

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Vybrané technické parametry a marketingová studie sendvičových materiálů

Disertační práce

Autor: Ing. Petr Chocholouš
Školitel: doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.
Školitel specialista: doc. Ing. Jaromír Štůsek, CSc.

Praha 2014

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci „Vybrané technické parametry a marketingová studie sendvičových materiálů“ vypracoval samostatně pod vedením školitele doc. Ing. Miroslava Müllera, Ph.D. a školitele specialisty doc. Ing. Jaromíra Štůska, CSc. V práci jsou použity pouze literární prameny uvedené v příložené bibliografii. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

Tímto bych chtěl poděkovat mému školiteli doc. Ing. Miroslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení při mém studiu, všem zaměstnancům Katedry materiálu a strojírenské technologie a zaměstnancům ČZU v Praze za profesionální přístup při mém působení v rámci interní formy doktorského studia na katedře. Dále bych chtěl poděkovat společnosti PSP izoterm s.r.o. za materiální podporu při přípravě a vyhodnocení experimentů. Velké poděkování patří také rodině a přátelům za podporu a vytvoření dobrých podmínek při studiu na vysoké škole.

Praze dne 29.5.2014

Anotace disertační práce

Tato disertační práce se zabývá problematikou sendvičových materiálů, zejména pak tepelně izolačními sendvičovými materiály s izolační vrstvou tvořenou tvrdou polyuretanovou pěnou. Úvod práce je věnován literární rešerši týkající se této problematiky, druhá část práce se věnuje návrhu vhodných metod zkoušení, na jejichž základě je provedeno experimentální hodnocení vybraných vlastností sendvičových materiálů.

Literární rešerše shrnuje problematiku sendvičových materiálů z dostupných publikovaných pramenů. Na sendvičové materiály je nahlíženo jako na lepený spoj, kdy jsou popsány jednotlivé vazby v lepeném spoji a parametry ovlivňující výslednou pevnost lepeného spoje a tím pádem i celého sendvičového materiálu. Dále jsou uvedeny materiály, ze kterých se sendvičové materiály vyrábějí, jejich vlastnosti, výhody, nevýhody a oblasti použití. Popsány jsou také charakteristické technologie výroby sendvičových materiálů a jejich využití v průmyslových odvětvích.

Vlastní experimentální hodnocení je zaměřeno převážně na tepelně izolační sendvičové materiály s polyuretanovou izolační vrstvou. Hodnoceny jsou mechanické parametry jako jsou ohybové a tlakové vlastnosti, pevnost lepidla a lepeného spoje. V této části je také uvedena marketingová studie firmy zabývající se výrobou tepelně izolačních sendvičových materiálů pro stavebnictví a dopravní prostředky. Výsledky experimentů přinášejí nové poznatky o chování sendvičových materiálů pod zatížením a v některých případech kvantifikují vybrané technické parametry, které je nutné znát pro správné, bezpečné a efektivní využití v aplikační oblasti. Marketingová studie hodnotí služby a produkty výrobce sendvičových materiálů na základě zkušeností zákazníků, definuje silné a slabé stránky a hodnotí možné strategie řízení podniku.

Vhodnost navržené metody pro testování ohybových vlastností byla potvrzena získáním experimentálních hodnot různých druhů sendvičových materiálů tvořených rozdílnými výplňovými materiály. Výsledky experimentů popisují vliv tloušťky a hustoty výplňové polyuretanové pěny na mechanické vlastnosti sendvičového materiálu. Pomocí navržené metody je popsán vliv vyztužující vrstvy a potahového materiálu na pevnost ve vzpěru sendvičového materiálu.

Klíčová slova: ohyb, lepená konstrukce, lepený spoj, marketingová analýza, polyuretan, tlak, tepelné parametry, vzpěr

Anotation of Ph.D. thesis

This dissertation deals with the sandwich materials, especially thermal insulation sandwich materials with insulating layer made of hard polyurethane foam. Introduction is devoted to literature review on this issue, the second part is devoted to the experimental evaluation of sandwich materials.

Literature review summarizes the problems of sandwich materials from available published sources. It is seen on sandwich materials as on bonded joints, where the links in the bonded joints and parameters affecting the overall strength of the bond and thus the sandwich material are described. Next part is about materials from which sandwich materials are produced, their characteristics, advantages, limits and applications. The production technology of sandwich materials and their usage in the application area is also described.

The experimental evaluation is focused mainly on thermal insulating sandwich materials with a polyurethane insulating layer. The mechanical parameters such as flexural and compressive properties, tensile strength and adhesive bond strength are evaluated. This part also includes marketing study of company engaged in the production of thermal insulation sandwich materials for construction and automotive industry. The experimental results provide new knowledge about behavior of sandwich materials under load and in some cases they quantify selected technical parameters that must be known for accurate and reliable usage in the application area. Marketing study evaluates the services and products of the sandwich material manufacturer based on customer experience and define the strengths and weaknesses of manufacturer, suppliers and customers. Marketing analysis evaluates position of company and types of strategic management.

The suitability of the proposed method for testing flexural properties was confirmed by obtaining the experimental values of various kinds of sandwich materials consisting of different filler materials. Results of experiments describe the influence of the thickness and density of the polyurethane foam filler on the mechanical properties of the sandwich material. The effect of reinforcing layers and coating materials to the buckling strength of sandwich materials is described by proposed method.

Keywords: bending, bonded joint, bonding structure, buckling, polyurethane, marketing analysis, pressure, thermal parameters.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Význam	Jednotka
α	povrchový úhel při zkoušce smáčivosti	rad
λ	součinitel tepelné vodivosti	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
δ	deformace v ohybu	-
σ	směrodatná odchylka	-
σ_o	pevnost v ohybu	MPa
σ_t	pevnost v tlaku	MPa
σ_m	pevnost v tahu	MPa
σ_{vz}	pevnost ve vzpěru	MPa
ε_t	deformace v tlaku po odlehčení	-
ε_m	poměrné prodloužení v tahu	-
τ	pevnost ve smyku lepených sestav	MPa
ρ	hustota	$kg \cdot m^{-3}$
$\mu_{1,2,3}$	soubory dat	-
A	adhezní porušení lepeného spoje	-
A_0	původní plocha průřezu zkušebního tělesa	mm^2
B_1, B_2	ohybové konstanty závisující na geometrii zatížení	N
b	šířka materiálu	mm
E_m	modul pružnosti v ohybu	MPa
F	zatížení	N
F_{max}	maximální zatížení	N
F_1	zatížení odpovídající 0,1 F_{max}	N
F_2	zatížení odpovídající 0,4 F_{max}	N
G_c	modul pružnosti ve smyku materiálu výplně	MPa
H_0	nulová hypotéza	-
H_A	alternativní hypotéza	-
h_0	původní tloušťka zkušebního tělesa	mm
h_1	tloušťka zkušebního tělesa po odlehčení	mm
I	moment setrvačnosti	mm^4
K	kohezní porušení lepeného spoje	-
L	počáteční měřená délka	mm
ΔL	přírůstek měřené délky	mm

l	délka tělesa	mm
l ₁	měřicí základna pro zjištění velikosti průhybu	mm
l ₂	vzdálenost mezi zatěžujícími body a pevnými podporami	mm
l ₃	vzdálenost mezi zatěžujícími body	mm
LAM	polyesterový laminát tloušťky 1,5 mm	-
LAM2	polyesterový laminát tloušťky 2 mm	-
p	hladina významnosti	-
PC	polykarbonát	-
PUR	polyuretan	-
PUR35	tvrdá polyuretanová pěna hustoty 35 kg·m ⁻³	-
PUR60	tvrdá polyuretanová pěna hustoty 60 kg·m ⁻³	-
PUR145	tvrdá polyuretanová pěna hustoty 145 kg·m ⁻³	-
PE	polyetylen	-
PMI	polymetacrylimid	-
PP	polypropylen	-
PR9	březová překližka tloušťky 9 mm	-
PR4	březová překližka tloušťky 4 mm	-
PS	polystyren	-
PVC	polyvinylchlorid	-
q	tepelný tok	W·m ⁻¹ ·s ⁻¹
Ra	parametr drsnosti (střední aritmetická úchylka profilu)	μm
S	plocha lepeného spoje	mm ²
s	prodloužení zkušebního tělesa	mm
ΔT	rozdíl teplot	°C
t	tloušťka materiálu	mm
t _p	tloušťka potahu	mm
t _v	tloušťka výplně	mm
U	součinitel prostupu tepla	W·m ⁻² ·K ⁻¹
u	průhyb	mm
u ₁	průhyb při zatížení odpovídající 0,1 F _{max}	mm
u ₂	průhyb při zatížení odpovídající 0,4 F _{max}	mm
W	průřezový modul v ohybu	mm ³
\bar{x}	aritmetický průměr	-

Obsah

1 ÚVOD	1
2 CÍLE PRÁCE	3
3 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ (LITERÁRNÍ REŠERŠE)	4
3.1 Základní pojmy a rozdělení sendvičových materiálů.....	4
3.2 Vazby v sendvičových materiálech.....	5
3.2.1 Adheze (Přilnavost).....	6
3.2.2 Koheze (Soudržnost).....	8
3.3 Materiály pro výrobu sendvičových materiálů.....	8
3.3.1 Výplňové materiály	8
3.3.2 Potahové materiály	17
3.3.3 Výztuže sendvičových materiálů	19
3.4 Lepidla pro výrobu sendvičových materiálů.....	19
3.5 Aspekty ovlivňující pevnost a trvanlivost sendvičových materiálů.....	21
3.5.1 Příprava povrchu adherendu před lepením.....	21
3.5.2 Mechanická úprava povrchu adherendu.....	22
3.5.3 Odmašťování a chemická příprava povrchu adherendu.....	23
3.5.4 Primery	24
3.5.5 Vliv teploty, vlhkosti a tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje.....	24
3.6 Výroba sendvičových materiálů.....	25
3.6.1 Sendvičové materiály vyráběné injekčním vstřikováním	25
3.6.2 Technologie mokré v mokré	25
3.6.3 Sendvičové materiály vyráběné lepením v lisech	26
3.7 Aplikace lepidel.....	27
3.7.1 Aplikace reaktivních tavných lepidel.....	28
3.7.2 Lepení sendvičových materiálů s pěnovými výplňovými materiály.....	28
3.8 Konstrukce, druhy namáhání a průběh napětí.....	29
4 APLIKACE SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ V PRŮMYSLOVÝCH OBLASTECH.....	32
4.1 Stavebnictví.....	32
4.2 Dopravní prostředky.....	32
4.3 Letectví.....	33
4.4 Ostatní aplikace sendvičových materiálů	33

5 EXPERIMENTÁLNÍ A METODICKÝ POSTUP, ZVOLENÉ MATERIÁLY A METODY VYHODNOCENÍ	35
5.1 Použité materiály při experimentu	35
5.1.1 Lepidlo	36
5.1.2 Potahové materiály	36
5.1.3 Výplňové materiály	37
5.1.4 Sendvičové materiály jiných výrobců	37
5.2 Ohybové vlastnosti	38
5.3 Tlakové vlastnosti	43
5.4 Zkouška tlakem silou rovnoběžnou s vrstvami sendvičového materiálu (vzpěr)	44
5.5 Vlastnosti lepeného spoje	46
5.5.1 Pevnost ve smyku lepených sestav při tahovém namáhání	46
5.5.2 Drsnost lepeného povrchu	48
5.5.3 Tahové vlastnosti lepidla (Kohezní pevnost)	48
5.5.4 Tvrdost lepidla Shore D v závislosti na čase	49
5.6 Tepelné parametry	49
5.7 Marketingová analýza	51
5.8 Statistické metody, vyhodnocení výsledků a jejich prezentace	52
6 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ LABORATORNÍCH EXPERIMENTŮ	54
6.1 Ohybové vlastnosti	54
6.1.1 Vliv tloušťky výplňového materiálu na ohybové vlastnosti (PUR 35 kg·m ⁻³)	54
6.1.2 Vliv tloušťky výplňového materiálu na ohybové vlastnosti (PUR 60 kg·m ⁻³)	55
6.1.3 Vliv hustoty výplně z polyuretanové pěny na ohybové vlastnosti	56
6.1.4 Vliv vyztužující vrstvy na ohybové vlastnosti sendvičového materiálu	57
6.1.5 Ohybové vlastnosti materiálu Styrofoam, Voština a PC voština	58
6.1.6 Ohybové diagramy a typy porušení	59
6.2 Tlakové vlastnosti	61
6.2.1 Vliv hustoty výplňové polyuretanové pěny na tlakové vlastnosti	61
6.2.2 Vliv tloušťky výplňové polyuretanové pěny na tlakové vlastnosti	62
6.3 Zkouška tlakem silou rovnoběžnou s vrstvami sendvičového materiálu (vzpěr)	63
6.4 Vlastnosti lepeného spoje	67
6.4.1 Pevnost ve smyku lepených sestav dle použitého adherendu	67
6.4.2 Pevnost ve smyku lepených sestav dle úpravy povrchu adherendu	68

6.4.3 Pevnost ve smyku lepených sestav a tvrdost lepidla dle doby vytvrzování.....	71
6.4.4 Kohezní pevnost lepidla v závislosti na době vytvrzení	72
6.5 Tepelné parametry	73
6.6 Marketingová analýza	75
6.6.1 Dotazníkový průzkum	75
6.6.2 SWOT analýza	78
6.6.3 SPACE analýza	80
7 ZÁVĚR.....	88
8 PŘÍNOS PRO PRAXI.....	92
9 LITERATURA.....	93
10 PŘÍLOHY.....	97
Příloha A (Technické postupy měření)	97
Příloha B (Tabulky naměřených hodnot).....	103
Příloha C (Dotazníky)	110

1 ÚVOD

Pokrok člověka a vědy se neobejde bez neustálého získávání nových poznatků a informací. Mezi rychle se rozvíjející oblasti lidského bádání patří materiálové inženýrství. V současné době se kladou stále vyšší požadavky na vlastnosti používaných materiálů. V posledních desetiletích se prudce rozvíjela technologie lepení a s tím spojený výzkum lepidel a jejich vlastností. Jednou z významných aplikací lepení jsou lepené konstrukce neboli sendvičové materiály (sendviče, z anglického slova sandwich). V přírodě můžeme najít mnoho příkladů sendvičových materiálů jako jsou zobáky a peří ptáků nebo kosti a lebky dalších živočichů. Sendvičové materiály jsou schopny v mnoha případech uspokojit řadu zvyšujících se nároků designérů a konstruktérů. Tyto materiály vynikají širokým použitím v mnoha odvětvích. Návrh, konstrukce a složení vrstev těchto materiálů závisí na jejich aplikaci, pro kterou jsou tyto materiály určeny. Sendviče jsou tvořeny několika materiály, které rozdělujeme na materiály potahové (potahy) a na materiály výplňové (výplně). Tyto materiály mají rozdílné vlastnosti a jsou k sobě spojeny lepidlem. Kombinací vlastností těchto materiálů vzniká sendvičový materiál, jehož výsledné vlastnosti jsou dány synergickým součtem vlastností potahových a výplňových materiálů. Existuje mnoho způsobů dělení sendvičových materiálů, ale nejdůležitější je dělení podle druhu výplňového materiálu.

Druh výplňového materiálu určuje využití sendvičového materiálu v aplikační oblasti. Sendviče jsou ve většině případů charakterizovány vysokou tuhostí a současně nízkou hmotností. Pokud výplňový materiál tvoří tepelný izolant, jsou tyto materiály výhodné pro stavbu nízkoenergetických staveb nebo izotermických boxů. Při použití výplně z voštinového jádra (voštin) dosahují sendvičové materiály výborných mechanických vlastností, kterých se využívá při stavbě dopravních prostředků a letadel. Vlastnosti sendvičového materiálu nejsou dány pouze druhem výplňového materiálu, ale i charakterem potahových materiálů a dalších zúčastněných činitelů. Sendvičový materiál je druh lepeného spoje, proto je nutné pro pochopení tohoto systému porozumět mechanismům, jako je adheze, koheze a interakce na rozhraní lepených vrstev potahových a výplňových materiálů.

Sendvičové materiály jsou nehomogenní materiály a jak bylo uvedeno výše, skládají se z několika materiálů, které se liší mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Práce se zabývá především tepelně izolačními sendvičovými materiály vyrobenými pomocí technologie lepení s výplní tvořenou tvrdou polyuretanovou pěnou, které svou konstrukcí umožňují použití bez nutnosti stavby nosné konstrukce. V některých případech sendvičové

materiály nedosahují požadovaných pevnostních vlastností a vykazují sníženou odolnost. Z tohoto důvodu je nutné pro vhodnou a bezpečnou aplikaci provést příslušné zkoušky, které definují chování a kvantifikují vlastnosti těchto materiálů. Na rozdíl od homogenních materiálů v lepené konstrukci a na rozhraní jednotlivých vrstev materiálu probíhají složité procesy. Metody a postupy pro zkoušení konvenčních materiálů jsou nevhodné, proto je nutné provést modifikaci těchto metod a aplikovat je na sendvičové materiály.

V dnešním globalizovaném světě je důležité poskytovat zákazníkům kvalitní výrobky a služby na vysoké úrovni, aby firma byla konkurenceschopná a přežila v agresivním tržním prostředí. Zkvalitnění a modifikaci výrobků lze provést na základě získaných poznatků z provedených experimentů a ze zkušeností zákazníků. Služby lze zkvalitnit na základě průzkumu tržního prostředí a na základě spokojenosti zákazníků. Použitím analytických marketingových metod lze definovat silné, slabé stránky, vymežit pozici společnosti v odvětví a určit možné příležitosti a ohrožení. Na základě těchto informací lze definovat vhodnou strategii řízení pro zvýšení konkurenceschopnosti společnosti, která se zabývá výrobou sendvičových materiálů.

2 CÍLE PRÁCE

Cílem disertační práce je získání nových poznatků za účelem popsání a zlepšení vlastností produktů v oblasti lepených sendvičových materiálů. Literární rešerše shrnuje současnou problematiku a uvádí trendy a další možnosti ve výrobě a použití sendvičových materiálů. Experimentální část se zabývá vybranými technickými parametry a multikriteriálním hodnocením sendvičových materiálů s důrazem na produkci tepelně izolačních sendvičů. Sendvičové materiály nelze zkoušet dle běžných norem pro konvenční materiály, a proto je nutné tyto normy modifikovat. Experimenty se zabývají hodnocením jak vstupujících komponent do lepené konstrukce, tak výsledným sendvičovým materiálem. Z pohledu potřeb marketingu úspěšné společnosti je provedena analýza, kde je kladen důraz na hodnocení služeb a produktů společnosti. Pomocí analytických metod jsou provedeny marketingové studie pro určení pozice a vhodné volby strategie společnosti. Cíle disertační práce lze stručně shrnout do následujících bodů:

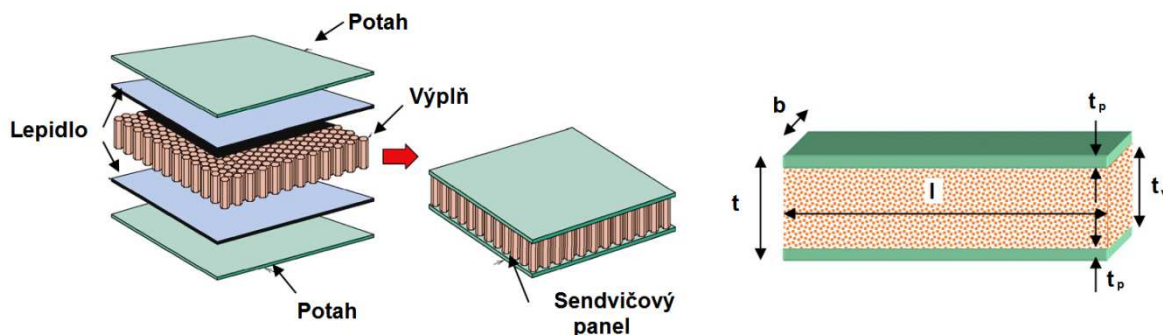
- shromáždění a zpracování literární rešerše z publikovaných informací z tuzemské a zahraniční literatury týkající se sendvičových materiálů a seznámení se s touto problematikou z pohledu konstrukce, výroby, používaných materiálů, vazeb v materiálu a možného použití v aplikační oblasti,
- navržení vhodných metod a postupů pro hodnocení vybraných technických parametrů sendvičových materiálů jako jsou ohybové, tlakové a tepelné vlastnosti,
- provedení a ověření vhodnosti navržených metod a postupů pomocí experimentů a na jejich základě popsání chování sendvičových materiálů,
- marketingová analýza v oblasti výrobců tepelně izolačních sendvičových materiálů pomocí hodnocení výrobků, služeb, konkurence, odběratelů a dodavatelů,
- pomocí navržených metod ověření hypotézy, že se změnou výplně dochází ke změně technických parametrů sendvičových materiálů,
- propojení získaných výsledků z experimentů a nových poznatků s praxí. Tato práce vznikala za podpory společnosti vyrábějící sendvičové materiály a očekávané výstupy budou využity při konstrukci a návrhu produktů, ve výrobním procesu a řízení společnosti.

3 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ (LITERÁRNÍ REŠERŠE)

Literární rešerše shrnuje dostupné informace z tuzemských i zahraničních odborných a vědeckých pramenů týkající se problematiky sendvičových materiálů. Tato kapitola se zabývá materiály, které se využívají při konstrukci sendvičových materiálů, jejich charakteristikou a vlastnostmi. Dále jsou popsány možnosti výroby a použití sendvičových materiálů v aplikační oblasti. Problematika sendvičových materiálů je velmi rozsáhlá, proto jsou zde uvedeny pouze některé specifické materiály a možnosti aplikace.

3.1 Základní pojmy a rozdělení sendvičových materiálů

Jak již bylo řečeno v úvodu, mezi významné aplikace technologie lepení patří konstrukce typu sendvič neboli sendvičový materiál (z angl. sandwich). Sendvičové materiály jsou konstrukční komponent skládající se z výplně o nízké hustotě pevně spojené se dvěma pevnými deskami. Americká společnost pro zkoušení materiálů (ASTM – American Society for Testing and Materials) definuje sendvič takto: Vrstvená konstrukce (sendvič) je tvořena rozličnými jednoduchými či složenými materiály různého charakteru, které jsou spolu navzájem spojeny tak, aby při využití vlastností jednotlivých materiálů byly získány určité výhody pro konstrukci jako celek. Definice podle ASTM C274 - 07 vymezuje i další pojmy, sendvič je tvořen potahovými materiály (potahy, faces) a výplňovým materiálem (výplně, core). V případě rovinné desky mluvíme o sendvičovém panelu. Speciálním případem výplňového materiálu jsou výplně ve tvaru buněk neboli voštiny (voštinové jádro, jádro, honeycomb), které mohou mít různé tvary. Existuje mnoho způsobů dělení sendvičových materiálů, ale nejdůležitější je dělení podle druhu výplně, a to především na sendviče s voštinovou výplní a na sendviče s výplní z tuhých plastů, dřeva, balzy a lehčených kovových materiálů. Obr. 3.1 ukazuje příklad sendvičového materiálu, jeho konstrukci a základní rozměry. Toto uspořádání vykazuje lehkou a tuhou konstrukci. Sendvičový materiál je svým způsobem lepený spoj, proto problematika sendvičů a technologie lepení spolu úzce souvisí. [1, 2, 3]



Obr. 3.1 Konstrukce sendvičového materiálu a jeho základní rozměry. Upraveno z [1]

3.2 Vazby v sendvičových materiálech

Vytvoření lepeného spoje je velmi složitý proces založený na principu adheze (přilnavost) a koheze (soudržnost). Spojení dvou nebo více adherendů (lepený materiál) zajišťují chemické vazby a mezimolekulární síly (síly Van der Waalsovy). Dle autorů [3, 4] lze chemické vazby rozdělit na tři základní vazby, konkrétně na vazbu iontovou, kovalentní a kovovou.

Iontová vazba je taková vazba, jež vzniká vzájemným elektrostatickým přitahováním pozitivních a negativních iontů, které vzájemně doplňují své elektronové sféry na stabilní konfiguraci v periodické tabulce prvků nejbližšího vzácného plynu. [3, 4]

Kovalentní vazba vzniká, pokud oba atomy účastníci se vazby mají společnou dvojici elektronů čili elektronový pár, k němuž každý atom přispívá jedním elektronem. Dochází ke společnému sdílení jednoho elektronového páru, které odpovídá jednoduché kovalentní vazbě. Kovalentní vazbou jsou často vázány atomy téhož druhu, jako H_2 , Cl_2 , N_2 a rovněž jsou spolu vázány krystalické látky, jako křemík, diamant a podobně. Vodíkové můstky vznikají, je-li vodík kovalentně vázán na lehký atom s velkou elektronegativitou. Vodík je schopen vázat se intramolekulárně nebo intermolekulárně s dalším volným elektronovým párem z těchto elektronegativních atomů takzvaným vodíkovým můstkem. [3, 4]

Naprostá většina výše popsaných vazeb není ani čistě iontová, ani čistě kovalentní. Vazby mají do značné míry smíšený charakter. Příčinou je nerovnoměrné rozdělení elektronů. Oba vazebné elektrony se mohou trvale pohybovat v rozsahu vazebného orbitalu, jsou však v průměru blíže k jednomu z obou vázaných atomů. Jeden atom ze spojené dvojice se snaží poutat vazebné elektrony pevněji než druhý atom, sdílený elektronový pár není přitahován k oběma stejnou silou, kovalentní vazba získává polární charakter. Koordinační vazba je v podstatě případ kovalentní vazby, při němž donorem obou sdílených elektronů vytvářejících kovalentní vazbu, je pouze jeden z obou atomů kovalentní vazbou spojených. [3]

Kovovou vazbu lze v ideálním případě popsat tak, že si atomy z nedostatku jiných vazebních možností upraví svou vnější elektronovou sféru tak, že z ní odvrhnou potřebný počet elektronů. Vnější elektronovou sférou se stane sféra nejbližší nižší. Z neutrálních atomů se stanou kationty, které koexistují ve volném svazku s odvrženými elektrony. [4]

Mezimolekulární síly Van der Waalsovy

Van der Waalsovy síly tvoří z hlediska koheze a adheze v sendvičových materiálech podstatnou část vazeb. Jsou to síly působící mezi molekulami složenými z kovalentně vázaných atomů. Předpokládá se v prvním přiblížení dipólové vzájemné působení částic. Na celkové dipólové přitažlivosti částic se podílejí tři základní mechanismy:

- Orientační (Keeson),
- Indukční (Babye),
- Disperzní (London). [5]

Děje probíhající v lepených spojích jakožto i v sendvičových materiálech jsou velmi komplikované a kromě výše popsaných základních vazeb je třeba objasnit pojmy koheze a adheze, které úzce s problematikou lepených spojů a sendvičových materiálů souvisí.

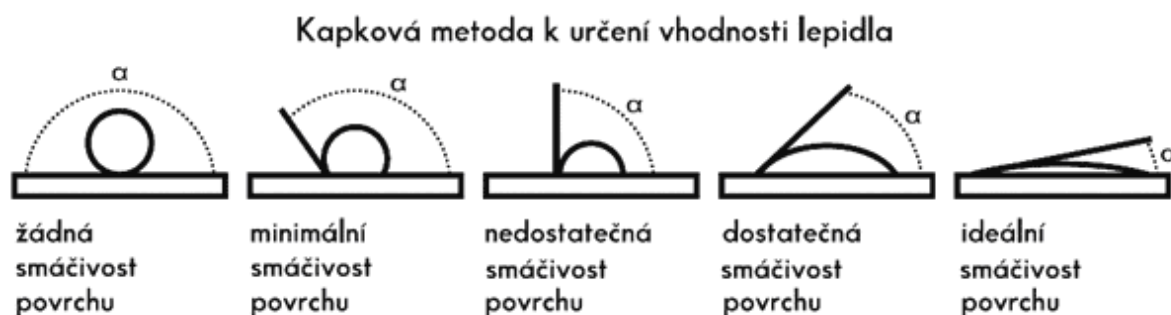
3.2.1 Adheze (Přilnavost)

Adheze je síla lepeného spoje na kontaktních površích dvou materiálů. Fyzikální síly adheze a adsorbce, které jsou dohromady popisovány jako síly Van der Waalsovy, jsou pro lepení nejdůležitější. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně nižší, jestliže se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu např. vlivem relativní drsnosti jeho povrchu, způsobené mechanickým opracováním. Proto lepidlo musí pronikat přímo do povrchových nerovností a dokonale smáčet celý povrch. Pevnost lepeného spoje tak závisí jak na smáčení povrchu (pro dosažení co nejuplněnějšího mezimolekulárního kontaktu), tak na adhezi. Při daném povrchovém napětí lepidla závisí smáčení na povrchové energii lepeného materiálu a na viskozitě lepidla. Smáčení může být rovněž sníženo, jsou-li na povrchu znečištěná místa. [4]

Pizzi a Mittal [6] uvádějí následující teorie adheze:

- mechanická – je založená na zatečení, vytvrzení a „zaklínění“ lepidla v dutinách a pórech adherendu,
- elektronová – je založena na rozdílném náboji adherendu a lepidla. Spoj se mění na kondenzátor, u kterého se rozdílné náboje přitahují,
- teorie mezní fáze a mezivrstvy je založena na vzniku vrstvy mezi těsně přiloženým adherendem a lepidlem. Adheze se rovná nejslabší kohezní síle ve vytvořené mezivrstvě,
- teorie adsorbce (molekulová) je založena na teorii, že adherend a lepidlo k sobě přilnou díky meziatomovým a mezimolekulárním silám, které jsou známy pod označením Van der Waalsovy síly,
- difúzní teorie – je založena na difúzi polymerů mezi sebou nebo na vzájemné difúzi makromolekul na rozhraní spojovaných materiálů,
- chemická – je založena na předpokladu vzájemné chemické reakce spojovaných materiálů a tím vzniklých chemických vazeb. [6]

Předpokladem dobré adheze je dobrá smáčivost povrchu lepeného adherendu. Má-li kapalina smáčet povrch pevné látky, musí být její povrchové napětí menší než povrchové napětí smáčeného materiálu. Nejvyšší povrchové napětí z kapalin má voda (mimo Hg). Tabulková hodnota povrchového napětí vody při 20 °C činí asi $0,073 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$. Proto je možné z chování vody na povrchu materiálu hodnotit, jak bude povrch smáčen ostatními kapalinami, tedy i lepidly. Smáčivost lze hodnotit několika způsoby, z nichž nejběžnější je kapková metoda. Na zkoušený povrch materiálu se nanese kapka vody a pomocí optických přístrojů nebo fotografie se určuje úhel α , který svírá tečna povrchu kapky s lepeným materiálem (Obr. 3.2). [7]



Obr. 3.2 Určení úhlu α kapkovou metodou [8]

3.2.2 Koheze (Soudržnost)

Koheze je síla působící mezi molekulami vlastního lepidla, která drží materiál pohromadě. Mezi tyto síly patří mezimolekulární přitažlivé síly (síly Van der Waalsovy) a síly vzájemného propletení molekul polymerů mezi sebou. [4] Protože každý řetězec je tak pevný jako je jeho nejslabší článek, tak i u lepeného spoje adhezní a kohezní síly mají být přibližně rovny. [9]

3.3 Materiály pro výrobu sendvičových materiálů

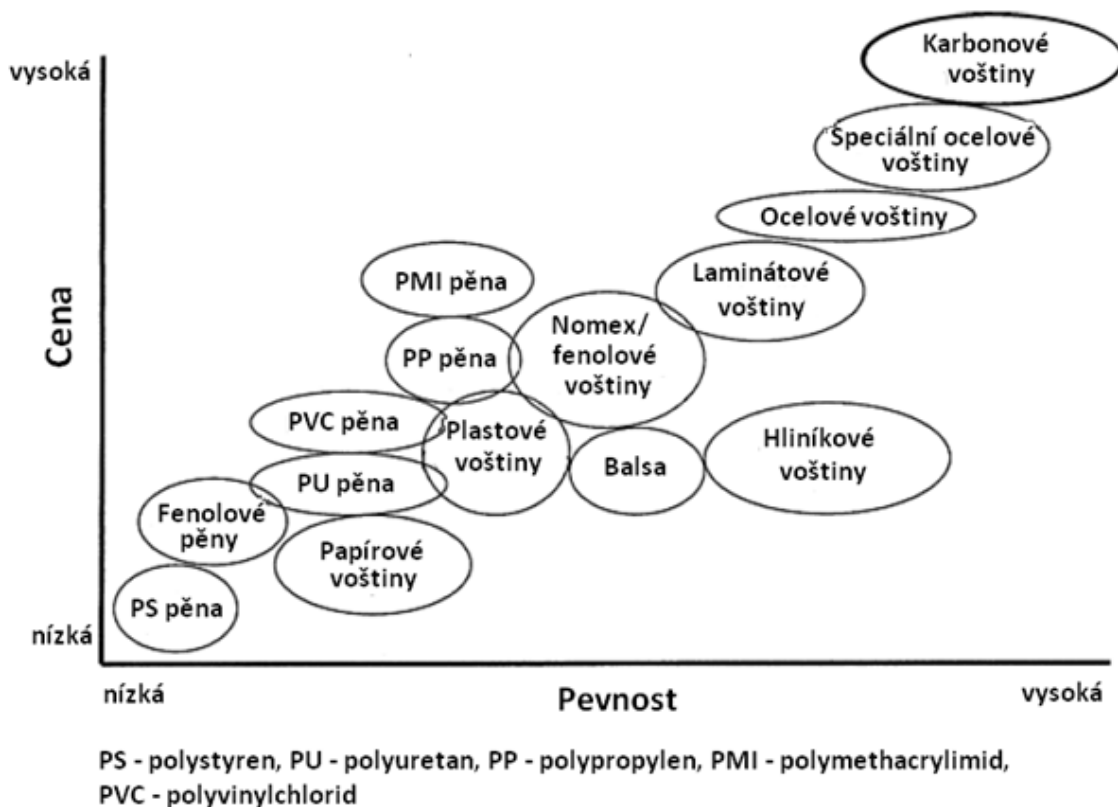
Při konstrukci sendvičového materiálu se používá mnoho různorodých materiálů s odlišnými mechanickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi. V této kapitole jsou uvedeny možnosti použití materiálů pro potahové a výplňové materiály, jejich vlastnosti, výhody, nevýhody a možnosti jejich aplikace.

3.3.1 Výplňové materiály

Jedním z hlavních požadavků kladených na výplň sendvičového materiálu je co nejmenší hustota při současně vysokých pevnostech v tlaku a smyku. Důležitá je též jejich tuhost. Pro správnou volbu druhu výplňového materiálu je potřeba znát příslušné aplikační požadavky. Faktory, které je nutné zvážit při volbě výplně, jsou:

- použité materiály,
- rozměry materiálů,
- hustota materiálů,
- mechanické vlastnosti,
- ohleduplnost k životnímu prostředí,
- zpracovatelnost,
- trvanlivost,
- tepelné vlastnosti,
- cena. [10]

Obr. 3.3 ukazuje poměr relativní ceny výplňových materiálů a jejich pevnosti. Hliníkové voštinové jádro poskytuje optimální poměr ceny a pevnosti sendviče v případě, kdy požadujeme vysokou tuhost materiálu. [10]



Obr. 3.3 Poměr ceny a pevnosti výplňových materiálů. Upraveno z [10]

Dřevěné výplňové materiály

Dřevěný výplňový materiál ve formě balzy se v současné době používá čím dál méně. Balza má řadu nevýhod, jako je pevnost ve smyku závislá na vlhkosti materiálu. Maximální rozdíl pevnosti mezi suchou a vlhkou balzou je devítinásobný. Dalšími nedostatky balzy jsou hořlavost, nestejnorodost vlastností (způsobená její strukturou), značná změna vlastností po vystavení vlivu mikroorganismů a potíže při zpracování. Hustota balzy je podle vlhkosti v rozmezí 80 až 128 kg·m⁻³. Balzy bylo v minulosti využíváno při stavbě mnoha letounů, v současné době se používá pro modelářské potřeby. [3]

Výplně z tuhých lehčených hmot

Výplně z tuhých lehčených hmot mají buněčné struktury, které tvoří propojená síť vzpěr nebo desek, jež tvoří stěny dutin. Buněčné struktury jsou charakterizovány tvarem a rozmístěním dutin a mohou být klasifikovány jako struktury otevřené nebo uzavřené. [11]

Tuhá lehčená hmota (pění) je jemná a pravidelná disperze plynu v tuhé hmotě. [3] Pění lze teoreticky připravit z každého materiálu, avšak ve skutečnosti je jejich počet omezen, protože řada výrobních postupů je finančně náročná. Výroba lehčených plastů

vychází ze základní hmoty, do které se přidává plyn, respektive látka, která za zvýšené teploty uvolňuje plyn nebo do plynného stavu přechází. Ten potom v určitém okamžiku expanduje za současného zpevnění lehčené struktury. Je důležité, aby nedocházelo k dodatečnému zvětšování nebo zmenšování objemu lehčeného materiálu. K výrobě pěn se používají jak termoplasty, tak i reaktoplasty. Lehčené plasty lze připravit několika způsoby:

- do plastu se vmíchá nadouvadlo, které zahřátím uvolní plyn,
- do plastu se přidá bifunkční látka, která chemickou reakcí uvolní plyn za současného zesíťování,
- do plastu se našlehá plyn, následně se provede zgelovatění,
- do plastu se mícháním přidá materiál obsahující fyzikálně vázaný plyn, který se pak uvolní zvýšením teploty,
- plyn se rozpustí v plastu za vysokého tlaku, snížením tlaku se vytvoří pěna,
- malé bublinky plastu se slepí pryskyřicí. [3]

Tyto hmoty vynikají zejména velmi příznivým poměrem pevnosti ke hmotnosti. Mechanické vlastnosti jsou ovšem značně závislé na struktuře dutin (otevřené a uzavřené dutiny), na hustotě a na druhu výchozího materiálu. Většinu lehčených plastů lze vyrobit v širokém rozsahu hustot. Podle druhu výchozího materiálu je pak určeno rozmezí pracovních teplot. [3]

Tepelná vodivost lehčených plastů je závislá na hustotě, rovná se přibližně tepelné vodivosti vzduchu uzavřeného v plastu. Lehčené plasty s nepropojenými dutinami mají menší tepelnou vodivost než s dutinami propojenými. Bačák - Kýr [12] uvádějí, že z hlediska tlumení zvuku jsou výhodnější plasty s propojenými dutinami, v jejichž propojených dutinách dochází k lepšímu útlumu hluku.

