nejvýhodnější vlastnosti, jakou je jejich nízká hmotnost ale přitom vysoká tuhost, odolnost proti poškození a pevnost. Sendvičové struktury se ovšem začínají uplatňovat ve spoustě nových odvětví průmyslu. [7]

Sendviče jsou mezi kompozity zvláštním druhem, který je složen ze dvou vnějších krycích vrstev a mezivrstvy (Obr. 4 a Obr. 5). Zatímco vnější vrstvy se vyznačují tenkostí a tuhostí, vnitřní vrstva (jádro) je několikanásobně tlustší a méně pevná. Hlavní výhodou sendviče je jeho nízká hmotnost, na které má zásluhu jádro, jež je typicky lehké. Jádro má za úkol přenášet smykové zatížení mezi vnějšími krycími vrstvami. Vnější krycí vrstva má funkci zlepšovat mechanické vlastnosti a to hlavně tuhost a pevnost. Oproti běžným laminátům mají sendvičové struktury mnohem větší tuhost, pevnost a izolační účinky. Jejich hmotnost je přitom mnohem menší. Sendvičové struktury jsou taky rázu vzdorné. [6,7]



Obr. 4. Sendvičový panel (A - vnější vrstva, B - adhezní vrstva, C – jádro)[8]



Obr. 5. Sendvičová struktura s pěnovým jádrem [9]



## 2.1 Vlastnosti sendvičové struktury

Aby byla struktura sendviče efektivní, musí se skládat ze dvou tuhých a pevných potahů, jež jsou zatěžovány tlakovými a tahovými silami a z jádra s nízkou hustotou, které je schopno přenášet smykové síly mezi potahy.

Struktury ze sendvičů jsou nejvíce využívány v dopravě a letectví, kvůli jejich vysoké ohybové pevnosti a tuhosti při nízké hmotnosti. [11]

Další výhody:

- Odolnost proti rázům,
- Tepelné izolace,
- Akustické izolace,
- Voděodolnost (těsní i páru),
- Vzduchotěsnost,
- Rychlá montáž,
- Velká životnost,
- Malé náklady na údržbu,
- Možnost snadné výměny nebo případné opravy při poškození,
- Odolné proti povětrnostním vlivům a agresivním prostředkům (díky povrchovým úpravám krycích vrstev).

Některé nevýhody:

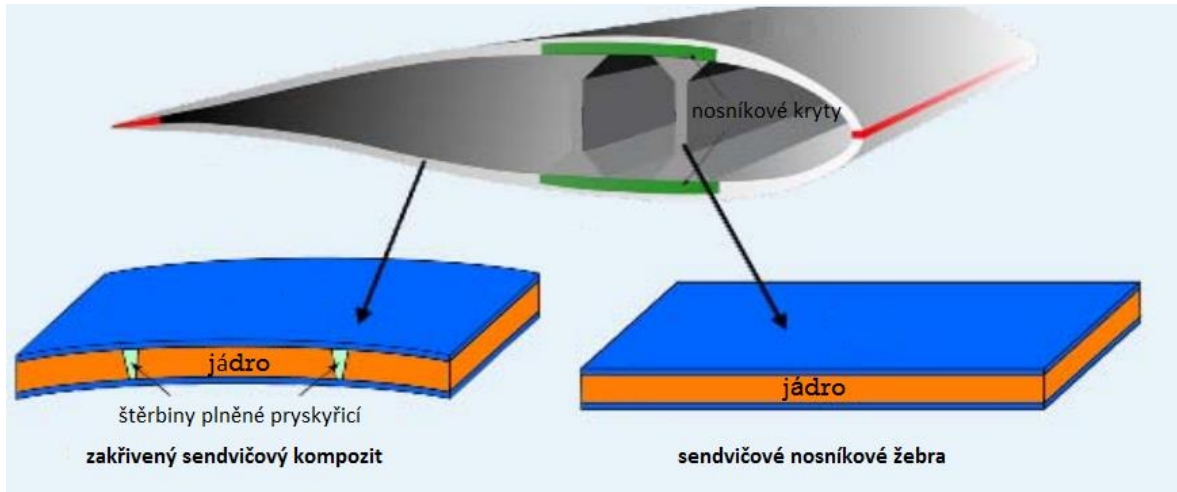
- Deformace v případě vystavení například silnému slunečnímu záření (nebo jinému tepelnému namáhání),
- V trvalém zatížení prvků s pěnovými jádry vzniká creep,
- Vysoká hořlavost pěnových a plastových jader,
- Nízká tepelná kapacita. [10,12]

## 2.2 Použití sendvičových materiálů

### 2.2.1 Letecký průmysl

V letectví se sendvičových struktur začíná využívat čím dál více, kvůli využití jejich hlavní přednosti, jako je velmi vysoká ohybová pevnost a docílení velké tuhosti při nízké hmotnosti. Sendviče se využívají při výrobě konstrukce letadla a u spousty leteckých prostřed-

ků, jako jsou křídla, vrtule, podvozek, podlahové desky a dveře. V interiéru letadla pak jde například o sedadla a palubní mechanizmy. Na Obr. 6 a Obr. 7 je možné vidět konkrétní aplikace sendvičových struktur v této oblasti průmyslu. [13]



Obr. 6. Využití sendvičového kompozitu křídle letadla [14]



Obr. 7. Obložení dveří letounu airbus [1]

### 2.2.2 Lodní průmysl

Sendvičů se využívá také při výrobě lodí, kde mají velké využití sendvičové kompozity s pěnovým jádrem splňující požadavky na vzpěr a vyhovující je i jejich odolnost vůči mořské vodě. Lze vyrábět moderní designové lodě. Vyrábí se z nich například sloupky, přepážky, paluby, příčníky a nábytek na lodi, což můžeme vidět na Obr. 8. [13]



Obr. 8. Plachetnice Derek 26; trup i paluba ze sendvičové konstrukce [15]

### 2.2.3 Stavební průmysl

Sendvičové struktury se vyznačují výbornou tepelnou izolací. Proto jsou zejména pěnové sendviče využívány ve stavebnictví. Tady se opět využívá jejich nízká hmotnost a zároveň velká pevnost, nízká navlhavost materiálu, odolnost vůči UV záření a povětrnostním vlivům, výborná odolnost vůči korozi, dlouhá životnost a spousta dalších pozitivních vlastností. Je možné najít spoustu konkrétních využití ve stavebnictví, jako je například zábradlí, komponenty pro stavbu lešení, venkovní obložení a díly střech, kancelářské příčky, žebříky, schodiště a mnoho dalších. [16]

### 2.2.4 Automobilový průmysl

I v automobilovém průmyslu se čím dál více uplatňují sendvičové struktury, kde mají velký podíl na dnešním trendu odlehčovat automobily. Dílce ze sendvičů snižují nároky na údržbu materiálu, protože mají velkou odolnost vůči korozi a poškození chemikáliemi.

Nejčastěji se vyrábějí nárazníky, dveře, podlahy, panely, ale také střechy a přívěsy k automobilům a autobusům (Obr. 9 a 10). [13][17]



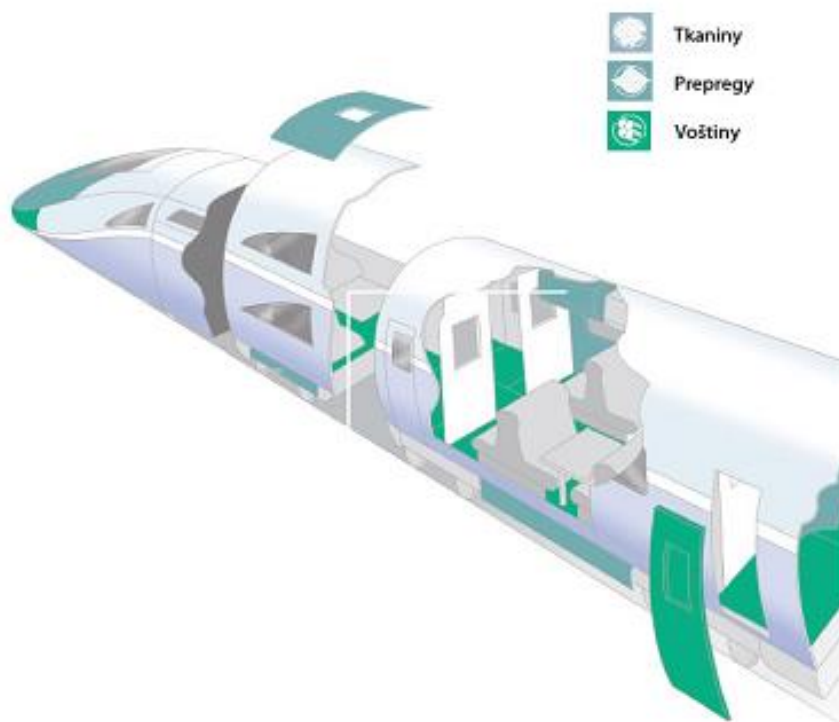
Obr. 9. Sendvičová konstrukce střechy autobusů[8]



Obr. 10. Pagani Zonda – velké využití sendvičových pevnostních struktur a laminátových krycích panelů [19]

### 2.2.5 Železniční průmysl

V železniční dopravě se využívá vyztužených plastů ve velkém měřítku, protože se zde stejně jako u automobilového průmyslu využívá nízké hmotnosti kompozitu, vysoké pevnosti, nevodivosti, nehořlavosti a v neposlední řadě lehká manipulace a malé nároky na údržbu. Ze sendvičů se do vlaků vyrábí různé panely a nejvíce se vyskytují v interiéru vagonů (Obr. 11 a 12). [13]



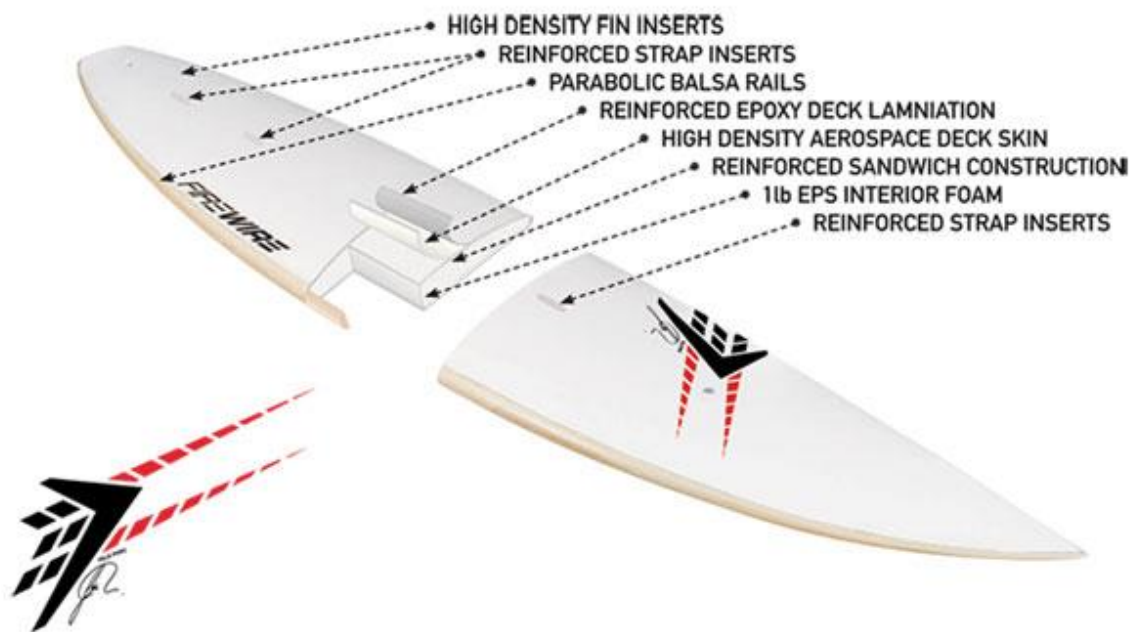
Obr. 11. Využití sendvičových a laminátových struktur ve vlaku od firmy Hexel[18]



Obr. 12. Lehký korkový modulární podlahový systém [20]

### 2.2.6 Další využití

- Sendviče se používají například i ve vojenství (součásti tanků, obrněných vozidel).
- Využití mají také ve sportu, například při výrobě lyží nebo surfovacích prken (Obr. 13) [8]



Obr. 13. Surfovací prkno ze sendvičového kompozitu [21]

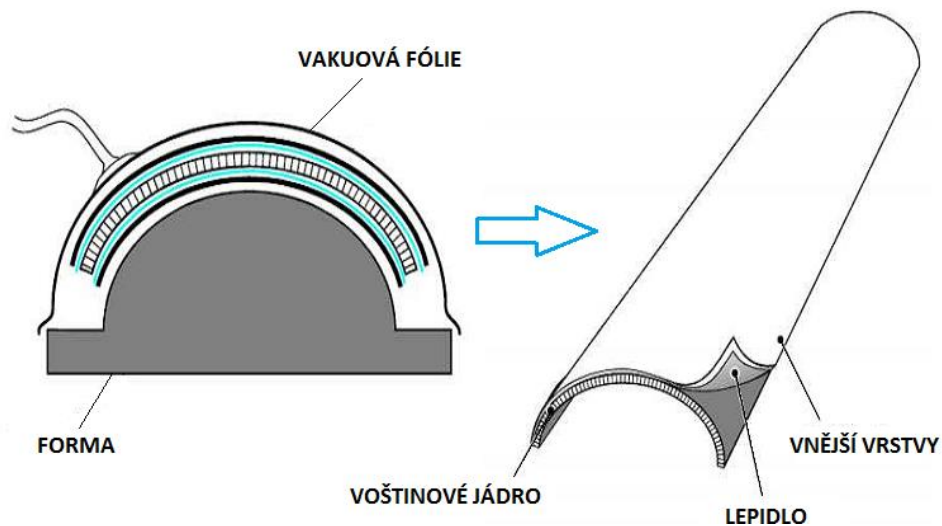
## 2.3 Výroba

Volba technologie výroby je důležitý krok při návrhu samotných sendvičových dílců. Volba se provádí tím způsobem, aby výsledné vlastnosti sendvičových konstrukcí, jako je pevnost, tuhost, houževnatost nebo třeba tepelná odolnost, byly co nejlepší a odpovídaly požadavkům dané oblasti použití. Důležité jsou také náklady na výrobu a následná cena sendvičových kompozitů. Výrobních technologií existuje veliké množství, v následujícím textu jsou vybrány pouze ty, které se používají pro výrobu sendvičových kompozitů s prepreg krycími vrstvami. [22]

### 2.3.1 Vytvrzování v peci za pomoci vakua

Nejdříve se vyrobí sendvičová konstrukce, která je poskládána z jednotlivých částí a materiálů. Jednotlivé vrstvy se pokládají do formy, která má tvar budoucího sendvičového kompozitu. Nakonec se položí poslední konstrukční vrstva, kterou je odsávací tkanina. Ta

má za úkol odsávat přebytečné množství pryskyřice. Takto sestavená sendvičová konstrukce (Obr. 14) se překryje vakuovou fólií, která je uchycena oboustrannou páskou na těsnění a vloží se do vytvrzovací pece. Jako vnější vrstvy u této technologie jsou nejvhodnější prepregy nebo kovové desky. Jádrovým materiálem bývá nejčastěji z voštin, pěny, nebo i přírodního materiálu. [23]



Obr. 14. Vytvrzování sendvičů ve vakuové peci [23]

