

Výzkum chování sendvičových panelů při působení bočního tlaku

Martin Bambuch

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Bambuch**
Osobní číslo: **T140028**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Výzkum chování sendvičových panelů při působení bočního tlaku**

Zásady pro vypracování:

1. a) Vypracujte literární rešerši o problematice sendvičových materiálů a jejich chování při působení bočního tlaku.
2. Základní definice sendvičových struktur, používané materiály, způsoby výroby, aplikace
3. Definice problematiky a chování sendvičových panelů při bočním tlaku, způsoby deformace
4. Testování pevnosti panelů při působení bočního tlaku
5. b) Experimentální část
6. Návrh konstrukce přípravku pro testování dle ASTM
7. Tvorba modelu a výkresové dokumentace, výroba
8. Příprava zkušebních těles (panelů)
9. Zkoušky panelů na vyrobeném přípravku
10. Zhodnocení návrhu a naměřených dat, závěry

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Ehrenstein, G. W.: Polymerní kompozitní materiály. Scientia Praha, 2009.
2. Vinson, J. R., The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials, CRC Press, 1999
3. Zenkert, D., Nordic Industrial Fund: The Handbook of Sandwich Construction. Worcestershire; EMAS Publishing, 1997.
4. C364/C364M-07 – Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Construction. ASTM Standard, ASTM International, 2012.
5. Elektronické zdroje dle doporučení vedoucího bakalářské práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Fojtl

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

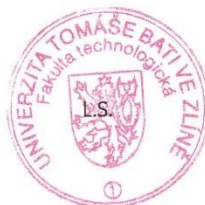
30. ledna 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 9. února 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: MARTIN BAMBUCH

Obor: T. Z.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14.5.2015


.....

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 nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářské práce se zabývá návrhem vhodné konstrukce přípravku pro testování sendvičových konstrukcí, při působení bočního tlaku dle příslušné normy. Funkčnost přípravku byla následně vyzkoušena na základě měření vybraných sendvičových panelů.

Práce se skládá ze dvou částí. V teoretické části jsou vysvětleny základní definice sendvičových struktur a materiálových skladeb. Dále jsou v práci popsány výrobní technologie sendvičů, jejich vlastnosti a současné využití ve světě. Samostatná část je věnována popisu způsobu deformací sendvičových struktur a americké normě ASTM C364.

Praktická část se zabývá konstrukcí přípravku, popisem a testováním vyrobených vzorků. Na závěr je provedeno zhodnocení a zamyšlení nad získanými daty a návrhy.

Každá část této práce je doplněna o grafy, tabulky a snímky, pro lepší orientaci v dané problematice.

Klíčová slova: Sendvičová konstrukce, boční tlak, ohybová pevnost, vzpěr, voština, jádrový materiál

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a suitable fixture design for sandwich structures testing during edgewise compression or the lateral pressure according to specific standards. Consequently, the functionality of the product was tested based on a measurement of selected sandwich panels.

The thesis comprises of two parts. The basic definition of sandwich structures and material compositions are described in the theoretical part. Furthermore, the production technology of sandwiches, their properties and current applications in the world are delineated. A separate section is devoted to the method description of sandwich structure deformations and to informations in American standard ASTM C364.

The practical part addresses construction of the testing fixture, characterization and testing of the manufactured samples. In conclusion an assessment and reflection on the obtained data and designs are performed.

Each part of this work is supplemented by graphs, tables and images for a better orientation in the issue.

Keywords: Sandwich construction, edgewise compression, flexural strength, buckling, honeycomb, core material

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu panu Ing. Ladislavu Fojtlovi, za vstřícnost, ochotu, cenné informace a poskytnutý čas, který mi věnoval při vypracování této bakalářské práce. Poděkování patří také mé rodině za jejich trpělivost, podporu a pomoc po celou dobu mého studia. Tato práce vznikla za podpory interního grantu UTB s číslem IGA/FT/2015/001.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SENDVIČOVÝCH STRUKTUR	12
1.1 MATERIÁLOVÁ SKLADBA SENDVIČOVÝCH STRUKTUR.....	14
1.1.1 Materiály pro výrobu vnějších vrstev (potahů).....	14
1.1.2 Materiály pro výrobu jader.....	15
2 ZPŮSOBY VÝROBY SENDVIČOVÝCH STRUKTUR A JEJICH POUŽITÍ	21
2.1 RUČNÍ LAMINACE	21
2.2 VYHRÍVANÉ LISOVÁNÍ.....	22
2.3 VYTVRZOVÁNÍ V PECI	23
2.4 LISOVÁNÍ V AUTOKLÁVU	24
2.5 VLASTNOSTI A APLIKACE SENDVIČOVÝCH KOMPOZITŮ	24
2.5.1 Letecký průmysl.....	24
2.5.2 Lodní průmysl (doprava).....	25
2.5.3 Automobilový průmysl	26
2.5.4 Stavební průmysl.....	26
2.5.5 Železniční doprava	27
3 ZPŮSOBY DEFORMACÍ SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ	28
3.1 DEFORMACE ZA PŮSOBENÍ TLAKU KOLMO NA MATERIÁLOVOU SKLADBU	29
3.2 DEFORMACE PŘI OHYBU SENDVIČOVÉ STRUKTURY	30
4 TESTOVÁNÍ PEVNOSTI PANELŮ PŘI PŮSOBENÍ KOLMÉHO TLAKU	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	35
6 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO TESTOVÁNÍ DLE NORMY ASTM	36
6.1 TVORBA MODELU A VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE, VÝROBA.....	36
7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES (PANELŮ)	38
7.1 MATERIÁLOVÁ SKLADBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
7.1.1 Jádra zkušebních těles	38
7.1.2 Potahy zkušebních těles	39
7.2 POSTUP VÝROBY ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	40
8 ZKOUŠKY PANELŮ NA VYROBENÉM PŘÍPRAVKU	44
9 ZHODNOCENÍ NÁVRHU A NAMĚŘENÝCH DAT	53
ZÁVĚR	55
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	58
SEZNAM OBRÁZKŮ	60
SEZNAM TABULEK	62
SEZNAM PŘÍLOH	63

ÚVOD

Sendvičové konstrukce umožňují v dnešní době velmi efektivní využití materiálu. Můžeme se s nimi setkat skoro na každém kroku, protože se nejčastěji používají v dopravě, leteckém a stavebním průmyslu. V letectví jsou využívány především na některé nosné prvky, ale své uplatnění najdou i v interiéru. V automobilové a kolejové dopravě slouží především jako pohledové dílce a různé obklady. Ve stavebnictví se používají zejména k izolaci staveb nebo jako venkovní obklady. Dalším odvětvím, kde se můžeme se sendvičovou konstrukcí setkat je i lodní, sportovní a vojenský průmysl. Velkou výhodou sendvičové konstrukce je vysoká tuhost oproti samostatnému laminátu a také velmi nízká hmotnost. Nevýhodou pro některé aplikace mohou být vysoké pořizovací náklady, které však můžeme redukovat vhodnou volbou materiálů.

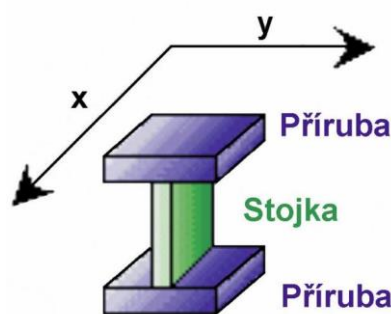
Tato bakalářská práce se zabývá návrhem vhodné konstrukce přípravku pro testování sendvičových konstrukcí, při působení bočního tlaku dle příslušné normy. Navržený přípravek je dále vyroben a jeho funkčnost otestována na sérii měření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SENDVIČOVÝCH STRUKTUR

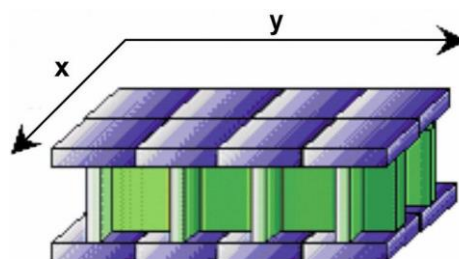
Sendvičové struktury představují zvláštní druh vícevrstvého laminátového kompozitu, který se skládá ze dvou vnějších tuhých vrstev a jádra s nízkou hustotou, respektive hmotností. Tyto struktury se na rozdíl od jednoduchých laminátů vyznačují při nízké váze vysokou pevností a tuhostí. Dále mezi výhodné vlastnosti patří také únavová odolnost, odolnost proti šíření trhlin, odolnost proti rázům, tepelná odolnost a odolnost proti ohni, tlumení, tepelná a akustická izolace. Tyto vlastnosti jsou určeny převážně materiálem jádra. [1, 2]

Pro charakterizaci struktury sendvičového panelu lze využít analogie s jednoduchým I-nosníkem (Obr. 1). Stejně jako I-nosník se sendvičový panel skládá z pevného pláště (příruby) a jádra (stojiny). [16]



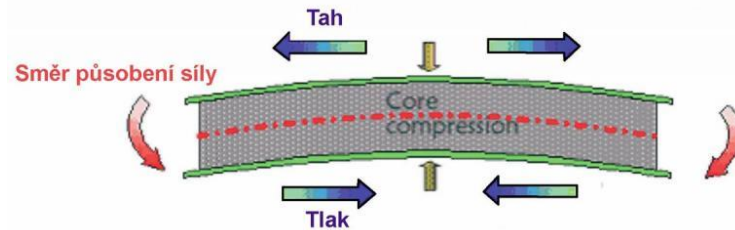
Obr. 1: Jednoduchý I-nosník [16]

Pevnost celého panelu zajišťuje plášť, který je při zatížení vystaven působení tlakových a tahových sil. Jádro zajišťuje především podporu pláště a odolnost proti smykovému napětí. Jádro fixuje vzájemnou polohu horní a spodní desky pláště a tím i fungování pláště a jádra jako společné strukturální jednotky. Materiál, ze kterého je jádro vyrobeno a jeho tloušťka, určuje tuhost celého panelu (Obr. 2). [16]



Obr. 2: Nekonečný I-nosník [16]

Na rozdíl od jednoduchých nosníků, které jsou navrženy pro zatížení především ve směru osy x , sendvičové panely mohou být zatěžovány v libovolném směru ležícím v rovině os x - y (Obr. 3). [16]



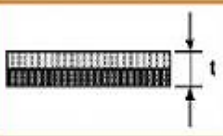
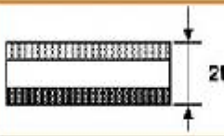
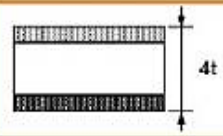
Obr. 3: Typy namáhání při ohybu sendvičového panelu (desky) [16]

➤ Tuhost a pevnost v ohybu

Ohybová tuhost sendviče je přímo úměrná druhé mocnině její tloušťky. Výhodou je, že se zvětšováním tloušťky sendviče dochází k velmi malému nárůstu jeho hmotnosti - zvětšuje se pouze tloušťka lehkého jádra, které obvykle má hustotu okolo 80 kg/m^3 . Pevnost v ohybu také roste se vzdáleností potahů, ale při dimenzování sendviče je nutné zároveň posuzovat smykovou pevnost jádra. Obecně lze říci, že pevnost jádra ve smyku roste s jeho hustotou, se kterou na druhé straně roste hmotnost celé struktury. [1]

O pevnosti sendviče v tlaku ve směru jeho tloušťky rozhoduje především pevnost jádra v tlaku, ale i tuhost a tloušťka potahů. Pevnost v tlaku jádra opět roste s jeho hustotou.

Z porovnání pevností pěnových a voštinových jader vyplývá, že voštinová jádra mají lepší mechanické vlastnosti než pěnová jádra při stejné hustotě. Ovšem při volbě vhodného jádra sendviče je nezbytné zohlednit všechny faktory. [2]

Vlastnosti			
Relativní tuhost v ohybu	1	x 7	x 37
Relativní pevnost v ohybu	1	x 3,5	x 9,25
Relativní hmotnost	100%	+3%	+6%

Obr. 4: Závislost mezi pevností a tloušťkou jádra sendvičových panelů [16]

1.1 Materiálová skladba sendvičových struktur

1.1.1 Materiály pro výrobu vnějších vrstev (potahů)

Na vnější vrstvy sendvičů se nejčastěji používají lamináty vyztužené skleněnými nebo uhlíkovými vlákny, pro některé účely i kovové fólie. Jádro a potahy pro optimální splnění funkce sendviče musí být dokonale spojené, přičemž se využívá na spojení matrice potahu nebo speciální lepidla. Vzniká tak velmi tuhá konstrukce, odolávající i dynamickému namáhání a rázům. [6]

➤ **Prepregy**

Prepreg technologie využívá předimpregnovaných materiálů, tzv. prepregů, které se skládají z matrice (pryskyřice) a výztuže. Tyto polotovary lze na sebe vrstvit do požadované tloušťky a ve formách je pak dotvarovat a dotvrdit působením tepla a nejčastěji podtlaku. Mezi přednostmi prepreg technologie patří jednodušší výrobní proces, nízká objemová hmotnost produktu a jeho výborné mechanické vlastnosti. [4, 24]

Prepregy lze dělit podle geometrie výztuže:

- **Jednosměrný prepreg**, vyráběný z rovingů, je určen pro mechanicky namáhané díly vyráběné kladením, navíjením pásů nebo pultruzí. Má poměrně malou tloušťku (0,1 – 0,15 mm) a dodává se v kotoučích různé šířky.
- **Vícevrstvé prepregy**, u kterých jsou jednosměrně vyztužené vrstvy vzájemně vůči sobě potočeny 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 rohožem na stranu vystavenou koroznímu prostředí (mají větší podíl pryskyřice).
- **Prepreg s prostorově vázanou výztuží**, jsou vlákna buďto pletena nebo tkána. [3]



Obr. 5: Prepreg [22]

➤ Ocelové a hliníkové plechy

Tyto tenké plechy se nejčastěji vyrábějí válcováním za studena a poté jsou opatřeny ochrannou vrstvou proti korozi. Jako ochrana proti korozi se používá oboustranné žárové pozinkování povlakem nebo přímo zinkové hliníkové plechy. Tloušťka materiálu bývá obvykle v rozmezí od 0,5 do 1,2 mm. Ocelové plechy se nejčastěji používají jako obkladový a izolační materiál, kdežto hliníkové plechy se používají tam, kde jsou kladeny požadavky na odolnost proti korozi, váze a hygieně. Například v potravinářských provozech a chladiřských zařízeních. [10]

Dále se jako vnější vrstvy pro sendvičovou strukturu mohou používat:

- Titan
- Dekorativní plasty
- Dřevo [6]

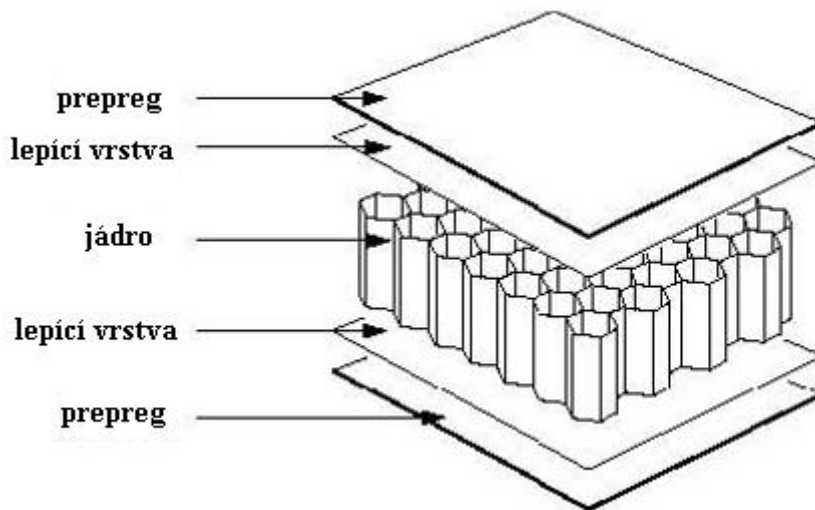
1.1.2 Materiály pro výrobu jader

Jako jádra se nejčastěji používají:

- Voštiny – z tenkého hliníkového plechu, Nomexu - aramidové tkaniny prosycené epoxidovou pryskyřicí, polypropylenu, ale i papíru prosyceného polyesterovou nebo fenolickou pryskyřicí.
- Tuhé pěny – nejčastěji na bázi polyuretanu, polyvinylchloridu, polystyrenu nebo polyetermidu.
- Balza – lehké dřevo se speciální strukturou a orientací ligninových vláken. [3, 4]

➤ Voštiny

Zvláštním produktem, který je určen pro jádra sendvičových konstrukcí, jsou tzv. voštiny (angl. “honeycomb”) s různou výškou, velikostí a tvarem buněk. Voštiny jsou k potahu přilepeny. Při výrobě sendvičů se používá fólie lepidla, kterou se voštiny překryjí před příložením potahů. Při zvýšené teplotě se fólie roztaví a spojí oba prvky. [3]



Obr. 6: Sendvičová struktura s voštinovým jádrem [6]

Tvary voštinových buněk:

- Šesterečná

Patří mezi základní a nejčastější používané konfigurace sendvičových voštin. Je běžně k dispozici z kovových i nekovových materiálů. [7]

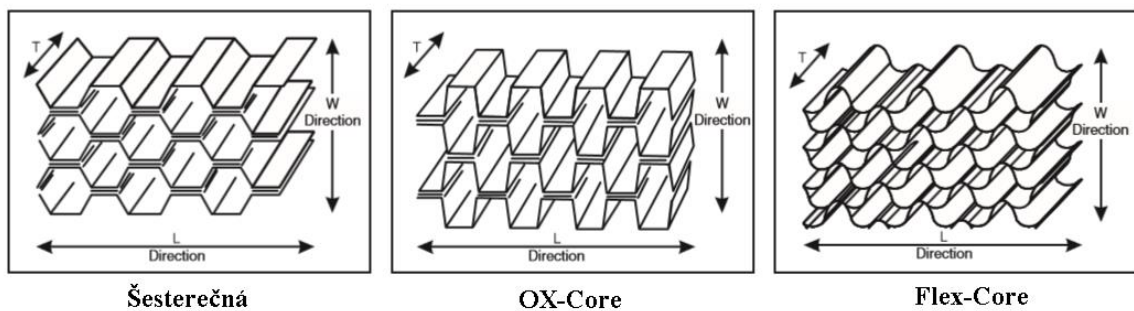
- OX-Core

Voština má tvar obdélníku, čehož bylo dosaženo prodloužením konfigurace ve směru W. Tato obdélníková konfigurace umožňuje zakřivení nebo formování ve směru L. Ve srovnání se šesterečnou voštinou zvyšuje tento typ smykové vlastnosti ve směru W a snižuje smykové vlastnosti ve směru L. [7]

- Flex-Core

Tato konfigurace má především velmi dobré vlastnosti v oblasti tvárnosti a používá se u složitých zakřivení. Jádro nám poskytuje vyšší pevnost ve smyku než šestihorné jádro ze stejnou hustotou. [7]

- V současné době se však objevuje velké množství speciálních tvarů dle požadavků konkrétních aplikací či výzkumu. [7]



Obr. 7: Tvary voštinových buněk [7]