Důležitými požadavky lehčených plastů je vysoká tuhost současně s nízkou hustotou, tepelná odolnost, nehořlavost, malá nasákavost a aby byly dobrými zvukovými i tepelnými izolanty a šetrné k životnímu prostředí. [11]

Výplně z polyuretanů (PUR)

Jedinečná výhoda polyuretanu spočívá ve výrobě, kdy může být vyrobena široká škála materiálů. Od většiny ostatních plastů se liší tím, že již během výroby je možné měnit poměr mísících se složek a tím konečnou podobu materiálu. Změnou poměru vstupujících chemikálií polyolů, isokyanátů a přísad lze vytvořit pěny v širokém rozsahu hustot od 6 do 1220 kg·m⁻³ a

v různých formách tuhosti od pružného elastomeru až po tvrdý pevný plast. V praxi se setkáváme se dvěma základními druhy polyuretanů, s polyuretany pěnovými a pevnými. [3, 13]

Polyuretan poprvé připravil profesor Dr. Otto Bayer v roce 1937 v německém Leverkusenu. Patentován byl ve stejném roce, ale až počátkem 60. let začal jeho mohutný rozvoj a objevilo se mnoho průmyslových aplikací zejména pro automobilový průmysl, stavebnictví a nábytkářství. [14]

Polyuretany se v poslední době stále více uplatňují, k čemuž značně přispívá jednoduchost přípravy. Vyrábějí se většinou smícháním dvou či více složek, ve zjednodušeném provedení stačí k vypěňování elektrická vrtačka opatřená míchadlem a dostatečně tuhá forma. V sériové výrobě se používá vypěňovacích zařízení, která automaticky dávkuje a směšují složky a dopravují směs do vypěňovacího prostoru. Podle toho, zda se má díl z polyuretanu vyjmout z formy nebo má-li se pěna pevně spojit s potahem, se musí volit úprava povrchu. K separaci se používají různé pasty, nátěry a polyetylenové nebo polyesterové fólie. [3]

Příprava polyuretanu je z chemického hlediska exotermická polyadice polyolové složky na bázi polyesteru, jejíž dvou nebo vícemocné skupiny – OH nebo – NH₂ aditují na diizokyanáty. V polyolové složce jsou dále obsažena různá aditiva jako katalyzátory, stabilizátory, nadouvadla, retardéry proti hoření aj. V praxi to znamená dokonalé homogenizování dvou tekutých složek, jejichž smísením za definovaných podmínek vznikne hmota s mikroskopickou buněčnou strukturou. Technologický proces lze rozdělit na několik fází:

- 1) homogenizace komponentů,
- 2) zesíťování (pěna expanduje),
- 3) konec zesíťování (pěna už nenabývá na objemu a přestane lepit),
- 4) zrání (vzhledem k prudké exotermické reakci je uvnitř polyuretanového jádra vysoká teplota, 80°C i více, pěna se musí nechat vychladnout. V případě bloků se jedná o více než týden).

Polyuretanová pěna je odolná proti agresivnímu prostředí, zředěným kyselinám, alkáliím, minerálním olejům, rozpouštědlům, alifatickým uhlovodíkům, etyleteru, metylisobutylketonu, tetrachlormethanu, dibutylftalátu. Neodolává aromatickým uhlovodíkům, alkoholům, acetonu, trichlorethylenu, ethylacetátu. Je tvarově stálá,

nesublumuje a její trvalá odolnost je mezi -40 až +120 °C. Kyslík a ozón na ni nepůsobí ani za zvýšených teplot. Jako akustická izolace není příliš vhodná, což je ovlivněno obvykle vysokým obsahem uzavřených dutin. [3] Ve stavebnictví našla polyuretanová pěna brzy své místo jako špičkový tepelný izolant s malou objemovou hmotností a vysokým procentem uzavřených dutin (více než 90 %), které jsou hlavním nositelem tepelně-izolačních schopností a malé nasákavosti (do 3 % obj.). Fyzikálně-mechanické a chemické vlastnosti zcela převyšují ostatní izolační materiály. To mělo za příčinu, že v současné době již v některých oborech polyuretanová pěna zcela nahradila použití jiných izolačních materiálů. [14]

Polyuretanová pěna používaná jako tepelná izolace se hodnotí podle počtu uzavřených dutin. V těchto dutinách je uzavřeno fyzikální nebo chemické nadouvadlo, které je nutné přidávat do polyolové složky. Právě druh použitého nadouvadla rozhoduje o tepelně izolačních vlastnostech pěny. Záleží také na tvaru buněk, zda je pravidelný kulovitý nebo elipsovité či jinak nepravidelný. Podle toho je pěna izotropní a její vlastnosti jsou ve všech směrech stejné, nebo neizotropní, a pak jsou její vlastnosti závislé na směru působení. Zpočátku průmyslové výroby se používalo nadouvadlo Freon 11 (CCl_3F), které bylo nenáročné na zpracování a pěna měla vynikající součinitel tepelné vodivosti ($\lambda = 0,025 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). V 80. letech se začal objevovat problém s úbytkem ozónové vrstvy a to měl právě za následek freon, a proto bylo později používání těchto agresivních freonů úplně zakázáno. Z tohoto důvodu se začala používat jiná, vůči životnímu prostředí ohleduplnější nadouvadla. Objevila se např. chemická nadouvadla jako R-134 ($\text{F}_3\text{C}-\text{CH}_2$), R-141 ($\text{Cl}_2\text{FC}-\text{CH}_3$) nebo fyzikální nadouvadlo jako voda, kde při reakci vzniká CO_2 . Použití těchto nadouvadel mělo za následek zhoršení tepelně izolačních vlastností pěny. Za stávající situace se jeví optimální použití nadouvadla n-pentanu (C_5H_{12}), což však vyžaduje investičně náročné technologické zařízení. [14] Na Obr. 3.4 jsou zobrazeny výborné tepelně izolační vlastnosti polyuretanu v porovnání s ostatními materiály používanými při stavbě budov při dosažení shodného součinitele prostupu tepla.



Obr. 3.4 Tepelné vlastnosti polyuretanu ve srovnání s ostatními stavebními materiály [14]

Výplně z polystyrenu (PS)

Polystyren patří mezi nejvíce používané lehčené hmoty. Lze ho vyrobit v hustotách od 5 do $160 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Polystyren může být různě zbarven, dá se zpěňovat i vytlačováním nebo vstřikováním. Pokud jsou díly z polystyrenu vyrobeny vytlačováním, mají poněkud lepší vlastnosti než díly vyrobené vypěňováním z předpěněných granulí ve formě. Proto se vytlačované polotovary uplatnily ve stavebnictví při izolaci stěn a při výrobě sendvičových materiálů. [3]

Polystyren se vyrábí polymerací styrenu. Standardní polystyren je materiál poměrně tvrdý a křehký. Používá se na výrobu spotřebních předmětů. Velký význam má pěnový polystyren, který obsahuje velký podíl pórů, a tudíž je velmi lehký a má výborné tepelně izolační vlastnosti. Zpěňování se provádí přidávkem těkavých uhlovodíků (např. pentanu), které se za zvýšené teploty vypařují a vytvoří v materiálu dutiny. [15]

Výplně z polyvinylchloridu (PVC)

Lehčený polyvinylchlorid může mít otevřené i uzavřené dutiny. Vyrábí se lehčením z tzv. plastiolů (suspenze částic PVC v tekutém změkčovadle). Tvrdý lehčený polyvinylchlorid se připravuje smícháním práškového polyvinylchloridu, stabilizátorů a změkčovadla a lisováním směsi ve formě, hermeticky uzavřené pístem, při teplotě 160 až $170 \text{ }^\circ\text{C}$ přetlakem 25 až 30 MPa. Lisovací doba je přibližně 1 minuta na 1 mm tloušťky lehčeného polyvinylchloridu. Mechanické, chemické a teplotní vlastnosti mohou být zlepšeny zesíťováním materiálu s uzavřenými dutinami. Hustoty těchto materiálů bývají v rozmezí 30 až $65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Zesíťování je prostorové, polyvinylchlorid je nehořlavý, odolný proti kyselinám, olejům, mnoha uhlovodíkům a jeho nasákavost je velmi malá. [15]

Neměkčený polyvinylchlorid vyrobený polymerací vinylchloridu se vyznačuje dobrou tvrdostí, odolností proti ořezu a chemickou odolností. V porovnání s PE nebo PP je poněkud hůře zpracovatelný, a to díky malé tepelné stabilitě (rozklad za zvýšených teplot). Z neměkčeného PVC se vyrábějí potrubí, rámy oken, obaly, desky pro stavebnictví, zatímco měkké PVC se používá pro výrobu podlahovin, hraček, izolací elektrických vodičů atd. [15] Velká pevnost lehčeného polyvinylchloridu se při jeho malé hustotě uplatnila zejména v letectví, stavbě lodí, ale i jako izolační sendvičové panely ve stavebnictví. [3]

Výplně z fenolformaldehydových pryskyřic (PF)

Jsou to jedny z nejstarších polymerních materiálů, známé např. pod komerčním označením bakelit. Vyrábějí se reakcí fenolu s formaldehydem. K vytvrzení (zesíťování) dochází za zvýšené teploty nebo přidávkem tvrdidel. Pryskyřice mají dobrou tepelnou stabilitu, chemickou odolnost a elektroizolační vlastnosti. [15]

Fenolformaldehydové pryskyřice mohou mít otevřené i uzavřené dutiny, většinou však převládají uzavřené dutiny. Hustota lehčených PF bývá v rozmezí 5 až 400 kg·m⁻³. Obvykle obsahují 40 % otevřených a 60 % uzavřených dutin. Velkou nevýhodou těchto materiálů při výrobě sendvičů je jejich velmi malá pevnost v tlaku. Mechanické vlastnosti vysoce zesíťovaných lehčených fenolformaldehydových hmot nejsou vlhkostí ani teplem až do teploty 120 °C vůbec ovlivněny. Nízká tepelná vodivost předurčuje tyto pryskyřice k tepelným izolacím. [12]

Lehčené kovové struktury

Lehčené kovové struktury se začaly objevovat začátkem devadesátých let 20. století. Tyto pěnové materiály byly vyráběny s otevřenými i uzavřenými dutinami z hliníku a jeho slitin. Postupem času se začaly používat i další materiály jako např. korozivzdorné a žáruvzdorné oceli a slitiny na bázi niklu a později nové struktury z dutých kuliček hliníku, oceli a keramiky. [16]

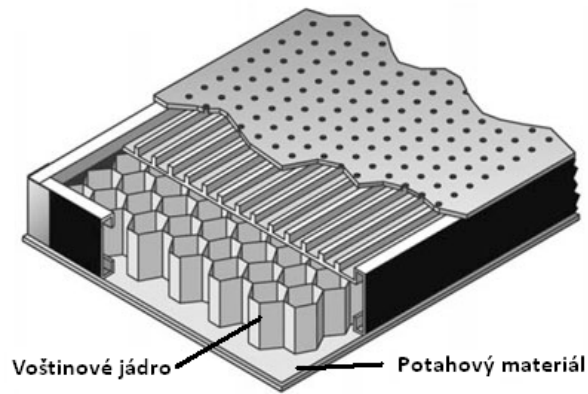
Kovové pěny s otevřenými a uzavřenými dutinami velikosti 1 - 8 mm z hliníku, slitin typu Al-Si, Al-Mg-Si, Al-Mg-Si-Cu mají podle velikosti a podílu dutin (až 85 %) hustotu 400 - 1500 kg·m⁻³. Dnes se však pěny s vyšší hustotou než 1000 kg·m⁻³ jako neekonomické nevyrábí. Pěny se vyrábí z kovových prášků ve směsi s nadouvadlem, jímž je zpravidla titanhydrid TiH₄. Vypěnění probíhá za tepla diskontinuálním procesem, ohřevem v kovové kokile nebo formě, případně mezi ocelovými plechy (sendviče). Hustotu, velikost a tvar dutin

Ize ovládat přísadou nadouvadla a řízením vypěňovacího procesu. Používá se též technologie přímého vypěňování taveniny. Výsledkem je materiál s vynikající pevností v tlaku, mezi kluzu v tlaku mezi 7 až 12 MPa (u slitin AlMg1SiCu lze zvýšit vytvrzením až na 20 MPa), s modulem pružnosti kolem 5 GPa (podle typu materiálu a hustoty). Tepelná a elektrická vodivost je asi na 10 % hodnoty masivního hliníku. Hliníkové pěny mají i vysokou absorpci zvuku a schopnost absorpce energie nárazu. Vlastnosti pěn jsou izotropní a nezávisí na směru namáhání. Tvarová stabilita a nehořlavost umožňují použití od hlubokých záporných teplot až po teploty těsně pod 600 °C. Pěny lze obrábět běžnými technikami třískového obrábění. Tváření se zpravidla nepožaduje, protože pěny lze vypěňovat do forem na tvary a rozměry blízké hotovým výrobkům (near net shape). [16]

Aplikační oblasti zahrnují izolační materiály a tepelné štíty pro kosmickou a leteckou techniku, výplně a zpevnění absorbérů nárazu, konstrukční díly karoserií, sendvičové a deskové díly v konstrukci automobilů a vozidel, tepelně a zvukově izolační obklady strojů, obklady pro elektromagnetické stínění a izolační obklady ve vnitřní architektuře. Sendviče z hliníkové pěny byly předvedeny jako první aplikace v automobilu ve studii vozu designového centra Wilhelm Karmann na Detroit Motor Show 1998. [16]

Voštinové výplňové materiály – Voštiny

Jedná se o speciální výplně vykazující vysoké pevnosti. Velmi obvyklým provedením voštin jsou buňky připomínající včelí plástve. Velmi běžnými a vhodnými jsou voštiny z pravidelných šestiúhelníkových buněk (Obr. 3.5). Velké potíže dělala zpočátku výroba součástí s dvojitým zakřivením, a proto byl vyvinut speciální typ voštinové výplně, takzvané střídavé šestiúhelníkové buňky. Tyto voštiny mohou být zpracovány do tvaru dvojitěho ostrého zakřivení o malých poloměrech, aniž by se porušily stěny buněk. Pro speciální účely se vyrábějí zesílené šestiúhelníkové voštiny, které jsou proloženy ve středu buněk páskou fólie. Tato úprava zvyšuje pevnost ve smyku sendvičů více než o 100 %. Dalším typem je vlnité jádro, jehož vlny tvoří buď polovinu šestiúhelníku nebo sinusoidu. Tato jádra vykazují vysoké pevnosti v tlaku. Někdy bývají voštiny opatřeny ve středu každé stěny otvory, kterými může protékat tekutina. [3]



Obr. 3.5 Sendvičový materiál s voštinovým jádrem [17]

Výrobu voštinových jader lze rozdělit do dvou základních metod: metoda postupného narůstání a expanzní metoda. Metoda postupného narůstání má již jen historický význam. Spočívala v předtvarování pásku fólie kovu do požadovaného tvaru, v nanesení lepidla na lepené plochy a v postupném skládání pretvarovaných fólií na sebe v navlékacím přípravku. Dnešní výroba voštin je založena na nanesení proužků lepidla v přesných roztečích na rovnou fólii. Šířka proužku lepidla určuje velikost strany buňky voštiny. Fólie s naneseným lepidlem se pak složí na sebe a lepidlo se vytvrdí v lisu. Po vytvrzení se blok obrobí na požadovanou tloušťku sendvičového jádra a v expanzním zařízení se jádro vytvaruje. Voštinová jádra lze obrábět před expanzí, nebo po expanzi. Používá se běžných zařízení a obráběcích rychlostí. Jednoduchá zakřivení lze dělat v lisu, kdy se voština položí mezi potahy a postupně se přes přípravek ohýbá do žádaného tvaru. [3]

Typickým příkladem použití voštinových jader jsou brzdicí klapky a části křídel letounů. Voštinová jádra mohou být vyrobena ze slitin hliníku, korozivzdorné oceli, laminátu či napregovaného papíru. Výhodné vlastnosti voštin uvádí Kindinger [10]. Voštinová jádra nabízejí maximálně tuhou a pevnou konstrukci s minimální hmotností. Pro příklad uvádí porovnání hliníkového plechu o tloušťce 0,81 mm a sendvičového materiálu s hliníkovými voštinami slepenými mezi dva hliníkové plechy. Pevnost tohoto sendvičového materiálu v ohybu je 37 krát vyšší, tuhost se zvýšila 9 krát a hmotnost sendvičového materiálu se zvýšila pouze o 6 % v porovnání s hliníkovým plechem. [10]

3.3.2 Potahové materiály

Potahový materiál (potah) sendviče je nosným prvkem, proto jsou na něj kladeny velké požadavky. Musí odolávat zatížení v tahu, tlaku, ohybu i smyku. Potahy mají také funkci ochrannou, proto musí odolávat kyselinám, pohonným hmotám, povětrnostním podmínkám a vysokým či nízkým teplotám. Je třeba, aby potah byl rozměrově stálý, hladký a aby vyhovoval dekorativním účelům, protože potahy určují vzhled sendviče. Pro úsporu hmotnosti se používá co nejtěnějších potahů. [3]

Dřevěné potahové materiály

Dřevěné potahové materiály mají řadu předností, ale i nedostatků. Jako potahové a nosné vrstvy sendvičových materiálů se nejčastěji používají překližky, dřevotřísky a OSB desky (dřevoštěpky). Jejich přednosti jsou vysoká tuhost a menší nasákavost než dřevo.

OSB desky jsou tvořené z více jak 90 % ze dřeva s výbornými mechanickými vlastnostmi. Vyrábí se ve formě desek z plochých třísek délky 50 - 150 mm spojených lepidlem. Pro svou odolnost vůči vlhkosti se používají u sendvičových konstrukcí dřevostaveb. Vyrábějí se v mnoha rozměrech a tloušťkách.

Dřevěné překližky jsou svým způsobem sendvičové materiály. Jednotlivé tenké vrstvy dřeva jsou spojeny k sobě lepidlem, přičemž směr vláken dřeva každé vrstvy je vždy o devadesát stupňů otočen. Počet vrstev je vždy lichý. Stejně jako OSB desky mají dobré vlastnosti v ohybu, tahu a jsou odolné proti vlhkosti.

Dřevo se používá zejména z dekorativních účelů. Má horší odolnost proti vlhkosti a mechanické vlastnosti a vyšší cenu oproti ostatním dřevěným materiálům.

Potahy ze skelných laminátů

Skelné lamináty jsou mnohem lehčí a více pružnější než potahy z kovových a dřevěných materiálů. Výhodou skelných laminátů je jejich cena, což se potvrzuje i v komerční oblasti výroby vozidel, kde se jiné materiály téměř nepoužívají. Použitím uhlíkových namísto vláken skleněných se dosahuje ještě lehčích potahů, ale vzhledem k jejich vysoké ceně se většinou využívají při stavbě vojenských vozidel a v letectví. Skelné lamináty obsahují skleněná vlákna zalitá do plastové matrice. Výsledný materiál kombinuje výhody obou materiálů: plast nabízí vysokou flexibilitu a mez pevnosti s nízkou hmotností a dobrými izolačními vlastnostmi a skelná vlákna dodávají materiálu tuhost a pevnost. Obecně lze říci, že s rostoucím zastoupením skla v materiálu roste pevnost v tahu. [18]

Pokud se použije jako matrice reaktoplast, nemůže být skelný laminát znovu roztaven a veškeré úpravy tvaru musí být provedeny už během výroby a dodatečné úpravy tvaru nejsou již obecně možné. Pro výrobu skelných laminátů se používá vláken s průměrem od 10 do 20 μm . [18]

Ocelové potahové materiály

Potahy z ocelových pozinkovaných plechů mohou vydržet velmi vysoká zatížení, ale mají vyšší hmotnost než potahy plastové. Pokud materiály mají ochrannou vrstvu nebo nátěry, jejich odolnost vůči povětrnostním vlivům vysoce překonávají odolnost plastových povrchů. Kovové povrchy tvoří hermetické utěsnění sendvičových materiálů, zatímco plastové potahy mají tendenci mírně propouštět vlhkost a izolační plyny. [18]

Potahy z hliníkových slitin

Potahy z hliníkových slitin mají své přednosti v malé hustotě a ve vyšší odolnosti proti korozi. Používá se tepelně zpracovaných hliníkových slitin o různých tloušťkách. Povrch materiálu může být ošetřen ochrannou vrstvou nebo vrstvou vhodnou pro lepení.

Korozivzdorné oceli

Korozivzdorné oceli nacházejí uplatnění v oblastech, kde se vyžaduje dlouhá životnost materiálu a v prostředích podporujících korozi. Své uplatnění nacházejí také v potravinářském průmyslu a v oblastech se zvýšenými hygienickými požadavky.

Korozivzdorné oceli jsou materiály se zvýšenou odolností proti korozi. Tuto odolnost zajišťuje legování ocelí chromem v množství vyšším než 12 %. Chrom na povrchu oceli usnadňuje tvorbu tenké ochranné vrstvy v podobě oxidu chromitého (Cr_2O_3). Tato vrstva brání přístupu agresivního prostředí k materiálu. Vrstva je kompaktní a velmi tenká (desítky nanometrů), a proto není pouhým okem viditelná. Korozivzdorné oceli kromě chromu obsahují další prvky (C, Ni, Mo, Si, N a další), které ovlivňují jejich mechanické a korozní vlastnosti. [15]

K problematice potahových materiálů je třeba konstatovat, že např. v USA, kde jako první používali potahové materiály z laminátu, se v posledních letech spíše vracejí k původnímu krycímu materiálu – hliníku. Hliník se používá z důvodu jeho snadnější recyklace. [14]

3.3.3 Výztuže sendvičových materiálů

V případech, kdy je vyžadována vysoká pevnost sendvičových panelů, lze použít různé výztuhy a zpevňující prvky. Tyto zesilující prvky se používají zejména u izolačních sendvičových materiálů s výplňovým materiálem tvořeným tepelně izolační pěnou. Zvýšení tuhosti sendvičových panelů se dosahuje několika způsoby a za použití různých materiálů. Možnost jak zvýšit tuhost sendvičového panelu je použít zpevňující vrstvu mezi potahovým a výplňovým materiálem tvořenou překližkou, OSB deskami nebo dalšími kovovými či nekovovými materiály. Takto vyrobené sendvičové panely mají však vyšší hmotnost a např. v oblasti dopravy je toto nežádoucí. Další možností jak zvýšit tuhost sendvičových materiálů je použití výztuh ve formě profilů a ráků. Při použití dřevěných ráků dosahujeme úspory hmotnosti a naopak při použití kovových materiálů se zvyšuje tuhost sendvičových panelů na úkor hmotnosti.

3.4 Lepidla pro výrobu sendvičových materiálů

Existuje široká škála lepidel pro různá lepení od mnoha výrobců, avšak neexistuje lepidlo, které by bylo vhodné pro všechny aplikace lepení. Jednotlivé druhy lepidel se liší svojí vhodností pro různé materiály, teplotní odolností, odolností vůči chemickým látkám a dalším agresivním prostředím, výslednou pevností spoje, způsobem aplikace a vytvrzováním. Vytvrzování a zvláště jeho rychlost je dle Loctite [4] ovlivňováno zejména:

- lepenými materiály,
- velikostí spáry lepeného spoje,
- teplotou,
- aktivátorem.

Je řada možností jak lze lepidla dělit a jedním ze způsobů je dělení dle mechanismu vytvrzování. Většina lepidel jsou reaktivní polymery. Ty se mění z kapalin na pevné látky v průběhu různých chemických polymeračních reakcí. Dle způsobu vytvrzování můžeme lepidla rozdělit do těchto skupin:

- **Anaerobní vytvrzení lepidel** - Anaerobní lepidla jsou jednosložkové látky, které se vytvrzují, zabrání-li se jim ve styku s kyslíkem. Vytvrzovací složka v tekutině zůstává tak dlouho neaktivní, dokud je ve styku s atmosférickým kyslíkem. Složky se nemíchají předem a tak nedochází k obtížím spojeným s krátkou dobou zpracovatelnosti.

- **Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením (UV)** - Doba vytvrzování závisí na správné vlnové délce a intenzitě záření v místě lepení. Fotoaktivátory se zářením štěpí a při tom vznikají volné radikály, které startují polymeraci. Existují tři typické požadavky na proces vytvrzování ultrafialovým zářením: hloubkové vytvrzení UV zářením (světlo UVA), povrchové vytvrzování (světlo UVC) a vytvrzení UV zářením spolu se sekundárními systémy vytvrzení (anaerobní vytvrzení, vytvrzení pomocí tepla, okolní vlhkosti nebo aktivátoru).
- **Lepidla vytvrzená aniontovou reakcí (kyanoakryláty)** - Jednosložková kyanoakrylátová lepidla polymerují ve styku s lehce alkalickými povrchy a okolní vlhkostí ve vzduchu a na lepených površích, která je obecně postačující pro vytvrzení během několika sekund (sekundová lepidla). Kyselé povrchy ($\text{pH} < 7$) mohou vytvrzování zpomalovat nebo dokonce zabránit, zatímco alkalické povrchy ($\text{pH} > 7$) vytvrzování urychlují.
- **Lepidla vytvrzovaná aktivátory** - Tato lepidla se vytvrzují použitím aktivátorů. V závislosti na typu lepidla platí pro některá lepidla, že lepidlo i aktivátor jsou nanášeny odděleně na oba lepené povrchy nebo mohou být před aplikací smíšeny ve směšovací zařízeních.
- **Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí** - Tato lepidla (v mnoha případech těsniva) polymerují ve většině případů díky kondenzační reakci, která zahrnuje reakci s okolní vlhkostí. Mezi lepidla vytvrzující se pomocí okolní vlhkosti řadíme dva základní chemické typy: silikony a polyuretany. Tyto materiály vulkanizují při laboratorní teplotě reakcí s okolní vlhkostí. Rychlost vytvrzování u těchto lepidel závisí zejména na relativní vlhkosti. Molekula vody musí vniknout do lepidla, kde nastává polymerové zesítnění. Polyuretany a silikony mají obecně dobrou houževnatost, vynikající schopnost vyplňovat spáry a jsou pružné.
- **Lepidla vytvrzovaná teplem** - Lepidla vytvrzovaná teplem jsou obvykle lepidla jednosložková. Typickým příkladem jsou teplem vytvrzované epoxidy. Teplota pro vytvrzení je závislá na typu lepidla. Obvyklá minimální teplota pro aktivaci tvrdidla a start polymerace je $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Doba vytvrzování souvisí s teplotou – čím vyšší teplota, tím kratší doba vytvrzování. [4]

3.5 Aspekty ovlivňující pevnost a trvanlivost sendvičových materiálů

Výsledná pevnost a spolehlivá aplikace sendvičových materiálů je podmíněna mnoha ovlivňujícími faktory. Tyto aspekty je nutno brát v úvahu již při samotné výrobě sendvičových materiálů určením vhodných materiálů pro výrobu, tak při samotné aplikaci sendviče jako je například vystavení agresivnímu prostředí nebo různému druhu namáhání. V následujících kapitolách je uveden výběr aspektů ovlivňujících pevnost a trvanlivost sendvičových materiálů.

3.5.1 Příprava povrchu adherendu před lepením

Pro každý materiál se příprava adherendu (lepený materiál) liší a každý materiál má svá specifika, která je nutné dodržovat, aby výsledná pevnost lepeného spoje a s tím spojená i pevnost sendvičového materiálu měla dlouhou trvanlivost. Povrchová úprava adherendu před lepením se obvykle skládá z předběžného čištění a odmašťování a z vlastní úpravy adherendu. Tyto dva stupně je třeba chápat jako zjednodušený postup a stav povrchu určeného pro lepení může být velmi odlišný. Někdy jsou plochy lepeny bez jakýchkoliv úprav, někdy postačí jednoduché odmaštění, jindy se plochy tryskají, brousí a podobně. Rozdíl při lepení téhož kovu stejným lepidlem podle druhu použité povrchové úpravy před lepením může být až 90 % pevnosti ve smyku při tahovém namáhání. [3, 11]

Snadnou úpravu povrchu pro lepení mají dřevěné materiály. Dřevo je porézní materiál, většinou nevádí ani vyšší vlhkost lepených dílů. Obtíže mohou nastat při lepení některých vzácných dřevin, kdy chemické složení silicidů může ovlivňovat vytvrzování některých typů lepidel natolik, že zůstanou „gumová“, případně nevytverdnou vůbec. [8]

O něco složitější je příprava povrchu adherendu kovových materiálů. Je samozřejmé, že každý kov a lepidlo vyžaduje individuální postup. Bez obtíží je příprava běžných konstrukčních ocelí (a některých druhů litin). Povrch by měl být bez korozních zplodin, zdrsňený broušením nebo (lépe) tryskáním. [8]

Obtížná příprava povrchů je příprava plastových povrchů. Někdy není třeba – pro určitý druh plastu v kombinaci s určitým druhem lepidla – povrch odmašťovat vůbec, jindy je to procedura velmi složitá. Plastové materiály určené pro lepení je nutné před lepením zdrsňit a odmastit nejlépe technickým lihem nebo jiným odmašťovadlem. V návodu k použití jsou většinou uváděny základní typy plastů, které lze daným typem lepidla lepit, včetně metod přípravy povrchu před lepením. Mezi materiály, které lze v běžné praxi obtížně lepit, patří

nepolární typy plastů, například polyetylén (PE), polypropylen (PP), teflon, silikon a další. Aktivace se v běžných podmínkách provádí ožehnutím povrchu redukujícím plamenem, například propan-butanového hořáku. Při nahřívání se povrch plastu nesmí natavit. Dalším způsobem je aktivace povrchu nepolárních plastů pomocí aktivátorů (pouze v kombinaci s kyanoakrylátovým lepidlem). Aktivátory se aplikují po odmaštění povrchu lepených dílů. Nenarušují povrch plastů, pouze polarizují povrch lepených dílů. Nanášejí se štětečkem nebo jsou v rozprašovačích. Po odpaření aktivátoru se nanese lepidlo a díly se spojí. [8]

3.5.2 Mechanická úprava povrchu adherendu

Mechanická úprava povrchu před lepením úzce souvisí s drsností povrchu. Zvýšením drsnosti se zvýší funkční plocha lepeného spoje. [3]

Znečištění povrchu kovů je často způsobeno pokrytím povlakem oxidů, které není možno odstranit odmaštěním. V takových případech je nutné mechanické očištění povrchu, jako například tryskáním, broušením nebo kartáčováním drátěnými kartáči. Pro úpravu velkých ploch je vhodné tryskání. Drsnost povrchu dosažená tímto způsobem poskytuje velmi dobré výsledky lepení. Z provedených experimentů je patrný fakt, že s rostoucími hodnotami rozměru tryskacího materiálu rostou i parametry drsnosti. [19] V některých případech získáváme broušením rovnoměrné a vhodné povrchy k lepení. Při broušení je důležité vhodně volit zrnitost brusiva (pro hliník zrnitost brusného plátna 300 - 600, pro ocel 100). Po tryskání, broušení nebo kartáčování je třeba součásti odmastit, aby se odstranily poslední zbytky brusiva ulpělého na povrchu materiálu. Všechny velmi špinavé součásti musí být odmaštěny také před mechanickým ošetřením, aby povrch neušpinil tryskací materiál nebo použité abrasivum.

Při lepení plastů nebo součástí z pryže je třeba nejdříve odstranit nečistoty v podobě povrchových filmů, separátorů forem nebo vulkanizačních vrstev. Pro plasty se jako účinná abrasiva ukázaly litina nebo oxid hliníku. Povrchy z pryže mohou být vyčištěny rozpouštědly nebo obroušením. [4]

Vlivem drsnosti povrchu na pevnost lepených spojů se zabýval Müller et al. [20]. Z výsledků vyplývá, že správná volba způsobu přípravy povrchu adherendu je důležitým faktorem ovlivňujícím pevnost lepených spojů. Výzkum se zabýval vlivem velikosti částic používaných při povrchové úpravě tryskáním před lepením. Při hodnocení pevnosti smyku v tahu lepených spojů tuhých adherendů, tvořených ocelí S235J0, pevnost lepeného spoje vykazovala větší hodnotu o 24 % při optimální úpravě oproti úpravě nevhodné. [20]

Naopak v některých případech lepení není vždy nutné provádět mechanickou úpravu lepených materiálů. To potvrdil i Müller et al. [19] při výzkumu spojování slitiny AlCu4Mg pomocí technologie lepení dvousložkovým epoxidovým lepidlem. Výsledky provedených experimentů potvrdily závěry podniků, které mají zavedenou technologii lepení, o případné nadbytečnosti mechanické úpravy lepeného povrchu. Výsledky prokázaly, že je možné při spojování některých slitin vynechat technologii povrchové úpravy adherendů a tím sekundárně snížit výrobní náklady. [19]

3.5.3 Odmašťování a chemická příprava povrchu adherendu

Vždy je nutné povrch před lepením odmastit. Ve strojírenské výrobě přicházejí díly k lepení už předběžně odmaštěny. Předchozí dílenské zpracování si takové odmaštění vynucuje. To znamená, že díly jsou zbaveny podstatné části konzervačních tuků, ale stále jsou ještě značně zamaštěny. K čištění a odmašťování se používá mnoha technologií, které se liší ve způsobu provedení a v druhu použité chemické látky. Neexistuje univerzální postup přípravy povrchu a vždy je nutné přípravu povrchu volit dle specifických vlastností materiálu.

Pro odmašťování kovů se používají technický aceton, speciální odmašťovadla, trichlóretylén, éter, toluen. Nesmí se používat benzin a laková rozpouštědla. S celkem dobrými výsledky lze použít i běžný denaturovaný etylalkohol (líh), který je šetrný k pokožce a z ekologického hlediska patří k přijatelnějším rozpouštědlům. [8] Alkalické odmašťovací lázně bývají většinou pro zvětšení účinnosti zahřívány na teplotu 70 až 95° C. Obvykle lázeň obsahuje alkalické soli a mýdla, detergent a povrchově aktivní látky, které někdy detergent nahrazují. Z alkalických solí je nejobvyklejší metakřemičitan sodný, fluorokřemičitan sodný nebo tetraboritan sodný. Pokud obsahují odmašťovací lázně více než 2 % žíravých alkálií, nelze je použít pro slitiny s větším obsahem zinku. Lázně mají být dobře míchány, doba odmašťování ponorem obvykle bývá v rozmezí 5 až 15 minut.

Hliník a jeho slitiny je nutné pro dosažení vysoké pevnosti před lepením chemicky upravit. V průmyslu se užívá piklování (moření v kyselině chromsírové), v domácích podmínkách lze vystačit s mořením ve 20% roztoku sodného louhu (NaOH). Před mořením se musí povrch zdrsnit a odmastit, po moření důkladně omýt teplou vodou, dobře usušit a znovu odmastit.

U barevných kovů a jejich slitin postupujeme jako u konstrukční oceli, dosahované pevnosti spojů však bývají nižší (nejnižší jsou u zinkových slitin). [3, 8]

3.5.4 Primery

Primery neboli „zprostředkovatelé adheze“ slouží k uspořádání molekul lepidla a k dosažení vhodnějšího povrchu k lepení, nepodporují však vytvrzení lepidla a neexistuje žádný univerzální primer pro všechna lepidla. Funkce primerů je zaměřena výhradně na adhezní složku pevnosti lepeného spoje. Z praxe je známo, že porucha dobrého konstrukčního lepeného spoje kovu je lokalizována převážně do kohezní zóny, popřípadě postihuje lepený adherend. Primery se zejména používají tam, kde jsou potíže s dosažením dobré adhezní pevnosti spojů. Primery obsahují obvykle v rozpouštědle rozptýlené chemické látky. Při jejich používání se roztok nanáší na povrch materiálu štětcem nebo nástřikem. Nosný materiál, např. ředidlo se pak nechá odpařit a zanechá na povrchu jen aktivní látky. V závislosti na druhu primeru může být povrch připraven k lepení třeba okamžitě jako v případě polyolefinových primerů pro kyanoakryláty. Povrchové primery všeobecně zlepšují vhodnost lepení tím, že působí jako chemický můstek mezi materiálem a lepidlem. Je příznačné, že reaktivní látky v nich jsou multifunkční, přičemž jedna soustava aktivních skupin bude reagovat především s povrchem a druhá soustava zvýší afinitu (schopnost chemicky se slučovat s jinými látkami nebo částicemi) k lepidlu. [3, 4]

3.5.5 Vliv teploty, vlhkosti a tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje

Mezi důležité aspekty ovlivňující degradaci, která je spojena se změnou vlastností sendvičových materiálů, patří teplota a vlhkost. Shalas [21] provedl experimenty zaměřující se na vliv vlhkosti a teploty na lepené spoje. Lepené spoje vystavil 100% relativní vlhkosti a následně provedl porovnání „suchých a mokrých“ spojů. Ze získaných výsledků je patrné, že závislost pevnosti spoje na teplotě je shodná pro suché i mokré spoje s tím, že suché spoje vykazovaly vyšší pevnosti. S rostoucí teplotou se v obou případech snižovala pevnost lepeného spoje. [21]

Vlivem teploty na dobu vytvrzování a na výslednou pevnost lepeného spoje se zabýval i Müller [22]. Pro hodnocení vlivu teploty bylo použito dvousložkové epoxidové lepidlo, které bylo vytvrzováno za různých teplot. Z naměřených hodnot je patrné, že se zvyšující se teplotou se urychluje proces vytvrzování a maximální pevnosti se dosahuje v kratším intervalu než při vytvrzování při teplotách nižších. Zde je potřebné dodat, že každé lepidlo má různý tepelný rozsah použitelnosti. Při vytvrzování některých lepidel za vyšších teplot by

nemuselo dojít vůbec k vytvrzení, nebo vlivem teploty by v lepidle došlo k chemickým změnám, což by mohlo vést ke snížení výsledné trvanlivosti a pevnosti lepidla. [22]

Se zvýšenou vlhkostí je také úzce spojen vznik koroze na povrchu adherendu a v blízkosti lepeného spoje. Messler [9] došel k závěru, že koroze adherendu nebo koroze na rozhraní lepidlo – adherend ve většině případů vede k degradaci spojujících sil a následné destrukci lepeného spoje.

