

Výzkum crush-core technologie

Bc. Vojtěch Křeček

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. Vojtěch KŘEČEK**
Osobní číslo: **T11176**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výzkum crush-core technologie**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši o problematice kompozitních sendvičových struktur:

Základní definice, způsoby zatěžování

Používané materiály

Konvenční způsoby výroby

Crush core technologie výroby

Způsoby testování sendvičových struktur

2. Experimentální část:

Popis použitých materiálů

Příprava zkušebních vzorků

Mechanické testování vzorků

Vyhodnocení výsledků a závěry

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

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

[2] Zenkert, D., Nordic Industrial Fund: The Handbook of Sandwich Construction. Wocestershire; EMAS Publishing, 1997.

[3] Davies, J.M.: Lightweight Sandwich Construction. London; Blackwell Science Publishing, 2001.

[4] Campbell, F.C.: Structural Composite Materials. Ohio; ASM International, 2010.

[5] Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Fojtl

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: KŘEČEK VOJTECH

Obor: VI

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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, 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 28.4.2013


.....

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

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

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

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

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá technologií zvanou Crush-Core. Tato technologie byla vyvinuta z důvodu, že jedním z největších problémů při výrobě sendvičových panelů je přilnutí vnějších vrstev k jádru. Tato technologie řeší tento problém, protože dochází ke stlačení voštinové struktury a tím i zvětšení styčné plochy mezi jádrem a vnější vrstvou. Popsanou technologii lze použít téměř výhradně v kombinaci s voštinovými jádry. V teoretické části jsou popsány výrobní technologie sendvičových struktur, používané materiály a možnosti zkoušení sendvičových struktur. Dále je v této části také popsána samotná technologie Crush-Core včetně popisu výrobních forem pro tuto technologii. V praktické části je popsána výroba zkušebních vzorků, jejich testování, a provedena diskuze naměřených výsledků.

Klíčová slova: sendvičová struktura, prepreg, voština, Crush-Core technologie, zkouška odlupem, zkouška ohybem, nízko-rychlostní průraz

ABSTRACT

This Master thesis deals with technology called Crush-Core. This technology was developed on the ground of the biggest problem of sandwich panels manufacturing is the adhesion of facing layers to the core. Described technology reduces this problem because the honeycomb core is compressed by a small value during the processing, creating a larger bonding area. Crush-Core technology can be used almost exclusively in combination with honeycomb cores. Theoretical part deals with the description of manufacturing techniques of sandwich structures, generally used materials and options of sandwich structures testing. Furthermore, description of Crush-Core technology and moulds used in this technology is also included in the theoretical part. Practical part deals with manufacturing of test specimen, their mechanical testing and evaluation of the results.

Keywords: sandwich structure, prepreg, Crush-Core technology, peel test, bending test, low-velocity impact test

Děkuji vedoucímu práce Ing. Ladislavu Fojtlovi za výborné vedení, odbornou pomoc a obětavost. Dále bych chtěl poděkovat Doc. Ing. Soni Rusnákové, Ph. D. za odborné rady při výrobě zkušebních těles a Ing. Vladimíru Rusnákovi za odborné rady a poskytnutí materiálů pro výrobu vzorků.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SENDVIČOVÉ STRUKTURY	12
1.1 ZATĚŽOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	13
1.2 PORUCHY SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	16
2 SENDVIČOVÉ STRUKTURY – MATERIÁLY	18
2.1 MATERIÁLY PRO VÝROBU VNĚJŠÍCH VRSTEV.....	18
2.1.1 Prepregy	18
2.1.2 Tkaniny	20
2.1.3 HPL desky	24
2.2 MATERIÁLY JADER.....	25
2.2.1 Pěny.....	25
2.2.2 Voštinové struktury.....	28
2.2.3 Balzová jádra.....	32
2.2.4 Korková jádra.....	32
3 ZPŮSOBY VÝROBY SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	34
3.1.1 Vakuová infuze	34
3.1.2 Pultruze	35
3.1.3 Vysokotlaké vstřikování.....	35
3.1.4 Vytvrzování prepregů v autoklávu.....	36
3.1.5 Vytvrzování prepregů ve vytvrzovací peci	37
3.2 CRUSH-CORE TECHNOLOGIE VÝROBY.....	38
4 ZPŮSOBY MECHANICKÉHO TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	41
4.1 TESTY ODLUPU VNĚJŠÍCH VRSTEV	41
4.1.1 Zkouška odlupem konzolou v tahu (SCB peel test).....	41
4.1.2 Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu	41
4.1.3 Zkouška odlupem za pomoci tlaku	41
4.2 ZKOUŠKA OHYBEM.....	42
4.3 ZKOUŠKA VRUBOVÉ HOUŽEVNATOSTI.....	44
4.4 ZKOUŠKA NÍZKO-RYCHLOSTNÍM PRŮRAZEM	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
5 CÍLE PRÁCE	47
6 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ	48
6.1 LABORATORNÍ VULKANIZAČNÍ LIS	48
6.2 UNIVERZÁLNÍ ZKUŠEBNÍ STROJ ZWICK 1456.....	49
6.3 CHARPYHO KLADIVO CEAST RESIL IMPACTOR JUNIOR	50
6.4 PADOSTROJ ZWICK ROELL HIT 230F	51

7	POUŽITÉ MATERIÁLY	52
7.1	NOMEXOVÁ VOŠTINA CORMASTER C2	52
7.2	PREPREG GURIT PH840-300-42	53
7.3	PREPREG GURIT PHG840N-F300-47	53
7.4	VOŠTINA ECM 6.4-82	54
7.5	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	55
8	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	57
8.1	ZKOUŠKA TROJ-BODÝM OHYBEM	57
8.2	RÁZOVÁ ZKOUŠKA V OHYBU	63
8.3	ZKOUŠKA NÍZKO-RYCHLOSTNÍM PRŮRAZEM	66
9	MODEL FORMY	71
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK.....	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

ÚVOD

Sendvičové struktury nacházejí své uplatnění v celé škále technických oborů počínaje stavebnictvím, dopravním průmyslem a například letectvím konče. Ve stavebnictví se používají například na izolace budov, kde jádro částečně tvoří izolaci, v dopravě pak tyto materiály slouží zejména k výrobě pohledových dílců a v letectví jsou používány na některé nosné prvky. Další oblastí použití sendvičových materiálů je sportovní náčiní, jako jsou například surfy nebo lyže. Tyto struktury se skládají ze dvou vnějších tuhých vrstev a jádra z materiálu, který má nízkou hustotu. Vnější vrstva přenáší tahového a tlakového namáhání a jádro zajišťuje přenos smykového namáhání mezi vnějšími vrstvami. Jejich velkou výhodou je vysoká tuhost oproti samostatnému laminátu a také velmi nízká hmotnost. Nevýhodou pro některé aplikace může být vysoká cena, kterou však lze redukovat vhodnou volbou materiálů.

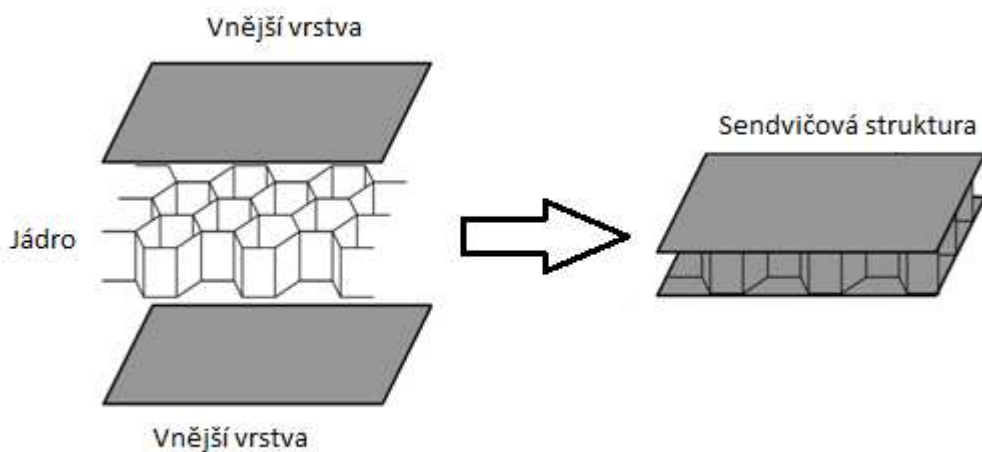
Velkým problémem při výrobě těchto struktur je dokonalé přilnutí jádra ke vnější vrstvě a to zvláště při použití voštiny jako jádra z důvodu malé styčné plochy. Technologie Crush-Core se snaží minimalizovat možné problémy tím způsobem, že zvětšuje styčnou plochu a to tak, že dojde ke zmáčknutí voštinového jádra, což vede k vytvoření větší styčné plochy. Dalším problémem který prodražuje výrobu, je fakt, že samotná výroba pomocí například vakuové infuze je zdlouhavá, což Crush-Core technologie taktéž řeší. Touto technologií vznikne z obou stran pohledový výrobek, a proto jej lze použít například na interiérové díly letadel jako třeba dvířka zavazadlového prostoru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

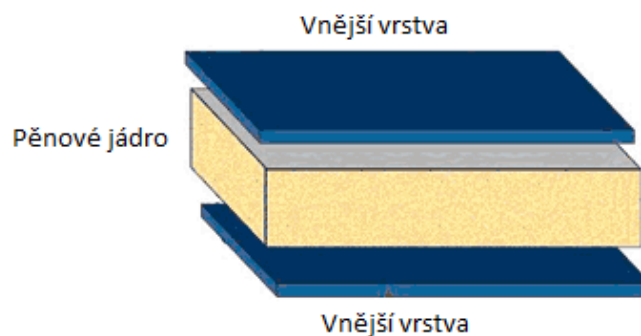
1 SENDVIČOVÉ STRUKTURY

Sendvičové struktury jsou moderními konstrukcemi s vysokou ohybovou tuhostí a pevností při nízké hmotnosti, ale mají i řadu dalších předností. Uplatnění nacházejí nejen v letecké a dopravní technice, ale i v ostatních odvětvích průmyslu například ve stavebnictví. Sendvičové struktury řadíme k vrstevnatým konstrukcím. Tyto konstrukce jsou tvořeny rozdílnými typy jednoduchých či složených materiálů různého charakteru, jejich spojení je vzájemně nerozebíratelné. [1]

Účinná struktura sendviče je taková, která je tvořena dvěma vnějšími vrstvami s vysokou pevností a tuhostí, zatěžovanými tahovými a tlakovými silami a jádrem o relativně malé hustotě přenášejícím smykové síly mezi těmito potahy. Vzorová sendvičová struktura tvořená vnějšími vrstvami a voštinovým jádrem je zobrazena na Obr. 1, sendvičová struktura s pěnovým jádrem je zobrazena na Obr. 2. [1]



Obr. 1: Sendvičová struktura s voštinovým jádrem [2]

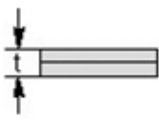
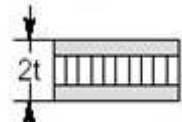
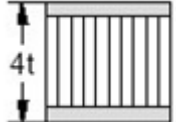


Obr. 2: Sendvičová struktura s pěnovým jádrem [3]

Mezi výhody sendvičových struktur patří únavová odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, odolnost proti ohni, vysoká schopnost tlumení vibračí a také tepelná a akustická izolace. Tyto vlastnosti jsou určeny převážně materiálem jádra. [1]

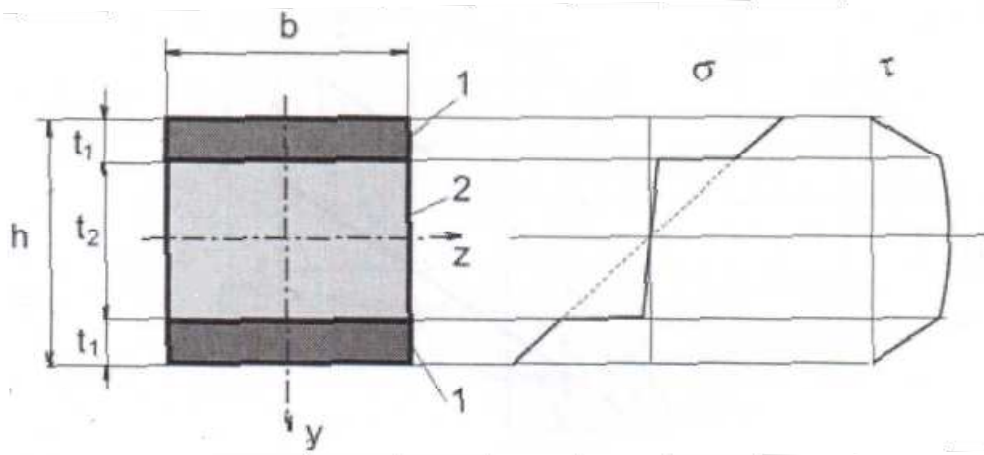
Ohybová tuhost sendviče je přímo úměrná druhé mocnině její tloušťky (Tab. 1). Výhodou je, že se zvětšováním tloušťky sendvičové struktury dochází k velmi nízkému nárůstu jeho hmotnosti - zvětšuje se pouze tloušťka jádra, jež má obvykle velmi nízkou hustotu. Pevnost v ohybu také roste se vzdáleností vnějších vrstev, avšak při dimenzování sendviče je nutné také posuzovat smykovou pevnost jádra, kdy se pevnost jádra ve smyku zvyšuje s jeho hustotou. O pevnosti sendviče v tlaku ve směru jeho tloušťky rozhoduje hlavně pevnost jádra v tlaku, ale i tuhost a tloušťka vnějších vrstev. Pevnost jádra v tlaku roste s jeho hustotou. Z porovnání pevností pěnových a voštinových jader vyplývá, že voštinová jádra mají lepší mechanické vlastnosti než pěnová jádra se stejnou hustotou. Pochopitelně při volbě vhodného jádra sendviče je nezbytné zohlednit všechny faktory a požadavky konkrétní aplikace. [1]

Tab. 1 Porovnání tuhosti, pevnosti a hmotnosti v závislosti na tloušťce jádra [2]

Vlastnost	Celistvý materiál 	Tloušťka jádra t 	Tloušťka jádra 3t 
Tuhost	1.00	7.00	37.00
Pevnost v ohybu	1.00	3.50	9.20
Hmotnost	1.00	1.03	1.06

1.1 Zatěžování sendvičových struktur

Dimenzovat ohýbané prvky jako pruty plného homogenního průřezu je z hlediska efektivního využití materiálu není vhodné. Oblast kolem neutrální plochy je totiž namáhána velmi málo ve srovnání s namáháním krajních vláken průřezu. Vysoké tuhosti při minimální hmotnosti lze dosáhnout použitím třívrstvé – sendvičové struktury Obr. 4 [4]



Obr. 3: Třívrstvá sendvičová struktura [4]

h – celková tloušťka sendvičové struktury, t_1 – tloušťka vnější vrstvy, t_2 – tloušťka jádra, b – šířka sendvičové struktury, σ – průběh normálových napětí, τ – průběh smykových napětí

Vnější tuhé a pevné vrstvy 1 jsou odděleny lehčeným pěnovým nebo voštinovým jádrem 2 o nízké tuhosti. Jde tedy o typický případ složeného prutu. Pro tuhost v ohybu sendvičového průřezu vyplývá vztah: [4]

$$K_0 = E_1 \frac{bh^3}{12} \left[1 - \frac{E_1 - E_2}{E_1} \left(1 - 2 \frac{t_1}{h} \right)^3 \right] \quad (1)$$

K_0 – tuhost v ohybu, E_1 – modul pružnosti v tahu vnější vrstvy, E_2 – modul pružnosti v tahu jádra, b – šířka sendvičové struktury, h – celková tloušťka sendvičové struktury, t_1 – tloušťka vnější vrstvy

Pro $E_1 \gg E_2$ a $t_1 \ll t_2$ dle obr. 3 je tuhost v ohybu dána vztahem:

$$K_0 = E_1 \frac{bh^2 t_1}{2} \quad (2)$$

Za předpokladu že E_2/E_1 se blíží k nule.

Označíme-li ρ jako hustotu nebo popřípadě cenu za hmotnostní jednotku materiálu, bude hmotnost nebo případně cena jednotkové délky prutu vyjádřena vztahem:

$$m = b[h\rho_2 + 2t_1(\rho_1 - \rho_2)] \quad (3)$$

m – cena za jednotku materiálu, b – šířka sendvičové struktury, h – výška sendvičové struktury, ρ_1 – hustota vnější vrstvy, ρ_2 – hustota jádra, t_1 – tloušťka vnější vrstvy

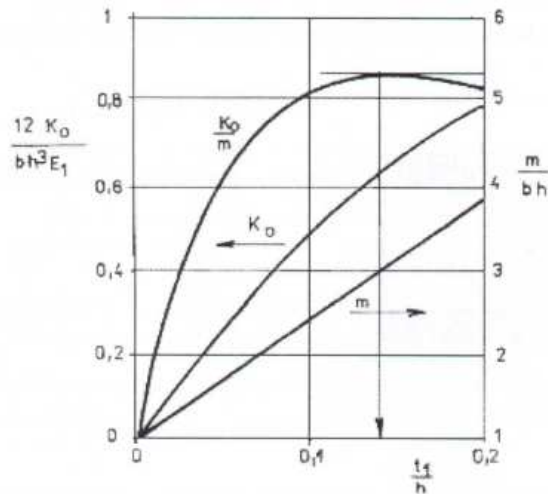
Nalézt pro určité b a h nejvhodnější tloušťku vnějších vrstev znamená zřejmě nalézt extrém funkce K_0/m . Podmínka je pak:

$$\frac{\partial}{\partial t_1} \left(\frac{K_0}{m} \right) = 0, K_0 \frac{\partial m}{\partial t_1} = \frac{\partial K_0}{\partial t_1} \quad (4)$$

Po derivaci a dosazení:

$$\frac{E_1}{E_1 - E_2} = \left(\frac{2t_1}{h} - 1 \right)^2 \left(4 \frac{t_1}{h} + 1 + \frac{3\rho_2}{\rho_1 - \rho_2} \right) \quad (5)$$

Odtud je kupříkladu pro $\rho_2=1$, $\rho_1=8$ a pro $E_1 \gg E_2$ $t=0,14h$. Průběh funkcí K_0/m , K_0 , m je znázorněn na obr. 6. [4]



Obr. 4: Průběh funkcí K_0/m [4]

Jak je možno vidět na Obr. 4, jádro přenáší v podstatě celou smykovou sílu T v průřezu. To při velmi nízkém modulu ve smyku jádra znamená značné smykové deformace. Celkový průhyb nosníku na obr. 4 je určen vztahem:

$$y = \frac{Fl^3}{48K_0} + \frac{Fl}{G_2bt_2} \quad (6)$$

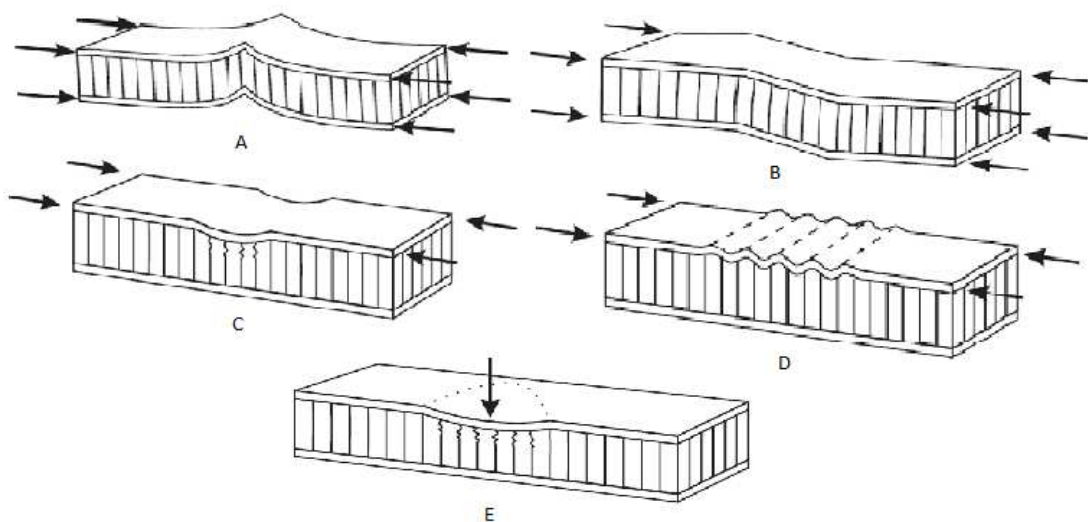
y – celkový průhyb sendvičové struktury, F – zatěžující síla, l – délka sendvičové struktury
 b – šířka sendvičové struktury, t_2 – tloušťka jádra, G_2 – modul pružnosti ve smyku jádra,
 K_0 – ohybová tuhost [4]

Kde ohybová tuhost K_0 je dána rovnicí (1).

Na rozdíl od homogenních výrobků není konečná únosnost sendviče v ohybu dána jen materiálovou charakteristikou – pevností, ale je výslednicí komplikovaného mechanického chování sendvičové struktury. Únosnost sendvičů je závislá na geometrických a materiálových, ale také na technologických parametrech. Mají na ni vliv poruchy různého typu. Vnější nosné vrstvy sendvičové struktury jsou v podstatě tenkostěnné prvky, uložené na pružném podkladě jádra, a tedy náchylné k jistým formám ztráty stability. Tato poškození mohou být doprovázena odtržením neboli separací nosných vrstev a jádra a jejich následným porušením. Jestliže působí osamělá příčná zatížení, může docházet k místním poškozením v důsledku stlačení, případně destrukci jádra. Tím je minimalizována únosnost sendvičové struktury v těchto místech viz Obr. 5 E. Osamělá zatížení je proto nutno přenášet prostřednictvím tuhých vložek, které jsou začleněny do jádra. [4]

1.2 Poruchy sendvičových struktur

Při navrhování struktur musí konstruktér brát v úvahu specifické poruchy, které se objevují pouze při určitém způsobu zatěžování sendvičových struktur. Kromě klasických deformací jako je například posunutí v důsledku ohybového namáhání známého z prutů plného průřezu rozlišujeme dále poruchy zobrazené v Obr. 5. [3]



Obr. 5: Deformace sendvičových struktur [3]

A – Vzpěr, B – Zvlnění, C – Zvlnění vnější vrstvy a zborcení jádra, D – Zvlnění vnější vrstvy, E – Lokální stlačení

Ke vzpěru (Obr. 6 A) dochází v případě, jestliže modul průřezu ve smyku není adekvátní vzhledem k aplikované síle. Toto způsobí vybočení celého profilu a může dojít ke zborcení celé struktury. Zvlnění (Obr. 6 B) celého profilu může vzniknout z obdobných důvodů jako v případě vzpěru, ale s jiným výsledkem. Na Obr. 6 C je patrné zvlnění vnější vrstvy s následným lokálním zborcením jádra, kdy tato destrukce nastává v případě, jestliže modul pružnosti v tlaku vnější pevné vrstvy a také jádra není dostatečný vzhledem k aplikované tlakové síle. Pokud jsou buňky jádra příliš velké a tím pádem nejsou schopny podporovat vnější vrstvu, dojde k jejímu zvlnění (Obr. 6 D). Lokální stlačení (Obr. 6 E) se objeví v případě příliš nízké tlakové tuhosti jádra, čímž dojde ke ztrátě stability.

2 SENDVIČOVÉ STRUKTURY – MATERIÁLY

U sendvičových struktur se můžeme setkat s celou řadou jak kovových, tak i nekovových materiálů. Jako jádra se uplatňují zejména lehčené PVC, PUR a PS pěny, dále pak voštiny nejčastěji s hexagonální strukturou, případně jádra z korku či balzy. Nosné vnější vrstvy sendvičů jsou s jádrem obvykle spojeny syntetickými lepidly na bázi epoxidových, vinylesterových, fenolických a nenasycených polyesterových pryskyřic.

2.1 Materiály pro výrobu vnějších vrstev

Při volbě materiálů musíme zvažovat mnoho faktorů, které mohou ovlivnit vlastnosti hotového výrobku. Musíme brát v úvahu nejenom použití daného výrobku a předpokládanou kapacitu jeho výroby, ale i použitou výrobní technologii.