❖ Hliníkové voštiny

Hliníkové voštiny se používají jako jádro pro sendvičový materiál při výrobě různých panelů, částí lodí, letadel, automobilů a mnoha dalších výrobků, u kterých se vyžaduje vysoká tuhost a zároveň také nízká hmotnost. Pro získání potřebného tvaru se voštiny tvarují ve formách za pomoci tlaku nebo vakua. Aby si zachovaly potřebný tvar a pevnost je nutné je oboustranně oplášťovat (opatřit krycími vnějšími vrstvami). Hliníkové voštiny se vyrábějí s různě velkými buňkami a tloušťkou stěny. [18]

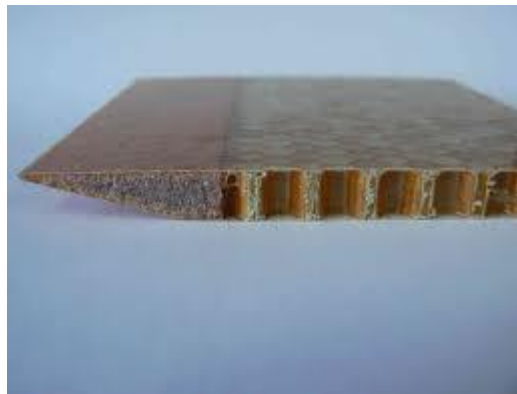


Obr. 8: Řez hliníkovým sendvičem [26]

❖ Nomexové voštiny

Nomexové voštiny se vyrábějí z Aramidového papíru. Nomex je komerční název aramidu, stejně jako je Kevlar. Při výrobě se obvykle vychází z papírové voštiny, která se máčí ve fenolické pryskyřici, čímž se vytvoří voštinové jádro s vysokou pevností a velmi dobrou odolností vůči ohni. Tento materiál se široce používá pro lehké panely do interiérů letadel a vlaků (na potahy se aplikuje fenolická pryskyřice). Speciální typy, u kterých je nárok na

sníženou hořlavost (interiéry vlaků apod.), se uzpůsobují tak, že buňky voštiny jsou vyplněny fenolickou pěnou, aby se zvětšila styčná adhezní plocha, a také celý systém pak funguje jako izolace. Panely vyrobené z aramidových voštin jsou nejlehčím materiálem pro výrobu nosníků. Také s potahy vyrobenými ze skelných nebo uhlíkových vláken tyto panely tvoří nejpevnější a nejlehčí přepážky, motorové přepážky a žebra křídel. [9]



Obr. 9: Řez nomexovým sendvičem [26]

❖ Tuhé pěny

Pěny jsou jedny z nejčastěji používaných jádrových materiálů pro výrobu sendvičových struktur. Mohou být vyrobeny z různých syntetických polymerů, konkrétně pak z PVC, PS, PUR, PMMA, PEI, SAN. Jejich hustota se pohybuje v rozmezí od 30 kg/m^3 do 300 kg/m^3 a se stoupající hustotou rostou i mechanické vlastnosti, například pevnost jádra ve smyku. Vyrábí se v různých tloušťkách, obvykle od 5 mm do 50 mm. [8]



Obr. 10: Polymerní pěny [23]

▪ PVC pěna

Polyvinylchloridové pěny jsou jedny z nejčastěji používaných pěn pro výrobu jader sendvičových konstrukcí. Mezi její přednosti patří odolnost vůči absorpci vody a taky mnoha chemikáliím. PVC pěny nabízejí vyváženou kombinaci statických a dynamických vlastností. Mají také velký rozsah provozních teplot, které jsou v rozpětí od -240°C do 80°C . Můžou být síťované (příčně či lineárně) nebo nesíťované. [8]

- PS pěna

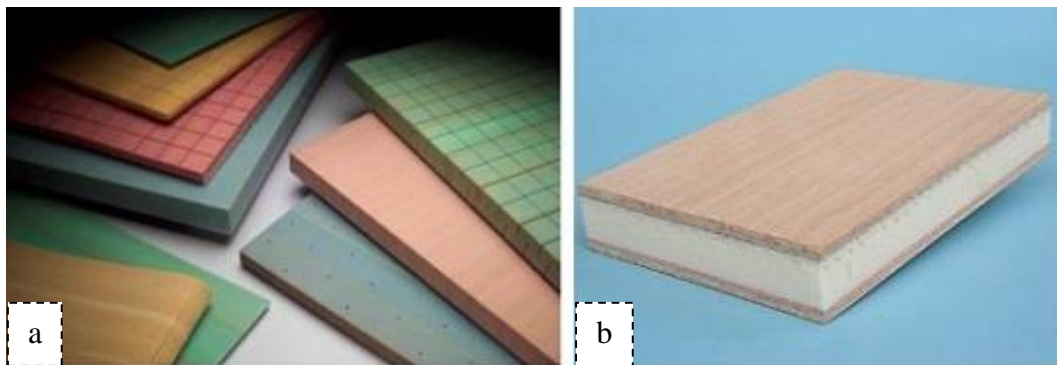
Polystyrénové pěny jsou nejvíce používány při výrobě plachetnic nebo surfovacích prken, protože zde uplatňují svou velmi malou hustotu, která se pohybuje kolem (40 kg/m^3). Náklady na výrobu jsou nízké a dají se také lehce zpracovat. [8]

- PUR pěna

Polyuretanová pěna často nahrazuje tzv. překližku a její hlavní přednost spočívá v mimořádných tepelně izolačních vlastnostech. Tato hmota je odolná vůči agresivním prostředím, zředěným kyselinám a alkáliím, minerálním olejům a rozpouštědlům. Je tvarově a rozměrově stálá, nesublímuje a její trvalá tepelná odolnost se pohybuje mezi -200°C až 140°C . Mezi nevýhody patří její křehkost a je nevhodná pro pevnostní aplikace. [6, 8]

- PEI pěna

Polyethermidová pěna má velmi vynikající odolnost vůči ohni s nízkou toxicitou a kouřivostí spolu s výbornými dielektrickými vlastnostmi. Mezi její další výhody patří: vysoká pevnost vůči nízké hmotnosti, nízká nasákavost a vlhkost. Je tepelně formovatelná, houževnatá a má velký rozsah provozních teplot v rozmezí od -194°C do 180°C . Polyethermidová pěna je velmi vhodná do interiérů letadel, vlaků a automobilů. [8, 9]



Obr. 11: a) Lineárně zesíťovaná PVC pěna, b) PUR pěna [6]

❖ Balza

Balza je velký (až 30 m), rychle rostoucí strom. Roste v Jižní Americe, 95 % komerční produkce pochází z Ekvádoru. Struktura dřeva se vyznačuje velkými buňkami, které jsou vyplněny vodou. Stěny buněk jsou tvořeny vlákny celulózy a hemicelulózy v ligninové matici (lignin má třírozměrnou strukturu, nejedná se o lineární polymer). Tento přírodní kompozit má hustotu 40 až 340 kg/m^3 (obvykle 160 kg/m^3). Balzové dřevo nehoří, jen pomalu doutná. Oproti polymerním pěnám teplem neměkne a vyznačuje se menší tepelnou vodivostí. Oproti

voštinám (angl. “honeycomb”) jsou buňky uzavřené, lze například vyrábět sendvičové panely technikou infuze pryskyřice. [3]



Obr. 12: Balzové dřevo [6]

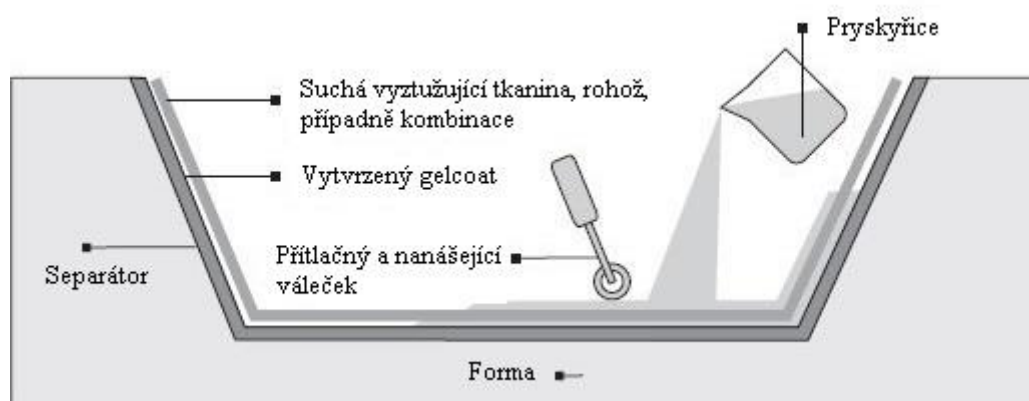
2 ZPŮSOBY VÝROBY SENDVIČOVÝCH STRUKTUR A JEJICH POUŽITÍ

Sendvičové komponenty (panely a celé dílce) mohou být vyrobeny za pomoci několika metod, kdy nejčastěji používané jsou:

- Ruční laminace – tento způsob je vhodný pro tvarově členité výrobky a pro výrobu prototypů či malosériových zakázek.
- Vyhřívané lisování – používá se pro výrobu plochých desek nebo jednoduchých předem vytvořených panelů. Zde můžeme zařadit také lisovací formy, které se používají pro sériovou výrobu hotových panelů.
- Vytvrzování v peci – používá se pro zakřivené a komplexní formy panelů.
- Lisování v autoklávu – používá se v sériové výrobě, vysoce kvalitní výlisky. [11]

2.1 Ruční laminace

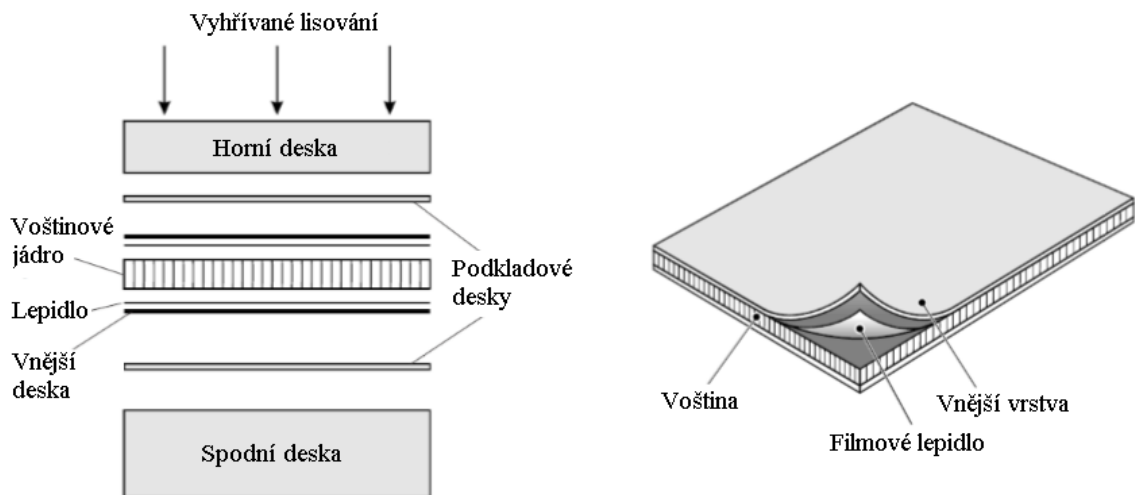
Jedná se o klasickou metodu kontaktního ručního kladení, která spočívá v nanesení (ručně nebo stříkáním) gelcoatu o tloušťce (0,3 – 1 mm) na vyčištěnou formu. Na zpolymerizovaný gelcoat se rozetře pryskyřice, do níž se postupně vkládají jednotlivé vrstvy výztuže a jádra, které se následně prosycují pryskyřicí pomocí štětce nebo nanášecím válečkem. Laminát vytvrzuje za normální teploty většinou bez aplikace tlaku, pouze v případech, kdy je třeba vytvořit sendvičovou konstrukci stěny zabudováním lehkých jádrových materiálů (pěny, voštiny apod.) se využívá přítlaku vakuem pod separační folií. Předností této technologie je investiční nenáročnost s ohledem na cenu výrobního zařízení. [12, 21]



Obr. 13: Ruční laminace [12]

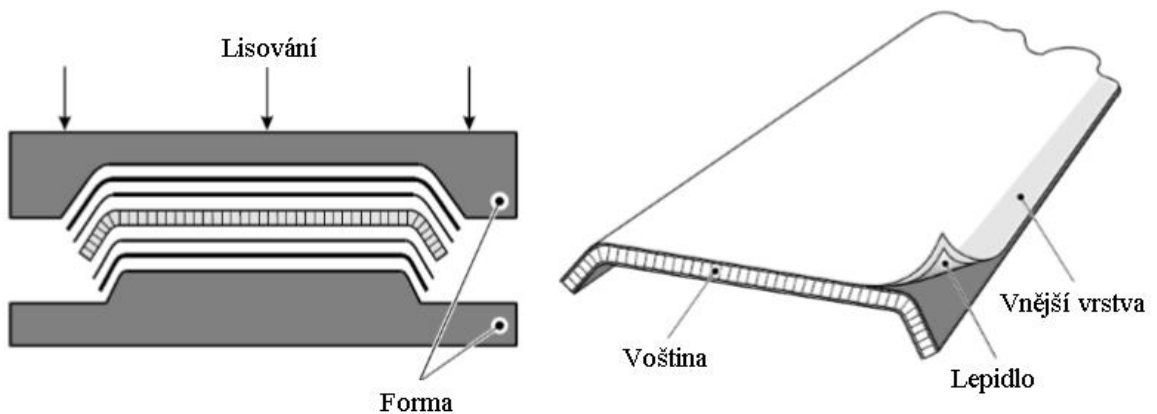
2.2 Vyhřívání lisování

K výrobě sendvičových struktur vyhříváním lisováním dochází tak, že mezi podkladové desky (formu) umístíme jednotlivé materiály a následně je zalisujeme. Samotné zalisování tak potom probíhá na vyhřívacím lisu. Hlavními procesními parametry, kterými se řídí kvalita a produktivita celé výroby, jsou teplota a čas. Schéma vyhřívání lisování je zobrazeno na (Obr. 14). [11]



Obr. 14: Způsob výroby sendvičové struktury vyhříváním lisováním [11]

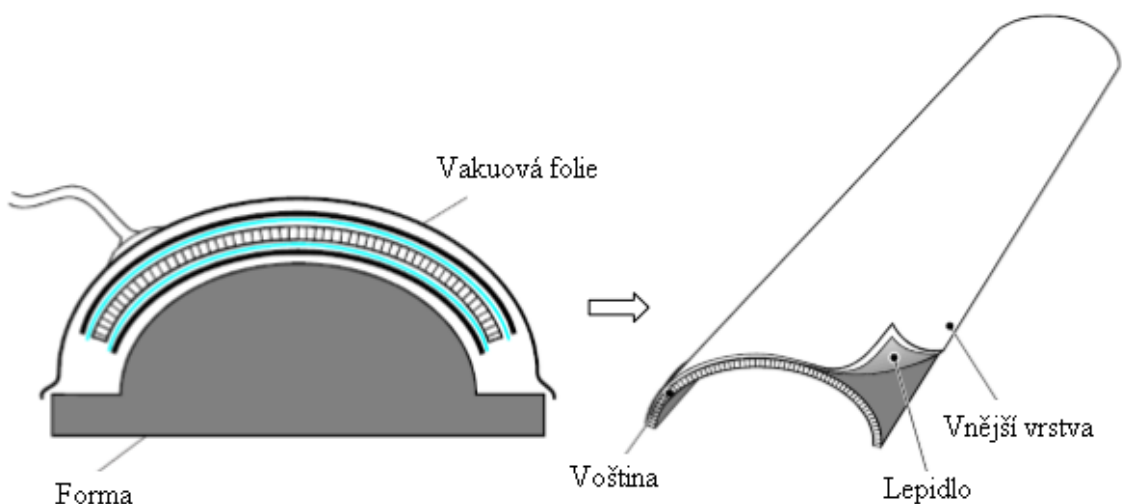
Nástrojem pro vyhřívání lisování je lisovací forma (Obr. 15). Pro lisování se používají ocelové vyhřívací formy, jejichž povrch je tvrdě pochromován a vyleštěn, takže se dosáhne kvalitního povrchu a vysoké přesnosti výlisku. Pro nárůst tlaku během vytvrzování se používají nástroje s těsnicími hranami. Formy jsou vyhřívány elektricky, olejem, vodou nebo párou. Nejčastěji se používá parní nebo olejové vyhřívání, protože poskytuje rovnoměrný a levný ohřev. Pro zlepšení odformování výlisků slouží mechanické vyhazovací zařízení nebo stlačený vzduch, obecně je potřeba použít vhodný typ separátoru. [5] Lisování za tepla a tlaku je jednou z nejproduktivnějších výrobních technologií pro velkosériovou výrobu (2 – 5 tisíc kusů) malých a středně velkých dílů. Výhodou jsou krátké výrobní cykly v řádu několika minut, vysoká reprodukovatelnost kvality a rozměrů a možnost automatizace procesu. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady na lisy a formy. [12]



Obr. 15: Lisovací forma a výsledný panel [11]

2.3 Vytvrzování v peci

Skladba jednotlivých materiálů tvořících sendvičovou strukturu je stejně jako u lisování připravena ještě před vložením do vakuové pece. Tato materiálová skladba se vkládá na formu (kovovou či kompozitní), která má výsledný tvar budoucí sendvičové konstrukce. Celá forma včetně materiálu je poté překryta vakuovou fólií. Forma pokrytá pružnou fólií se umístí do vyhřívané pece, kde jsou materiály stlačeny působením podtlaku pod fólií (Obr. 16). Tato technologie výroby je vhodná zejména pro vnější vrstvy z prepregu nebo kovových desek a vnitřní vrstvy z pěny nebo voštinového jádra. [20]



Obr. 16: Způsob výroby sendvičové struktury vytvrzováním v peci [11]

2.4 Lisování v autoklávu

Tato technologie v podstatě spojuje lisování pomocí vakuovaného a tlakového vaku (Obr. 17). Autokláv je vyhřívaná tlaková nádoba, u níž přesné a reprodukovatelné řízení teplotních, tlakových a vakuovacích cyklů umožňuje stabilizaci a vytvrzení kompozitních materiálů.



Obr. 17: Lisování v autoklávu [5]

Lisování v autoklávu vyžaduje vysoké základní investice a dovoluje pouze sériovou výrobu. Umožňuje výrobu vysoce kvalitních výlisků za reprodukovatelných výrobních podmínek. Hlavní aplikační oblasti této technologie jsou proto letectví a kosmonautika. [5]

2.5 Vlastnosti a aplikace sendvičových kompozitů

Sendvičové konstrukce umožňují efektivní využití materiálu a v široké škále se používají jak v leteckém, tak i lodním, automobilovém, železničním a stavebním průmyslu.