Vlivem tloušťky lepidla na pevnost lepeného spoje se zabýval Brožek [23]. Z výsledků provedených zkoušek vyplývá, že při použití různých lepidel nelze formulovat obecně platný pokyn, týkající se optimální tloušťky vrstvy lepidla z hlediska pevnosti lepeného spoje. Závislosti pevnosti spoje na tloušťce vrstvy lepidla jsou pro jednotlivá lepidla rozdílná. [23]

3.6 Výroba sendvičových materiálů

Existuje více způsobů výroby sendvičových materiálů. Různé metody výroby se liší podle konečného využití sendvičů v aplikační oblasti. Níže jsou uvedeny obvyklé způsoby výroby sendvičových materiálů. Každá technologie výroby má svoje specifika a její vhodnost určuje počet vyráběných kusů a konečné použití sendvičového materiálu.

3.6.1 Sendvičové materiály vyráběné injekčním vstřikováním

Metoda spočívá v injekčním vstřikování reakční směsi do předem připraveného panelu uzavřeného v lisu (tzv. metoda in situ). Panely jsou tvořeny potahy z plechů a laminátů o přesných rozměrech a po obvodě jsou uzavřeny tepelně málo vodivým materiálem (např. tvrzený papír, pertinax apod.). Panel je uzavřen ve vyhřívaném lise a vtokovým otvorem je pomocí vysokotlakého vypěňovacího stroje plněn přesným množstvím výplňové směsi. Poté se jednotlivé panely k sobě spojují na potřebnou délku a dutiny ve spojích se následně dopěňují speciálním zařízením. Výhodou tohoto postupu je jednoduchá výroba pro větší série. Mezi nevýhody lze zařadit větší pracnost oproti jiným metodám, vznik tepelných můstků a s tím související horší tepelně izolační vlastnosti izolačních materiálů a nerovnoměrné rozložení hmotnosti. [14]

3.6.2 Technologie mokré v mokré

Vzhledem k tomu, že některé výplňové materiály (polyuretany) mají poměrně špatnou přilnavost k laminátu, není vhodné používat technologii injekčním vstřikováním. Vlivem této

malé afinity a vlivem tepelné roztažnosti laminátu dochází k odtrhávání od výplně a tím k destrukci sendvičové konstrukce. Pro eliminaci těchto negativních vlastností se celoplastové sendvičové panely vyrábějí metodou mokré v mokré. Principem je, že předem připravené jádro z nařezaných výplňových desek a vložených výztuh ze skelné tkaniny se následně oboustranně přelaminuje. Zjednodušeně lze technologický postup výroby popsat následovně. Na dva vyčištěné potahy tvořené laminátem nebo plechem se nastříká ochranná vrstva např. gelcoat (povrchová vrstva odolná proti mechanickému poškození a povětrnostním vlivům). Jeden potah tvoří dno kazety, do které se vloží vrstva tkaniny a pryskyřice. Ještě do mokré pryskyřice se naskládají vrstvy z výplňového materiálu, výztuže a celý postup se opakuje - pryskyřice, tkanina, pryskyřice (mokré v mokré). Po naskládání jednotlivých vrstev se sestavený panel uzavře do lisu, kde pomocí tepla nebo ultrafialového světla dojde k vytvrzení pryskyřice. Výhodou této metody je, že výsledný sendvičový panel je prakticky celoplastový s minimalizací tepelných můstků a vzniká velice tuhá lepená konstrukce. Jedná se o nákladnou technologii ve srovnání s ostatními a v některých případech může být zdravotně i hygienicky problematická. Při nástřiku ochranných vrstev a nanášení polyesterové pryskyřice se do ovzduší dostává styren, který může být zdraví škodlivý. [14]

3.6.3 Sendvičové materiály vyráběné lepením v lisech

Mezi nejrozšířenější metody výroby sendvičových materiálů patří lepení v lisech. Metoda spočívá v postupném skládání jednotlivých vrstev sendviče na sebe. Na povrchy potahových materiálů mohou být nanесeny primery, které zlepšují adhezi povrchu. Velmi často se používají polyuretanová lepidla, která mají vynikající adhezi jak k laminátům, plechům, překližce nebo sádrokartonu, tak i k výplním z pěnových tepelně izolačních materiálů. Nanášení lepidla se provádí pomocí stěrek, nanášecích válečků nebo nástřikem. V místech, kde dochází k velkému namáhání sendvičů, je možno umístit dřevěné, laminátové nebo kovové výztuhy pro zvýšení tuhosti lepené konstrukce. Po sestavení sendvičového panelu se sendvič přesune do lisu. Pro větší efektivnost je možné v lise lepit najednou více vrstev sendvičových panelů, které jsou vždy proloženy např. dřevěnými deskami. Mezi nejrozšířenější technologie patří lepení ve vakuových lisech. Při použití vakuových lisů je potřeba vyvodit podtlak 35 – 40 kPa a čas vytvrzení polyuretanových lepidel je cca 200 minut. Po vytvrzení lepidla se dále sendvičové panely upravují a formátují na přesné rozměry. Výhodou této metody jsou malé náklady do technologie, minimalizace tepelných mostů a při lepení několika panelů najednou vysoká produktivita výroby. Jako nevýhodu lze

uvést nutnost přesného opracování povrchu výplňových materiálů, protože každá taková nerovnost je na výsledném povrchu materiálu vidět. [14]

3.7 Aplikace lepidel

Kvalita lepidla má zásadní vliv na kvalitu a provozuschopnost sendvičových materiálů. Výběr vhodných výrobních technologií musí vzít v úvahu faktory, jako jsou např. typ a velikost sendvičového panelu, počet vyráběných kusů, velikost produkce, strojní a nástrojovou vybavenost a investiční náklady spojené se zavedením technologie a v neposlední řadě ohleduplnost na životní prostředí. [18]

Správné množství lepidla se musí určit ze základní testovací série. Pro tyto případy jsou vyrobeny sendvičové materiály o velikosti 0,25 až 0,5 m². Za použití navrhované výrobní metody se aplikuje zvyšující se množství lepidla (např. 100, 150, 200 a 250 g·m⁻²) na lepené plochy a následně se na vyrobených sendvičových panelech provede zatížení až do destrukce materiálu. [18]

Aplikace lepidel se při výrobě sendvičových materiálů může provádět jak manuálně, tak i strojně. V případě ruční aplikace se optimální množství lepidla nanáší pomocí ručních válečků, stěrek nebo dalších nástrojů přímo na plochy, které mají být slepeny dohromady. V tomto případě je nástrojem pohybováno konstantní rychlostí po povrchu lepených materiálů směrem, kde je vyžadována vrstva lepidla. Před spojením materiálů je nutné se ujistit, že celá lepená plocha je pokryta souvislou vrstvou lepidla. [18]

V případě automatické aplikace je lepidlo nanášeno pomocí trysky z robotického ramene nebo pomocí několika trysek řazených paralelně vedle sebe. Manuální aplikací může být během 15 minut lepidlem pokryta plocha 15 m². S využitím automatického nanášení lepidla může být stejná plocha pokryta lepidlem během 3 minut. Třetí metodou nanášení lepidla je technologie pomocí nanášecích válců. Rotační nanášecí válce jsou částečně ponořeny do lázně, kde je lepidlo, při rotaci na válci zůstává tenký film lepidla, který je následně přenesen na lepené plochy. Při použití vícesložkových lepidel dochází nejdříve k mísení jednotlivých složek lepidla. Při použití těchto lepidel by doba zpracovatelnosti měla být delší než 45 minut. Při kontinuální výrobě a použití více komponentních lepidel se musí zajistit, aby vytvrzování lepidla neprobíhalo v mísící lázni. Mísící zařízení se musí po použití vždy pomocí proplachování udržovat čisté. Trysky u zařízení pro jednosložková lepidla se musí chránit proti vlhkosti pomocí olejů a tuků. [18]

3.7.1 Aplikace reaktivních tavných lepidel

Reaktivní tavné lepidlo je kapalina s nízkou viskozitou při teplotě 120 až 160 °C. Tato lepidla jsou nejdříve rozemleta v nádrži nebo jsou přímo podávána z kontejneru pomocí bubnového dopravníku. Tato lepidla jsou nanášena v tenké vrstvě specifické pro jejich aplikaci pomocí nanášecích válců nebo pomocí stříkacích trysek. Při použití nanášecích válců jde lepený materiál pod nanášecím válcem, v případě oboustranného lepení je materiál protahován mezi dvěma válci a na materiál je nanášena vrstva lepidla. Při použití trysek se používají vířivé trysky, které vykonávají rotační pohyb a které zajišťují rovnoměrný nástřik tavného lepidla na povrch adherendu. K nástřiku se používá mnoho typů trysek v závislosti na šířce lepeného materiálu. Vířivé trysky se používají pro materiály, které jsou citlivé na zvýšení teploty, protože nedochází k přímému kontaktu trysky a materiálu. Při použití nanášecích válců je doba kontaktu mezi válci a lepeným povrchem krátká a objem horkého lepidla je tak malý, aby nedošlo k případnému poškození lepeného materiálu. [18]

3.7.2 Lepení sendvičových materiálů s pěnovými výplňovými materiály

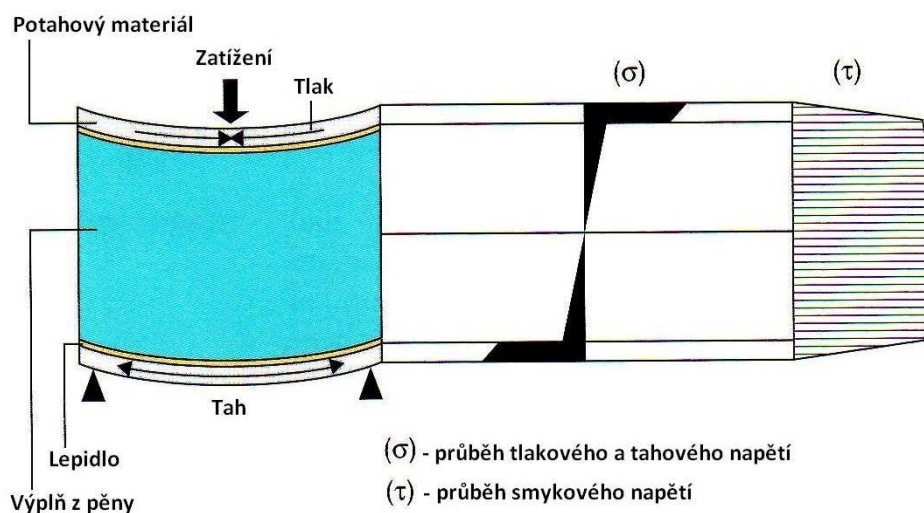
Při lepení pěnových materiálů jakožto výplňových materiálů sendvičů se setkáváme s obtížemi spojenými s garancí kvality lepeného spoje. Na vině je především jejich otevřená struktura. Protože pěny jsou formátovány řezáním, jsou dutiny zpravidla otevřené a velmi účinně vstřebávají jakékoliv tekutiny, sají samozřejmě i lepidlo. Účinnou metodou lepení je proto nástřik lepidla, a to nikoliv kolmo k povrchu, ale šikmo pod úhlem 30 – 45°. V případě lepení nábytku a matrací jsou velmi vhodná a na práci nenáročná kaučuková lepidla s obsahem organických rozpouštědel. Lepidlo je formulováno tak, aby nenarušovalo strukturu pěny, nezpůsobovalo její nabobtnání, neobsahovalo škodlivé aromatické uhlovodíky a aby měl lepený spoj dlouhou životnost při zachování měkkosti. Nanáší se stříkací pistolí s horní nádobkou a průměrem trysek od 1,5 do 2,5 mm. Tlak vzduchu je doporučen okolo 0,4 - 0,5 MPa. Šikmý nástřik lepidla zajistí, že lepidlo v podobě kapek ulpí na povrchu pěny a nezateče do otevřených pórů. Je vhodné, aby lepidlo mělo velmi rychlý nástup lepivosti, což umožní ihned po nastříkání lepit tvarované výrobky z pěny. Při použití kaučukových lepidel je potřeba vzít v úvahu fakt, že teplotní odolnost spoje leží v oblasti kolem 50 až 60 °C, a nehodí se proto pro tepelné izolace. [24]

Dalším řešením, jak lepit pěnové materiály k sobě nebo ke dřevu, textiliím i některým nesavým materiálům, je použití vodou ředitelných dvousložkových lepidel. Používají se

speciální lepidla pro tzv. sružený nástřik lepidla a aktivátoru. Aktivátor je veden do pistole samostatným přívodem a vstřikuje se do proudu lepidla až za tryskou. Aktivátor zajistí okamžitou kontaktní lepidlost vodou ředitelného lepidla. Není možné aktivátor zamíchat do lepidla předem, protože by došlo ke znehodnocení (sražení) lepidla. Tato lepidla mají ekologické výhody (žádné těkavé organické látky) a jsou při aplikaci nehořlavá. Nejlepší výsledky vykazují při lepení savých materiálů, protože voda obsažená v lepidle má lepší možnost úniku z místa spoje. Vodou ředitelná lepidla zajistí teplotní odolnost až do 80 °C, některé typy ještě vyšší. [24]

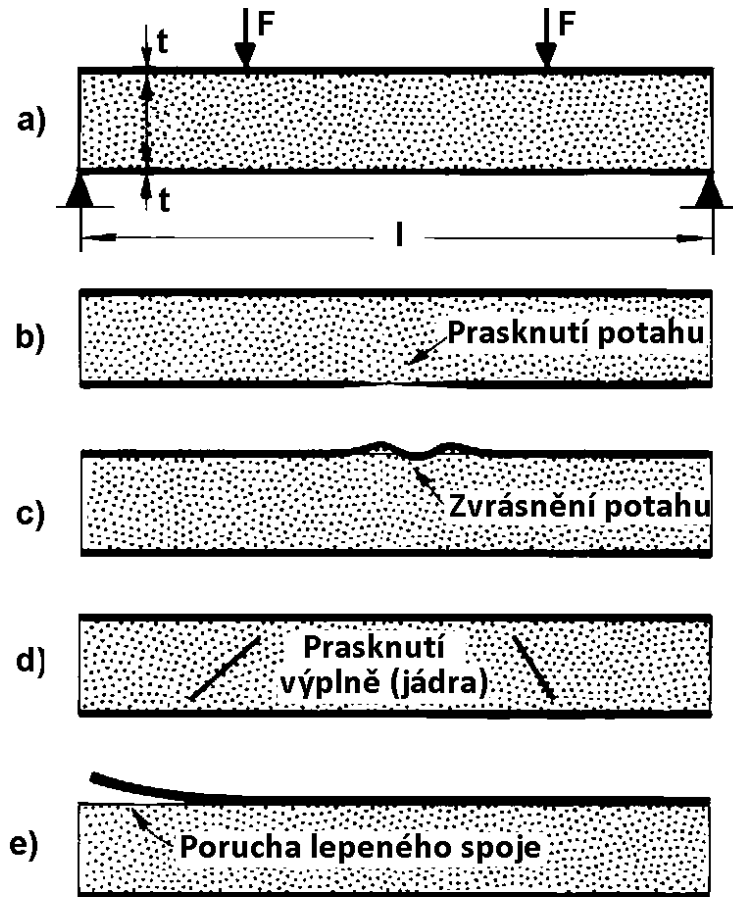
3.8 Konstrukce, druhy namáhání a průběh napětí

Sendvičové materiály se obvykle skládají ze dvou potahů a výplně, ale mohou obsahovat i další vrstvy v podobě výztuh nebo ochranných prvků. Lepené konstrukce tohoto typu mají výborné mechanické vlastnosti, potahy absorbují tahové a tlakové síly, zatímco výplně odolávají smyku. To odpovídá zatížení dvojitého T-nosníku (Obr. 3.6). Konstrukce sendvičového materiálu umožňuje kombinovat rozdílné materiály. Výplně tvořené pěnovými materiály mají obvykle výborné izolační vlastnosti, naopak výplně tvořené voštinovým jádrem jsou schopny odolávat vysokým torzním (kroučícím) namáháním. Jak již z aplikace sendvičů vyplývá, nejčastěji jsou namáhány na tah, tlak, ohyb a vzpěr. Při konstrukci sendvičových panelů je nutné brát v úvahu mnoho faktorů. Mezi hlavní kriteria patří velikost a typ zatížení, kterému bude sendvičový panel vystaven. Při konstrukci se musí brát zřetel na to, zda bude sendvičový materiál vystaven povětrnostním vlivům, zda bude na materiál působit chladicí zařízení a v neposlední řadě se musí počítat s náklady na výrobu sendvičového materiálu. [18]



Obr. 3.6 Průběh napětí v sendvičovém materiálu. Upraveno z [18]

Ve většině případů by sendvičové materiály měly mít minimální poddajnost (průhyb/jednotka zatížení) a hmotnost. Obr. 3.7 ilustruje různé druhy poruch sendvičového materiálu při čtyřbodém namáhání. Pokud lepený spoj mezi výplní a potahem má dobrou pevnost, dojde při přesáhnutí meze kluzu nebo pevnosti k porušení tahové nebo tlakové strany potahového materiálu. Vlivem vysokého napětí ve výplni může dojít k jeho porušení smykem. Porušení materiálu se může objevit i v lepeném spoji mezi výplní a potahem. Může dojít také k současné kombinaci několika různých druhů porušení. [1]



Obr. 3.7 Typy porušení sendvičového materiálu. Upraveno z [11]

Gibson a Ashby [25] zkoumali mechanické vlastnosti sendvičových materiálů v přírodě a stanovili deformaci v ohybu pro sendvičové materiály jako:

$$\left(\frac{\delta}{F}\right) = \frac{2}{B_1 E_p b \left(\frac{t_p}{l}\right) \left(\frac{t_v}{l}\right)^2} + \frac{1}{B_2 b \left(\frac{t_v}{l}\right) G_c^*} \quad (1)$$

kde: δ - deformace v ohybu,

F - zatížení,

B_1 a B_2 - konstanty, které závisí na geometrii zatížení (spojité zatížení, vetknutý nosník, třibodý ohyb, ...)

b - šířka materiálu

E_p - modul pružnosti v tahu potahového materiálu

t_p - tloušťka potahu

t_v - tloušťka výplně

G_c - modul pružnosti ve smyku materiálu výplně

l - délka tělesa

První člen rovnice (1) odpovídá poddajnosti (únosnosti) potahového materiálu, druhý člen odpovídá únosnosti výplňového materiálu. [25]

4 APLIKACE SENDVIČOVÝCH MATERIÁLŮ V PRŮMYSLOVÝCH OBLASTECH

Sendvičové materiály a konstrukce typu sendvič umožňují velkou variabilitu a možnost volby materiálů tvořících sendviče. Tato vlastnost předurčuje využití sendvičových materiálů v mnoha rozdílných aplikačních oblastech. V následujících kapitolách (4.1 až 4.4) jsou uvedeny příklady použití sendvičových materiálů pro konkrétní využití.

4.1 Stavebnictví

Při použití vhodné konstrukce s výztužemi a vrstvami z dřevěných materiálů odpadá nutnost stavět nosné konstrukce a z již takto předem zhotovených panelů je možné přímo sestavovat stavby. Tento typ panelů se používá pro stavbu vrátnic, občerstvovacích stánků, domků se zabezpečovacím zařízením železničních přejezdů nebo jako mrazírenské boxy, které mohou stát samostatně nebo se montovat do již postavených budov. [14] Experimentální část se převážně věnuje tomuto typu sendvičových materiálů.

Sendvičové panely pro stavbu budov a opláštění průmyslových staveb se vyrábějí ve formě střešních a stěnových panelů, které jsou jednoduchým způsobem připevněny k nosné betonové nebo ocelové skeletové konstrukci. Jádrem tvoří polyuretanová pěna nebo minerální vata a panely jsou potaženy ocelovými plechy. Krycí vrstvy jsou vyráběny z ocelových pozinkovaných plechů navíc potažených nátěry pro zvýšení odolnosti proti klimatickým jevům a pro zvýšení hygienických nároků v případě použití pro potravinářské účely. Po obvodu jsou stavební panely opatřeny těsnicí páskou a zámky pro sestavení a napojení jednotlivých dílů k sobě. [26]

4.2 Dopravní prostředky

Sendvičové materiály s voštinovým jádrem jsou využívány při stavbě kolejových i kolových vozů hromadné dopravy, autobusů a sportovních automobilů ve formě dveří, podlah, přepážek, spoilerů atd.

Voštinová jádra z hliníkové voštiny byla použita pro sendvičové panely pro nízkopodlažní tramvaj Astra, kde byla požadována vysoká tuhost při nízké hmotnosti. V tomto případě byla zvolena klasická koncepce duralových potahů přilepených k hliníkové voštině fóliovým lepidlem. Panel kryje výsuvnou plošinu, která tvoří bezbariérový vstup do tramvaje a tím umožňuje nájezd invalidního vozíku přímo z nástupiště. [27]

Tepelně izolační sendviče se používají při výrobě izotermických nástaveb na nákladní i dodávkové automobily. Z těchto panelů mohou být zhotoveny celé návěsy opatřené chladícím agregátem nebo se mohou použít jako dodatečná izolace do nákladního prostoru dodávkových automobilů. [14]

4.3 Letectví

Letecký průmysl je v mnoha směrech průkopníkem v používání nových materiálů a nových technologií. K nim patří i sendviče s voštinovým jádrem, prepregy pro náročné kompozitní konstrukce. Prepregy jsou polotovary k výrobě vláknových kompozitů, jejichž hlavní složkou je výztuž předimpregnovaná částečně vytvrzenými pryskyřicemi. [28] Některé typy těchto výrobků byly vyvinuty přímo pro použití v leteckém průmyslu a pro toto použití byly náročně testovány a schváleny. Na dopravních letadlech se používá sendvičových dílů, jako jsou kryty podvozku, části dveří či motorových gondol, přepážky, apod. Na letadle L610 (výrobce Let Kunovice) bylo předepsáno kolem 300 m² lepených ploch s rozsáhlým použitím sendvičových materiálů s voštinovým jádrem a kompozitních dílů vyrobených z prepregů. [29] Na vojenském proudovém cvičném letounu L39 jsou panely z hliníkových voštin. Tyto komponenty byly použity na křídélkách, výškovkách i směrovce a také na sestavě přívodu vzduchu k motoru. [29] Firma Letov-ATG vyrábí kryt hlavního podvozku letounu Aero Ae-270. Jedná se o sendvič tvořený kompozitními potahy s uhlíkovými vlákny a pěnovým jádrem. Při výrobě je nejprve obrobena pěnové jádro na NC stroji a následně jsou vlepeny duralové vložky v místech závěsů. Pak je pěnové jádro obaleno několika vrstvami uhlíkového prepregu. Díl je vytvrzen v jedné operaci v autoklávu. [27]

Konstrukce ultralehkých letounů se neobejde bez použití sendvičových materiálů. V současné době se většina těchto letounů vyrábí jako celokompozitní nebo s vysokým podílem kompozitních a sendvičových dílů. K jejich výrobě se používají klasické laminační metody, postupně se však prosazuje výroba kompozitů z prepregů. [29]

4.4 Ostatní aplikace sendvičových materiálů

Sendviče nacházejí také uplatnění při konstrukci zdravotnických polohovatelných lůžek, která umožňují rentgenovat pacienta přímo na lůžku. Lůžko je tvořeno rámem, ke kterému jsou přišroubovány sendvičové desky. Hlavním požadavkem byl nízký koeficient útlumu pro rentgenové záření, při dostatečné ohybové tuhosti a pevnosti a zároveň při nízké hmotnosti. Tyto nároky splňují pouze kompozitní potahy s uhlíkovými vlákny. Jako jádro

byla zvolena pěna, protože má homogenní strukturu a relativně nízký koeficient útlumu pro rentgenové záření. Výsledkem je dostatečně tuhá a pevná sendvičová deska, která umožňuje rentgenovat pacienta menšími dávkami RTG záření při zachování kvality snímků. [27]

Uvádět zde všechny nebo alespoň většinu použití sendvičových materiálů by bylo na samostatnou publikaci. V hojné míře se používají při výrobě sportovních pomůcek, obuvi, nábytku, oděvů, matrací a mnoha dalších produktů.

5 EXPERIMENTÁLNÍ A METODICKÝ POSTUP, ZVOLENÉ MATERIÁLY A METODY VYHODNOCENÍ

Pro zkoumání a hodnocení vlastností materiálů existuje celá řada metod a zkoušek. Obecně lze zkoušky rozdělit na:

Zkoušky destruktivní – při nichž dochází k destrukci zkoušeného materiálu.

Zkoušky nedestruktivní – při nichž nedochází k destrukci zkoušeného materiálu.

Při hodnocení vlastností sendvičových materiálů je nutné využít zkoušky destruktivní i nedestruktivní. Destruktivní zkoušky popisují mechanické vlastnosti sendvičových materiálů (ohybové a tlakové vlastnosti). Mechanické vlastnosti materiálů odrážejí jejich chování při působení statických nebo dynamických sil. Pokud deformujeme zkušební těleso, postupně dochází k odezvě systému v podobě síly. Deformace znamená změnu tvaru materiálu vlivem mechanického namáhání. Dle charakteru deformace se jedná o deformaci pružnou nebo trvalou. [15] Mezi nedestruktivní zkoušky řadíme například metody hodnocení tepelných vlastností sendvičových materiálů (tepelná povrchová vodivost, součinitel prostupu tepla). Experimentální zkoušky jsou zaměřeny na dílčí hodnocení jednotlivých materiálů, ze kterých se sendvičové materiály vyrábějí (potahové a výplňové materiály, lepidla) a také na zkoušky sendvičových materiálů jako celku. Spojením těchto zkoušek a použitím vhodných statistických metod lze z výsledků zkoušek určit nebo vyloučit použití sendvičových materiálů v aplikační oblasti a kvantifikovat technické parametry. Následující kapitoly popisují vybrané experimentální zkoušky aplikované na sendvičové materiály.

5.1 Použité materiály při experimentu

Hodnocení vybraných parametrů bylo zaměřeno zejména na používané materiály a produkty firmy PSP izoterm, která se dlouhodobě zabývá výrobou tepelně izolačních materiálů s výplní tvořenou především tvrdou polyuretanovou pěnou. Tyto materiály se používají pro výrobu dodatečných izolací a nástaveb pro užitkové automobily a dále pro stavbu malých objektů jako jsou vrátnice či prodejní stánky. Provedené experimenty s těmito materiály umožní výrobcům kvantifikovat vlastnosti svých produktů. Při vybraných experimentech bylo využito také sendvičových materiálů od jiných výrobců, jejichž konstrukce, vlastnosti i způsob použití se liší.

5.1.1 Lepidlo

Pro hodnocení vhodnosti druhu lepidla aplikovaného při výrobě tepelně izolačního sendvičového materiálu s výplní tvořenou tvrdou polyuretanovou pěnou a potahem tvořeným polyesterovým laminátem bylo provedeno úvodní měření pro základní posouzení používaných lepidel. Pro experiment byla vybrána dvě lepidla od různých výrobců, kteří jsou významnými zástupci produkce lepidel v tomto oboru (Sika CZ, H.B. Fuller). U těchto lepidel byla hodnocena smyková pevnost lepeného spoje přeplátovaných tuhých adherendů (hliník a korozivzdorná ocel s odmaštěným a tryskaným povrchem) a kohezní pevnost samotného lepidla. Metodika provedených experimentů je uvedena dále. Z naměřených výsledků lepidlo od výrobce Sika CZ vykazovalo ve všech případech provedených experimentů vyšší pevnostní hodnoty a jeho cena je také oproti konkurenci o 1/3 nižší. Z těchto poznatků a ze skutečnosti, že výrobce do současné doby při výrobě používal lepidlo společnosti Sika CZ, bylo pro následující experimenty použito výhradně lepidlo tohoto výrobce.

Konkrétně se jedná o lepidlo SikaForce – 7723 L175. Jedná se o dvoukomponentní polyuretanové lepidlo, které je tvořeno základní pryskyřicí na bázi polyolu s plnivý a tvrdidlem na bázi izokyanátů. Mezi přednosti produktu lze zařadit dlouhý otevřený čas, který není ovlivněn vzdušnou vlhkostí a pružnost lepidla. Lepidlo je určeno pro lepení sendvičových konstrukcí, např. panelů, z hliníku, kompozitních plastů (lamináty), oceli, dřeva aj. na polyuretanové a polystyrenové pěny a minerální vlny případně pro lepení jiných strukturálních konstrukcí. [30]

5.1.2 Potahové materiály

Lamináty

Lamináty jsou druh kompozitního materiálu, který se skládá z několika vrstev vláken nebo rohoží, které jsou k sobě spojeny pryskyřicí a tvoří tak jeden celek. Jedná se o lamináty různých tloušťek s tkanými skelnými rohožemi spojenými pomocí polyesterové pryskyřice. Povrch laminátu je ošetřen technologií Gelcoat, která zajišťuje zvýšenou odolnost proti agresivním prostředím a mechanickému poškození. Výrobce Optiplan GmbH. [31]

Překližky

Překližky jsou kompozitní desky vyrobené ze tří nebo více dých spojených k sobě pomocí lepidla. Při experimentu jsou použity překližky tvořené březovými dýhami o tloušťce

1,4 mm lepené fenolickou pryskyřicí odolné proti povětrnostním vlivům, vlhkosti a varu. Výrobce FINNFOREST CZ s.r.o. [32]

Hliníkový plech

Hliníkový plech tloušťky 3 mm, který odpovídá normě ČSN 42 4005.21 (EN AW 1050A H24) a jehož chemické označení je Al 99,5. Dodavatel Alupa s.r.o. [33]

Hliníkový plech tloušťky 1,2 mm oboustranně lakovaný. Z jedné strany ochranná vrstva, druhá strana upravena pro lepení. Dodavatel Metal Trade Comax a.s. [34]

Pozinkovaný plech

Pozinkovaný plech tloušťky 1,5 mm s jednostranným ochranným lakováním. Dodavatel Metal Trade Comax a.s. [34]

Korozivzdorný plech

Korozivzdorný plech tloušťky 1,5 mm z materiálu X5CrNi18-10, který je vhodný pro použití v potravinářském a chemickém průmyslu. Dodavatel Matezex s.r.o. [35]

5.1.3 Výplňové materiály

Polyuretanová pěna

Polyuretanová pěna použitá při výrobě zkušebních těles je dodávána v blocích a následně zpracována na požadované rozměry na CNC pilách. Polyuretanová pěna je vyrobena mísením polyolu a isokyanátu bez použití freonu a je dodávána v různých hustotách a třídách hořlavosti. Výrobce polyuretanových bloků Puren GmbH. [36]

5.1.4 Sendvičové materiály jiných výrobců

Pro experiment byly získány také materiály od jiných výrobců, které se svými vlastnostmi a použitím liší od tepelně izolačních materiálů vyrobených z tvrdé polyuretanové pěny a laminátu. Materiály byly dodány jako velkoformátové panely, které byly následně děleny na požadované rozměry. Základní pojmenování a charakteristika těchto materiálů je uvedena níže.

Styrofoam

Potahový materiál: laminát tloušťky 1,6 mm. Výplňový materiál: Styrofoam. Celková tloušťka 24 mm.

PC voština

Potahový materiál: laminát tloušťky 2 mm. Výplňový materiál: Trojúhelníková polykarbonátová (PC) voština s osou voštin vodorovnou s vrstvami sendvičového materiálu. Celková tloušťka 17 mm.

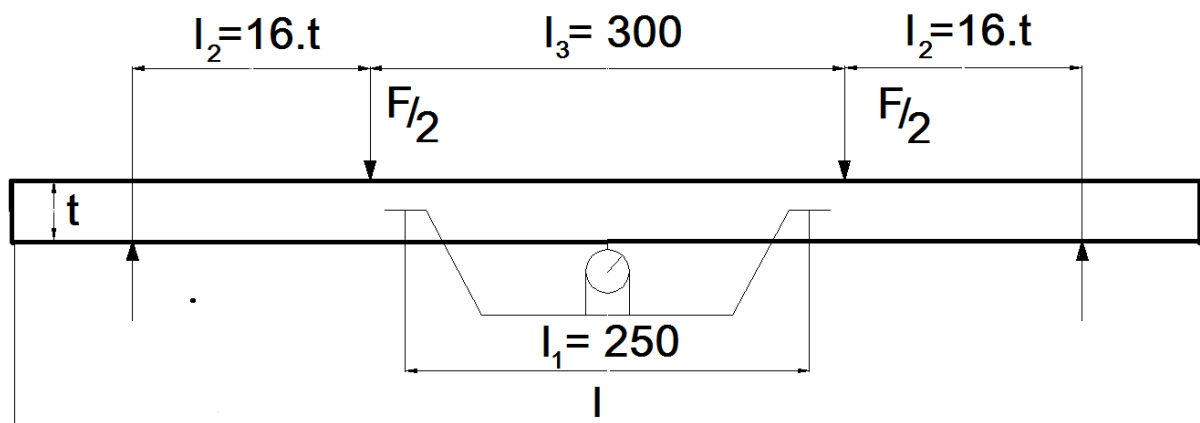
Voština

Potahový materiál: laminát tloušťky 1,3 mm. Výplňový materiál: Šestihránné voštiny s osou kolmou na vrstvy sendviče vypěněné izolační pěnou. Celková tloušťka 18 mm.

5.2 Ohybové vlastnosti

Pro hodnocení ohybových vlastností bylo postupováno dle modifikované normy ČSN EN 789 Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva. Tato norma uvádí zkušební metody a podmínky pro stanovení některých mechanických vlastností průmyslově vyráběných desek na bázi dřeva, jako jsou například OSB desky nebo překližky, které ve zjednodušeném případě také tvoří sendvičový materiál o několika vrstvách.

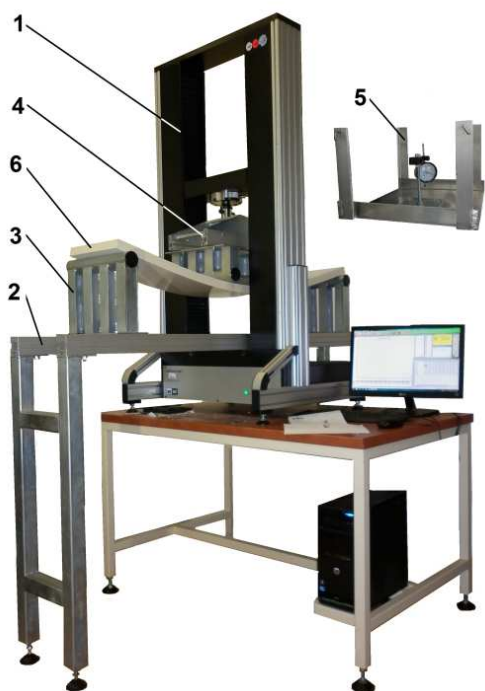
V normě popsaná metoda umožňuje experimentálně získat ohybové vlastnosti materiálu jako jsou modul pružnosti v ohybu, tuhost v ohybu, pevnost a moment únosnosti ohybu. Metoda spočívá v zatěžování symetricky uloženého zkušebního tělesa na dvou podporách pomocí dvou zatěžovacích trnů (čtyřbodý ohyb). Při měření se zaznamenává maximální síla a závislost velikosti zatížení na průhybu v oblasti čistého ohybu. Uspořádání ohybové zkoušky je zobrazeno na Obr. 5.1.



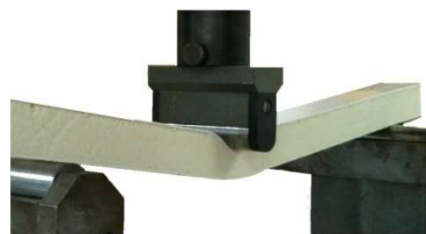
Obr. 5.1 Uspořádání ohybové zkoušky [37]

Zkušební zařízení

Aby bylo možno dané experimenty provést, byl zkonstruován a následně vyroben přípravek umožňující provedení ohybových zkoušek v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské technologie na univerzálním zkušebním stroji LabTest 5.50ST od výrobce Labortech s.r.o. Zkušební zařízení (Obr. 5.2) se skládá z univerzálního zkušebního stroje (1) s výstupem na PC, přípravku (2, 3, 4) umožňující uspořádání ohybové zkoušky dle Obr. 5.1 a zařízení měřící průhyb (5) zkušebního tělesa (6). Přípravek pro uspořádání zkoušky se skládal na podporách uloženého lože (2), na kterém bylo možno měnit rozteč pevných podpor (3). Druhou část tvořil rám s objímkou pro uchycení do pohyblivého příčnicku stroje a dva posuvné zatěžující trny (4). Návrh metody a konstrukce přípravku byl proveden autorem disertační práce.



Obr. 5.2 Zkušební zařízení s přípravkem pro ohyb



Obr. 5.3 Stlačení výplně materiálu při zkoušce ohybem



Obr. 5.4 Podložka mezi zatěžovacím trnem a zkušebním tělesem pro rozložení zatížení

Odlišnosti konstrukce přípravku od normy ČSN EN 789 byly ve velikosti rádiusu zatěžujících trnů a pevných podpor a v jejich uložení s rámem. Z dřívějších experimentálních poznatků, kdy při zatěžování menšími průměry válečků docházelo ke stlačování pěny (Obr. 5.3) a nikoliv k ohybu celého zkušebního tělesa, byl průměr válečků zdvojnásoben z průměru 30 mm na průměr 60 mm, aby se odstranilo toto nežádoucí chování. I přes zvětšení průměru zatěžovacího trnu v některých případech docházelo při měření sendvičových materiálů stále ke stlačování výplně z pěny, z tohoto důvodu byly vyrobeny podložky pod

zatěžovací trny (Obr. 5.4), aby zatížení bylo rozloženo do větší plochy a již nedocházelo k nežádoucímu stlačování výplňového materiálu. Druhou odlišností přípravku byla nikoliv rotační vazba, avšak vazba pevná mezi podporami a rámem. Pro měření průhybu zkušebního tělesa v oblasti čistého ohybu (mezi zatěžujícími trny) bylo zkonstruováno a následně vyrobeno měřicí zařízení opatřené číselníkovým úchylkoměrem a upínacími prvky pro uchycení ke zkušebnímu tělesu Obr. 5.2 (5). Měření probíhalo dle platné normy, ale je nutné uvést, že z důvodu konstrukce přípravku a zařízení pro měření ohybových vlastností pro materiály tloušťky 60 mm nebyl dodržen rozměr l_2 dle normy [37] ($l_2=16t$), ale tento rozměr byl zmenšen na rozměr 775 mm ($l_2^*=13t$).