2.1.1 Prepregy

Pro výrobu dílů lisováním nebo v autoklávu se nejčastěji používá před-impregnovaná výztuž, tzv. prepreg. Použití prepregů má tu výhodu, že je oddělen složitý proces prosycování výztuže pojivem od dalšího zpracování. Tento postup, který má velký vliv na kvalitu a vlastnosti budoucího výrobku, se provádí za kontrolovaných a reprodukovatelných podmínek na speciálním zařízení. Při výrobě jednosměrně vyztuženého prepregu se odvíjejí pramence vláken ze stojanu s cívkami a vedou se rovnoběžně, vyrovnány v rovině přes stavitelný hřeben. Takto připravený pás vláken se ukládá na papírový nosič opatřený silikonovou vrstvou, na který byla předem nanesena vrstva pryskyřice. Pás je veden na vytápěný válec kalandru, kde pod tlakem dochází k prosycení výztuže pojivem. Pás prepregu, prosycený pryskyřicí a oboustranně chráněný nosným papírovým pásem, prochází chladicí zónou, kde se zastaví vytvrzovací reakce, dále přes ořezávací zařízení na navíjecí zařízení. Prepregy vyrobené na takovém zařízení mají všechna vlákna uložena rovnoběžně a nazývají se jednosměrné prepregy. [5]

Prepregy s reaktivním reaktoplastickým pojivem se musí až do doby dalšího zpracování skladovat v chladu přibližně při -20°C , přesto jsou však skladovatelné nejvýše 6 měsíců (v závislosti na reaktivitě použitého pojiva). Přibližně 6 hodin před vlastním zpracováním se prepreg rozmrazí, pokud možno bez přístupu vzduchu aby nedošlo ke srážení vzdušné vlhkosti na povrchu prepregu. Dále se z něj podle stříhového a pokládacího plánu připraví

potřebné množství pro laminaci. Prepregy s termosetickou matricí mají za normální teploty lehce lepivý povrch, což lze ještě zlepšit slabým zahřátím (max. 50°C); přířezy se pak mohou ukládat i v nevýhodných polohách jako například při práci nad hlavou. Fixace polohy přířezů se provádí slabým přitlačením ručním válečkem nebo teflonovou stěrkou. Na povrch výrobku se přiloží pružná a dále separační fólie a výrobek se vytvrdí jednou z výše popsaných metod. Sériová výroba konstrukčních prvků jako například v leteckém průmyslu, je částečně automatizována – pás prepregu je ukládán pomocí číslicově řízených zařízení, takže je výroba ekonomická a reprodukovatelná. Dvoukroková výroba prepregů je popsána na Obr. 6 a jednokroková v horizontálním a vertikálním uspořádání je zobrazena na Obr. 7. [5]

Při výrobě prepregů s termoplastickou matricí se používají následující metody:

- Nanášení termoplastu v roztaveném stavu na výztuž
- Nanášení roztoku termoplastu na výztuž
- Nanášení vodné suspenze termoplastického prášku na výztuž
- Nanášení prášku polymeru na jednotlivá vlákna rovingu, slinování prášku a opětovné sdružení vláken[6]

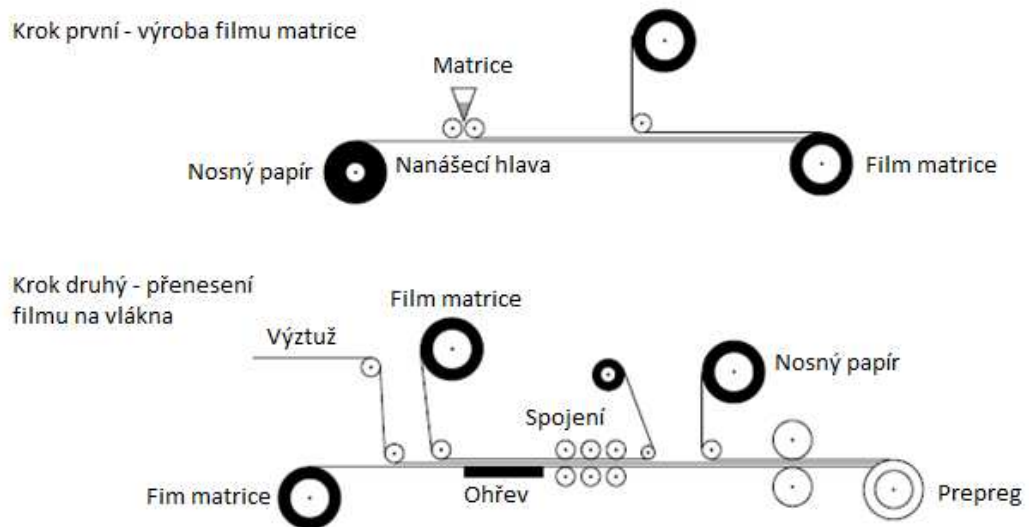
V praxi je používáno několik druhů prepregů a je možné dělit je dle geometrie výztuže:

Jednosměrný prepreg vyrobený z rovingů (výztuž ve tvaru nekonečných vláken bez krutu), který je určen pro mechanicky namáhané díly vyráběné kladením, navíjením pásů nebo pultruzí. Má poměrně malou tloušťku a dodává se v kotoučích různé šířky.

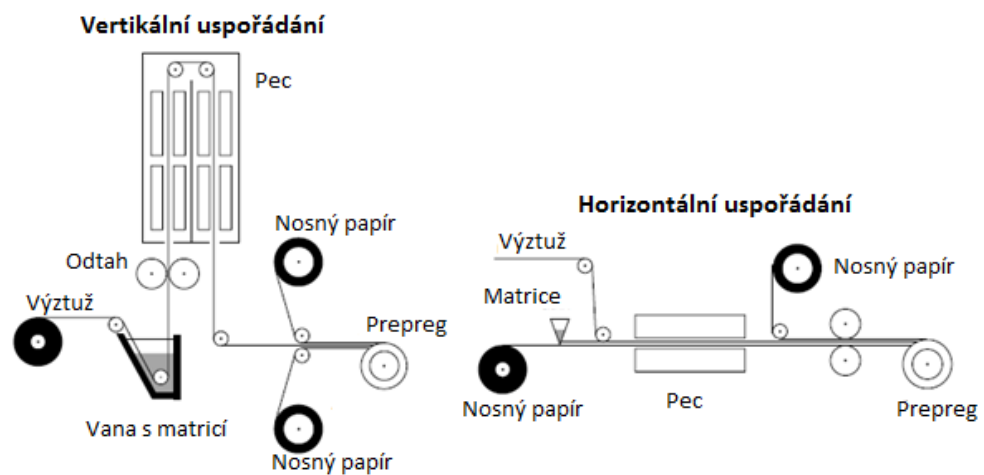
Vícevrstvý prepreg, u kterého jsou jednosměrně vyztužené vrstvy vůči sobě otočeny o určitý úhel a spojeny prošitím polyesterovou nití.

Kombinované prepregy únosnější vrstvy s tkaninovou výztuží se dávají na mechanicky více namáhanou stranu výrobků (při namáhání v ohybu na taženou stranu), vrstvy s rohožemi na stranu vystavenou koroznímu prostředí (mají větší podíl pryskyřice).

Prepregy s prostorově vázanou výztuží kde jsou vlákna pletena nebo tkána. [6]



Obr. 6: Dvoukroková výroba prepregů [2]



Obr. 7: Jednokrokové vertikální a horizontální uspořádání výroby prepregů [2]

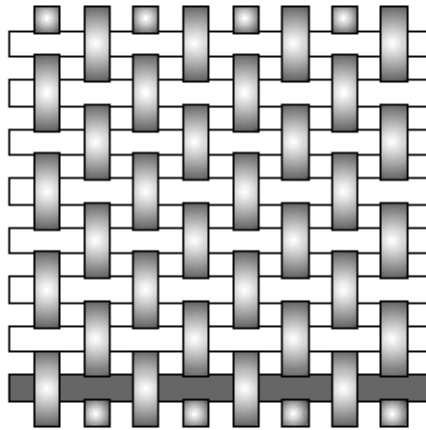
2.1.2 Tkaniny

Výztuže do kompozitních materiálů lze najít v mnoha různých variantách zpracování. Běžně jsou k dostání v metráži nebo v podobě pasek různé šířky. Tkaniny jsou děleny podle hmotnosti 1m^2 . Vlákna v tkaninách mohou být uspořádány buď jednosměrně, nebo různými směry dle typu tkaní. [7]

- **Plátňová vazba**

Plátňová vazba (Obr. 8) je nejpevnější, ale také nejméně poddajná při tvarování, když prameny (nebo rovingy) v osnově i útku jsou stejně silné a stejnoměrně vzdálené.

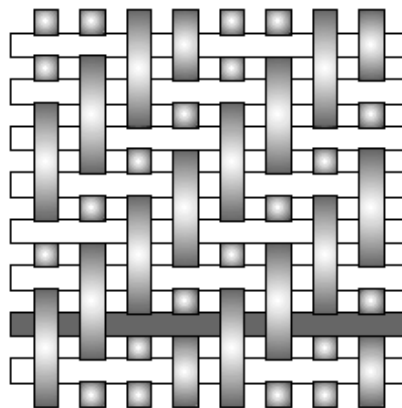
Pramenec útku prochází vždy pod a nad každým pramenem osnovy (tzv. vyvážená plátňová vazba). Volnější a tím i více poddajnou plátňovou vazbu vytvářejí dva nebo i více prameny útku procházejícího pod dvěma nebo i více nitěmi osnovy (košíková vazba, angl. „basket“). Pro plátňovou vazbu se nepoužívají široká vlákna, neboť může dojít k jejich zvlnění. [8]



Obr. 8: Plátňová vazba [8]

- ***Keprová vazba***

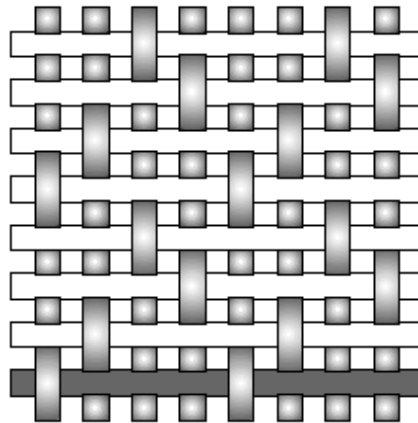
Keprová vazba (Obr. 9) je vytvořena, když útek překříží minimálně dva prameny osnovy, než opět projde pod jedním nebo více prameny osnovy. V další radě se útek posouvá doprava nebo doleva vždy k nejbližšímu prameni osnovy. Na tkanině je tak vytvářen diagonální vzor. Pokud je použita vazba označena např. 3/1, znamená to, že jeden pramen osnovy je překryt třemi prameny útku a jedním pramenem na spodní straně (vzniká lomený vzor). Tkanina s keprovou vazbou je ohebnější, avšak pouze při měkké povrchové úpravě vláken. [8]



Obr. 9: Keprová vazba [8]

- **Atlasová vazba**

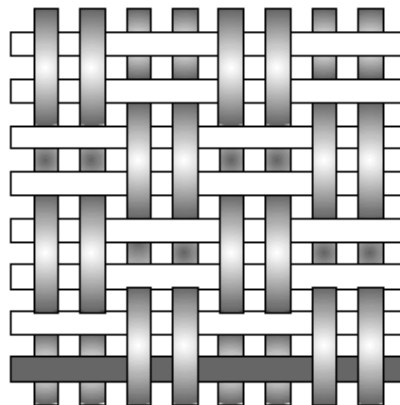
Atlasová vazba (Obr. 10) je nejméně pevnou textilní vazbou. Jeden pramen osnovy je překryt čtyřmi a více prameny útku seshora a jedním pramenem ze spodní strany. Počet pramenů osnovy překrytých útkem udává tzv. vaznost atlasu (5 až 12). Povrch tkaniny je hladký a lesklý, s dlouhými plochami, v nichž vlákna leží rovnoběžně s povrchem. Vazba umožňuje dosáhnout vysoký objemový podíl vláken ve vrstvě kompozitu a zaručuje minimální zvlnění vláken. S atlasovou tkaninou je tedy možno získat kompozit s vyšší pevností a tuhostí než při použití běžných tkanin. [8]



Obr. 10: Atlasová vazba [8]

- **Košíková vazba**

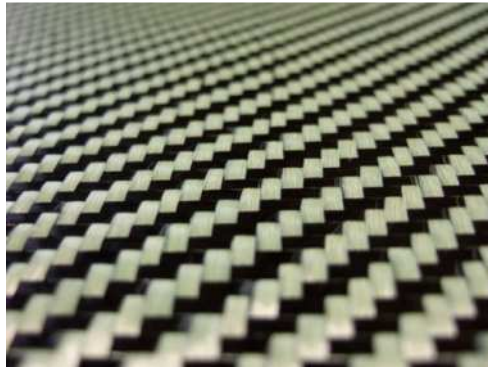
Tato vazba (Obr. 11) je podobná plátnové vazbě, s výjimkou zdvojených vláken, které jsou střídavě prokládány. Košíková vazba je plošší, silnější, ale méně stabilní než plátnová vazba. Musí být použita pro tlustá vlákna s velkou gramáží, aby nedocházelo ke zvlnění. [8]



Obr. 11: Košíková vazba [8]

- **Hybridní tkaniny**

Pod pojmem hybridní tkaniny (Obr. 12) rozumíme takové tkaniny, které mají více než jeden typ strukturních vláken. Pokud je ve vícevrstvě laminátu třeba použít více typů materiálu, je možné použít více typů tkanin, a to každou, která by obsahovala vlákno, které je třeba. Nicméně pokud vyžadujeme extrémně nízkou váhu a tloušťku můžeme využít hybridních tkanin, ve kterých každá vrstva obsahuje dva typy vláken. [8]



Obr. 12: Hybridní tkanina [9]

Nejvíce používanými hybridními tkaninami jsou:

Uhlíkové vlákno / Aramidové vlákno

Vysoká odolnost vůči nárazu a vysoká pevnost v tahu aramidového vlákna se kombinuje s vysokou pevností v tahu a tlaku uhlíkového vlákna. Obě tato vlákna mají nízkou hustotu, ale relativně vysokou cenu. [8]

Aramidové vlákno / Skelné vlákno

Nízká hustota, vysoká odolnost vůči nárazu a vysoká pevnost v tahu se kombinuje s dobrou pevností v tahu a tlaku a nízkou cenou skelného vlákna. [8]

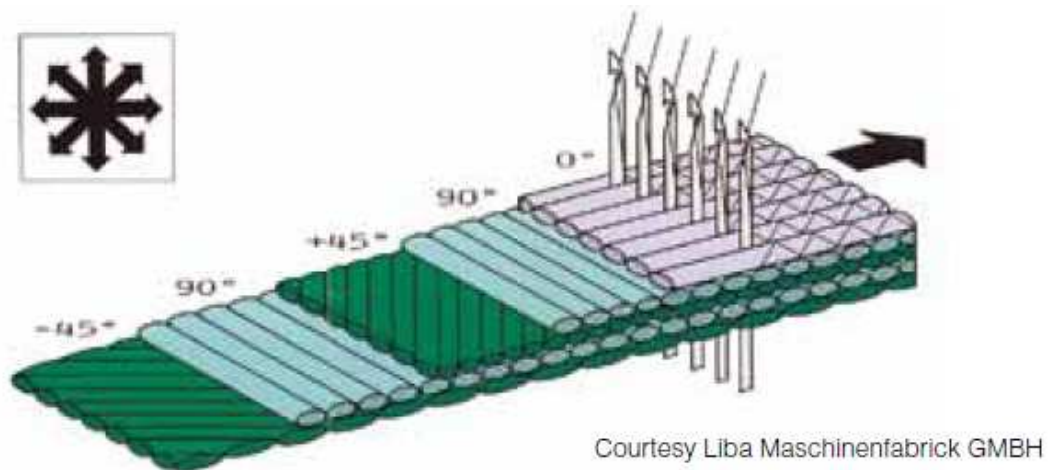
Uhlíkové vlákno / Skelné vlákno

Uhlíkové vlákno dodává této tkanině vysokou pevnost, tuhost a díky své nízké hustotě snižuje hmotnost, zatímco skelné vlákno snižuje její cenu. [8]

- **Multiaxiální tkaniny**

Tyto tkaniny se skládají z jedné nebo více vrstev dlouhých vláken držených pohromadě sešitím nestrukturní nití. Výztužné tkaniny mohou být jakákoliv a v jakékoliv kombinaci, lze využít i hybridních tkanin. Nit' je většinou polyesterová kvůli její nízké ceně a dobrým

vlastnostem. Sešívání dovoluje rozmanité orientace vláken, ne pouze 0/90° jako je u konvenčních tkanin. Hlavními výhodami jsou lepší mechanické vlastnosti vyplývající z toho, že vlákna jsou vždy naskládána rovně a nejsou pomačkány a dále vyšší rychlost výroby z těchto tkanin, protože je možno vyrobit tlustší tkaniny s rozdílným uspořádáním vláken a tím snížit celkový počet vrstev nutných k výrobě kompozitu. Jako nevýhodu lze považovat to, že polyesterová vlákna se špatně spojují s určitými druhy matric, což může mít za následek zhoršené mechanické vlastnosti v místě stehu. Výroba těchto tkanin (Obr. 13) je pomalá a náklady na pořízení strojů na jejich výrobu jsou vysoké, což vede k vysoké výsledné ceně těchto tkanin. Tkaniny s vysokou gramáží na metr čtverečný sice mají velký počet vláken, ale je problém dostatečně je prosytit. [8]



Obr. 13: Výroba multiaxiálních tkanin

Tkaniny jsou, jak bylo zmíněno, součástí prepregů, nebo se samostatně prosycují různými druhy matric a vytváří tak kompozitní vnější vrstvy.

2.1.3 HPL desky

Vysokotlaké lamináty (z anglického High Pressure Laminates – HPL) se vyrábí v diskontinuálně pracujících víceetážových lisech s lisovacím tlakem mezi 7 a 8 MPa a teplotách přes 120 °C. Etážové lisy mohou mít až 45 etáží a každá etáž se naplní až 24 laminátovými deskami (tloušťka cca. 0.50 až 1.90 mm). Maximální teplotě trvá kompletní lisovací cyklus včetně zpětného ochlazení asi 100 minut v závislosti na naplnění lisu. [10]

Podstatnou složkou laminátů jsou natronsulfátové papíry, též jsou také nazývané jádrové vrstvy. Plošná hmotnost natronsulfátového papíru leží v rozmezí od 70 – 300 g/m²,

přičemž vyšší gramáže se převážně používají pro kompaktní desky. Overlay je bělený, transparentní papír s vysokou schopností příjmu pryskyřice a používá se k ochraně tisku u potištěného papíru a ke zlepšení odolnosti vůči otěru.

Díky výrobnímu procesu lze vyrábět kompaktní desky (lamináty ≥ 2 mm tloušťky) a povrchy s vysokým leskem. Díky víceetážovému lisování je teoreticky možná výroba i jednoho kusu, přičemž ovšem hospodárnost není brána v tom případě v potaz. [10]

Mezi další materiály používané u sendvičových struktur pro vnější vrstvy patří ocelové a hliníkové plechy, ve stavebnictví to jsou pak dřevotříska a překližka.

2.2 Materiály jader

Existuje mnoho materiálů, které lze použít jako jádro. Pro technologii crush – core se využívá zejména voštinových jader, ať už hliníkových, nomexových či termoplastických. Při výběru vhodného jádra pro konkrétní aplikaci je třeba brát v úvahu nejen jeho použití a mechanické vlastnosti, ale i použitou výrobní technologii. [8]

2.2.1 Pěny

Nejpoužívanější jádrové materiály pro výrobu sendvičových struktur jsou pěny. Mohou být vyráběny z široké palety syntetických polymerů jako například PVC, PU, PEI, SAN. Jejich hustota se může lišit v rozmezí od 30 kg/m^3 do 300 kg/m^3 . Vyráběny jsou v rozdílných tloušťkách, typicky od 5 do 50 mm. [8]

- **PVC pěny**

PVC pěny s uzavřenými buňkami jsou jedny z nejčastěji používaných materiálů pro výrobu jader sendvičových konstrukcí. PVC pěny nabízí vyváženou kombinaci statických a dynamických vlastností a také dobrou odolnost vůči absorpci vody, jsou také odolné vůči mnoha chemikáliím. Další klíčovou vlastností je velké rozpětí teplot, ve kterých je možno tyto pěny používat, typicky se používají od -240°C do 80°C . Přestože jsou PVC pěny vysoce hořlavé, lze použít retardérů hoření pro snížení hořlavosti. Další výhodnou vlastností je odolnost vůči styrenu, což znamená, že může být bezpečně použito v kombinaci s polyesterovými pryskyřicemi. Na Obr. 14 je zobrazena PVC pěna. [8]



Obr. 14: PVC pěna [11]

Existují dva hlavní druhy PVC pěn: Zesíťované a nezesíťované. Nezesíťované jsou tužší a pružnější a lze je jednodušeji tvarovat za tepla. Nicméně mají horší mechanické vlastnosti než zesíťované pěny stejné hustoty, také jsou méně odolné vůči styrenu a vyšším teplotám. Zesíťované PVC pěny jsou tvrdší a křehčí, lze z nich vyrobít tužší panel, který bude méně náchylný ke změkčení za vyšších teplot. [8]

- ***PS pěny***

Tyto pěny se nejvíce používají při výrobě malých námořních plavidel a surfů. Mají nízkou hustotu (40 kg/m^3), jsou levné a lehce zpracovatelné. V aplikacích, kde potřebujeme dobré mechanické vlastnosti, jsou však nepoužitelné. Nelze je použít v kombinaci s polyesterovými pryskyřicemi, protože styren v nich obsažený by je rozpustil. Příklad polystyrenové pěny je na Obr. 15. [8]



Obr. 15: Polystyrenová pěna [12]

- **PUR pěny**

PUR pěny mají pouze průměrné mechanické vlastnosti. Povrch této pěny má na rozhraní pryskyřice/jádro po delší době tendenci ke zhoršení přilnavosti což vede k delaminaci. Jejich aplikace jsou tedy omezeny na produkci rámců a žeber pro vyztužení dílů. Nicméně je lze využít pro méně namáhané sendvičové panely, které jsou posléze využity pro tepelnou izolaci. Tato pěna je schopna pracovat za zvýšených teplot (150°C) a dobře zvukově izoluje. Na Obr. 16 je znázorněna ukázka PUR pěny. [8]



Obr. 16: PUR pěna [13]

- **PMMA pěny**

Když vezmeme v úvahu jejich hustotu, mají tyto pěny jednu z nejvyšších tuhostí a pevností ze všech pěnových jader. Jejich vysoká rozměrová stabilita je předurčuje k použití v kombinaci s prepregy, které se vytvrzují při vysoké teplotě. Nicméně vysoká cena do značné míry limituje jejich použití. Nejčastěji se používají v letecké technice, například na rotory helikoptér a na vztlakové klapky u letadel. Na Obr. 17 je zobrazena PMMA pěna. [8]



Obr. 17: PMMA pěna [14]

- *SAN pěny*

Tyto pěny mají podobné vlastnosti jako zesíťované PVC pěny. Jejich statické vlastnosti jsou vesměs podobné, ale mají mnohem vyšší tuhost. Tím pádem jsou schopny absorbovat nárazy, které by zničily konvenční a dokonce i vyztužené PVC pěny. Oproti vyztuženým PVC, jež využívají přísady ke zlepšení jeho vlastností má SAN takto dobré vlastnosti vrozené a nedochází k jejich degradaci s věkem. San pěny postupně nahrazují zesíťované PVC pěny v mnoha oblastech použití protože mají podobné vlastnosti, ale mají vyšší tepelnou odolnost a lepší statické vlastnosti, ale jsou stále teplem tvarovatelné, což napomáhá výrobě zakřivených součástí. [8]

2.2.2 Voštinové struktury

Voštinová jádra pro aplikaci v sendvičových strukturách jsou dostupná v mnoha rozmanitých materiálových variantách od lepenkových pro nenáročné aplikace například do interiérových dveří, přes polymerní až po vysokopevnostní a velmi tuhé, extrémně lehké komponenty pro výrobu leteckých komponent. Voštiny mohou být vyráběny ve formě desek, ale i zakřivených panelů. Tohoto tvarování lze dosáhnout bez použití velké síly nebo zahřátí. [8]

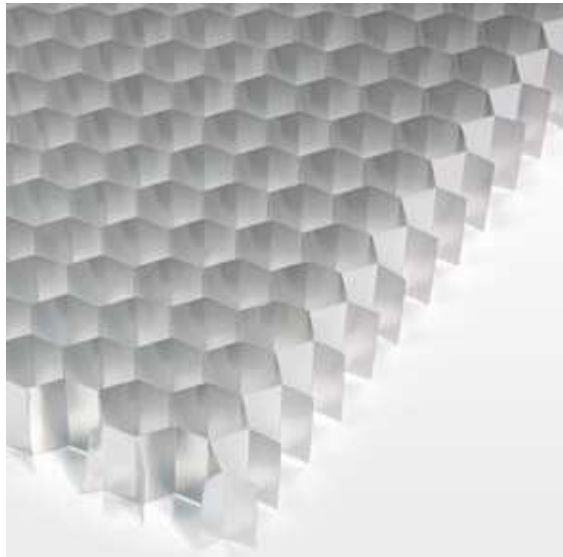
Voštiny tvořené termoplastem se nejčastěji vyrábějí vytlačováním a jsou posléze řezány na příslušnou tloušťku. Z ostatních materiálů se vyrábějí pomocí vícestupňového procesu. Například voštiny na bázi papíru jsou vyráběny tak, že balík spojených archů papíru je roztáhnut, aby vytvořil velký blok dané struktury několik metrů tlustý. V této podobě je celý ponořen do pryskyřice a posléze vytvrzen v peci. Po této operaci je dostatečně pevný na to, aby jej šlo nařezat na potřebnou tloušťku. [8]

I když se jako vnějších tenkých vrstev většinou využívá vláknových kompozitů, lze pro kombinaci s voštinovým jádrem použít prakticky jakýkoliv materiál včetně dřeva, termoplastů, hliníku nebo oceli. Buňky mohou být vyplněny pěnou, což zvětšuje styčnou plochu a zlepšuje mechanické vlastnosti jádra tím, že stabilizuje stěny a zlepšuje termální a akustickou izolaci. [8]

Vlastnosti těchto materiálů závisí na velikosti buněk a pevnosti jejich materiálu. Z těch to jader lze vytvořit velice tuhé a lehké lamináty, ale díky jejich malé přilnavé ploše je lze použít jen s vysoce lepivými pryskyřicemi například epoxidovými. [8]

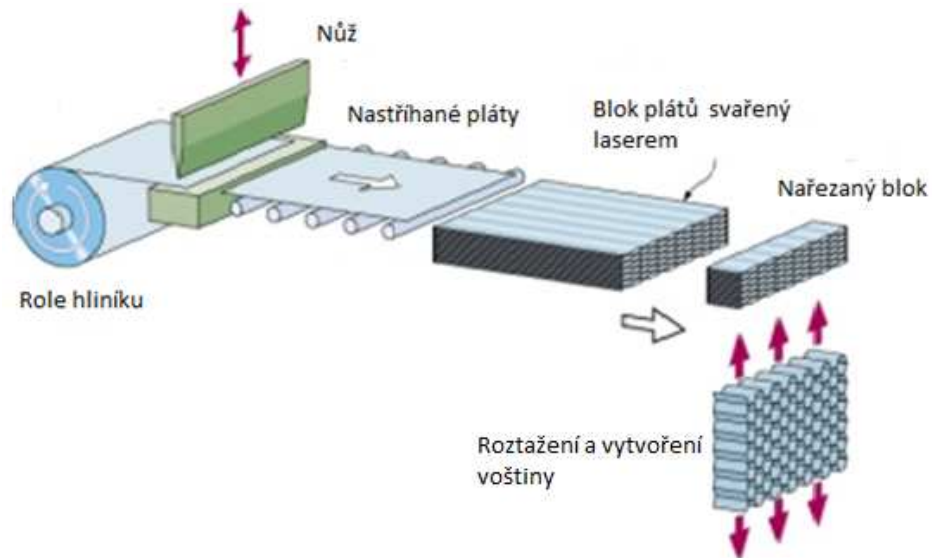
- *Hliníkové voštiny*

Tyto struktury mají jeden z nejvyšších poměrů pevnost/váha ze všech strukturních materiálů. Vlastnosti hliníkových voštin lze upravovat tloušťkou stěny a velikostí buněk. Voština je nejčastěji dopravována v neexpandovaném stavu a až posléze je roztažena přímo na místě zpracování. Na Obr. 18 je možno vidět jádro z hliníkové voštiny. [8]