2.5.1 Letecký průmysl

Sendvičové kompozity se stále častěji používají v leteckém průmyslu, protože se zde uplatňují jejich hlavní přednosti, což je velmi vysoká ohybová pevnost a tuhost při nízké hmotnosti. V této oblasti zmíněné materiály tvoří jak konstrukci letadla či jiného dopravního leteckého prostředku (podlahové desky, křídla, vrtule, podvozek, dveře), tak i interiér letadla (sedadla, palubní mechanizmy). [13, 14]



Obr. 18: a) Dopravní letouny airbus, b) obložení dveří [24]

2.5.2 Lodní průmysl (doprava)

Sendvičové kompozity jsou také ideální pro lodní dopravu. Používají se pěnové jádra, která splňují požadavky na vzpěr a jsou odolné vůči mořské vodě. Vznikají nejmodernější designy lodí, včetně výroby palub, přepážek, sloupků, příčníků a nábytku. [13]



Obr. 19: Plachetnice Derek 26, trup i paluba ze sendvičové konstrukce [6]

2.5.3 Automobilový průmysl

Sendvičové kompozitní materiály se stále častěji používají i v automobilovém průmyslu, kde výrazně snižují hmotnost součástí a tedy i celého vozidla. Použití vyztužených plastů v dopravě snižuje nároky na údržbu automobilů, neboť tyto materiály jsou vysoce odolné vůči korozi a chemikáliím. Vyrábí se tak např. podlahy, dveře, nárazníky, panely, střechy a přívesy k automobilům. [17, 13]



Obr. 20: Konstrukční díly autodopravy [22]

2.5.4 Stavební průmysl

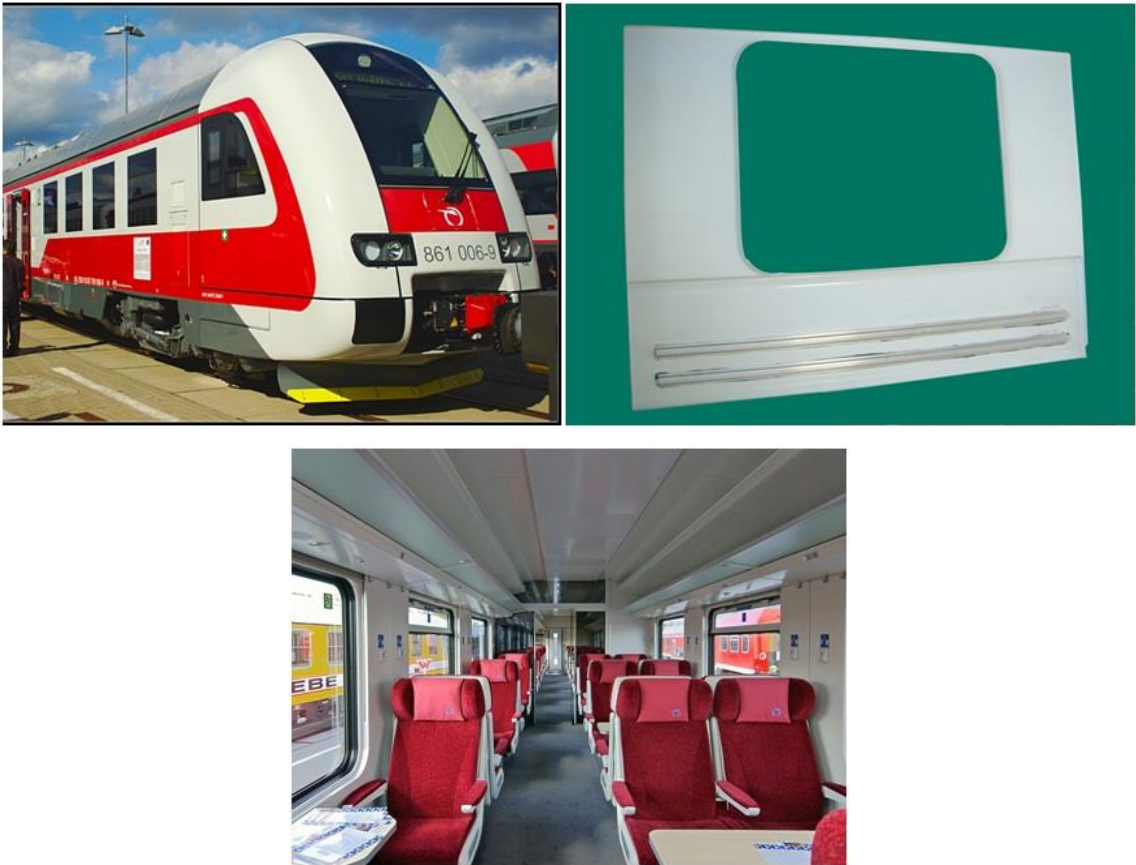
Pro vynikající tepelně-izolační vlastnosti jsou pěnové sendvičové kompozity upřednostňovány také ve stavebnictví. Zde je opět důležitou vlastností nízká hmotnost při zachování vysoké pevnosti, vysoká odolnost vůči korozi, nízká navlhavost, odolnost vůči povětrnostním vlivům a UV záření, dlouhá životnost a další řada výhodných vlastností. Na trhu lze nalézt celou řadu variant a výrobků, tuzemské firmy nejčastěji nabízejí žebříky, schodiště, zábradlí, komponenty pro stavbu lešení, kancelářské příčky, venkovní obložení a díly střech. [14]



Obr. 21: Různá venkovní obložení [22]

2.5.5 Železniční doprava

S železniční dopravou jsou spojeny vyztužené plasty, které jsou v této oblasti hojně aplikovaným materiálem. Stejně jako v automobilovém průmyslu zde zásadní roli hraje nízká hmotnost, vysoká pevnost a tuhost, nehořlavost, nevodivost, snadná manipulace a nízká údržba. Ze sendvičových kompozitů lze vyrobit jednotlivé části vlaků nebo interiéru. [14]



Obr. 22: Konstrukční díly vlaků a jejich interiéru [22]

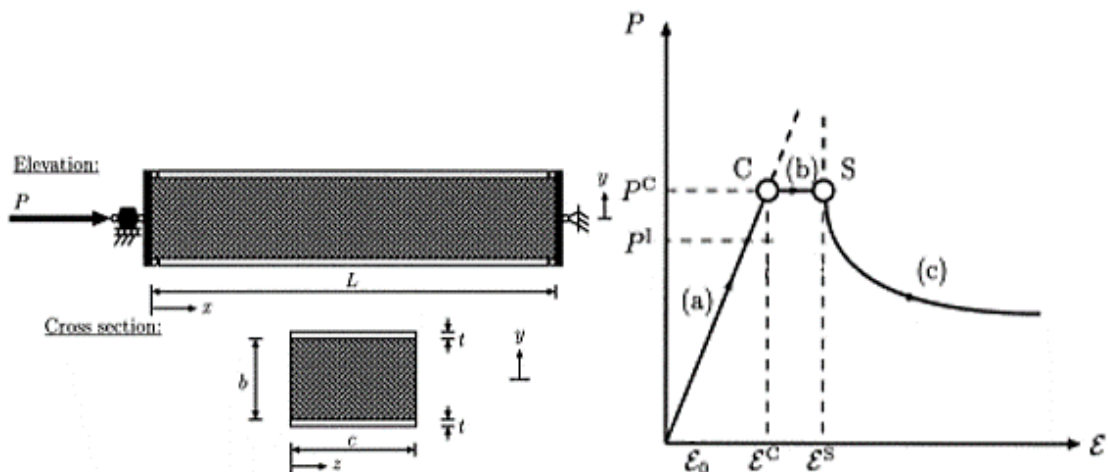
3 ZPŮSOBY DEFORMACÍ SENDVIČOVÝCH KONSTRUKCÍ

Jak bylo uvedeno v kapitolách výše, sendvičovou strukturou rozumíme materiál složený z vnější tenké tuhé desky a lehké výplně (např. pěna, voština). Síly a momenty v rovině desky (ohyb, tlak) jsou téměř zcela zachyceny vnější vrstvou, protože výplň (jádro) má v rovině desky malou tuhost. Jádro pak slouží k zachycení a rozvedení sil kolmo na desku a poskytuje odolnost ve smyku. Funguje jako spojitě rozložená stojina, která stabilizuje vnější desku proti místnímu vybočení. Díky tomu může být vnější vrstva tenká a získáme větší efektivní stavební výšku panelu a vyšší účinnost a tuhost v ohybu. [15]



Obr. 23: Sendvičová konstrukce [25]

Protože kompozitové materiály nevykazují velké poddajné deformace před jejich porušením (tak jak je tomu u kovu) je třeba pečlivý návrh a řada experimentů pro zjištění jejich chování. [15]



Obr. 24: Ztráta stability kompozitního sendviče [15]

Při zatěžování v čistém tlaku se u kompozitu jde po téměř lineární křivce (a)) až dojde k ztrátě stability (b)) a případně k dalšímu modu ztráty stability (c)).

3.1 Deformace za působení tlaku kolmo na materiálovou skladbu

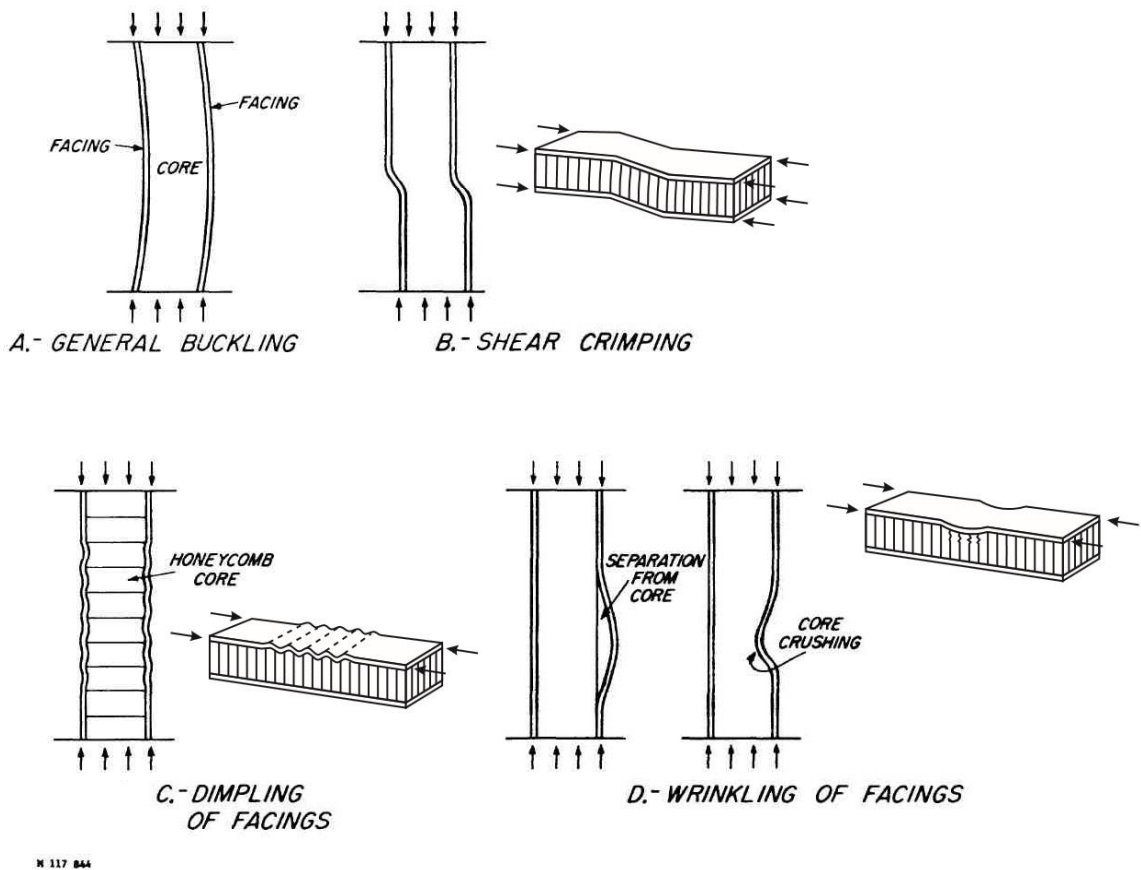
Z dosud provedených výzkumů je zřejmé, že u sendvičů zatížených v tlaku se objevuje celá řada různých modů porušení, které můžeme obecně rozdělit do 2 kategorií:

➤ **Nestability**

- ztráta stability jako celku (velká délka půlvlny, při velké štíhlosti) (Obr. 25: A).
- vytvořením smykového lemu tzv. zvlnění (není lokální porucha, ale forma celkové ztráty stability, kdy délka vlny je velmi malá kvůli nízkému modulu pružnosti ve smyku. Lem se objeví náhle a obvykle způsobí, že se výplň v lemu poruší, nebo se usmykne lepidlo) (Obr. 25: B).
- zvlnění vnější desky (z angl. wrinkling) (lokální nestabilita, vybočení samotných vnějších vrstev - malá délka půlvlny způsobená nedostatečnou rovinou, nebo ohybovou tuhostí a elastickými vlastnostmi jádra. Vnější vrstvy se mohou zdeformovat buďto dovnitř nebo ven, záleží na pevnosti v tlaku výplně vzhledem k napětí v tahu lepidla) (Obr. 25: C). [15]

➤ **Materiálová porucha**

- odtržení vnějších vrstev od výplně a jejich vyboulení = (nedostatečná pevnost lepidla) (Obr. 25: D).
- materiálová porucha vnějších vrstev = (příliš křehký materiál vnější vrstvy a příliš tažný materiál výplně).
- porucha výplně a následné vyboulení vnějších vrstev = (smyková deformace jádra, nedostatečná pevnost a houževnatost). [15]

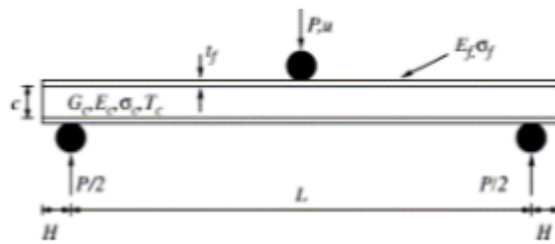


Obr. 25: Deformace sendvičové struktury za působení tlaku [15]

3.2 Deformace při ohybu sendvičové struktury

Při stanovení elastických a pevnostních charakteristik zkouškou ohybem se předpokládá lineární rozdělení normálových napětí po průřezu. Hodnoty pevnosti v ohybu závisí výrazně na poloze vláken vzhledem k neutrální rovině. Zkouška ohybem probíhá při tří nebo čtyřbodovém uložení. [5]

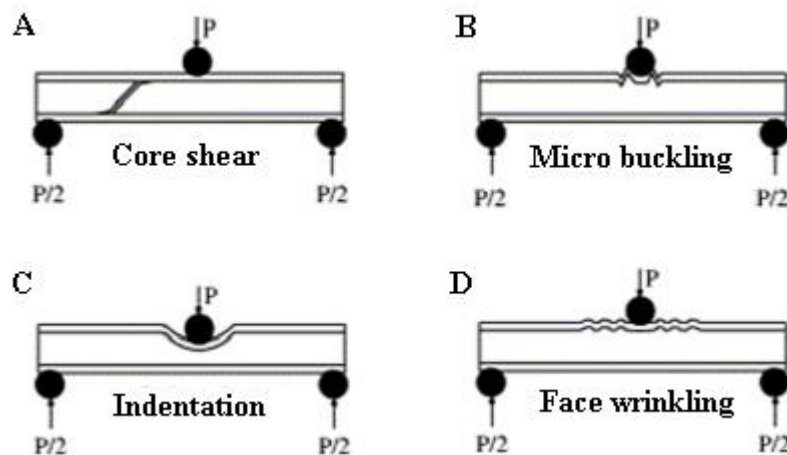
Při zkoušce tříbodovým ohybem existuje ve zkušebním tělese napjatost s maximálním zatížením a definovaným místem lomu v bodě zatížení, tj. ve středu délky tělesa. Maximální smykové napětí leží mezi vrstvami uprostřed tloušťky tělesa. [5]



Obr. 26: Tří bodový ohyb [15]

Při ohybu v praxi vznikají následující typy deformací sendvičové konstrukce

- Smyková porucha jádra (Obr. 27: A).
- Microbuckling (objeví se, když axiální napětí na tlačené straně dosáhne kritického napětí, obvykle pod zatěžovacím prvkem) (Obr. 27: B).
- Lokální protlačení (indentance) (Obr. 27: C).
- Zvlnění desky (z angl. wrinkling) krátké vlny na horní desce, můžeme na to pohlížet jako na nosník zatížený axiálním tlakem podepřený elastickým podkladem – jádrem (ztráta stability) (Obr. 27: D). [15]



Obr. 27: Druhy deformací u tří bodového ohybu [15]

4 TESTOVÁNÍ PEVNOSTI PANELŮ PŘI PŮSOBENÍ KOLMÉHO TLAKU

Tato zkušební metoda spočívá ve vystavení sendvičového panelu pomalu rostoucí tlakové síle rovnoběžně s rovinou jeho stran. Síla se přenáší na panel přes sevřenou nebo lepenou krajní podpěru. Testování nám poskytuje standardní způsob získání hodnot pevnosti v příčném tlaku pro panelové konstrukční vlastnosti, specifikaci materiálu, aplikaci v oblasti výzkumu, vývoje a zajištění kvality. Existuje několik možných způsobů selhání daného testu, které mohou být zapříčiněny nestabilitou nebo materiálovou poruchou. Různé typy selhání jsou popsány výše v kapitole 3.1. [19]



Obr. 28: Zkušební čelisti dle ASTM C364 [19]

- Na (Obr. 28) vidíme zkušební testovací čelisti v souladu s praxí, které musí splňovat následující požadavky:
 - Musí mít svorky z obdélníkových ocelových tyčí umístěny tak, aby byl vzorek mezi nimi lehce sevřen.
 - Musí mít jak stacionární čelist, tak pohyblivou čelist.
 - Hnací mechanismus zkušebního stroje musí být schopen vyvozovat k pohyblivé hlavě řízenou rychlost a tato rychlost musí být možná regulací.
 - Snímací zařízení musí být schopno ukazovat celkovou sílu, která je vedena do zkušební vzorku. [19]

- Další opatření pro testování dle ATSM C364
 - Velikosti testovaných vzorků musí být nejméně 5 cm široké a jejich délka by měla být minimálně 8 x větší, než samotná šířka sendvičové struktury.
 - Vzorek musí mít ploché a rovné konce, aby tak nedocházelo k předčasnému selhání na koncích vzorků.
 - Před samotnou zkouškou, musíme zkontrolovat, zda je vzorek rovnoměrně upnut a působí tak rovnoběžně se směrem zatížení.

- Vyhodnocení testu pevnosti
 - Při testování se nám u každého jednotlivého vzorku zobrazí maximální zatěžující síla, kterou použijeme do vzorce pro výpočet pevnosti v tlaku. Dále také u každé série vzorků počítáme aritmetický průměr a směrodatnou odchylku pro maximální zatěžující sílu a výslednou pevnost v tlaku.
 - Vzorec pro výpočet pevnosti v tlaku:

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{w \cdot (2 \cdot t_{fs})} \quad (1)$$

Kde: P_{\max} [N] – maximální zatěžující síla

w [mm] – šířka zkušební vzorku

t_{fs} [mm] – tloušťka prepregu (potahu)

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části je navrhnout konstrukci přípravku dle americké normy ASTM C364, který bude možné upevnit na zkušební stroj ZWICK 1456 dostupný na UVI. Dalším úkolem je vyrobit navržený přípravek na strojích dostupných v laboratořích. Vyrobený přípravek bude otestován na sérii testů připravených sendvičových struktur.