### 2.3.2 Vytvrzování v autoklávu

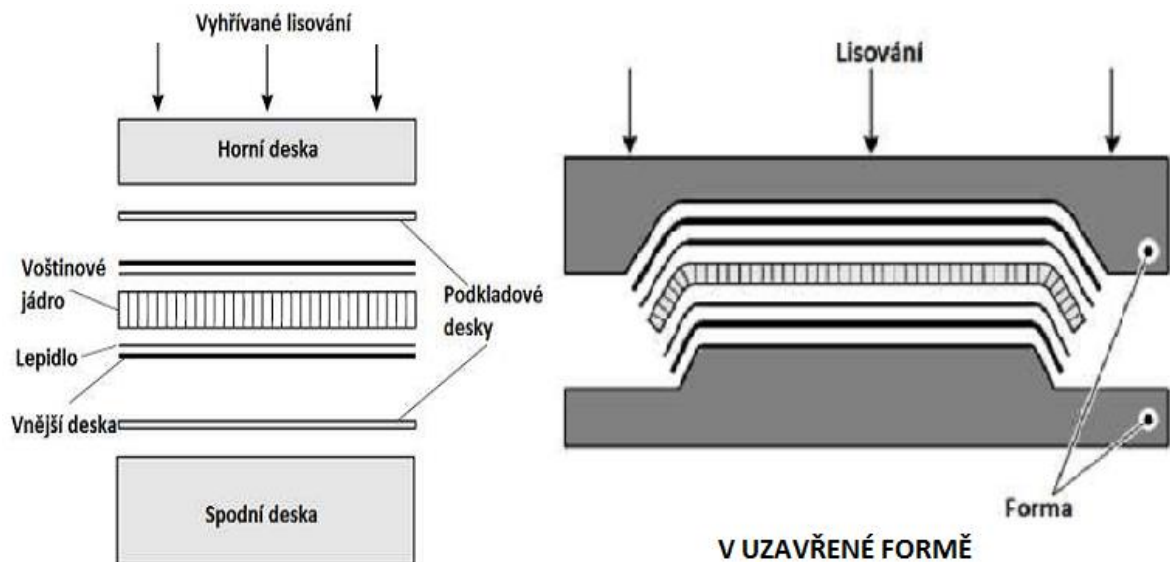
V autoklávu (Obr. 15) se vytvrzují velkorozměrné konstrukce (nejčastěji do leteckého průmyslu), kde musí být vždy jako výchozí materiál prepreg. Ten vyžaduje vytvrzování za vysokých teplot. Poskládaná sendvičová konstrukce, která se skládá stejně jako u vytvrzování v peci za pomoci vakua, se uloží do autoklávu a jako první krok se provede tzv. evakuace podtlakem (asi 0,08 MPa). Následně se hodnota tlaku zvedne přibližně na 0,6 MPa. Autokláv se zahřívá na teplotu v rozmezí 130°C až 200°C, přičemž nastává vytvrzování pryskyřice. V autoklávu dochází k přetlaku z důvodu přitlačení jednotlivých vrstev prepregu, což způsobí minimální množství přebytečné pryskyřice v sendvičovém kompozitu. [22]



Obr. 15. Autokláv [24]

### 2.3.3 Lisování ve vyhřátém lisu

Jde o metodu výroby sendvičových konstrukcí, kde se mezi desky lisu vloží vnější prepregované desky, případně tenké hliníkové plechy, na které se následně položí fóliové lepidlo. Doprostřed se potom vloží jádro. Takto nachystaná konstrukce (Obr. 16) se následně zalisuje ve vyhříváném lisu. Pokud potřebujeme docílit lepší povrchové úpravy a lepší přesnosti je nejlepší využití metody lisování ve vyhřátém lisu s uzavřenou formou (Obr. 16). [23]



Obr. 16. Lisování ve vyhříváném lisu [23]



### 3 PŘÍRODNÍ JÁDROVÉ MATERIÁLY

Přírodní jádra v sendvičových kompozitech jsou z pravidla na bázi dřeva. Dřevo můžeme považovat za přírodní včelí plástve, jelikož struktura je v mikroskopickém měřítku velmi podobná jako u buněčné hexagonální struktury syntetických voštin. U sendvičových konstrukcí jsou vlákna dřeva kolmo k rovině potahu a jejich vlastnosti jsou podobné jako u umělých nebo syntetických voštin. Nevýhodou dřevěných jader je, že jsou i přes různé chemické ošetření stále náchylné k absorpci vlhkosti a hnilobě. Je nutno jádro dobře uzavřít v laminátu nebo pryskyřici. [25]

Pro materiál jádra jsou hlavní požadavky následující:

- Nízká hustota,
- Vysoká smyková pevnost a tuhost,
- Dobrá pevnost v tlaku,
- Absorbování vody,
- Odolnost proti vysokým teplotám,
- Tlumící schopnosti,
- Izolační vlastnosti. [25]

#### 3.1 Balzové dřevo

Balzové dřevo je přírodní dřevěný produkt, který je získáván z rychle rostoucích balzových stromů a taky je považováno za nejlehčí dřevo ze všech dřev na světě. Stromy se kácí po 6 až 10 letech, kdy dosahují výšky 18 až 30 metrů a kmen má průměr 30 – 110 centimetrů. Balzové dřevo má světlou barvu, nejčastěji se objevují odstíny šedé, světle hnědé nebo bílé. Vyskytuje se v Jižní Americe a 95% produkce pochází z Ekvádoru. [25]

Struktura balzového dřeva se vyznačuje nezvykle velkými protáhlými a uzavřenými buňkami, které jsou vyplněny vodou. Proto se buňky vysušují a po vysušení obsahují vlákna celulózy v ligninové matrici. Tento přírodní kompozit má hustotu 40 – 340 kg/m<sup>3</sup>. Nejčastěji se hustota pohybuje okolo 160 kg/m<sup>3</sup>. [25]

Balzové jádro je z pravidla k dispozici ve formě tvarových desek o tloušťce 3 – 50 mm na podložce tkaniny a v pevných deskách je do tloušťky až 100 mm. Tyto desky (Obr. 17) jsou nachystány na prepregy, vakuové laminování nebo na výrobní proces RTM. Balza

může při laminování pojmout velké množství pryskyřice. Její využití je často na projektech, kde se nevyžaduje úspora hmotnosti, nebo tam kde je sendvič vysoce namáhán. [25]



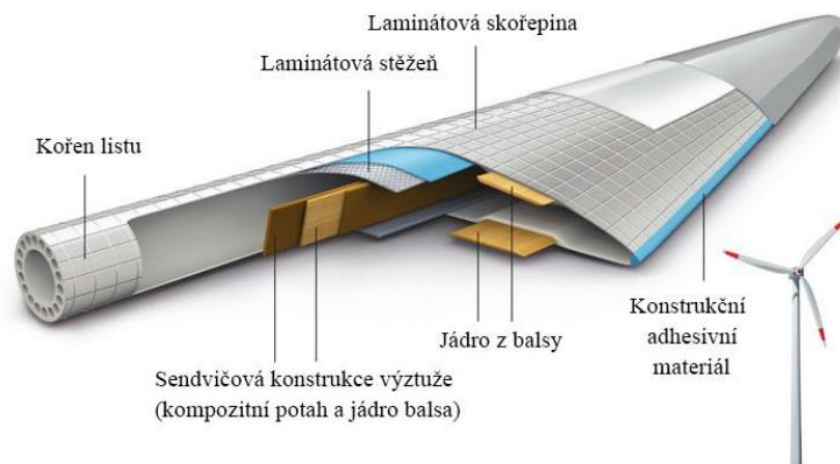
Obr. 17. Tvarované desky z balzy [26]

➤ **Vlastnosti balzového dřeva:**

- Nehoří, spíše pomalu doutná, vyšší odolnost vůči ohni než ostatní materiály jader,
- Na rozdíl od polymerních pěn teplem neměkne,
- Menší tepelná vodivost než polymerní pěny a proto je dobrým tepelným izolantem,
- Oproti voštinám jsou buňky dřeva uzavřené, tudíž je možné sendvičové panely vyrábět například infuzí pryskyřice,
- Vysoké tlakové vlastnosti,
- Vynikající akustická izolace,
- Nedeformuje se při zahřívání,
- Nabízí snadné zpracování jednoduchými nástroji a zařízením. [11]

➤ **Použití:**

- Dopravní průmysl,
- V lodním průmyslu, zejména u lodních trupů a palub,
- Listy větrných turbín (Obr. 18). [11]



Obr. 18. Aplikace balsy v listech větrných turbín [27]

## 3.2 Korek

Sendvičové konstrukce s pěnovým jádrem jsou hojně používané u mnoha konstrukcí díky jejich mechanickým vlastnostem a nízké hmotnosti. Bohužel, tyto struktury mají obvykle velmi špatné akustické vlastnosti a na trhu je stále větší poptávka po zmírňování hluku v sendvičových strukturách. A právě tady je velmi vhodný korek jako jádrový materiál. Korkové sendvičové konstrukce s uhlíkovým vláknem jsou až o 250% lepší na tlumení hluku než sendviče s pěnovým jádrem. Prokazují taky zvýšenou odolnost a životnost. Navíc je korek i velmi výhodný díky jeho ekologické šetrnosti, jelikož je to přírodní a obnovitelný zdroj. [28] [29]

### 3.2.1 Zpracování surového korku

Korek je přírodní produkt, který získáváme loupáním kůry korkového dubu nebo korkovníku amurského. Jelikož jsou tyto stromy schopny svou kůru obnovit každých 9 až 12 roků, jedná se o přírodní obnovitelný zdroj. Dub korkový se vyskytuje v oblasti západního Středomoří, na Pyrenejském poloostrově a v severní Africe. Největší těžbu korkového dubu pak vykazuje Portugalsko. Poprvé se loupání u stromu může provádět asi po 25 letech od výsadby. Kůra se po sklizni volně uloží na 6 až 12 měsíců ve velkých hromadách (Obr. 19). Až po tom se můžou začít provádět jednotlivé fáze výroby. Kůra se musí nejdříve asi hodinu vařit, aby se vyloučili třísloviny a přítomné mikroorganismy. Jednotlivé kusy musí být drženy stále pod hladinou a postupným utahováním docílíme jejich vylisování. Kůra

tak ztrácí své přirozené zakřivení a formuje se do tvaru desky. Podle síly a kvality se potom vyrobené desky třídí. [28] [29]



Obr. 19. Dub korkový po sklizni [32]

### 3.2.2 Produkce 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. [29]

### 3.2.3 Vlastnosti a složení korku

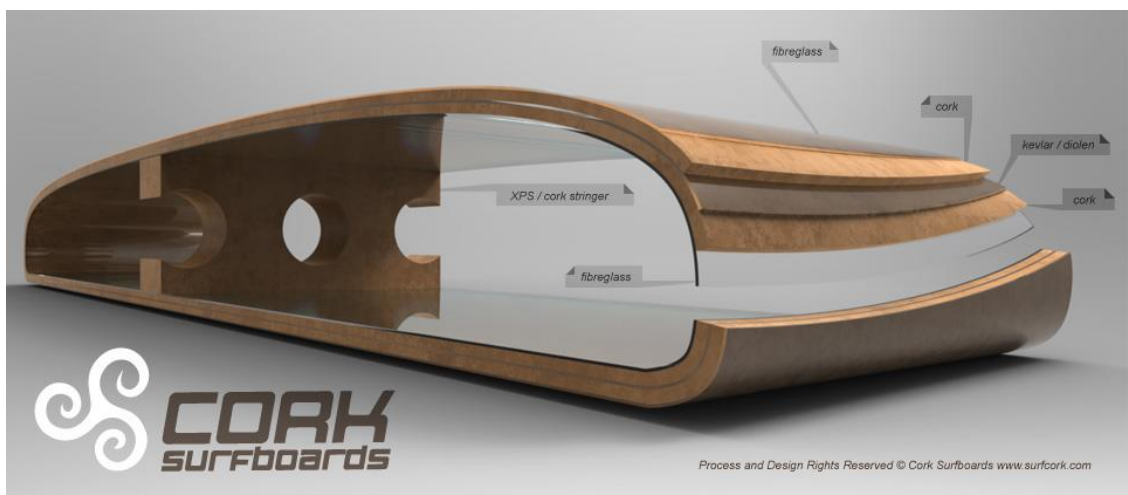
Použití korku je velmi rozmanité díky tomu, že je velmi dobrým izolantem a je schopný odolávat poměrně vysokým teplotám (až 120 °C). Zároveň je taky korek velmi lehký a pružný.

- Fyzikální vlastnosti:
  - Hustota korku je 480 – 520 kg/m<sup>3</sup>
  - Tepelná vodivost korku je 0,04 – 0,05 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
  - Měrná tepelná kapacita korku je 2100 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
  
- Skládá se z následujících složek:
  - Suberin - asi 45 % – je to přírodní polymer, díky kterému je korek pružný
  - Lignin - asi 27 % - způsobuje zpevnění buněčných stěn

- Polysacharidy - 12 %
- Taniny - asi 6 % - určuje barvu korku
- Ceroidy - asi 5 % [29] [31]

### 3.2.4 Použití korku

- Sportovní příslušenství (například surfovací prkno na Obr. 20)
- Dopravní průmysl (Obr. 21)
- Lodní průmysl
- Kosmický průmysl (tepelné kryty v raketoplánech)
- Listy větrných turbín
- Izolace
- Různé dekorativní účely [29]



Obr. 20. Korkové surfovací prkno [30]

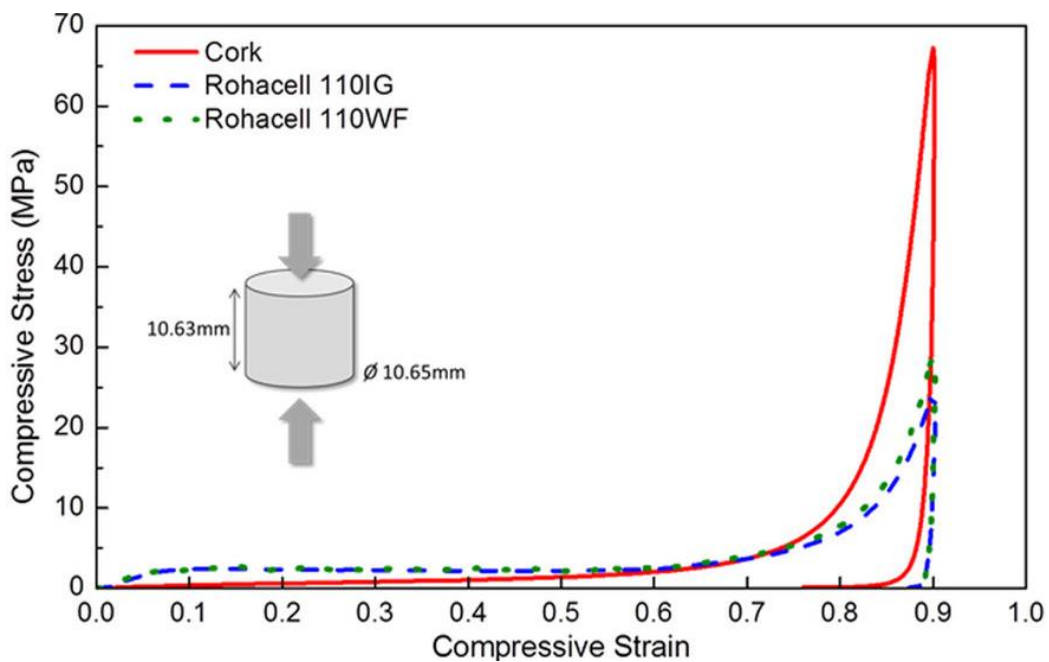


Obr. 21. Využití korkového jádra ve vlaku [33]

### 3.2.5 Porovnání korku s pěnou Rohacell

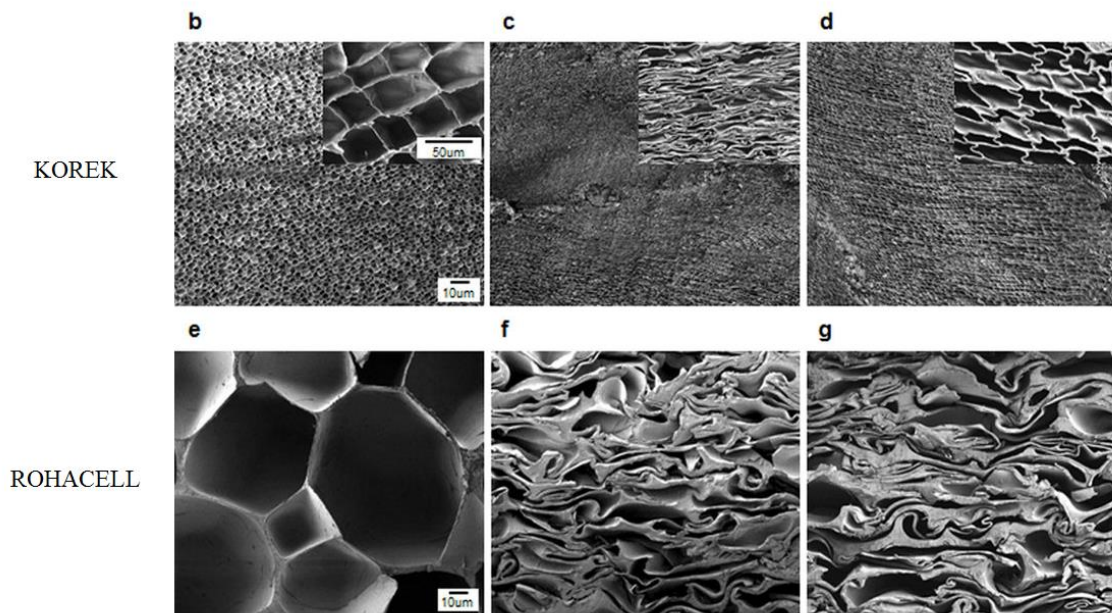
#### ➤ Zkouška tlakem

Korek i pěna Rohacell mají podobnou buněčnou mikrostrukturu. Nicméně zatímco pěna Rohacell má velikost buňky v rozmezí 309-824  $\mu\text{m}$ , korek má významně menší velikost buněk, přibližně 41  $\mu\text{m}$ . Korek se taky může pochlubit menší tloušťkou buněčné stěny, která je 1,04  $\mu\text{m}$ , zatímco u pěn Rohacell 110 IG a Rohacell 110 WF je tloušťka 18,8 a 26,3  $\mu\text{m}$ . Při tlakové zkoušce vykazuje korek i oba typy pěny nelineární pružné chování. Rozdíl mezi pěnou a korkem je z grafu (Obr. 22) zřejmý na první pohled. Korek se vyznačuje výrazně vyšší absorpcí energie při vyšším tlaku. [34]