Zkušební tělesa

Rozměry zkušebních těles vycházely z normy ČSN EN 789. [37] Metoda zkoušení je normou definována pro materiály tloušťky od 15 mm do 25 mm. Tepelně izolační sendvičové materiály se však vyrábějí i v tloušťkách větších, než pro které je metoda normou definována. Délka zkušebního tělesa je v závislosti na jeho tloušťce. Šířka zkušebních těles byla ve všech případech shodná a činila 300 ± 2 mm.

Jednotlivé sendvičové materiály byly vyrobeny v několika variantách a lišily se jak v tloušťce a hustotě výplňové polyuretanové pěny, tak také v provedení, kdy velmi často vyráběná tloušťka sendvičového materiálu 60 mm byla navíc opatřena zpevňující vrstvou ve formě březové překližky tloušťky 4 a 9 mm. Jako potahový materiál byl použit polyesterový laminát tloušťky 1,5 mm.

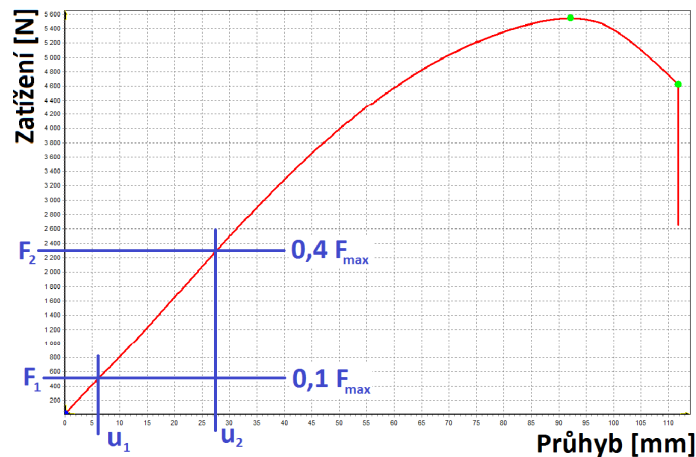
Složení a jednotlivé vrstvy sendvičového materiálu vycházely z výroby tepelně izolačních panelů používaných pro chladírenské a mrazírenské nástavby automobilů a přívěsů a pro stavbu malých objektů. Pro posouzení vhodnosti navržené metody pro zkoušení nejen tepelně izolačních materiálů s výplní tvořenou polyuretanovou pěnou byly experimentálním zkouškám podrobeny také sendvičové materiály odlišných vlastností od různých výrobců. Jejich specifikace je uvedena v kapitole 5.1.4 Sendvičové materiály jiných výrobců. Rozměry a složení zkušebních těles zobrazuje Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Rozměry a složení zkušebních těles pro zkoušku ohybem

Výplň	Potah	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)	Poznámka
PC voština	Laminát tl. 2 mm	17	300	950	$l_2=16t$
Voština	Laminát tl. 1,3 mm	18	300	980	$l_2=16t$
Styrofoam	Laminát tl. 1,6 mm	24	300	1200	$l_2=16t$
PUR 35	LAM	15	300	880	$l_2=16t$
	LAM	25	300	1200	$l_2=16t$
	LAM	35	300	1520	$l_2=16t$
	LAM	60	300	2000	$l_2^*=13t$
	LAM + PR4	60	300	2000	$l_2^*=13t$
	LAM + PR9	60	300	2000	$l_2^*=13t$
PUR 60	LAM	15	300	880	$l_2=16t$
	LAM	25	300	1200	$l_2=16t$
	LAM	35	300	1520	$l_2=16t$
PUR 145	LAM	35	300	1520	$l_2=16t$

Postup měření

Zkušební těleso bylo přeměřeno a umístěno do zkušebního zařízení dle Obr. 5.1 Uspořádání ohybové zkoušky. Rychlost zatěžování byla volena dle normy tak, aby bylo maximálního zatížení dosaženo za 300 ± 120 sekund. V podélné ose zkušebního tělesa bylo upevněno měřicí zařízení s číselníkovým úchylkoměrem zaznamenávajícím průhyb v oblasti konstantního ohybového momentu. Při dosažení zatížení $0,1 F_{\max}$ a $0,4 F_{\max}$ byl z číselníkového úchylkoměru odečten průhyb, který byl následně společně s příslušnou hodnotou zatížení zaznamenán. Na Obr. 5.5 je znázorněn průběh zatížení v závislosti na zvyšujícím se průhybu v oblasti konstantního ohybového momentu při použití lineární regresní přímky. Následně bylo měřicí zařízení odebráno a zkouška pokračovala až do destrukce materiálu. Z naměřených hodnot byl vypočten modul pružnosti v ohybu dle rovnice (2) a dle rovnice (3) byla vypočtena mez pevnosti v ohybu, které byly statisticky vyhodnoceny a graficky zpracovány. Vyhodnocován byl také charakter a místo porušení zkušebního tělesa.



Obr. 5.5 Přírůstek zatížení odpovídající změně průhybu

Modul pružnosti v ohybu zkušební tělesa se vypočítá dle vztahu:

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1) \times l_1^2 \times l_2}{16 \times (u_2 - u_1) \times I} \quad (2)$$

kde: E_m - modul pružnosti v ohybu [MPa],

$F_2 - F_1$ - přírůstek zatížení mezi $0,1 F_{\max}$ a $0,4 F_{\max}$ [N],

$u_2 - u_1$ - přírůstek průhybu odpovídající $F_2 - F_1$ [mm],

l_1 - měřicí základna [mm],

l_2 - vzdálenost mezi vnitřním zatěžovacím bodem a nejbližší podporou [mm],

I - moment setrvačnosti, pro rovná tělesa $\frac{1}{12} \times b \times t^3$ [mm⁴]. [37]

Pevnost v ohybu zkušební tělesa se vypočte ze vztahu:

$$\sigma_o = \frac{F_{\max} \times l_2}{2 \times W} \quad (3)$$

kde: σ_o - pevnost v ohybu [MPa]

F_{\max} - největší dosažené zatížení [N],

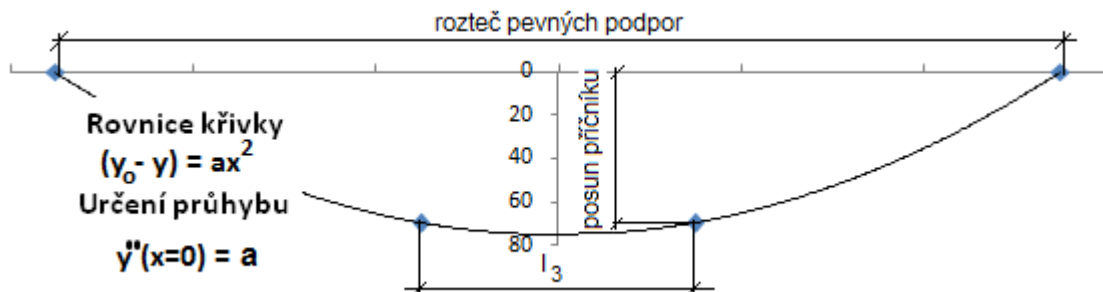
l_2 - vzdálenost mezi vnitřním zatěžovacím bodem a nejbližší podporou [mm],

W - průřezový modul, rovná tělesa $\frac{1}{6} \times b \times t^2$ [mm³]. [37]

Určení a výpočet maximálního průhybu

Z uspořádání zkoušky pro měření ohybových vlastností, které je zobrazeno na Obr. 5.1 je patrné, že určení průhybu uprostřed zkušební tělesa mezi zatěžujícími trny nelze jednoduše změřit posunem příčnicku zatěžovacího stroje. Při maximálním zatížení lze z naměřených dat určit souřadnice čtyř bodů (rozteče podpor a posun příčnicku). Z teorie ohybu lze křivku, která prochází středem tloušťky zkušební tělesa, při deformaci tělesa

popsat rovnicí paraboly ($y=ax^2+bx+c$). Při použití počítačového programu lze známými body proložit křivku paraboly současně s její rovnicí. Při vhodném umístění paraboly do souřadnicového systému a pomocí druhé derivace rovnice paraboly, která určuje její vrchol, lze určit průhyb tělesa při maximálním zatížení, jak je zobrazeno na Obr. 5.6.



Obr. 5.6 Určení průhybu zkušebního tělesa

5.3 Tlakové vlastnosti

Tlakové vlastnosti materiálu byly zjištěny v souladu s normou ČSN EN ISO 844 Tuhé lehčené plasty - Stanovení tlakových vlastností, metodou b) stanovení maximálního napětí v tlaku při 10% relativní deformaci. Pro experiment byly vybrány materiály o různé celkové tloušťce a o různé hustotě výplně z polyuretanové pěny. Jako potahový materiál byl vždy použit polyesterový laminát tloušťky 1,5 mm. Zkouška spočívá v zatěžování tělesa ve tvaru hranolu kolmou tlakovou silou. Následně se vypočte maximální napětí, kterému je zkušební těleso vystaveno. Z naměřených hodnot byla vypočtena pevnost v tlaku dle rovnice (4) a relativní deformace po odlehčení dle rovnice (5) při 10% deformaci.

Pevnost v tlaku při 10% deformaci:

$$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (4)$$

kde: σ_t - pevnost v tlaku [MPa],

F_{max} - maximální dosažená síla [N],

A_0 - původní plocha průřezu zkušebního tělesa [mm²].

Deformace zkušebního tělesa po odlehčení:

$$\epsilon_t = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \times 100 \quad (5)$$

kde: ϵ_t - deformace po odlehčení [%],

h_0 - původní tloušťka zkušebního tělesa [mm],

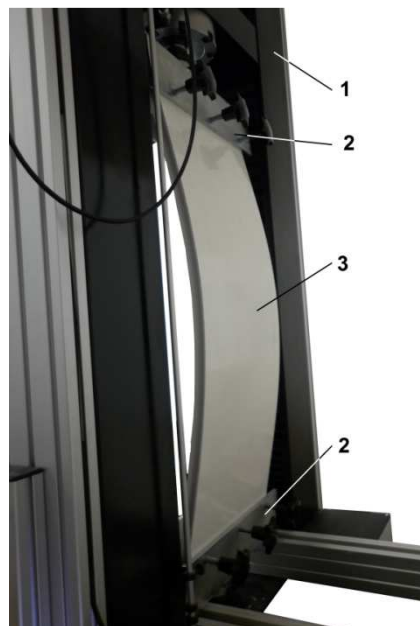
h_1 - tloušťka zkušebního tělesa po odlehčení [mm].

5.4 Zkouška tlakem silou rovnoběžnou s vrstvami sendvičového materiálu (vzpěr)

Při vhodném složení jednotlivých vrstev sendvičového materiálu lze využít jeho samonosnost a při stavbě boxů a objektů odpadá nutnost použití nosné konstrukce. Sendvičový materiál následně tvoří jak izolační, tak nosný prvek konstrukce. Boční stěny nástaveb a budov jsou namáhány tlakem silou rovnoběžnou s vrstvami materiálu (vzpěr). Experiment hodnotící tlakové vlastnosti v ose vrstev materiálu byl zaměřen na prosté hodnocení tlakových vlastností mezi různými typy provedení sendvičových materiálů a k ověření vhodnosti navržené metody a zkonstruovaného přípravku.

Zkušební zařízení

Zkušební zařízení (Obr. 5.7) se skládá z univerzálního zkušebního stroje LabTest 5.50ST (1) s výstupem na PC, přípravku (2) umožňující uspořádání zkoušky tlakem zkušebního tělesa (3). Mezi zkušebním tělesem a upínacím mechanismem byla pevná vazba, charakterizující upevnění sendvičových materiálů v aplikační oblasti. Návrh metody a konstrukce přípravku byl proveden autorem disertační práce.



Obr. 5.7 Zkušební zařízení s přípravkem pro zkoušku na vzpěr

Zkušební tělesa

Rozměry zkušebních těles vycházely z konstrukce zkušebního zařízení a jeho rozměrů. Pro posouzení vlastností byla vyrobena zkušební tělesa o různých variantách konstrukce, zejména se lišily potahovými materiály. Základní rozměr zkušebních těles byl 850x300x35 mm (délka x šířka x tloušťka). Sendvičové materiály s výplní z polyuretanové

pěny byly navíc vyrobeny v šířce 50 mm, celková tloušťka materiálu byla vždy 35 mm. Štíhlost zkušebních těles byla v obou případech shodná a rovnala se hodnotě 79. Pro výrobu zkušebních těles byly použity materiály: polyuretanová pěna hustoty $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (PUR35), polyesterový laminát tloušťky 1,5 mm (LAM), polyesterový laminát tloušťky 2 mm (LAM2), březová překližka tloušťky 4 mm (PR 4) a březová překližka tloušťky 9 mm (PR 9). Příklad označení sendvičového materiálu: LAM-PR9-PUR35 (výplň tvořena polyuretanovou pěnou hustoty $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, dále na obou stranách březová překližka tloušťky 9 mm a potahový materiál je tvořen polyesterovým laminátem tloušťky 1,5 mm. Rozměry a složení zkušebních těles pro zkoušku tlakem v rovině vrstev sendviče je uvedeno v Tab. 5.2.

Tab. 5.2 Rozměry a složení zkušebních těles pro zkoušku tlakem v rovině vrstev sendviče

Výplň	Potah	Tloušťka (mm)	Šířka (mm)	Délka (mm)
PC voština	Laminát tl. 2 mm	17	300	850
Voština	Laminát tl. 1,3 mm	18	300	850
Styrofoam	Laminát tl. 1,6 mm	24	300	850
PUR 35	LAM	35	300	850
	LAM	35	50	850
	LAM2	35	300	850
	LAM2	35	50	850
	LAM + PR4	35	300	850
	LAM + PR4	35	50	850
	LAM + PR9	35	300	850
	LAM + PR9	35	50	850

Postup měření

Zkušební těleso se před samotným experimentem přeměřilo, následně symetricky umístilo do zkušebního zařízení a pomocí upínacích prvků zajistilo. Rychlost zatěžování byla volena tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo za 300 ± 120 sekund. Během zkoušky docházelo k postupnému zatěžování až do ukončení zkoušky, kdy došlo k porušení zkušebního tělesa. Z naměřených hodnot se získalo kritické napětí, při kterém došlo ke ztrátě stability reprezentované vybočením zkušebního tělesa od svislé osy. Po ukončení experimentu byla zaznamenána kritická síla, posun příčnicku, druh a mechanismus porušení. Dle rovnice (6) byla vypočtena pevnost v tlaku v rovině vrstev sendvičového materiálu.

$$\sigma_{vz} = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (6)$$

kde: σ_{vz} - pevnost v tlaku v rovině vrstev [MPa],

F_{max} - maximální dosažená síla při ztrátě stability [N],

A_0 - plocha průřezu zkušebního tělesa [mm^2].

5.5 Vlastnosti lepeného spoje

Při výrobě sendvičových materiálů se využívá technologie lepení a s tím souvisí i problematika lepených spojů. Pro zajištění kvalitních lepených spojů je nutné provést hodnocení používaných lepidel a určit vhodnou úpravu povrchu lepených adherendů. Hodnocení lepených spojů je provedeno z několika různých úhlů pohledu jako je druh použitého adherendu, jeho povrchová úprava před lepením a závislost pevnosti na době vytvrzení lepidla.

5.5.1 Pevnost ve smyku lepených sestav při tahovém namáhání

Pro hodnocení pevnosti ve smyku lepených spojů při tahovém namáhání je využita norma ČSN EN 1465 (Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav). Tato zkouška hodnotí pevnost lepeného přeplátovaného spoje, která se stanoví smykovým namáháním jednoduchého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, které jsou namáhány tahovou silou působící rovnoběžně s plochou slepu a hlavní osou zkušební vzorku. Výsledkem zkoušky je naměřená síla nebo napětí při porušení spoje. Z naměřených hodnot se vypočítá dle rovnice (7) pevnost ve smyku při tahovém namáhání:

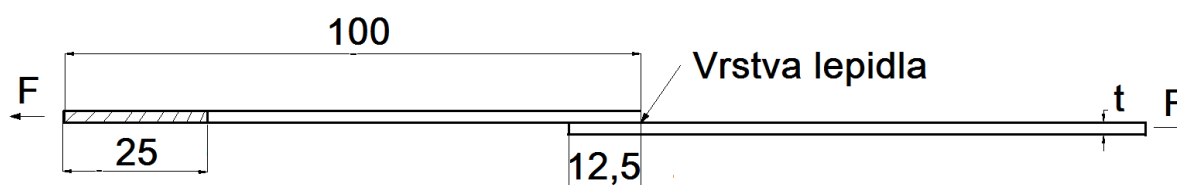
$$\tau = \frac{F_{max}}{S} \quad (7)$$

kde: τ - pevnost ve smyku [MPa],

F_{max} - maximální zatížení [N],

S - plocha lepeného spoje [mm²]. [39]

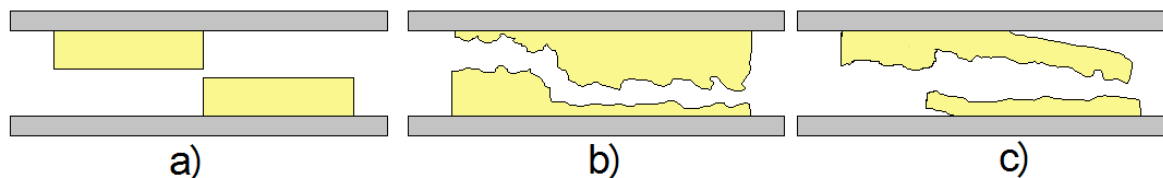
Zkušební těleso musí vyhovovat normě a jeho tvar, rozměry a uspořádání při zkoušce je zobrazeno na Obr. 5.8



Obr. 5.8 Zkušební těleso a uspořádání při zkoušce pevnosti ve smyku lepeného spoje [39]

Označení hlavních typů porušení lepeného spoje udává norma ČSN ISO 10365 (Označení hlavních typů porušení lepeného spoje), která uvádí typy porušení lepeného spoje

pomocí ilustračních obrázků. Tuto normu lze použít pro všechny mechanické zkoušky lepených spojů bez ohledu na povahu adherendu a lepidla tvořícího lepený spoj. Norma rozeznává různé druhy porušení, které se dělí na porušení adhezní, kohezní a kombinované (Obr. 5.9). [40]



Obr. 5.9 Druhy porušení lepeného spoje a) adhezní, b) kohezní, c) kombinované [40]

Volba materiálů a použitého lepidla vycházela z použití z praxe, kde se tyto materiály běžně využívají pro výrobu tepelně izolačních sendvičových materiálů určených pro nástavby automobilů a dodatečné izolace.

Pro hodnocení smykové pevnosti v tahu přeplátovaných sestav v závislosti na použitém adherendu byly použity tyto materiály: polyesterový laminát, březová překližka, pozinkovaná ocel, korozivzdorná ocel, hliník a hliník s úpravou pro lepení.

Pro hodnocení vhodné volby povrchové úpravy před lepením byly vybrány tři kovové materiály (hliníkový plech tloušťky 3 mm, pozinkovaný plech tloušťky 1,5 mm a korozivzdorná ocel tloušťky 1,5 mm). Všechny tyto materiály byly podrobeny třem různým mechanickým povrchovým úpravám. Broušení a kartáčování bylo provedeno na zařízení pro mechanickou úpravu povrchu plechů BSM 650 RB. Broušení bylo provedeno pomocí brusného plátna o zrnitosti P40 a kartáčování pomocí ocelového rotačního kartáče. Úprava povrchu tryskáním byla provedena pomocí umělého korundu o zrnitosti F80. Lepené plochy byly odmaštěny (perchloretylen) a dle normy byla vyrobena zkušební tělesa. Jako lepidlo bylo použito dvousložkové polyuretanové lepidlo SikaForce – 7723 L175. Po úplném vytvrzení (21 dnů dle materiálových listů) byla zkušební tělesa na univerzálním zkušebním stroji podrobena tahové zkoušce ve smyku přeplátovaných těles, kdy bylo zaznamenáno maximální zatížení, plocha a druh porušení lepeného spoje.

Pro hodnocení pevnosti lepeného spoje v závislosti na době vytvrzení byla zkušební tělesa vyrobena v souladu s předchozí metodikou, kdy byla vybrána jediná varianta zkušebních těles - pozinkovaný plech s kartáčovaným povrchem. Zkušební tělesa byla následně v intervalu 1/2, 1, 3, 5, 7, 14, 21, 42 a 84 dnů podrobena destruktivní zkoušce.

5.5.2 Drsnost lepeného povrchu

Mechanickou úpravou povrchu dochází ke změně drsnosti a profilu povrchu adherendu, což má vliv na výslednou pevnost lepeného spoje. Drsnost povrchu byla hodnocena dle parametru drsnosti Ra (střední aritmetická vzdálenost výstupků od střední linie povrchu) pomocí profilometru SurfTest 301. Parametry drsnosti byly měřeny v pěti bodech ve vyhodnocovací délce 0,8 mm pro každé zkušební těleso. Pro hodnocení profilu povrchu byl využit stereoskopický mikroskop s kamerou a výstupem na PC.

5.5.3 Tahové vlastnosti lepidla (Kohezní pevnost)

Jak již bylo uvedeno, koheze je síla působící mezi molekulami vlastního lepidla, která drží materiál pohromadě. Mezi tyto síly patří mezimolekulární přitažlivé síly (síly Van der Waalsovy) a síly vzájemného propletení molekul polymerů mezi sebou. [4]

Stanovení kohezní pevnosti lepidla a s tím spojených tahových vlastností bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN ISO 527 (Plasty – Stanovení tahových vlastností). Princip zkoušky spočívá v protahování zkušebního tělesa ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí do jeho porušení nebo do okamžiku, kdy napětí v tahu nebo protažení dosáhnou předem zvolené hodnoty. Během zkoušky se měří zatížení působící na zkušební těleso a jeho prodloužení. Z naměřených hodnot je dle rovnice (8) stanovena mez pevnosti v tahu a poměrné prodloužení dle rovnice (9):

Mez pevnosti v tahu:

$$\sigma_m = \frac{F_{max}}{S} \quad (8)$$

kde: σ_m - mez pevnosti v tahu [MPa],

F_{max} - maximální dosažená síla [N],

S - plocha počátečního příčného průřezu zkušebního tělesa [mm²]. [41]

Poměrné prodloužení:

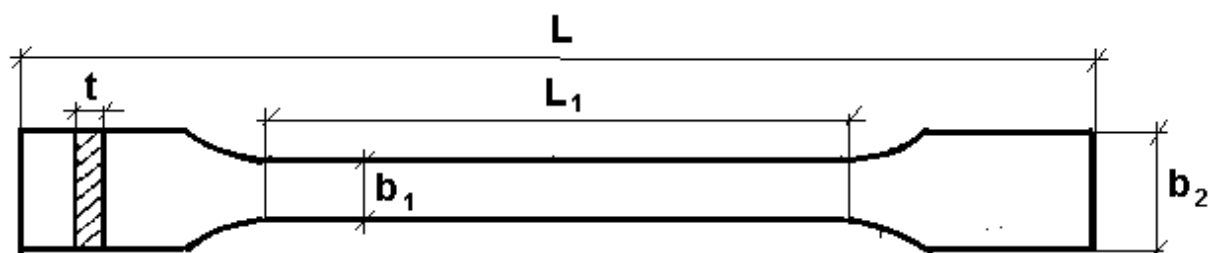
$$\varepsilon_m = \frac{\Delta L}{L} \times 100 \quad (9)$$

kde: ε_m - poměrné prodloužení [%],

L - počáteční měřená délka [mm],

ΔL - zvětšení měřené délky [mm]. [41]

Pro tuto zkoušku musí být tvar a rozměry zkušebních těles v souladu s normou ČSN EN ISO 3167 (Plasty – Víceúčelová zkušební tělesa). Příklad víceúčelového zkušebního tělesa pro tahovou zkoušku (plochá tyč normovaného tvaru) uvádí Obr. 5.10. Zkušební tělesa byla odlita do forem, které svým tvarem odpovídaly požadavkům normy. Formy byly vytvořeny z materiálu Lukopren N1522, který má dobré separační vlastnosti vůči odlévanému polyuretanu. Zkušební tělesa byla následně v intervalu 1/2 ,1, 3, 5, 7, 14, 21, 42 a 84 dnů podrobena destruktivní zkoušce.



Obr. 5.10 Víceúčelové zkušební těleso [42]

5.5.4 Tvrdost lepidla Shore D v závislosti na čase

Tvrdost je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa nebo jako odpor materiálu proti plastické deformaci. [15] Pro hodnocení tvrdosti vytvrzeného lepidla lze využít normu ČSN EN ISO 868 (Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtlačováním hrotu tvrdoměru - tvrdost Shore).

Podstata zkoušky spočívá v měření hloubky vtlačení hrotu do vzorku materiálu za stanovených podmínek. Hodnota tvrdosti je nepřímo úměrná hloubce vtlačení hrotu a závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu. [43]

Pro měření tvrdosti Shore D byla z lepidla vytvořena zkušební tělesa vhodného tvaru o rozměru 25 x 25 x 17 mm, na kterých byla následně v časových intervalech na několika různých místech měřena tvrdost Shore D.

5.6 Tepelné parametry

V oblasti izolace budov a výroby izotermických a chladírenských boxů se velmi často využívá tepelně izolačních sendvičových materiálů. Sendvičový materiál není homogenní látka, je složen z několika rozličných vrstev, které mají rozdílné tepelné parametry. Celkové tepelně izolační vlastnosti sendviče jsou výsledkem složitých procesů probíhajících v materiálu při prostupu a sdílení tepla. Aby bylo možné garantovat tepelné vlastnosti sendvičových

materiálů jako celku, je nutné provést potřebné experimenty pro získání tepelných parametrů a křivek prostupu tepla.

Pro experimentální stanovení a popsání tepelně izolačních vlastností sendvičových materiálů byla navržena metoda umožňující experimentálně ověřit chování těchto materiálů. Měřicí sestava se skládá z teplotní komory pro eliminování vlivu okolní teploty při měření, měřicí ústřednou a počítačem s vyhodnocovacím softwarem. Měření teploty probíhalo pomocí termočlánků umístěných již při výrobě sendvičových materiálů mezi jednotlivé vrstvy, propojených pomocí konektorů a drátů s měřicí ústřednou a počítačem (Obr. 5.11).

Před začátkem měření byla zkušební tělesa umístěna do teplotní komory a temperována na teplotu, při které následně probíhalo měření (30 °C). Po propojení termočlánků s měřicí sestavou byl na jednu stranu sendviče umístěn zdroj tepla v podobě regulovaného odporu a následně byly v časových intervalech (10 s) snímány teploty v jednotlivých vrstvách sendviče. Výsledkem experimentu jsou křivky zobrazující průběh teplot v sendvičovém materiálu. Z průběhu křivek u materiálu se známými tepelnými vlastnostmi (polyuretan) lze dle rovnice (10) vypočítat tepelný tok, který prochází sendvičovým materiálem. Pomocí rovnice (11) lze následně provést teoretický výpočet k určení tepelně izolačních vlastností sendvičového materiálu jako celku a porovnat ho s hodnotami skutečnými, experimentálně získanými.

Tepelný tok:

$$q = \lambda \times \frac{\Delta T}{t} \quad (10)$$

kde: q - tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$],

ΔT – rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$],

t – tloušťka materiálu [mm].

λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Tepelně izolační vlastnosti sendvičového materiálu

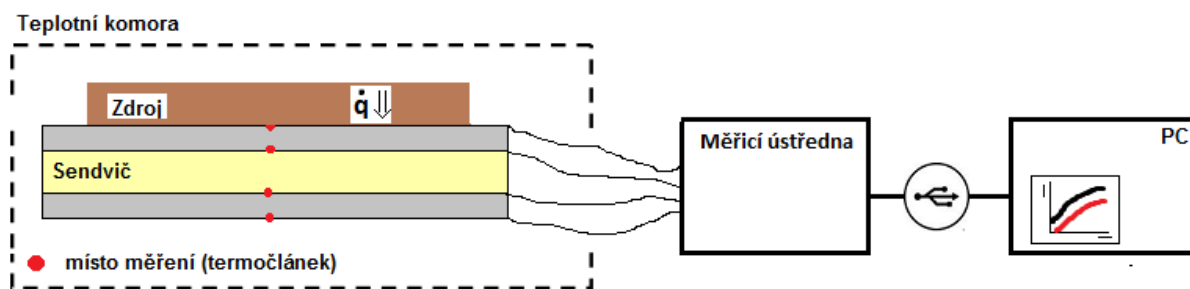
$$\Delta T = q \times \sum_{k=1}^n \frac{t_k}{\lambda_k} \quad (11)$$

kde: ΔT – rozdíl teplot [$^{\circ}\text{C}$],

q - tepelný tok [W],

t – tloušťka materiálu [mm],

λ – součinitel tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].



Obr. 5.11 Měření tepelných parametrů

5.7 Marketingová analýza

Marketing patří k základním funkcím firmy, která pracuje v tržním prostředí. Získané informace slouží ke správným rozhodnutím a rozděluje firmy na dlouhodobě úspěšné a neúspěšné. Cílem marketingového řízení podniku je uspokojit podnikatelské záměry daného podniku či podnikatele tím, že jsou uspokojovány požadavky zákazníků. V praxi proto marketingové řízení znamená znát podnikatelský prostor, ve kterém se podnik pohybuje, znát trhy, na které chce umístit své výrobky, znát zákazníky, jejich potřeby a možnosti, znát konkurenci. Tyto informace je potřeba zvážit a reálně zhodnotit vnitřní možnosti podniku, jeho zdroje a schopnosti a stanovit si reálné cíle na trhu. Znalost podnikatelského prostředí a svých možností závisí na dostatku kvalitních informací a jejich kvalifikovaném vyhodnocení.

Marketingový výzkum zahrnuje několik základních typů výzkumů, které se odlišují podle oblasti zkoumání. Mezi ně je možné zařadit tyto typy: celková analýza trhu, výzkum konečného spotřebitele, průmyslového trhu, konkurence, výrobku, reklamy, prodeje, image a předpovídání poptávky a vývoje trhu. Proces marketingového výzkumu se řídí dle zavedeného postupu. Výzkum začíná určením cílů výzkumného problému, následuje určení zdroje dat, metody a techniky sběru dat, určení velikosti vzorku, sběr dat, zpracování a analýzy získaných dat, vyjádření a prezentace závěrů. [44]

Metoda a technika sběru dat, zdroj dat a metody analýzy

Data pro potřeby výzkumu byla sbírána z několika informačních kanálů. Po seznámení s fungováním společnosti, jejími zákazníky, oblastí trhu, portfoliem a zaměstnanci byly určeny základní parametry společnosti. Pro dodavatele a odběratele byly vytvořeny dotazníky pro hodnocení potřeb, služeb a produktů společnosti. Dotazník byl ve formě online formuláře, který byl odeslán pomocí elektronické pošty a po jeho vyplnění se odeslal do online databáze, kde byl uložen. Součástí hodnocení dodavatelů a odběratelů byl také dotazník určený pro

zaměstnance společnosti. Dalším zdrojem informací a podkladem k marketingové analýze byl řízený rozhovor s vedoucími pracovníky. Dotazníky pro zákazníky společnosti jsou dostupné online na <http://mojeanketa.cz/pruzkum/214431226/> pro odběratele a pro dodavatele na <http://mojeanketa.cz/pruzkum/214423907/>. Charakter otázek v dotazníku umožňoval jak volné odpovědi, tak hodnocení jednotlivých služeb hodnotící škálou či seřazení vlastností dle priorit respondenta (Příloha C Dotazníky). Cílem marketingového průzkumu bylo zjištění spokojenosti či nespokojenosti se službami a produkty společnosti a definování důležitých či méně významných vlastností, které se podílejí na celkové image společnosti.

SWOT analýza

Mezi účinné analytické nástroje hodnotící vnitřní a vnější faktory rozhodující o úspěšnosti firmy nebo produktu patří SWOT analýza. Název vychází z anglických slov síla (S), slabost (W), příležitost (O) a ohrožení (T), komplexně hodnotí provoz společnosti a slouží k určení typu strategického řízení. K jednotlivým faktorům je přiřazeno hodnocení 1-nejlepší až 5-nejhorší a váhové kritérium určující jeho významnost a dopad na společnost. Po vyhodnocení vnitřního prostředí (Silné a slabé stránky společnosti) a vnějšího prostředí (Příležitosti a ohrožení), vytvoření matice z jednotlivých skupin lze určit jednu z následujících strategií řízení: S-O strategie Využití silných stránek pro nové příležitosti, S-T strategie Využití silných stránek k minimalizaci ohrožení, W-O strategie Minimalizace slabých stránek k zisku nových příležitostí, W-T strategie Minimalizace hrozeb ohrožující naše slabé stránky. [45]

SPACE analýza

Pro vymezení strategické pozice společnosti se využívá SPACE analýza (Strategic position and action evaluation). Princip spočívá v hodnocení faktorů ve čtyřech hlavních skupinách: Finanční síla, Konkurenční výhoda, Stabilita prostředí a Síla odvětví. Jednotlivých faktorů ve skupinách je přiřazeno hodnocení 1-nejhorší až 6-nejlepší. Průměr známek ve skupinách se vynese na 4 osy grafu. Segment, který zaujímá největší plochu, určuje pozici společnosti v tržním prostředí a vymezuje vhodné metody strategického řízení. [46]

5.8 Statistické metody, vyhodnocení výsledků a jejich prezentace

Naměřené soubory dat získané z experimentů byly vždy podrobeny statistické analýze. Pro prezentaci výsledků byly použity vztahy pro výpočet aritmetického průměru a směrodatné

odchylky. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou prezentovány pomocí tabulek, grafů a obrázků. Pomocí výšky sloupců a značek je v grafech znázorněn aritmetický průměr, který je doplněn o tzv. chybové úsečky, které svým rozsahem určují velikost směrodatné odchylky. V některých případech je pro popsání změny průběhu funkce použita regresní analýza, kdy je průběh funkce popsán rovnicí, která je doplněna o koeficient determinace. Koeficient determinace určuje jak použitá regresní analýza odpovídá naměřeným hodnotám a nabývá hodnot 0 až 1, kdy hodnota 1 odpovídá dokonalé korelaci.

V některých případech (např. při hodnocení tlakových a ohybových vlastností) byly použity statistické metody pro potvrzení či vyvrácení hypotézy, zda se mezi měřenými soubory dat vyskytuje významný statistický rozdíl. Soubory dat byly nejdříve podrobeny analýze rozptylu měření pomocí F-testu, který hodnotí, zda zkoumané soubory dat vykazují shodné či neshodné rozptyly měření (při hodnocení vždy uvažována hladina významnosti $p=0,05$ (p-value, p-level)). Na základě výsledku F-testu byl dále volen dvouvýběrový t-test s rovností rozptylů nebo dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů na hladině významnosti $p=0,05$. Při využití analýzy dat a statistických funkcí se pro prezentaci výsledků používá tabulka porovnávající zvolenou hodnotu významnosti p s hodnotou významnosti vypočtenou pomocí statistických testů. Příklad vyhodnocení je uveden v Tab. 5.3, kdy vpravo od diagonály jsou vypočtené hodnoty významnosti p pro rozptyly získaných souborů dat pomocí F-testu určující shodnost/neshodnost rozptylů a vlevo od diagonály je uvedena hodnota p pomocí t-testu určující zamítnutí či potvrzení hypotézy. Černě jsou označeny shodné rozptyly či potvrzení hypotézy, červená barva označuje rozdílnost rozptylů či zamítnutí hypotézy při $p=0,05$. Čím nižší vyjde p-value, tím více jsme přesvědčeni, že nulová hypotéza H_0 není správná a je ji třeba zamítnout a přijmout hypotézu alternativní H_A .

Tab. 5.3 Vyhodnocení statistické analýzy dat

t-test/Ftest	A	B	C
A		0,237	0,008
B	0,051		0,025
C	0,074	0,049	

6 VÝSLEDKY A ZHODNOCENÍ LABORATORNÍCH EXPERIMENTŮ

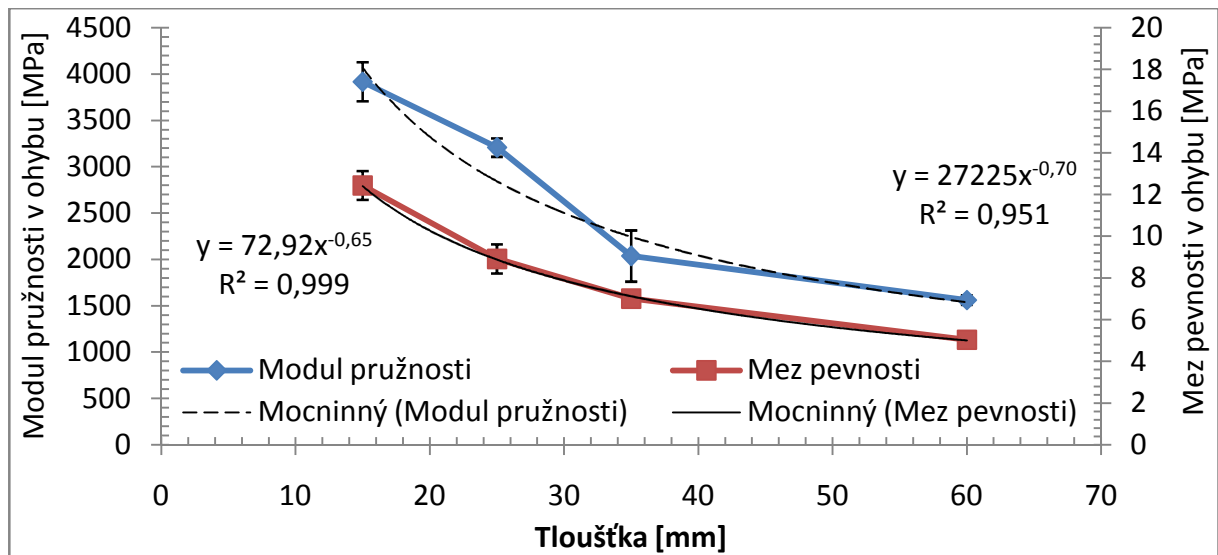
Laboratorní experimenty byly provedeny převážně v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze, zejména na Katedře materiálu a strojírenské technologie Technické fakulty. Laboratoře jsou vybaveny vhodným zařízením a přístroji, které spolu s navrženými a vyrobenými přípravky umožňují měření charakteristických vlastností, jejichž výsledky a poznatky jsou uvedeny v následujících kapitolách.