Hlavní body pro dosažení stanovených cílů práce:

- Návrh konstrukce přípravku pro testování dle americké normy ASTM C364
- Tvorba modelu a výkresové dokumentace
- Výroba přípravku
- Příprava zkušebních sendvičových panelů
- Testování funkčnosti přípravku na sendvičových strukturách
- Vyhodnocení a diskuze výsledků

6 NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO TESTOVÁNÍ DLE NORMY ASTM

Přípravek pro testování sendvičových panelů při působení kolmého tlaku byl navržen tak, aby jeho konstrukce byla co nejjednodušší, snadno ovladatelná a splňovala požadavek na uchycení do zkušebního zařízení.

Základním dílem pro tento přípravek je jeho dolní část tj. pouzdro, které bylo nasazeno na zkušební stroj ZWICK 1456 a uchyceno proti posunutí pomocí čepu. Horní část se skládá z pevné čelisti a dvou obdélníkových tyčí (příložek) s dírou pro zafixování šroubu. V pevné čelisti jsou na každé straně uprostřed vytvořeny díry se závity pro šrouby. Těmito šrouby se utahují obdélníkové tyče, které přichycují testované těleso. Rozměry přípravku jsou navrženy tak, aby byly vyhovující a splňovaly požadavky normy dle tloušťky zkušebního tělesa (panelu).

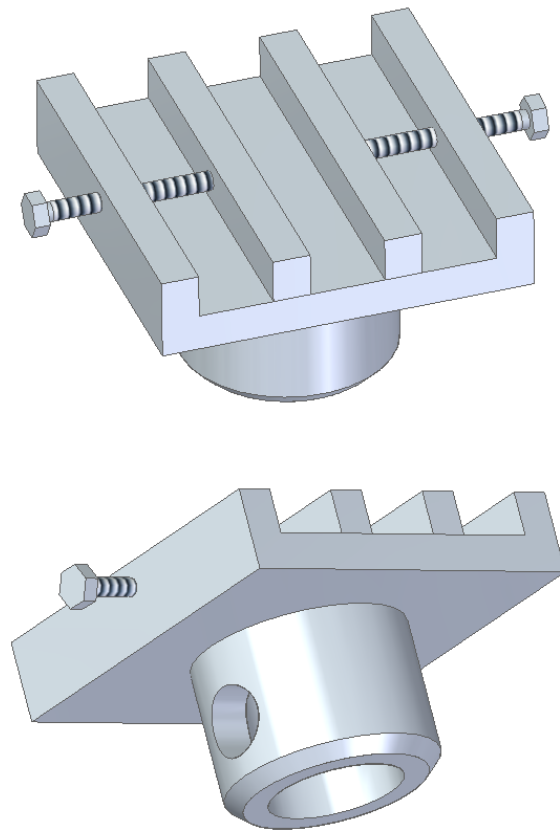
Všechny části přípravku byly vyráběny frézováním v laboratořích UVI. Polotovary byly navrženy z materiálu 11 523 a následně byly objednány z firmy Pronext, která sídlí ve Zlíně. Cena za 1 kg materiálu ze stránek www.pronext.cz je přibližně 23 Kč/kg bez DPH.

Tab. 1: Cenová kalkulace nákladů na polotovary konstrukčního přípravku

Název	Polotovar [mm]	Norma	Počet kusů	Hmotnost [Kg]	Cena [Kč]
Základna	4HR 120 - 65	ČSN 42 5520	2	14,70	338,10
Plochá deska	PLO 120x20-12	ČSN 42 5522	4	0,46	10,58
Šroub M5x50		DIN 933	4	0,28	2,72
Součet				15,44	351,40

6.1 Tvorba modelu a výkresové dokumentace, výroba

Pro zpracování výkresové dokumentace a tvorbu modelu bylo v této bakalářské práci využito CAD programů Solid Edge ST7 a AutoCAD, které jsou pro toto řešení zadání dostačující a splňují požadavky dané rozsahem a náročností daného cíle. Model je zhotoven v měřítku 1:1 a je umístěn na CD, které je k této práci přiloženo. Na (Obr. 29) je znázorněn model přípravku a na (Obr. 30) je již přípravek vyroben. Výrobní výkresy jsou uvedeny v příloze PV – PVII.



Obr. 29: Model konstrukce zkušební přípravku, který je zobrazen v programu
Solid Edge ST7

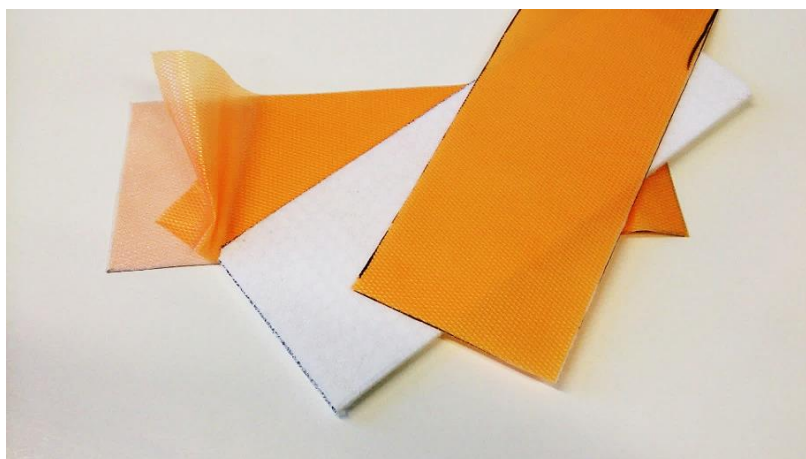


Obr. 30: Vyrobený zkušební přípravek

7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES (PANELŮ)

7.1 Materiálová skladba zkušebních vzorků

K výrobě zkušebních vzorků byly zvoleny dostupné materiály, využívající se rovněž v praxi. Zvoleny byly dva typy sendvičového jádra o různých tloušťkách a jako materiál krycích vrstev (potahů) byl zvolen skelný prepreg.



Obr. 31: Tuhá PET pěna a použitý typ prepregu

7.1.1 Jádra zkušebních těles

- AIREX® T90

Jedná se o voštinu s uzavřenými buňkami, která je vyrobena z tuhé PET pěny. Mezi její přednosti patří dobré mechanické vlastnosti, velká tepelná, chemická a vodě odolnost. Pro výrobu vzorků byl použit typ tuhé pěny T90.100 s hustotou 110 kg/m^3 . Další vlastnosti voštiny jsou uvedené v (Tab. 2). Tyto informace jsou poskytovány výrobcem. [P I]

Tab. 2: Vlastnosti tuhé PET pěny

	Norma	Hodnota
Hustota	ISO 845	110 kg/m^3
Pevnost v tlaku	ISO 844	1.4 N/mm^2
Modul pružnosti v tlaku	DIN 53421	85 N/mm^2
Pevnost v tahu	ASTM C297	2.2 N/mm^2
Modul pružnosti v tahu	ASTM C297	120 N/mm^2
Pevnost ve smyku	ISO 1922	0.8 N/mm^2
Modul pružnosti ve smyku	ISO 1922	20 N/mm^2
Prodloužení při přetržení	ISO 1922	10%
Tepelná vodivost	ISO 8301	0.033 W/m.K

- CORMASTER C2

Tato voština je vyrobena z Nomexového papíru Nomex® T722 spojenou a potaženou fenolickou pryskyřicí. Tvar voštinových buněk je šesterečný, které patří mezi nepoužívanější konfiguraci sendvičových voštin. Mezi její přednosti patří velmi dobré mechanické vlastnosti a také dobrá odolnost vůči teplu a to až do 180°C. Pro výrobu vzorků byly použity voštiny s velikostí buňky 4,8mm (pro tloušťku 7mm) a hustotou 48 kg/m³. Další mechanické vlastnosti jsou uvedeny níže v (Tab. 3). Tyto informace jsou poskytovány výrobcem. [P II]

Tab. 3: Mechanické vlastnosti nomexové voštiny CORMASTER C2

Typ voštiny	Pevnost v tlaku [MPa]		Pevnost ve smyku [MPa]		Modul ve smyku [MPa]	
	Prázdné	stabilizované	L (šířka)	W (délka)	L (šířka)	W (délka)
C2 - 4.8 - 48	1.90	2.00	1.12	0.54	37.00	23.00

7.1.2 Potahy zkušebních těles

- PH840-300-42

Tento typ před-impregnované tkaniny, byl především vyvinut pro interiérové díly, zejména v železničním průmyslu. Tkanina je impregnována fenolickou pryskyřicí. Vytvrzování prepregu probíhá při teplotách 120/130/140/160°C po dobu 90/60/30/10 minut. Mezi přednosti tohoto prepregu patří vynikající mechanické a FST vlastnosti. Další vlastnosti prepregu jsou uvedeny níže v (Tab. 4). Tyto informace jsou poskytovány výrobcem. [P III]

Tab. 4: Vlastnosti prepregu PH840-300-42

	Norma	Hodnota
Pryskyřice		Fenolická
Hmotnost prepregu	EN 2329	525 + - 30 g/m ²
Těkavost	EN 2330 (160°C/10min)	< 6.0 %
Tok pryskyřice	EN 2332 (3 vrstvy, 135°C, 8 min, 4 bar)	> 10 %
Lepivost		T0, T1, T2
Materiál vláken		Skelná vlákna
Hmotnost tkaniny	EN 2331	296 g/m ± 5%
Vazba		8H saténová
Provozní teplota		-55°C až +80°C
Obsah pryskyřice	EN 2331	42 % ± 3 %

7.2 Postup výroby zkušebních vzorků

Pro výrobu všech zkušebních vzorků (panelů) sendvičových struktur byla použita technologie lisování, pomocí vulkanizačního lisu (Obr. 32). Tento lis se skládá z izolačních a temperovaných desek. Hlavní částí je však hydraulický zvedák, který slouží k vyvolání lisovacího tlaku, čímž dochází ke stlačení jednotlivých vrstev. Technické údaje vulkanizačního lisu jsou uvedeny níže v (Tab. 5).

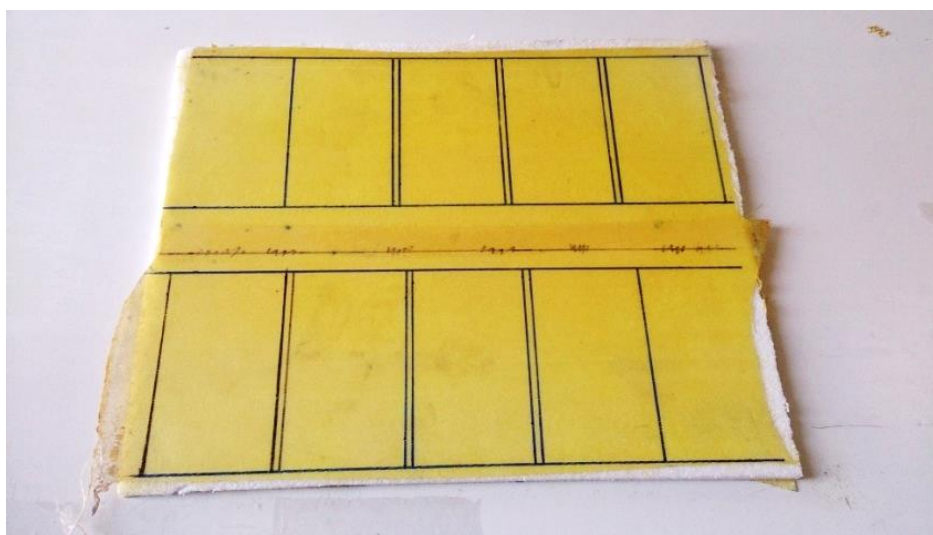


Obr. 32: Laboratorní vulkanizační lis

Tab. 5: Technické údaje vulkanizačního lisu

Technické údaje	
Rozměry desek	250 x 250 mm
Příkon	2400 W
Max. teplota	200 °C
Svírací síla	5 t

Samotná výroba vzorku probíhala tak, že distributorem dodávaná deska (4 m²) PET pěny, byla nařezána na menší desky dle rozměrů lisovací formy. Pro ten stejný rozměr byl nařezán i prepreg PH 840-300-42 tak, aby z každé strany jádra byla jedna popř. dvě vrstvy. Následně byly naseparovány dvě ocelové desky, které se vložily k předehřátí do lisu. Lis byl rozehrán na požadovanou teplotu 160°C. V průběhu procesu vyhřívání lisu na požadovanou teplotu, byla připravena požadovaná materiálová skladba jednotlivých panelů. Po vyhřátí (30 minut) byly ocelové desky vytaženy, mezi které byla následně umístěna sendvičová struktura a dorazy. Tyto dorazy sloužily k vymezení výsledné tloušťky stlačené struktury. Lis byl uzavřen pomocí utahování po šroubu. Rozměry připravených sendvičových panelů byly 270 x 220 mm s tím, že jejich lisování probíhalo vždy po stejnou dobu a za stejné teploty (10 minut – 160°C). Celý proces se opakoval u všech vzorků. Ochlazování vzorků probíhalo za pokojové teploty.



Obr. 33: Vylisovaný sendvičový panel

Řezání vzorků

Po výrobě všech sendvičových struktur o různých rozměrech, byly dané vzorky před zkoumáním mechanických vlastností nejprve orýsovány a následně nařezány na požadovaný rozměr. Pro řezání vzorků byla použita úhlová bruska s řezacím kotoučem. Rozměry všech zkušebních vzorků byly zvoleny 90 x 50 mm.

Na následujících dvou stránkách je v tabulkách (Tab. 6 – 13) uvedeno přehledné složení vyrobených vzorků. Vzorky č. 1 – 6 mají jádro z tuhé PET pěny a vzorky č. 7 – 8 mají jádro z nomexové voštiny.

Vzorek č. 1

Tab. 6: Sendvičová struktura vzorku č. 1

Vzorek č. 1	
Skladba	1 Jádro 1
Počet vyztužujících vrstev	2
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 5 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 2

Tab. 7: Sendvičová struktura vzorku č. 2

Vzorek č. 2	
Skladba	1 Jádro 1
Počet vyztužujících vrstev	2
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 7 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 3

Tab. 8: Sendvičová struktura vzorku č. 3

Vzorek č. 3	
Skladba	1 Jádro 1
Počet vyztužujících vrstev	2
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 10 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 4

Tab. 9: Sendvičová struktura vzorku č. 4

Vzorek č. 4	
Skladba	1 Jádro 2
Počet vyztužujících vrstev	3
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 5 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 5

Tab. 10: Sendvičová struktura vzorku č. 5

Vzorek č. 5	
Skladba	1 Jádro 2
Počet vyztužujících vrstev	3
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 7 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 6

Tab. 11: Sendvičová struktura vzorku č. 6

Vzorek č. 6	
Skladba	1 Jádro 2
Počet vyztužujících vrstev	3
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	AIREX® T90, tl. 10 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

Vzorek č. 7

Tab. 12: Sendvičová struktura vzorku č. 7

Vzorek č. 7	
Skladba	1 Jádro 1
Počet vyztužujících vrstev	2
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	CORMASTER C2, tl. 7 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

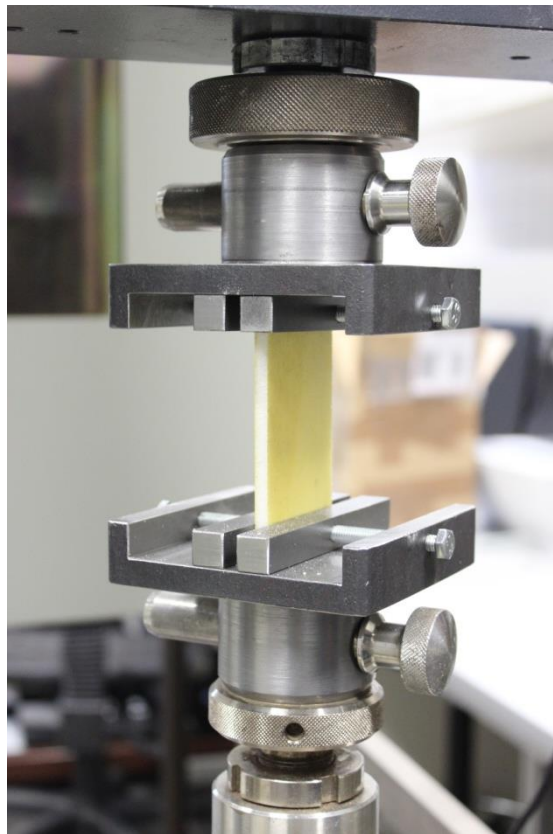
Vzorek č. 8

Tab. 13: Sendvičová struktura vzorku č. 8

Vzorek č. 8	
Skladba	1 Jádro 2
Počet vyztužujících vrstev	3
Vnější vrstva (horní)	prepreg PH 840-300-42
Jádro	CORMASTER C2, tl. 7 mm
Vnější vrstva (dolní)	prepreg PH 840-300-42

8 ZKOUŠKY PANELŮ NA VYROBENÉM PŘÍPRAVKU

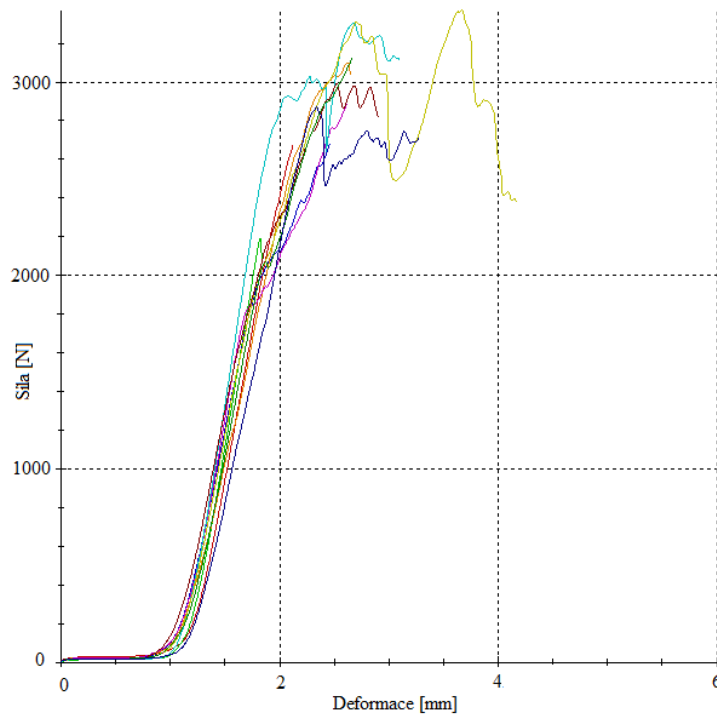
Pro testování všech zkušebních těles (panelů) sendvičových struktur byl použit univerzální zkušební stroj ZWICK 1456. K tomuto stroji byly následně proti sobě upevněny, pomocí čepu, dva zkušební přípravky, které byly v rámci této práce vyrobeny. Mezi ně byl upnut zkušební vzorek tak, aby byla zajištěna jeho kolmost vůči přípravku a zatěžující síla působila rovnoměrně.