Obr. 22. Závislost tlakového napětí na stlačení [34]

Obr. 23 ukazuje buněčnou strukturu před zatížením (b,e), při zatížení (c,f) a po ukončení zatížení a uplynutí tzv. relaxačního času. Jde zřetelně vidět, že buňky korku mají velkou tendenci vracet se do původního tvaru, zatímco buňky pěny Rohacell neprokazují žádnou změnu po uplynutí relaxačního času a zůstávají ve stejném tvaru jako při zatížení. [34]

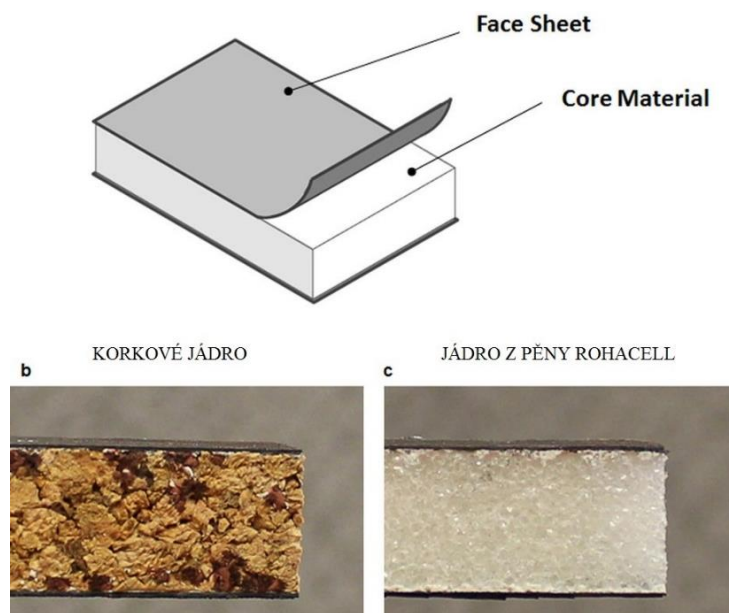


Obr. 23. mikroskopické záběry před a po zatížení [34]

Na základě výše uvedených připomínek, je třeba poznamenat, že korek vykazuje exkluzivní vnitřní vlastnosti, jako nelineární pružnost, velká odolnost proti deformacím a taky mimořádná schopnost obnovy ve srovnání s vysoce výkonnými syntetickými pěny. [34]

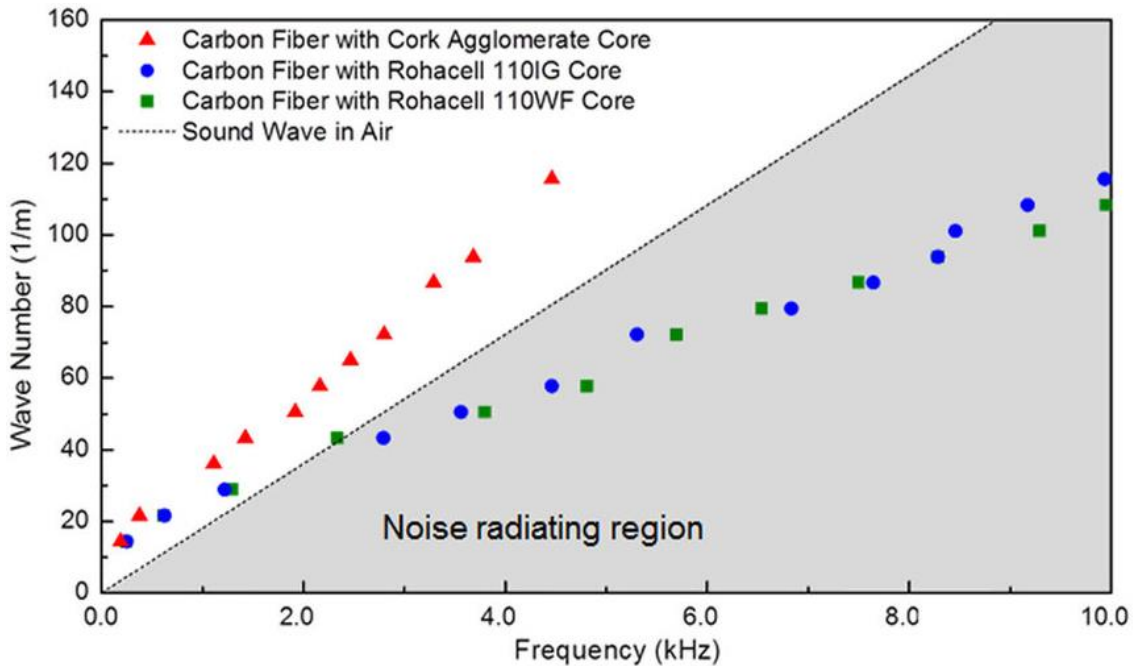
#### ➤ Zkouška akustických vlastností

Porovnávané kompozity jsou z uhlíkových vláken a příslušného jádra. (Obr. 24)



Obr. 24. Korkové a pěnové jádro [34]

Na následujícím obrázku (Obr. 25) jde vidět působení vlnové délky a propustnost frekvence jednotlivými kompozity. Šedá část na pravé straně vyznačuje oblast vyzařující hluk. Zatímco oba typy Rohacell přecházejí do oblasti hluku už kolem 2,5 kHz, přírodní korek do oblasti hluku vůbec nevstoupí a je tak v tomto rozsahu bez šumu. [34]



Obr. 25. Závislost vlnové délky na frekvenci [34]

Díky této výhodě může být korek aplikován ve spoustě případů, ale především v poslední době vzbudil velký zájem u výrobců lopatek větrných turbín. Během provozu lopatky větrných turbín vyzařují hluk dosahující kolem 100 dB a až 3600 Hz, což má za důsledek velké nepříjemnosti pro obyvatele žijící v blízkosti větrných turbín. Ty pak musí v souladu se zákonem být daleko od měst a obytných oblastí. Korkové kompozity však můžou výrazně zlepšit akustické vlastnosti turbín a tak napomoci k vyřešení tohoto problému. [34]



## 4 ZKOUŠKY SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ

Mechanické vlastnosti jsou již finální vlastnosti konkrétního materiálu. Určují, je-li daný materiál vhodný pro potřebnou funkci a využití v praxi. Neustálé poznávání a zlepšování mechanických vlastností je motivováno jejich co nejvíce efektivním využitím u dílců a konstrukcí.

Mechanické zkoušky je možné rozdělit do několika skupin podle způsobu působící síly na zkoušené těleso:

- Zkoušky statické – ty pak ještě dělíme na zkoušky za normálních teplot a zkoušky za zvýšených teplot,
- Zkoušky dynamické – rozdělujeme na zkoušky rázové a cyklické.

Zjišťování a měření mechanických vlastností může mít různé důvody a cíle. Mezi nejčastější a nejstarší patří získávání údajů pro konstruktéry. Taky se mechanické vlastnosti využívají jako prokázání kvalit materiálu. Často bývají kritériem pro výstupní kontrolu, nebo pro přejímku materiálu například mezi firmami. V neposlední řadě se s mechanickými vlastnostmi pracuje v materiálovém výzkumu, kde je usilováno o porozumění a vysvětlení mechanického chování a jednotlivých mechanických vlastností. [35]

### 4.1 Zkouška ohybem

Význam ohybové zkoušky pro houževnaté materiály není příliš velký, v porovnání s ostatními mechanickými zkouškami, jelikož tělesa se deformují, ale není možno stanovit výslednou pevnost, protože nedochází k lomu. Svůj význam má ale zkouška ohybem u křehkých materiálů, kde lze určit deformační schopnost z průhybu, což není možné při zkoušce tahem, neboť prodloužení vyvolané napětím vznikne jen velmi nepatrně a je těžké ho změřit. [35]

Pokud působí síla  $F$  uprostřed zkoušeného tělesa, potom při vzdálenosti  $l$  je maximální ohybový moment popsán vztahem:

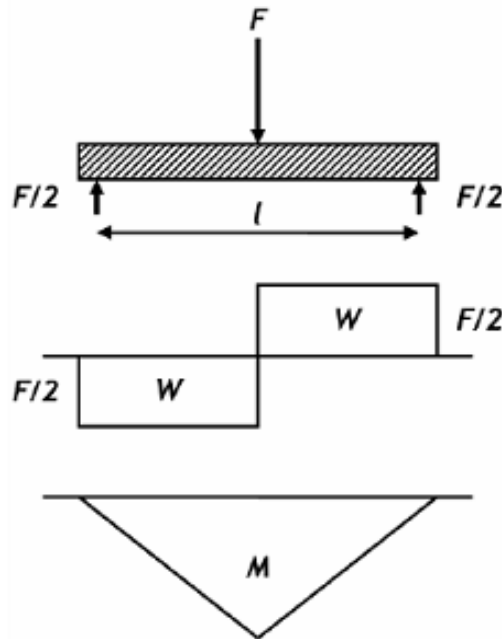
$$M_{omax} = \frac{F \cdot l}{4} \quad (1)$$

Maximální napětí se stanoví ze vztahu:

$$\sigma_{omax} = \frac{M_{omax}}{W_0} \quad (2)$$

➤ **Zkouška třibodovým ohybem**

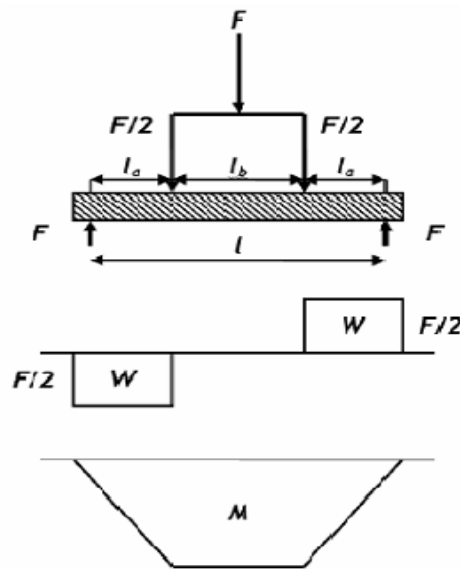
Testované těleso je při třibodovém ohybu podepřeno jako nosník na dvou podporách (Obr. 26) a je prohýbáno trnem o konstantní rychlosti. Ve zkušebním tělese tak nastává napjatost s maximálním zatížením a přesně daným místem lomu v bodě zatížení, které je uprostřed rozpětí podpěr tak dlouho, dokud se těleso nedeformuje na předem stanovené hodnoty, nebo dokud se nezlomí. [35]



Obr. 26. Průběh ohybového momentu u nosníku na dvou podporách [35]

➤ **Zkouška čtyřbodovým ohybem**

Čtyřbodový ohyb se liší od třibodového ohybu v přidání druhého trnu. Zkoušené těleso je prohýbáno dvěma trny, které jsou symetricky umístěny, což má za důsledek, že ohybový moment  $M_0$  je konstantní po celé délce tělesa (Obr. 27). Snižuje se tím výrazně lokální zatížení, po kterém může vzniknout místní promáčknutí. [35]



Obr. 27. Průběh ohybového momentu u čtyřbodové zkoušky ohybem [35]

V dolních vláknech je ohybovým momentem vyvoláván tlakem, zatímco horní vlákna jsou zatěžována tahem. V případě symetrického průřezu je v ose zkušebního materiálu neutrální vrstva. Platí ale pouze pokud má materiál krycích vrstev stejné vlastnosti v tlaku a v tahu. [35]

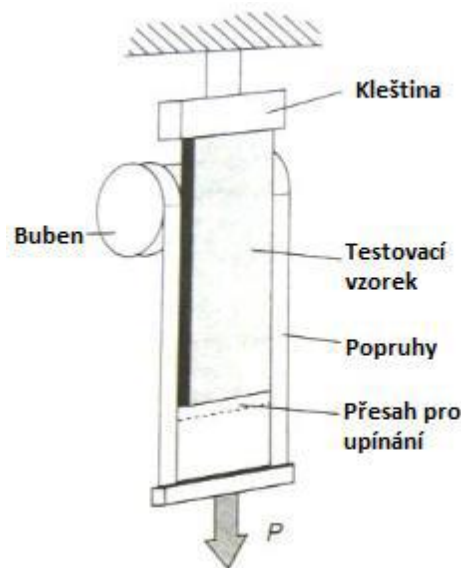
## 4.2 Testy soudržnosti vrstev

Při téhle zkoušce je zkoumána a vyhodnocována odolnost lepených spojů, tedy soudržnost jádra sendvičové struktury s vnější vrstvou. Test probíhá za stanovených zkušebních podmínek. Mezi základní typy odlupovacího testu patří zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu, zkouška odlupem konzolou v tahu, zkouška za pomoci tlaku a vzduchu a zkouška soudržnosti tahem naplocho. Testy soudržnosti jsou popsány normou ASTM D 1781-93. [36]

### 4.2.1 Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu

Jedná se o zkoušku odlupu za pomoci navíjecího bubnu. Metoda je vhodná především pro tenčí vnější vrstvy. Z ohybu vnější vrstvy a ze síly potřebné k oddělení vnější vrstvy od jádra lze vypočítat kroutící moment odlupování. Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu je vyobrazen na Obr. (28) a této obecné podobě musí odpovídat. Vzorky mají doporučené rozměry. Na délku musí mít nejméně 305 mm, ke kterým se ještě přidává přesah 25 mm vnější plochy na každém konci. Šířka vzorku je potom stanovena na 76 mm. Rozměr jádra

není důležitý, jediné kritérium je, že po dobu odlupování vnější vrstvy se nesmí zkoumaný vzorek ohýbat. [36]



Obr. 28. Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu [36]

#### ➤ Postup testování

Horní konec musí být bezpečně upnut v kleštině. Na spodním konci je vnější plocha upnutá k bubnu. Po bezpečném upnutí lze začít vzorek zatěžovat tahem při konstantní rychlosti. Ze zkušební sestavy se poté po délce alespoň 140 mm určí odolnost vůči odlupování.