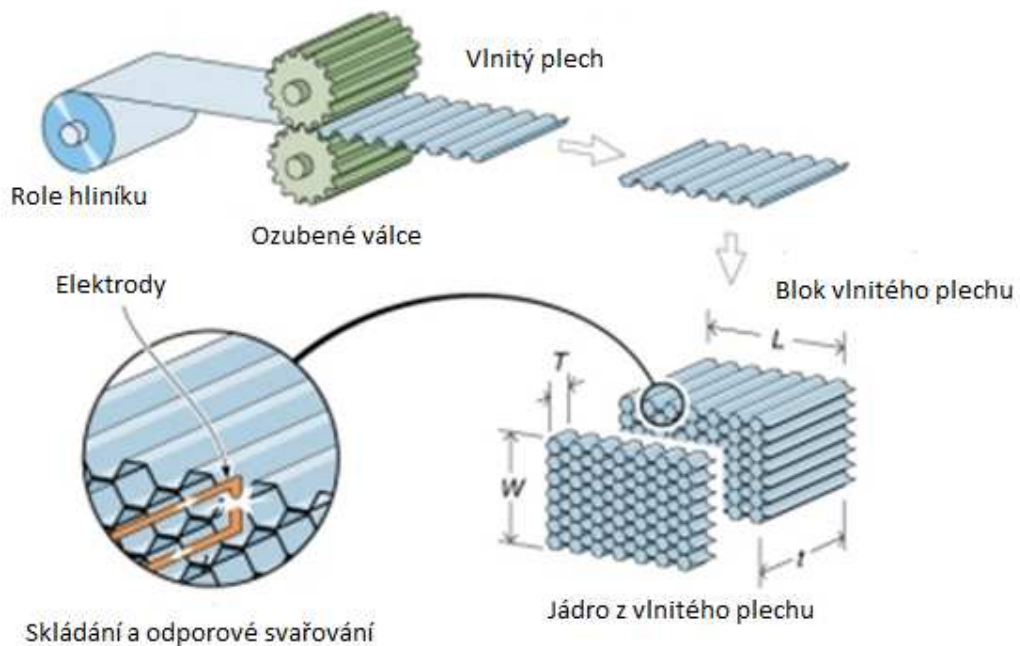


Obr. 18: Hliníková voština [15]

Navzdory dobrým mechanickým vlastnostem a relativně nízké ceně musí být hliníkové voštiny používány s opatrností v některých oblastech použití jako například u velkých námořních plavidel kvůli potenciální hrozbě koroze ve slané vodě. Dále je potřeba zajistit, aby nedošlo k přímému kontaktu hliníkové voštiny s uhlíkovou strukturou z důvodu nebezpečí galvanické koroze. Dalším problémem je, že hliník není pružný a při nárazu může dojít jeho trvalé deformaci, což má v kombinaci s relativně pružnou dlouhovláknovou strukturou důsledek odtrhnutí struktur od sebe a tím pádem velmi snížené mechanické vlastnosti. Na Obr. 19 je zobrazena výroba voštin roztažením, dále na Obr. 20 je zobrazena výroba voštin válcováním s následným svařováním. [8]



Obr. 19 Výroba hliníkových voštin roztažením [16]



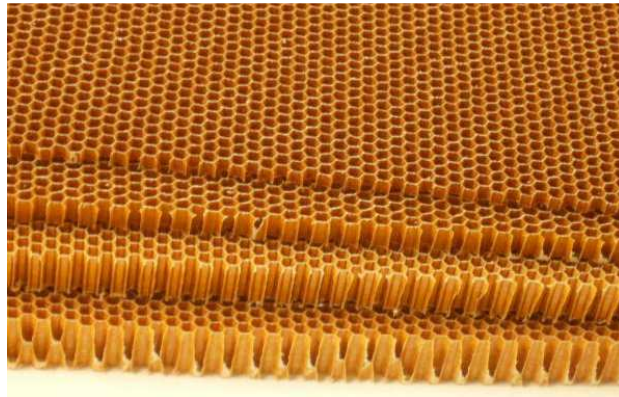
Obr. 20: Výroba hliníkových voštin válcováním [17]

- **Nomexové voštiny**

Tyto voštiny jsou vyráběny z nomexového papíru – tento papír je založen na kevlarových vláknech spíše než na celulóзовých vláknech. Na počátku jeho produkce je většinou tento papír ponořen do fenolické pryskyřice, aby se zlepšila odolnost proti ohni a aby se zvýšila pevnost. Je široce používán v kombinaci s lamináty prosycenými fenolickými pryskyřicemi na interiérové panely letadel. Například pro interiérové díly v dopravních

prostředcích se používá nomexová voština, která je vyplněna fenolickou pryskyřicí kvůli lepším izolačním vlastnostem a také lepší přilnavosti. Nomexová voština je zobrazena na Obr. 21. [8]

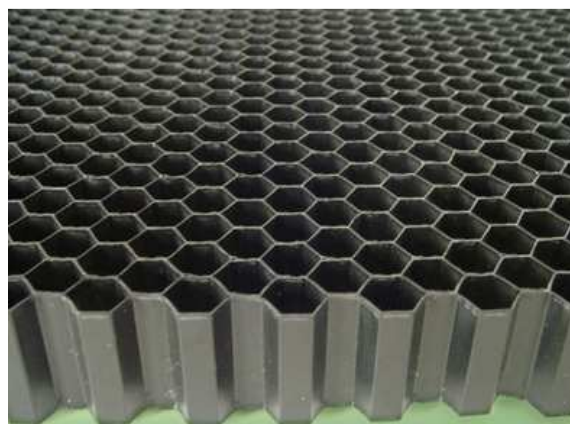
Nomexové voštiny se začínají používat i v jiných než leteckých aplikacích díky svým výborným vlastnostem, kterými jsou například nízká hustota a dobré dlouhodobé vlastnosti. Jejich použití je však limitováno velmi vysokou cenou. [8]



Obr. 21: Nomexová voština [18]

- ***Termoplastické voštiny***

Tyto voštiny jsou lehké a mají některé velmi zajímavé vlastnosti, kterých lze v určitých aplikacích využít a dále je možné je jednodušeji recyklovat. Hlavními nevýhodami jsou relativně malá tuhost a obtížné dosažení vazby mezi voštinou a vnější laminátovou vrstvou. Tyto panely nejsou používány pro pevnostní aplikace, ale mohou být použity pro jednoduché interiérové díly. Nejčastěji se používají polymery: ABS, PC, PP, PE. Na Obr. 22 je zobrazena termoplastická voština. [8]



Obr. 22: Termoplastická voština [19]

2.2.3 Balzová jádra

Jsou nejčastěji používaná dřevěná jádra. Jejich první použití je datováno padesátých let 20. století, kde byly použity na trupy hydroplánů. Bylo použito vnějších vrstev z hliníku, aby tento kompozit vydržel opakované rázy vznikající nárazy do vody. Mezi hlavní výhody patří dobrá tepelná izolace, dobrá akustická izolace, jednoduchá obrobiteľnosť a fakt, že plave. Tento materiál se nedoformuje, když je vystaven zvýšeným teplotám. Mezi nevýhody balzy patří poměrně vysoká hustota, která se pohybuje kolem 100 kg/m^3 , vysoká nasákavost pryskyřicí. Ukázku balzového jádra lze vidět na Obr. 23. [8]



Obr. 23: Balzové jádro [20]

2.2.4 Korková jádra

Korek je přírodním produktem. Každá buňka obsahuje plyn, jenž je podobný vzduchu, stěny buněk jsou tvořeny celulózou, suberinem a voskem. Suberin spolu s voskem způsobuje, že korek nepropouští ani tekutiny, ani plyny. Korkové buňky jsou drobné, pentagonální nebo hexagonální hranoly. [16]

Korek se skládá z:

- Suberinu (45%) – hlavní komponent buněčných stěn působící pružnost korku
- Ligninu (27%) – pojící sloučenina
- Polysacharidů (12%) – komponent buněčných stěn určující texturu korku
- Taninu (6%) – polyfenylenová sloučenina určující barvu korku
- Ceroidu (5%) – hydrofobní sloučenina zajišťující nepropustnost korku
- Minerální vody, glycerinu, a ostatních prvků představujících cca 4%.

Korkové jádro je zobrazeno na Obr. 24. Vlastnosti korku vyplývají přirozeně z jeho struktury a chemického složení buněčných membrán. Je nutno připomenout, že v alveolární struktuře korku obsahuje každý centimetr krychlový 30 až 42 miliónů buněk.

Skutečnost, že korkové pletivo obsahuje 89.7 % plynných látek, způsobuje, že je jeho hustota velmi malá, řádově 0.12 až 0.20 – údaj, který vyjadřuje velký nepoměr mezi objemem a váhou této suroviny. Přítomnost korkoviny (složitá směs mastných kyselin a těžkých organických alkoholů) umožňuje, aby korkové pletivo nepropouštělo tekutiny ani plyny. Tento fakt způsobuje, že korek netrouchniví, a proto je považován za nejlepší uzávěr, který existuje. K tomu, aby byl ještě účinnější, přispívá přítomnost tříselných látek a nedostatečné množství albuminových látek. Proto může být korkové pletivo považováno za látku, která nepodléhá hnilobě a která se při působení vlhkosti nemění. Kusy korku byly ponořeny do vody po mnoho století, aniž by podlehly hnilobě. Další vlastností korku, pro kterou je stále cennější, jsou jeho vynikající izolační vlastnosti (tedy špatná vodivost) z hlediska tepelného, zvukového i vibračního. Je způsobena tím, že se plynný prvek nachází ve velmi malých hermeticky uzavřených přepážkách. Ty jsou zase mezi sebou odděleny látkou, která není nasákavá a má malou specifickou váhu. Z toho pak plyne, že korek má ze všech přírodních látek největší izolační schopnost. Všechny tyto nepopíratelné vlastnosti spolu s jeho špatnou vodivostí ať již tepla nebo zvuku činí z korku látku, která je čím dál více používána v pokročilé stavební technice ve všech typech budov (nemocnice, optiky, university, knihovny, laboratoře, dětská zařízení jako školky apod., všechny budovy a místnosti, kde je požadována kvalitní tepelná nebo zvuková izolace). [16]



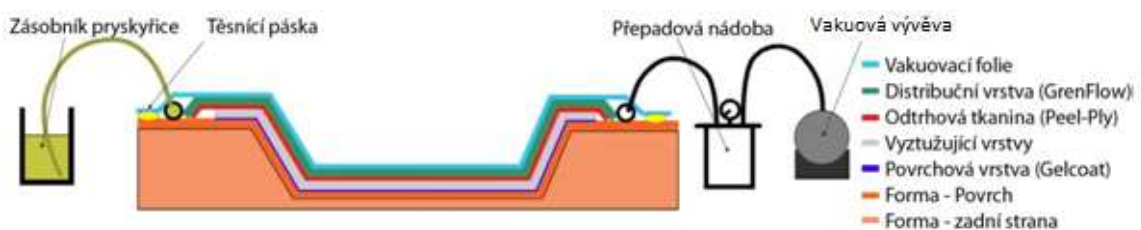
Obr. 24: Korek [21]

3 ZPŮSOBY VÝROBY SENDVIČOVÝCH STRUKTUR

Při výrobě sendvičových struktur musí být zajištěno přilnutí jádra ke vnějším vrstvám a dále prosycení vnějších vrstev pryskyřicí (v případě že nepoužíváme prepregy či hotové kompozitní panely či desky). Při lisování musíme zajistit, aby nedošlo ke zborcení jádra. Tvoří-li vnější vrstvy prepregy je nutno zajistit vyhřívání formy, aby došlo k aktivaci pryskyřice v prepregu.

3.1.1 Vakuová infuze

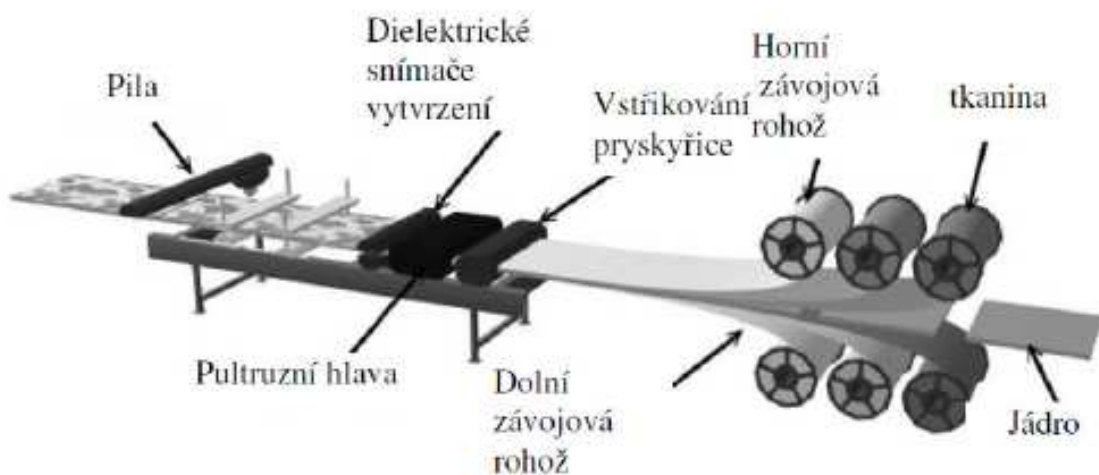
Vakuová infuze (Obr. 25) je technologie, která využívá podtlaku k prosycení suchých vrstev kompozitní (sendvičové) struktury. Jedná se v podstatě o vylepšení technologie ručního laminování. Materiály kompozitní struktury vkládáme do formy suché. Poté jsou vloženy pomocné materiály pro tok matrice (pryskyřice) a vytvoření vakua. Jako matrice jsou nejčastěji používány epoxidové a fenolické pryskyřice. Polyesterové a vinylesterové pryskyřice mohou mít problémy s přílišným odsátím styrenové složky do vakuové pumpy. Lze použít jakákoliv vlákna, protože je lze prosytit díky podtlaku vytvořenému vývěvou. Je možno použít pouze pěnová (uzavřené buňky), balzová a korková jádra, protože při použití voštinových jader by došlo k zaplnění buněk pryskyřicí. Mezi hlavní výhody patří, že lze laminovat i tlusté vrstvy vláken, nedochází k velké tvorbě neprosycených míst, vlákna se lépe prosytí, ale nedojde k přebytečnému prosycení, protože se přebytečná matrice odvede pomocí odvodných kanálků do rezervoáru. K nevýhodám patří zvýšená cena, která je dána pracností a přídavným materiálem který musíme použít, dále vyšší náklady spojené s nutností lépe proškolit pracovníka, poté příprava matrice, která stále závisí na úrovni zkušeností pracovníka a může negativně ovlivnit kvalitu. [8]



Obr. 25: Vakuová infuze [22]

3.1.2 Pultruze

Při tomto způsobu výroby (Obr. 26) jsou tkaniny společně s jádrem taženy z role přes vanu nebo vstřikovací hlavu, ve které je matrice, do indukčně nebo mikrovlnně vyhřívané vytvrzovací a tvarovací hlavy. Zde dochází k zafixování konečného tvaru a vytvrzení matrice. Posléze se výsledný profil odtahuje pomocí housenkových pásů. Tento vytvrzený profil se poté dělí na požadovanou délku. Jádro se přidává na začátku procesu, kde se vkládá mezi tkaninu nebo popřípadě vlákna. Mezi používané matrice patří epoxidová, polyesterová, vinylesterová a fenolická. Lze použít jakýchkoliv vláken. Jádra se používají téměř výhradně pěnová, voštinová nelze použít, protože by došlo k zaplnění buněk voštiny pryskyřicí. Tato technologie se používá pro výrobu nosníků, mostních konstrukcí a žebříků. Velkou výhodou této technologie je vysoká rychlost výroby a tím i ekonomičnost, dále pak přesný poměr matrice a vláken a vzhledem k tomu, že je impregnace uzavřená v hlavě, nehrozí zdravotní ani ekologická rizika. Mezi nevýhody lze zařadit vysokou pořizovací cenu tohoto výrobního zařízení a dále pak nutnost výměny pultruzní hlavy pro jiný průřez. [8]

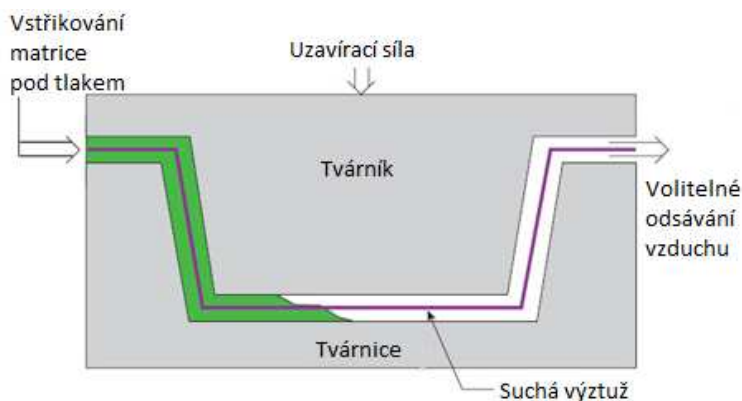


Obr. 26: Pultruze [22]

3.1.3 Vysokotlaké vstřikování

Tkanina je do formy naskládána ve formě suchých nástřihů (preformů). Tyto materiály jsou někdy předlisovány, aby měly přibližný tvar formy, a jsou k sobě spojeny svorkami. Tyto „preformy“ se pak lépe kladou do formy. Poté ke tvárnici přijede tvárník a dojde

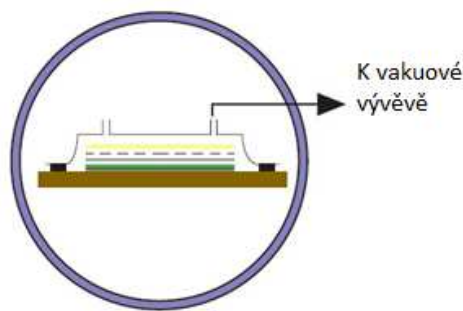
k částečnému uzavření formy (Obr. 27), kdy se následně vstříkne matrice. Někdy je možno odsávat vzduch z dutiny pomocí vývěvy, kdy se tato technologie nazývá vysokotlaké vstřikování za asistence vakua. Jakmile je tkanina prosycena, je zastaven přívod matrice a laminát se začne vytvrzovat. Lze využívat běžných ale i zvýšených teplot. Této technologii se využívá při výrobě dílů pro automobily, například sedadel do dopravních prostředků. Nejvíce se používá epoxidových, polyesterových vinylesterových a fenolických matric. Můžeme použít jakýchkoliv vláken, ale i zde lze použít speciální vlákna vyvinutá pro tuto technologii, která podporují tok matrice. Nelze použít jader ve formě voštiny, protože by matrice naplnila buňky, dále by některé pěny mohly být rozdrceny tlakem, který je při této technologii vyvinut. Mezi výhody patří, že lze využít tkaniny s vysokou hustotou vláken při velmi nízkém poměru neprosycených míst, nízké náklady na obsluhu a pohledovost obou stran. Nevýhodou je vysoká počáteční cena, proto se nehodí pro kusovou výrobu, z tohoto důvodu se také nehodí na výrobky velkých rozměrů. [8]



Obr. 27: Vysokotlaké vstřikování [8]

3.1.4 Vytvrzování prepregů v autoklávu

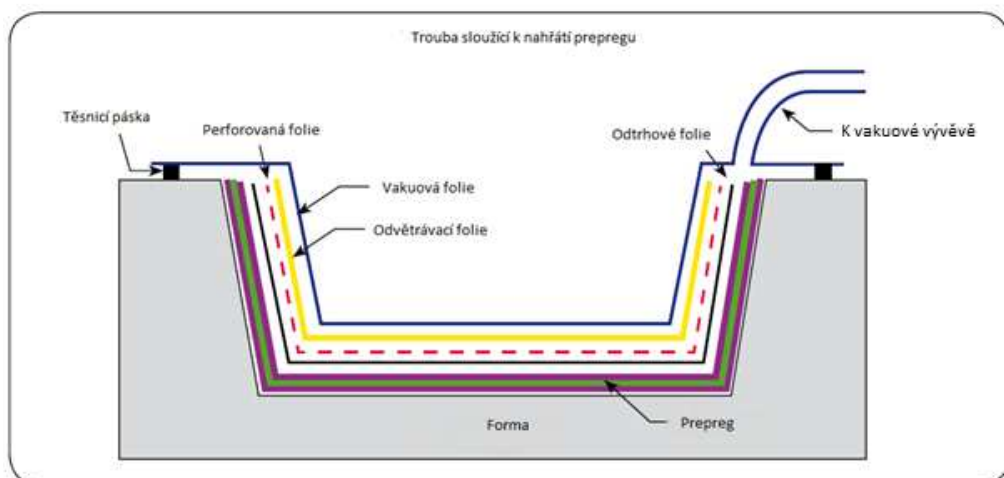
Při této technologii jsou tkaniny impregnovány přímo jejich výrobcem (Obr. 28). Prepregy jsou kladeny na povrch formy, jsou zavakuovány a ohřáty na teplotu 120 – 180°C. Tato vysoká teplota a vakuum umožní prepregu vytvrdnout. Další tlak je generován přímo autoklávem, který může být až 0,5 MPa. Nejčastěji se tato technologie používá ve výrobě letecké techniky a automobilů F1. Jako matrice se používají epoxidové polyesterové, fenolické pryskyřice. Velmi výhodné je, že podíl matrice je přesně dán výrobcem prepregů a prakticky nedochází ke tvorbě neprosycených míst. Mezi nevýhody patří vysoká cena prepregů, autoklávu a také vysoké náklady na energii. [8]



Obr. 27: Vytvrzování v autoklávu [22]

3.1.5 Vytvrzování prepregů ve vytvrzovací peci

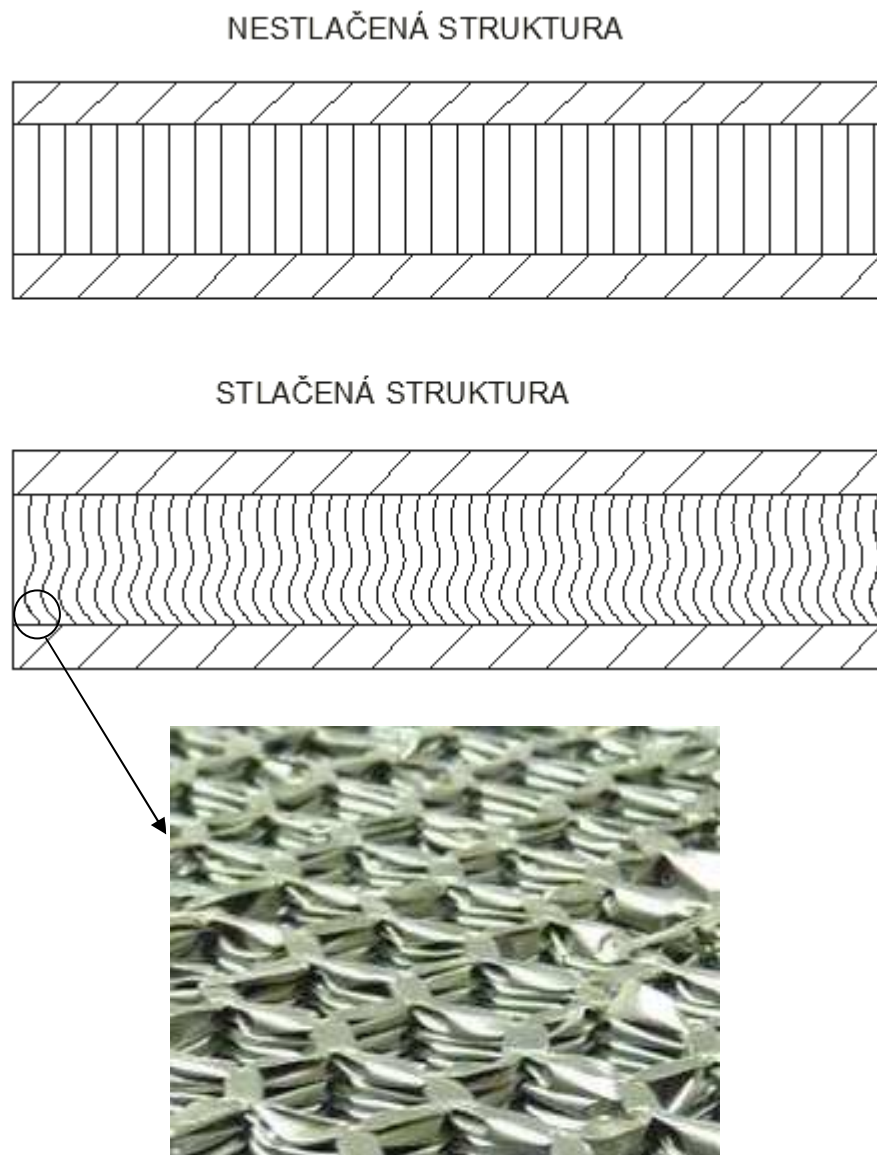
Prepregy, které se vytvrzují při nižších teplotách, jsou vyráběny stejně jako prepregy, jež se vytvrzují při vysokých teplotách, jen mají jiné chemické složení matrice, které jim dovolují vytvrzení při teplotách 60 – 120°C. Zpracovatelnost materiálu, který se vytvrzuje při teplotách kolem 60°C je zhruba týden, pro materiál který se vytvrzuje při teplotách kolem 80°C je doba zpracovatelnosti v řádu měsíců. Používají se zejména epoxidové matrice. Mezi výhody tohoto procesu patří relativně nízké pořizovací a energetické náklady oproti vytvrzení v autoklávu, na formy lze použít levnějších materiálů jako například dřeva, možnost výroby rozměrných výrobků vzhledem k tomu, že je nutno výrobek pouze zavakuovat a zahřát což lze dosáhnout pomocí jednoduchých tepelných zářičů, vysoká úroveň opakovatelnosti a nízké výrobní tolerance. Tato výrobní metoda (Obr. 29) se používá na lopatky větrných turbín, a velkorozměrové komponenty závodních lodí a lokomotiv. [8]



Obr. 28: Vytvrzování prepregu ve vytvrzovací peci [8]

3.2 Crush-core technologie výroby

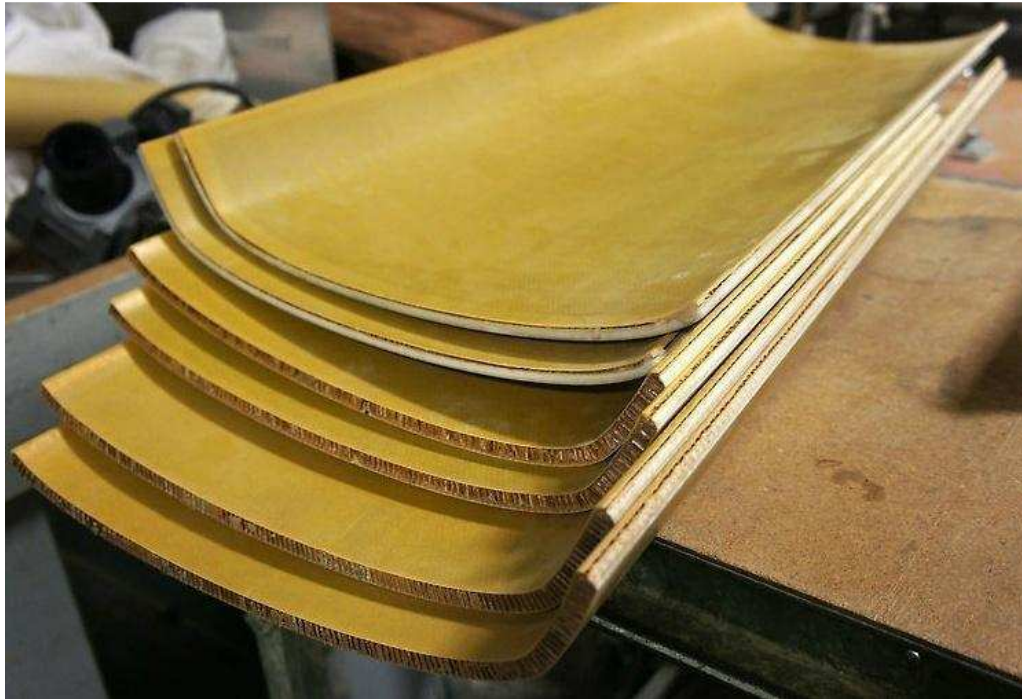
Při použití této technologie je do vyhřívané formy vloženo voštinové jádro, na kterém jsou položeny z obou stran vrstvy prepregu (1 či více). Po umístění materiálů dojde k uzavření formy v lisu a vytvrzování po určitou dobu při teplotě, která je dána typem pryskyřice v prepregu. Technologie spočívá v jistém zmáčknutí voštinové struktury (viz. Obr. 29) čímž se vytvoří větší styčné plochy pro kontakt s prepregem.