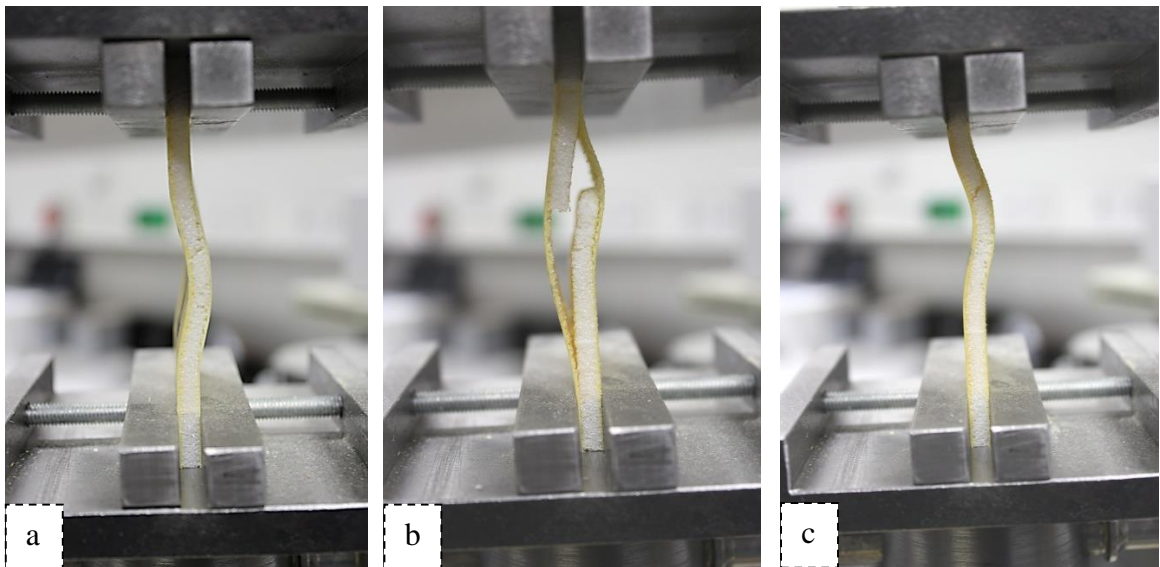
Obr. 34: Zkušební přípravek s testovacím tělesem (panelem)

Testování vzorků č. 1 – 8

V následující sérii obrázků (Obr. 35 – 50) je možné vidět různé typy deformací a porušení sendvičových struktur. Jsou zde uvedeny rovněž grafy, které znázorňují průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci jednotlivých vzorků. Grafy jsou vykresleny v programu TestXpert v2.1.

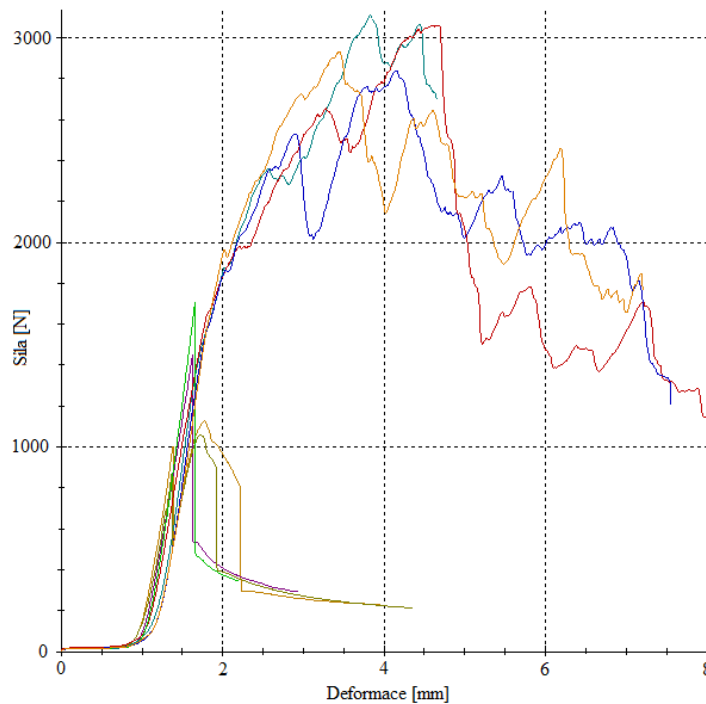


Obr. 35: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 1

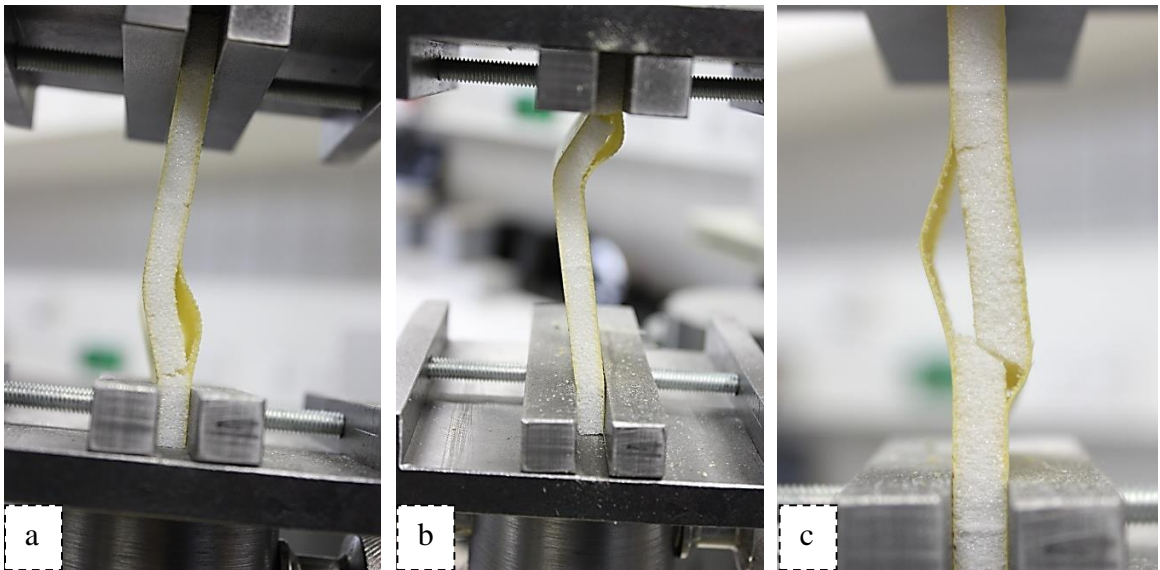


Obr. 36: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 1

U série vzorků č. 1 docházelo především k smykové deformaci jádra (Obr. 36 b), což ihned zapříčinilo ukončení zkoušky. Názorně je to vidět v grafu na (Obr. 35). Zatěžující síla zde stoupá rovnoměrně nahoru a v okamžiku deformace se zastaví. V grafu nám zatěžující síla nepůsobí ihned, ale až po kratším úseku. Je to dáno vůlí mezi vzorkem a testovacím přípravkem, aby se jisté nerovnosti na povrchu vzorku vyrovnaly. Další poruchy můžeme vidět na (Obr. 36 a, c), kdy docházelo k vyduť celé konstrukce.

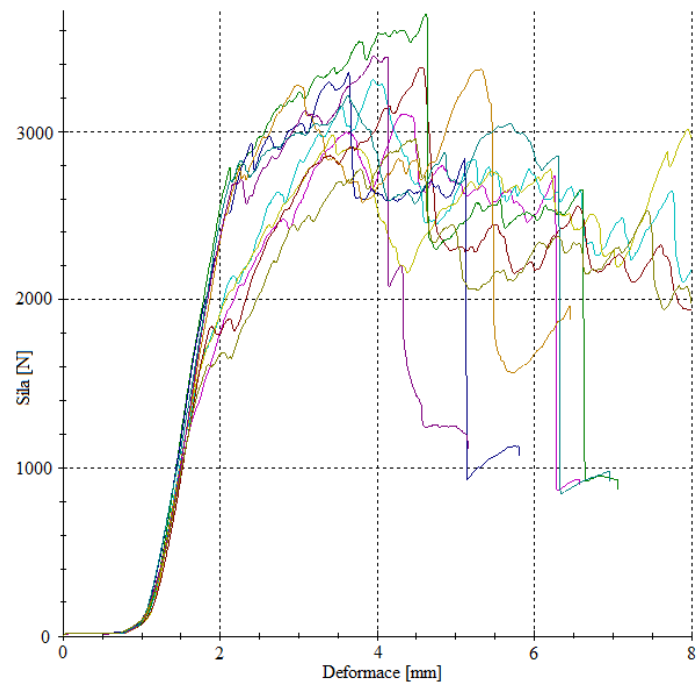


Obr. 37: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 2

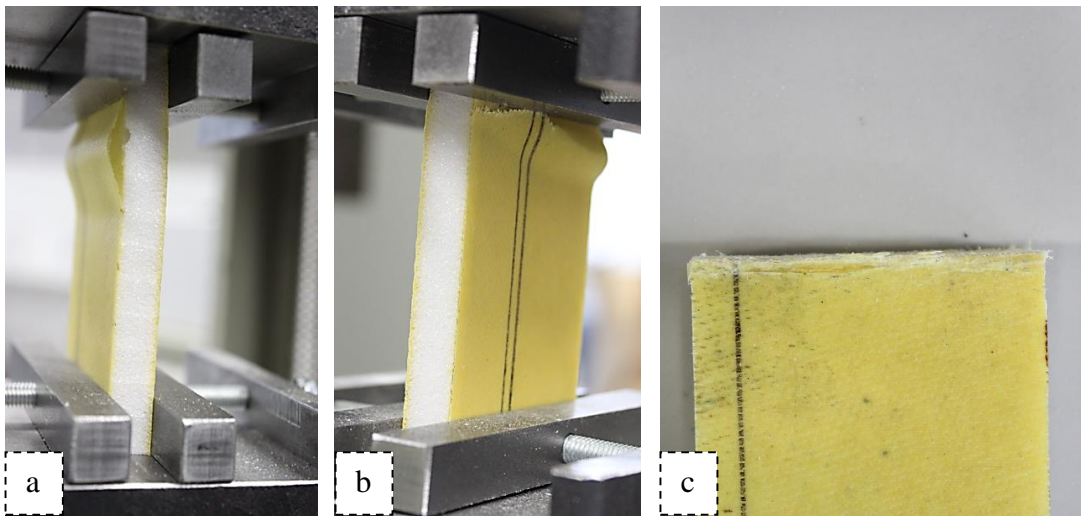


Obr. 38: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 2

U série vzorků č. 2 docházelo v první polovině zkoušky ke zvlnění a separaci vnějších vrstev od výplně a následně k jejich vyboulení (Obr. 38 a, b). V druhé polovině docházelo k smykové deformaci jádra (Obr. 38 c). Tyto hodnoty byly však ze závěrečného vyhodnocení vyřazeny. Působení síly zde dosáhlo polovičních výsledků a mělo by to vliv na celkový výsledek dané série. Názorně je to vidět v grafu na (Obr. 37). Jako u předchozí série, byla i zde vůle mezi vzorkem a testovacím přípravkem, aby se jisté nerovnosti na povrchu vzorku vyrovnaly. Proto nám začíná síla působit až po kratším úseku.

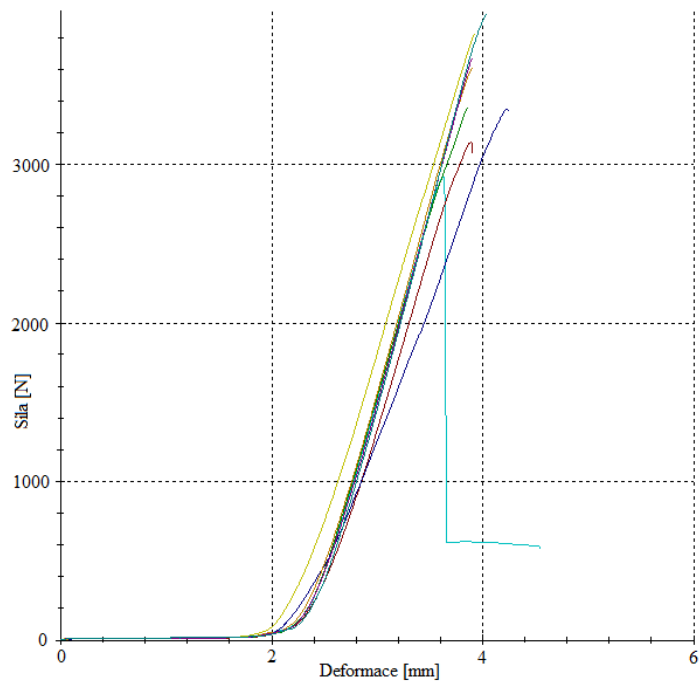


Obr. 39: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 3

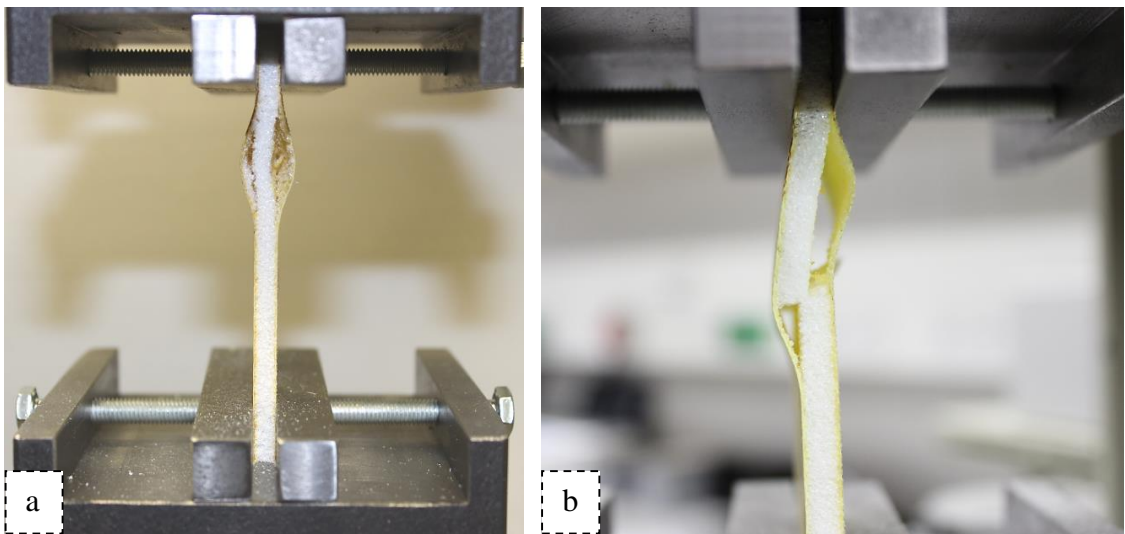


Obr. 40: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 3

V této sérii u vzorku č. 3 jsou poruchy sendvičové struktury obdobné jako ty předchozí. Nejčastěji zde docházelo k separaci vnějších vrstev od výplně a následně k jejich vyboulení (Obr. 40 a, b). V jednom případě došlo taky k tzv. drcení horní i dolní plochy sendviče (Obr. 40 c). V grafu na (Obr. 39) můžeme vidět několik křivek, které nám znázorňují zatěžující sílu v závislosti na deformaci. Působení síly se neprojeví ihned, ale až po kratším úseku. Tento úsek je dán tzv. vůlí mezi zkušebním vzorkem a přípravkem pro testování, kdy se vyrovnávají případné nerovnosti na vzorku. Z grafu lze rovněž vyčíst, že síla stoupá rovnoměrně nahoru a v okamžiku ztráty stability sendviče prudce klesne.

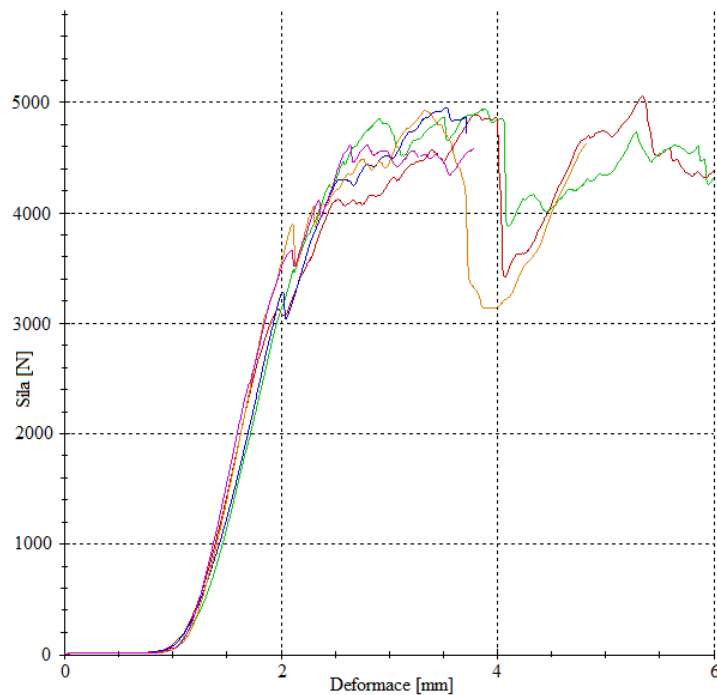


Obr. 41: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 4

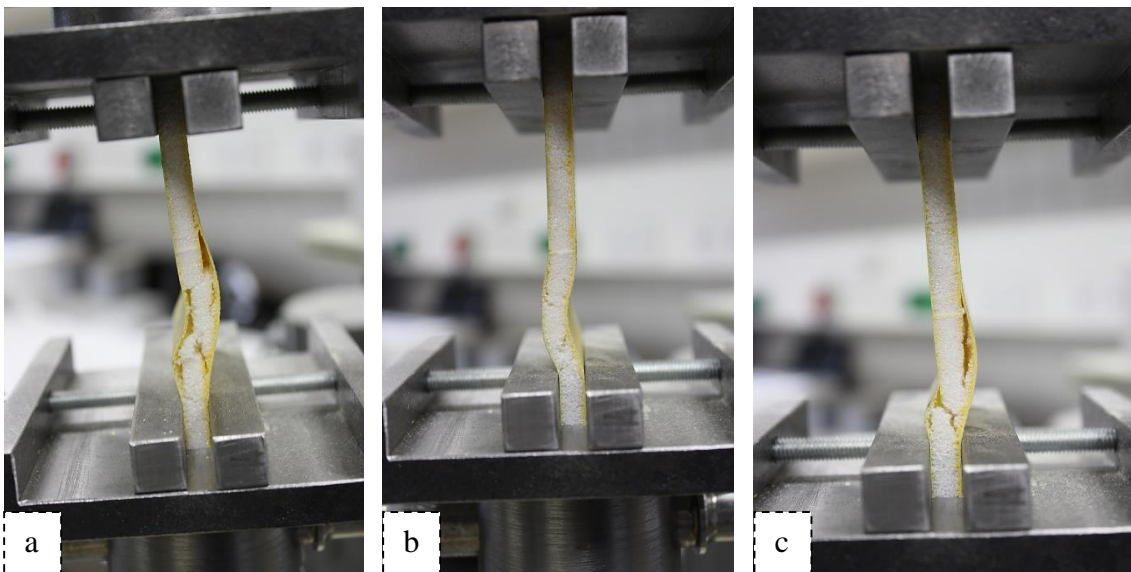


Obr. 42: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 4

U série vzorků č. 4 docházelo především k smykové poruše jádra (Obr. 42 b), což ihned zapříčinilo ukončení zkoušky. Jak je vidět v grafu na (Obr. 41), zatěžující síla stoupá rovnoměrně nahoru a v okamžiku poruchy jádra se zastaví. Dále docházelo k separaci vnějších vrstev od výplně a následně k jejich odtržení, které můžeme vidět na (Obr. 42 a).