Průměrný odlupovací moment se vypočítá podle vzorce:

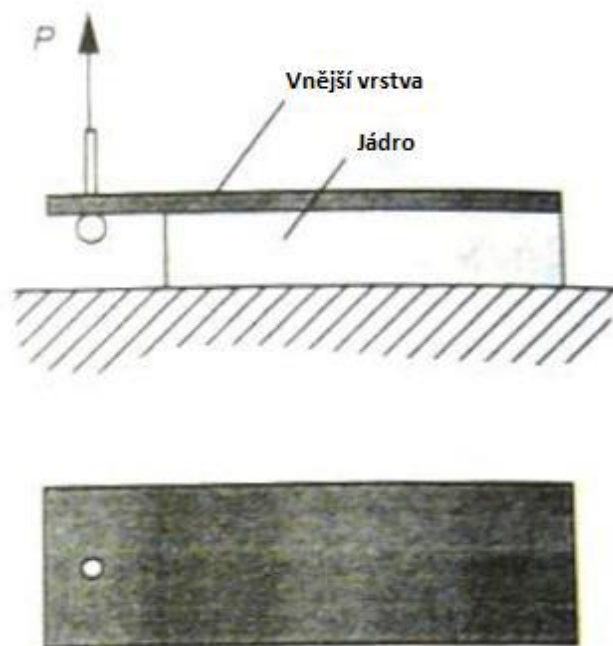
$$T = \frac{(r_o - r_i)(F_p - F_0)}{W} \quad (3)$$

kde  $W$  je šířka vzorku, poloměr obruby pásků se značí jako  $r_o$  (včetně poloviny tloušťky zatížených pásků) a poloměr bubnu  $r_i$  (včetně poloviny odloupené vnější vrstvy),  $F_p - F_0$  je bráno jako průměrné zatížení, které je potřeba k ohnutí a odloupení vnější vrstvy, zatížení vyžadující překonání kroučící moment se potom značí  $F_0$ . [36]

#### 4.2.2 Zkouška odlupem za pomoci konzole

Metoda je vhodná i pro kompozity s větší tloušťkou vnější vrstvy.

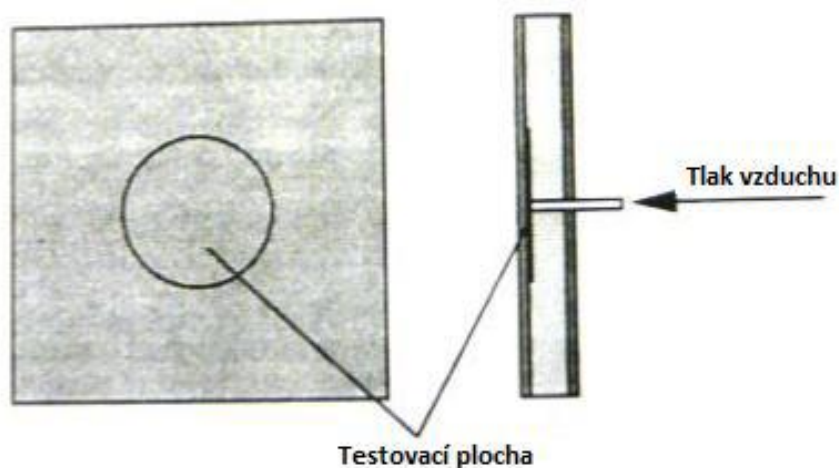
Ze vzorku určeného k testování je nejprve vyfrézováno část jádra, potom je upnut směrem dolů. Vnější vrstva vytvoří převis, kde bude následně zavedeno zatížení (Obr. 29). Ani zde není rozhodující tloušťka jádra, ale i přesto je vzorek vázán k ocelové desce, aby nevznikl ohyb sendviče během odlupování vnější vrstvy. [36]



Obr. 29. Zkouška odlupem za pomoci konzole [36]

#### 4.2.3 Zkouška za pomoci tlaku a vzduchu

Zkouška se dělá na vzorku s počáteční kruhovou delaminací ve středu (Obr. 30). Na povrchu jádra se vytvoří tenká vrstva teflonu, které zde vytvoří počáteční delaminaci. Zavede se trubička k připravené tenké vrstvě a za její pomoci je přiváděn tlakový vzduch dovnitř sendvičového kompozitu. Pomocí redukčního ventilu můžeme korigovat tlak. V momentě začínajícího se odlupování vnější plochy od jádra se zaznamená hodnota tlaku. [36]



Obr. 30. Zkouška za pomoci tlaku a vzduchu [36]

#### 4.2.4 Zkouška soudržnosti tahem naplocho

Ze sendvičových panelů se vyřeže testovací vzorek, který se upevní v kovových čelistech za pomoci lepidla, jenž musí splňovat odpovídající kritéria. Jedna z kovových čelistí je pevně uložena, zatímco druhá je na pohyblivé části stroje. Ta potom sendvič vystavuje namáháním na tah (Obr. 31). Sendvičové panely jsou nařezány na rozměry 50 x 50 mm případně 75 x 75 mm, v závislosti na velikosti buněk jádra. [37]



Obr. 31. Zkouška soudržnosti tahem naplocho [38]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE PRÁCE

V praktické části této bakalářské práce je cílem vybrat vhodné materiály, vhodně navrhnout, vyrobit a následně otestovat kompozitní sendvičové konstrukce s přírodním jádrem. Při testování jde o porovnání ohybových vlastností struktur s dvěma typy korkových jader a s různými variantami počtu vrstev prepregu ve struktuře.

- Výběr vhodných materiálů pro krycí potahy a jádra
  - Jádro bude z korku, což je přírodní materiál, který je popsán v kapitole 6.1
  - Prepreg – před impregnované tkaniny, které jsou vhodné pro vytvrzování v peci
- Výroba sendvičových panelů
  - Výroba sendvičových panelů s korkovým jádrem lisováním prepregů za pomoci vakua a následného vytvrzování v peci při podmínkách, které jsou dány v materiálových listech
- Příprava zkušebních těles
  - Nařezání vyrobených panelů na zkušební tělesa o vhodných rozměrech pro testování (210 x 45 mm)
- Provedení mechanických testů
  - Tříbodový ohyb, popsání ohybového chování testovaných nosníků podle normy ASTM C393
- Vyhodnocení a diskuze naměřených dat



## 6 POPIS POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Při výběru vhodných materiálů byl brán ohled na to, aby byl materiál dostupný na trhu v České republice a aby se jednalo o běžně v praxi využívané materiály.

### 6.1 Jádrový materiál

Jako jádrový materiál byl vybrán korek. Konkrétně šlo o CoreCork NL10 a CoreCork NL20. CoreCork je přírodní materiál, který nabízí výborné vlastnosti FST (odolnost vůči ohni, dýmu a toxicitě), také dobré mechanické parametry a zpracování. [Příloha PI]

Nízká hustota, vynikající přizpůsobivost a flexibilita CoreCorku umožňuje jeho začlenění do tradičních výrobních procesů. Lze ho zpracovávat vakuovou infuzí, injektážní technologií při teplotě 150°C a nebo také ručním kladením. Specifické vlastnosti CoreCorku je uzavřená struktura vzduchových buněk, malá absorpce vody, odolnost vůči hnilobě, skvělá ohnivzdornost a vysoký stupeň tlumení vibrací a hluku. Tyto vlastnosti z něho dělají velmi vhodnou alternativu pro kompozity. [Příloha PI]

Tab. 3. Vlastnosti CoreCork NL10 a CoreCork NL20 [Příloha PI]

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

## 6.2 Prepreg materiál

Při volbě vhodného materiálu pro krycí vrstvy byl vybrán Prepreg GURIT PHG 840-300-42. Jedná se o před impregnovanou tkaninu, která má výborné mechanické vlastnosti, dlouhou životnost a také velmi dobrý povrch po vytvrzení. Nejvíce se používá v dopravním průmyslu, především pak v železniční dopravě. Tento prepreg je využíván při výrobě interiérových částí vagonů, jako jsou stropní a podlahové panely. Nevýhodou při jeho uskladnění může být nutnost skladování za snížených teplot okolo  $-20^{\circ}\text{C}$ . Při nedodržení této podmínky a skladování za vyšší teploty, může dojít k aktivování pryskyřice a tudíž taky k vytvrzení prepregu. Technické údaje a konkrétní specifikace jsou shrnuty v tabulce (Tab. 4).

Tab. 4. Vlastnosti prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII]

	Norma	Hodnota
<b>Pryskyřice</b>	-	Fenolická
<b>Obsah pryskyřice</b>	EN 2331	$42.0 \pm 3\%$
<b>Tok pryskyřice</b>	EN 2332 (3 vrstvy, $135^{\circ}\text{C}$ , 8 minut, 4 bary)	$> 10\%$
<b>Hmotnost prepregu</b>	EN 2329	$525 \pm 30 \text{ g/m}^2$
<b>Těkavost</b>	EN 2330 ( $160^{\circ}\text{C}/10$ minut)	$< 6\%$
<b>Lepivost</b>	-	T0, T1, T2
<b>Hustota tkaniny</b>	EN 2331	$296 \text{ g/m} \pm 5\%$
<b>Materiál vláken</b>	-	E - glass
<b>Provozní teplota</b>	-	$-55^{\circ}\text{C}$ až $+80^{\circ}\text{C}$
<b>Vazba</b>	-	8H saténová

Tab. 5. Mechanické vlastnosti prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII]

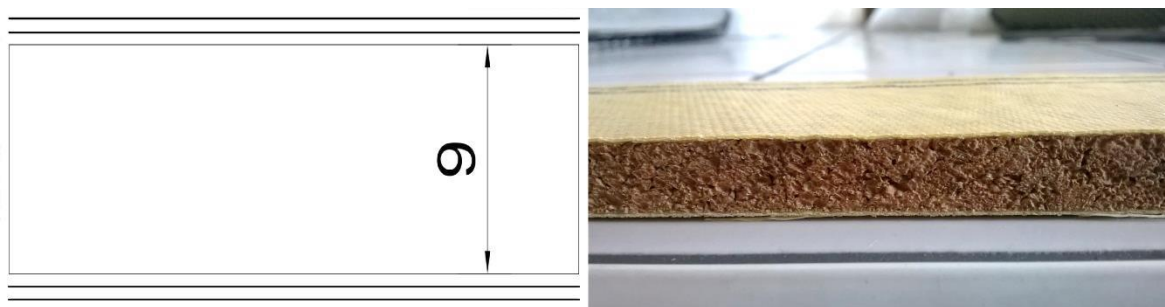
	<b>Teplota</b>	<b>Norma</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Pevnost v ohybu</b>	80°C	ISO 178	300 - 450 MPa
<b>Modul pružnosti v ohybu</b>	80°C	ISO 178	19 - 22 GPa
<b>Pevnost ve smyku</b>	80°C	AITM 1.0019/1B	16 - 18 MPa
<b>Odlup na navíjecím bubnu</b>	80°C	EN 2243-3	110 N/75 mm

Tab. 6. Vytvrzování prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII]

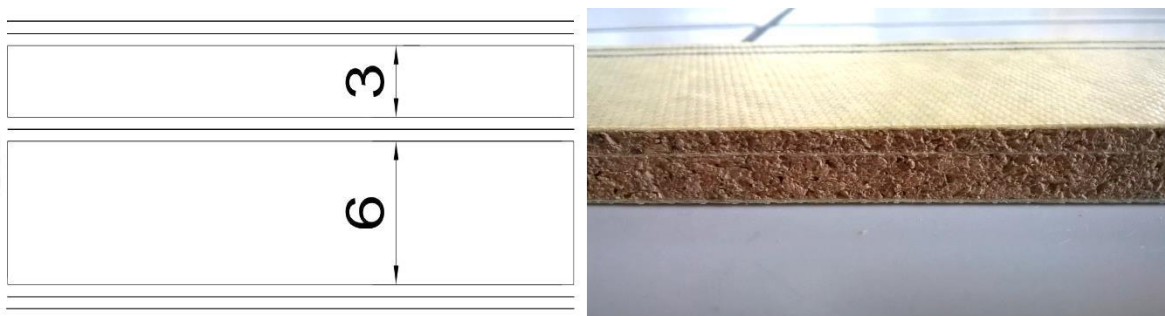
	<b>Cyklus</b>
<b>Teplota</b>	120/130/140/160°C
<b>Vytvrzovací čas</b>	90/60/30/10 minut
<b>Speciální tlak</b>	0.7 - 0.4 MPa
<b>Doporuč. vytvrzování</b>	Vacuum bag / Oven, Press, Autoclave

## 7 VÝROBA SENDVIČOVÝCH PANELŮ A PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

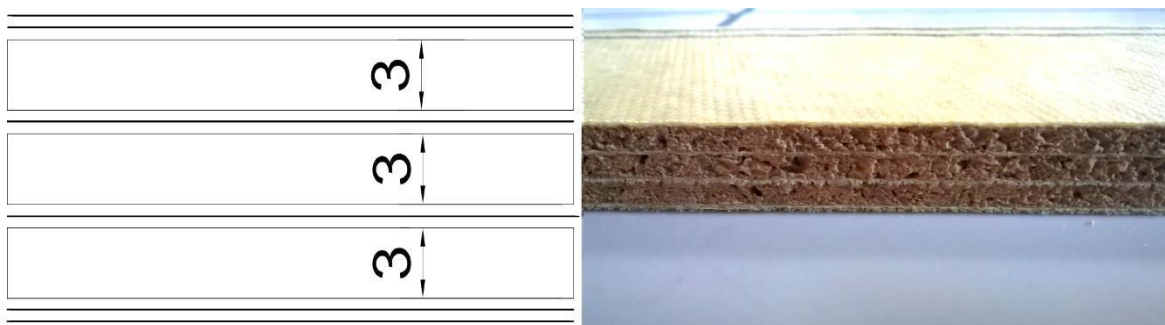
Praktická část měla za hlavní cíl výrobu, stanovení a porovnání mechanických vlastností sendvičových panelů s korkovým jádrem a s různou stavbou struktury. Z obou dvou typů CoreCorku byly vyrobeny tři druhy sendvičové struktury. První typ struktury se skládal z jádra tlustého 9 mm (Obr. 32). Druhý typ měl dvě jádra s tloušťkou 3 a 6 mm, které od sebe dělila jedna vrstva prepregu (Obr. 33) a třetí typ byl složen ze tří jader o stejné tloušťce 3 mm, které byly mezi sebou rovněž proloženy jednou vrstvou prepregu (Obr. 34). Všechny tři struktury měli dvě vrstvy prepregu z každé strany jádra jako krycí vrstvy vytvořených sendvičů.



Obr. 32. Vzorek s jedním jádrem o tloušťce 9 mm



Obr. 33. Vzorek se dvěma jádry o tloušťce 3 a 6 mm



Obr. 34. Vzorek se třemi jádry o tloušťkách 3 mm

Tab. 7. Vlastnosti vyrobených sendvičových panelů [Příloha PI]

Označení	Jádrový materiál	Hustota	Počet vrstev prepregu	Tloušťka jádra
A	CoreCork NL10	120 kg/m <sup>3</sup>	2/J/2	9 mm
B	CoreCork NL10	120 kg/m <sup>3</sup>	2/J/1/J/2	3 a 6 mm
C	CoreCork NL10	120 kg/m <sup>3</sup>	2/J/1/J/1/J/2	3 x 3 mm
D	CoreCork NL20	200 kg/m <sup>3</sup>	2/J/2	9 mm
E	CoreCork NL20	200 kg/m <sup>3</sup>	2/J/1/J/2	3 a 6 mm
F	CoreCork NL20	200 kg/m <sup>3</sup>	2/J/1/J/1/J/2	3 x 3 mm

## 7.1 Pomocné materiály a komponenty

K vakuovému vytvrzování v peci je používáno několika pomocných materiálů a komponentů, které jsou při výrobě panelů nezbytné, ale nejsou součástí vyrobeného kompozitu. Odstraňují se z procesu jako odpad.

Mezi pomocné materiály a komponenty, které byly použity, patří vakuová fólie, vzduchotechnika (tlaková hadice, kompresor, ventily, tlakoměr, konektor), páska na utěsnění, separační fólie a rohož na odsávání přebytečné pryskyřice.

### 7.1.1 Vakuová fólie

Jde o jeden s nejdůležitějších pomocných materiálů, protože díky této plastové fólii, která je velmi pružná, lze vytvořit na horní části formy potřebné vakuum. Vakuová fólie je dobře chemicky i tepelně odolná a má dobré mechanické vlastnosti, což je nezbytné pro vytvrzování v peci. Fólie se vyrábí z plastů, jako jsou PA, PE, nebo třeba PTFE.

### 7.1.2 Páska na utěsnění

Těsnící oboustranná páska se využívá k dokonalému utěsnění mezi vakuovou fólií a formou, kde vytváří nepropustný spoj. Velkou výhodou pásky je její pevnost a lehká snímatelnost z různých materiálů, ať už kovových, nebo nekovových.

### 7.1.3 Separální fólie

Tahle fólie je umístěna mezi vrstvou prepregu a odsávací tkaninou. Má za úkol nedopustit promíchání vrstev, mezi nimiž je uložena a které mají jinou funkci. Odsávací tkaninu by nebylo možné oddělit od vytvrzeného laminátu, pokud by mezi nimi nebyla separální fólie. Výhodou je taky ochranná funkce fólie od znečištění povrchu kompozitu a taky napomáhání k lepšímu tvaru povrchu vzhledem k následnému lepení a nástřiku.