6.1 Ohybové vlastnosti

Měření ohybových vlastností sendvičových materiálů bylo prováděno z několika hledisek. Hodnocen je vliv tloušťky a hustoty polyuretanové pěny či tloušťka potahového materiálu na ohybové vlastnosti. Naměřené, vypočtené a zpracované výsledky různých typů sendvičových materiálů jsou prezentovány dále pomocí obrázků, grafů a tabulek.

6.1.1 Vliv tloušťky výplňového materiálu na ohybové vlastnosti (PUR 35 kg·m⁻³)

Změna ohybových vlastností zkušebního tělesa z polyuretanové pěny (35 kg·m⁻³) a polyesterového laminátu (1,5 mm) je graficky prezentována na Obr. 6.1. Z obrázku je patrný pokles modulu pružnosti a meze pevnosti v ohybu s rostoucí tloušťkou zkoušeného materiálu. Materiál tloušťky 15 mm dosahoval modulu pružnosti v ohybu hodnoty 3919 ± 210 MPa, následně klesl na hodnotu 3207 ± 99 MPa pro tloušťku materiálu 25 mm, na 2037 ± 276 MPa pro materiál tloušťky 35 mm, až na hodnotu 1563 ± 51 MPa pro materiál tloušťky 60 mm, což tvoří pokles 60 % oproti materiálu tloušťky 15 mm (15 mm tvoří 25 % tloušťky materiálu 60 mm). Mez pevnosti v ohybu materiálu klesala z hodnoty $12,4 \pm 0,69$ MPa pro tloušťku materiálu 15 mm na hodnoty $8,91 \pm 0,70$ MPa pro tloušťku 25 mm, $7,01 \pm 0,35$ MPa pro tloušťku 35 mm, až na hodnotu $5,04 \pm 0,21$ MPa pro materiál tloušťky 60 mm.



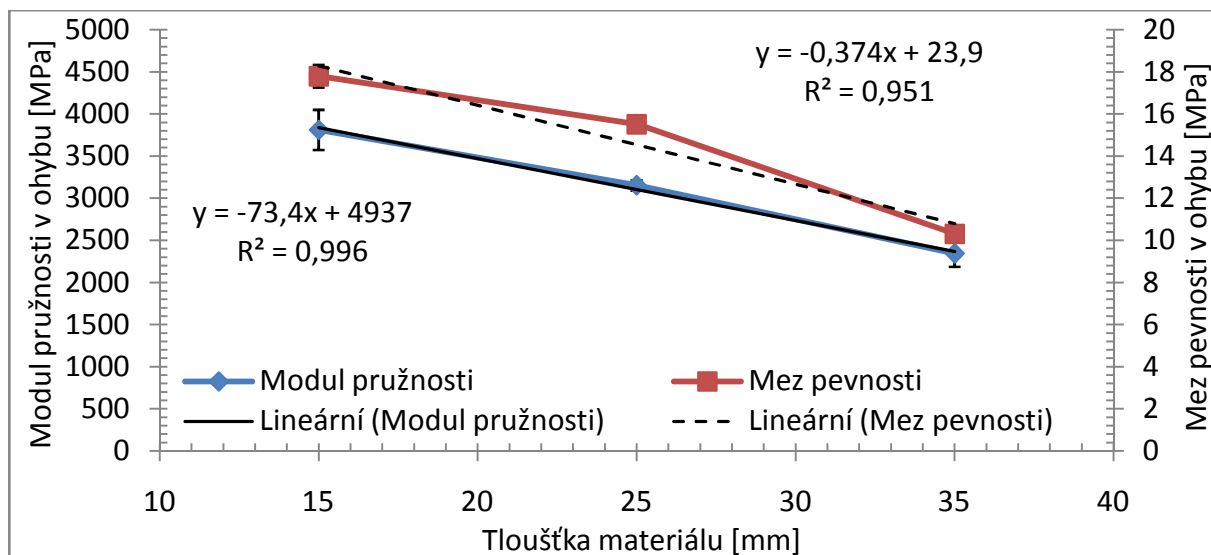
Obr. 6.1 Vliv tloušťky výplňové polyuretanové pěny o hustotě $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na ohybové vlastnosti

6.1.2 Vliv tloušťky výplňového materiálu na ohybové vlastnosti (PUR $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

Následující experiment popisuje vliv tloušťky výplňového materiálu na ohybové vlastnosti jako v předešlé kapitole, avšak za využití tvrdé polyuretanové pěny o hustotě $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za účelem posouzení podobnosti nebo rozdílnosti průběhů ohybových vlastností se změnou hustoty výplňové pěny.

Z Obr. 6.2 je shodně jako v případě použití polyuretanové pěny hustoty $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Obr. 6.1) v intervalu tlouštěk materiálu od 15 do 35 mm patrný lineární pokles jak modulu pružnosti, tak i meze pevnosti v ohybu.

Materiál tloušťky 15 mm s výplní o hustotě polyuretanové pěny $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vykazoval modul pružnosti hodnoty $3811 \pm 238 \text{ MPa}$ a následně klesal na hodnoty $3152 \pm 60 \text{ MPa}$ pro tloušťku 25 mm a $2343 \pm 156 \text{ MPa}$ pro tloušťku materiálu 35 mm. Podobně jako modul pružnosti v ohybu s rostoucí tloušťkou materiálu klesala mez pevnosti v ohybu z hodnoty $17,79 \pm 0,54 \text{ MPa}$ pro tloušťku 15 mm na hodnoty $15,5 \pm 0,26 \text{ MPa}$ pro tloušťku 25 mm a $10,3 \pm 0,29 \text{ MPa}$ pro materiál tloušťky 35 mm.

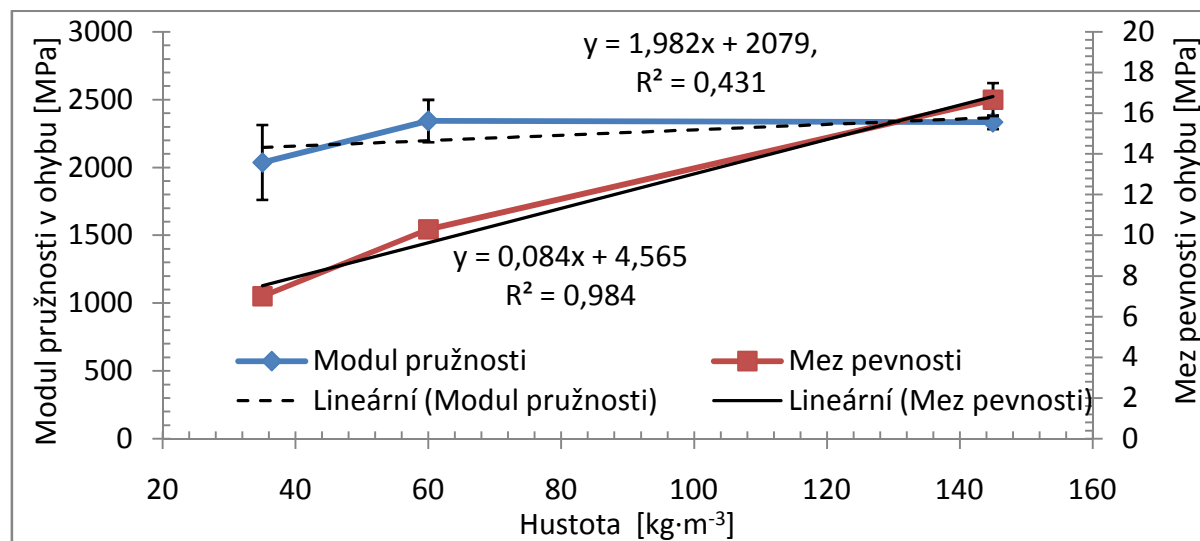


Obr. 6.2 Vliv tloušťky výplňové polyuretanové pěny o hustotě $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na ohybové vlastnosti

6.1.3 Vliv hustoty výplně z polyuretanové pěny na ohybové vlastnosti

Polyuretanovou pěnu lze vyrobit v širokém rozsahu hustot. Lze předpokládat, že se změnou hustoty polyuretanové pěny použité jako výplňový materiál sendvičových materiálů se budou měnit ohybové vlastnosti zkušebních těles. Následující výsledky popisují změnu ohybových vlastností materiálu s výplní tvořenou polyuretanovou pěnou o hustotách 35 , 60 a $145 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a potahem z polyesterového laminátu tloušťky $1,5 \text{ mm}$ o celkové tloušťce 35 mm .

Obr. 6.3 zobrazuje průběh ohybových vlastností, kdy mez pevnosti v ohybu lineárně stoupala z hodnoty $7,01 \pm 0,35 \text{ MPa}$ pro materiál s hustotou výplně $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ na $10,30 \pm 0,29 \text{ MPa}$ pro hustotu $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Nejvyšší hodnoty vykazoval materiál s výplní o hustotě $145 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kde mez pevnosti dosahovala hodnoty $16,67 \pm 0,81 \text{ MPa}$.



Obr. 6.3 Vliv změny hustoty výplňové polyuretanové pěny na ohybové vlastnosti

Z obr. 6.3 není patrná žádná výrazná změna (nárůst, pokles) modulu pružnosti v ohybu v závislosti na hustotě polyuretanové pěny a modul pružnosti v ohybu se pohyboval v intervalu hodnot 2037 - 2343 MPa. Z tohoto důvodu bylo pomocí analýzy dat a statistických metod zkoumáno, zda se modul pružnosti různých hustot výplně výrazně liší nebo je shodný. Při použití metody F-testu bylo zjištěno, že soubory dat nemají vždy shodné rozptyly proto nemohla být použita metoda Anova, ale byla použita metoda t-testu pro neshodné rozptyly. Za použití F-testu pro rozptyly hodnot a t-testu (hladina významnosti volena $p = 0,05$) byla zkoumána hypotéza H_0 , že hodnoty modulu pružnosti v ohybu nejsou výrazně odlišné ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$). Soubory dat modulu pružnosti v ohybu byly porovnávány mezi sebou a výsledky analýzy dat zobrazuje Tab. 6.1, ve které jsou uvedeny hodnoty p-value jednotlivých testů. Vlevo od diagonály jsou výsledky t-testu a vpravo od diagonály výsledky shodnosti rozptylů. Z grafického znázornění je patrné, že ačkoliv rozsahy měření pro polyuretanovou pěnu hustoty $145 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ nejsou shodné s žádnými dalšími soubory dat, nulovou hypotézu H_0 nemůžeme zamítnout a tím pádem hodnoty modulu pružnosti z 95% nevykazují významné statistické rozdíly.

Tab. 6.1 Výsledky F-testu a t-testu pro modul pružnosti v ohybu pro různé hustoty výplně

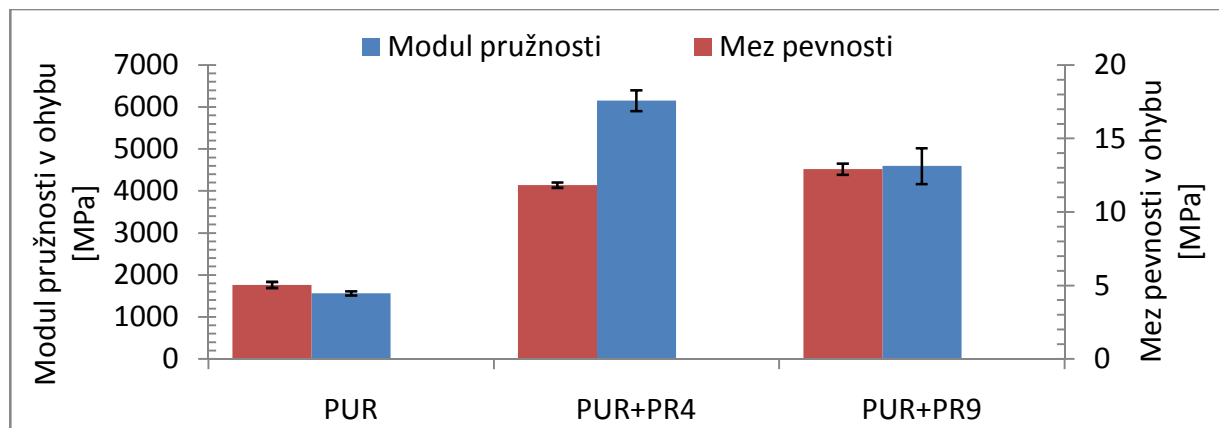
t-test/Ftest	35	60	145
35		0,237	0,002
60	0,056		0,029
145	0,064	0,901	

6.1.4 Vliv vyztužující vrstvy na ohybové vlastnosti sendvičového materiálu

Pro zvýšení tuhosti a únosnosti sendvičového materiálu lze při konstrukci využít jedné či několika zpevňujících vrstev. Častým způsobem v praxi je použití materiálů na bázi dřeva, při výrobě zkušebních těles pro experimenty bylo využito březové překližky. Pro potvrzení a kvantifikování tohoto předpokladu byly provedeny potřebné experimenty. Následující Obr. 6.4 porovnává mechanické vlastnosti sendvičového materiálu celkové tloušťky 60 mm s výplňovým materiálem tvořeným polyuretanovou pěnou o hustotě $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a potahem z polyesterového laminátu tloušťky 1,5 mm. K porovnání byl vybrán materiál bez vyztužující vrstvy a dva materiály s vyztužující vrstvou tvořenou březovou překližkou o tloušťce 4 a 9 mm na každé straně materiálu.

Sendvičový materiál bez vyztužující vrstvy dosahoval hodnot modulu pružnosti v ohybu $1563 \pm 51 \text{ MPa}$ a meze pevnosti $5,04 \pm 0,21 \text{ MPa}$. Materiály s vrstvami překližky vykazovaly nárůst modulu pružnosti i meze pevnosti v ohybu. V případě překližky tloušťky

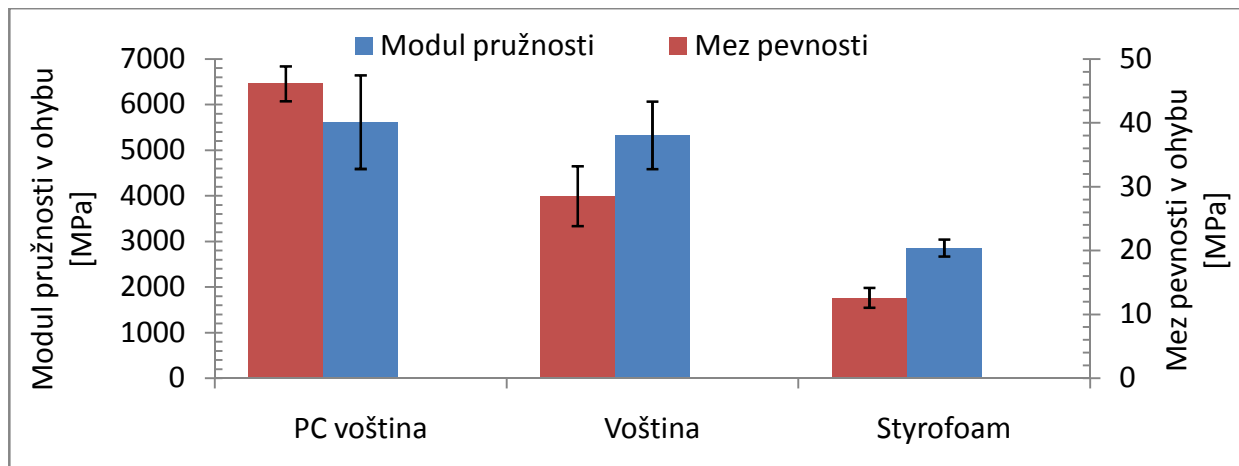
4 mm mez pevnosti vzrostla o 135 % na hodnotu $11,83 \pm 0,18$ MPa a modul pružnosti o 293 % na hodnotu 6153 ± 248 MPa. V případě použití překližky tloušťky 9 mm v porovnání s překližkou 4 mm nedocházelo již k výraznému nárůstu meze pevnosti ($12,92 \pm 0,38$ MPa) naopak modul pružnosti klesnul o 25 % na hodnotu 4595 ± 428 MPa.



Obr. 6.4 Ohybové vlastnosti sendvičových materiálů bez a s vyztužující vrstvou

6.1.5 Ohybové vlastnosti materiálu Styrofoam, Voština a PC voština

Pro ověření vhodnosti použité metody, nejenom pro tepelně izolační sendvičové materiály s výplní tvořenou tvrdou polyuretanovou pěnou, byly pro experiment použity sendvičové materiály odlišného charakteru od jiných výrobců (jejich charakteristika a základní rozměry jsou uvedeny v kapitole 5.1.4 Sendvičové materiály jiných výrobců). Navržený metodický postup a zařízení pro hodnocení ohybových vlastností umožňovalo provést experimenty i na těchto materiálech. Získané hodnoty modulu pružnosti a meze pevnosti v ohybu jsou uvedeny na Obr. 6.5. PC voština dosahovala nejvyšších hodnot meze pevnosti v ohybu $46,1 \pm 2,74$ MPa a modulu pružnosti v ohybu 5615 ± 1027 MPa, ale zároveň také největšího rozptylu měření. Voština dosahovala hodnot modulu pružnosti v ohybu 5327 ± 740 MPa a meze pevnosti $28,5 \pm 4,69$ MPa. Nejnižších hodnot dosahoval sendvičový materiál Styrofoam, kde modul pružnosti v ohybu byl 2855 ± 186 MPa a mez pevnosti v ohybu $12,58 \pm 1,54$ MPa. Zde je nutno uvést, že i přes největší tloušťku sendvičového materiálu Styrofoam a jeho nejnižší hodnoty ohybových vlastností nelze tyto materiály srovnávat jak z důvodu použití různých materiálů a rozdílné konstrukce, tak i z jejich funkce použití v praxi. Experiment sloužil k ověření vhodnosti metody zjišťování ohybových vlastností, k jejich kvantifikování a k zjištění druhu porušení materiálu.



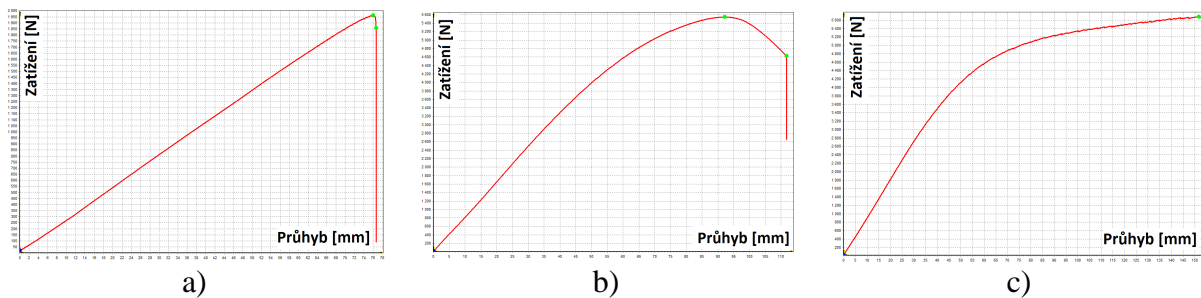
Obr. 6.5 Ohybové vlastnosti sendvičových materiálů (PC voština, Voština, Styrofoam)

6.1.6 Ohybové diagramy a typy porušení

Experimenty pro hodnocení ohybových vlastností byly provedeny na několika odlišných sendvičových materiálech. Ačkoliv se zkoušené materiály lišily jak v celkové tloušťce, druhem výplňového a potahového materiálu i různou konstrukcí, lze jejich ohybové vlastnosti popsat třemi charakteristickými průběhy závislosti průhybu na zatížení.

Zkušební tělesa tvořená potahem z polyesterového laminátu a výplně z tvrdé polyuretanové pěny všech zkoušených hustot ($35, 60, 145 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), PC voštiny a Styrofoam byla charakteristická lineárním nárůstem průhybu na zatížení až do dosažení maximální síly (Obr. 6.6 a). Při dosažení maximálního zatížení došlo k porušení zkušebního tělesa na rozhraní výplně a potahu (delaminace) a k prasknutí výplně z pěny (Obr. 6.7). Tento druh porušení se vyskytoval ve všech případech použitých tlouštěk zkušebních těles a u všech hustot výplňové polyuretanové pěny. K delaminaci potahového výplňového materiálu docházelo častěji na tlakové straně. V případě materiálu Styrofoam došlo k delaminaci ve vrstvě potah/výplň. Porušení materiálu PC voština bylo současně v prasknutí potahového materiálu a prasknutí stěn výplňových voštin (Obr. 6.8).

Ohybový diagram pro Voština a sendvič ve složení laminát, překližka 4 mm a polyuretan hustoty $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vykazoval průběh napětí odpovídající obrázku 6.6. b). Na začátku zatěžování průběh vykazoval lineární závislost. Při dosažení 2/3 maximálního zatížení již průběh ztrácel svojí linearitu a po dosažení maximálního zatížení došlo k poklesu síly a následné destrukci materiálu. V případě materiálu s překližkou došlo současně k porušení na rozhraní překližka polyuretanová pěna a k prasknutí vrstev překližky a polyuretanové výplně (Obr. 6.9).



Obr. 6.6 Charakteristické průběhy napětí

Obr. 6.6 c) odpovídá průběhu napětí pro materiál ve složení laminát, překližka 9 mm a výplň z polyuretanové pěny. Začátek zatěžování opět vykazoval linearitu. Podobně jako v případě materiálu s překližkou 4 mm ve 2/3 maximálního zatížení průběh začal mít plochou charakteristiku. Při dosažení maximálního zatížení došlo ke kombinaci destrukce materiálu na rozhraní polyuretanová pěna a překližka (delaminace), prasknutí polyuretanové výplně a vrstev překližky (Obr. 6.9). Při zatěžování vlivem tuhosti překližky docházelo na rozdíl od předchozích případů ke stlačování polyuretanové pěny v oblasti mezi zatěžujícími trny a pevnými podporami. Rozdíl tloušťky polyuretanové pěny ve středu zkušební tělesa a u pevné podpory dosahoval 7 mm. Obr. 6.10. zobrazuje vznik poškození materiálu a šíření lomu na rozhraní potahu a výplně, který vede k delaminaci jednotlivých vrstev sendvičového materiálu.



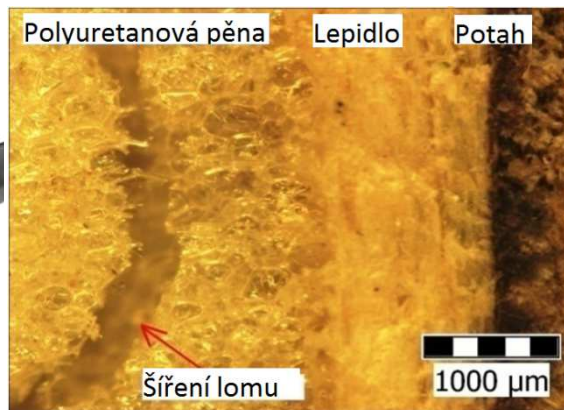
Obr. 6.7 Delaminace a prasknutí výplně



Obr. 6.8 Destrukce voštin a prasknutí potahového materiálu



Obr. 6.9 Delaminace potahu a výplně, prasknutí výplně a vrstev překližky



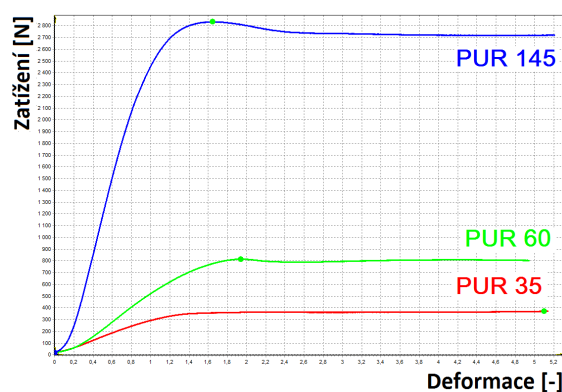
Obr. 6.10 Oblast porušení a šíření lomu

6.2 Tlakové vlastnosti

Experimenty byly zaměřeny na experimentální získání vybraných tlakových vlastností sendvičových materiálů zatěžovaných silou kolmou na lepené vrstvy materiálu. Dále byla hledána charakteristika chování jak při změně tloušťky sendvičového materiálu tak při změně hustoty polyuretanové výplně. Získané a vypočtené hodnoty tlakových vlastností jsou dále prezentovány pomocí grafů, obrázků a tabulek.

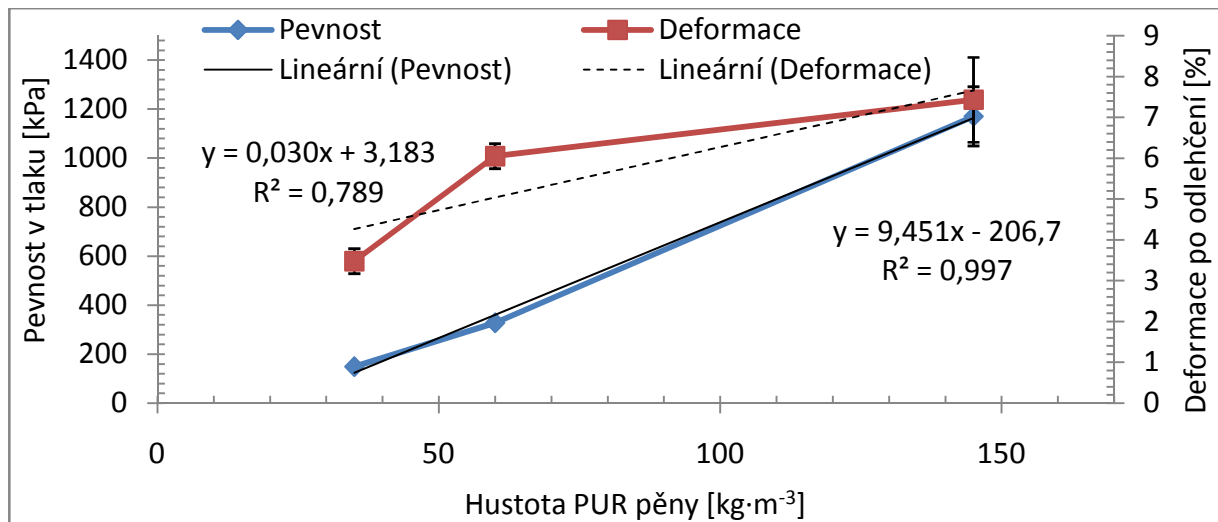
6.2.1 Vliv hustoty výplňové polyuretanové pěny na tlakové vlastnosti

Při experimentu byla použita zkušební tělesa o rozměrech 50 x 50 mm a celkové tloušťce 35 mm při použití výplně z polyuretanové pěny o různé hustotě (35, 60 a 145 kg·m⁻³) a potahu z polyesterového laminátu tloušťky 1,5 mm. Závislost zatížení na deformaci zkušební tělesa je zobrazena na Obr. 6.11. Strmost křivky reprezentující průběh zatěžování se zvětšuje a maximální zatěžující síla roste s hustotou stlačované polyuretanové výplně.



Obr. 6.11 Průběh zatížení na deformaci zkušební tělesa

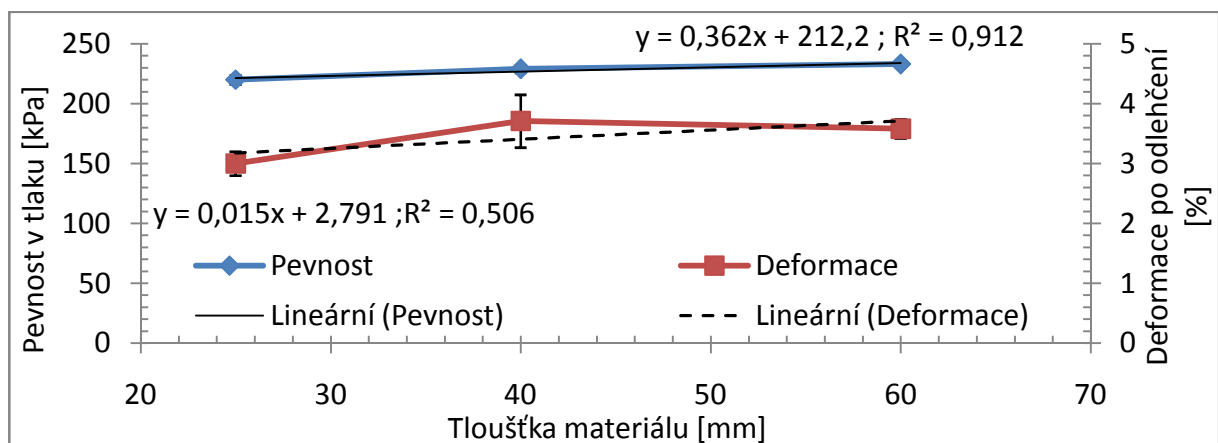
Na Obr. 6.12 je graficky zobrazen průběh tlakových vlastností sendvičových materiálů o různé hustotě výplně. Z obrázku je patrný nárůst pevnosti v tlaku s rostoucí hustotou polyuretanové pěny, kdy pevnost v tlaku pro materiál s polyuretanovou pěnou o hustotě 35 kg·m⁻³ dosahovala hodnoty 149 ± 2 kPa, pro hustotu 60 kg·m⁻³ se zvýšila o 120 % na hodnotu 328 ± 5 kPa. Při porovnání pěn o hustotě 35 a 145 kg·m⁻³ vzrostla pevnost v tlaku téměř osmkrát na hodnotu 1171 ± 121 kPa. Shodně jako pevnost v tlaku tak i deformace po odlehčení roste s rostoucí hustotou polyuretanové pěny. Deformace zkušební tělesa po odlehčení stoupala z hodnoty 3,48 ± 0,31 % pro hustotu pěny 35 kg·m⁻³ na 6,05 ± 0,31 % pro hustotu 60 kg·m⁻³ a následně rostla až na hodnotu 7,43 ± 1,04 % pro polyuretanovou pěnu o hustotě 145 kg·m⁻³.



Obr. 6.12 Závislost pevnosti v tlaku a deformace po odlehčení na hustotě polyuretanové pěny

6.2.2 Vliv tloušťky výplňové polyuretanové pěny na tlakové vlastnosti

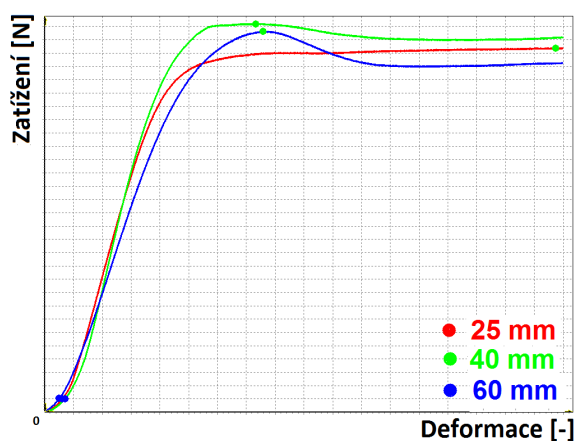
Pro experiment byly použity sendvičové materiály s potahovým materiálem tvořeným polyesterovým laminátem tloušťky 1,5 mm a výplňovým materiálem z polyuretanové pěny hustoty $35 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ o celkové tloušťce zkušebních těles 25, 40 a 60 mm. Původní průřez zkušebního tělesa byl 50 x 50 mm. Vypočtenou pevnost v tlaku a deformaci po odlehčení zobrazuje Obr. 6.13. Z obrázku není patrná výrazná změna pevnosti v tlaku s rostoucí tloušťkou zkušebního tělesa, kdy materiál tloušťky 25 mm dosahoval pevnosti v tlaku $220 \pm 4 \text{ kPa}$, materiál tloušťky 40 mm $229 \pm 3 \text{ kPa}$ a pevnost v tlaku pro materiál tloušťky 60 mm činila $233 \pm 1 \text{ kPa}$. Deformace po odlehčení se pro všechny tloušťky pohybovala v rozmezí 3 - 4 %.



Obr. 6.13 Závislost tlakových vlastností na tloušťce výplňové pěny

Hodnoty vypočtené pevnosti v tlaku byly podrobeny analýze za účelem potvrzení či zamítnutí nulové hypotézy, že pevnost v tlaku nezávisí na tloušťce polyuretanového materiálu

($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$) na hladině významnosti $p=0,05$. Z Tab. 6.2 je však patrné, že kromě jednoho případu se liší rozptyly měřených souborů, proto je použit t-test s nerovností rozptylů a ve všech případech porovnání souborů dat musíme nulovou hypotézu zamítnout. V tomto případě musíme přijmout alternativní hypotézu, která uvádí, že pevnost v tlaku vykazuje významné statistické rozdíly v závislosti na tloušťce zkušební tělesa ($H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$). Tento fakt potvrzuje tvrzení z normy [38], ve které je uvedeno, že výsledky získané se zkušebními tělesy o různých tloušťkách nejsou srovnatelné. Na Obr. 6.14 jsou zobrazeny deformační křivky sendvičových materiálů s různou tloušťkou výplňového materiálu.



Obr. 6.14 Průběh zatížení na deformaci zkušební tělesa

Tab. 6.2 Výsledky t-testu a F-testu pro různé tloušťky zkušebních těles

t-test/Ftest	25	40	60
25		0,666	0,017
40	0,001		0,041
60	0,0002	0,029	

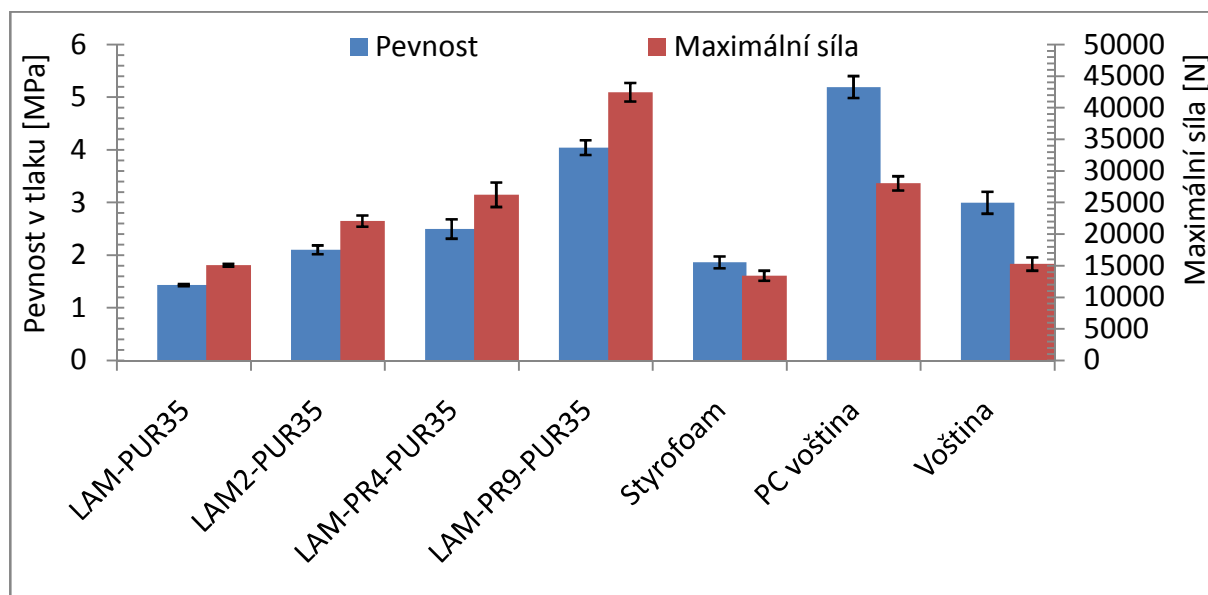
6.3 Zkouška tlakem silou rovnoběžnou s vrstvami sendvičového materiálu (vzpěr)

Vhodnost navržené metody a zařízení pro zkoušku tlakem silou rovnoběžnou na vrstvy sendvičového materiálu (vzpěr) měla být prokázána následujícím experimentem. Výsledky tohoto experimentu slouží především k porovnání sendvičových materiálů o různých materiálech a různé konstrukci mezi sebou a k determinování velikosti kritické síly (napětí) potřebné ke ztrátě stability doprovázené vychýlením zkušební tělesa.

Pro experimenty byly zvoleny čtyři varianty provedení tepelně izolačních materiálů s polyuretanovou výplní, jejichž podrobná specifikace a rozměry jsou uvedeny v kapitole 5.4 Zkouška silou rovnoběžnou s vrstvami sendvičového materiálu (vzpěr). Pro ověření navržené metody ke zkoušení nejen tepelně izolačních sendvičů byly použity materiály od jiných výrobců shodné jako v předchozích experimentech (PC voština, Voština, Styrofoam). Výsledky experimentu jsou prezentovány níže pomocí obrázků, grafů a tabulek.

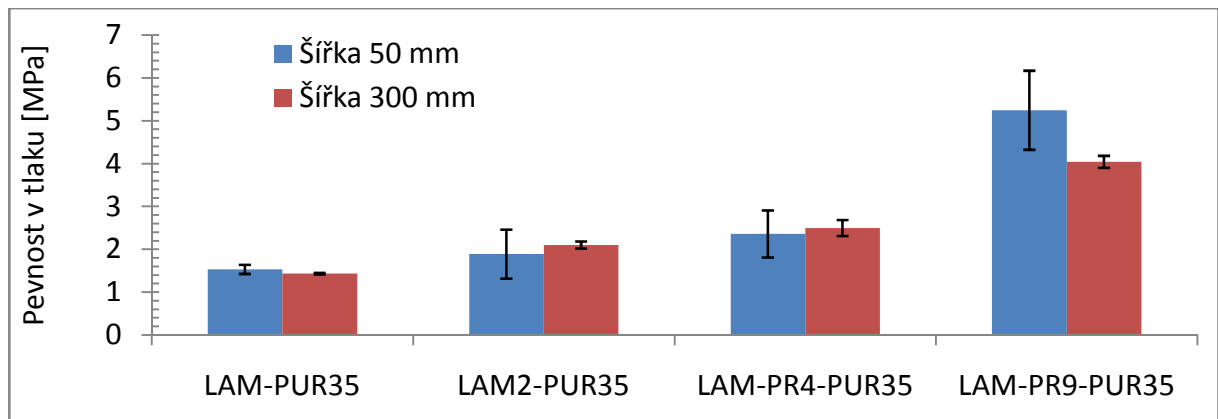
Na následujícím Obr. 6.15 je graficky zobrazena pevnost v tlaku a maximální síla, při které došlo ke ztrátě stability doprovázené vychýlením zkušební tělesa. Délka a šířka

zkušebních těles byla ve všech případech shodná, lišila se pouze tloušťka zkoušeného materiálu.