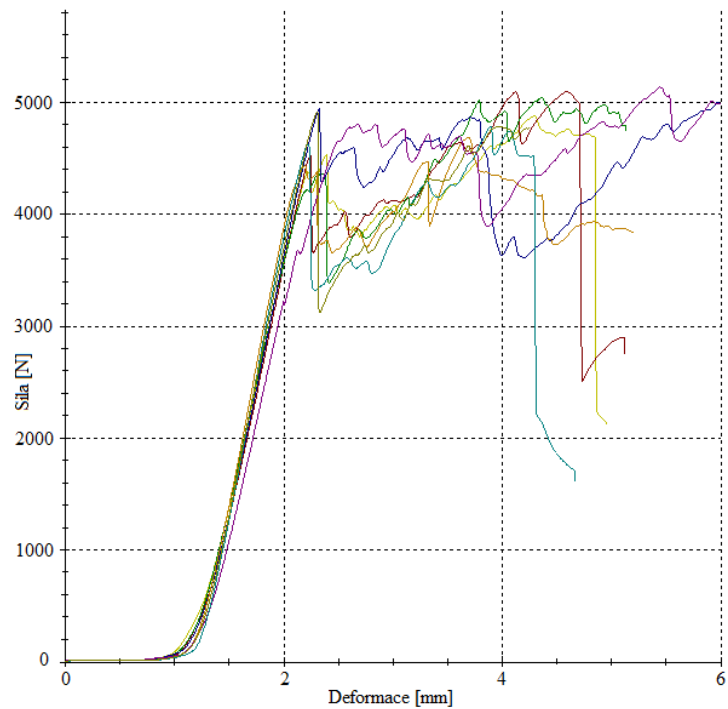


Obr. 43: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 5

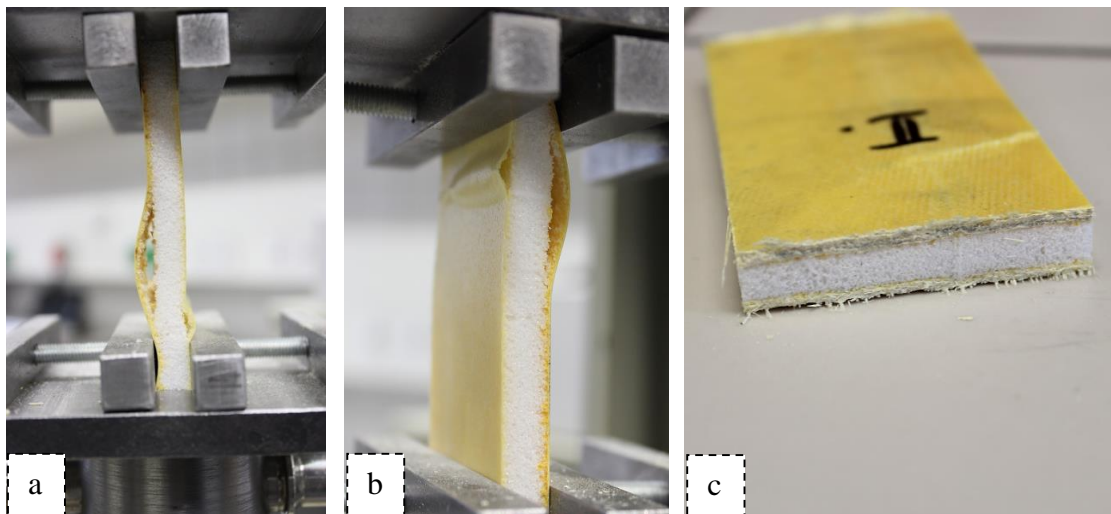


Obr. 44: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 5

U série vzorků č. 5 docházelo pouze k smykové deformaci jádra a separaci vnějších vrstev, což způsobilo vyboulení potahu a vydutí celé konstrukce (Obr. 44 a, b, c). Tyto poruchy vedly ihned k ukončení zkoušky, kdy max. zatěžující síla v jednom bodě významně klesla (Obr. 43).

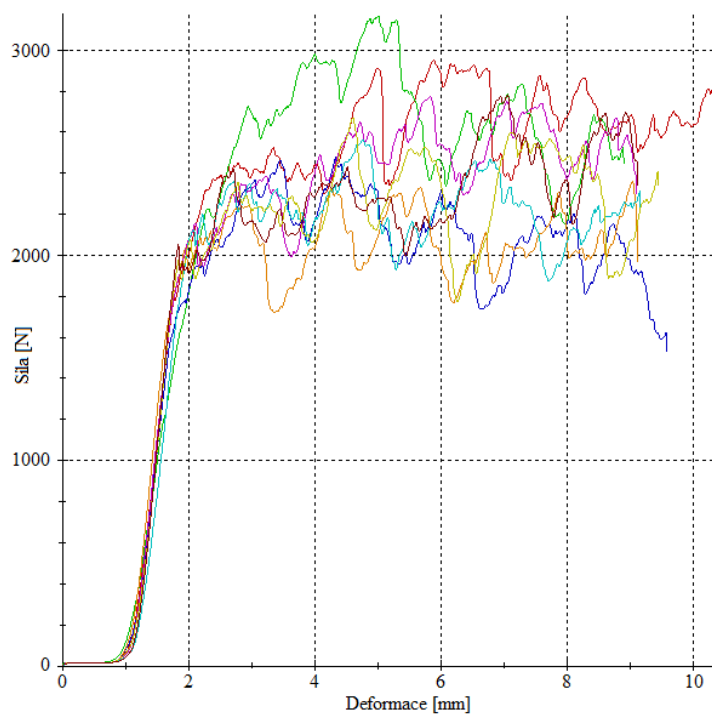


Obr. 45: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 6

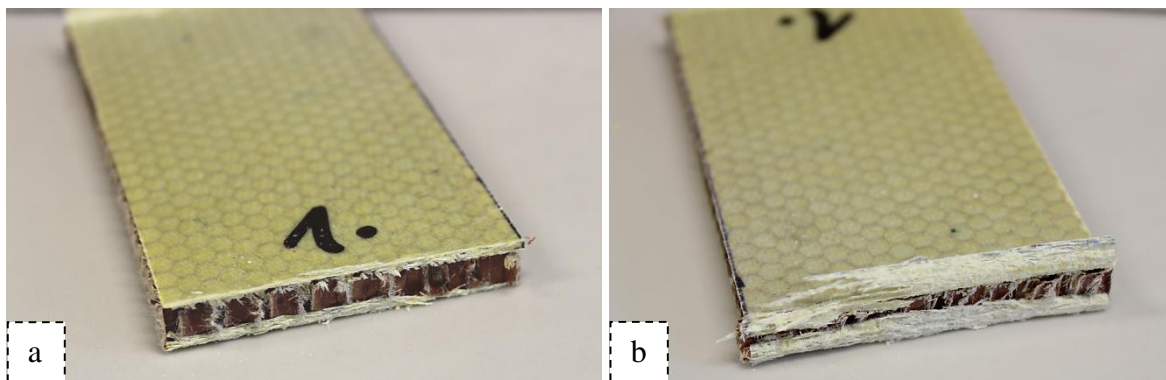


Obr. 46: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 6

V této sérii u vzorku č. 6 jsou poruchy sendvičové struktury obdobné jako ty předchozí. Nejčastěji zde docházelo k separaci vnějších vrstev a následně k jejich vyboulení (Obr. 46 a, b). Ve dvou případech došlo také k tzv. drcení horní i dolní plochy sendviče (Obr. 46 c), což způsobilo kolísání hodnot - křivky, které jsou v grafu (Obr. 45) nejdelší.

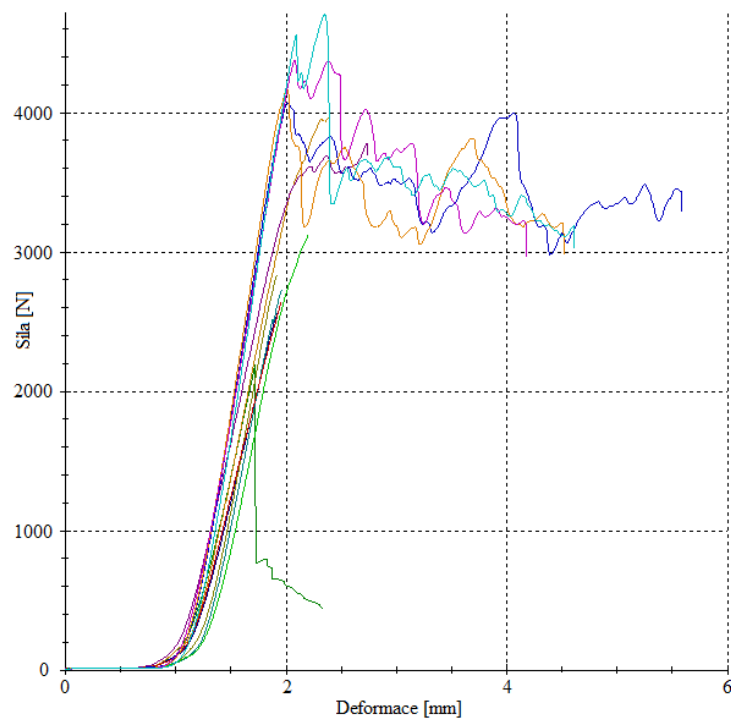


Obr. 47: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 7

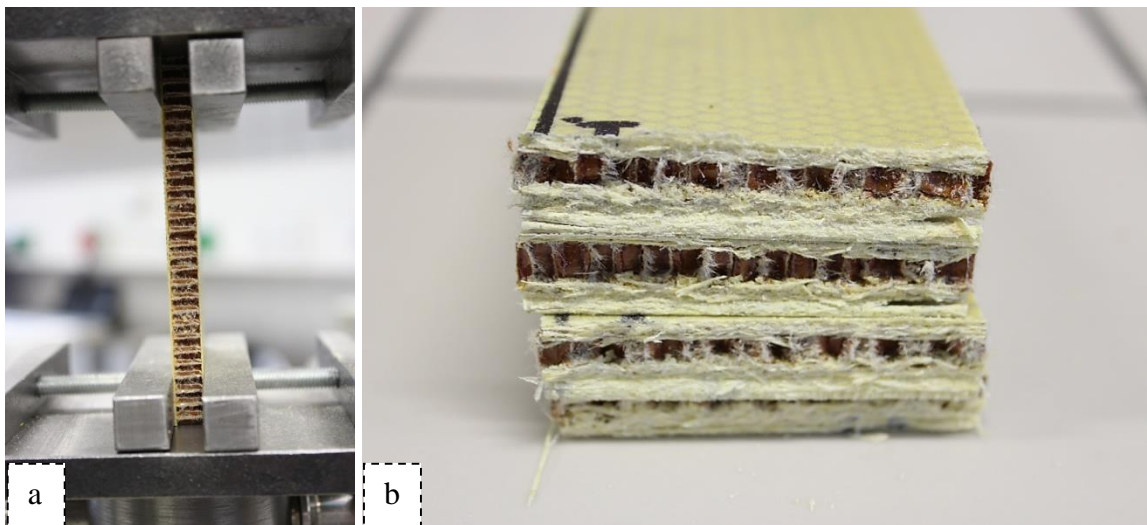


Obr. 48: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 7

Tato série vzorků se testovala již s odlišným typem jádra. Poruchy této struktury jsou znázorněny na (Obr. 48 a, b). Ve všech případech zde docházelo k tzv. drcení horní i dolní plochy sendviče. Drcení struktury nám způsobovalo kolísání zatěžující síly, která je vidět v grafu na (Obr. 47).



Obr. 49: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 8



Obr. 50: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 8

Tak jako u předchozího vzorku č. 7, tak i zde při působení zatěžující síly docházelo ve všech případech k tzv. drcení horní i dolní plochy sendviče (Obr. 50 a, b) a k jejímu následnému kolísání. Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci je znázorněn v grafu na (Obr. 49).

9 ZHODNOCENÍ NÁVRHU A NAMĚŘENÝCH DAT

Podle informací v normě ASTM C364 a také z dostupných internetových stránek zabývající se testováním sendvičových panelů při působení kolmého tlaku, byl přípravek navrhnout tak, aby umožnil kolmé a rovinné upnutí testovaného tělesa (panelů), byl konstrukčně jednoduchý a snadno ovladatelný. Navržený přípravek byl úspěšně otestován na sérii připravených typů sendvičových konstrukcí.

Ze zkušebních testů, prováděných za účelem ověření přípravku lze odvodit, že velký vliv na vzpěrnou tuhost sendvičové konstrukce má, jak typ použitého jádrového materiálu a jeho tloušťka, tak počet vyztužujících vrstev.

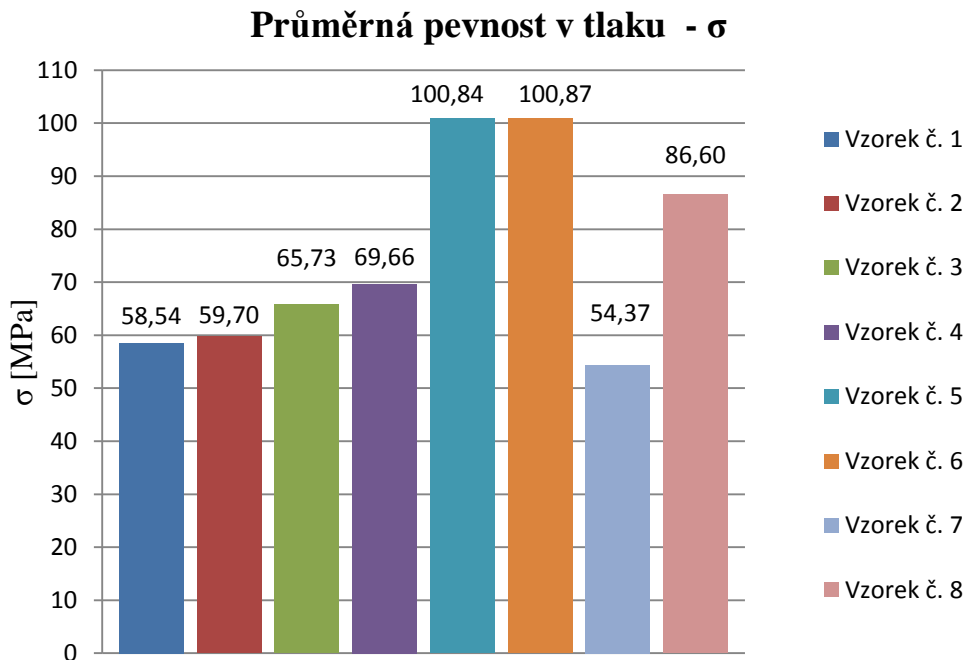
Tab. 14: Naměřené a vypočtené hodnoty zkušebních těles (panelů)

Číslo vzorku	n	F _{MAX} [N]	F _{MIN} [N]	\bar{x} [N]	s [N]
Vzorek č. 1	10	3370	2190	2921	348
Vzorek č. 2	4	3110	2840	2985	123
Vzorek č. 3	10	3690	2960	3284	219
Vzorek č. 4	8	3940	2920	3476	347
Vzorek č. 5	5	5780	4610	5042	437
Vzorek č. 6	8	5770	4690	5041	333
Vzorek č. 7	8	3170	2360	2719	261
Vzorek č. 8	4	4700	4070	4330	278

Jako nejlepší vzorek z jádra tuhé PET pěny, který odolal průměrně největšímu zatížení kolmým tlakem, se jeví vzorek č. 6, jehož složení popisuje tabulka (Tab. 11). Podobných výsledků jako vzorek č. 6 dosáhl i vzorek č. 5, jehož složení popisuje příslušná tabulka (Tab. 10). Z výsledků pro tuhou PET pěnu tedy vyplývá, že složení sendvičové struktury 1|jádro|2 o stejném průměru a typu jádra, vydrželo o 41% větší zatížení, než struktura 1|jádro|1. Jako lepší ze dvou vzorků z nomexové voštiny se jeví vzorek č. 8, který má na jedné straně dvě vyztužující vrstvy a na druhé straně jen jednu. Vydrží až o 37% větší zatížení než vzorek č. 7, ale zároveň vydrží o 14% menší zatížení než vzorek č. 5 o stejném složení z tuhé PET pěny. Všechny naměřené hodnoty byly sepsány do tabulek a jsou umístěny na CD, které je k této práci přiloženo.

Z celkových výsledků můžeme tedy říct, že vzorky č. 5 a 6 vydrží největší zatížení při působení kolmého tlaku na sendvičovou strukturu.

Naměřené hodnoty mezních působících sil byly následně přepočítány pomocí vztahů uvedených v příslušné normě. Na (Obr. 51) jsou zobrazeny hodnoty pevnosti sendvičových struktur při působení kolmého tlaku.



Obr. 51: Průměrná pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních těles (panelů)

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že s rostoucí tloušťkou jádrového materiálu roste také jeho vzpěrná pevnost a tuhost. Dalším faktorem je také počet použitých prepregů v potahu, kdy s větším počtem těchto prepregů roste rovněž tuhost a vzpěrná pevnost sendviče.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce zkušebního přípravku a výzkumem chování sendvičových panelů při působení kolmého tlaku. Práce je rozdělena na dvě části.

Teoretická část se zabývá základním popisem sendvičových struktur a materiálů pro výrobu vnější a vnitřní vrstvy sendviče. V další části jsou vysvětleny různé výrobní technologie, které se v dnešní době často používají. Dále jsou popsány vlastnosti sendvičových panelů a jejich současné využití ve světě. Na konci teoretické části jsou popsány způsoby deformací sendvičových struktur a také americká norma ASTM C364.

V praktické části je nejprve uveden návrh konstrukce zkušebního přípravku. Tento návrh je vymodelován pomocí 3D programu Solid Edge ST7, na základě kterého byla vytvořena potřebná výrobní dokumentace a provedena samotná výroba přípravku. V další části je popsána výroba zkušebních těles (panelů), kde jejich materiálové složení je uvedeno v přehledných tabulkách. Tyto panely sloužily k ověření funkčnosti vyrobeného testovacího přípravku.