### 7.1.4 Rohož na odsávání

Tato odsávací tkanina se klade na separální fólii, aby odsála přebytečnou pryskyřici z prepregu. Odsávací rohož se vyrábí ze syntetických vláken.

### 7.1.5 Vzduchotechnika

K výrobě sendvičových panelů je vzduchotechnika, která vytvoří potřebné vakuum, nezbytnou součástí. Konkrétně jde o kompresor, tlakovou hadici, konektor a tlakoměr. Pro regulaci tlaku je ještě zapotřebí regulačního ventilu.

## 7.2 Příprava komponentů na výrobu

Nejdříve bylo třeba nachystat všechny potřebné materiály, kterými byly prepregy, vakuová fólie, páska na utěsnění, rohož na odsávání a separální fólie na vhodné rozměry. Korek, který byl použit jako jádrový materiál, byly nařezány na desky požadovaných rozměrů, tak aby vyhovovali rozměru formy. Na požadované rozměry byl nařezán i prepreg, kde bylo potřeba počítat s přesahem přes jádro, který činil 10%. Prepreg se řezal na řezacím plotru, zatím co ostatní pomocné komponenty a materiály byly připraveny ručně.

## 7.3 Výroba sendvičových vzorků

Jako vhodná metoda pro výrobu panelů byla zvolena technologie vytvrzování v peci za přítomnosti vakua. Tato technologie se nejčastěji využívá v dopravním průmyslu, pro výrobu různých panelů, a proto byla vybrána i pro tyto experimentální panely.

Pro výrobu sendvičových vzorků byla použita forma vyrobená z laminátu. Nejprve byla forma naseparována separačním činidlem s označením Tr mold release. Následně po nanesení činidla začal proces kladení jednotlivých materiálů, které byly předchystány v žádaných rozměrech.

Jako první se položily dvě vrstvy prepregu, na které se následně uložilo korkové jádro (Obr. 35 a 36) a vše se ještě jednou překrylo dvěma vrstvami prepregu. Při kladení prepregových vrstev bylo nutné dbát na vyrovnaný povrch, aby nedošlo k vzniku nerovností, jako mohou být vzduchové bubliny, překlady nebo jiné nerovnosti, které by se promítly zhoršením vlastností výsledného panelu.



*Obr. 35. Korkové jádra při kladení vrstev*

Až byl povrch dokonale vyhlazen, tak se na horní vrstvu prepregu položila separační fólie, která je nutná kvůli snadnému oddělení odsávací rohože od vrstvy prepregu. Na separační fólii se následně položila odsávací rohož za účelem odsátí přebytečné pryskyřice. Rohož byla potřebná i u umístění konektoru, aby nedošlo k otisknutí nebo nechtěnému otláčení konektoru do horní části panelu. Vznikla by tak vada, která by byla vzhledová, ale mohla by i zapříčinit lokální deformaci při některém z namáhání.

Jako poslední vrstva byla položena vakuová fólie, která měla třicetiprocentní přesah přes rohož na odsávání. Uchycena byla pomocí pásky na utěsnění tak, aby nebyla napnutá. Následné odsávání vzduchu a vznikání vakua bylo kontrolováno, aby nebylo místo, kudy by unikl vzduch.

Po dokonalém utěsnění, které bylo několikrát zkontrolováno, byl změřen tlak pomocí měřiče podtlaku tak, aby se hodnota pohybovala kolem 0,8 Baru. Tlak se nesmí změnit po odpojení tlakové hadice.

Následně se dokonale vakuovaný panel vložil do pece k vytvrzování. Proces trval 3 hodiny podle navoleného programu ve vytvrzovací peci. Pec se v průběhu první hodiny dostane a ustálí na teplotu 130°C, kde vydrží další dvě hodiny. Po uplynutí tří hodin se zavakuovaný panel vytáhl z pece a následovalo odformování hotového sendvičového panelu.

Hotový sendvičový panel se po dokončení výroby nařezal na požadované rozměry vzorků (210 mm x 45 mm). Řezání probíhalo na kotoučové pile s kotoučem vhodným pro zvolené materiály. Bylo použito bezpečnostních ochranných podmínek.



*Obr. 36. Korkové jádra proložené vrstvami prepregu*



## 8 MECHANICKÉ TESTOVÁNÍ

### 8.1 Zkouška třibodovým ohybem

Zkouška se konala půdě Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně v Laboratorním centru Technologické fakulty a byla uskutečněna dle normy ASTM C393. Ke zkoušce ohybem byl využit stroj Zwick 1456 (Obr. 37) spolu s programem TestExpert v7.11, který automaticky provádí výpočet parametrů z naměřených hodnot.

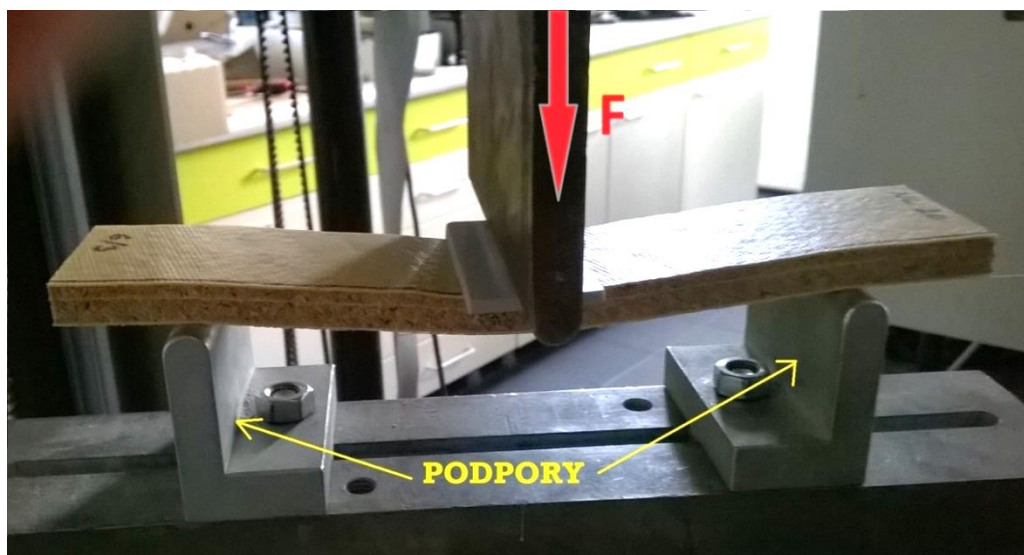
Parametry stroje Zwick 1456:

- Maximální posuv příčnicku je 800 mm/min,
- Snímač síly 2,5 až 25 kN,
- Rozsah teplotní komory je -80°C až +250°C,
- TestExpert v7.11 je uzpůsobený pro statickou zkoušku tahem, ohybem a tlakem.



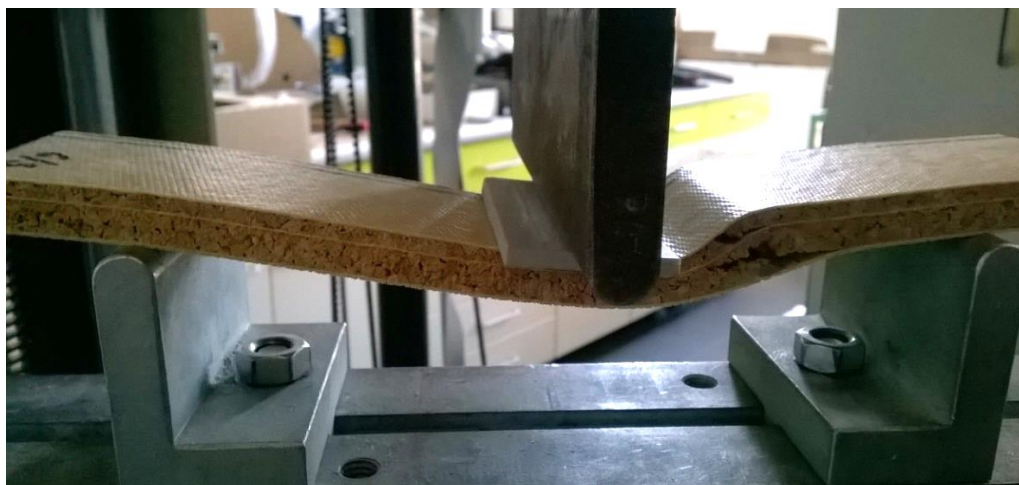
Obr. 37. Stroj Zwick 1456 a teplotní komora Zwick W91255

Všechny jednotlivé typy nosníků byly testovány a proběhla u nich zkouška ohybových vlastností. Zkoušený vzorek byl vždy položen na dvě podpory vzdálené od sebe 150 mm a zatěžován ve svém středu kolmou silou  $F$ , testování probíhalo konstantní rychlostí 5 mm/min. (Obr. 38).



Obr. 38. Způsob uchycení vzorku

V místě působení síly  $F$  docházelo nejdříve k prohnutí a poté k deformaci, jako jde vidět na obrázku (Obr. 39). Cílem naší ohybové zkoušky bylo zjistit, jak se budou chovat vzorky rozdílných teplot a také určit rozdíly mezi jednotlivými sériemi s jinak poskládanou strukturou. Z programu TextExpert byla vyhodnocena data, ze kterých byly použity parametry jako efektivní modul pružnosti v ohybu  $E_{ef}$  a mezní pevnost v ohybu  $\sigma_f$ . Při vyhodnocování měření byly využity statistické ukazatele jako aritmetický průměr ( $\bar{x}$ ), směrodatná odchylka ( $s$ ), maximální hodnota (MAX), minimální hodnota (MIN) a medián.



Obr. 39. Deformace vzorku s dvěma jádry o tloušťce 3 a 6 mm

Z vyhodnocených hodnot pro materiál A plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $2382 \pm 100$  MPa a pevnost v ohybu ( $27,2 \pm 0,5$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $926 \pm 79$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $11,8 \pm 1,1$ ) MPa.

Tab. 8. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál A

Vzorek A: CoreCork NL10_9 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	2382	27,2	926	11,8
s	100	0,5	79	1,1
MAX	2550	27,9	1080	14
MIN	2270	26,5	845	10,6
Medián	2390	27	890	12

Z vyhodnocených hodnot pro materiál B plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $2788 \pm 49$  MPa a pevnost v ohybu ( $32,6 \pm 0,8$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $1247 \pm 81$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $15,0 \pm 0,8$ ) MPa.

Tab. 9. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál B

Vzorek B: CoreCork NL10_3/6 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	2788	32,6	1247	15,0
s	49	0,8	81	0,8
MAX	2860	33,5	1330	16,5
MIN	2710	31,3	1120	14,1
Medián	2790	33	1285	15

Z vyhodnocených hodnot pro materiál C plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $3296 \pm 55$  MPa a pevnost v ohybu ( $37,8 \pm 0,7$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $1732 \pm 58$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $19,2 \pm 1,2$ ) MPa.

Tab. 10. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál C

Vzorek C: CoreCork NL10_3/3/3 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	3296	37,8	1732	19,2
s	55	0,7	58	1,2
MAX	3360	38,6	1830	20,6
MIN	3210	36,7	1670	17,5
Medián	3310	38	1720	19

Z vyhodnocených hodnot pro materiál D plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $2306 \pm 49$  MPa a pevnost v ohybu ( $28,2 \pm 0,5$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $1150 \pm 79$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $13,8 \pm 0,5$ ) MPa.

Tab. 11. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál D

Vzorek D: CoreCork NL20_9 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	2306	28,2	1150	13,8
s	49	0,5	79	0,5
MAX	2340	28,9	1280	14,8
MIN	2210	27,5	1030	13,2
Medián	2330	28	1165	14

Z vyhodnocených hodnot pro materiál E plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $2518 \pm 25$  MPa a pevnost v ohybu ( $32,0 \pm 0,7$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $1323 \pm 79$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $16,0 \pm 0,6$ ) MPa.

Tab. 12. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál E

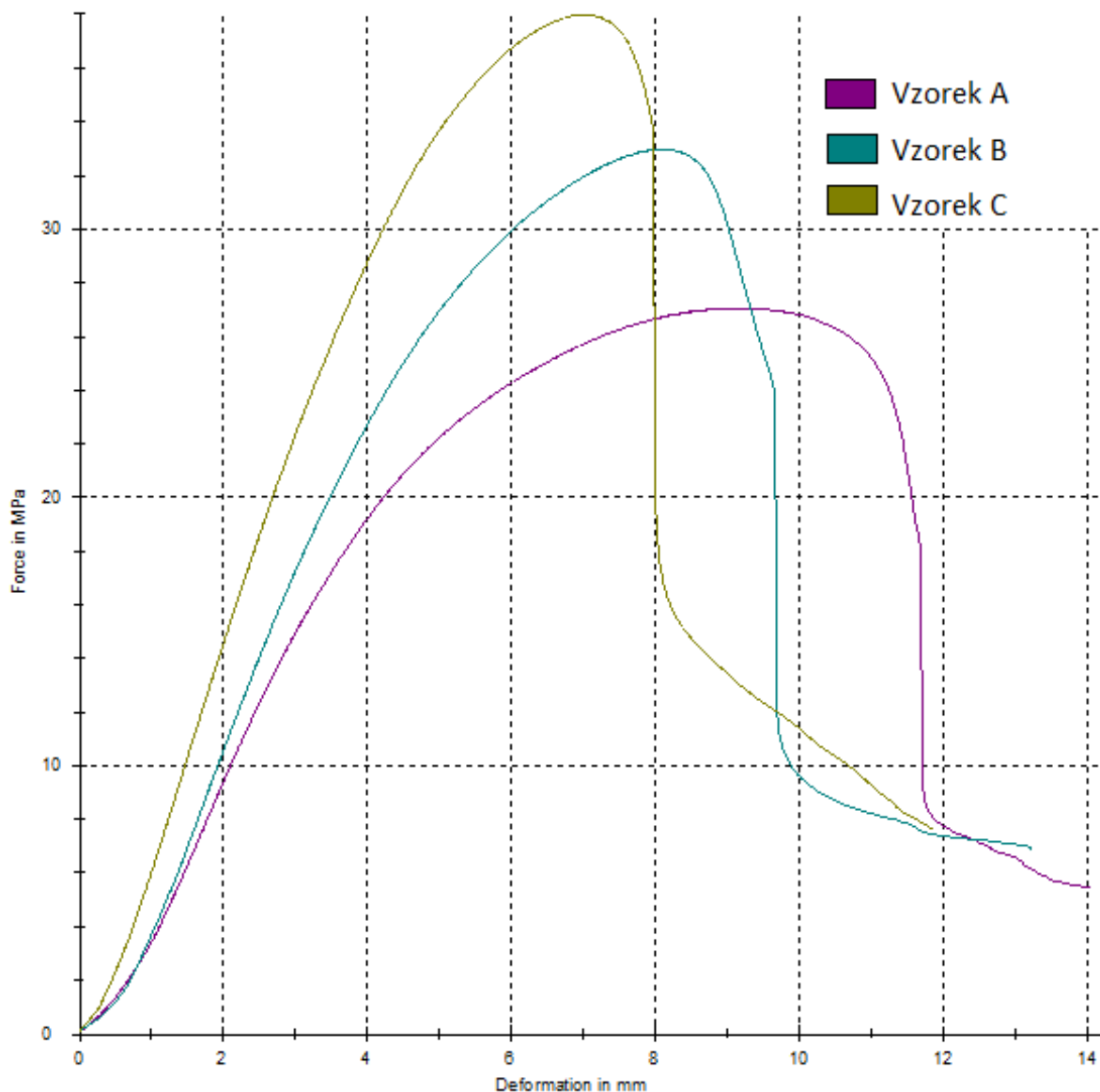
Vzorek E: CoreCork NL20_3/6 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	2518	32,0	1323	16,0
s	25	0,7	79	0,6
MAX	2550	32,9	1450	16,7
MIN	2480	30,9	1230	15
Medián	2530	32	1315	16

Z vyhodnocených hodnot pro materiál F plyne, že hodnoty získané při teplotě 25 °C jsou vyšší, než hodnoty při teplotě 80°C. Hodnota efektivního modulu pružnosti  $E_{ef}$  je  $3366 \pm 45$  MPa a pevnost v ohybu ( $40,7 \pm 1,0$ ) MPa při teplotě 25°C. Při teplotě 80°C jsou hodnoty  $E_{ef}$  ( $1743 \pm 65$ ) MPa a pevnost v ohybu ( $21,9 \pm 1,2$ ) MPa.