Obr. 6.15 Pevnost v tlaku a maximální zatěžující síla

Sendvičové materiály nejsou zatěžovány na tlak (vzpěr) jako klasické ocelové pruty v příhradových konstrukcích, kde mezní štíhlostní poměr (štíhlost) pro ocelové pruty z konstrukčních ocelí musí být větší než hodnota 100, aby deformace zkušebního tělesa byla v oblasti pružného vzpěru. [47] Při hodnotách menších se v případě kovových materiálů pohybujeme v oblasti namáhání prostým tlakem. Štíhlost závisí také na modulu pružnosti (Youngův modul) a lze předpokládat, že hodnocené sendvičové materiály budou mít menší modul pružnosti oproti oceli a proto oblast pružného vzpěru lze dosáhnout i při menším štíhlostním poměru. Sendvičové materiály se používají ve formě desek a panelů (dva rozměry materiálu jsou řádově větší než jeho tloušťka). Pro ověření chování tepelně izolačních desek při namáhání na vzpěr byla vyrobena shodná zkušební tělesa, pouze se lišila šířka, kdy místo původních 300 mm byla použita šířka zkušebních těles 50 mm. Štíhlost použitých zkušebních těles dosahovala v obou případech hodnoty 79. Tento experiment byl použit pro určení vlivu šířky zkušebních těles na tlakové vlastnosti. Po vyhotovení destruktivních zkoušek bylo provedeno porovnání, které je vyhodnoceno na následujícím Obr. 6.16, který graficky zobrazuje vypočtenou pevnost v tlaku při použití zkušebních těles o shodných tloušťkách a délkách, ale s rozdílnou šířkou. Shodnost či rozdílnost pevnosti v tlaku zkušebních těles o různé šířce byla ověřena statistickou metodou.



Obr. 6.16 Porovnání pevnosti v tlaku pro zkušební tělesa šířky 50 a 300 mm

Získané výsledky pevnosti v tlaku zkušebních těles byly hodnoceny pomocí analýzy dat, která hodnotila shodnost pevnosti v tlaku jednoho typu materiálu o dvou různých šířkách. Byla stanovena nulová hypotéza H_0 , že hodnoty pevnosti v tlaku získané se zkušebními tělesy o různých šířkách jsou srovnatelné ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$) na hladině významnosti $p=0,05$. Vypočtené hodnoty p-value pomocí F-testu a t-testu jsou zobrazeny v Tab. 6.3. Z tabulky je patrné, že ve dvou případech se rozptýly získaných hodnot mírně liší, avšak nulovou hypotézu H_0 nemůžeme dle t-testu zamítnout a s 95 % pravděpodobností můžeme tvrdit, že šířka zkušebních těles nemá významný vliv a získané hodnoty pevnosti v tlaku jsou srovnatelné.

Tab. 6.3 Výsledky F-testu a t-testu pro hodnoty pevnosti v tlaku těles o různých šířkách

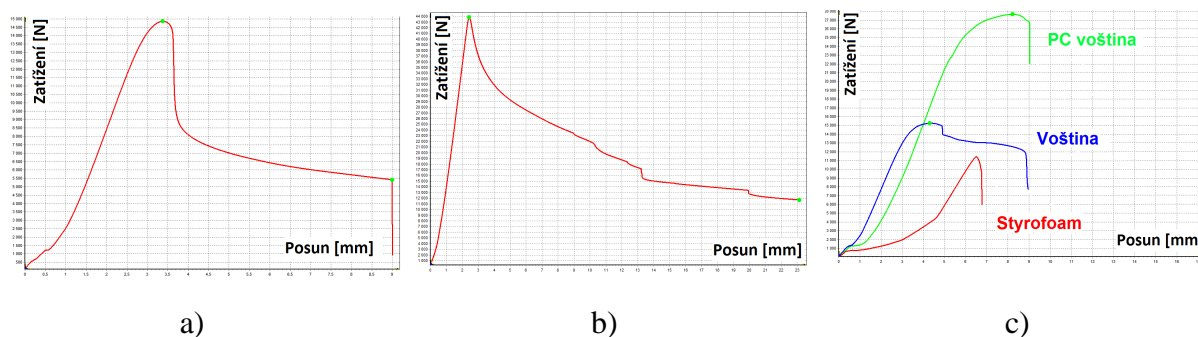
	F-test	t-test
LAM-PUR35	0,069	0,267
LAM2-PUR35	0,042	0,653
LAM-PR4-PUR35	0,203	0,752
LAM-PR9-PUR35	0,045	0,230

Deformační diagramy a charakteristika porušení

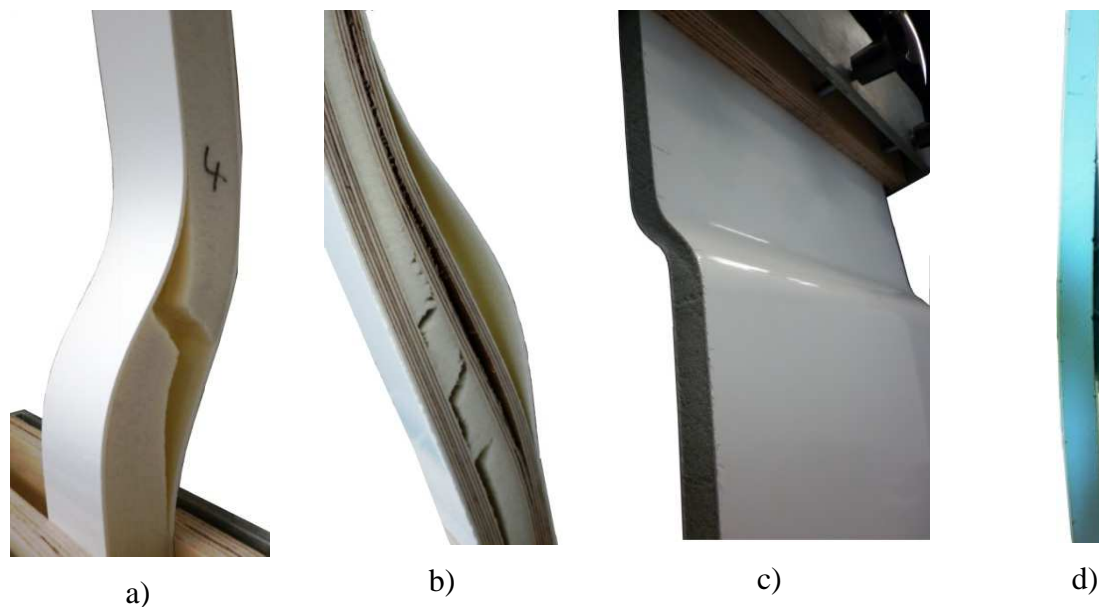
Na obr. 6.17 jsou zobrazeny charakteristické deformační diagramy, kde křivky popisují průběh zatěžující síly v závislosti na posunu příčnicku. Průběh a tvar křivky byly podobné při použití zkušebních těles o šířce 50 mm a 300 mm a potvrzují výše uvedenou hypotézu, že zkušební tělesa o různé šířce mají srovnatelnou hodnotu meze pevnosti v tlaku v rovině vrstev sendviče. Sendvičové materiály tvořené potahovým materiálem z polyesterového laminátu a výplní z polyuretanové pěny vykazovaly průběh křivky, kdy po počátečním náběhu zatížení strmě stoupalo až do okamžiku, kdy zkušební těleso ztratilo stabilitu a došlo k vychýlení tělesa od svislé osy (Obr. 5.7). Následně došlo k rychlému

poklesu síly a zvyšování vychýlení zkušební tělesa (Obr. 6.17 a). Jako v případě čtyřbodého ohybu k porušení zkušební tělesa docházelo na rozhraní laminát a polyuretanová pěna (delaminace) a k prasknutí výplně z polyuretanu (Obr. 6.18 a).

Zkušební tělesa ve složení laminát, překližka a polyuretanová pěna vykazovala průběh zatěžování zobrazený na Obr. 6.17 b). Po úvodním strmém nárůstu zatížení došlo k dosažení maximální (kritické) zatěžující síly, kdy zkoušený materiál ztratil svoji stabilitu, a následně došlo k postupnému snižování zatěžující síly a zvětšování vychýlení. Při zvyšující se deformaci docházelo nejdříve k prasknutí jednotlivých vrstev překližky, což je reprezentováno náhlým poklesem zatěžující síly na deformačním diagramu, následně došlo k delaminaci laminátu a překližky a nakonec zkušební těleso bylo porušeno v samotné polyuretanové výplni a na rozhraní výplň/překližka a překližka/laminát (Obr. 6.18 b).



Obr. 6.17 Průběhy napětí při zkoušce tlakem (vzpěr)



Obr. 6.18 Typy porušení zkušebních těles při zkoušce tlakem (vzpěr)

Zkušební tělesa z materiálu Styrofoam, PC voština a Voština vykazovala zcela odlišné průběhy zatěžování, které jsou zobrazeny na Obr. 6.17 c). Na rozdíl od sendvičových materiálů s polyuretanovou výplní počáteční nárůst nevykazoval přímkovou charakteristiku.

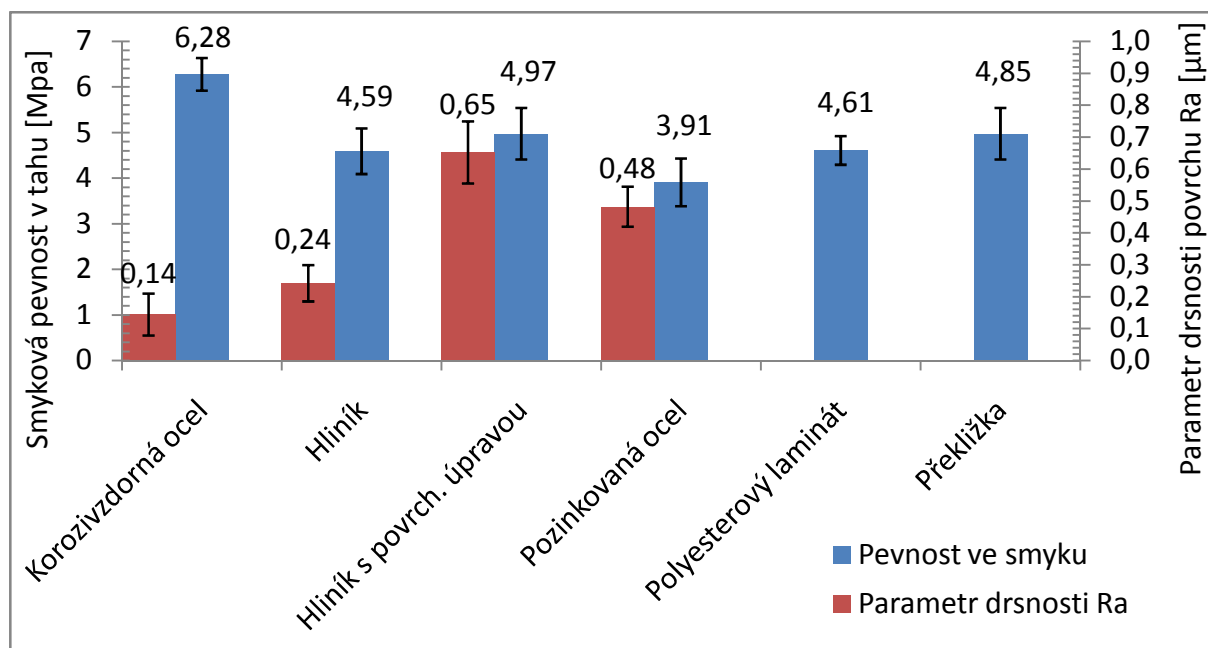
Po dosažení maximální (kritické) síly došlo ke ztrátě stability a následnému poklesu zatěžující síly. U zkušebního tělesa z Voštiny došlo ke zborcení voštiny a vytvoření deformace ve tvaru "S", následnému prasknutí výplně a delaminaci na rozhraní výplň/potah (Obr. 6.18 c). U materiálu z PC voštiny k porušení materiálu docházelo destrukcí jednotlivých stěn voštin a delaminací na rozhraní voština/potahový laminát. V případě materiálu Styrofoam docházelo k prasknutí potahového materiálu z laminátu a následné delaminaci v této oblasti na rozhraní výplň/potahový materiál (Obr. 6.18 d).

6.4 Vlastnosti lepeného spoje

Následující kapitola popisuje výsledky experimentů zabývajících se pevností lepeného spoje z několika úhlů pohledu jako je typ adherendu, použitá povrchová úprava před lepením a doba vytvrdnutí lepidla. Lepený spoj je složitý proces, který tvoří pevný spoj, a jak bylo uvedeno v literární rešerši, jeho pevnost je ovlivňována mnoha faktory.

6.4.1 Pevnost ve smyku lepených sestav dle použitého adherendu

Jako adherend byly pro experiment využity materiály používané při výrobě sendvičových materiálů. Hodnoceny byly materiály: hliník, hliník s úpravou pro lepení, pozinkovaná ocel, korozivzdorná ocel, polyesterový laminát a březová překližka. Na Obr. 6.19 je zobrazena vypočtená pevnost ve smyku lepeného spoje při tahovém namáhání dle normy [39] a parametr drsnosti Ra lepeného povrchu bez mechanické úpravy.



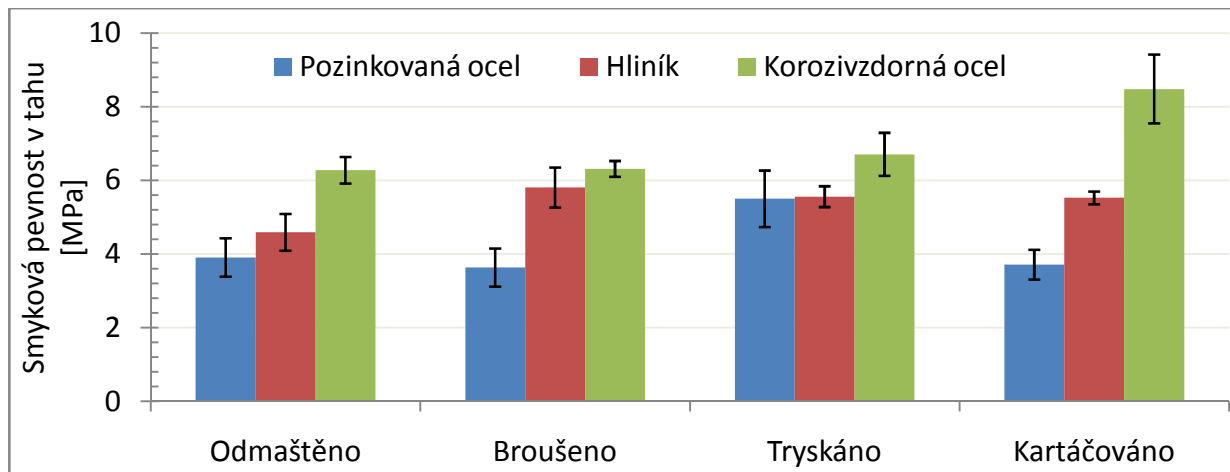
Obr. 6.19 Pevnost ve smyku lepených sestav a parametr drsnosti povrchu Ra adherendu

Jak je patrné z Obr. 6.19 nejvyšší hodnoty pevnosti ve smyku při tahovém namáhání u materiálů pouze odmaštěných dosahovala korozivzdorná ocel, která vykazovala nejmenší hodnoty parametru drsnosti Ra. Při použití adherendu z hliníku, polyesterového laminátu a překližky se pevnost pohybovala mezi 4 - 5 MPa. Nejnižší hodnoty $3,91 \pm 0,52$ MPa dosahoval lepený spoj na adherendu z pozinkované ocele. Při srovnání pevnosti lepeného spoje u adherendu z hliníku můžeme potvrdit pozitivní dopad povrchové úpravy adherendu před lepením v podobě primeru, protože v případě použití polyuretanového lepidla se pevnost lepeného spoje zvýšila o 8 %. Použitá metoda pro měření parametru drsnosti Ra je určena pro kovové povrchy, proto hodnoty parametru drsnosti Ra polyesterového laminátu a březové překližky v Obr. 6.19 nejsou uvedeny.

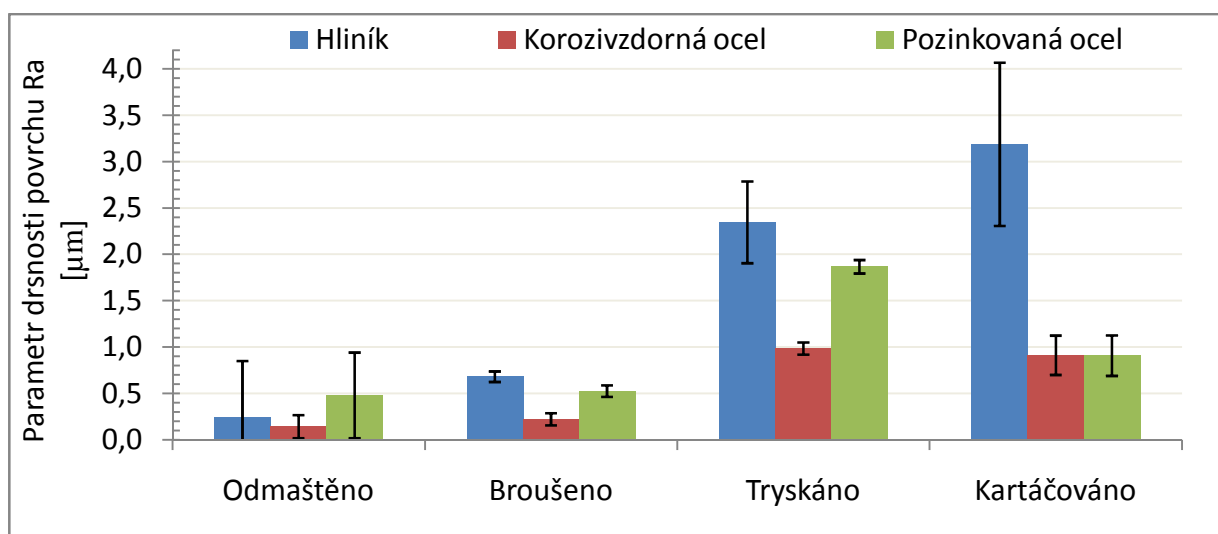
6.4.2 Pevnost ve smyku lepených sestav dle úpravy povrchu adherendu

Zvětšení kontaktní plochy pro lepení vede k zvýšení pevnosti lepeného spoje. [48] Jednou z možností zvětšení povrchu pro lepení kovových materiálů je mechanická úprava, která úzce souvisí s drsností lepeného povrchu. Při volbě optimální drsnosti lepeného povrchu z hlediska pevnosti lepeného spoje je možné zvýšit pevnost spoje až o 24 % [20]. Pro mechanickou úpravu povrchu byly zvoleny tyto metody: broušení, kartáčování, tryskání, které byly následně hodnoceny mezi sebou a s povrchem pouze odmaštěným. Pro experiment byly vybrány kovové materiály umožňující různé druhy povrchových úprav a následně byla posuzována výsledná pevnost lepeného spoje, drsnost a profil povrchu adherendu.

Naměřené a vypočtené hodnoty pevnosti lepeného spoje v závislosti na povrchové úpravě přehledně zobrazuje Obr. 6.20. S jedinou výjimkou broušeného povrchu pozinkovaného adherendu, kdy pevnost nepatrně klesla, měly všechny mechanické úpravy povrchu pozitivní vliv na velikost pevnosti lepeného spoje v porovnání s povrchem pouze odmaštěným. Korozivzdorná ocel dosahovala nejvyšší hodnoty $8,48 \pm 0,93$ MPa s kartáčovaným povrchem, což tvoří nárůst 35 % pevnosti oproti povrchu pouze odmaštěnému. V případě pozinkované oceli je nejvhodnější úpravou povrchu z hlediska pevnosti lepeného spoje tryskání, kdy došlo k nárůstu hodnoty pevnosti spoje o 48 %. Nejmenší změny pevnosti lepeného spoje v závislosti na povrchové úpravě vykazoval adherend z hliníku, kde došlo k 27 % nárůstu pevnosti lepeného spoje u broušeného povrchu oproti povrchu odmaštěnému na konečnou hodnotu $5,81 \pm 0,44$ MPa.



Obr. 6.20 Pevnost ve smyku lepených sestav v závislosti na povrchové úpravě



Obr. 6.21 Parametr drsnosti povrchu Ra v závislosti na povrchové úpravě

Jak je patrné z Obr. 6.20 vhodně zvolená mechanická úprava povrchu zvyšuje výslednou pevnost lepeného spoje. Mechanickou úpravou povrchu se zvyšuje i jeho drsnost, jak je vidět na Obr. 6.21, který prezentuje dosažené parametry drsnosti Ra dle druhu povrchové úpravy. Nejmenší změny drsnosti povrchu dosahovaly materiály, které byly broušeny brusným plátnem. Nejvyšších hodnot drsnosti se dosahovalo u povrchů upravených ocelovým rotačním kartáčem s výjimkou adherendu z pozinkované oceli, kde k mírnému nárůstu došlo ještě v případě povrchu tryskaného umělým korundem.

Součástí hodnocení lepených spojů je i určení druhu porušení lepeného spoje. Podle autorů [6, 8] nastává optimální situace, nastane-li kohezní porucha v samotném lepidle nebo dojde-li k porušení v oblasti adherendu. Typ porušení lepeného spoje se lišil dle použité povrchové úpravy. Ve všech případech povrchové úpravy tryskáním docházelo čistě ke koheznímu porušení. Lepené spoje na adherendu z korozivzdorné oceli s kartáčovaným a broušeným povrchem vykazovaly nejčastěji kombinované porušení. Ve všech ostatních

případech se vyskytovalo výhradně adhezní porušení lepeného spoje. Příklady porušení lepených spojů jsou zobrazeny na Obr. 6.22.



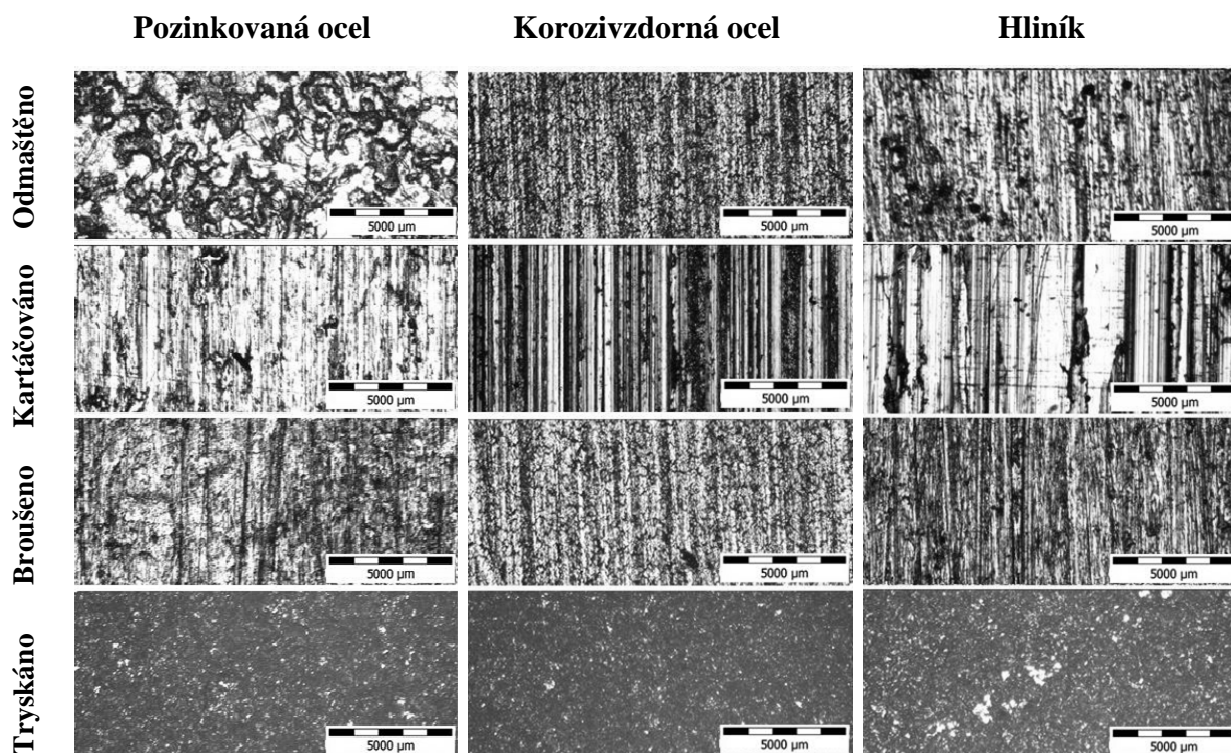
a) adhezní porušení

b) kombinované porušení

c) kohezní porušení

Obr. 6.22 Druhy porušení lepeného spoje

Provedené mechanické úpravy mají vliv nejenom na změnu drsnosti povrchu materiálu, ale i na jeho výsledný profil. Nástroje pro mechanickou úpravu po sobě zanechávají na povrchu stopy v podobě rýh a nerovností různých tvarů. Na Obr. 6.23 jsou zobrazeny povrchy adhezendů před a po mechanické úpravě. Po broušení a kartáčování jsou na povrchu zřetelné rýhy od brusného plátna a ocelového kartáče umístěných na rotačních válčích zařízení. Tryskání je charakteristické "zrnitou" strukturou, která vznikla dopadajícími částicemi umělého korundu.



Obr. 6.23 Makroskopický pohled na povrch materiálu v závislosti na zvolené úpravě

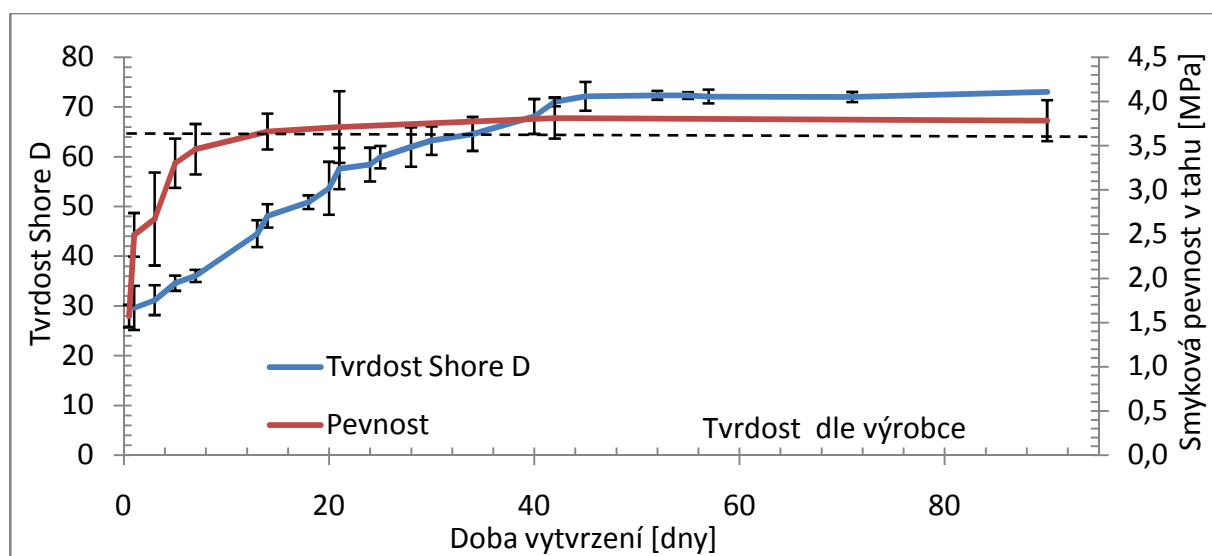
Předpoklad autorů [48, 49], že s vyšší drsností povrchu materiálu roste funkční plocha pro lepení, byl potvrzen. Předpoklad, že vyšší hodnota parametru drsnosti R_a vede k vyšší pevnosti lepeného spoje, nebyl zcela potvrzen. Při volbě povrchové úpravy je nutné brát

v úvahu také ekonomické hledisko, kde provedení povrchové úpravy prodlužuje a komplikuje výrobu a tím pádem i prodražuje výsledný produkt. V některých případech může být mechanická úprava nadbytečná a je ji možné vynechat a tím snížit výrobní náklady, jak potvrdil ve svém výzkumu Müller. [50]

6.4.3 Pevnost ve smyku lepených sestav a tvrdost lepidla dle doby vytvrzování

Na rozdíl od nýtování, šroubování nebo pájení a svařování, kdy spoj můžeme zatěžovat prakticky okamžitě, má technologie lepení nevýhodu v podobě časové prodlevy, kdy lepený spoj dosáhne maximální pevnosti a může být plně zatížen. Tento čas závisí na druhu použitého lepidla, adherendu i vytvrzovacím prostředím.

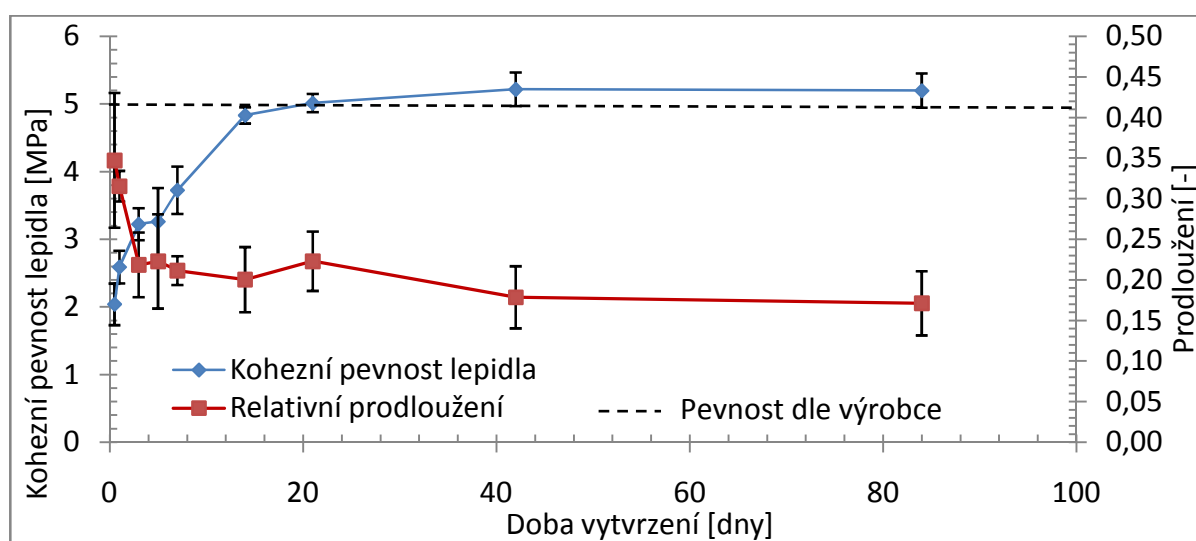
Průběh tvrdosti Shore D a pevnosti ve smyku lepených sestav při tahovém namáhání v závislosti na době vytvrzování lepidla SikaForce - 7723 L175, které je využito při výrobě zkušebních těles pro ostatní experimenty, je zobrazen na Obr. 6.24. Tvrdost lepidla rostla lineárně po dobu prvních 43 dnů vytvrzování, následně stagnovala na hodnotě 72 Shore D. Smyková pevnost lepeného spoje vykazuje výrazný nárůst v prvních 5 dnech od aplikace, kdy po prvních 24 hodinách dosahuje 65 % maximální pevnosti. Po pěti dnech od aplikace dochází již k mírnému nárůstu a smyková pevnost v tahu lepeného spoje po 7 dnech dosahuje 91 % maximální pevnosti. Výrobce udává dosažení maximální pevnosti po 21 dnech od aplikace za daných podmínek. Tento údaj byl experimentem ověřen a lze tvrdit, že podmínky pro vytvrzení lepidla byly v laboratorním prostředí vhodné.



Obr. 6.24 Tvrdość Shore D a pevnost ve smyku v závislosti na době vytvrzování

6.4.4 Kohezní pevnost lepidla v závislosti na době vytvrzení

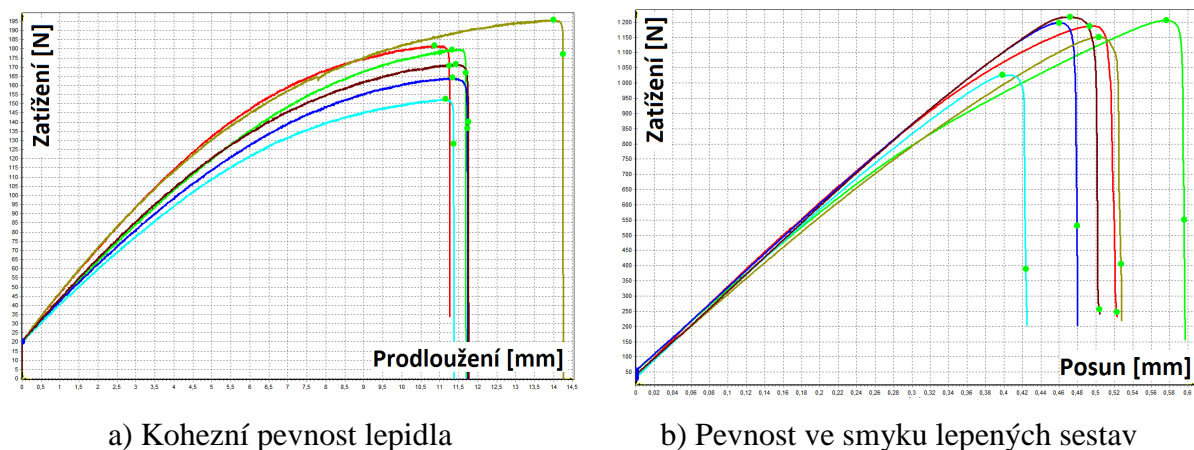
Kohezní pevnost lepidla je soubor sil, který po vytvrzení drží lepidlo pohromadě. S dobou vytvrzování dochází ke změně kohezní pevnosti a schopnosti lepidla se deformovat (protahovat) jak zobrazuje Obr. 6.25. Výrobce lepidla SikaForce - 7723 L175 uvádí dosažení maximální pevnosti (5 MPa) po 21 dnech od aplikace za stanovených podmínek. [30] Kohezní pevnost lepidla vykazuje výrazný nárůst v prvních 14 dnech od aplikace, kdy dosahuje hodnoty kohezní pevnosti $4,83 \pm 0,12$ MPa. Po 21 dnech od aplikace pevnost dosahovala hodnoty $5,01 \pm 0,14$ MPa a následně docházelo k mírnému nárůstu a pevnost stagnovala na hodnotě $5,20 \pm 0,25$ MPa.



Obr. 6.25 Kohezní pevnost a prodloužení lepidla v závislosti na době vytvrzení

Ze získaných výsledků a grafického znázornění lze konstatovat, že s prodloužující se dobou vytvrzování roste kohezní pevnost lepidla a zároveň klesá relativní prodloužení (možnost deformace lepidla v tahu). Po 14 dnech od aplikace dosahovala kohezní pevnost 93 % maximální pevnosti a v dalším časovém intervalu již rostla mírně. Relativní prodloužení výrazně kleslo v intervalu prvních 3 dnů a následně stagnovalo na hodnotě $0,17 \pm 0,04$.

U tohoto měření je nutné podotknout, že vzhledem k rozsahu měření zkušebního zařízení mohlo docházet k měření s velkými chybami (síly menší než 200 N). Tato skutečnost může být reprezentována velkou směrodatnou odchylkou v některých případech měření. Vzhledem ke shodnosti experimentálně získaných dat s údaji uvedenými výrobcem lze usoudit, že měření nebylo zatíženou velkou chybou a výsledky mají vypovídající hodnotu.

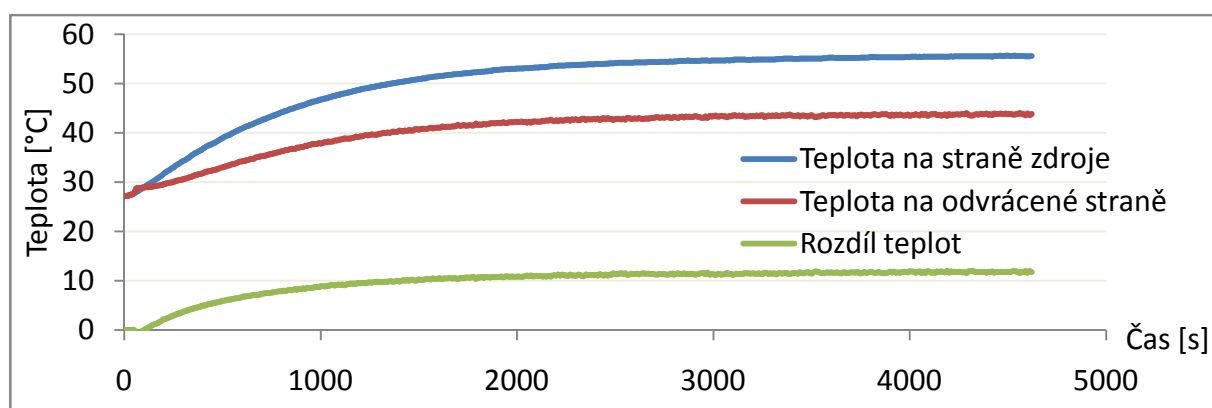


Obr. 6.26 Deformační diagramy

Na Obr. 6.26 jsou zobrazeny charakteristické deformační diagramy zkušebních sérií z experimentů hodnotících kohezní pevnost lepidla Obr. 6.26 a) a pevnost ve smyku lepených sestav při namáhání tahem Obr. 6.26 b), kdy jednotlivé křivky zobrazují průběhy zkušebních těles celé testované série.