Obr. 29: Princip technologie crush core [23]

Tato technologie je nejvíce využívána v leteckém průmyslu pro výrobu interiérových panelů. Jedná se o výrobu sendvičových panelů, kde tenké vnější vrstvy tvoří prepreg

většinou vytvořený z fenolické pryskyřice (z důvodu vyhovění všem regulím týkajících se kouřivosti při hoření a samotné hořlavosti) a zejména voštinového jádra. Původně se používalo epoxidových pryskyřic, ale z důvodů požární bezpečnosti od nich bylo upuštěno. Formy jsou velmi nákladné, a proto se vyplatí pouze pro středně sériovou až hromadnou výrobu. Tuto technologii lze použít nejen k výrobě rovných desek, ale i k výrobě desek různě zakřivených (viz. Obr. 30)



Obr. 30: Panely vyrobené crush-core technologií [24]

Výrobní forma pro tuto technologii (Obr. 32) se skládá ze dvou hlavních částí a to tvárníku a tvárnice. V části formy, která tvoří tzv. tvárník, jsou umístěny vodící čepy, které slouží k zajištění souososti tvárníku a tvárnice, dále se zde nachází samotná temperace formy. Forma je vyhřívána z důvodu nutnosti aktivace pryskyřice v prepregu. Kluzné lišty na bocích formy slouží ke zpomalení dosedu při jejím uzavření. Vzhledem k tomu, že jsou tyto formy většinou poměrně rozměrné, musí být tvárník i tvárnice vybaveny manipulačními oky. Tvárnice má podobnou konstrukci, s výjimkou toho, že jsou zde umístěny otvory pro vodící čepy a vybrání pro kluzné lišty. Tyto formy jsou vyráběny z nástrojových ocelí třídy 19, což zvyšuje náklady na jejich výrobu. Vzhledem k tomu že u některých výrobků (dveře prostoru pro příruční zavazadla) jsou obě strany výrobku pohledové je nutno tyto formy během dokončovacích operací i leštit.



Obr. 31: Tvárník pro crush-core technologii [25]

4 ZPŮSOBY MECHANICKÉHO TESTOVÁNÍ SENDVIČOVÝCH STRUKTUR

4.1 Testy odlupu vnějších vrstev

Následující testovací metody se používají pro zjištění odporu proti odloupení vnější vrstvy od jádra za rozdílných podmínek.

4.1.1 Zkouška odlupem konzolou v tahu (SCB peel test)

Při této zkoušce je jádro pevně připevněno na podložku spolu s jednou vnější vrstvou. Tato vnější vrstva přečnává přes jádro a v této části je vyvrtán otvor, do otvoru je zaveden trn, který je posléze vytahován nahoru pomocí stroje pro tahovou zkoušku. U této metody nezáleží na tloušťce jádra, protože je pevně připevněno k desce zkušebního stroje. Tato metoda se používá pro silnější vnější vrstvy (např. z HPL desek). [26]

4.1.2 Zkouška odlupu pomocí navíjecího bubnu

V tomto testu je jeden konec vnější vrstvy pevně upnut na válec. Druhý konec vnější vrstvy je upnut do horní nepohyblivé kleštiny a na druhém konci do lišty, která je upevněna na příčné hlavě testovacího stroje. Poté dojde k aplikaci tahové síly a vnější vrstva je postupně odlupována od jádra. Měření se provádí na minimálně 150 mm délky. Rozměry vzorku by měly být minimálně 76 x 305 mm s přírůbkem 25 mm na upnutí. Tloušťka jádra není významná, kromě faktu, že by se vzorek neměl během testu ohýbat. Jádra s voštinovou strukturou je nutno testovat v podélném i příčném směru aby byl eliminován vliv buněčné struktury. K měření se používá válec s přírubou, ohebné pásy nebo řetězy, které přenášejí tahovou sílu na válec a vhodné kleštiny pro upnutí vzorku. Další důležitou součástí je stroj pro tahovou zkoušku, který je schopen vyvinout požadovanou sílu konstantní rychlostí. Tato metoda se používá pro relativně tenké vnější vrstvy. Točivý moment zjištěný pomocí tohoto testu je jednak moment potřebný k separaci vnější vrstvy a jádra, ale i moment potřebný k ohnutí vnější vrstvy. [26]

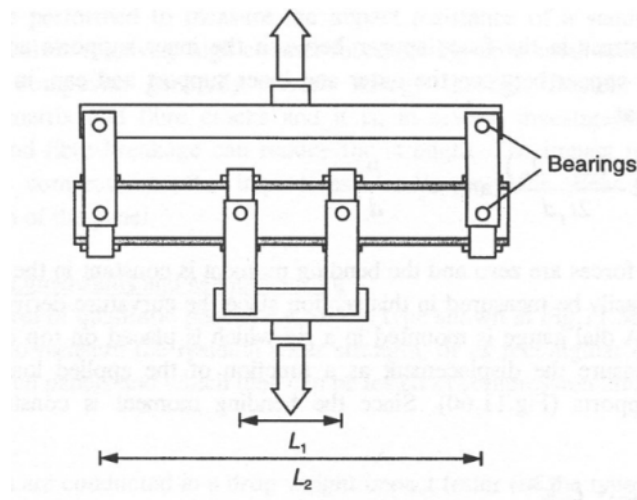
4.1.3 Zkouška odlupem za pomoci tlaku

Tento test zjišťuje, co nastane v případě rychlého odtržení vnější vrstvy. Tlak vzduchu je aplikován na nespojenou část jádra a vnější vrstvy pomocí hadice, která vede

z kompresoru. Tlak vzduchu je regulován ventilem s manometrem. Tlak je postupně zvyšován, dokud nedojde k odlepení nebo odtržení vnější vrstvy. Tento tlak je zaznamenán a posléze využit k výpočtu energie potřebné k odtržení vnější vrstvy. Vnější vrstva, která je určena k odtržení, není záměrně zčásti spojena s jádrem. Tohoto nespojení je dosaženo položením teflonové tkaniny na vnější vrstvu při výrobě. Trubice, kterou se přivádí tlakový vzduch je k tomuto místu přivedena přes jádro a horní vnější vrstvu. [26]

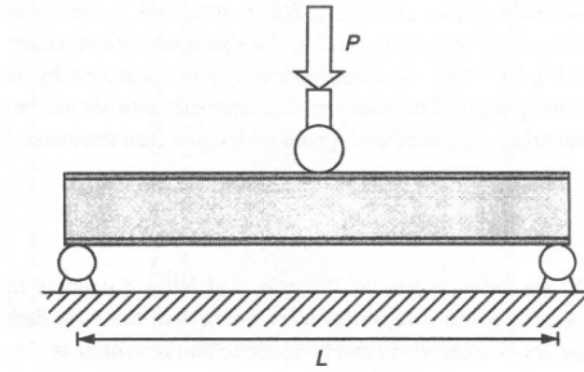
4.2 Zkouška ohybem

Při stanovení elastických a pevnostních charakteristik zkouškou ohybem se předpokládá lineární rozdělení normálových napětí do průřezu. Hodnoty pevnosti v ohybu závisí výrazně na poloze vláken vzhledem k neutrální rovině. Zkouška ohybem probíhá při tří nebo čtyřbodovém uložení. Výhoda zkoušky čtyřbodovým ohybem spočívá v konstantním ohybovém momentu po celé délce rozteče uložení vzorku, což je především významné při stanovení modulu pružnosti. [5]



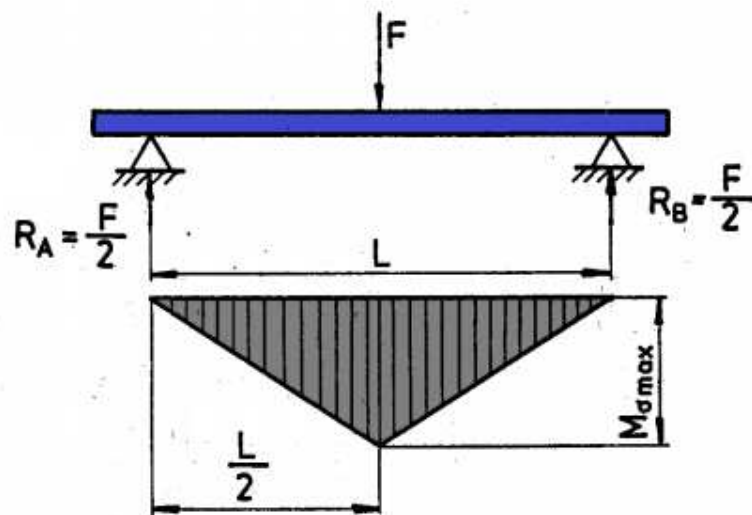
Obr. 32: Čtyř-bodový ohyb [26]

Při zkoušce tříbodovým ohybem existuje ve zkušebním tělese napjatost s maximálním zatížením a definovaným místem lomu v bodě zatížení což je střed délky tělesa. Maximální smykové napětí leží mezi vrstvami uprostřed tloušťky tělesa. Zatížení při tomto testu musí být rozloženo na větší ploše, aby nedošlo k lokálnímu proražení vnějších vrstev nebo zborcení jádra. [5]



Obr. 33: Třibodový ohyb [26]

Stanovené veličiny mají v první řadě význam srovnávací. Také je nutné při těchto testech sledovat druh porušení. Akceptovatelný druh porušení ohýbaného nosníku je porucha vzorku lomem vyvolaným tlakem nebo tahem. [5]



Obr. 34: Průběh ohybového momentu pro třibodový ohyb [27]

$$M_{o_{max}} = R_a \cdot \frac{L}{2} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (8)$$

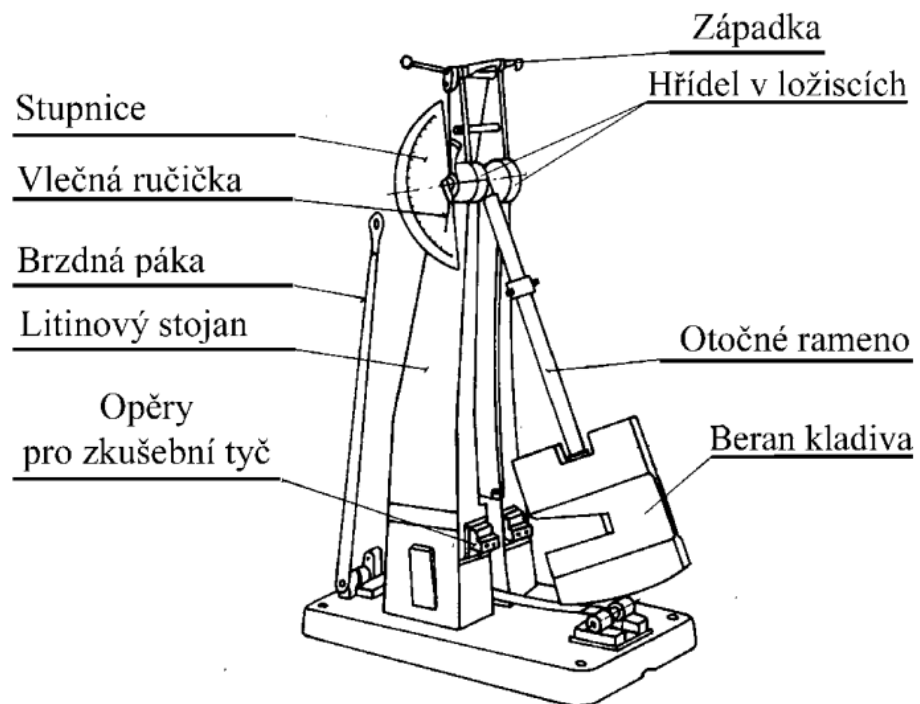
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (9)$$

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h \quad (10)$$

$M_{o_{max}}$ – maximální ohybový moment, R_a – reakce v bodě A, L – délka mezi podpěrami, F – Aplikovaná síla, W_o – modul průřezu v ohybu, b – šířka profilu, h – výška profilu

4.3 Zkouška vrubové houževnatosti

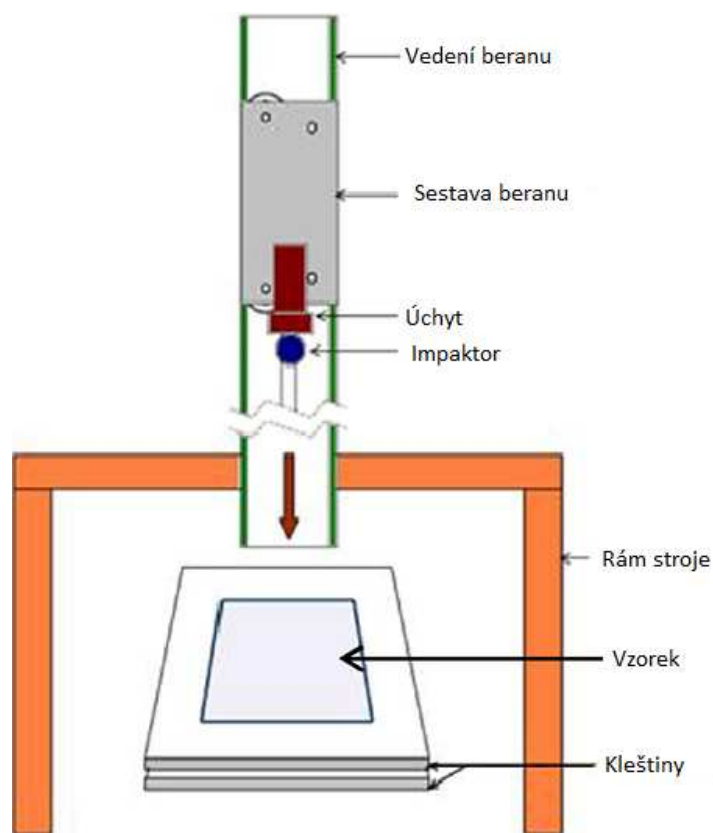
Zkouška rázem v ohybu spočívá v přeražení zkušebních vzorků nárazem beranu Charpyho rázového kyvadlového kladiva (Obr. 35). Zkouška končí úplnou destrukcí – přeražením zkušební vzorku. Cílem zkoušky je stanovení velikosti nárazové práce; z hodnoty nárazové práce byla dříve určována vrubová houževnatost materiálu. Nárazová práce se stanovuje v joulech. Ta je měřítkem odolnosti materiálu proti rázovému namáhání. Základní zkušební těleso má tvar tyče nejčastěji obdélníkového průřezu. [28]



Obr. 35: Charpyho kladivo [28]

4.4 Zkouška nízko-rychlostním průrazem

Přístroje s otočným kladivem mají ve svém použití určitá omezení a nedostatky, hlavně pokud se týká volby energie a rychlosti. Tyto nedostatky odstraňují přístroje zvané padostroje (Obr. 36). Jsou založeny na principu volně padajícího tělesa s libovolně volenou kinetickou energií. Velikost kinetické energie závisí na hmotě tělesa a na výchozí výšce. Rázová houževnatost jako odolnost zkušebního tělesa vhodných rozměrů proti porušení se stanoví nárazem tělesa, které padá volným pádem ze známé výšky. Beran má tvar válce a je zakončen polokoulí, tento konec je leštěný. [34]



Obr. 36: Padostroj [30]

PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRÁCE

Úkolem je navrhnout a vyrobit sendvičové panely s různou hodnotou stlačení voštinového jádra z různého druhu materiálu a vyhodnotit, zdali má toto stlačení vliv na změnu mechanických vlastností struktury. Struktury budou testovány v troj-bodovém ohybu, podrobeny rázové zkoušce a nízko-rychlostnímu průrazu. Dalším úkolem je navrhnout 3D model výrobní lisovací formy pro zkoumanou výrobní technologii.

Hlavní body pro dosažení stanovených cílů práce:

- selekce vhodných materiálů
- výroba zkušebních vzorků
- Zkouška 3bodovým ohybem
- rázová zkouška
- zkouška nízko-rychlostním průrazem
- vyhodnocení a diskuze výsledků
- vytvoření 3D modelu výrobní lisovací formy

6 POUŽITÁ ZAŘÍZENÍ

6.1 Laboratorní vulkanizační lis

Laboratorní vulkanizační lis (Obr. 37) byl použit pro výrobu vzorků sendvičových struktur pro další testování. Lis se skládá z izolačních a temperovaných desek a hydraulického zvedáku, který slouží k vyvození lisovacího tlaku. Tímto lisovacím tlakem bylo vyvozeno stlačení jádra. Technické údaje zařízení jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab. 2).



Obr. 37: Laboratorní vulkanizační lis

Tab. 2: Technické údaje vulkanizačního lisu

Technické údaje	
Rozměry desek	250 x 250 mm
Příkon	2 400 W
Max. teplota	200 °C
Uzavírací síla	5 t

6.2 Univerzální zkušební stroj ZWICK 1456

Ohybové zkoušky byly provedeny na univerzálním zkušebním stroji ZWICK 1456 (Obr. 38). Tento stroj je spojen s počítačem, který zaznamenává naměřená data v programu TestExpert II. Zmíněný program je schopen spočítat základní statistické parametry a také zaznamenat průběhy zkoušky v křivkách. Horní příčník je pohyblivý a spodní s podpěrami je pevný. Tab. 3 zobrazuje technické parametry tohoto stroje.



Obr. 38: Univerzální zkušební stroj ZWICK

Tab. 3: Technické údaje univerzálního zkušebního stroje ZWICK

Technické údaje	
Max. zkušební síla	20 kN
Celková výška	2 012 mm
Celková šířka	630 mm
Strojová výška	1 284 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Hmotnost	150 kg

6.3 Charpyho kladivo CEAST RESIL IMPACTOR junior

Jedná se o kyvadlové kladivo s velmi tuhou konstrukcí, jehož parametry jsou zobrazeny v Tab. 4. Toto zařízení (Obr. 39) je schopno měřit rázovou energii spotřebovanou k přeražení zkušebního tělesa, maximální sílu naměřenou během testu a průhyb zkoušeného vzorku. Hodnota spotřebované rázové energie je definována jako rozdíl mezi počáteční potenciální energií kyvadla po přeražení zkušebního tělesa. Zařízení je ovládáno mechanicky a vyhodnocení provádí program na připojeném počítači.



Obr. 39 Charpyho kladivo CEAST Resil Impactor junior

Tab. 4: Technické údaje Charpyho kladiva

Technické údaje	
Hmotnost kladiva	2.192 Kg
Délka ramene	500 mm
Max. počáteční úhel	140 °

6.4 Padostroj ZWICK ROELL HIT 230F

Tento padostroj (Obr. 39) je primárně určen pro zkoušení polymerních a kompozitních materiálů a je uzpůsoben pro provádění více-osých rázových zkoušek. Těleso o hmotnosti 23,17 kg dopadá na zkušební vzorek z výšky 440 mm. Tato výška je volně nastavitelná. Průběh zkoušky je opět zaznamenáván na připojeném počítači v programu TestExpert II. Zkoušky byly vyhodnocovány dle normy ČSN EN ISO 6603-2.



Obr. 40: Padostroj ZWICK ROELL HIT

7 POUŽITÉ MATERIÁLY

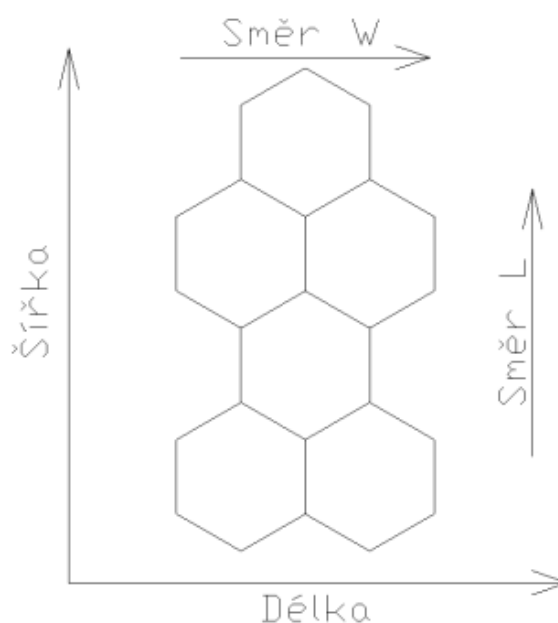
Při volbě materiálů byl kladen důraz na to, aby se jednalo zvláště o materiály, které se reálně používají v praxi. Důležitým faktorem byla také jejich dostupnost.

7.1 Nomexová voština CORMASTER C2

Jedná se o voštinu s hexagonálním uspořádáním vyrobenou z nomexového papíru Nomex® T722 spojenou a potaženou fenolickou pryskyřicí. Tato voština odolává teplotám do 180 °C. Vzhledem ke hlavnímu využití v dopravních prostředcích je také její klíčovou vlastností samozhášivost. Pro vzorky byly použity voštiny s velikostí buňky 3.2 mm (pro tloušťku 7 a 9 mm) a 4.8 mm (pro tloušťku 10 mm). Mechanické vlastnosti voštin garantované výrobcem jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab. 5). Oba použité typy měly hustotu 48 kg/m³.

Tab. 5: Mechanické vlastnosti nomexových voštin

Typ	Pevnost v tlaku [MPa]		Pevnost ve smyku [MPa]		Modul ve smyku [MPa]	
	Obnažená	Stabilizovaná	L	W	L	W
C2 – 3.2 - 48	1.80	2.00	1.20	0.70	36.00	24.00
C2 – 4.8 - 48	1.90	2.00	1.20	0.70	36.00	24.00



Obr. 41: Směry namáhání zmíněné v předchozí tabulce

7.2 Prepreg Gurit PH840-300-42

Tento typ před-impregnované tkaniny je určena pro interiérové díly dopravních prostředků. Tkanina je impregnována fenolickou pryskyřicí. Konkrétní hodnoty specifických vlastností jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 6, 7 a 8).

Tab. 6: Mechanické vlastnosti prepregu PH840-300-42

	Norma	Hodnota
Pryskyřice		Fenolická
Hmotnost prepregu	EN 2329	525±30 g/m
Těkavost	EN 2330 (160°C/10 min)	< 6 %
Tok pryskyřice	EN 2332 (3 vrstvy, 135°C, 8 min, 4 bar)	> 10 %
Lepivost		T0, T1, T2
Materiál vláken		skelná vlákna
Hustota tkaniny	EN 2331	296 g/m±5%
Vazba		8H saténová
Provozní teplota		-55°C až +80°C
Obsah pryskyřice	EN 2331	42 % ± 3 %

Tab. 7: Vytvrzování prepregu PH840-300-42

	Cyklus
Teplota	120/130/140/160 °C
Čas vytvrzení	90/60/30/10 min
Tlak	0.07 – 0.4 MPa

Tab. 8: Mechanické vlastnosti prepregu PH840-300-42

	Teplota	Norma	Hodnota
Ohybová pevnost	80 °C	ISO 178	300-450 MPa
Ohybový modul	80 °C	ISO 178	19-22 GPa
Climbing drum odlup	80 °C	EN 2243-3	110 N/75 mm
Tg (TMA)		TMA	> 80 ° C

7.3 Prepreg Gurit PHG840N-F300-47

Tato fenolickou pryskyřicí před-impregnovaná tkanina, je určena pro interiérové díly dopravních prostředků, jako například okenní, stropní a podlahové panely. Konkrétní hodnoty specifických vlastností jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 9, 10 a 11).

Tento prepreg je speciálně určen pro spojení s hliníkem. Dále má tento prepreg vynikající hodnoty kouřivosti a přenosu tepla.