Tab. 13. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál F

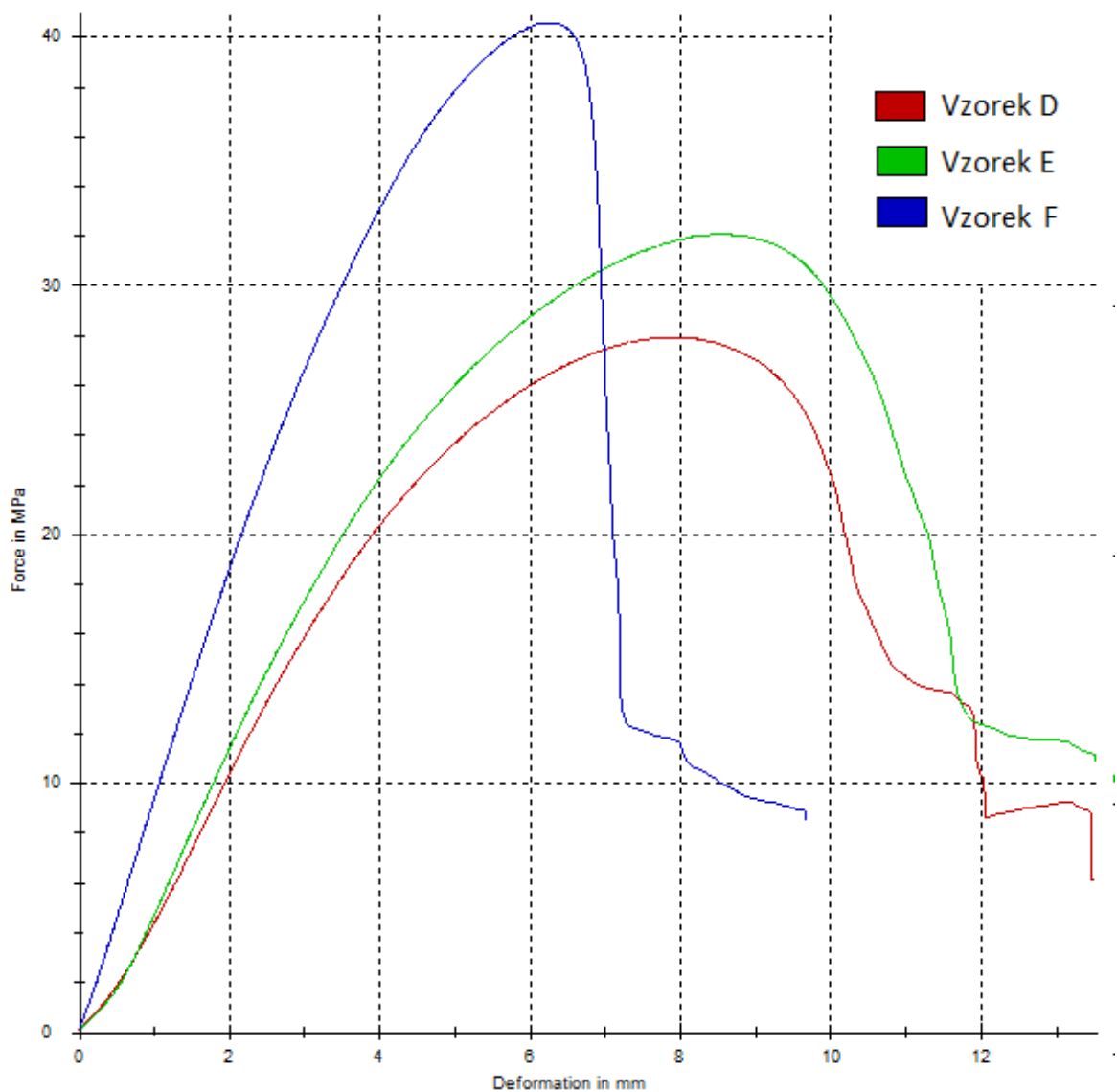
Vzorek F: CoreCork NL20_3/3/3 mm				
n=10	25°C		80°C	
	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]	$E_{ef}$ [MPa]	$\sigma_f$ [MPa]
$\bar{x}$	3366	40,7	1743	21,9
s	45	1,0	65	1,2
MAX	3420	42,2	1820	23,1
MIN	3290	39,1	1610	19,6
Medián	3370	41	1755	22

Z tahového diagramu (Obr. 40) lze pozorovat, že při porovnání vzorků A, B, C se stejným jádrem CoreCork NL10 při teplotě 25 °C byl nejlepší vzorek C se třemi jádry o tloušťce 3 mm. Naopak nejhoršího výsledku dosáhl vzorek A s jedním jádrem o tloušťce 9 mm.



Obr. 40. Tahový diagram vzorků A, B, C při teplotě 25°C

Z tohoto tahového diagramu (Obr. 41) plyne, že při porovnání vzorků D, E, F s jádrem CoreCork NL20 při teplotě 25°C jsme došli k velmi podobnému výsledku jako při předchozím porovnání vzorků A, B, C s jádrem CoreCork NL10, tedy nejlepší byl vzorek F se třemi jádry o tloušťce 3 mm a nejhůře se ukázal vzorek D s jedním jádrem o tloušťce 9 mm.

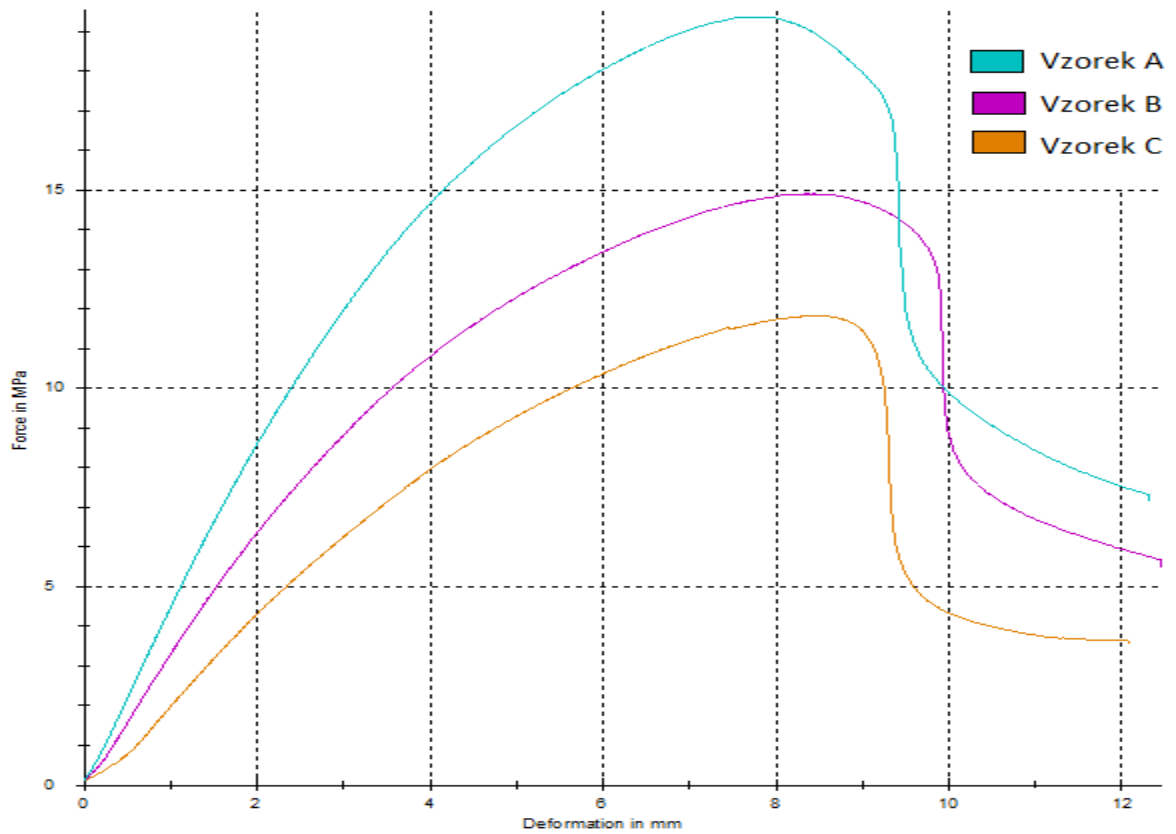


Obr. 41. Tahový diagram vzorků D, E, F při teplotě 25°C

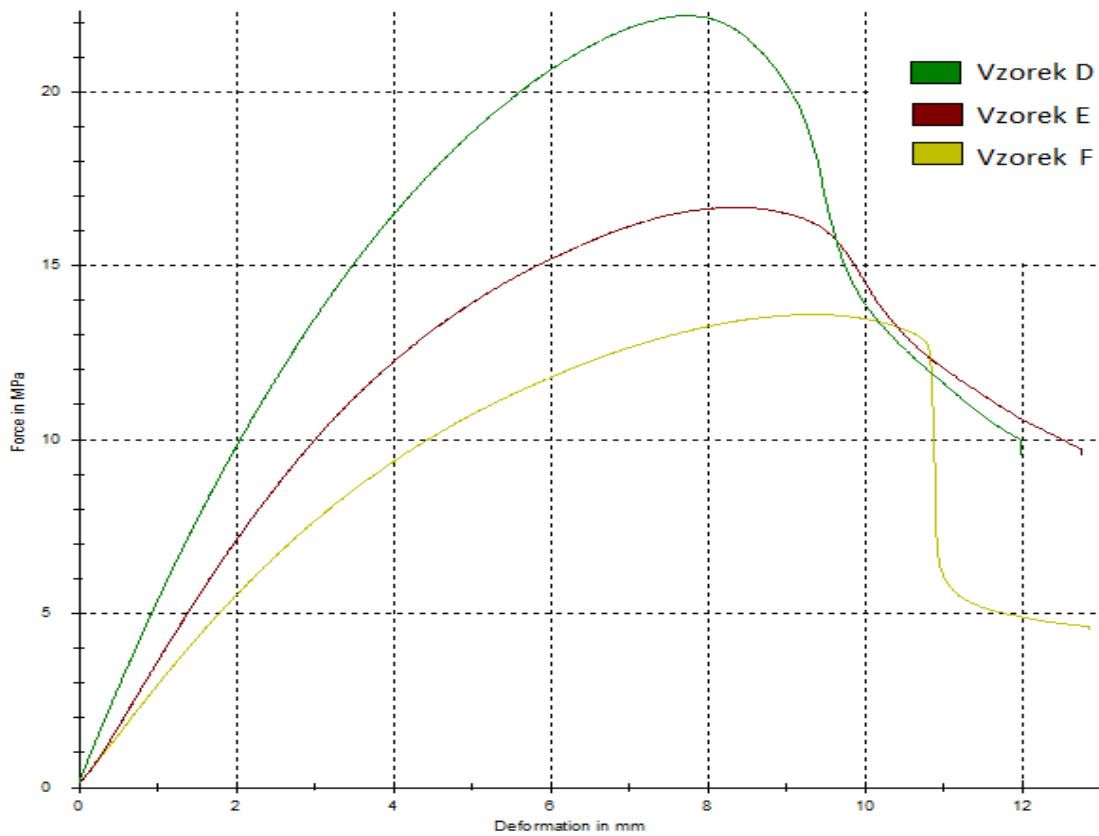
Při teplotě 80°C byla síla potřebná k ohnutí vzorků mnohem menší, než při teplotě 25°C, což můžeme vidět v tahových digramech (Obr. 42 a Obr. 43). Největší pevnost se opět projevila u vzorků se třemi jádry o tloušťce 3 mm, tedy u vzorků C a F. Nejmenší pevnost pak měli vzorky s jedním jádrem o tloušťce 9 mm, což jsou vzorky A a B.

Při porovnání typu jader, dosahovalo lepších výsledků korkové jádro CoreCork NL20 než jádro CorekCork NL10 a to ve všech testovaných strukturách. I při zvýšené teplotě na 80°C měl lepší ohybové vlastnosti CorekCork NL20.

Jako nejvýhodnější a nejefektivnější stavba jádra byla vyhodnocena struktura se třemi jádry o tloušťce 3 mm, která byla proložena vrstvami prepregu.



Obr. 42. Tahový diagram vzorků A, B, C při teplotě 80°C

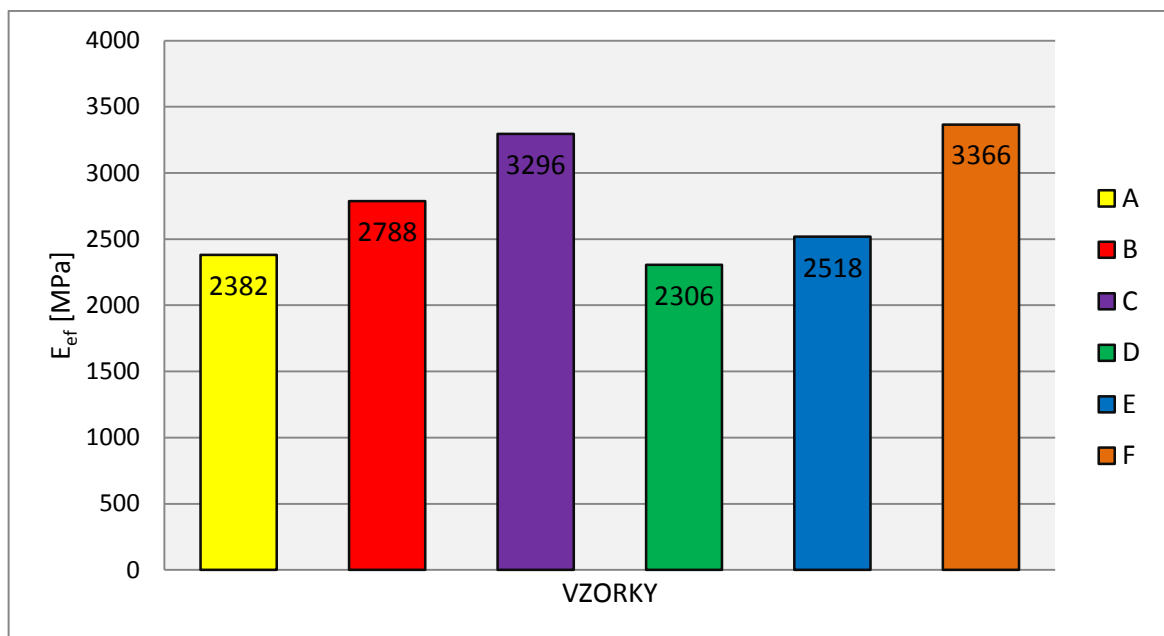


Obr. 43. Tahový diagram vzorků D, E, F při teplotě 80°C



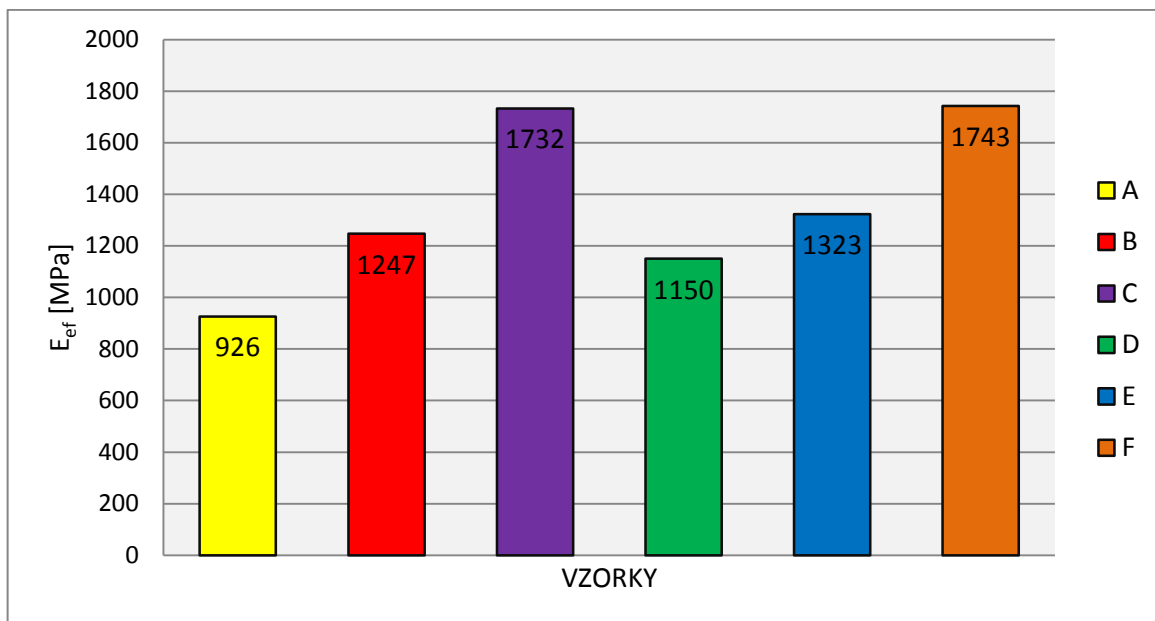
## 9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Ze sloupcového grafu (Obr. 44) plyne, že při srovnávání vzorků A, B, C s jádrovým materiálem CoreCork NL10 při teplotě 25°C se nejvyšším modulem pružnosti  $E_{ef}$  vyznačuje vzorek C, o 15,4% menší má potom modul pružnosti vzorek B a o 27,7% vzorek A. Dále můžeme vyčíst, že u jádrového materiálu CoreCork NL20 dosáhl nejvyššího modulu pružnosti při teplotě 25°C vzorek F, o 25,5% menší modul pružnosti měl vzorek E a o 31,5% vzorek D. Při porovnání vzorků C a F, které mají rozdílné jádrové materiály a prokázali se jako vzorky s nejlepší skladbou, zjistíme, že vzorek F má o 2,1% vyšší modul pružnosti než vzorek C.