Z naměřených dat vyplývá, že s rostoucí tuhostí, respektive tloušťkou krycích vrstev (potahů) roste vzpěrná odolnost sendvičové konstrukce. Stejný vliv na tuto vlastnost má i rostoucí tloušťka jádra a samotný materiál, kdy tuhé PET pěny vykazovaly vyšší odolnost než voštinová jádra.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [3] Mmspektrum.com [online]. [cit. 2014-11-01]. *Sendvičové konstrukce*. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/sendvicove-konstrukce.html>>
- [2] Grm-systems.cz [online]. [cit. 2014-11-02]. *Sendvičové struktury*. Dostupné z: <<http://www.grm-systems.cz/sendvicove-struktury>>
- [3] KOŘÍNEK, Zdeněk [online]. [cit. 2014-11-03]. *Vlákna*. Dostupné z: <<http://www.volny.cz/zkorinek/vlakna.pdf>>
- [4] Havel-composites.com [online]. [cit. 2014-11-03]. *Všeobecný a základní popis materiálů používaných při výrobě kompozitů*. Dostupné z: <<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/74-Vseobecny-a-zakladni-popis-materialu-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitu.html>>
- [5] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 351 s. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [6] RUSNÁKOVÁ, Soňa. *Zpracovatelské inženýrství kompozitů*. Přednášky 2012
- [7] Hexcel.com [online]. [cit. 2014-11-05]. *Honeycomb Selector Guide*. Dostupné z: <http://www.hexcel.com/Resources/SelectorGuides/Honeycomb_SelectorGuide.pdf>
- [8] Composites.ugent.be [online]. [cit. 2014-11-08]. *SP Composites Guide*. Dostupné z: <http://www.composites.ugent.be/home_made_composites/documentation/SP_Composites_Guide.pdf>
- [9] Havel-composites.com [online]. [cit. 2014-11-09]. *Cz katalog*. Dostupné z: <http://www.havel-composites.com/ktlgfiles/cz_katalog.pdf>
- [10] DAVIES, J.M. *Lightweight Sandwich Construction*. V Wiley, 2001, 384 s. ISBN 0632040270, 9780632040278.
- [11] Hexcel.com [online]. [cit. 2014-11-09]. *Honeycomb Sandwich Design Technology*. Dostupné z: <http://www.hexcel.com/Resources/DataSheets/Brochure-DataSheets/Honeycomb_Sandwich_Design_Technology.pdf>
- [12] Havel-composites.com [online]. [cit. 2014-11-11]. *Technologie*. Dostupné z: <<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>>

- [13] Intechopen.com [online]. [cit. 2014-11-14]. *Finite element analysis of loading area effect on sandwich panel behaviour beyond the yield limit*. Dostupné z: <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39769.pdf>>
- [14] Kht.tul.cz [online]. [cit. 2014-11-15]. *Výzkum trhu kompozitních materiálů*. Dostupné z: <<http://www.kht.tul.cz/items/A-BP/2010/%C5%A0afa%C5%99%C3%ADkov%C3%A1%20-%20V%C3%BDzkum%20trhu%20kompozit%C3%ADch%20materi%C3%A1%C5%AF%20v%20C4%8CR.pdf>>
- [15] Kompozity.info [online]. [cit. 2014-11-18]. *Ztráta stability kompozitu*. Dostupné z: <http://www.kompozity.info/clanky/compdb/ztrata_stability_kompozitu.pdf>
- [16] Happymaterials.com [online]. [cit. 2014-11-22]. *Sendvičové desky*. Dostupné z: <http://www.happymaterials.com/imgs/articles/153-5_5_sendviUyovUn_desky.pdf>
- [17] Gdpkoral.cz [online]. [cit. 2014-11-18]. *Aplikace*. Dostupné z: <<http://www.gdpkoral.cz/automobilovy-prumysl/p128>>
- [18] Havel-composites.com [online]. [cit. 2014-11-24]. *Voštiny*. Dostupné z: <<http://www.havel-composites.com/shop/64-Vostiny/2226-Hlinikova-vostina.html?pls=0>>
- [19] C364/C364M-07 - *Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Construction*. ASTM Standard, ASTM International, 2012
- [20] HORSÁK, Marek. *Návrh stavebnicového systému řešení sendvičových konstrukcí*. Zlín, 2013. Diplomová práce. UTB ve Zlíně.
- [21] form-composite.com [online]. [cit. 2014-11-28]. *Ruční laminace*. Dostupné z: <<http://www.form-composite.com/rucni-laminace>>
- [22] form-composite.com [online]. [cit. 2014-11-28]. *Výrobní činnost*. Dostupné z: <<http://www.form-composite.com/vyrobni-cinnost>>
- [23] gurit.com [online]. [cit. 2014-11-30]. *Structural cores*. Dostupné z: <<http://www.gurit.com/structural-cores.aspx>>
- [24] lacomposite.com [online]. [cit. 2014-12-07]. *Letecký průmysl*. Dostupné z: <http://www.lacomposite.com/produkty_letectvi_airbus.html>
- [25] 5mslovakia.sk [online]. [cit. 2014-12-09]. *Sendvičové panely*. Dostupné z: <<http://www.5mslovakia.sk/sendviove-panely>>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Al	Aluminium
CAD	Computer Aided Design
DPH	Daň z přidané hodnoty
FST	Fire Smoke Toxicity
PEI	Polyethermid
PET	Polyethylentereftalát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PS	Polystyren
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
SAN	Styren Acrylonitril
UVI	Ústav výrobního inženýrství
n	Počet zkušebních těles (panelů)
\bar{x}	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
F_{MAX}	Maximální zatěžující síla
F_{MIN}	Minimální zatěžující síla
F	Zatěžující síla
σ	Pevnost v tlaku
P_{max}	Maximální zatěžující síla
w	Šířka zkušebního tělesa (panelu)
t_{fs}	Tloušťka prepregu
°C	Stupeň celsia
K	Kelvin

MPa	Megapascal
N	Newton
W	Watt
mm	Milimetr
mm ²	Milimetr čtvereční
m	Metr
m ²	Metr čtvereční
m ³	Metr krychlový
kg	Kilogram
g	Gram
%	Procento
Kč	Česká koruna

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Jednoduchý I-nosník [16]	12
Obr. 2: Nekonečný I-nosník [16]	12
Obr. 3: Typy namáhání při ohybu sendvičového panelu (desky) [16]	13
Obr. 4: Závislost mezi pevností a tloušťkou jádra sendvičových panelů [16].....	13
Obr. 5: Prepreg [22]	15
Obr. 6: Sendvičová struktura s voštinovým jádrem [6]	16
Obr. 7: Tvary voštinových buněk [7].....	17
Obr. 8: Řez hliníkovým sendvičem [26].....	17
Obr. 9: Řez nomexovým sendvičem [26]	18
Obr. 10: Polymerní pěny [23]	18
Obr. 11: a) Lineárně zesíťovaná PVC pěna, b) PUR pěna [6].....	19
Obr. 12: Balzové dřevo [6]	20
Obr. 13: Ruční laminace [12]	21
Obr. 14: Způsob výroby sendvičové struktury vyhřívaným lisováním [11].....	22
Obr. 15: Lisovací forma a výsledný panel [11]	23
Obr. 16: Způsob výroby sendvičové struktury vytvrzováním v peci [11].....	23
Obr. 17: Lisování v autoklávu [5].....	24
Obr. 18: a) Dopravní letouny airbus, b) obložení dveří [24]	25
Obr. 19: Plachetnice Derek 26, trup i paluba ze sendvičové konstrukce [6].....	25
Obr. 20: Konstrukční díly autodopravy [22]	26
Obr. 21: Různá venkovní obložení [22].....	26
Obr. 22: Konstrukční díly vlaků a jejich interiéru [22]	27
Obr. 23: Sendvičová konstrukce [25]	28
Obr. 24: Ztráta stability kompozitního sendviče [15].....	28
Obr. 25: Deformace sendvičové struktury za působení tlaku [15]	30
Obr. 26: Tří bodový ohyb [15].....	31
Obr. 27: Druhy deformací u tří bodového ohybu [15].....	31
Obr. 28: Zkušební čelisti dle ASTM C364 [19]	32
Obr. 29: Model konstrukce zkušební přípravku, který je zobrazen v programu	37
Obr. 30: Vyrobený zkušební přípravek.....	37
Obr. 31: Tuhá PET pěna a použitý typ prepregu	38
Obr. 32: Laboratorní vulkanizační lis	40

Obr. 33: Vylisovaný sendvičový panel.....	41
Obr. 34: Zkušební přípravek s testovacím tělesem (panelem).....	44
Obr. 35: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 1.....	45
Obr. 36: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 1	45
Obr. 37: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 2.....	46
Obr. 38: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 2	46
Obr. 39: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 3.....	47
Obr. 40: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 3	47
Obr. 41: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 4.....	48
Obr. 42: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 4	48
Obr. 43: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 5.....	49
Obr. 44: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 5	49
Obr. 45: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 6.....	50
Obr. 46: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 6	50
Obr. 47: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 7.....	51
Obr. 48: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 7	51
Obr. 49: Průběh zatěžující síly v závislosti na deformaci pro vzorek č. 8.....	52
Obr. 50: Poruchy sendvičové struktury u vzorku č. 8	52
Obr. 51: Průměrná pevnost v tlaku u jednotlivých zkušebních těles (panelů)	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Cenová kalkulace nákladů na polotovary konstrukčního přípravku	36
Tab. 2: Vlastnosti tuhé PET pěny	38
Tab. 3: Mechanické vlastnosti nomexové voštiny CORMASTER C2.....	39
Tab. 4: Vlastnosti prepregu PH840-300-42	39
Tab. 5: Technické údaje vulkanizačního lisu.....	40
Tab. 6: Sendvičová struktura vzorku č. 1	42
Tab. 7: Sendvičová struktura vzorku č. 2	42
Tab. 8: Sendvičová struktura vzorku č. 3	42
Tab. 9: Sendvičová struktura vzorku č. 4	42
Tab. 10: Sendvičová struktura vzorku č. 5	43
Tab. 11: Sendvičová struktura vzorku č. 6	43
Tab. 12: Sendvičová struktura vzorku č. 7	43
Tab. 13: Sendvičová struktura vzorku č. 8	43
Tab. 14: Naměřené a vypočtené hodnoty zkušebních těles (panelů).....	53

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha PI Technický list tuhé PET pěny AIREX® T90
- Příloha PII Technický list voštiny CORMASTER C2
- Příloha PIII Technický list prepregu PH 840-300-42
- Příloha PIV Technický list fenolické pryskyřice PH 840
- Příloha PV Výrobní výkres čelisti
- Příloha PVI Výrobní výkres plochých desek
- Příloha PVII Výrobní výkres sestavy

DATA SHEET

02.2012 (replaces 09.2011)

AIREX[®] T90

Easy Processing Structural FST Foam

CHARACTERISTIC

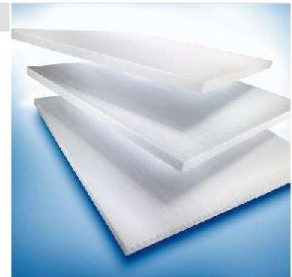
- Superior fire resistance (FAR 25.853; NF 16-101; DIN 5510)
- Outstanding fatigue strength
- Excellent long term thermal stability up to 100 °C (212 °F)
- Best thermal stability in process up to 150 °C (302 °F)
- Good thermal insulation
- Highly consistent material properties
- Easy to process with all types of resin and lamination processes
- Good adhesion (skin-to-core bond)
- Very high chemical stability
- No water absorption, no after-expansion, no outgassing

APPLICATIONS

- **Road and Rail**
Floors, sidewalls, front ends, interiors, roofs, engine covers
- **Marine**
Decks, interiors, superstructures
- **Industrial**
Covers, containers, x-ray tables, sporting goods
- **Architecture and Construction**
Roofs, claddings, domes, portable building

PROCESSING

- Contact molding (hand/spray)
- Vacuum infusion
- Resin infusion / injection (VARTM / RTM)
- Adhesive bonding
- Pre-preg processing
- Compression molding (GMT, SMC)
- Very easy to thermoform



AIREX[®] T90 is a closed-cell, thermoplastic and recyclable polymer foam with excellent fire, smoke & toxicity (FST) properties.

It has very good mechanical properties and an extraordinary resistance to fatigue, is chemically stable, UV-resistant and has negligible water absorption.

It is thermally stable during high temperature processing and post curing. T90 is designed for easy use with all resin systems and processing technologies.

AIREX[®] T90 is the ideal core material for structural sandwich applications requiring high fire resistance.

www.3ACorematerials.com



Europe | Middle East | India | Africa

Airex AG
5643 Sins, Switzerland
T +41 41 789 66 00 | F +41 41 789 66 60
corematerials@3AComposites.com

North America | South America

Baltek Inc.
High Point, NC 27261, USA
T +1 336 398 1900 | F +1 336 398 1901
corematerials.americas@3AComposites.com

Asia | Australia | New Zealand

3A Composites (China) Ltd.
201201 Shanghai, China
T +86 21 595 96 006 | F +86 21 338 27 298
corematerials.asia@3AComposites.com

AIREX BALTEK BANOVA

Typical properties for AIREX® T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Density	ISO 845	kg/m ³	Average <i>Typ. range</i>	65 60 - 70	110 105 - 115	145 140 - 150	210 200 - 220
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	0.80 0.7	1.4 1.2	2.2 2.0	3.5 3.2
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	50 35	85 75	115 100	170 145
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	1.5 1.2	2.2 1.6	2.7 2.2	3.0 2.4
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	85 70	120 90	170 140	225 180
Shear strength	ISO 1922	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	0.46 0.4	0.8 0.7	1.2 1.1	1.85 1.5
Shear modulus	ISO 1922	N/mm ²	Average <i>Minimum</i>	12 10.5	20 18	30 26	50 44
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average <i>Minimum</i>	12 8	10 5	8 4	5 3
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ²⁾	mm ± 5		610	610	610	610
	Length ²⁾	mm ± 5		1220	1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	5 to 100	5 to 100	5 to 100

Finishing Options, other dimensions and closer tolerances upon request

¹⁾ Minimum values acc. DNV definition; test sample thickness 20 mm except compressive modulus (40 mm)

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

Fire performance	Standard		T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	passed	passed
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	S4	S4
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	SR2	SR2
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ST2	ST2
	DIN 5510/2 / DIN 53438-2	Edge flaming	K1	K1	K1	K1
Rail	DIN 5510/2	Toxicity (FED)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rail	NF F16-101	Flammability	M2	M1	M1	M1
	NF F16-101	Smoke density	F1	F1	F1	F1
Rail	CEN TS 45545-2	(Nov. 2006)	Certification depending on sandwich design			

The data provided gives approximate values for the nominal density and DNV minimum values according to DNV type approval certificate. The information contained herein is believed to be correct and to correspond to the latest state of scientific and technical knowledge. However, no warranty is made, either expressed or implied, regarding its accuracy or the results to be obtained from the use of such information. No statement is intended or should be construed as a recommendation to infringe any existing patent.

AIREX BALTEK BANOVA

Typical properties for AIREX® T90		Unit (metrical)	Value ¹⁾	T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Density	ISO 845	lb/ft ³	Average <i>Typ. range</i>	4.1 3.7 - 4.4	6.8 6.6 - 7.2	9.1 8.7 - 9.4	13 12.5 - 13.7
Compressive strength perpendicular to the plane	ISO 844	psi	Average <i>Minimum</i>	116 102	203 174	319 290	508 464
Compressive modulus perpendicular to the plane	DIN 53421	psi	Average <i>Minimum</i>	7'250 5'075	12'330 10'875	16'680 14'500	24'650 21'025
Tensile strength perpendicular to the plane	ASTM C297	psi	Average <i>Minimum</i>	218 174	319 232	392 319	435 350
Tensile modulus perpendicular to the plane	ASTM C297	psi	Average <i>Minimum</i>	12'325 10'150	17'400 13'050	24'650 20'300	32'630 26'100
Shear strength	ISO 1922	psi	Average <i>Minimum</i>	67 58	116 102	174 160	268 215
Shear modulus	ISO 1922	psi	Average <i>Minimum</i>	1'740 1'520	2'900 2'610	4'350 3'770	7'250 6'380
Shear elongation at break	ISO 1922	%	Average <i>Minimum</i>	12 8	10 5	8 4	5 3
Thermal conductivity at room temperature	ISO 8301	W/m.K	Average	0.033	0.033	0.036	0.041
Standard sheet	Width ²⁾	mm ± 5		610	610	610	610
	Length ²⁾	mm ± 5		1220	1220	1220	1220
	Thickness	mm ± 0.5		5 to 100	5 to 100	5 to 100	5 to 100

Finishing Options, other dimensions and closer tolerances upon request

¹⁾ Minimum values acc. DNV definition; test sample thickness 20 mm (^{3/4"}) except compressive modulus 40 mm (1 1/2")

²⁾ Alternative width 1220 mm, alternative length 2440 mm

Fire performance	Standard		T90.60	T90.100	T90.150	T90.210
Aircraft	FAR 25.853/ABD0031	Flammability	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Smoke density	passed	passed	passed	passed
	FAR 25.853/ABD0031	Toxicity	passed	passed	passed	passed
Rail	DIN 5510/2	Flammability	S4	S4	S4	S4
	DIN 5510/2	Smoke density	SR2	SR2	SR2	SR2
	DIN 5510/2	Dripping	ST2	ST2	ST2	ST2
	DIN 5510/2 / DIN 53438-2	Edge flaming	K1	K1	K1	
	DIN 5510/2	Toxicity (FED)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Rail	NF F16-101	Flammability	M2	M1	M1	M1
	NF F16-101	Smoke density	F1	F1	F1	F1
Rail	CEN TS 45545-2	(Nov. 2006)	Certification depending on sandwich design			

The data provided gives approximate values for the nominal density and DNV minimum values according to DNV type approval certificate. The information contained herein is believed to be correct and to correspond to the latest state of scientific and technical knowledge. However, no warranty is made, either expressed or implied, regarding its accuracy or the results to be obtained from the use of such information. No statement is intended or should be construed as a recommendation to infringe any existing patent.

PŘÍLHOHA P II:

CORMASTER C2

High performance lightweight material from SCHÜTZ for industrial applications.



ADVANTAGES

- 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.

DELIVERY TIME

A lot of CORMASTER C2 honeycombs types are available on stock.

- **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.

MATERIAL

- non metallic structures made from NOMEX® T722 paper sheets
- bonded together and coated with a phenolic resin

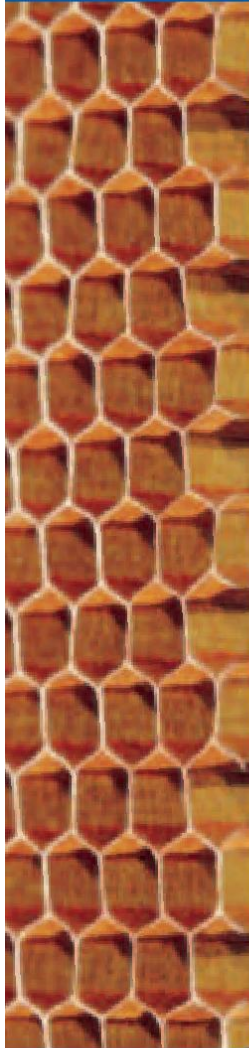
APPLICATION



- Main structural sandwich applications in industrial applications (f.e. automotive, naval, rail, transport and sports industries)

CORMASTER C2

Technical data

SCHÜTZ
INDUSTRY SERVICES



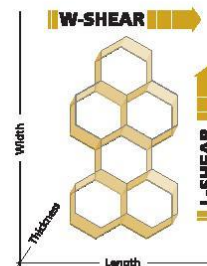
CORMASTER TYPE	Compressive strength (MPa)		Shear strength (MPa)		Shear modulus (MPa)		
	bare	stabilized	L	W	L	W	
HEXAGONAL CONFIGURATION							
 C2 - 3,2	- 48	1,8	2,0	1,2	0,7	36,0	24,0
	- 64	3,2	3,4	1,6	1,95	50,0	35,0
	- 80	4,4	4,6	1,75	1,0	56,0	32,0
	- 123	9,9	10,0	3,0	2,0	91,0	65,0
C2 - 4,8	- 32	0,8	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

70.047.1000 / KEMPERES / BAUCH & CRAMER (Technical changes 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.