Tab. 9: Mechanické vlastnosti prepregu PH840N-F300-47

	Norma	Hodnota
Pryskyřice		Fenolická
Hmotnost prepregu	EN 2329	560±30 g/m
Těkavost	EN 2330 (160°C/10 min)	< 6 %
Tok pryskyřice	EN 2332 (3 vrstvy, 135°C, 8 min, 4 bar)	> 10 %
Lepivost		T0, T1, T2
Materiál vláken		skelná vlákna
Hustota tkaniny	EN 2331	296 g/m±5%
Vazba		8H saténová
Provozní teplota		-55°C až +80°C
Obsah pryskyřice	EN 2331	47 % ± 3 %

Tab. 10: Vytvrzování prepregu PHG 840N-F300-47

	Cyklus
Teplota	120/130/140/160 °C
Čas vytvrzení	90/60/30/10 min
Tlak	0.07 – 0.4 MPa

Tab. 11: Mechanické vlastnosti prepregu PHG 840N-F300-47

	Teplota	Norma	Hodnota
Ohybová pevnost	80 °C	ISO 178	300-450 MPa
Ohybový modul	80 °C	ISO 178	19-22 GPa
Climbing drum odlup	80 °C	EN 2243-3	110 N/75 mm
Tg (TMA)		TMA	> 80 °C

7.4 Voština ECM 6.4-82

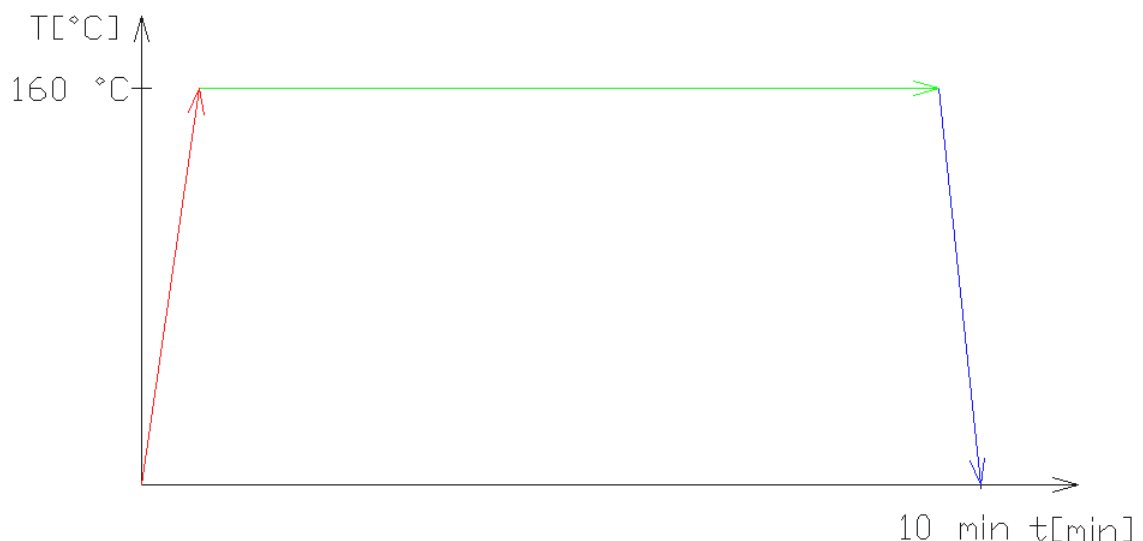
Jedná se o hliníkovou voštinu od firmy Euro-Composites vyrobenou ze slitiny hliníku 3003 (Al-Mn-Cu). Tato voština je opatřena povlakem z oxidu zirkoničitého. Vlastnosti zobrazené v tabulce (Tab. 12) jsou garantovány výrobcem a byly naměřeny pro voštinu o tloušťce 25.4 mm.

Tab. 12: Vlastnosti hliníkové voštiny ECM 6.4 - 82

	Norma	Hodnota
Tloušťka stěny	ECP 231-04	80 μm
Velikost buňky	DIN 29970	6.40 mm
Hustota	DIN 29970	82 Kg/m^3
Tahová pevnost ve směru L	DIN 53294	2.40 N/mm^2
Modul v tahu ve směru L	DIN 53294	430 N/mm^2
Tahová pevnost ve směru W	DIN 53294	1.40 N/mm^2
Modul v tahu ve směru W	DIN 53294	220 N/mm^2
Provozní teplota	-	-55 – 177 $^{\circ}\text{C}$
Rázová pevnost	NHTSATP-24-214D-02	1.66 N/mm^2
Tlaková pevnost	DIN 53291	4.50 N/mm^2

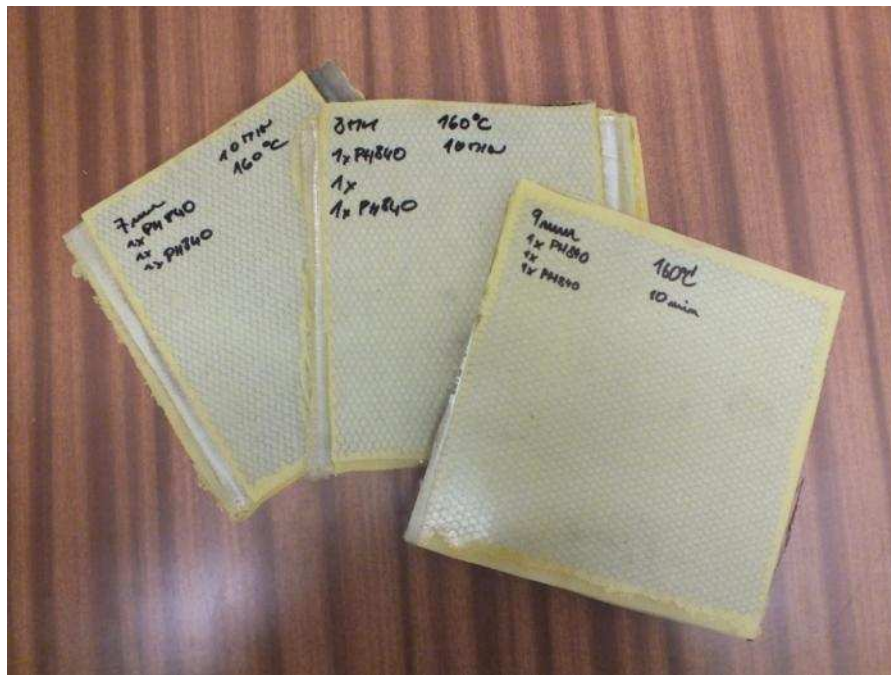
7.5 Příprava zkušebních vzorků

Při výrobě zkušebních vzorků byly použité prepregy PH840-300 a PHG840N-F300 nařezány na tvar čtverce o rozměrech 160x160mm. Nomexové i hliníkové voštiny byly taktéž nařezány na shodný rozměr. Posléze byla z prepregu odstraněna krycí folie a obnažený prepreg byl přiložen na voštinu. Následně byla celá struktura vložena do lisu předehřátého na 160 $^{\circ}\text{C}$ a lis byl uzavřen, kdy pomocí ocelových dorazů byla vymezena výsledná tloušťka stlačené struktury. U obou prepregů byla po 10 minutách voštinová struktura z lisu vytažena a celý proces byl zopakován s dalším vzorkem (Obr. 42). Ochlazení vzorků probíhalo mimo lis za pokojové teploty.



Obr. 42: Vytvrzovací cyklus výroby vzorků

Následně byly vyrobené struktury (Obr. 43) nařezány na pásy, čímž byly vytvořeny zkušební vzorky. Vzorky pro zkoušku ohybem, pro všechny tloušťky, měly délku 150 mm a šířku 20 mm. Pro test na Charpyho kladivu byly použity vzorky o rozměrech 15 x 55 mm a pro test nízko-rychlostního průrazu vzorky ve tvaru plošného čtverce o hraně 100 mm. Jednalo se vždy o 2 sady vzorků, kdy u první nebyla použita technologie Crush-Core kvůli porovnání a ve druhé sadě již došlo ke stlačení jádra. Vzorky vyrobené technologií Crush-Core o tloušťce 9 mm byly vyrobeny z nomexové voštiny o tloušťce 10 mm, jednalo se tedy o stlačení 1 mm. Vzorky vyrobené technologií Crush-Core o tloušťce 7 mm byly vyrobeny z původní nomexové voštiny o tloušťce 9 mm, jednalo se tedy o stlačení 2 mm. Dále byly použity vzorky s hliníkovou voštinou, kdy došlo ke stlačení hliníkové voštiny z původní tloušťky 16 mm na vzorek o tloušťce 10.5 mm. Pro porovnání posloužila voštinová struktura tvořená hliníkovou nestlačenou strukturou a prepregy PHG840N-F300 o celkové tloušťce 10.5 mm.

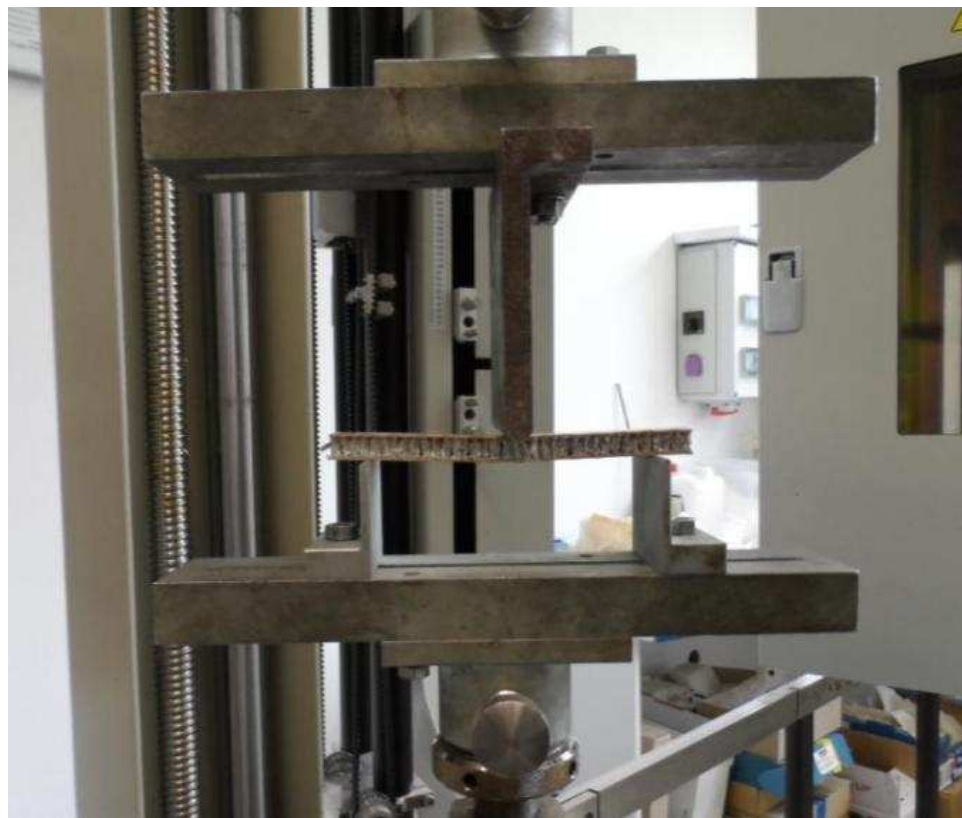


Obr. 43: Vyrobené zkušební vzorky v nomexové voštiny a PH840-300

8 DISKUZE VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

8.1 Zkouška troj-bodým ohybem

Zkouška troj-bodým ohybem (Obr. 44) byla provedena na univerzální zkušební stroji ZWICK 1456. U této zkoušky byla sledována maximální pevnost v ohybu a modul pružnosti v ohybu. Podpěry, na kterých byl uložen zkušební vzorek, byly od sebe vzdáleny 120 mm. Při této zkoušce nikdy nedošlo k úplnému zničení vzorku, ale pouze k lokálnímu porušení vnější vrstvy a místnímu stlačení nomexového jádra, kdy po přerušení působení síly a zvednutí příčnicku došlo ke zvednutí deformovaného jádra (Obr. 45). Tato skutečnost byla pozorována u všech vzorků s jádrem tohoto typu. Naopak u vzorků s jádrem z hliníkové voštiny docházelo ve většině případů ke zvlnění vnějších vrstev a prohnutí jádra od působící síly. K dispozici na testování bylo vždy 15 vzorků od každého typu struktury.



Obr. 44: Zkouška ohybem



Obr. 45: Zkušební vzorek z nomexového jádra po zkoušce ohybem

Tab. 13: Modul pružnosti v ohybu testovaných struktur v MPa

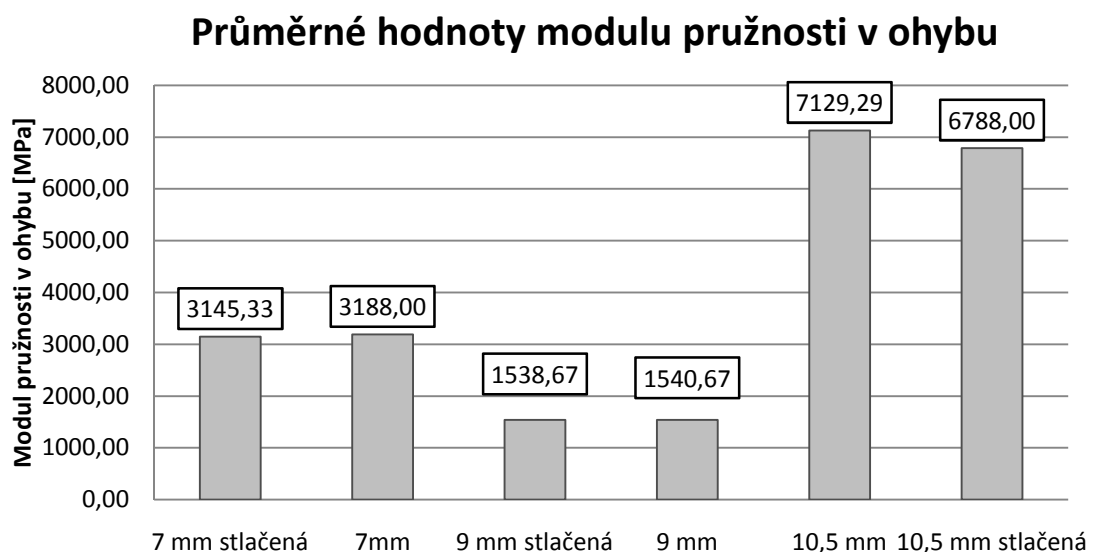
	\bar{x}	σ	MIN	MAX	Q ₁	Medián	Q ₃	IQR
7 mm	3188.00	210.24	2940.00	3520.00	3005.00	3100.00	3400.00	395.00
7 mm stlačená	3145.33	193.08	2770.00	3420.00	3005.00	3160.00	3305.00	300.00
9 mm	1540.67	69.61	1400.00	1640.00	1495.00	1540.00	1600.00	105.00
9 mm stlačená	1538.67	87.70	1410.00	1710.00	1465.00	1520.00	1615.00	150.00
10,5 mm	7129.29	910.99	5900.00	9020.00	6722.50	6780.00	6825.00	102.50
10,5 mm stlačená	6788.00	2100.70	5040.00	9680.00	5040.00	5310.00	9235.00	4195.000

Tab. 14: Pevnost v ohybu testovaných struktur v MPa

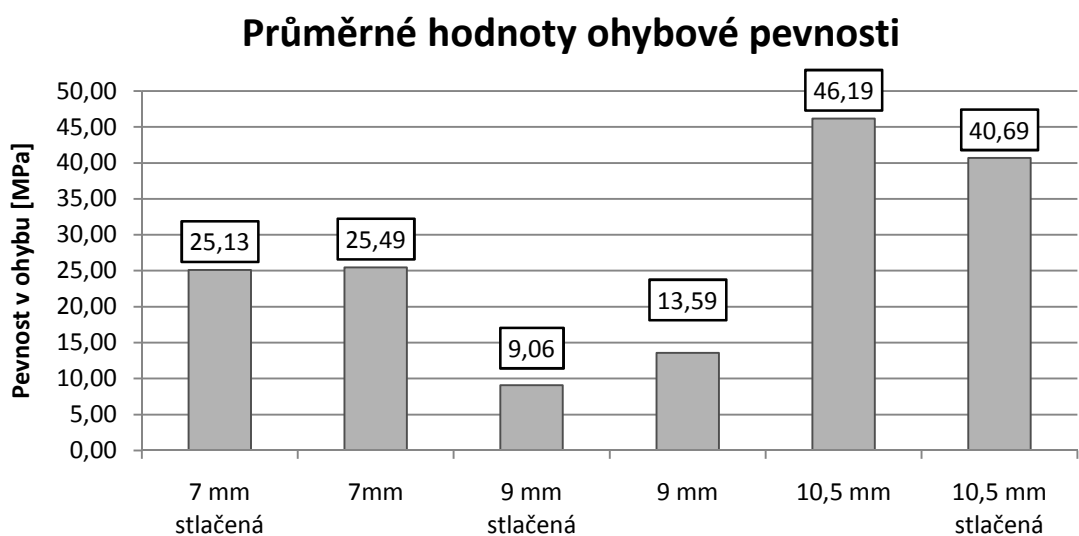
	\bar{x}	σ	MIN	MAX	Q ₁	Medián	Q ₃	IQR
7 mm	25.49	4.82	20.40	40.40	22.20	24.90	26.75	4.55
7 mm stlačená	25.13	2.14	21.40	29.50	23.85	25.00	26.05	2.20
9 mm	13.59	1.02	11.90	15.50	13.10	13.40	14.20	1.10
9 mm stlačená	9.06	1.02	7.11	10.70	8.75	9.19	9.80	1.05
10,5 mm	46.19	8.24	33.20	63.70	41.50	43.65	46.40	4.90
10,5 mm stlačená	40.69	16.81	24.80	65.10	26.70	29.00	61.25	34.55

Z uvedených výsledků je patrné, že při stlačení nomexové voštiny o 1 mm (v tabulkách 9 mm stlačená) nedošlo ke zvýšení pevnosti, ale naopak k jejímu snížení a to konkrétně o 64%. U modulu pružnosti nedošlo k výrazné změně pro tento typ vzorků. U vzorků stlačených o 2 mm (v tabulkách 7 mm stlačená) nedošlo k výrazné změně jak u pevnosti, tak i u modulu. U vzorků vyrobených s hliníkovou voštinou nedošlo ke zlepšení pevnosti

ani modulu, i když některé vzorky vykazovaly zvýšené hodnoty. Tato skutečnost je zřejmě dána tím, že pokud dojde k deformaci vzorku a lokálnímu porušení vnější vrstvy (jejímu prasknutí v místě působení příčnicku) hodnota modulu se pohybuje kolem 9000 MPa. Pokud při testu dojde k prohnutí tak, že dojde ke smykové deformaci jádra a jeho zvlnění, hodnota modulu pružnosti se pohybuje kolem 5000 MPa. Z těchto výše zmíněných důvodů nelze naměřené hodnoty považovat za směrodatné, protože jsou zatíženy poměrně velkou chybou. Průměrné hodnoty sledovaných parametrů jsou uvedeny v následujících grafech (Obr. 46, 47).

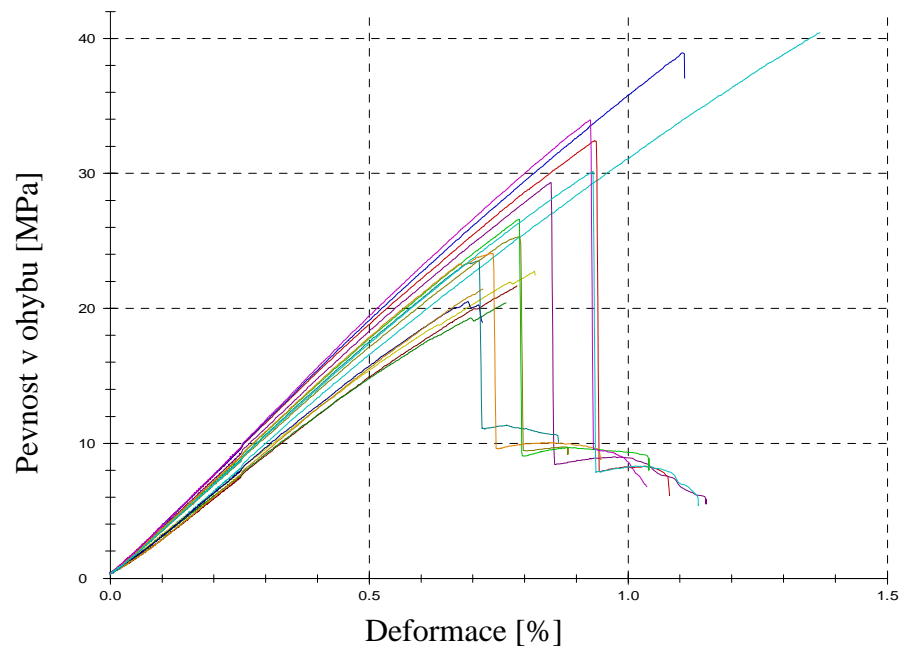


Obr. 46: Průměrné hodnoty modulu pružnosti v ohybu

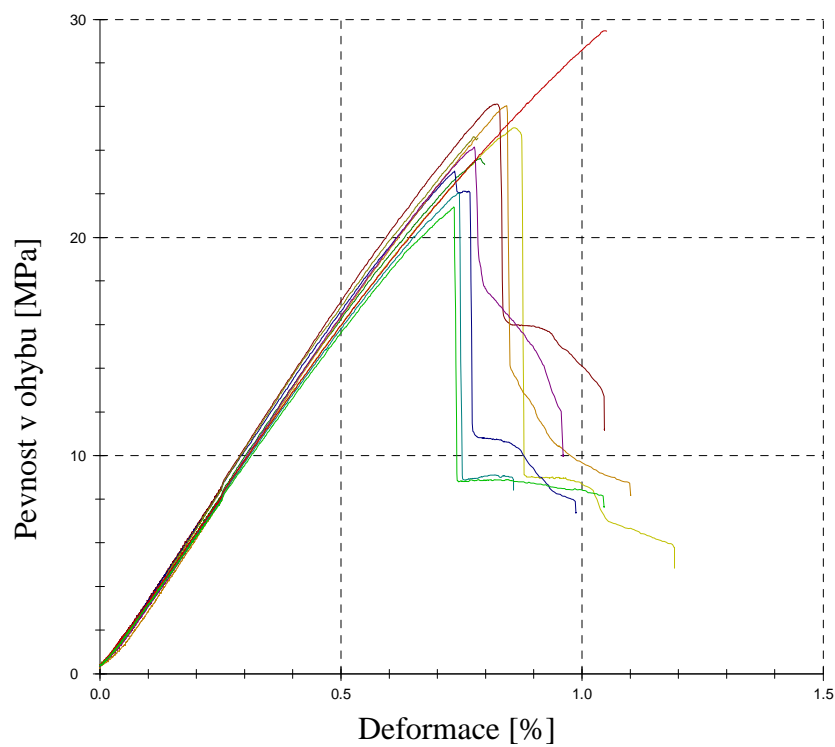


Obr. 47: Průměrné hodnoty ohybové pevnosti

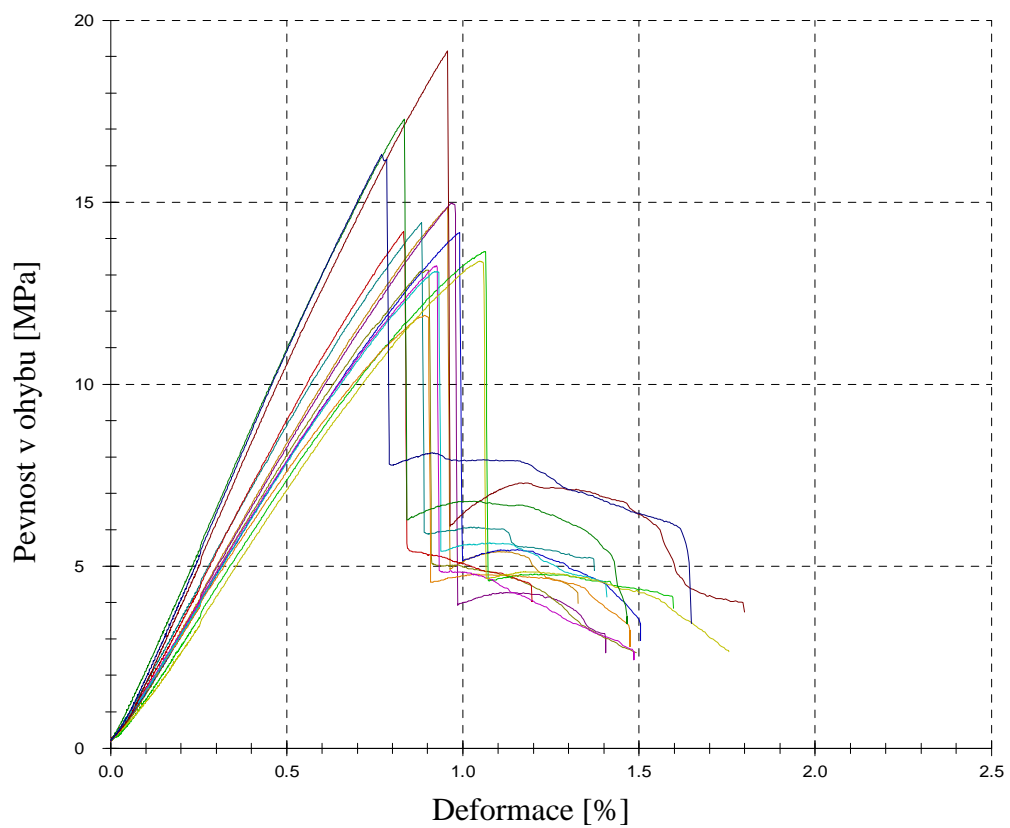
V následující sérii obrázků (Obr. 48 – 53) jsou zobrazeny průběhy napět'ových křivek vykreslené v programu TestExpertII. V grafech je možné pozorovat téměř neměnné průběhy pro struktury stlačené i nestlačené.