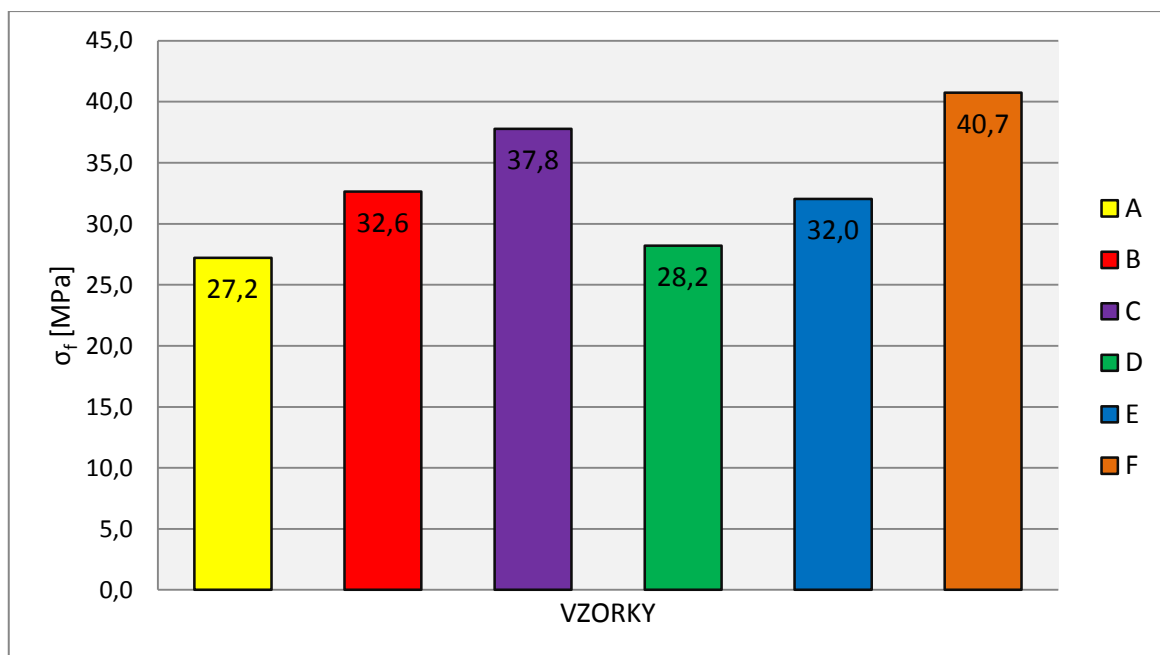
Obr. 44. Sloupcový graf průměrných hodnot modulu pružnosti  $E_{ef}$  při teplotě 25°C

Ze sloupcového grafu (Obr. 45) vyplývá, že při srovnávání vzorků A, B, C s jádrovým materiálem CoreCork NL10 při teplotě 80°C se nejvyšším modulem pružnosti  $E_{ef}$  vyznačuje vzorek C, o 28% menší má potom modul pružnosti vzorek B a o 46,5% vzorek A. Dále můžeme vyčíst, že u jádrového materiálu CoreCork NL20 dosáhl nejvyššího modulu pružnosti při teplotě 80°C vzorek F, o 24,1% menší modul pružnosti měl vzorek E a o 34% vzorek D. Při porovnání vzorků C a F, které mají rozdílné jádrové materiály a prokázali se jako vzorky s nejlepší skladbou, zjistíme, že vzorek F má pouze o 0,6% vyšší modul pružnosti než vzorek C.



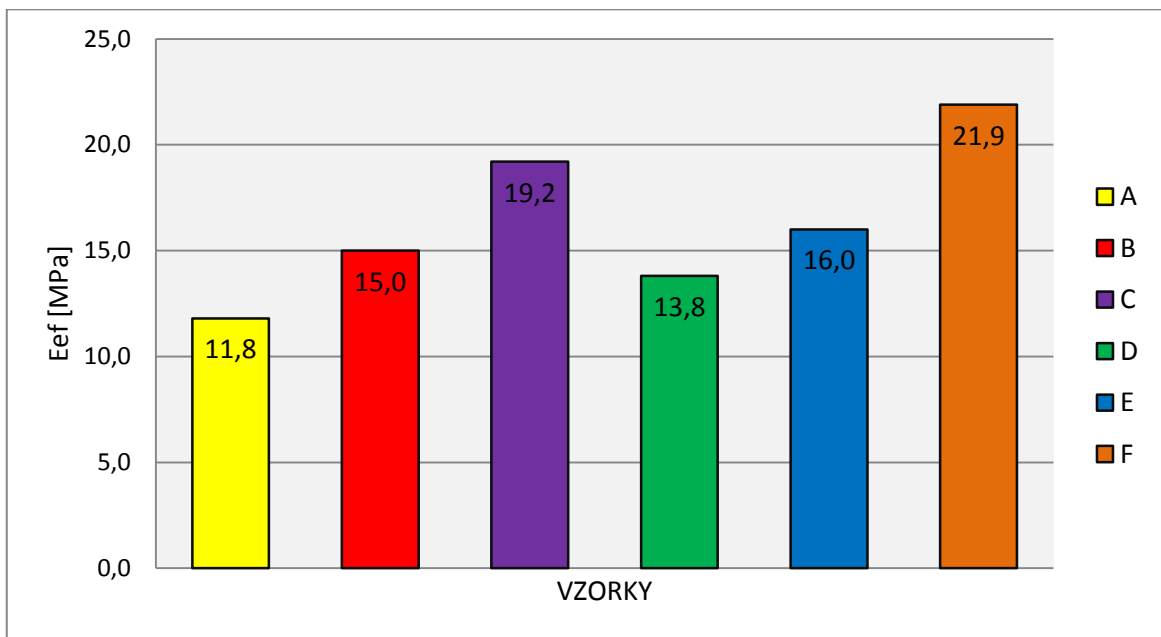
Obr. 45. Sloupcový graf průměrných hodnot modulu pružnosti  $E_{ef}$  při teplotě 80°C

Ze sloupcového grafu (Obr. 46) plyne, že při srovnávání vzorků A, B, C s jádrovým materiálem CoreCork NL10 při teplotě 25°C se nejvyšší pevností v ohybu  $\sigma_f$  vyznačuje vzorek C, o 13,8% menší má potom pevnost v ohybu vzorek B a o 28% vzorek A. Dále můžeme vyčíst, že u jádrového materiálu CoreCork NL20 dosáhl nejvyšší pevnosti v ohybu při teplotě 25°C vzorek F, o 21,4% menší pevnost v ohybu měl vzorek E a o 30,7% vzorek D. Při porovnání vzorků C a F, které mají rozdílné jádrové materiály a prokázali se jako vzorky s nejlepší skladbou, zjistíme, že vzorek F má o 7,1% vyšší pevnost v ohybu než vzorek C.



Obr. 46. Sloupcový graf průměrných hodnot pevnosti v ohybu  $\sigma_f$  při teplotě 25°C

Ze sloupcového grafu (Obr. 47) plyne, že při srovnávání vzorků A, B, C s jádrovým materiálem CoreCork NL10 při teplotě 80°C se nejvyšší pevností v ohybu  $\sigma_f$  vyznačuje vzorek C, o 21,9% menší má potom pevnost v ohybu vzorek B a o 38,5% vzorek A. Dále můžeme vyčíst, že u jádrového materiálu CoreCork NL20 dosáhl nejvyšší pevnosti v ohybu při teplotě 80°C vzorek F, o 26,9% menší pevnost v ohybu měl vzorek E a o 37% vzorek D. Při porovnání vzorků C a F, které mají rozdílné jádrové materiály a prokázali se jako vzorky s nejlepší skladbou, zjistíme, že vzorek F má o 12,3% vyšší pevnost v ohybu než vzorek C.



Obr. 47. Sloupcový graf průměrných hodnot pevnosti v ohybu  $\sigma_f$  při teplotě 80°C

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání sendvičových konstrukcí s přírodním korkovým jádrem, především pak jejich mechanických vlastností. Porovnávány byly vzorky s různou stavbou vrstev, rozdílným materiálem jádra a taky chování vyrobených sendvičových materiálu při rozdílných zkušebních teplotách.

Teoretická část bakalářské práce byla věnována obecně kompozitním materiálům, zejména pak sendvičovým konstrukcím a použití přírodních materiálů jako jádro.

V druhé části bakalářské práce byly navrženy sendvičové konstrukce z vhodných materiálů. Sendviče byly poté vyrobeny ze dvou typů jader a se třemi různými variantami stavby struktury. Následovalo otestování mechanických vlastností všech vzorků za dvou různých teplot. Testování proběhlo na stroji pro tříbodový ohyb při teplotě 25°C a při teplotě 80°C.

U zkoušky tříbodovým ohybem bylo zjištěno, že nejlepší mechanické vlastnosti prokázaly nosníky se třemi jádry o tloušťce 3 mm, které byly mezi sebou proloženy vždy jednou vrstvou prepregu, naopak nejhorší mechanické vlastnosti měly nosníky s jedním jádrem o tloušťce 9 mm. Lepší vlastnosti než sendvičová konstrukce s jedním jádrem prokázaly i vzorky s dvěma jádry o tloušťkách 3 a 6 mm, které byly proloženy jednou vrstvou prepregu.

Ze získaných hodnot při měření plyne, že všechny vzorky prokázaly výrazně lepší mechanické vlastnosti při teplotě 25°C, než při zvýšené teplotě na 80°C.

Při porovnání dvou využitých typech jádrového materiálu, konkrétně šlo o korkové jádra CoreCork NL10 a CoreCork NL20, se ukázal CoreCork NL20 jako materiál s mírně lepšími mechanickými vlastnostmi.

Jako celkově nejlepší sendvičový panel byl vzorek se třemi jádry CoreCork NL20 o tloušťce 3 mm proloženými vrstvami prepregu.

Bylo prokázáno, že stavba struktury sendvičového kompozitu má významný vliv na jeho výsledné mechanické vlastnosti, kde sehrává velkou roli i teplota okolního prostředí. Z tohoto důvodu je velmi žádoucí vhodně volit využití sendvičových kompozitů v praxi.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Kořínek, Zdeněk. Kompozity [online]. [cit.2015-11-25] Dostupné z <http://www.volny.cz/zkorinek/>
- [2] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [3] Kme.zcu.cz [online]. [cit. 2015-11-12]. *Mechanika kompozitních materiálů - 1*. Dostupné z WWW: <<http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/229-umm-6.pdf>>
- [4] Stefanmichna.com [online]. [cit. 2015-12-6]. Kompozitní materiály. Dostupné z WWW:<[http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy\\_II/kompozitni\\_materialy.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technickematerialy_II/kompozitni_materialy.pdf)>
- [5] Kme.zcu.cz [online]. [cit. 2015-12-10]. *Mechanika kompozitních materiálů - 1*. Dostupné z WWW: <<http://www.kme.zcu.cz/download/predmety/229-umm-6.pdf>>
- [6] Havel-composites.com [online]. [cit. 2015-11-13]. *Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů..* Dostupné z WWW: <<http://www.havel-composites.com/clanky/0-/74-Vseobecny-a-zakladny-popis-materialov-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitov.html>>
- [7] PETERS, Edited by S.T. Handbook of composites. 2nd ed. London: Chapman, 1998. ISBN 04-125-4020-7.
- [8] RUSNÁKOVÁ, Soňa. Zpracovatelské inženýrství kompozitů. Přednášky 2012
- [9] Material characteristics of 3-D FRP sandwich panels. SciVerse: ScienceDirect [online]. 2013 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061807000864>
- [10] Ime.fme.vutbr.cz [online]. c2015 [cit. 2015-12-2]. Kompozitní materiály. Dostupné z: WWW:<http://ime.fme.vutbr.cz/Files/Vyuka/BUM/11-BUM.ppt>.
- [11] Mmspektrum.com [online]. c2015 [cit. 2015-12-2]. Sendvicové konstrukce. Dostupné z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce>
- [12] DAVIES, J. M. Lightweight sandwich construction. Manchester: CIB, 2001
- [13] Intechopen.com [online]. [cit. 2015-11-14]. Finite element analysis of loading area effect on sandwich panel behaviour beyond the yield limit. Dostupné z: <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39769.pdf>>

- [14] ruzgarsempozyumu.org [online]. [cit. 2015-12-9] dostupné z [http://www.ruzgarsempozyumu.org/?page\\_id=243](http://www.ruzgarsempozyumu.org/?page_id=243)
- [15] e-czartery.pl [online]. [cit. 2015-11-19] dostupné z <http://www.e-czartery.pl/photo/ship/DSCF5959.jpg>
- [16] Kht.tul.cz [online]. [cit. 2015-11-15]. Výzkum trhu kompozitních materiálů. Dostupné z: <http://www.kht.tul.cz/items/ABP/2010/%C5%A0afa%C5%99%C3%ADkov%C3%A1%20-%20V%C3%BDzkum%20trhu%20kompozitn%C3%ADch%20materi%C3%A1l%C5%AF%20v%20C4%8CR.pdf>
- [17] Gdpkoral.cz [online]. [cit. 2016-1-3]. Aplikace. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/automobilovy-prumysl/p128>
- [18] Hexcel.com [online]. c2015 [cit. 2015-12-11]. Infuzní technologie výroby kompozitů a jejich simulace v MKP. Dostupné z WWW: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-Sheets/Rail.pdf>
- [19] pagani.com [online]. [cit. 2015-12-29]. Dostupné z <http://storage.pagani.com/view/1024/3-4-alto-front-2.jpg>
- [20] railwayinteriors-expo.com [online]. [cit. 2016-1-6]. Dostupné z [http://www.railwayinteriors-expo.com/czech/show\\_news\\_all.php](http://www.railwayinteriors-expo.com/czech/show_news_all.php)
- [21] keithmcg.ipower.com [online]. [cit. 2015-12-6]. Dostupné z <https://keithmcg.ipower.com/osCommerce1/images/firewire-spec.jpg>
- [22] Guide to Composites [online]. [cit. 2016-2-2]. Dostupné z: <http://www.gurit.com/files/documents/guide-to-compositesv5webpdf.pdf>
- [23] Hexcel. Hexcel: Technology manuals [online]. 2016 [cit. 2016-2-16]. Dostupné z: [http://hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-DataSheets/Honeycomb\\_Sandwich\\_Design\\_Technology.pdf](http://hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-DataSheets/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf)
- [24] plastic.cz/technologie-autoklav [online]. [cit. 2016-2-26]. Dostupné z [http://www.plastic.cz/galerie/technologie/autoklav\\_02.jpg](http://www.plastic.cz/galerie/technologie/autoklav_02.jpg)
- [25] Netcomposites. Core Materials [online]. 2016 [cit. 2016-02-2]. Dostupné z: <http://www.netcomposites.com/composite-guide-core-materials.html>
- [26] Core materials. [online]. 2015 [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: [http://www.corematerials.3acomposites.com/fileadmin/pdf/Introduction\\_to\\_cores.pdf](http://www.corematerials.3acomposites.com/fileadmin/pdf/Introduction_to_cores.pdf)