6.5 Tepelné parametry

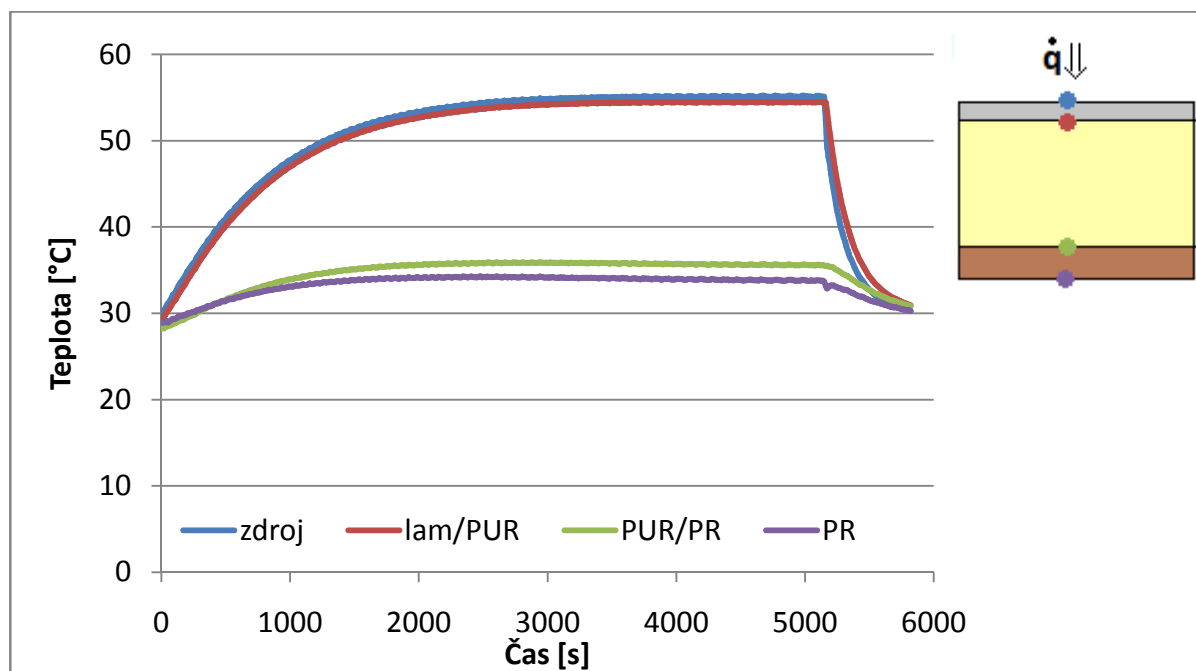
Pro měření průběhu teplot v sendvičovém materiálu byly vybrány materiály a sendviče shodné jako v případě ostatních experimentů. Měřeny byly samotné materiály (laminát, překližka, polyuretanová pěna), tak i sendviče z těchto materiálu vyrobené. Příklad teplotních změn je zobrazen na Obr. 6.27, kde je ukázka průběhu teplot na obou stranách materiálu při měření polyuretanové pěny tloušťky 5 mm doplněné křivkou, která určuje rozdíl teplot na straně ohříváné a straně opačné.



Obr. 6.27 Průběh teplot při měření jednoho materiálu (PUR 5 mm)

Při tomto experimentu byla zkouška ukončena v okamžiku, kdy rozdíl naměřených hodnot stagnoval na ustálené hladině.

Na Obr. 6.28 je zobrazen průběh teplot pro sendvičový materiál ve složení polyesterový laminát, polyuretanová pěna (35 kg·m⁻³) a březová překližka. Po kondicionování zkušebních těles v teplotní komoře byly termočlánky zapojeny do sestavy a na vrstvu laminátu byl přiložen zdroj tepla. Průběh křivek zobrazuje změnu teploty v sendvičovém materiálu. Po ustálení teplot byl tepelný zdroj odejmut, ale záznam teplot pokračoval až do úplného vyrovnání teplot.



Obr. 6.28 Průběh teplot v sendvičovém materiálu

V následující Tab. 6.4 jsou zobrazeny výsledky experimentu pro měření tepelně izolačních vlastností sendvičových materiálů. Porovnáním hodnot vypočtených a experimentálně získaných lze potvrdit jejich podobnost, a proto lze pro výpočet a konstrukci tepelně izolačních parametrů sendvičového materiálu využít teoretický výpočet.

Tab. 6.4 Porovnání vypočtených a experimentálních hodnot tepelných parametrů

Materiál	ΔT [°C]	
	Vypočteno	Změřeno
LAM - PUR35 5 mm - LAM	11,7	11,2
LAM - PUR35 10 mm - LAM	20,2	21,0
LAM - PUR35 5 mm - PR4	12,9	13,1
LAM - PUR35 10 mm - PR4	21,3	21,1
LAM - PR4 - PUR35 10 mm - LAM	21,8	22,3
LAM - PR9 - PUR35 10 mm - LAM	29,9	30,3

Při použití této metody je nutné znát tepelné parametry alespoň jednoho materiálu pro určení tepelného toku procházejícím sendvičem. Při výpočtu tepelného toku bylo použito tepelných parametrů polyuretanové pěny. Při teoretickém výpočtu byly použity hodnoty uváděné výrobcem pro daný materiál.

6.6 Marketingová analýza

Firma PSP izoterm s.r.o. byla založena roku 1991, kdy hlavním výrobním programem byla výroba panelů pro stavební a obytné domky. V současné době má firma okolo 40 zaměstnanců a dva provozy. Ve výrobním programu jsou nyní k dispozici CNC pily pro řezání polyuretanových bloků, vakuové lisovací stroje pro lepení sendvičových materiálů, vstřikovací zařízení pro vypěňování do forem a dílny jako zámečna, svařovna, truhlárna a hala pro montáž dodatečných izolací. V současné době zahrnuje výrobní portfolio firmy panely pro automobilový, stavební a letecký průmysl, izolace potrubí, dodatečné izolace užitkových automobilů, matrace, polštáře a další vycpávky z pružných pěn. Firma spolupracuje s 20 hlavními a dalšími 30 menšími odběrateli. Hlavními dodavateli je 15 firem z celkových 30. V oblasti výroby tepelně izolačních sendvičových materiálů má společnost konkurenci v podobě dvou tuzemských a dvou středoevropských firem (Polsko, Německo). Ostatní produkty, které tvoří hlavní výrobní program mají konkurenci ve větším rozsahu.

6.6.1 Dotazníkový průzkum

Vyhodnocení dotazníků

V následujících kapitolách jsou prezentovány výsledky vyplněných dotazníků od odběratelů, dodavatelů a vedoucích pracovníků společnosti.

Odběratelé

Většina odběratelů patří mezi dlouhodobé zákazníky, kdy spolupráce trvá osm a více let. V případě izolačních panelů odběratelé uvádějí dva možné alternativní dodavatele podobných produktů. Ostatní vedlejší výrobní produkty mají velkou konkurenci. Nejčastějším důvodem změny dodavatele je rostoucí cena, snižující se kvalita a delší dodací lhůty. Nejdůležitější vlastnosti, které vyžadují odběratelé, jsou uvedeny v Tab 6.5, kde jsou vlastnosti řazeny sestupně dle významnosti.

Tab. 6.5 Odběrateli preferované vlastnosti Tab. 6.6 Preferované vlastnosti u PSP izoterm

Místo		Místo	
1	Cena výrobku	1	Jakost dodávky
2	Jakost dodávky	2	Cena výrobku
3	Rychlost dodávky	3	Rychlost dodávky
4	Možnost změny a variabilita	4	Komunikace
5	Komunikace	5	Možnost změny a variabilita
6	Reklamace	6	Platební podmínky
7	Platební podmínky	7	Reklamace
8	Výzkum a inovace	8	Výzkum a inovace
9	Benefity	9	Benefity

Mezi nejčastěji uváděné negativní vlastnosti, které zákazníci spolupracující s firmou považují za nežádoucí u svých dodavatelů, patří vysoká cena, špatná kvalita výrobků, malá flexibilita, dlouhé dodací lhůty. Faktory a vlastnosti, které zákazníci preferují a oceňují u svých dodavatelů, lze shrnout do následujících bodů: cena odpovídající kvalitě, spolehlivost, rychlost, dodržení termínů a dobrá komunikace.

Vlastnosti, které odběratelé oceňují u společnosti PSP izoterm, jsou sestupně seřazeny dle jejich významnosti v Tab. 6.6. Jakost dodávky a Cena výrobku se v Tabulkách 6.5 a 6.6 objevují na prvních pozicích, tzn. pro odběratele jsou to důležité vlastnosti a zároveň tyto vlastnosti kladně hodnotí u společnosti PSP izoterm.

Mezi nejčastěji uváděné slabé stránky společnosti PSP izoterm lze dle odběratelů zmínit vyšší cenu oproti konkurenci, ojediněle pokles kvality vybraných produktů a s tím spojená reklamace. Naopak mezi silné stránky a pozitiva odběratelé uvádějí tyto vlastnosti: velká flexibilita, rychlost dodávek a dobrá komunikace. Dobré hodnocení vlastnosti reklamace svědčí o dobré kvalitě dodávaných produktů, protože není nutné reklamce uplatňovat.

Součástí marketingové analýzy bylo také ohodnotit škálou 1 až 5 vybrané vlastnosti společnosti PSP izoterm. Vysoké hodnocení dosáhly vlastnosti jako komunikace, rychlost dodávky, platební podmínky a možnost změny a variabilita. Nabídka, cena produktů, jakost dodávky, věda a výzkum byly hodnoceny jako průměrné. Zákazníci by byli nejčastěji ochotni přejít ke konkurenci, pokud by nabídla cenu nižší o 10 % (38 % respondentů) a 15 % (38 % respondentů). Deset procent respondentů by bylo ochotno přejít ke konkurenci již při 5% snížení ceny. V oblasti investice do vědy a výzkumu jsou odběratelé nejčastěji ochotni

investovat do 1 % z ceny produktu. Čtvrtina odběratelů není ochotna jakkoliv investovat do vědy, výzkumu a inovací.

Dodavatelé

Dodavatelé PSP izoterm patří také k dlouhodobým partnerům společnosti. Více jak polovina dodavatelů spolupracuje s firmou déle jak osm let (spolupráce z pohledu tržeb je pro dodavatele spíše zanedbatelná). S tím souvisí také počet dalších odběratelů, kdy pokud se nejedná o specifické produkty, mají dodavatelé více jak čtyři další odběratele. Důležité vlastnosti pro dodavatele, které preferují u zákazníků, jsou zobrazeny v Tab. 6.7, kde jsou seřazeny sestupně dle významnosti. Tab 6.8 zobrazuje vlastnosti, které považují dodavatelé za důležité u PSP izoterm.

Tab. 6.7 Priority dodavatelů

Místo	
1	Pravidelnost zakázek
2	Platební morálka
3	Velikost zakázek
4	Komunikace
5	Nejvyšší cena
6	Jméno (goodwill, know how)
7	Výzkum a inovace
8	Benefity

Tab. 6.8 Důležité vlastnosti PSP izoterm

Místo	
1	Komunikace
2	Pravidelnost zakázek
3	Platební morálka
4	Jméno (goodwill, know how)
5	Velikost zakázek
6	Výzkum a inovace
7	Benefity
8	Nejvyšší cena

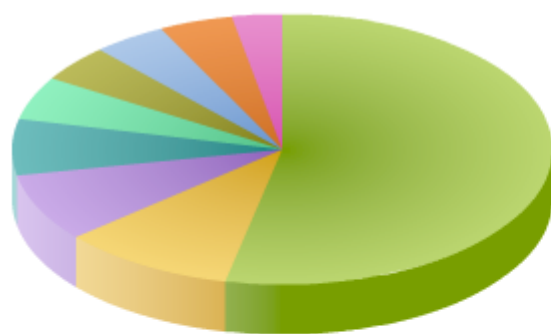
Z porovnání tabulek 6.7 a 6.8 je zřejmé, že pro dodavatele není nejdůležitější vyšší cena prodávaných produktů, ale naopak důležitá je pravidelnost zakázek, komunikace a platební morálka, vlastnosti, které jsou také kladně hodnoceny a uvedeny u odběratele PSP izoterm.

Pozitivně a dobrou známkou ohodnotili dodavatelé vlastnosti PSP izoterm jako jsou dobrá komunikace, pravidelnost zakázek a reklamace. Průměrné ohodnocení dostaly vlastnosti jako cena produktů, modifikace výrobků na základě zkušeností, inovace a výzkum a benefity. Platební morálka PSP izoterm vůči dodavatelům je hodnocena výborně nebo jako dobrá. Slabé stránky firmy z pohledu dodavatelů nejsou uváděny, výjimečně je uvedena špatná platební morálka a malé dodávky.

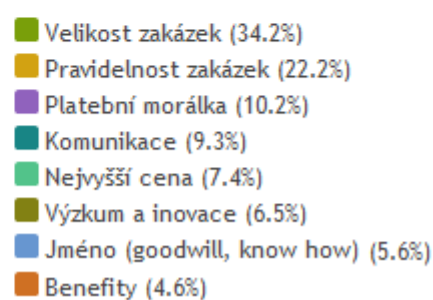
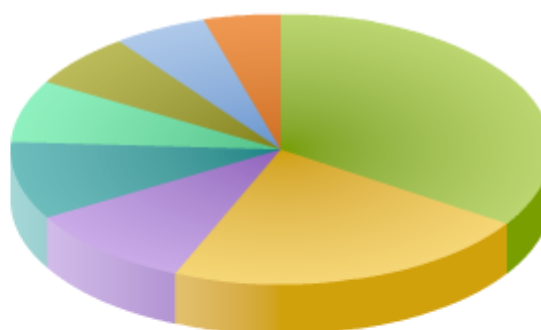
Vedoucí pracovníci společnosti

Ve vedoucích pozicích společnosti jsou tři majitelé se shodným vlastnickým podílem. Role pracovníků se ve společnosti navzájem prolínají ale obecně jsou role rozděleny na

jednatele a vedoucího výroby. Šetření mezi majiteli společnosti probíhalo pomocí dotazníků a řízeného rozhovoru. Na Obr. 6.29 jsou zobrazeny vlastnosti dodavatelů, které jsou preferovány a jsou důležité pro jejich kladné hodnocení. Hodnocení probíhalo seřazením vlastností dle priorit respondentů, čím výše byla vlastnost, tím byla důležitější. Výsledek je součet všech odpovědí. Jasně nejdůležitější vlastností pro hodnocení dodavatelů je jakost dodávky (53 %). Mezi vlastnosti dodavatelů, které jsou očekávané a pozitivní pro dlouhodobou spolupráci, lze zařadit: vstřícnost, komunikace, kvalita a rychlost dodávek. Naopak nežádoucí vlastnosti a negativa dodavatelů jsou opakem vlastností uvedených jako pozitivní a lze uvést dlouhé dodací lhůty, špatná kvalita dodávky, špatná komunikace a neochota. Vedoucí pracovníci by začali uvažovat o změně dodavatele, pokud by nabídka konkurence byla o 10 % nižší. Vybrané vlastnosti odběratelů byly hodnoceny shodně jako u dodavatelů z pohledu jejich priority a jsou zobrazeny na Obr. 6.30, kde je uvedena významnost vlastností pro kladné hodnocení odběratelů. Lze postřehnout, že mezi hlavní kritéria při hodnocení odběratelů nepatří nejvyšší cena, ale vlastnosti jiné, které jsou uvedeny na obrázku.



Obr. 6.29 Důležitost vlastností dodavatelů



Obr. 6.30 Důležitost vlastností odběratelů

6.6.2 SWOT analýza

Sestavení SWOT matice probíhalo na základě diskuze s vedoucími pracovníky společnosti. Sestavená matice je zobrazena v Tab. 6.9, kde je společně s hodnocením faktorů uvedena i jejich významnost pomocí váhového kritéria.

Tab. 6.9 SWOT matice

Hodnocení: W+T (-5-0) , S+O (0-5)

Silné stránky (S)	Váha	Hodnocení	Skóre
Vlastní výzkum	0,05	4	0,2
Technická vybavenost	0,15	4	0,6
Know-how	0,1	3	0,3
Kvalita výrobního procesu ISO 9001	0,1	5	0,5
Nabídka a možnost změny produktů	0,2	4	0,8
Jakost a rychlost dodávky	0,25	5	1,25
Vztahy se zákazníky a komunikace	0,15	5	0,75
		Součet	4,4
Slabé stránky (W)			
Vyšší cena	0,7	-4	-2,8
Snížená odolnost (1 produkt)	0,3	-3	-0,9
		Součet	-3,7
Příležitosti (O)			
Noví odběratelé	0,2	4	0,8
Noví dodavatelé	0,05	4	0,2
Nový výrobek	0,2	5	1
Nový segment trhu	0,3	2	0,6
Rostoucí poptávka (dotace)	0,25	2	0,5
		Součet	3,1
Ohrožení (T)			
Nová konkurence	0,25	-4	-1
Substitut	0,2	-2	-0,4
Legislativní změny ČR	0,1	-2	-0,2
Ztráta dodavatele	0,1	-2	-0,2
Ztráta strategického partnera	0,25	-5	-1,25
Ekologické normy	0,1	-2	-0,2
		Součet	-3,25

Interní faktory (S+W)	0,7
Externí faktory (O+T)	-0,15
Celkem	0,55

	S	W
O		
T		

Dle provedené SWOT analýzy se společnosti doporučuje "ST strategie", která je charakterizována využitím svých silných stránek k minimalizaci ohrožení. Podrobnou analýzou jednotlivých faktorů lze vyhodnotit možnosti dalšího rozvoje. Společnost by měla využít svých dobrých vlastností, které kladně hodnotili také zákazníci v průzkumu, jako jsou kvalita, rychlost a variabilita dodávky. Pomocí těchto vlastností lze uspokojit požadavky zákazníka a omezit tak ohrožení v podobě ztráty strategického partnera a odlivu zákazníků k nové konkurenci. Důvodem ztráty zákazníka a přechodu ke konkurenci by také mohla být

vyšší cena produktů, která v hodnocení dosáhla vysokého záporného hodnocení. Vyšší cena produktů je spojena se spokojeností zákazníků s kvalitními službami a výrobky společnosti. Snížení výrobních nákladů na výrobek by mohlo mít za následek snížení jakosti a kvality nabízených služeb a produktů a s tím spojená ztráta výhody oproti konkurenci. Na druhou stranu lze sloučením některých technologických operací snížit výrobní náklady bez rizika snížení kvality výsledného produktu. Při změně technologie výroby je nutné všechny tyto faktory zvážit a správně vyhodnotit.

6.6.3 SPACE analýza

SPACE analýza slouží k vymezení pozice společnosti v tržním prostředí a byla vypracována ve spolupráci s vedoucími pracovníky. Finanční ukazatele byly získány z rozvahy za rok 2012, hodnoty v tis. Kč. Tato rozvaha je obdobná jako rozvahy za posledních 5 let z hlediska nákladů, obratu a zisku. Vyhotovení SPACE analýzy je uvedeno níže a z výsledků je možné určit strategii řízení pro dosažení požadovaných cílů.

Vnitřní faktory

Finanční síla

Návratnost investice

Společnost investovala v posledních pěti letech do nového CNC zařízení (Pila, Frézka) a vakuového lisu. Nová zařízení přinesla zvýšení objemu výroby (vakuový lis) a rychlejší, přesnější výrobu spolu s možností výroby nových produktů (CNC Pila a Frézka).

Skóre: 4

Likvidita

Běžná likvidita = oběžná aktiva (pokladna, účty, cenné papíry)/krátkodobé závazky

Běžná likvidita = 23 549 tis. Kč / 8 253 tis. Kč = 2,85

Pohotovostní likvidita = (oběžná aktiva - zásoby)/krátkodobé závazky

Pohotovostní likvidita = (23 549 tis. Kč - 10 243 tis. Kč) / 8 253 tis. Kč = 1,61

Okamžitá likvidita = finanční majetek / krátkodobé závazky

Okamžitá likvidita = 2 545 tis. Kč / 8 253 tis. Kč = 0,31

Skóre: 3

Cash flow

Cashflow = příjmy - výdaje

Cashflow = Provozní výsledek hospodaření = 2 168 tis. Kč

Skóre: 4

Míra zadlužení

Míra zadluženosti = cizí zdroje/vlastní jmění x 100 [%]

Míra zadluženosti = 16 669 tis. Kč / 27 287 tis. Kč x100 = 61 %

Skóre: 2

Požadovaný vs. disponibilní kapitál

Společnost je schopna bez problému udržovat provoz z vlastního kapitálu. Investice do rozšíření výrobních kapacit a nových technologií je prováděna formou úvěrů a leasingu.

Skóre: 3

Výstupní bariéry

Výstupní bariéry jsou především ve formě nevyužitého technologického zařízení a know-how, ztráta vybudované distribuční sítě, závazků vůči věřitelům a zákazníkům, ručení za výrobky a dále propouštění pracovníků s odstupným.

Skóre: 2

Míra rizika

Míru rizika lze rozdělit do tří hlavních oblastí. Ztráta dodavatele nebo odběratele, poruchu technologického zařízení a ztrátu kvalifikovaných pracovníků. Výpadek jakéhokoliv dodavatele lze nahradit dodavatelem jiným, ztráta strategického odběratele může mít významný dopad na provoz společnosti. Technologie výroby se neobejde bez vakuového lisu a CNC pily. Při poruše zařízení může být částečně provoz pokryt druhým zařízením. Kvalifikované pracovníky lze v krátké době nahradit novou kvalifikovanou pracovní silou (nejedná se o specializovanou kvalifikaci).

Skóre: 3

Obrat zásob

Řízení obratu zásob probíhá nejvýše v intervalu 14 dní, v případě polyuretanových bloků, v případě spotřeby hutního materiálu je dodávka řešena okamžitě díky sousedství s dodavatelem hutního materiálu.

Obrat zásob = Tržby/Zásoby

Obrat zásob = 61 313 tis. Kč / 10 243 tis. Kč = 5,99

Skóre: 4

Využití úspor z rozsahu a zkušeností

Ve společnosti je zaveden kvalitní informační systém pro sledování a kontrolu výroby, propojující přípravu výroby, samotnou výrobu až po expedici. Společnost využívá odpadní

materiál k dalšímu zpracování nebo k prodeji (dřevěný materiál pro palivové brikety, polyuretan pro dodatečné izolace).

Skóre: 4

Konkurenční výhoda

Podíl na trhu

Na tuzemském trhu má společnost v oblasti hlavní výroby tepelně izolačních materiálů pro automobilový průmysl konkurenci v podobě dvou společností a její podíl v tomto segmentu tvoří 60-70 %. Ve střední Evropě se nacházejí další dva producenti nabízející shodné nebo podobné produkty.

Skóre: 2

Kvalita výrobků

Ze zkušeností zákazníků a z výsledků marketingového průzkumu odpovídá kvalita výrobků jejich ceně. V některých případech je kvalita produktů vyšší oproti konkurenci, naopak u jednoho zákazníka byl sledován pokles odolnosti jednoho produktu.

Skóre: 5

Životní cyklus výrobků

Společnost vyrábí několik různých výrobků s odlišným životním cyklem. Převážná většina produktů tvořící hlavní výrobní program (tepelně izolační panely) patří mezi produkty zralé, tzn. dlouhodobě se jejich poptávka nemění a stagnuje na ustálené hodnotě. Mírný růst a dosažení zralosti čeká produkty z elastických pěn v podobě vycpávek a matrací.

Skóre: 4

Rychlost zavádění nových výrobků

Výrobní program je složen převážně ze zakázkové výroby. Výroba se přizpůsobuje požadavkům zákazníků. V dotazníkovém průzkumu byla kladně hodnocena vlastnost jako "Možnost změny a flexibilita".

Skóre: 5

Loajalita zákazníků

Většina zákazníků jsou dlouhodobí partneři. Výrazný odliv ke konkurenci nebyl zaznamenán a vzhledem k malému počtu konkurentů a zakázkové výrobě jsou zákazníci značně loajální.

Skóre: 4

Technologické know-how

Společnost má dlouholeté zkušenosti s výrobou, disponuje moderními CNC stroji a vlastní certifikát jakosti ISO 9001, který zajišťuje vysokou úroveň výroby. Výrobní program není chráněn průmyslovými vzory, patenty apod.

Skóre: 3

Vertikální integrace

Společnost se doposud nediversifikovala ve výrobním řetězci.

Skóre: 1

Inovační cyklus

Inovace, výzkum a vývoj probíhá ve spolupráci s vysokou školou, výzkumnými ústavami a také probíhá na základě zkušeností a zpětných vazeb od zákazníků.

Skóre: 5

Vnější faktory

Stabilita prostředí

Technologické změny

Výroba tepelně izolačních materiálů nepatří mezi rychle se rozvíjející oblasti průmyslu ve srovnání s IT technologiemi apod.

Skóre: 5

Míra inflace

Míra inflace nemá významný vliv na produkci. Společnost exportuje také do zahraničí, proto má významný vliv kurz české koruny vůči cizím měnám.

Skóre: 3

Proměnlivost poptávky

Za posledních 5 let společnost nezaznamenala výraznou změnu poptávky svých produktů. Poptávka je závislá na ročním období, kdy v teplých měsících se díky stavebním pracím poptávka po produktech pro stavbu malých objektů zvyšuje.

Skóre: 4

Cenové rozpětí konkurenčních výrobků

Výrobní program společnosti je založen převážně na zakázkové výrobě, proto lze obtížně hodnotit cenové rozpětí konkurence pro odlišné produkty. Cenové rozpětí podobných výrobků společnosti a konkurence se pohybuje $\pm 5\%$.

Skóre: 3

Vstupní bariéry

Z hlediska legislativních norem nejsou kladeny žádné bariéry. Pro vstup je nutná investice do technologie a know-how. Vytvoření distribuční sítě (dodavatelé, odběratelé).

Skóre: 4

Konkurenční tlak

Konkurenční tlak je hlavně v podobě nižší ceny. Díky vyššímu technologickému zázemí může mít společnost širší nabídku produktů oproti konkurenci

Skóre: 4

Cenová elasticita

Přítomnost konkurence neumožňuje zvyšování ceny produktů. Na druhou stranu nelze již cenu produktů snižovat z důvodu ziskovosti výroby.

Skóre: 3

Tlak ze strany substitutů

V oblasti tepelně izolačních materiálů není tlak ze strany substitutů výrazný. V oblasti matrací z elastické pěny je na trhu více substitutů od mnoha výrobců, kteří nabízejí materiály např. na bázi přírodních materiálů.

Skóre: 4

Síla odvětví

Růstový potenciál

V posledních 5 letech se v oblasti tepelně izolačních sendvičových materiálů výrazně neměnila poptávka. Mírný nárůst poptávky byl zaznamenán v oblasti matrací a dalších výrobků z elastického polyuretanu a v oblasti stavebnictví, kde díky lepší ekonomické situaci docházelo k rozvoji tohoto odvětví.

Skóre: 3

Ziskový potenciál

Ve výrobě tepelně izolačních sendvičových materiálů je kladen důraz na co nejnižší cenu. Při zvýšení ceny produktů zákazníci odcházejí ke konkurenci za nižší cenou. Ziskový potenciál by se mohl zvýšit při zavedení programu "Zelená úsporám", kdy by došlo díky dotacím k nárůstu poptávky.

Skóre: 2

Finanční stabilita

Stavba budov, izolace a výroba tepelně izolačních materiálů nepodléhá "módním vlivům" a jejich poptávku je nutno uspokojovat kontinuálně.

Skóre: 4

Technologické know-how

Společnost se zabývá výrobou specifických produktů, které vyžadují speciální technologie a postupy. Při výrobě sendvičových materiálů je využíváno know-how daného výrobce, které tvoří vysokou přidanou hodnotu společnosti.

Skóre: 4

Využití zdrojů

Společnost efektivně využívá vlastní zdroje k zlepšení výroby a jména společnosti. Cizí zdroje jsou úspěšně využívány při rozšíření výrobních kapacit a nákupu nových technologií.

Skóre: 3

Kapitálová intenzita

Kapitálová intenzita = kapitál/pracovníci

Kapitálová intenzita = 27 287 tis. Kč / 39 = 700 tis./pracovník

Skóre: 4

Složitost vstupu do odvětví

Pro vstup do odvětví je nutná nákladná investice do technologie (lisy, vstříkovací zařízení) a potřebné know-how, jelikož se jedná o specifickou výrobu. Při vstupu je nutné vybudování distribuční sítě.

Skóre: 5

Produktivita

Produktivita = tržby/náklady

Produktivita 215 tis. Kč / 137 tis. Kč = 1,60

Skóre: 4

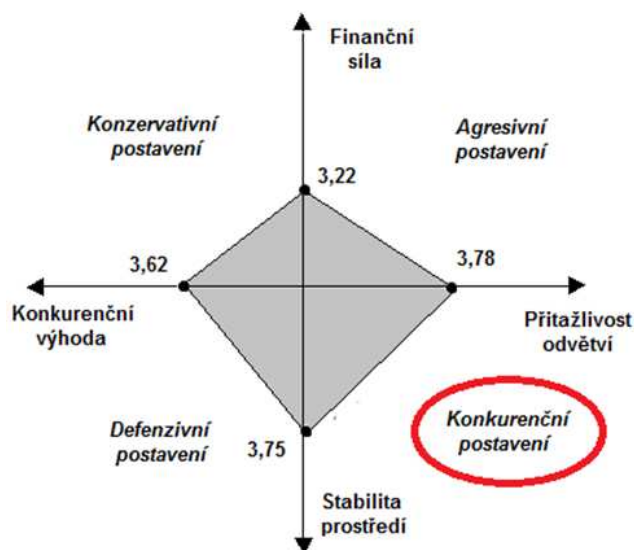
Vyjednávací síla výrobců

Výrobci tepelně izolačních sendvičových materiálů disponují technologiemi speciálně určenými pro produkci specifických výrobků. Změna postupu výroby a technologie je spojená s vysokými náklady. Tento segment není přesycen výrobci, proto síla výrobců je silná.

Skóre: 5

Tab. 6.10 Hodnocení faktorů dle SPACE analýzy

Vnitřní faktory		Vnější faktory	
Finanční síla		Stabilita prostředí	
Návratnost investice	4	Technologické změny	5
Likvidita	3	Míra inflace	3
Cash flow	4	Proměnlivost poptávky	4
Míra zadlužení	2	Cenové rozpětí konkurenčních výrobků	3
Požadovaný vs. disponibilní kapitál	3	Vstupní bariéry	4
Výstupní bariéry	2	Konkurenční tlak	4
Míra rizika	3	Cenová elasticita	3
Obrat zásob	4	Tlak ze strany substitutů	4
Využití úspor z rozsahu a zkušeností	4		
Celkem	3,22	Celkem	3,75
Konkurenční výhoda		Přitažlivost odvětví	
Podíl na trhu	2	Růstový potenciál	3
Kvalita výrobků	5	Ziskový potenciál	2
Životní cyklus výrobků	4	Finanční stabilita	4
Rychlost zavádění nových výrobků	5	Technologické know-how	4
Loajalita zákazníků	4	Využití zdrojů	3
Technologické know-how	3	Kapitálová intenzita	4
Vertikální integrace	1	Složitost vstupu do odvětví	5
Inovační cyklus	5	Produktivita	4
		Vyjednávací síla výrobců	5
Celkem	3,62	Celkem	3,78



Obr. 6.31 Vyhodnocení SPACE analýzy

Shrnutí hodnotících faktorů pro čtyři základní skupiny je uvedeno v Tab. 6.10. Obr. 6.31 graficky vyhodnocuje SPACE analýzu, podle které by společnost měla zaujmout strategii "Konkurenčního postavení". Cílem konkurenční strategie je získat výhodu pro

společnost. Konkurenční výhoda je základním atributem pro zvýšení výkonnosti v tržním prostředí, napomáhá konkurovat a udržovat postavení společnosti na trhu. Potencionální konkurenční výhodu lze najít všude v podniku a je nutné každý dílčí orgán od vedoucích pracovníků po pracovníky vykonávající samotnou výrobu seznámit s touto strategií, aby každý chápal svoji funkci v daném řetězci. Konkurenční výhoda může být ve formě nižší ceny za stejné výrobky oproti konkurenci. Z výše zjištěných skutečností však vyplývá, že cena konkurence je v některých případech nižší. V takovém případě je nutné vyšší cenu zákazníkovi vynahradit kvalitnějšími produkty a službami, např. v podobě rozšířené záruky a dostatečně informovat zákazníky o skutečnosti, že vyšší cena s sebou přináší lepší vlastnosti a služby. Další konkurenční výhodu společnosti lze spatřovat v oblasti výzkumu a inovace. Společnost aktivně spolupracuje s vysokou školou a dalšími výzkumnými ústavami, které se podílejí na vylepšení produktů, vyhodnocuje dlouhodobé zkušenosti a připomínky zákazníků. Významnou konkurenční výhodou jsou také zkušenosti vyplývající z historie firmy (23 let), vybudovaná dodavatelská a zákaznická síť a v neposlední řadě i jméno společnosti v tomto segmentu výroby.

Oblast, kde je prostor pro zvýšení konkurenceschopnosti a která v hodnocení dostala nízkou známku, je vertikální integrace. Vertikální integrace v sobě zahrnuje diverzifikaci jak k dodavatelům, tak k odběratelům. Tato diverzifikace může přinést užitek, ale naopak také další rizika, která je nutné před touto diverzifikací vyhodnotit.

7 ZÁVĚR

Jedním z prvních cílů pro zpracování disertační práce je zmapování problematiky sendvičových materiálů a popsání vybraných technických parametrů těchto materiálů. Při shromažďování informací z tuzemských a zahraničních pramenů byl kladen důraz na uvedení informací v širokém průřezu řešené problematiky. Literární rešerše je sestavena tak, aby bylo možné z uvedených informací získat ucelený pohled a pochopit podstatu výhodných vlastností sendvičových materiálů. Mezi tyto mechanismy tvořící sendvičový materiál patří mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti jak výplňových, tak i potahových materiálů. Důležitým mechanismem tvořícím synergický efekt těchto materiálů je interakce vrstev mezi sebou, a proto se práce také zabývá vazbami na rozhraní lepených materiálů a objasněním pojmů adheze a koheze. Vzhledem k velkému rozsahu problematiky sendvičových materiálů nelze tuto problematiku obsáhnout v jedné práci. Disertační práce a především laboratorní experimenty jsou zaměřeny na tepelně izolační materiály s polyuretanovou izolační výplní a potahem z polyesterového laminátu. Tato práce vznikla za podpory společnosti PSP izoterm, která se dlouhodobě zabývá výrobou tepelně izolačních materiálů. Výrobcem byly definovány požadavky na popsání a determinování vybraných mechanických vlastností, které jsou doplněny o další technické parametry ověřené pomocí laboratorních experimentů. Sendvičové materiály jsou nehomogenní materiály, které jsou tvořeny rozličnými materiály, a nelze na ně aplikovat běžné metody destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Z tohoto důvodu bylo nutné modifikovat platné metody zkoušek a zavést nové postupy pro experimentální získání vybraných vlastností. Vhodnost zkušebních postupů byla experimentálně ověřena a na základě těchto metod byly vyhodnoceny technické parametry sendvičových materiálů.

Pro hodnocení ohybových vlastností byl navržen a následně vyroben přípravek umožňující čtyřbodý ohyb, společně se zařízením umožňujícím měření průhybu v oblasti konstantního ohybu doplněný o podložky sloužící k rozložení zatížení. Bez použití podložek docházelo v místě kontaktu zatěžujících trnů a materiálu ke stlačování pěny. Změna ohybových vlastností byla hodnocena se změnou tloušťky a hustoty výplňového materiálu a dle konstrukce sendviče. Mez pevnosti a modul pružnosti v ohybu klesají s rostoucí tloušťkou materiálu. Tato závislost byla prokázána u výplňových materiálů z polyuretanu o hustotách 35 a 60 kg·m⁻³. Při použití různých hustot polyuretanu roste mez pevnosti v ohybu spolu s hustotou výplně. Se změnou hustoty výplně z polyuretanu nedochází k výrazné změně modulu pružnosti v ohybu. Při použití polyuretanu o hustotě 35 a 145 kg·m⁻³ se modul pružnosti v ohybu výrazně neměnil, naproti tomu mez pevnosti v ohybu vzrostla o 137 %. Při

hodnocení materiálů s vyztužujícími vrstvami experiment prokázal pozitivní vliv na vyšší hodnotu meze pevnosti v ohybu při použití vyztužujících vrstev ve formě březové překližky. S rostoucí tloušťkou březové překližky rostla mez pevnosti v ohybu, naopak modul pružnosti v ohybu klesl. Součástí hodnocení je také charakteristika mechanismu porušení zkušební tělesa. K destrukci materiálu nejčastěji docházelo delaminací na rozhraní polyuretanové pěny a laminátu, společně s prasknutím výplně. Vhodnost navržené metody pro sendvičové materiály s odlišnými vlastnostmi, než mají tepelně izolační materiály s polyuretanovou výplní, byla při experimentu potvrzena.

Hodnocení tlakových vlastností sendvičových materiálů zatížených silou kolmou na vrstvy materiálu lze využít k určení maximální hmotnosti nákladu, který je sendvičový materiál schopný unést. Obdobně jako v případě ohybových vlastností byly tlakové vlastnosti hodnoceny z hlediska hustoty a tloušťky výplně. S rostoucí hustotou polyuretanové výplně roste mez pevnosti a deformace po odlehčení. S rostoucí tloušťkou zkušebních těles roste mez pevnosti v tlaku a také deformace po odlehčení. Změna vlastností není signifikantní, proto bylo za použití statistické analýzy prokázáno, že naměřené hodnoty vykazují významný statistický rozdíl, a bylo potvrzeno tvrzení z normy, že zkušební tělesa různých tloušťek nejsou srovnatelná.

Pro měření tlakových vlastností zkušebních těles zatěžovaných silou rovnoběžnou s vrstvami materiálu (vzpěr) byl navržen přípravek a metodický postup, jehož vhodnost byla ověřena provedením zkoušek různorodých sendvičových materiálů. Při hodnocení různých zkušebních těles nebyla prokázána změna pevnosti ve vzpěru v závislosti na šířce zkušebních těles. Součástí hodnocení byla také charakteristika porušení zkušební tělesa, kdy po ztrátě stability tělesa doprovázené vybočením tělesa, došlo k prasknutí výplně (polyuretanové pěny) a k delaminaci na rozhraní výplň potah. Při použití překližky docházelo k prasknutí jednotlivých vrstev překližky či potahu tvořeným polyesterovým laminátem.