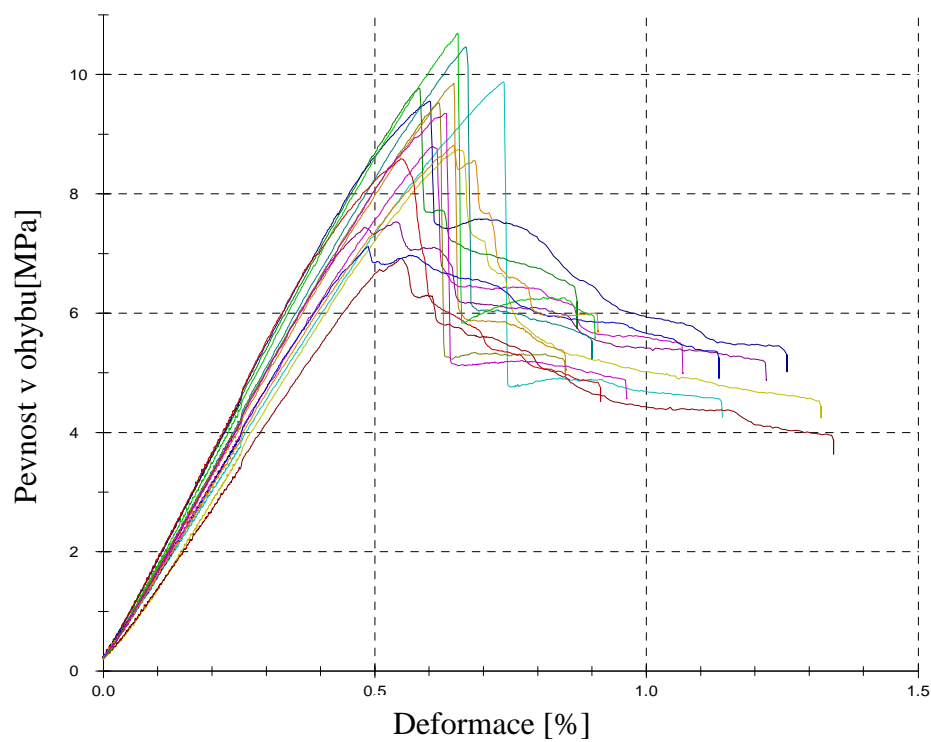
Obr. 48: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 7 mm



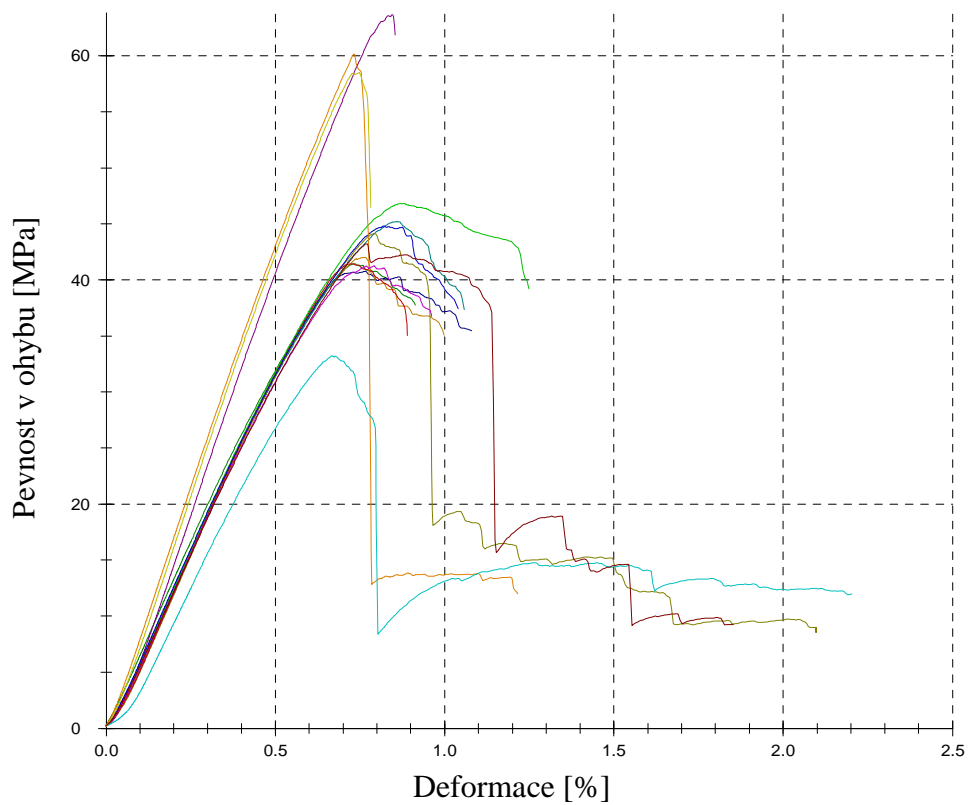
Obr. 49: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 7 mm stlačenou



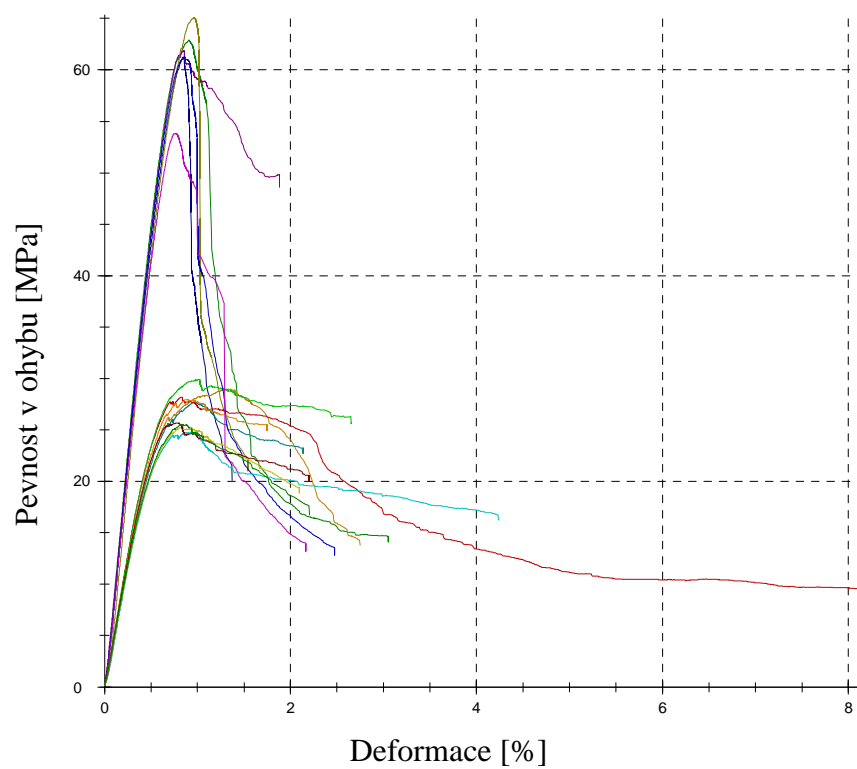
Obr. 50: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 9mm



Obr. 51: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 9 mm stlačenou



Obr. 52: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 10.5 mm



Obr. 53: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 10.5 mm stlačenou

8.2 Rázová zkouška v ohybu

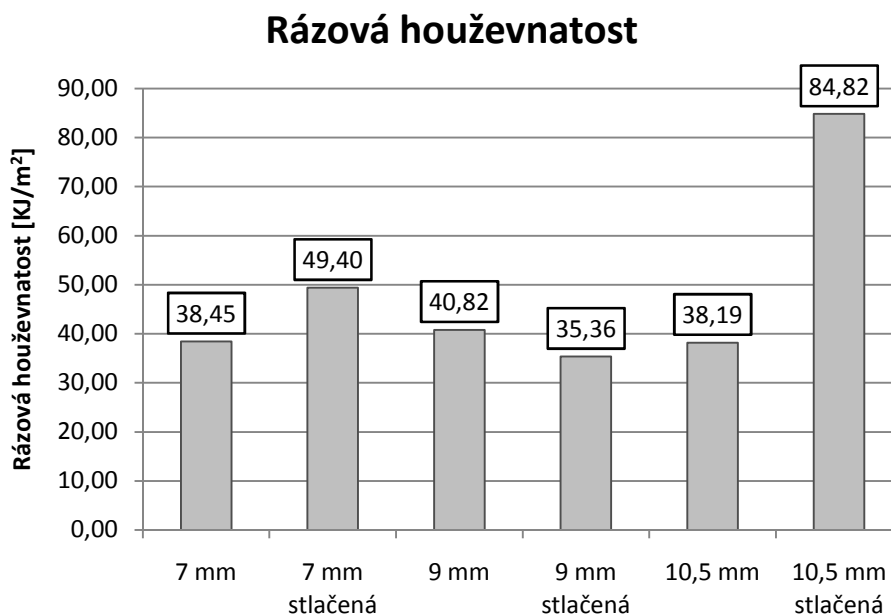
Rázová zkouška byla provedena na zařízení CEAST RESIL IMPACTOR junior. Rozměry zkušebního vzorku byly zvoleny s ohledem na velikost padacího kladiva a jejich konkrétní hodnoty byly 15 mm výška a 55 mm délka. Tloušťky vzorků byly opět 7 mm pro stlačenou a nestlačenou nomexovou strukturu, 9 mm pro stlačenou a nestlačenou nomexovou strukturu a 10.5 pro stlačenou a nestlačenou hliníkovou strukturu. Vzorky byly k testování ukládány tak, aby jako první kladivo udeřilo na tu stranu sendvičové struktury, která je výrazněji stlačená. Tento charakter stlačení byl pozorován zejména u struktur s hliníkovou voštinou, kde při stlačení došlo ke změně tloušťky o 6 mm.



Obr. 54: Rázová zkouška v ohybu

Tab. 15: Rázová houževnatost v KJ/m^2

	\bar{x}	σ	MIN	MAX	Q_1	Medián	Q_3	IQR
7 mm	38.45	2.73	34.31	44.56	48.27	50.14	51.37	3.11
7 mm stlačená	49.40	2.88	44.24	53.13	37.39	37.95	39.51	2.13
9 mm	40.82	8.29	30.25	52.03	31.28	43.43	47.97	16.70
9 mm stlačená	35.36	5.03	27.03	43.13	32.74	35.02	37.33	4.59
10,5 mm	38.19	3.82	31.81	43.73	34.61	39.57	41.13	6.70
10,5 mm stlačená	84.82	12.30	59.94	95.33	75.83	91.33	93.27	17.44



Obr. 55 Rázová houževnatost

U testu v žádném případě nedošlo k přeražení vzorku křehkým lomem. V několika případech struktur s nomexovým jádrem došlo k delaminaci na krajích zkušebního vzorku (Obr. 55). U vzorků o tloušťce 9 mm stlačených o 1 mm nedošlo ke zlepšení rázové houževnatosti, ale naopak k jejímu zhoršení. Opačná situace nastala v případě vzorků tloušťky 7 mm stlačených o 2 mm, u těchto vzorků došlo ke zlepšení houževnatosti o 28.5 %.



Obr. 56: Přeražený vzorek stlačené struktury s nomexovým jádrem

Při testování struktury s nestlačenou hliníkovou voštinou došlo u všech vzorků k separaci vzdálenější vrstvy a celkově ke značnému průhybu jádra a bližší vnější vrstvy, na kterou dopadající kladivo působilo jako první (Obr. 57). V případě struktur se stlačeným jádrem došlo vždy pouze ke značnému průhybu struktury jako celku bez delaminace vnějších vrstev (Obr. 58). Z toho lze usuzovat, že při technologii Crush-Core dochází ke zvětšení styčné plochy hliníkového jádra a tím ke zvětšení soudržnosti vrstev. Rázová houževnatost se díky tomuto jevu zvýšila o 122%.



Obr. 57: Přeražený vzorek hliníkové stlačené struktury



Obr. 58: Přeražený vzorek hliníkové stlačené struktury

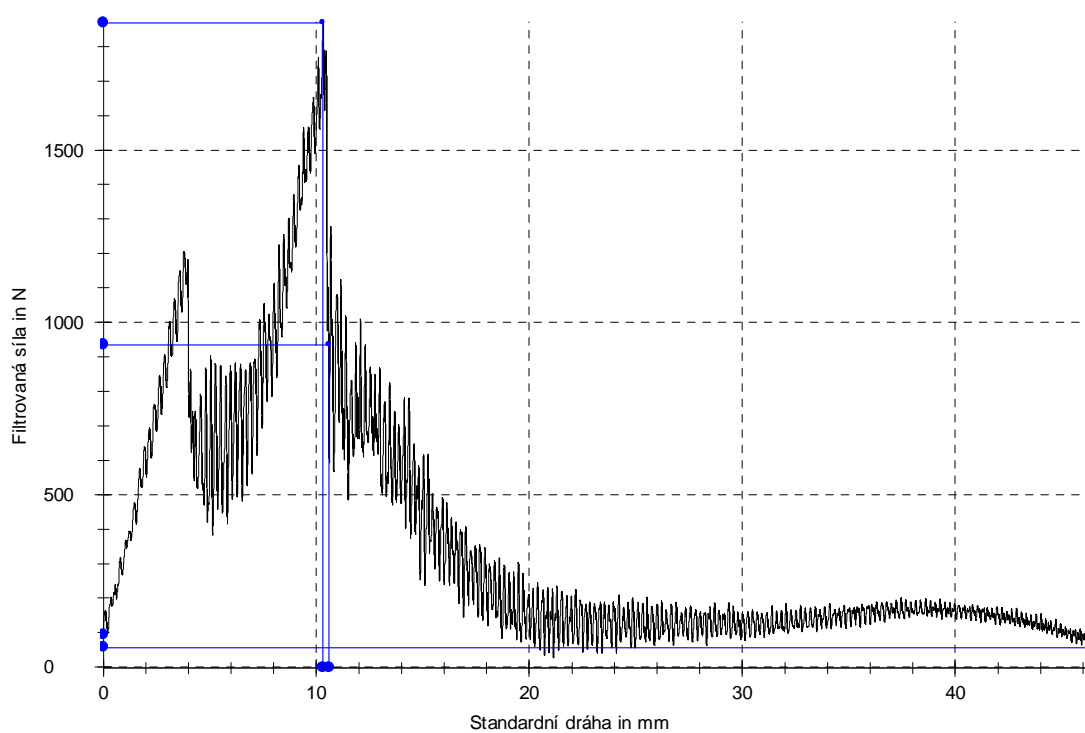
8.3 Zkouška nízko-rychlostním průrazem

Zkouška byla uskutečněna na stroji ZWICK ROELL HIT 230F. Z důvodu vyšší ceny a dlouhých dodacích časů byly testovány vždy pouze 3 vzorky od každé připravené struktury. Symboly zobrazené v tabulce (Tab. 16) popisují: maximální sílu F_{\max} , práci při maximální síle W_m a celkovou práci potřebnou k prorazení W_{lo} , kdy naměřené hodnoty nejsou statisticky vyhodnoceny z důvodu malého výběrového souboru. Z naměřených dat uvedených v Tab. 16 je patrné, že při průrazu vzorků s nomexovou voštinou nedošlo k nijak výraznému zvýšení průrazné pevnosti, toto ale nelze říci s úplnou jistotou z důvodu nedostatku vzorků. Na druhé straně při použití hliníkové voštiny došlo k výraznému zlepšení mechanických vlastností z důvodu lepšího přilnutí voštiny a prepregu a zřejmě i z důvodu většího množství materiálu, které musí impaktor prorazit.

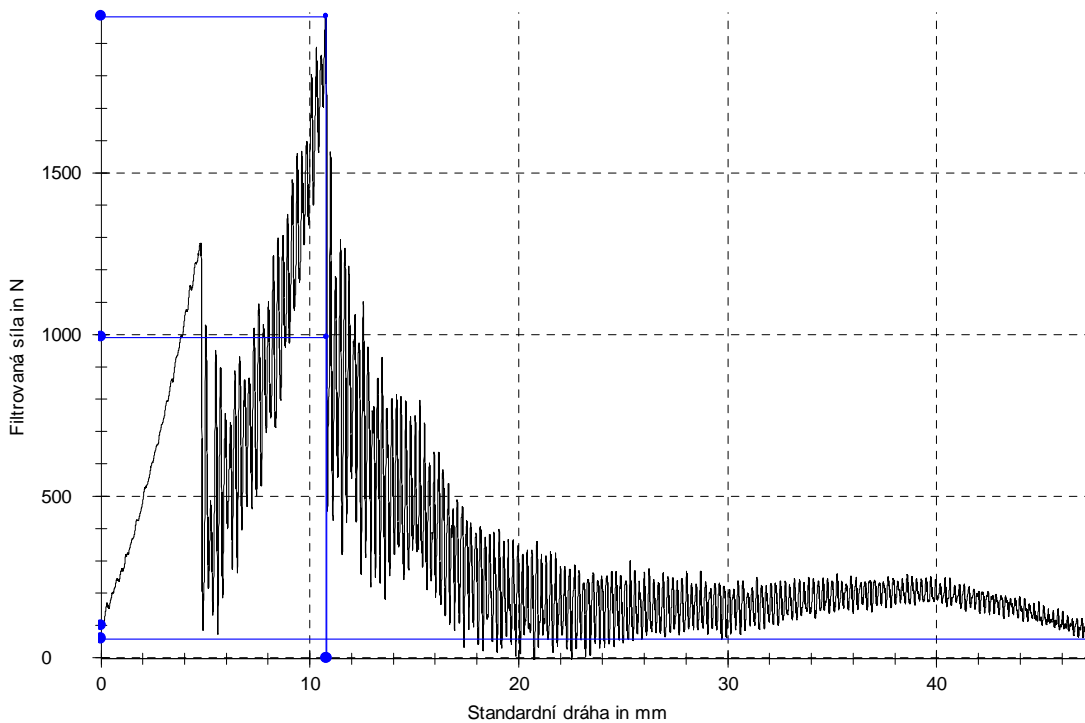
Tab. 16: Zkouška nízko-rychlostním průrazem

	F_{\max} [N]	W_m [J]	W_{lo} [J]
9 mm	1403.46	7.93	15.38
	1376.07	8.01	14.89
	1585.63	8.79	15.68
9 mm stlačená	1992.82	10.75	18.52
	1824.22	10.38	19.30
	1266.52	3.56	14.86
7 mm	1868.99	8.43	16.85
	1872.29	8.31	17.73
	1696.94	7.51	17.84
7 mm stlačená	1641.91	6.83	17.15
	1982.96	8.68	17.69
	1858.19	7.36	18.05
10.5 mm	2599.69	4.84	45.85
	2912.53	6.20	48.99
	2941.53	25.19	53.96
10.5 mm stlačená	5406.86	25.69	69.98
	5227.40	26.56	65.48
	4136.06	27.59	58.27

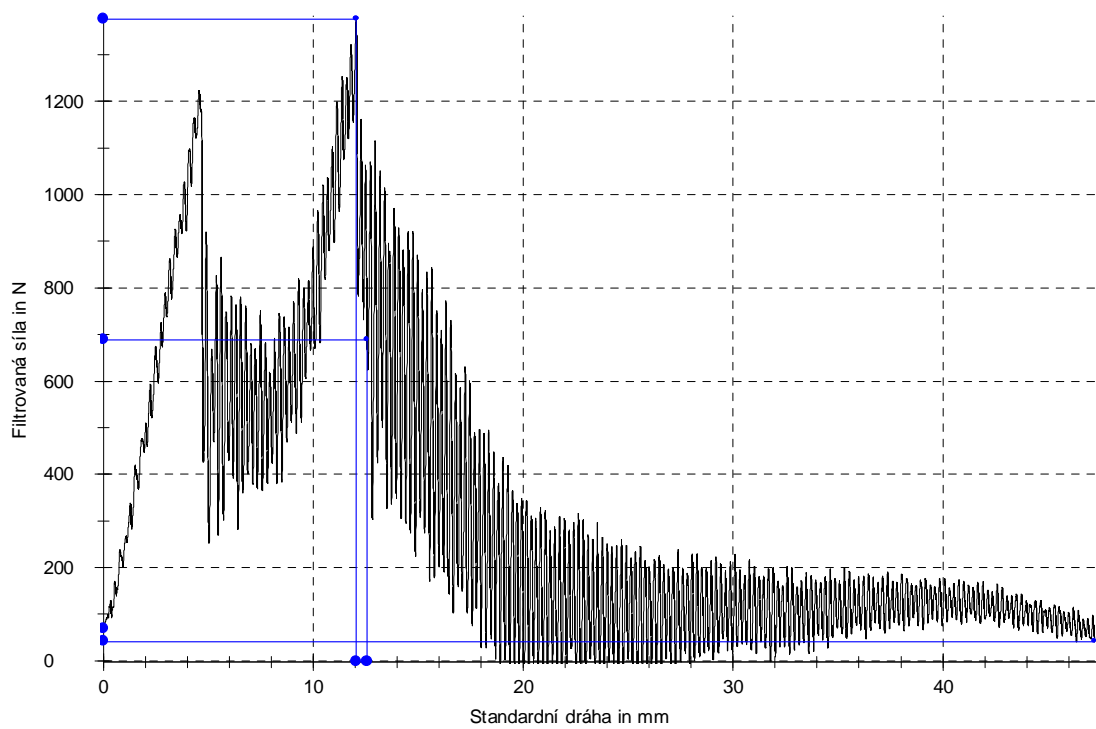
V následujících obrázcích (Obr. 59 – 64) jsou uvedeny vzorové křivky průběhu síly v závislosti na dráze. Z těchto dvou parametrů program dopočítává hodnoty průrazných energií.



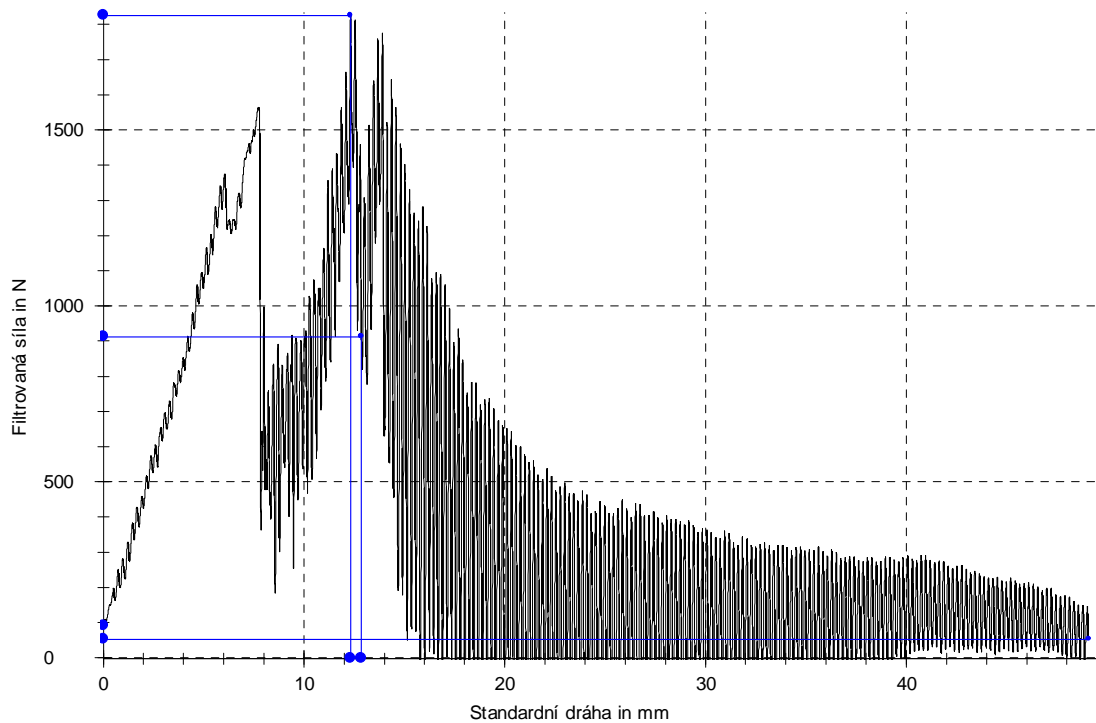
Obr. 59: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 7 mm



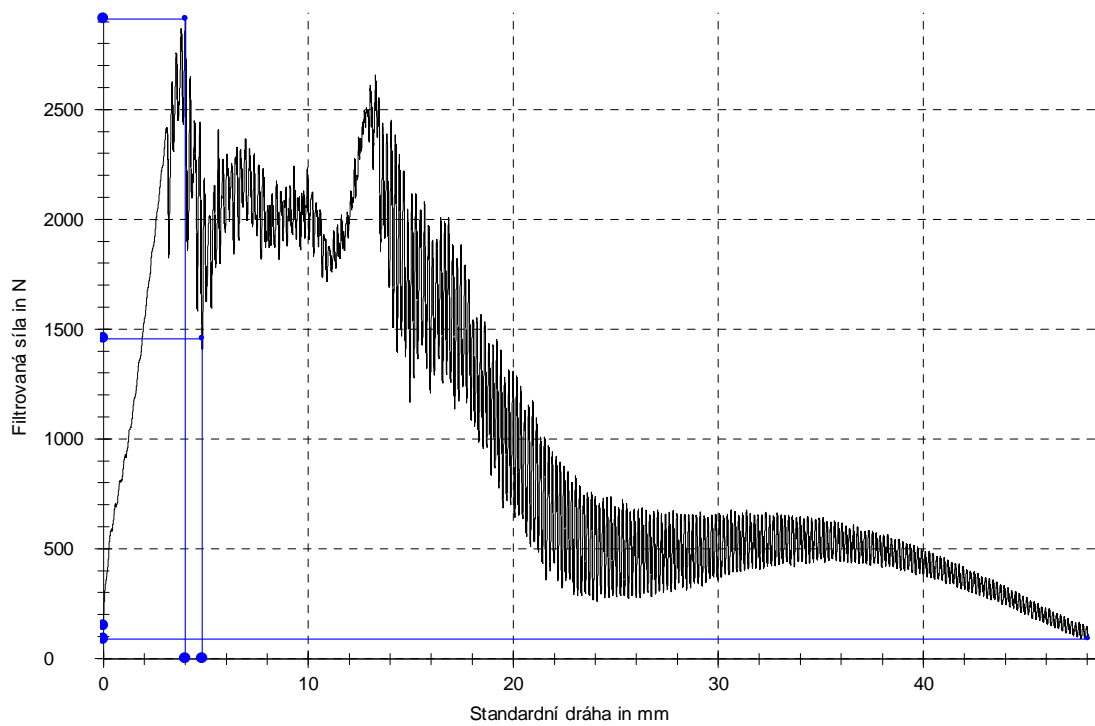
Obr. 60: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 7 mm stlačenou



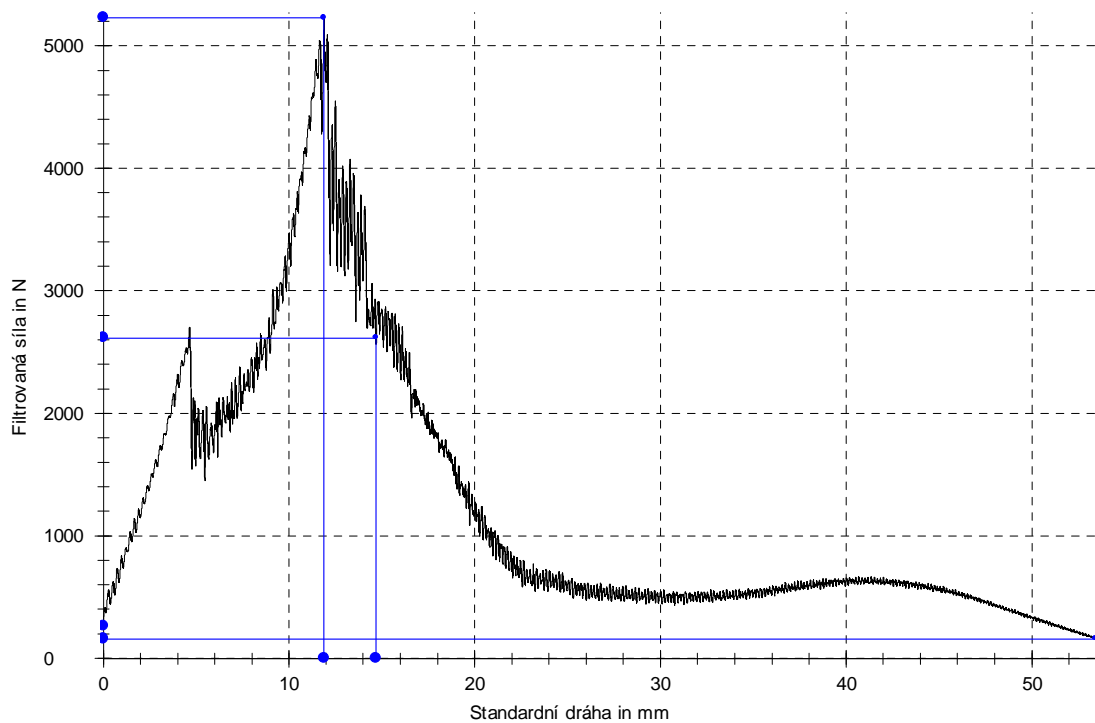
Obr. 61: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 9 mm



Obr. 62: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 9 mm stlačenou



Obr. 63: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 10.5 mm

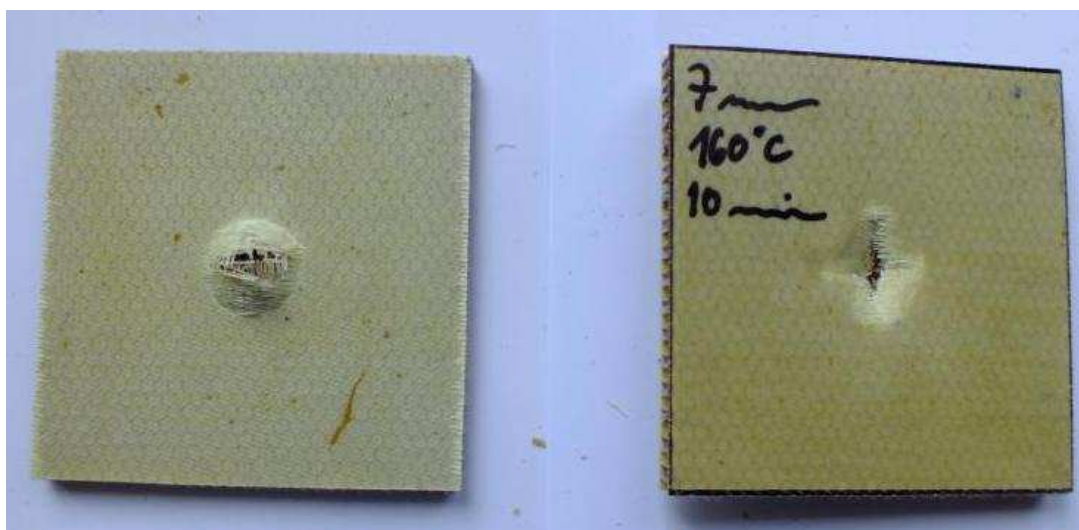


Obr. 64: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 10.5 mm stlačenou

Na Obr. 65 a 66 jsou zobrazeny vzorky testovaných struktur po nízko-rychlostním průrazu. Jak je z nich patrné, žádná struktura nebyla schopná zabránit celkové penetraci závaží.