- [27] <http://3dprintingindustry.com/> [online]. 2016 [cit. 2016-2-20]. Dostupné z: <http://3dprintingindustry.com/2014/07/04/3d-printing-material-light-weight-balsa-wood/>
- [28] [cs.wikipedia.org/wiki/Korek](http://cs.wikipedia.org/wiki/Korek) [online]. [cit.2015-12-15]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Korek>
- [29] [proneco.cz](http://www.proneco.cz) [online]. [cit.2016-2-14]. Dostupné z: <http://www.proneco.cz/produkty/korky>
- [30] [saltwaterhigh.files.wordpress.com](https://saltwaterhigh.files.wordpress.com/2011/12/cork-surfboards-construction-method.jpg) [online]. [cit.2016-2-1]. Dostupné z: <https://saltwaterhigh.files.wordpress.com/2011/12/cork-surfboards-construction-method.jpg>
- [31] LORNA, J. Gibson, ASHBY, Michael F.; Cellular solid: Structure and properties - senoc edition
- [32] [korek.cz](http://www.korek.cz) [online]. [cit.2016-1-24]. Dostupné z: <http://www.korek.cz/cs/clanky-a-galerie/fotogalerie/category/7-korkovy-dub>
- [33] [madercomposites.com](http://www.madercomposites.com) [online]. [cit.2016-1-29]. Dostupné z: [http://www.madercomposites.com/ENG/Intern/Innotrans\\_1.html](http://www.madercomposites.com/ENG/Intern/Innotrans_1.html)
- [34] [nature.com](http://www.nature.com) [online]. [cit.2016-2-1]. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/srep00403#ref-link-section-1>
- [35] Mechanické vlastnosti [online]. [cit.2016-1-8]. Dostupný z [http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke\\_vlastnosti.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/mechanicke_vlastnosti.pdf).
- [36] ZENKER, D. Sandwich Constructions. London: Emas; 2000, 469 s.
- [37] [ptli.com](http://www.ptli.com) [online]. [cit.2016-02-13]. Dostupný z <http://www.ptli.com/testlopedia/tests/Flatwise-Tensile-ASTM-C297.asp>
- [38] [industrialheating.com](http://www.industrialheating.com) [online]. [cit.2016-02-13]. Dostupný z <http://www.industrialheating.com/articles/92550-composites-testing-for-aerospace-applications>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

UP	Nenasycený polyester
EP	Epoxid
VE	Vinylester
F	Síla
$M_o$	Ohybový moment
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
J	Jádro
$\bar{x}$	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
MIN	Minimální hodnota
MAX	Maximální hodnota
n	Počet vzorků



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Rozdíl mezi mikrokompozitem a nanokompozitem [2]</i> .....	12
<i>Obr. 2. Rozdělení kompozitních materiálů podle geometrie a orientace výztuže [1]</i> .....	13
<i>Obr. 3. Tahový diagram matrice a kompozitu [4]</i> .....	15
<i>Obr. 4. Sendvičový panel (A - vnější vrstva, B - adhezni vrstva, C – jádro)[8]</i> .....	16
<i>Obr. 5. Sendvičová struktura s pěnovým jádrem [9]</i> .....	16
<i>Obr. 6. Využití sendvičového kompozitu křídle letadla [14]</i> .....	18
<i>Obr. 7. Obložení dveří letounu airbus [1]</i> .....	18
<i>Obr. 8. Plachetnice Derek 26; trup i paluba ze sendvičové konstrukce [15]</i> .....	19
<i>Obr. 9. Sendvičová konstrukce střechy autobusů[8]</i> .....	20
<i>Obr. 10. Pagani Zonda – velké využití sendvičových pevnostních struktur a laminátových krycích panelů [19]</i> .....	20
<i>Obr. 11. Využití sendvičových a laminátových struktur ve vlaku od firmy Hexel[18]</i> .....	21
<i>Obr. 12. Lehký korkový modulární podlahový systém [20]</i> .....	21
<i>Obr. 13. Surfovací prkno ze sendvičového kompozitu [21]</i> .....	22
<i>Obr. 14. Vytvrzování sendvičů ve vakuové peci [23]</i> .....	23
<i>Obr. 15. Autokláv [24]</i> .....	24
<i>Obr. 16. Lisování ve vyhřívaném lisu [23]</i> .....	24
<i>Obr. 17. Tvarované desky z balzy [26]</i> .....	26
<i>Obr. 18. Aplikace balsy v listech větrných turbín [27]</i> .....	27
<i>Obr. 19. Dub korkový po sklizni [32]</i> .....	28
<i>Obr. 20. Korkové surfovací prkno [30]</i> .....	29
<i>Obr. 21. Využití korkového jádra ve vlaku [33]</i> .....	29
<i>Obr. 22. Závislost tlakového napětí na stlačení [34]</i> .....	30
<i>Obr. 23. mikroskopické záběry před a po zatížení [34]</i> .....	31
<i>Obr. 24. Korkové a pěnové jádro [34]</i> .....	31
<i>Obr. 25. Závislost vlnové délky na frekvenci [34]</i> .....	32
<i>Obr. 26. Průběh ohybového momentu u nosníku na dvou podporách [35]</i> .....	34
<i>Obr. 27. Průběh ohybového momentu u čtyřbodové zkoušky ohybem [35]</i> .....	35
<i>Obr. 28. Zkouška odlupu pomocí navijecího bubnu [36]</i> .....	36
<i>Obr. 29. Zkouška odlupem za pomoci konzole [36]</i> .....	37
<i>Obr. 30. Zkouška za pomoci tlaku a vzduchu [36]</i> .....	37
<i>Obr. 31. Zkouška soudržnosti tahem naplocho [38]</i> .....	38

<i>Obr. 32. Vzorek s jedním jádrem o tloušťce 9 mm.....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 33. Vzorek se dvěma jádry o tloušťce 3 a 6 mm .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 34. Vzorek se třemi jádry o tloušťkách 3 mm .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 35. Korkové jádra při kladení vrstev.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 36. Korkové jádra proložené vrstvami prepregu.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 37. Stroj Zwick 1456 a teplotní komora Zwick W91255 .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 38. Způsob uchycení vzorku .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 39. Deformace vzorku s dvěma jádry o tloušťce 3 a 6 mm.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 40. Tahový diagram vzorků A, B, C při teplotě 25°C.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 41. Tahový diagram vzorků D, E, F při teplotě 25°C .....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 42. Tahový diagram vzorků A, B, C při teplotě 80°C.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 43. Tahový diagram vzorků D, E, F při teplotě 80°C .....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 44. Sloupcový graf průměrných hodnot modulu pružnosti <math>E_{ef}</math> při teplotě 25°C .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 45. Sloupcový graf průměrných hodnot modulu pružnosti <math>E_{ef}</math> při teplotě 80°C .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 46. Sloupcový graf průměrných hodnot pevnosti v ohybu <math>\sigma_f</math> při teplotě 25°C .....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 47. Sloupcový graf průměrných hodnot pevnosti v ohybu <math>\sigma_f</math> při teplotě 80°C .....</i>	<i>59</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Vlastnosti různých druhů pryskyřice [5].....</i>	14
<i>Tab. 2. Vlastnosti různých druhů vláken [5].....</i>	15
<i>Tab. 3. Vlastnosti CoreCork NL10 a CorekCork NL20 [Příloha PI].....</i>	41
<i>Tab. 4. Vlastnosti prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII] .....</i>	42
<i>Tab. 5. Mechanické vlastnosti prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII].....</i>	43
<i>Tab. 6. Vytvrzování prepregu GURIT PHG 840-300-42 [Příloha PIII] .....</i>	43
<i>Tab. 7. Vlastnosti vyrobených sendvičových panelů [Příloha PI].....</i>	45
<i>Tab. 8. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál A .....</i>	51
<i>Tab. 9. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál B .....</i>	51
<i>Tab. 10. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál C .....</i>	52
<i>Tab. 11. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál D .....</i>	52
<i>Tab. 12. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál E .....</i>	53
<i>Tab. 13. Hodnoty vypočítané z naměřených dat pro materiál F .....</i>	53

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI Materiálový list CorekCork

Příloha PII Materiálový list CorekCork NL MAT

Příloha PIII Mat. listy PREPREG GURIT PH840-300-42

# PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST COREKCORK



**CORECORK<sup>®</sup>**  
by Amorim

technický list



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

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

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

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

## Mechanické vlastnosti sendvičového korkového jádra

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

## Mechanické vlastnosti korkového jádra v sendvičovém laminátu [\*]

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

[\*] Vzorky jsou vyrobeny infuzí (0,6 baru) z epoxidové pryskyřice SR 8100 / ref. číslo SD 8824 a dvou vrstev 300 g/m<sup>2</sup> sklovláknité rovingové tkaniny, z obou stran, tloušťka sendvičového laminátu 6,5 mm, vytvrzení při 60 °C, 5 dní po zhotovení.

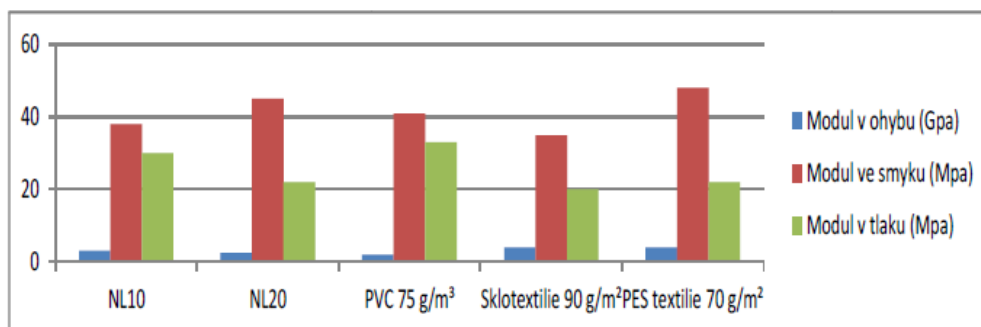


SKOLIL KOMPOZIT, spol. s r.o. - ul. 5. května 419, 551 02 Jaroměř - Josefov  
☎: +420 491 813 888 - 📠: +420 491 814 816 - Mobil: +420 602 660 155  
✉: [netolicky@skolilkompozit.cz](mailto:netolicky@skolilkompozit.cz) - <http://www.skolil.cz/>

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

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

## Mechanické vlastnosti sendvičových panelů při použití různých typů jádra



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

(\*) Vzorky jsou vyrobeny infuzí (0,6 baru) z epoxidové pryskyřice SR 8100 / ref. číslo SD 8824 a dvou vrstev 300 g/m<sup>2</sup> sklovláknitě rovingové tkaniny, z obou stran, tloušťka sendvičového laminátu 6,5 mm, vytvrzení při 60 °C, 5 dní po zhotovení.



# PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST CORECORK NL MAT

**CORECORK®**  
by Amorim

**NL MAT**

## Mnohostranně použitelný a nákladově efektivní

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

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

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

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

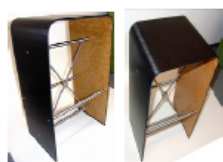


Courtesy of ECH France



Courtesy of Oriema GmbH

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



©Frank Kunststofftechnik, L. Frank

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

(1) 2+2 (600g/m<sup>2</sup>) skelná výtzuž, polyesterová pryskyřice, ruční kladení  
(2) 2+2 (600g/m<sup>2</sup>) skelná výtzuž, epoxidová pryskyřice, infuze



Courtesy of Azimat Yachts - Magellano 50

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

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

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

  
**AMORIM**  
Amorim Cork Composites

HEAD OFFICE  
Rua de Meladas, 260 Apartado 1  
4536-902 MOZELOS VFR - PORTUGAL

[www.corkcomposites.amorim.com](http://www.corkcomposites.amorim.com)

Autorizovaný distributor

  
**SKOLIL**  
K O M P O Z I T

SKOLIL KOMPOZIT s.r.o.  
web: [www.skolil.cz](http://www.skolil.cz)  
e-mail: [metolicky@skolilkompozit.cz](mailto:metolicky@skolilkompozit.cz)



## **PH840-300-42**

- Fiber reinforced thermosetting prepregged materials for railway parts (e.g. fairings, window, ceiling and floor panels).
- Woven fabric of E-glass filament yarn, 300 g/m<sup>2</sup>, 8H satin, prepregged with 42% phenolic resin PH840.
- Long shelf and shop life
- Excellent FST behaviour
- Excellent mechanical behaviour
- Good surface finish
- Autoclave-free processes possible
- Short curing time 10 min at 160°C



## Description

PH840-300-42 is a halogenfree modified phenolic system, designed for laminate with bright colour and good surface quality.

This prepreg material has been developed for industrial and rail applications. with high specific mechanical properties and excellent FST (low heat-release and smoke-density) behaviour.

The resin matrix PH840 can be cured at a temperature range between 120 C and 160 C. Monolithic and sandwich structures can be easily manufactured with this prepreg.

The curing can be performed by press, vacuum and autoclave moulding with a pressure of at least 0.07 N/mm<sup>2</sup>.

Such composite structures can be exposed easily to temperatures in the range of -55°C up to +80°C.

Cured laminates fulfil the flame-retardant Rail specifications:

- BS 476-6 and 7 Class 1, BS 6853 R. 025, NF-F 16-101/102 (M1, F1)
- UNE 23-721 (M1), DIN 5510 S4, SR2, ST2, DIN EN 45545 under testing

The prepreg material is suitable for:

- Rail industries
- Machine industries
- Marine and automotive applications

## Prepreg Properties

	Test method	Value
Resin		Phenolic
Prepreg Weight	EN 2329	525 +-30 g/m <sup>2</sup>
Volatile	EN 2330 (160°C/10min)	< 6.0 %
Resin Flow	EN 2332 (3 plies, 135°C, 8min, 4 bar)	> 10 %
Tackiness		T0, T1, T2
Fibre Material		E-glass
Fabric Weight	EN 2331	296 g/m <sup>2</sup> +-5 %
Weave Style		8H satin
Service Temperature (Cured State)		-55°C to +80°C
Resin Content	EN 2331	42.0 +-3%

## Delivery Form and Storage

Prepreg sizes	Roll length / Roll width	50 / 1.0 m
Storage Life (from delivery date)	Days at RT / Month at -18°C	

## Curing Conditions

		Cycle
Temperature		120/130/140/160°C
Cure Time		90/60/30/10 min
Spec. Pressure		0.07- 0.4 MPa
Heat-up		2 to 5 K/min
Cool-down		2 to 5 K/min
Remove material at		< 80°C
Recommended curing process		Vacuum bag / Oven, Press, Autoclave

## Mechanical Properties (Typical Values)

	Temp. [°C]	Standard	Results	
Flexural Strength (warp)	RT	ISO 178	450	MPa
	80		300	
Flexural Modulus (warp)	RT	ISO 178	22	GPa
	80		19	
Tensile Strength (warp)	RT	ISO 527-4		MPa
	80			
Tensile Modulus (warp)	RT	ISO 527-4		GPa
Compressive Strength (warp)	RT	EN 2850	--	MPa
	80		--	
Compressive Modulus (warp)	RT	EN 2850	--	GPa
Interlaminar Tensile Shear Strength (warp)	RT	AITM 1.0019/1B	18	MPa
	80		16	
Climbing Drum Peel <sup>1</sup>	RT	EN 2243-3	110	N/75 mm
	80		--	
Bending Load (4-P.) <sup>1</sup>	RT	AITM 1.0018 Fig.2	850	N
	80		--	
Tg (TMA)		TMA	> 80	°C

<sup>1</sup>Sandwich structure

## Burning Behavior

		Test method	Max. mean values	
Flammability vertical, 60s flaming	burn length after flame time after flame time of drips	AITM 2.0002A	80	mm s s
			5	
			--	
Max. specific optical smoke density within 4 min	flaming mode	AITM 2.0007A	5	Ds
Heat release		AITM 2.0006	25	$\frac{kW}{m^2}$
Heat release rate		AITM 2.0006	25	$\frac{kW \cdot min}{m^2}$