C2 - 4,8	- 48
meta-aramid C2 paper sheets coated with resin	Cell size in mm
	Density in kg/m ³



SCHÜTZ GmbH & Co. KGaA
Schützstraße 12
D-58242 Selters
Phone + 49 (0) 2626/77-221
Fax + 49 (0) 2626/77-431
E-mail: info3@schuetz.net
www.schuetz.net

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 (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	42.0 +/-3%

Delivery Form and Storage

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

Curing Conditions

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

Mechanical Properties (Typical Values)

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

¹Sandwich 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	$\frac{kW}{m^2}$
Heat release rate		AITM 2.0006	25	$\frac{kW \cdot min}{m^2}$



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

PH 840

ESTABLISHED RAIL INTERIOR PHENOLIC PREPREG

- ↗ Excellent Fire, Smoke & Toxicity (FST) behaviour
- ↗ Excellent mechanical behaviour
- ↗ Good surface finish
- ↗ Autoclave-free processes possible
- ↗ Short curing time 15 min at 160°C / 320°F
- ↗ Long shelf and shop life

INTRODUCTION

PH 840 is a halogen-free 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.

PH 840 can be cured between 120°C and 160°C (248°F and 320°F). 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 0.7 bar / 10 psi. Suitable for composite structures experiencing in-service temperatures of -55°C up to +80°C.

PH 840 prepreg is suitable for:

- ↗ Rail industries
- ↗ Industrial industries
- ↗ Marine and automotive applications

PRODUCT INFORMATION

PH 840 phenolic prepreg is available in a range of product formats. Please consult your local sales contact for further information. Full contact details can be found at www.gurit.com.

PROPERTY	PHG840-300-42	PHG840-M850-37	PHG840-600-40	TEST STANDARD
Resin	Phenolic	Phenolic	Phenolic	-
Prepreg Weight	525 ± 30 g/m ²	1350 ± 50 g/m ²	1000 ± 50 g/m ²	EN2329
Volatile	< 6.0 %	< 6.0 %	< 6.0 %	EN 2330 (180°C/10min)
Resin Flow	> 10 % (3 plies, 135°C, 8 min, 4 bar)	> 10 % (3 plies, 135°C, 8 min, 4 bar)	> 10 % (3 plies, 135°C, 8 min, 4 bar)	EN 2332
Tackiness	T0, T1, T2	T0, T1, T2	T0, T1, T2	-
Fibre Material	E-Glass	E-Glass	E-Glass	-
Fabric Weight	296 g/m ² ± 5 %	850 g/m ² ± 5 %	600 g/m ² ± 5 %	EN 2331
Weave Style	8H Satin	Non-Crimp-Fabric	HD Special	-
Service Temperature (Cured State)	-55°C to +80°C (-67°F to 176°F)	-55°C to +80°C (-67°F to 176°F)	-55°C to +80°C (-67°F to 176°F)	-
Resin Content	42 ± 3 %	37 ± 3 %	40 ± 3 %	EN 2331
Typical Roll Length	50 m / 55 yd	40 m / 44 yd	40 m / 44 yd	-
Typical Roll Width	1 & 1.27 m / 39 & 50 in	1.27 m / 40 in	1.27 m / 40 in	-

PREPREG PROPERTIES

TRANSPORT & STORAGE

When stored sealed & out of direct sunlight.

All prepreg materials should be stored in a freezer when not in use to maximise their useable life, since the low temperature reduces the reaction of resin and catalyst to virtually zero. However, even at -18°C (0°F), the temperature of most freezers, some reaction will still occur. In most cases after some years, the material will become unworkable.

STORAGE TEMP		UNIT	VALUE
-18°C	0°F	months	24
+21°C	+70°F	days	30

HEALTH AND SAFETY

Please refer to product MSDS for up to date information specific to this product.

QUALIFICATIONS / FIRE PERFORMANCE

PRODUCT	FIRE PERFORMANCE / QUALIFICATIONS
PHG840-300-42	→ BS 476-6 and 7 Class 1
	→ BS 6853 R. 025
PHG840-M850-37	→ NF-F 16-101/102 (M1, F1)
	→ UNE 23-721 (M1)
PHG840-600-40	→ DIN 5510 S4, SR2, ST2
	→ DIN EN 45545 HL3

CURING CONDITIONS

PROPERTY	STANDARD CYCLE				TEST STANDARD
Recommended curing process	Press / Autoclave / Vacuum Bag				-
Spec. Pressure	0.7 bar / 10 psi				-
Heat-up	2 - 5°C/min / 3.6 - 9.0°F/min				-
Temperature	120°C / 248°F	130°C / 266°F	140°C / 284°F	160°C / 320°F	-
Cure Time	90 min	60 min	30 min	15 min	-
Cool-down	2 - 5°C/min / 3.6 - 9.0°F/min				-
Remove material at	< 80°C / 176°F				-

LAMINATE PROPERTIES

All data presented in this datasheet is based on the mechanical testing of a single batch of material.

MECHANICAL PROPERTIES AT ROOM TEMPERATURE (21°C / 70°F)

PROPERTY	SYMBOL	PHG840-300-42		PHG840-M850-37		PHG840-600-40		TEST STANDARD
0° Flexural Strength	X_F	450 MPa	65 ksi	480 MPa	70 ksi	400 MPa	58 ksi	ISO 178
0° Flexural Modulus	E_{F11}	22 GPa	3.19 msi	20 GPa	2.90 msi	20 GPa	2.90 msi	ISO 178
±45° Flexural Strength	X_F	450 MPa	65 ksi	180 MPa	26 ksi	400 MPa	58 ksi	ISO 178
±45° Flexural Modulus	E_{F12}	22 GPa	3.19 msi	12 GPa	1.74 ksi	20 GPa	2.90 msi	ISO 178
0° Interlaminar Tensile Shear Strength	X_{LTSS}	18 MPa	2.61 ksi	18 MPa	2.61 ksi	20 MPa	2.90 msi	AITM 1.0019
±45° Interlaminar Tensile Shear Strength	X_{LTSS}	18 MPa	2.61 ksi	14 MPa	2.03 ksi	20 MPa	2.90 msi	AITM 1.0019
Glass Transition Temp. (30 mins at 140°C)	T_g	> 125°C	> 257°F	> 125°C	> 257°F	> 125°C	> 257°F	ISO 6721 (DMA)
Glass Transition Temp. (15 mins at 160°C)	T_g	> 160°C	> 320°F	> 160°C	> 320°F	> 160°C	> 320°F	ISO 6721 (DMA)

MECHANICAL PROPERTIES AT 80°C (176°F)

PROPERTY	SYMBOL	PHG840-300-42		PHG840-M850-37		PHG840-600-40		TEST STANDARD
0° Flexural Strength	X_T	300 MPa	44 ksi	tbd	tbd	tbd	tbd	ISO 178
0° Flexural Modulus	E_{T11}	19 GPa	2.76 msi	tbd	tbd	tbd	tbd	ISO 178
0° Interlaminar Tensile Shear Strength	X_{LTSS}	16 MPa	2.32 ksi	tbd	tbd	tbd	tbd	AITM 1.0019

BURN BEHAVIOUR

PROPERTY	PHG840-300-42	PHG840-M850-37	PHG840-600-40	TEST STANDARD
Flammability vertical, 60s flaming – Burn length	60 mm	60 mm	60 mm	AITM 2.0002A
Flammability vertical, 60s flaming – After flame time	5 s	5 s	5 s	AITM 2.0002A
Flammability vertical, 60s flaming – After flame time of drips	0 s	0 s	0 s	AITM 2.0002A
Max. specific optical smoke density within 4 min (flaming mode)	5 Ds	5 Ds	5 Ds	AITM 2.0007A
Heat Release	25 kW/m ²	25 kW/m ²	25 kW/m ²	AITM 2.0006
Heat Release Rate	25 kW.min/m ²	25 kW.min/m ²	25 kW.min/m ²	AITM 2.0006

NOTICE

All advice, instruction or recommendation is given in good faith but the Company only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/terms-and-conditions.aspx.

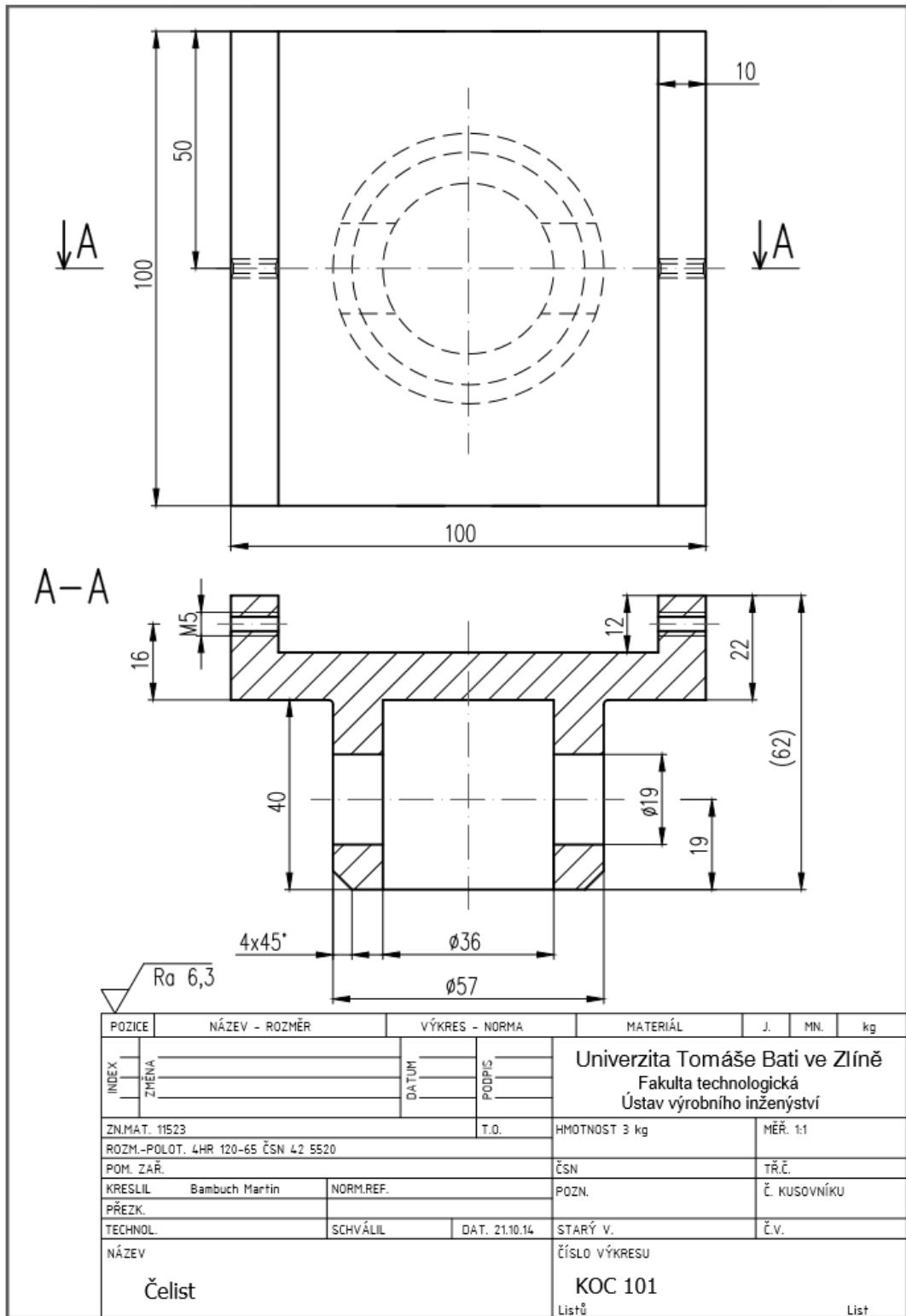
The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. 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 right-hand corner of this page.

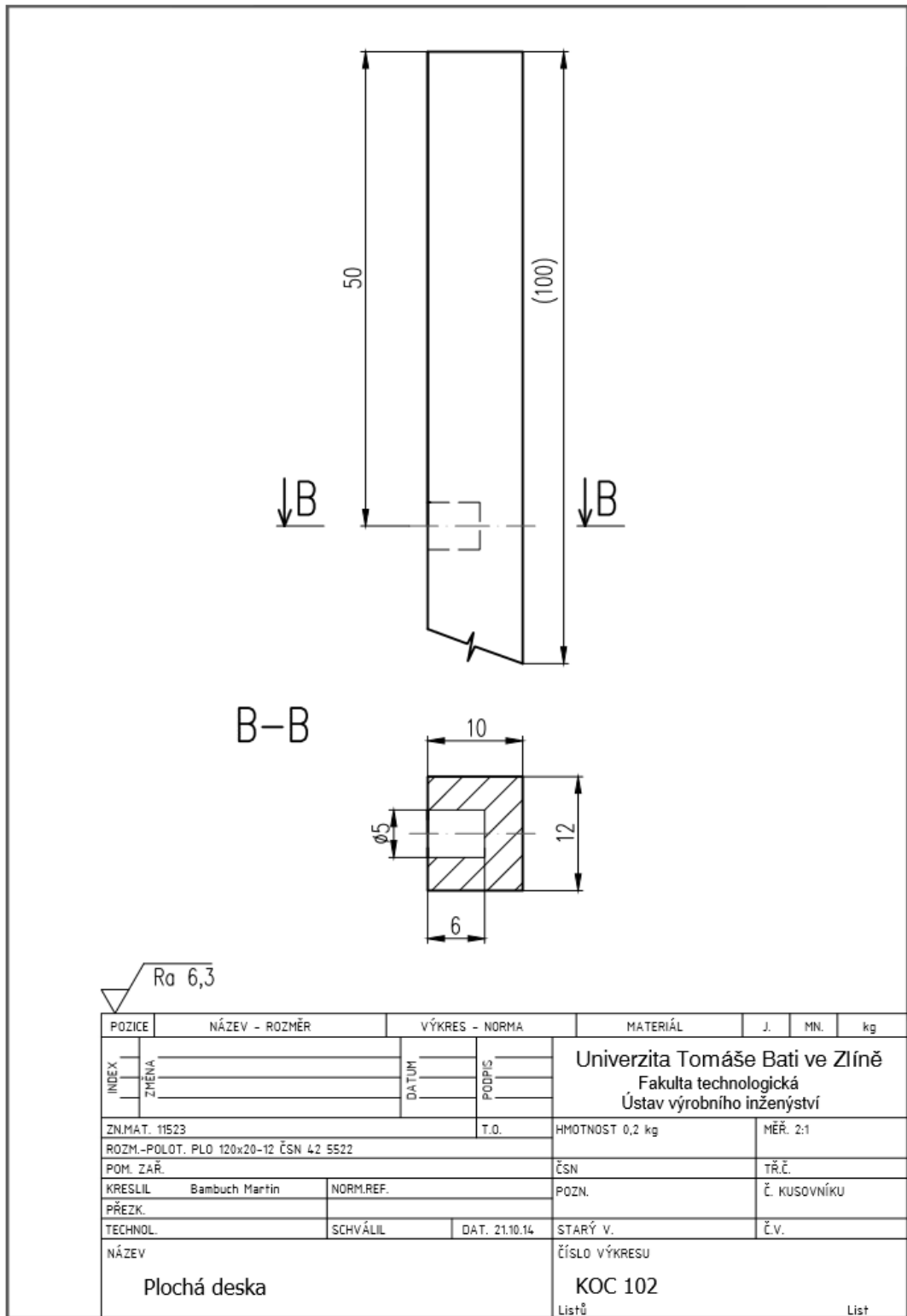
E contact@gurit.com

W www.gurit.com

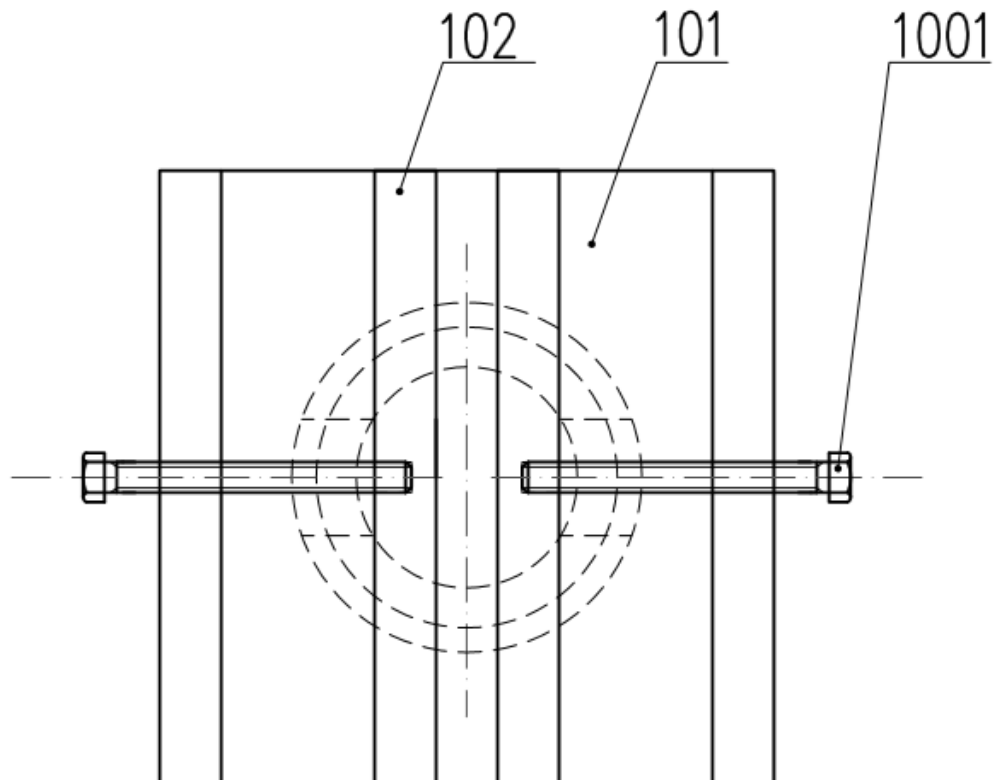
PŘÍLOHA P V:



PŘÍLOHA P VI:



PŘÍLOHA P VII:



1001	ŠROUB M5x50	DIN 933	11 523	–	4	0,2
				–		
102	P.DESKA PLO 120x20–12 ČSN 42 5522	KOC 102	11 523	–	4	0,8
101	ČELIST 4HR 120–65 ČSN 42 5520	KOC 101	11 523	–	2	6
POZ.	NÁZEV – ROZMĚRY POLOTOVARU	VÝKRES – NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	HMOT. kg
POZICE	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT.		T.O.				
ROZM.-POLOT.				HMOTNOST kg	MĚŘ. 1:1	
POM. ZAŘ.				ČSN	TŘ.Č.	
KRESLIL	Bambuch Martin	NORM.REF.		POZN.	Č. KUSOVNÍKU	
PŘEZK.						
TECHNOL.	SCHVÁLIL	DAT. 16.10.14		STARÝ V.	Č.V.	
NÁZEV	SESTAVA			ČÍSLO VÝKRESU	KOC	
				Listů	List	