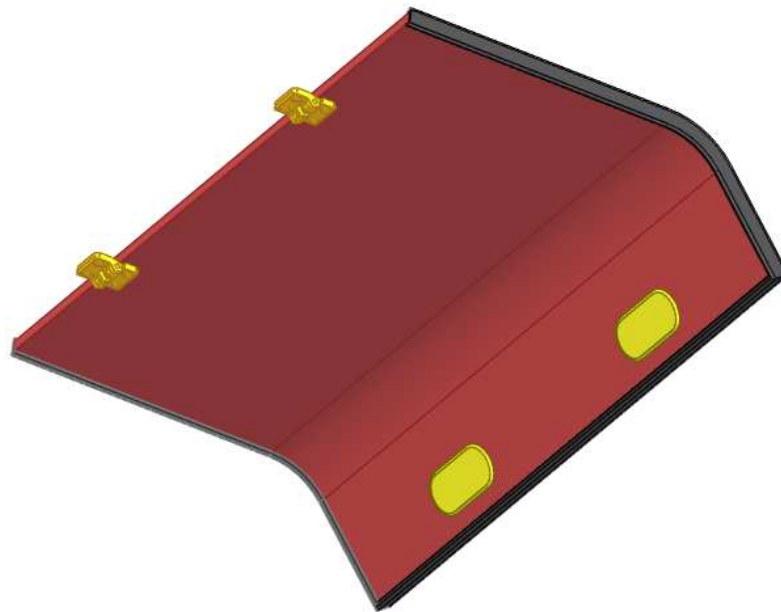
Obr. 65: Vzorek struktury s hliníkovou voštinou po testu



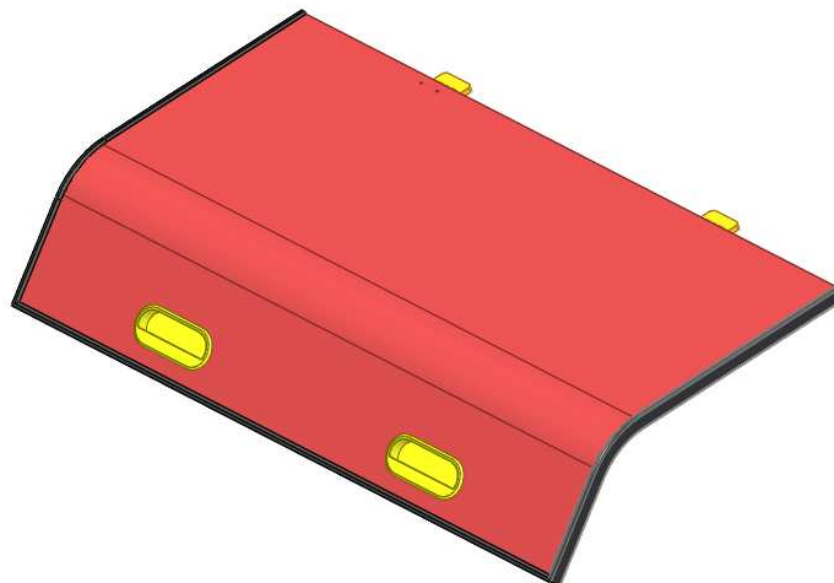
Obr. 66: Vzorek struktury s nomexovou voštinou po testu

9 MODEL FORMY

Pro návrh formy byla zvolena dvířka příručního zavazadlového prostoru (Obr. 67-68). Podle informací získaných z praxe se právě tyto interiérové díly vyrábějí technologií Crush-Core. Hlavní částí tohoto výrobku je zakřivená deska ze sendvičové struktury, která je ohraněna plastovým profilem. Aby bylo možno tuto součást řádně používat, jsou zde umístěna i plastová madla.



Obr. 67: Výrobek pro technologii Crush-Core – pohled 1

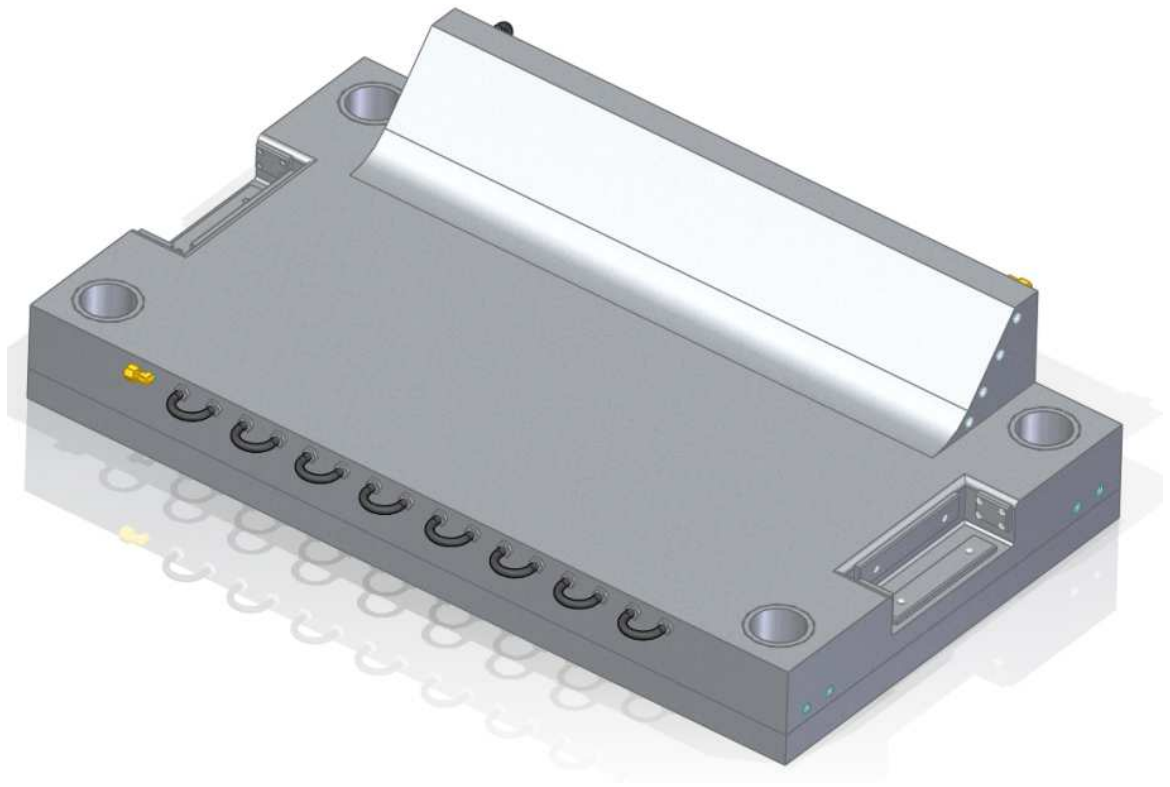


Obr. 68: Výrobek pro technologii Crush-Core – pohled 2

Forma pro technologii Crush-Core se skládá z několika hlavních dílů a těmi jsou tvárník, tvárnice, opěrné desky, vodící čepy a pouzdra. Tvárník i tvárnice jsou vyrobeny z nástrojové oceli třídy 19, konkrétně 19 436.4. Opěrné desky jsou vyrobeny z hliníku 6063 z důvodu úspory hmotnosti. Opěrné desky slouží k ustavení vodících čepů a pouzder. Tyto desky jsou ke tvárníku a tvárnici přišroubovány čtyřmi šrouby. Vzhledem k tomu že lisování probíhá za zvýšených teplot, bylo nutno vytvořit temperanční systém. Tento systém se skládá z vrtaných kanálů o průměru 16 mm propojených hadicemi s koncovkami se závitem M16. Forma je dále vybavena přepravními oky pro usnadnění manipulace s formou a zámky, které drží celou formu pohromadě při přepravě. Na formě jsou nainstalovány i kluzné desky, které slouží ke zpomalení dosedání tvárníku a tvárnice. Následující série obrázků (Obr. 69 – 77) zobrazuje 3D model formy a její jednotlivé komponenty.



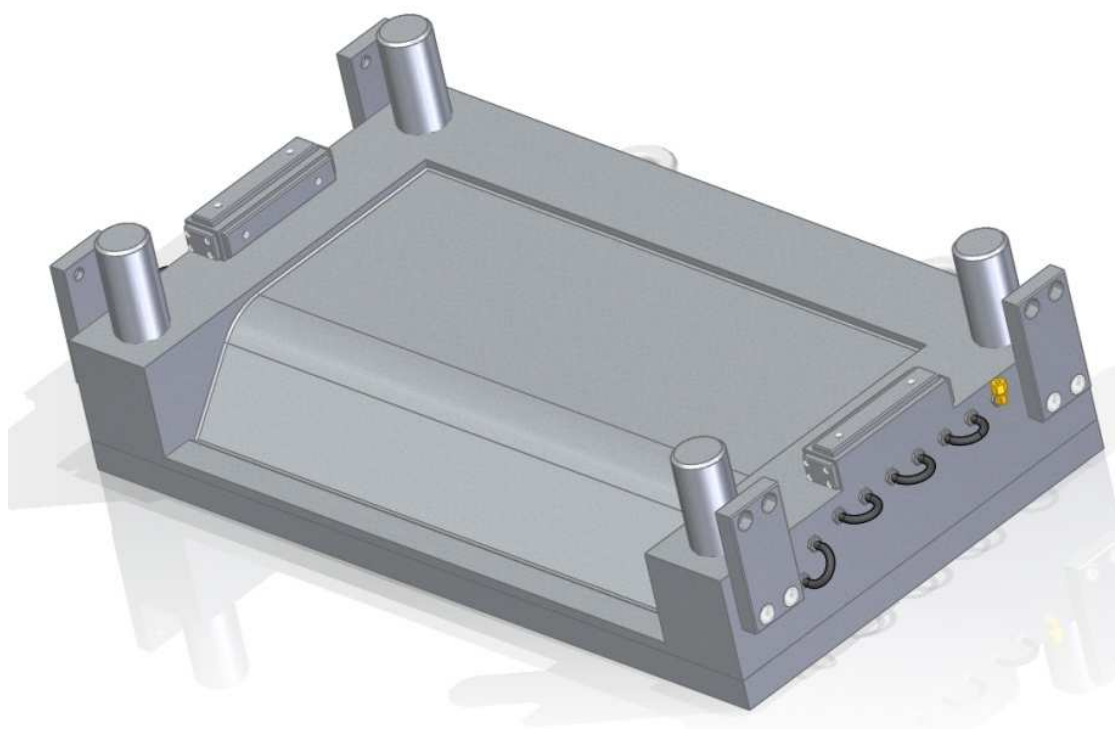
Obr. 69: Model formy – celkový pohled



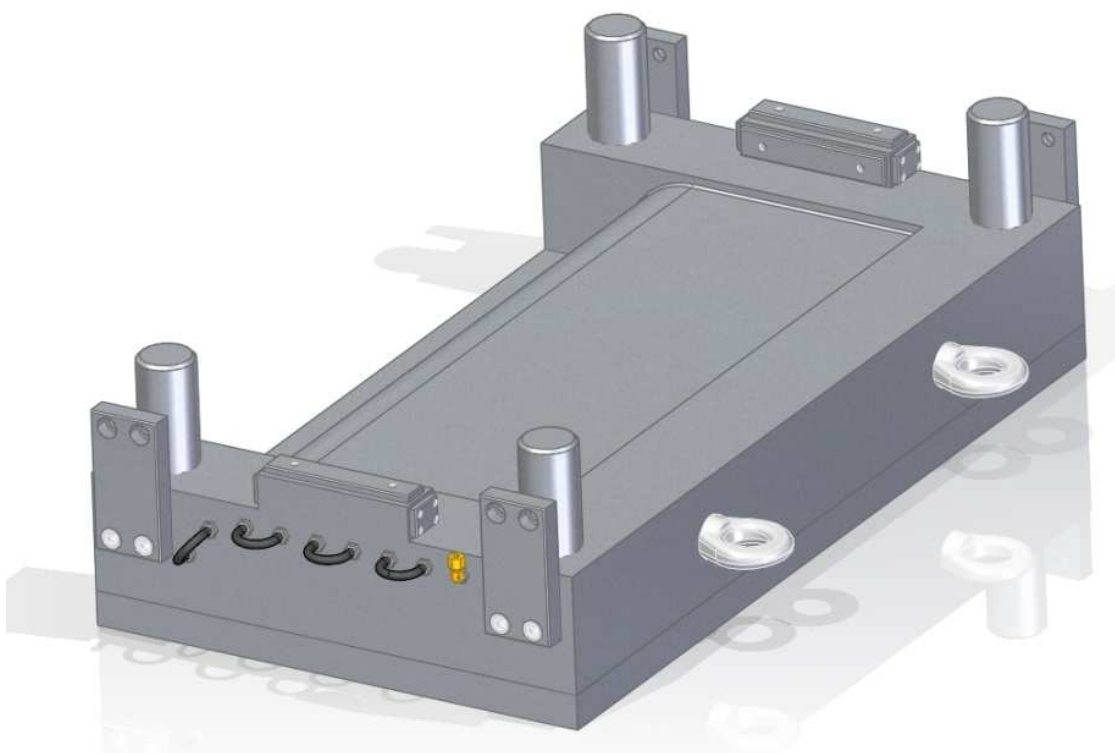
Obr. 70: Tvárník



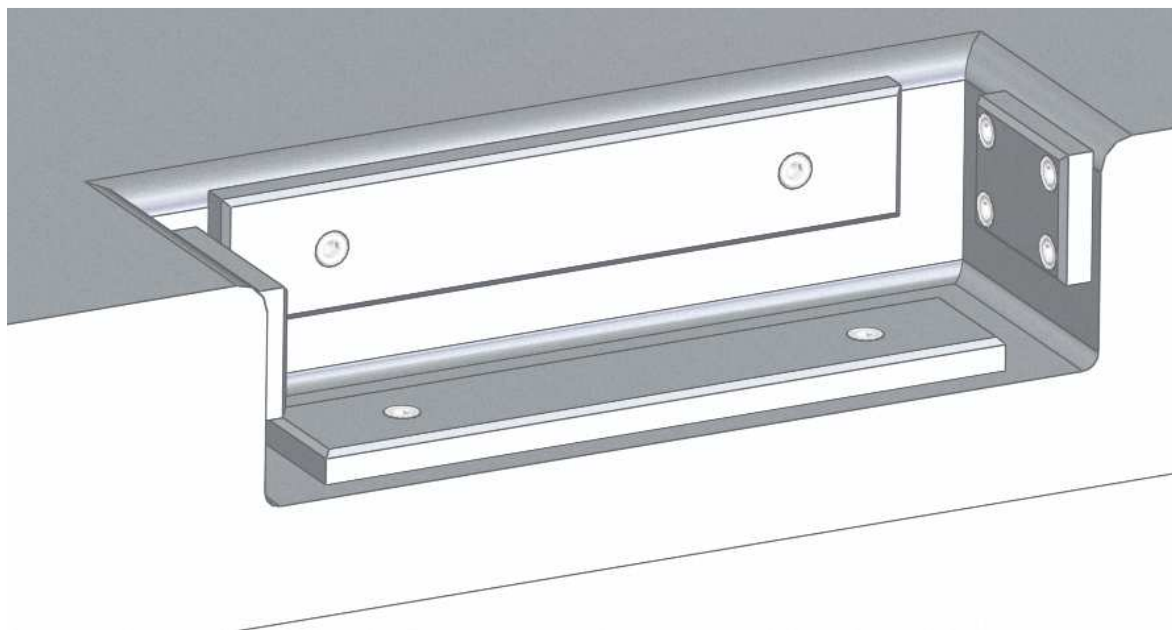
Obr. 71: Tvárník



Obr. 72: Tvárnice



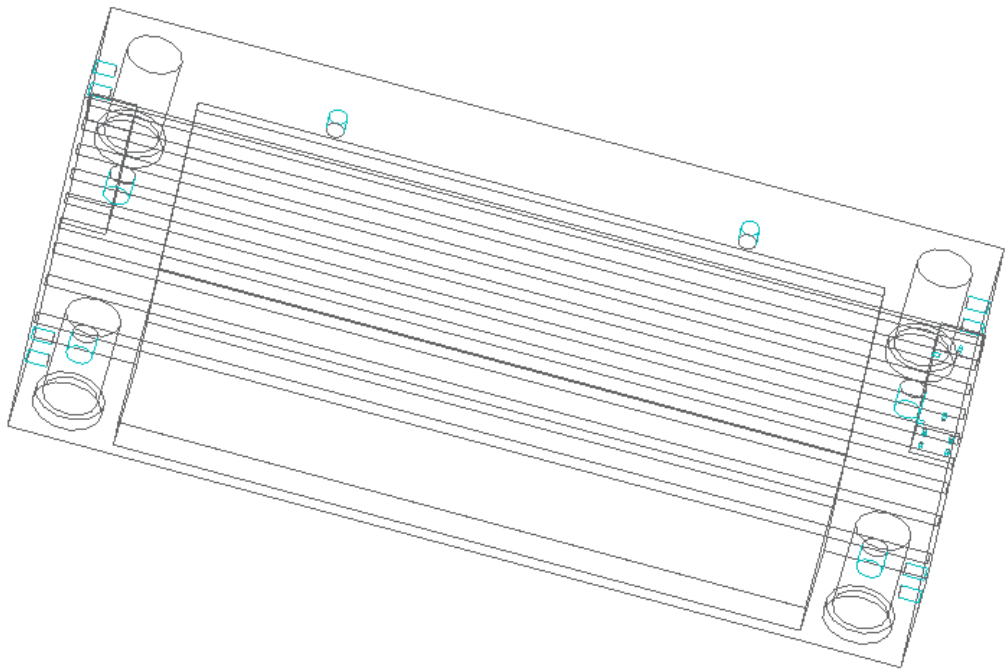
Obr. 73: Tvárnice



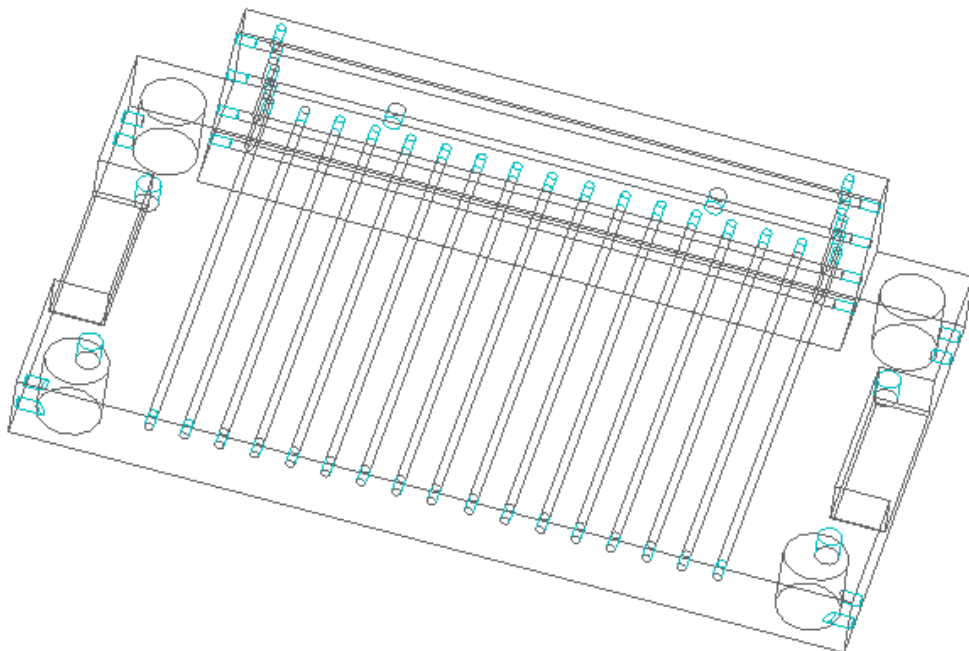
Obr. 74: Kluzné desky



Obr. 75: Zámek



Obr. 76: Temperace tvárnice



Obr. 77: Temperace tvárníku

ZÁVĚR

Ve světě je již delší dobu známa výrobní technologie zvaná Crush-Core, avšak chybí jakékoliv dostupné odborné práce, zabývající se touto technologií z hlediska přínosu v podobě zvýšení mechanických vlastností, zejména pak pevnosti či tuhosti. Tuto technologii si chrání zvláště letecké společnosti, a proto je velikým problémem dostat se k jakýmkoliv datům přímo z výroby nebo provozu zařízení, na kterých se nachází součásti vyrobené touto technologií.

V teoretické části jsou popsány všechny poměrně rozšířené technologie výroby sendvičových struktur a také jednotlivé materiály, používané v průmyslu u sendvičových struktur. V další části je provedena rešerše technologie Crush-Core z dostupných zdrojů a dále také nejdůležitější v praxi prováděné testy sendvičových struktur.

Praktická část je věnována popisu jednotlivých použitých zařízení a materiálů, výrobě zkušebních vzorků, vyhodnocení výsledků testů a také modelu formy pro technologii Crush-Core.

Z uvedených výsledků pro zkoušku troj-bodým ohybem vyplývá, že při použití nomexového jádra dojde spíše ke zhoršení mechanických vlastností a to konkrétně pro případ 1 mm stlačení o 64%. Modul pružnosti ale zůstává téměř nezměněn. U vzorků s jádrem z nomexové voštiny, stlačené o 2 mm, nedošlo k výrazné změně modulu ani pevnosti. Tyto buď neměnné hodnoty parametrů, nebo případná zhoršení měřených parametrů jsou přisuzovány skutečnosti, že nomexová voština se spíše zborťí, než by se zvětšila její styková plocha s vnější vrstvou. Je však nutno podotknout, že některé dílčí hodnoty zkoušených vzorků byly značně vyšší než u vzorků nestlačených. U vzorků, které obsahovaly nomexová voštinová jádra, která byla stlačena o 1 mm, je snížení pevnosti přisuzováno nejspíše výrobní chybě. U vyrobených vzorků s hliníkovou voštinou taktéž nedošlo k výrazné změně pevnosti ani modulu. To je nejspíše způsobeno tím, že nedošlo k dostatečnému stlačení a tím pádem i ke zvětšení styčné plochy.

Dalším testem, který pomohl určit vlastnosti vyrobených vzorků, byla rázová zkouška v ohybu. Z výsledků, které byly získány pomocí tohoto testu plyne, že rázová houževnatost pro strukturu s nomexovým jádrem stlačenou o 1 mm nevykázala zlepšení, ale naopak zhoršení, což je zřejmě způsobeno zborcením jádra, které má kompenzovat větší styková

plocha se vnější vrstvou, avšak při takto malém stlačení se styková plocha zmenší jen minimálně či vůbec a dojde tak pouze ke ztrátě stability buněk voštiny. U vzorků se stejným typem jádra, stlačených o 2 mm je situace opačná, došlo ke zvýšení rázové pevnosti o 28.5 %. Toto zvětšení svědčí o tom, že sice došlo současně ke zborcení jádra, ale zvětšená styková plocha mezi jádrem a vnějšími vrstvami splnila svůj úkol a tedy došlo ke zlepšení mechanických vlastností. V několika případech došlo k delaminaci vnější vrstvy a v žádném případě nedošlo k úplnému přeražení vzorku křehkým lomem. Hliníková voština při testech prokázala nejvyšší rázovou houževnatost ve stlačeném stavu. V nestlačeném stavu se výsledky daly porovnat s ostatními vzorky. Při testování struktury s nestlačenou hliníkovou voštinou došlo u všech vzorků k separaci vzdálenější vrstvy a celkově ke značnému průhybu jádra a bližší vnější vrstvy, na kterou dopadající kladivo působilo jako první. V případě struktur se stlačeným jádrem došlo vždy pouze ke značnému průhybu struktury jako celku bez delaminace vnějších vrstev.

Posledním testem byla zkouška nízko-rychlostním průrazem. Při této zkoušce byly testovány pouze 3 vzorky z každé výrobní série z důvodu časové náročnosti výroby. Vzorky, jež byly vyrobeny s nomexovou voštinou nevykazovaly veliké rozdíly průrazové pevnosti, což ale nelze s jistotou říci z důvodu malého počtu měření. U hliníkové voštiny došlo k výraznému zvýšení průrazové pevnosti, což je přisuzováno lepšímu přilnutí voštiny ke vnější vrstvě, ale také z důvodu většího množství materiálu, který musí impaktor prorazit.

Z naměřených výsledků vyplývá, že nomexová voština není vhodná jako materiál pro tuto technologii protože nepřináší zlepšení mechanických vlastností. Na druhou stranu hliníková voština ukazuje svůj potenciál pro budoucí výzkum, kdy v několika případech došlo k výraznému zlepšení mechanických vlastností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAREK, Pavel. Sendvičové konstrukce. [online]. 2001 [cit. 2012-12-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce.html>
- [2] HEXCEL. *Prepreg technology* [online]. 2005 [cit. 2012-12-27]. FGU 017b. Dostupné z: http://hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-Data-sheets/Prepreg_Technology.pdf
- [3] Lightweight structures. In: *DNV: Managing risk* [online]. [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: <http://www.dnv.com/industry/maritime/publicationsanddownloads/publications/dnv-containershipupdate/2010/1-2010/lightweightstructures.asp>
- [4] ŠUBA, Oldřich. *Dimenzování a navrhování výrobků z polymerů*. Vyd. 3. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010, 112 s. ISBN 9788073189488.
- [5] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [6] KOŘÍNEK, Zdeněk. Vlákna pro kompozity. In: [online]. [cit. 2013-01-02]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>
- [7] KOS PETR. *Vlastnosti polymerních dlouhovláknových kompozitů s různými výztužemi*. 2011 [cit. 2013-01-29].
- [8] GURIT. *Guide to composites* [online]. [cit. 2012-12-27]. Dostupné z: <http://gurit.com/files/documents/guide-to-compositesv4pdf.pdf>
- [9] Direct industry. In: *Carbon-aramid hybrid fabric* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/taiwan-electric-insulator-co-ltd/carbon-aramid-hybrid-fabrics-61768-576190.html>
- [10] EGGER: Technický list porovnání CPL a HPL. In: [online]. [cit. 2013-03-05]. Dostupné z: http://www.egger.com/downloads/bildarchiv/129000/1_129793_TM_EGGER-Schichtstoff-CPL-HPL_CZ.pdf
- [11] Easycomposites. In: *Easycomposites: PVC foam* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.easycomposites.co.uk/products/core-materials/10mm-closed-cell-pvc-foam-core-material.aspx>

- [12] Beijing Haixun Machine & Technology Co.,Ltd. In: *Beijing Haixun Machine & Technology Co.,Ltd* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://bjhxwu.en.buysytrade.com/products/info/1139152/Ps-Foam-Board-kt-Board-ps-Foam-Paper-Board-ps-Foam-Sheet.html>
- [13] Eurofoam. In: *Eurofoam* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/eurofoam-srl/pur-foam-panels-for-the-automotive-industry-50843-366363.html>
- [22] FABRINGER, Daniel. *Technologie výroby sendvičových kompozitních struktur pomocí vákuové infuze pod pružnou folií*. Zlín, 2011. Diplomová Práce. UTB Zlín. Vedoucí práce Rusnáková Soňa.
- [14] Tjskl. In: *Tjskl* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: http://www.tjskl.org.cn/images/cza89a3f-pz215641d-white_foam_board_foam_board_yatusi.html
- [15] Easycomposites. In: *Easycomposites: Aluminium honeycombs* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.easycomposites.co.uk/products/core-materials/19mm-aluminium-honeycomb.aspx>
- [16] Malekjafarian. In: *Malekjafarian* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: http://malekjafarian.com/?page_id=84
- [17] Honeycomb Ceramic Design. In: *Honeycomb Ceramic Design* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.cefn.sau.edu/interdisciplinary/d4p/EGR486/ME/10-Projects/SMARF/project/designdecisions/>
- [18] Applied vehicle technology. In: *Applied vehicle technology: .500 nomex honeycomb 3 lb 2'x4'* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.avtcomposites.com/cgi-bin/commerce.cgi?preadd=action&key=.500HCOMB2X4>
- [19] TREGO, Linda. Honeycomb structure material. In: *SAE vehicle engineering* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.sae.org/mags/SVE/8061>
- [20] Gurit. In: *Gurit: Balsaflex* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.gurit.com/balsaflex-endgrain-balsa.aspx>
- [21] Hiric-shop. In: *Hiric-shop* [online]. [cit. 2013-01-29]. Dostupné z: <http://www.hiric-shop.cz/podlozka-haro-korek-2mm-cena-za-m2/d-70752/>

- [22] FABRINGER, Daniel. *Technologie výroby sendvičových kompozitních struktur pomocí vákuové infuze pod pružnou folii*. Zlín, 2011. Diplomová Práce. UTB Zlín. Vedoucí práce Rusnáková Soňa.
- [23] Space and stable structures. SAN DIEGO COMPOSITES. *San Diego Composites* [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: http://www.sdcomposites.com/Products/sss_product5.html
- [24] Stoddart international. [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://stoddartintl.com/capabilities-products/>
- [25] Prospect Mold. [online]. [cit. 2013-01-05]. Dostupné z: <http://www.prospectmold.com/molds-dies>
- [26] ZENKERT, Nordic Industrial Fund. Ed.: D. *The handbook of sandwich construction*. Cradley Heath, West Midlands: Engineering Materials Advisory Services Ltd. (EMAS), 1997. ISBN 978-094-7817-961.
- [27] Nauka o materiálu. In: *Nauka o materiálu* [online]. [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: http://www.339.vsb.cz/nauka_o_materialu/Slide3_Pevnost_Krystalickych_Materialu.pdf
- [28] DORAZIL, Emil. a kol.: *Nauka o materiálu I*, Brno 1989
- [29] FOJTÁCHOVÁ, Marie. *Studium rázové pevnosti vstříkovaných tenkostěnných výrobků*. Zlín, 2008. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [30] *Multidiscipline modeling in materials and structures*. ISBN 1573-6105.

POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Prepreg	Předimpregnovaná tkanina
MPa	Megapascal
°C	Stupeň celsia
HPL	High pressure laminate
PVC	Polyvinylchlorid
PU	Polyuretan
PEI	Polyethylenimin
SAN	Styrenakrylonitril
PMMA	Polymethylmetakrylát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PC	Polykarbonát
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Sendvičová struktura s voštinovým jádrem [2]	12
Obr. 2: Sendvičová struktura s pěnovým jádrem [3]	12
Obr. 3: Třívrstvá sendvičová struktura [4]	14
Obr. 4: Průběh funkcí K_0/m [4]	15
Obr. 5: Deformace sendvičových struktur [3]	16
Obr. 6: Dvoukroková výroba prepregů [2]	20
Obr. 7: Jednokrokové vertikální a horizontální uspořádání výroby prepregů [2]	20
Obr. 8: Plátňová vazba [8]	21
Obr. 9: Keprová vazba [8]	21
Obr. 10: Atlasová vazba [8]	22
Obr. 11: Košíková vazba [8]	22
Obr. 12: Hybridní tkanina [9]	23
Obr. 13: Výroba multiaxiálních tkanin	24
Obr. 14: PVC pěna [11]	26
Obr. 15: Polystyrenová pěna [12]	26
Obr. 16: PUR pěna [13]	27
Obr. 17: PMMA pěna [14]	27
Obr. 18: Hliníková voština [15]	29
Obr. 19 Výroba hliníkových voštin roztažením [16]	30
Obr. 20: Výroba hliníkových voštin válcováním [17]	30
Obr. 21: Nomexová voština [18]	31
Obr. 22: Termoplastická voština [19]	31
Obr. 23: Balzové jádro [20]	32
Obr. 24: Korek [21]	33
Obr. 25: Vakuová infuze [22]	34
Obr. 26: Pultruze [22]	35
Obr. 27: Vytvrzování v autoklávu [22]	37
Obr. 28: Vytvrzování prepregu ve vytvrzovací peci [8]	37
Obr. 29: Princip technologie crush core [23]	38
Obr. 30: Panely vyrobené crush-core technologií [24]	39
Obr. 31: Tvárník pro crush-core technologii [25]	40

Obr. 32: Čtyř-bodový ohyb [26]	42
Obr. 33: Tříbodový ohyb [26].....	43
Obr. 34: Průběh ohybového momentu pro tříbodový ohyb [27]	43
Obr. 35: Charpyho kladivo [28].....	44
Obr. 36: Padostroj [30]	45
Obr. 37: Laboratorní vulkanizační lis	48
Obr. 38: Univerzální zkušební stroj ZWICK.....	49
Obr. 39 Charpyho kladivo CEAST Resil Impactor junior.....	50
Obr. 40: Padostroj ZWICK ROELL HIT	51
Obr. 41: Směry namáhání zmíněné v předchozí tabulce	52
Obr. 42: Vytvrzovací cyklus výroby vzorků	55
Obr. 43: Vyrobené zkušební vzorky v nomexové voštiny a PH840-300	56
Obr. 44: Zkouška ohybem	57
Obr. 45: Zkušební vzorek z nomexového jádra po zkoušce ohybem	58
Obr. 46: Průměrné hodnoty modulu pružnosti v ohybu	59
Obr. 47: Průměrné hodnoty ohybové pevnosti	59
Obr. 48: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 7 mm.....	60
Obr. 49: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 7 mm stlačenou	60
Obr. 50: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 9mm.....	61
Obr. 51: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 9 mm stlačenou	61
Obr. 52: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 10.5 mm.....	62
Obr. 53: Průběh ohybového napětí v závislosti na deformaci pro 10.5 mm stlačenou	62
Obr. 54: Rázová zkouška v ohybu	63
Obr. 55 Rázová houževnatost	64
Obr. 56: Přeražený vzorek stlačené struktury s nomexovým jádrem	64
Obr. 57: Přeražený vzorek hliníkové stlačené struktury.....	65
Obr. 58: Přeražený vzorek hliníkové stlačené struktury.....	65
Obr. 59: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 7 mm.....	67
Obr. 60: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 7 mm stlačenou.....	67
Obr. 61: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 9 mm	68
Obr. 62: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 9 mm stlačenou.....	68
Obr. 63: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 10.5 mm.....	69

Obr. 64: Průběh zkoušky nízko-rychlostním průrazem pro strukturu 10.5 mm stlačenou	69
Obr. 65: Vzorek struktury s hliníkovou voštinou po testu.....	70
Obr. 66: Vzorek struktury s nomexovou voštinou po testu	70
Obr. 67: Výrobek pro technologii Crush-Core – pohled 1	71
Obr. 68: Výrobek pro technologii Crush-Core – pohled 2	71
Obr. 69: Model formy – celkový pohled	72
Obr. 70: Tvárník	73
Obr. 71: Tvárník	73
Obr. 72: Tvárnice	74
Obr. 73: Tvárnice	74
Obr. 74: Kluzné desky	75
Obr. 75: Zámek	75
Obr. 76: Temperace tvárnice	76
Obr. 77: Temperace tvárníku	76

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání tuhosti, pevnosti a hmotnosti v závislosti na tloušťce jádra [2].....	13
Tab. 2: Technické údaje vulkanizačního lisu.....	48
Tab. 3: Technické údaje univerzálního zkušebního stroje ZWICK.....	49
Tab. 4: Technické údaje Charpyho kladiva	50
Tab. 5: Mechanické vlastnosti nomexových voštin.....	52
Tab. 6: Mechanické vlastnosti prepregu PH840-300-42	53
Tab. 7: Vytvrzování prepregu PH840-300-42	53
Tab. 8: Mechanické vlastnosti prepregu PH840-300-42	53
Tab. 9: Mechanické vlastnosti prepregu PH840N-F300-47	54
Tab. 10: Vytvrzování prepregu PHG 840N-F300-47	54
Tab. 11: Mechanické vlastnosti prepregu PHG 840N-F300-47	54
Tab. 12: Vlastnosti hliníkové voštiny ECM 6.4 - 82	55
Tab. 13: Modul pružnosti v ohybu testovaných struktur v MPa	58
Tab. 14: Pevnost v ohybu testovaných struktur v MPa	58
Tab. 15: Rázová houževnatost v KJ/m ²	63
Tab. 16: Zkouška nízko-rychlostním průrazem.....	66

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Datový list prepregu PDS_PH840-300-42
- P II Datový list prepregu PDS_PHG840N-F300-47
- P III Datový list voštiny CORMASTER 2
- P IV Datový list voštiny EUROCOMPOSITES ECM 6.4-82
- P V Výkres sestavy formy
- P VI Kusovník
- P VII CD s diplomovou prací ve formátu pdf

PŘÍLOHA P I



PH840-300-42

- Fiber reinforced thermosetting preimpregnated materials for railway parts (e.g. fairings, window, ceiling and floor panels).
- Woven fabric of E-glass filament yarn, 300 g/m², 8H satin, preimpregnated 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/mm².

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 ²
Volatile	EN 2330 (150°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 ² ±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 size	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
	80			
Compressive Strength (warp)	RT	EN 2850	–	MPa
	80		–	
Compressive Modulus (warp)	RT	EN 2850	–	GPa
	80		–	
Interlaminar Tensile Shear Strength (warp)	RT	AITM 1.0019/1B	18	MPa
	80		16	
Climbing Drum Peel *	RT	EN 2243-3	110	N/75 mm
	80		–	
Bending Load (4-P.) *	RT	AITM 1.0018 Fig.2	850	N
	80		–	
Tg (TMA)		TMA	> 80	°C

*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	60	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	MW m ²
Heat release rate		AITM 2.0006	25	MW/min m ²



Notice

The data have been obtained from representative sample specimens. Because the properties depend strongly on the fabrication and testing conditions, Gurit cannot guarantee that the data listed above will be achieved with other processes and equipment.

Gurit (Zullwil) AG
Fabrikweg 54
CH-4234 Zullwil
Switzerland
T +41 (0) 61 795 06 01
F +41 (0) 61 795 06 04

Gurit (Kassel) GmbH
Otto-Hahn-Str. 5
D-34123 Kassel
Germany
T +49 (0) 561 99 85 63 0
F +49 (0) 561 99 85 63 22

E info@gurit.com
W www.gurit.com

PŘÍLOHA P II



PHG840N-F300-47

- Fiber reinforced thermosetting prepreg material for railway parts (e.g. fairings, window, ceiling and floor panels).
- Woven fabric of E-glass filament yarn, 300 g/m², 8H satin, prepreg with 47% phenolic resin PH840N.
- 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
- Special adhesive side for Alu bonding

Description

PHG840N-F300-47 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 PHG840N 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/mm².

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	560 ±30 g/m ²
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 ² ±5 %
Weave Style		8H satin
Service Temperature (Cured State)		-55°C to +80°C
Resin Content	EN 2331	47.0 ±3%

Delivery Form and Storage

Prepreg sizes	Roll length / Roll width	50 / 1.0 ± 1.27m
Storage Life (from delivery date)	Days at RT / Month at -18°C	30 / 24

Curing Conditions

	Crush Core	Standard Cycle
Temperature	120°C/140°C/160°C	120/130/140/160°C
Cure Time	50 min/20 min/10 min	90/60/30/10 min
Spec. Pressure	1.25 Mpa	0.07- 0.4 MPa
Heat-up	None (hot-in)	2 to 5 K/min
Cool-down	None (hot-out)	2 to 5 K/min
Remove material at	120°C/140°C/160°C	< 80°C
Recommended curing process	Press, Autoclave, Vacuum-bag	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)		ISO 527-4		MPa
Tensile Modulus (warp)		ISO 527-4		GPa
Compressive Strength (warp)		EN 2850	–	MPa
			–	
Compressive Modulus (warp)		EN 2850		GPa
Interlaminar Tensile Shear Strength (warp)	RT	AITM 1.0019'1B	18	MPa
	80		16	
Interlaminar Shear Strength				
Bearing strength				
Climbing Drum Peel *	RT	EN 2243-3	110	N/75 mm
Bending Load (4-P.) *	RT	AITM 1.0018 Fig.2	1500	N
	80		–	
Tg		TMA	> 80	°C

1) Sandwich structure (5,4mm Alu honeycomp 126.5 kg/m³ MIL-C-7438)



Burning Behaviour

		Test method	Max. mean values	
Flammability vertical, 60s flaming	burn length after flame time after flame time of drips	AITM 2.0002A	60 5 –	mm s s
Flammability vertical, 12s flaming				
Max. specific optical smoke density within 4 min	flaming mode	AITM 2.0007A	5	Da
Heat release		AITM 2.0006	25	KW m²
Heat release rate		AITM 2.0006	25	KW*min m²

Disclaimer

The materials, products and services of the Gurit Group sold by the respective legal entity (the "Company") of the Gurit Group are subject to the Standard Conditions of Sale of the Company which are available on request or may be viewed at the website: www.gurit.com. Nothing in this document or any data sheet, brochure, prospectus, etc. (hereinafter referred to as "Documents"), nor any instruction or advice given as referred to in the Documents shall be deemed to alter, vary, supersede or waive any provision of Company's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless any such modification is specially agreed to in writing and signed by Company.

Although any information, instruction or advice contained or referred to in the Documents is given in good faith, no warranty or guarantee, express or implied, is made (i) that the results described herein will be obtained, or (ii) that the information, instruction or advice (whether written or oral) is complete, accurate and useful. Nothing contained in the Documents constitutes a representation or warranty, whether expressed or implied, as to any matter whatsoever.

The user should make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the user's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those which the final component may be subjected. Each user bears full responsibility for making its own determination as to the suitability of the recommendations and advice obtained by the Company for its own particular use.

To the extent of mandatory law, the Company and the Gurit Group expressly disclaim any liability, whether in contract, warranty, tort, negligence, strict liability or otherwise, for any and all damages, losses, injuries, costs or expenses resulting directly or indirectly from the reliance on any information contained in the Documents or from any advice (whether written or oral) given as referred to in the Documents.

The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and users should satisfy themselves that the information used is that which is currently published by the Company or the Gurit Group on the website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

The Gurit Group is continuously reviewing and updating the Documents. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom middle of this page.

Gurit (Zullwil) AG
 Fabrikweg 54
 CH-4234 Zullwil
 Switzerland

T +41 (0) 61 795 06 01
 F +41 (0) 61 795 06 04

Gurit (Kassel) GmbH
 Otto-Hahn-Str. 5
 D-34123 Kassel
 Germany

T +49 (0) 561 99 85 63 0
 F +49 (0) 561 99 85 63 22

E info@gurit.com
 W www.gurit.com

PŘÍLOHA P III

CORMASTER C2

High performance lightweight material from SCHÜTZ for industrial applications.



CORMASTER
ADVANCED COMPOSITES



ADVANTAGES	DELIVERY TIME	MATERIAL
<ul style="list-style-type: none"> ■ Excellent cost-benefit ratio. ■ Superior mechanical properties with high strength to weight ratios. ■ High dimensional stability under heat and moisture. ■ High temperature capabilities, service temperature up to 180°C. ■ Product uniformity and exceptional resin to paper cohesion. 	<p>A lot of CORMASTER C2 honeycombs types are available on stock.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ When the honeycomb is on stock: delivery time never exceeds 5 working days. ■ When the honeycomb has to be manufactured: delivery time never exceeds 10 working days. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ non metallic structures made from NOMEX® T722 paper sheets ■ bonded together and coated with a phenolic resin
		APPLICATION
		<ul style="list-style-type: none"> ■ Main structural sandwich applications in industrial applications (f.e. automotive, naval, rail, transport and sports industries)

CORMASTER C2

Technical data

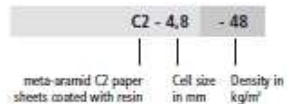


CORMASTER TYPE	Compressive strength (MPa)		Shear strength (MPa)		Shear modulus (MPa)		
	bare	stabilized	L	W	L	W	
HEXAGONAL CONFIGURATION							
 C2 - 3,2	- 48	1,8	2,0	1,2	0,7	36,0	24,0
	- 64	3,2	3,4	1,6	1,95	50,0	35,0
	- 80	4,4	4,6	1,75	1,0	56,0	32,0
	- 123	9,9	10,0	3,0	2,0	91,0	65,0
C2 - 4,8	- 32	0,8	0,9	0,55	0,32	18,0	13,0
	- 48	1,9	2,0	1,12	0,54	37,0	23,0
	- 64	3,0	3,2	1,6	0,85	50,0	27,0
	- 96	6,5	6,8	2,35	1,3	74,0	36,0
C2 - 6,4	- 32	0,6	0,7	0,5	0,32	17,0	13,0
	- 50	1,9	2,0	1,1	0,53	37,0	16,0
	- 64	3,2	3,3	1,35	0,72	46,0	23,0
C2 - 9,5	- 32	0,6	0,7	0,6	0,3	15,0	12,0
	- 48	1,8	2,0	1,3	0,85	40,0	33,0
OVEREXPANDED CONFIGURATION							
 C2 - 4,8	- 29 OX	0,5	0,6	0,3	0,3	9,0	14,0
	- 48 OX	1,7	2,0	0,7	1,7	25,0	25,0
C2 - 6,4	- 48 OX	1,8	2,0	0,65	0,65	16,0	23,0
	- 56 OX	2,0	2,1	0,7	0,7	19,0	29,0

© 2015 SCHÜTZ GMBH & CO. KG. ALL RIGHTS RESERVED.



To submit an offer we need the CORMASTER type with cell size and density together with the dimensions (width, length and thickness) of the required honeycomb product. Please notice, that it is very important to consider the different properties for L- and W-Shear. Do not hesitate to contact us, if you have particular requirements.



SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA
 Schützstraße 12
 D-50242 Seltens
 Phone + 49 (0) 2626/77-221
 Fax + 49 (0) 2626/77-431
 E-mail: info@schutz.net
 www.schutz.net

PŘÍLOHA P IV



EURO-COMPOSITES®

Aluminium honeycomb

Technical Data Sheet for ECM 6.4-82

Material: Alu-Alloy 3003 (AlMnCu)**Coating:** Zirconium oxide

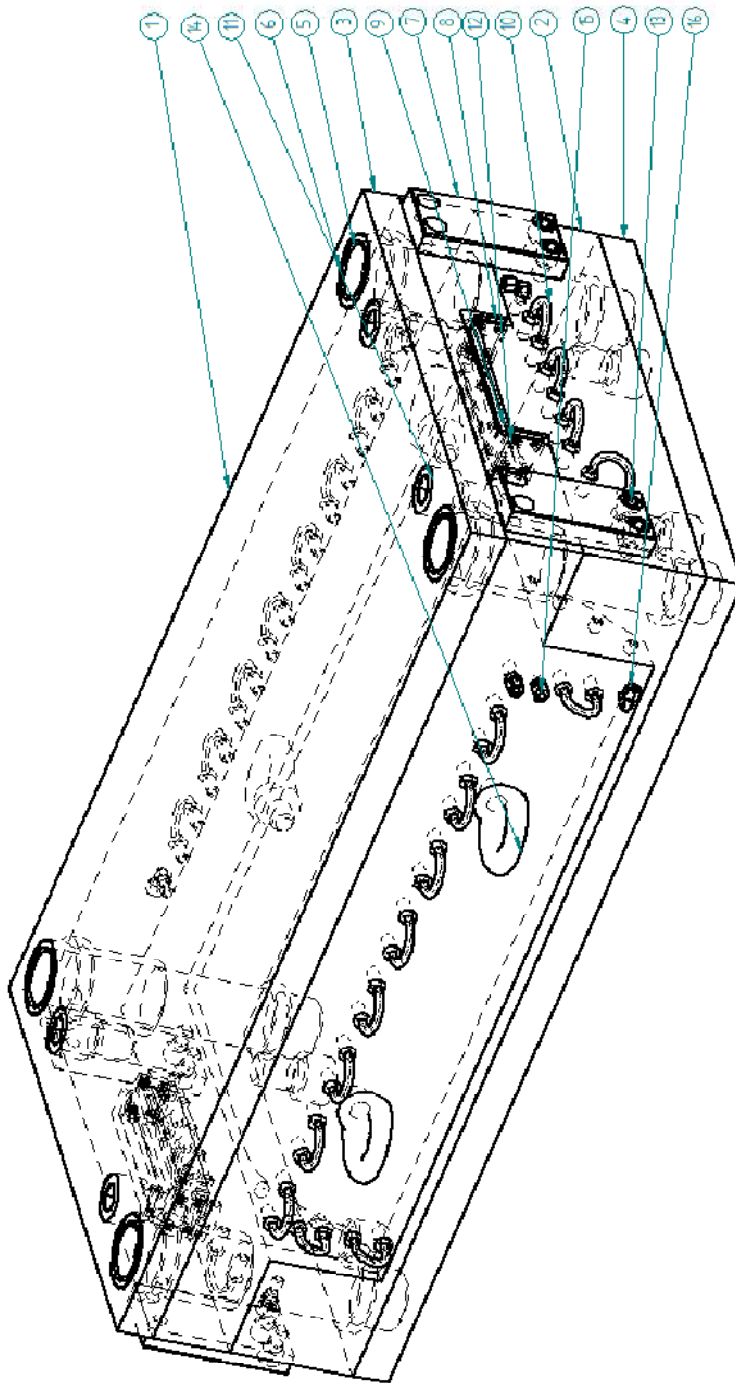
Mechanical Properties	Unit	Test	Typical values
Foil Thickness	µm	ECP 231-04	80
Cell Size, Nominal	mm	DIN 29970	6,4
Density, Nominal	kg/m ³	DIN 29970	82
Compression Strength, Unstab.	N/mm ²	DIN 53291	4,25
Compression Strength, Stab.	N/mm ²	DIN 53291	4,50
Crush strength	N/mm ²	NHTSATP-24-214D-02*	1,665
Plate Shear Strength/ L-Dir.	N/mm ²	DIN 53294	2,40
Plate Shear Modul/ L-Dir.	N/mm ²	DIN 53294	430
Plate Shear Strength/ W-Dir.	N/mm ²	DIN 53294	1,40
Plate Shear Modul/ W-Dir.	N/mm ²	DIN 53294	220
Service Temperature	°C	-	-55 °C bis +177 °C


All Honeycomb Core approved according to: DNV-Certificate MED-B-4912 as Non-combustible materials according to SOLAS 74, 2000 HSC Code, IMO FTP Code

All Honeycomb ECM core types can be delivered, if required, as microperforated. These Aluminum core types are called ECM-P.

*- Thickness of test sheet: 25,40 mm

PŘÍLOHA P V



Index	Změna	Datum	Podpis	 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství
ZN. MAT.	ROZM. - POLOT.	CSN	HMOTNOST Kg	MER.
POM. ZAŘ.	VYPR. - Vojtěch Křeček	NORM. REF.	3220	1:5
PŘEZK.	TECHNOL.	DATUM: 1.5.2013	Č. SN.	JŘ. Č.
Název	SCHVALIL	SCHVALIL	POZN.	Č. KUSOVNIKU
Sestava Formy			STARY V.	Č. V.
			List: 1/2	