Jak již bylo uvedeno, k poškození materiálu velmi často dochází na rozhraní výplň a potah a nezáleží na druhu a směru namáhání. Tato delaminace je způsobena nedostatečnou pevností lepého spoje. Výsledky experimentů potvrdily výsledky autorů, že použitím mechanické povrchové úpravy roste funkční plocha k lepení, což vede ke zvýšení pevnosti lepého spoje. Experiment dále prokázal, že neexistuje univerzální vhodná povrchová úprava pro zvýšení pevnosti lepého spoje. Pro každý materiál je nutné definovat optimální povrchovou úpravu jak z hlediska pevnosti lepého spoje, tak i z hlediska ekonomického. V případě pozinkovaného plechu s broušeným povrchem došlo ke snížení pevnosti lepého

spoje a zvýšení nákladů a časové náročnosti v důsledku provedené povrchové úpravy. Předpoklad, že s rostoucí drsností povrchu roste pevnost lepeného spoje, nebyl zcela potvrzen. Na výslednou pevnost lepeného spoje má vliv jak druh adherendu, jeho povrchová úprava, tak i doba vytvrzení lepidla. Z provedených experimentů byla prokázána závislost pevnosti lepeného spoje a kohezní pevnosti lepidla na době vytvrzení. Pevnost lepeného spoje ve smyku při tahovém namáhání strmě stoupala v prvních dnech od aplikace a po 5 dnech pevnost dosahovala 87 % maximální pevnosti. Maximální kohezní pevnosti lepidla bylo dosaženo shodně, jak uvádí výrobce (po 21 dnech). Maximální tvrdosti lepidla bylo dosaženo po 43 dnech od aplikace. Tyto závislosti pevnosti na čase je nutné znát při plánování výrobních cyklů, protože např. dlouhé lisovací časy prodlužují a prodražují výsledný produkt.

Pro ověření tepelně izolačních vlastností sendvičových materiálů byla vytvořena metoda umožňující měření tepelných parametrů při prostupu tepla vrstvami materiálu. Výstupem navržené metody jsou křivky průběhu teplot ve vrstvách sendvičového materiálu. Jak vyplývá z provedených experimentů, laboratorně získané hodnoty tepelných parametrů se shodují s hodnotami vypočtenými.

Při mapování trhu v oblasti výroby tepelně izolačních materiálů byl kladen důraz na zkušenosti vedoucích pracovníků a zákazníků společnosti. Z výsledků vyplynulo, že důležité faktory při spolupráci jsou samozřejmě cena, ale i jakost a rychlost dodávky. Z pohledu dodavatelů naopak není prodejní cena nejdůležitější, ale dodavatelé oceňují více pravidelnost a velikost zakázek spolu s dobrou platební morálkou. Zákazníci jsou ochotni zaplatit za kvalitní produkt vyšší cenu. Přejít od konkurence byl často důsledkem snížení odolnosti a pevnosti sendvičových materiálů. Z tohoto důvodu by výrobce měl klást důraz na zachování stávající kvality a vylepšování produktů. Zákazníci by byly ochotni investovat do vylepšení produktů na základě zkušeností, vědy a výzkumu většinou nejvýše 1 % z ceny produktu. Zájem PSP izoterm o zlepšování svých produktů lze spatřovat v ochotě investovat do vylepšení výrobků na základě zkušeností, vědy, výzkumu a spolupráce s vysokou školou při zpracování této disertační práce.

Mezi ohrožení firmy lze zahrnout ztrátu strategického partnera v podobě odběratele nebo dodavatele. Příležitosti firmy lze spatřovat v rozšíření výrobního portfolia, např. v současné době v rostoucí poptávce sendvičových matrací a dalších produktů z elastické polyuretanové pěny. Mezi silné stránky výrobce lze na základě výzkumu a pozorování uvést širokou nabídku produktů, možnost změn zakázek, dobrou komunikaci a platební morálku. Jako slabé stránky výrobce je uvedena cena, ale na druhou stranu je pozitivně hodnocena

jakost produktů. Analýzou silných, slabých stránek, ohrožení a příležitostí byla jako vhodná strategie řízení pro rozvoj společnosti doporučena S-T strategie. U této strategie by společnost měla využít svých silných stránek k eliminaci ohrožení. V tomto konkrétním případě společnost musí využívat svých kvalitních služeb v podobě široké nabídky, jakosti a rychlosti dodávky k eliminování ztráty zákazníků či ztráty podílu na trhu.

Pomocí analytických nástrojů byla vyhodnocena pozice společnosti na trhu. Součástí analýzy je hodnocení faktorů, které určují postavení společnosti a pomocí kterých lze formulovat vhodnou strategii. Společnost PSP izoterm by měla zaujímat konkurenční postavení, tzn. využít svých konkurenčních výhod k upevnění postavení a zvýšení výkonnosti. Mezi silné konkurenční výhody lze uvést dlouholeté zkušenosti a know-how, existující distribuční síť a již uvedené vlastnosti jako široká nabídka a možnost změny, variabilita, jakost a rychlost dodávky. Využitím těchto vlastností lze získat konkurenční výhodu a eliminovat nevýhodu v podobě vyšší ceny oproti konkurenci. Vyšší cena by měla být zákazníkům interpretována jako cena za jakost a rychlost dodávky a za nabídku služeb jako je rozšířená záruka.

Hlavní přínos disertační práce spočívá ve vytvoření a ověření vhodnosti metod pro popsání vybraných parametrů sendvičových materiálů a na jejich základě kvantifikování vlastností jako jsou pevnost v ohybu a tlaku sendvičových materiálů. Sendvičové materiály jsou dnes hojně používány v mnoha průmyslových odvětvích, kde splňují náročné požadavky. Pro správnou a bezpečnou aplikaci sendvičových materiálů je nutné provést experimentální zkoušky. Na základě popsaných metod lze tyto zkoušky provést na sendvičových materiálech a potvrdit vhodnost použití sendvičových materiálů nebo definovat nové možnosti jejich použití. Získané nové poznatky v oblasti sendvičových materiálů budou využívány při výrobě a konstrukci sendvičových materiálů, získané hodnoty mechanických vlastností pomůžou při definování nového použití v aplikační oblasti a informace z marketingové analýzy budou použity při řízení společnosti.

Experimentální program této disertační práce mohl vzniknout za podpory společnosti PSP izoterm a na základě interních grantových projektů, na kterých se autor podílel jako řešitel nebo spoluřešitel: GA TF 2011 Výzkum vzájemné interakce segmentů lepení - adherend, adheze, koheze a proces stárnutí a GA TF 2012 Výzkum aspektů polymerních materiálů ovlivňující jejich aplikaci. Dílčí výsledky byly publikovány v odborných časopisech, prezentovány na tuzemských a mezinárodních vědeckých konferencích a vedly k zapsání několika užitečných vzorů na Úřadu průmyslového vlastnictví ČR.

8 PŘÍNOS PRO PRAXI

Tato disertační práce vznikala ve spolupráci a za podpory společnosti dlouhodobě se zabývající výrobou tepelně izolačních sendvičových materiálů. Experimenty byly navrženy a provedeny v návaznosti na zkušenosti výrobce a zákazníků. Ze zkušeností výrobce a zákazníků byl podán podnět, že velmi často dochází k selhání materiálu ve vrstvě lepeného spoje, tj. na rozhraní dvou lepených materiálů, z tohoto důvodu byly provedeny experimenty na hodnocení vlastností lepeného spoje pro materiály a lepidlo používané ve výrobě, jak z hlediska možnosti úpravy adherendu, tak také z hlediska doby vytvrzování lepidla.

Výrobní program je převážně tvořen zakázkovou výrobou odlišných produktů. Do současné doby bylo při navrhování a konstrukci výrobků vycházeno z předešlých zkušeností a předpokladů. Výpočty pevnostních charakteristik byly provedeny na základě teoretického matematického modelu chování sendvičových materiálů. Navržené konstrukční přípravky a postupy experimentů umožňují společně s univerzálním zkušebním strojem experimentálně hodnotit pevnostní charakteristiky a následně je využít při výpočtech.

V některých případech byla ze strany zákazníka stížnost na nedostatečnou tloušťku izolační vrstvy a s tím spojené nedostatečné tepelně izolační vlastnosti materiálu. Navržená metoda umožňuje experimentální hodnocení tepelně izolačních vlastností produktů.

Na základě provedené marketingové analýzy mohou vedoucí pracovníci vyhodnotit získané informace a provést změny v řízení společnosti a tím zvýšit její konkurenceschopnost. Hlavní přínosy pro praxi lze shrnout do následujících bodů:

- vytvoření metod a postupů pro měření pevnostních parametrů, které je možné využít pro kontrolu výrobního procesu, výpočty a konstrukci nových produktů,
- možnost zvýšení odolnosti sendvičových materiálů na základě poznatků o vlivu povrchové úpravy adherendu před lepením na výslednou pevnost lepeného spoje,
- vytvoření metody a postupu měření tepelně izolačních vlastností pro výpočet a konstrukci sendvičových materiálů,
- zpětná vazba od zákazníků, na jejichž základě mohou být provedeny změny vedoucí ke zlepšení služeb a nabízených produktů,
- pomocí analytických marketingových nástrojů vymezení pozice společnosti na trhu, určení a popsání vhodné strategie k dosažení vyšší konkurenceschopnosti,
- zkušební zařízení a postupy pro měření pevnostních parametrů zůstanou součástí katedry a bude je možno využít pro další výzkum a zpracování laboratorních, bakalářských a diplomových prací.

9 LITERATURA

- [1] CALLISTER WD.; Materials science and engineering, an introduction. 7th ed. New York: John Wiley and Sons, 2007
- [2] PO-YU CHEN, McKITTRICK, J., MEYESRS, MA.; Progress in material science, Biological materials: Functional adaptations and biospired designs. Volume 57, Issue 8, November 2012, s. 1492–1704
- [3] PETERKA, J.; Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha: SNTL, 1980, 788 s.
- [4] LOCTITE; Der Loctite. Worldwide Design Handbook. Munich, Loctite European Group 1998, 452 s., ISBN 0*965590-0-5
- [5] MACHEK, V., SODOMKA, J.; Polymery a kompozity s polymerní matricí. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008, 86 s.
- [6] PIZZI, A., MITTAL, K. L.; Handbook of Adhesive Technology, Second edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker, New York, 2003, 1024 s., ISBN 0-8247-0986-1
- [7] BROŽEK, M.; Strojírenské technologie I, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 2001, 72 s.
- [8] Než začnete lepit – Příprava povrchů materiálů před lepením [online],[cit.2012-06-06] Dostupné z: <<http://www.uhu.cz/priprava-povrchu-materialu-pred-lepenim>>
- [9] MESSLER, R. W.; Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004, 790 s.
- [10] KINDINGER, J.; Lightweight Structural Cores, Hexcel Corporation, 2001, s. 455- 458
- [11] GIBSON, LJ., ASHBY, MF., HARLEY, BA.; Cellular materials in nature and medicine. Cambridge: Cambridge University Press; 2010
- [12] BAČÁK, KÝR; Kaučuk a plastické hmoty, Gottwaldov:1959
- [13] RANDALL, D.; The polyurethanes book. Huntsman International LLC, 2002, 477 s., ISBN 0-470-85041-8
- [14] PSP izoterm s.r.o.; archiv PSP izoterm s.r.o., Vysoké Mýto
- [15] VOJTĚCH, D.; Materiály a jejich mezní stavy, Praha VŠCHT, 2010, 204 s.
- [16] Lehčené kovové struktury, MM Průmyslové spektrum 2003, vydání: 1, s. 62-63
- [17] Vnitřní struktura optického stolu, LAO průmyslové systémy s.r.o.,[online], [cit.2012-06-26]. Dostupné z: <<http://www.lao.cz/produkty/optomechanika/opticke-stoly-a-tlumici-systemy/opticke-desky.htm>>
- [18] VERLAG MODERNE INDUSTRIE; Sandwich panels in vehicle construction. Munich, 2006, 69 s.

- [19] MÜLLER, M., KOLÁŘ, V., VALÁŠEK, P.; Technologie lepení – mechanická úprava povrchu AlCu4Mg tryskáním. Strojírenská technologie, 2011, roč. 16, č. 4, s. 57 - 61. ISSN: 1211-4162.
- [20] MÜLLER, M., HRABĚ, P., CHOTĚBORSKÝ, R.; Optimization of surface treatment parameters in adhesive bonding technology. In 7th International scientific conference engineering for rural development. Jelgava: LUA, 2008, s. 214 – 219. ISSN 1691-3043.
- [21] SHALASH, R.J.A.; Ph.D. Thesis, Leicester Polytechnic, United Kingdom, 1980
- [22] MÜLLER, M., HRABĚ, P., CHOTĚBORSKÝ, R.; Adhesive bonds hardening due to temperature. In 6th International scientific conference engineering for rural development. Jelgava: LUA, 2007, s. 178 – 181, ISSN 1691-3043.
- [23] BROŽEK, M.; Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepených spojů, MM průmyslové spektrum 2003, vydání: 1, s. 72, ISSN: 1212-2572.
- [24] BERAN, R.; Lepení pěnových materiálů v průmyslu, MM průmyslové spektrum 2008, vydání: 10, s. 46 - 47, ISSN: 1212-2572.
- [25] GIBSON, L.J., ASHBY, M.F.; Cellular solids: structure and properties. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1997
- [26] DOLEŽAL, T; Sendvičové izolační panely, [online],[cit.2012-05-16]. Dostupné z: <<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/kingspan-as-sendvicove-izolacni-panely-systemove/>>
- [27] CABRNOCH, B; Sendvičové konstrukce, MM průmyslové spektrum 2001, vydání:1, s. 14-15, ISSN: 1212-2572.
- [28] HAVEL COMPOSITES, [online], [cit.2012-05-23]. Dostupné z: <<http://www.havel-composites.com/clanky/0-/74-Vseobecny-a-zakladny-popis-materialov-pouzivanych-pri-vyrobe-kompozitov.html/>>
- [29] Letecký průmysl [online], [cit.2011-06-12]. Dostupné z: <<http://www.5m.cz/cz/letecky-prumysl>>
- [30] Technický list SikaForce-7723 L175, v.04/2007, Sika CZ s.r.o, 2 s.
- [31] Optiplan GmbH [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <http://www.optiplan.eu/en/Produkte/produkte_polydet_standard.html>
- [32] Metsawood [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <<http://www.metsawood.cz/produkty/preklizka/briza/Pages/Default.aspx>>
- [33] Alupa s.r.o. [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <<http://www.alupa.cz/plechy-z-hliniku-a-jeho-slitin>>

- [34] Metal trade comax a.s., [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <<http://www.mtcomax.cz/cs/maloobchodni-prodejna/sortiment-prodejny>>
- [35] Matezex s.r.o., [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <<http://www.matezex.cz/sortiment.html>>
- [36] Puren GmbH, [online], [cit.2013-10-29]. Dostupné z: <<http://www.puren.com/cz/produkty/prumysl/pur-pir-prumyslove-peny/industrie-flyer.pdf>>
- [37] ČSN EN 789 (Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva). Český normalizační institut, Praha, 2005, 31 s.
- [38] ČSN EN ISO 844 (Tuhé lehčené plasty - Stanovení tlakových vlastností). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010, 12 s.
- [39] ČSN EN 1465 (Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010, 12 s.
- [40] ČSN ISO 10365 (Označení hlavních typů porušení lepeného spoje). Český normalizační institut, Praha, 1995, 8 s.
- [41] ČSN EN ISO 527 – 1 (Plasty – Stanovení tahových vlastností–Část 1: základní principy). Český normalizační institut, Praha, 1997, 10 s.
- [42] ČSN EN ISO 3167 (Plasty – Víceúčelová zkušební tělesa). Český normalizační institut, Praha, 2004, 11 s.
- [43] ČSN EN ISO 868 (Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru). Český normalizační institut, Praha, 2003, 10 s.
- [44] PŘÍBOVÁ, M.; Marketingový výzkum v praxi. Grada Publishing. 1996, 238 s.
- [45] TICHÁ, I.; HRON, J.: Strategické řízení. ČZU v Praze, Praha 2002, 235 s., ISBN 978-80-213-0922-7
- [46] KOTLER, P.; Marketing Management. Victoria Publishing, 1992, 789 s., ISBN 80-85605-08-2
- [47] SCHELLER, R.; Pružnost, pevnost; Vysoká škola zemědělská v Praze, 1982, 160 s.
- [48] ELBING, F., AANAGREH, N., DORN, L., UHLMANN, E.; Dry ice blasting as pretreatment of aluminum surfaces to improve the adhesive strength of aluminium bonding joints. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2003, 1:s. 69–79
- [49] HABENICHT, G.; Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendung (Adhesive bonding: Principles, Technologies, Application), 2002, Springer, Berlin. Springer – Verlag

[50] MÜLLER, M.: Influence of surface integrity on bonding process; Research in Agricultural Engineering (Zemědělská technika), 2011, roč. 57, č. 4, s.153-162, ISSN: 1212-9151

10 PŘÍLOHY

Příloha A (Technické postupy měření)

Stanovení ohybových vlastností desek ze sendvičových materiálů

Předmluva

Tento technický postup byl vypracován pro potřeby hodnocení ohybových vlastností sendvičových materiálů, zejména pro tepelně izolační sendvičové materiály ve formě desek s výplní tvořenou tvrdou polyuretanovou pěnou. Postup a metoda měření vychází z normy ČSN EN 789 Dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Stanovení mechanických vlastností desek na bázi dřeva. Tento postup uvádí metodu pro stanovení některých mechanických vlastností desek ze sendvičových či jiných materiálů, pro kontrolu jakosti výroby za použití univerzálního zkušebního zařízení LabTest 5.50ST (výrobce Labortech) a přípravku umožňujícího měření vybraných ohybových parametrů. Tyto vlastnosti jsou určeny k výpočtu charakteristických parametrů, které se používají pro stanovení materiálových návrhových hodnot. Tuto zkoušku je třeba provádět pouze jedenkrát pro každý výrobek.

Značky a zkratky

σ_o	pevnost v ohybu [MPa],
b	změřená šířka zkušebního tělesa [mm],
E_m	modul pružnosti v ohybu [MPa],
F_{max}	maximální zatížení [N],
F_1	zatížení odpovídající $0,1 F_{max}$ [N],
F_2	zatížení odpovídající $0,4 F_{max}$ [N],
I	moment setrvačnosti, rovný $\frac{1}{12} \times b \times t^3$ [mm ⁴],
l	délka zkušebního tělesa [mm],
l_1	měřicí základna [mm],
l_2	vzdálenost mezi vnitřním zatěžovaným bodem a nejbližší podporou [mm],
M_{max}	moment únosnosti zkušebního tělesa [N·mm],
t	tloušťka zkušebního tělesa [mm],
u_1	průhyb při zatížení odpovídající $0,1 F_{max}$ [mm],
u_2	průhyb při zatížení odpovídající $0,4 F_{max}$ [mm],
W	průřezový modul, rovný $\frac{1}{6} \times b \times t^2$ [mm ³].

Měření rozměrů

Měření tloušťky se provádí ve čtyřech bodech, tj. na každé straně zkušebního tělesa, průměrná tloušťka se zaznamená. Měření délky a šířky zkušebního tělesa se provádí na dvou různých místech, průměrná délka a šířka se zaznamená.

Zkušební těleso

Zkušební těleso musí mít pravoúhlý průřez. Výška zkušebního tělesa se musí rovnat tloušťce desky, přičemž šířka musí být 300 ± 5 mm. Délka zkušebního tělesa se volí v závislosti na tloušťce zkušebního tělesa (viz. Obr. P1).

Zkušební zařízení

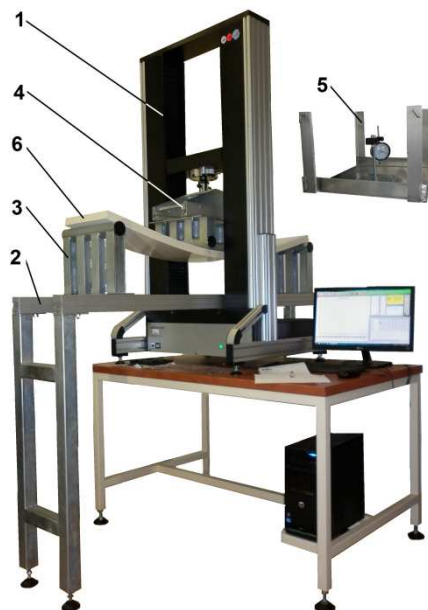
Zkušební zařízení (Obr. P1) se skládá z univerzálního zkušebního stroje (1) s výstupem na PC, přípravku (2, 3, 4) umožňujícího uspořádání ohybové zkoušky dle Obr. P2 a zařízení měřícího průhyb (5) zkušebního tělesa (6).

Sestavení zařízení

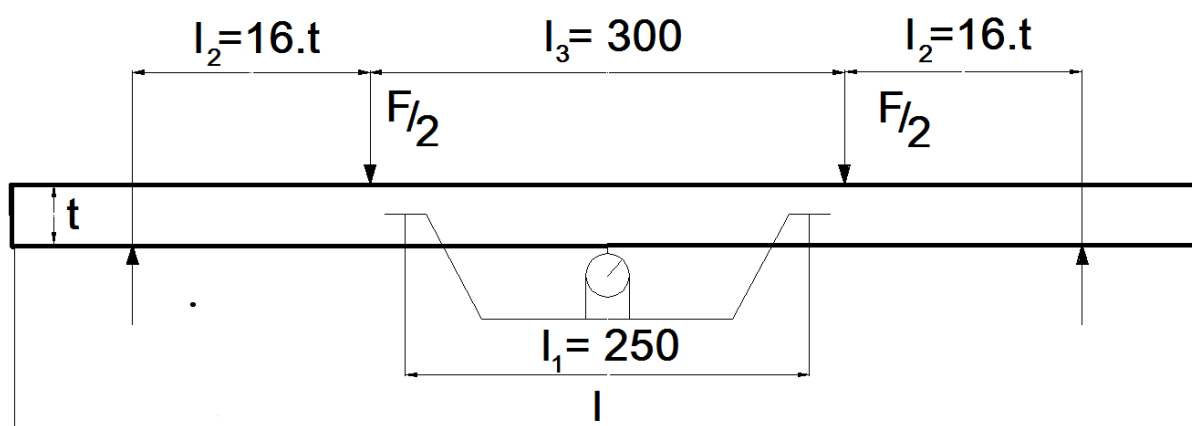
Rám přípravku pro ohyb (2) se symetricky umístí ke zkušebnímu zařízení (1), jak je zobrazeno na Obr. P1, a pomocí stavěcích šroubů se ustaví do roviny. Zatěžovací trny (4) se umístí do upínacího mechanismu posuvného příčnicku zkušebního stroje (1). Rozteč zatěžovacích trnů (4) a posuvných podpor (3) se nastaví dle uspořádání ohybové zkoušky (Obr. P2) v závislosti na tloušťce zkušebního tělesa.

Způsob zatěžování

Zatížení musí působit podle Obr. P2. Zatížení F se musí zavádět rovnoměrnou rychlostí nastavenou tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo za 300 ± 120 s.



Obr. P1 Zkušební zařízení s přípravkem pro ohyb



Obr. P2 Uspořádání ohybové zkoušky

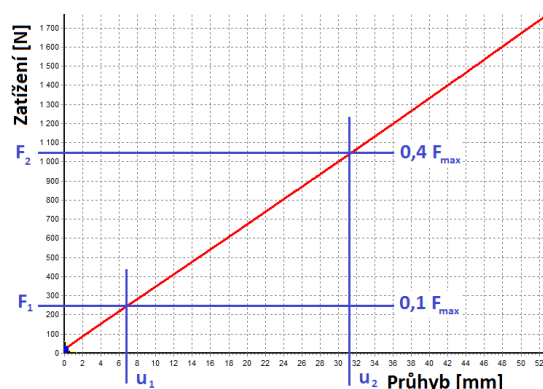
Postup zkoušky

1. Rozteč zatěžovacích trnů a pevných podpor se nastaví v závislosti na tloušťce, šířce a délce zkušební tělesa s přesností ± 1 mm dle Obr. P2.
2. Před vlastním provedením zkoušky testované série se provede kontrolní měření (dle potřeby jedno či více) pro zjištění přibližného maximálního zatížení a průhybu zkušebních těles celé série. Zkušební těleso se symetricky umístí do přípravku dle Obr. P2 a začne se zatěžovat až do jeho destrukce. Ze získaných hodnot úvodního měření se nastaví zkušební rychlost tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo za 300 ± 120 s, a určí se hodnoty F_1 ($0,1 F_{\max}$) a F_2 ($0,4 F_{\max}$)

3. Na symetricky umístěné zkušební těleso v přípravku pro ohyb se umístí zařízení pro měření průhybu dle Obr. P2. Průhyb zkušebního tělesa se musí měřit na obou stranách střední části mezi dvěma body na ose zkušebního tělesa v oblasti konstantního ohybového momentu.
4. Těleso se začne zatěžovat a při zatížení F_1 a F_2 se odečtou a zaznamenají průhyby u_1 a u_2 z číselníkového úchylkoměru, který je součástí zařízení měřící průhyb. Po odečtení hodnot se odejme zařízení pro měření průhybu a zkouška pokračuje až do destrukce materiálu.
5. Po ukončení zkoušky se zaznamená maximální zatížení a druh a místo porušení zkušebního tělesa.
6. Z aritmetického průměru změřených maximálních zatížení se upraví hodnoty F_1 a F_2 pro další zkušební těleso ze série a pokračuje se znovu od bodu 3 až do naměření celé zkušební série.

Vyjádření výsledků

Ze získaných údajů se vynesou diagram průhyb-zatížení (Obr. P3). Pro lineární regresní analýzu se použije úsek diagramu mezi $0,1 F_{max}$ a $0,4 F_{max}$.



Obr. P3 Diagram zatížení v závislosti na průhybu v oblasti pružné deformace

Modul pružnosti v ohybu zkušebního tělesa se vypočte dle vztahu:

$$E_m = \frac{(F_2 - F_1) \times l_1^2 \times l_2}{16 \times (u_2 - u_1) \times I}$$

Pevnost v ohybu zkušebního tělesa se vypočte ze vztahu:

$$\sigma_o = \frac{F_{max} \times l_2}{2 \times W}$$

Stanovení pevnosti v tlaku desek při zatížení silou v rovině vrstev sendvičového materiálu

Předmluva

Tento technický postup byl vypracován pro potřeby hodnocení tlakových vlastností desek zatěžovaných v rovině vrstev sendvičového materiálu (vzpěr). Tento postup uvádí metodu pro stanovení některých mechanických vlastností desek ze sendvičových či jiných materiálů a pro kontrolu jakosti výroby za použití univerzálního zkušebního zařízení LabTest 5.50ST (výrobce Labortech) a přípravku umožňujícího měření vybraných tlakových vlastností. Tuto zkoušku je třeba provádět pouze jedenkrát pro každý výrobek.

Značky a zkratky

- σ_{vz} pevnost v tlaku v rovině vrstev materiálu (vzpěr) [MPa],
A plná průřezová plocha, rovná $b \cdot t$ [mm²],
b šířka zkušebního tělesa [mm],
 F_{max} maximální zatížení při ztrátě stability [N],
l délka zkušebního tělesa [mm],
t tloušťka zkušebního tělesa [mm],

Měření rozměrů

Měření tloušťky se provádí ve čtyřech bodech, tj. na každé straně zkušebního tělesa, aritmetický průměr tloušťky se zaznamená. Měření délky a šířky zkušebního tělesa se provádí na dvou různých místech, průměrná délka a šířka se zaznamená.

Zkušební těleso

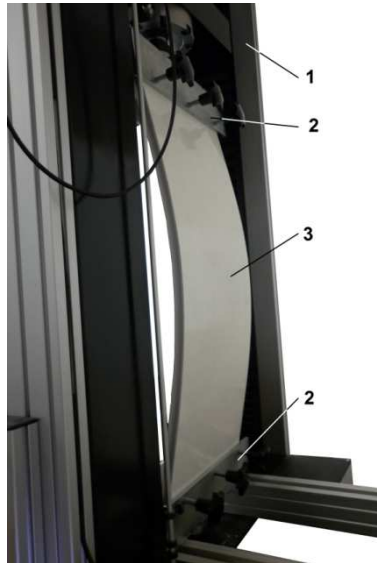
Rozměry zkušebních těles se volí s ohledem na potřeby provedení experimentu, avšak maximální rozměry zkušebního tělesa pro tuto metodu jsou: šířka 300 mm, délka 850 mm a tloušťka 80 mm. Zkušební těleso musí mít v celé délce pravoúhlý průřez. Čelní plochy zkušebních těles musí být rovinné, vzájemně rovnoběžné a pravoúhlé k délce zkušebního tělesa.

Zkušební zařízení

Zkušební zařízení (Obr. P4) se skládá z univerzálního zkušebního stroje (1) s výstupem na PC, přípravku (2) umožňujícího uspořádání zkoušky na vzpěr a uchycení zkušebního tělesa (3).

Sestavení zařízení

Přípravek pro uchycení zkušebních těles (2) se umístí do upínacího mechanismu zkušebního zařízení (1) a zajistí kolíkem jak je zobrazeno na Obr. P4.



Obr. P4 Zkušební zařízení s přípravkem pro zkoušku na vzpěr

Způsob zatěžování

Zatížení F se musí zavádět rovnoměrnou rychlostí nastavenou tak, aby maximálního zatížení bylo dosaženo za 300 ± 120 s.

Postup zkoušky

1. Přípravek pro uchycení zkušebních těles se umístí na zkušební stroj a zajistí kolíkem.
2. Do upínacího mechanismu přípravku se symetricky upevní zkušební těleso.
3. Zkušební těleso se začne zatěžovat a pokračuje se až do destrukce materiálu.
3. Po ukončení zkoušky se z diagramu zatížení-deformace odečte maximální síla, při které došlo ke ztrátě stability zkušebního tělesa, která je v diagramu reprezentována poklesem zatížení, a zaznamená se typ a místo porušení.

Vyjádření výsledků

Ze získaných údajů se vynese diagram zatížení-deformace. Pro výpočet pevnosti v tlaku v rovině vrstev sendviče (vzpěru) se vyhodnotí zatížení, při kterém došlo ke ztrátě stability.

Pevnost v tlaku v rovině vrstev sendviče (vzpěru) zkušebního tělesa se vypočte dle vztahu:

$$\sigma_{vz} = \frac{F_{max}}{A}$$

Příloha B (Tabulky naměřených hodnot)

Ohybové vlastnosti

PUR 35 kg·m ⁻³								
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
15	1156	54,3	0,36	119	1,31	460	12,33	3988
15	1069	52,9	0,37	127	1,26	462	11,40	4182
15	1234	56,2	0,39	122	1,38	479	13,16	4007
15	1240	56,8	0,37	122	1,35	480	13,23	4059
15	1198	55,3	0,42	123	1,5	482	12,78	3693
15	1098	55,9	0,32	123	1,43	481	11,71	3584
\bar{x}	1166	55,2					12,44	3919
σ	65						0,69	210
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
25	1563	59,6	0,27	223	1,06	876	10,00	3306
25	1390	59,1	0,25	222	1,05	881	8,90	3295
25	1493	58,3	0,26	222	1,06	879	9,56	3285
25	1234	59,3	0,27	222	1,09	879	7,90	3205
25	1314	60,4	0,15	145	0,69	563	8,41	3096
25	1362	60,9	0,16	142	0,71	562	8,72	3055
\bar{x}	1393	59,6					8,91	3207
σ	109						0,70	99
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
35	1408	63,9	0,14	143	0,5	567	6,44	2404
35	1603	72,0	0,11	143	0,48	565	7,33	2328
35	1565	70,2	0,12	150	0,54	599	7,15	2182
35	1450	67,1	0,19	148	0,7	591	6,63	1773
35	1603	68,0	0,19	149	0,73	605	7,33	1723
35	1573	69,7	0,19	165	0,73	645	7,19	1814
\bar{x}	1534	68,5					7,01	2037
σ	76						0,35	276
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
60	2471	71,9	0,08	264	0,32	1060	5,32	1631
60	2358	66,3	0,07	269	0,31	1048	5,08	1597
60	2287	67,5	0,11	402	0,31	1013	4,92	1503
60	2374	69,7	0,08	258	0,33	1023	5,11	1505
60	2167	66,9	0,07	261	0,31	1010	4,67	1535
60	2398	70,4	0,07	261	0,31	1044	5,16	1605
\bar{x}	2343	68,8					5,04	1563
σ	95						0,21	51

PUR 60 kg·m ⁻³								
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
15	1698	60,7	0,54	174	2,02	680	18,11	3799
15	1724	56,5	0,43	155	2	681	18,39	3723
15	1652	54,2	0,55	170	2,15	673	17,62	3493
15	1573	56,4	0,51	169	2,05	670	16,78	3615
15	1708	56,2	0,45	165	1,82	670	18,22	4096
15	1654	55,6	0,46	169	1,79	665	17,64	4144
\bar{x}	1668	56,6					17,79	3811
σ	50						0,54	238
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
25	2353	78,2	0,3	237	1,17	949	15,06	3274
25	2397	79,6	0,25	241	1,17	956	15,34	3109
25	2449	86,4	0,29	246	1,21	966	15,67	3130
25	2483	81,3	0,25	248	1,16	962	15,89	3138
25	2420	80,4	0,26	244	1,2	970	15,49	3089
25	2440	83,0	0,28	248	1,2	977	15,62	3170
\bar{x}	2424	81,5					15,51	3152
σ	41						0,26	60
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
35	2291	86,0	0,21	234	0,84	918	10,47	2216
35	2256	86,3	0,21	226	0,87	916	10,31	2134
35	2342	87,6	0,15	225	0,72	936	10,71	2546
35	2245	85,2	0,12	239	0,7	950	10,26	2502
35	2132	81,9	0,21	230	0,85	930	9,75	2232
35	2256	87,8	0,2	245	0,78	936	10,31	2431
\bar{x}	2254	85,8					10,30	2343
σ	63						0,29	156

PUR 145 kg·m ⁻³								
Tl.	F _{max}	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σ _o	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
35	3649	130,0	0,32	369	1,3	1460	16,68	2272
35	3873	133,0	0,31	381	1,28	1512	17,71	2380
35	3745	128,0	0,29	386	1,38	1665	17,12	2395
35	3528	124,0	0,36	401	1,35	1508	16,13	2282
35	3330	110,0	0,3	384	1,26	1503	15,22	2379
35	3758	131,0	0,34	387	1,34	1512	17,18	2296
\bar{x}	3647	126,0					16,67	2334
σ	177						0,81	51

LAM-PR4-PUR35								
Tl.	Fmax	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σo	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
60	5545	90,0	0,07	604	0,2	2159	11,94	5884
60	5427	95,0	0,06	569	0,18	2129	11,68	6395
60	5630	103,0	0,05	709	0,16	2166	12,12	6515
60	5525	98,0	0,07	1027	0,16	2169	11,89	6242
60	5373	101,0	0,05	969	0,18	2520	11,57	5869
60	5481	93,0	0,05	794	0,19	2506	11,80	6015
\bar{x}	5497	96,7					11,83	6153
σ	83						0,18	248
LAM-PR9-PUR35								
Tl.	Fmax	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σo	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
60	5935	204,0	0,06	534	0,24	2020	12,78	4061
60	5945	201,0	0,06	524	0,23	2022	12,80	4334
60	6202	197,0	0,05	645	0,18	2041	13,35	5282
60	6165	195,0	0,04	608	0,18	2045	13,27	5049
60	5678	151,0	0,05	596	0,21	2050	12,22	4470
60	6092	183,0	0,04	521	0,21	2032	13,11	4372
\bar{x}	6003	188,5					12,92	4595
σ	177						0,38	428

PC Voština								
Tl.	Fmax	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σo	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
18	5281	101,0	0,91	614	3,22	2113	46,94	5007
18	5188	99,0	0,79	537	3,34	2119	46,12	4787
18	5488	106,0	0,81	550	3,25	2149	48,78	5057
18	5409	101,4	0,78	558	3,15	2154	48,08	5196
18	4540	87,8	0,71	545	2,79	2122	40,36	5850
18	5217	99,0	0,75	572	2,29	2127	46,37	7791
\bar{x}	5187	99,0					46,11	5615
σ	308						2,74	1027

Voština								
Tl.	Fmax	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σo	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
17	3134	67,0	0,56	319	2,24	1260	29,50	4845
17	3256	68,3	0,48	323	2,35	1236	30,64	4223
17	2391	57,4	0,4	322	1,8	1263	22,50	5814
17	3414	75,0	0,45	321	1,75	1269	32,13	6308
17	3654	81,8	0,46	339	1,95	1363	34,39	5945
17	2334	58,9	0,55	340	2,34	1339	21,97	4828
\bar{x}	3031	68,1					28,52	5327
σ	499						4,69	740

Styrofoam								
Tl.	Fmax	u	u 0,1	F 0,1	u 0,4	F 0,4	σo	Em
mm	N	mm	mm	N	mm	N	MPa	MPa
24	1523	76,0	0,28	204	1,27	789	10,15	2565
24	1734	73,5	0,35	255	1,19	784	11,56	2733
24	1821	70,5	0,28	205	1,14	791	12,14	2957
24	1956	79,6	0,29	207	1,1	795	13,04	3151
24	2250	86,8	0,28	210	1,18	789	15,00	2792
24	2045	82,2	0,31	208	1,16	782	13,63	2931
\bar{x}	1888	78,1					12,59	2855
σ	232						1,54	186

Tvrđost Shore D

Trvdost Shore D											
Čas	1 den	3 dny	5 dnů	7 dnů	13 dnů	14 dnů	18 dnů	20 dnů	22 dnů	24 dnů	25 dnů
	29,8	32,9	33,9	37,2	46,7	42,9	50,1	52,3	60,3	59,4	53,3
	27,5	29,8	34,8	35,9	43,3	49,2	46,9	55,6	61,5	63,5	59,4
	29	39,1	39,6	38,4	43,9	48,6	52,2	53,7	58,1	60,5	61,8
	29,9	30,3	31,4	34,3	44,8	50,2	52,7	54,5	62,6	52,4	60,7
	29,7	28,5	35,9	34,8	43,7	47,7	53,2	51,9	54,8	54,5	62,4
	31,6	26,3	31,8	35,5	44,7	49,9	49,9	53,8	48,3	60,1	61,8
\bar{x}	29,6	31,2	34,6	36,0	44,5	48,1	50,8	53,6	57,6	58,4	59,9
σ	1,33	4,46	3,01	1,54	1,22	2,69	2,36	1,37	5,33	4,14	3,40
Čas	28 dnů	30 dnů	34 dnů	40 dnů	42 dnů	45 dnů	52 dnů	55 dnů	57 dnů	71 dnů	90 dnů
	59,9	63,1	64,2	70,9	67,9	72,4	76,3	71,6	72,1	70,6	72,3
	65,4	57,7	62	67,3	67	72,5	75	71,9	71,9	72,3	75,0
	61,3	66,3	69,2	72,8	73,9	71	71,5	73,8	72,7	73,9	72,7
	63,2	67,8	66,7	63,2	69,0	71,2	69,9	72,8	73	71,5	73
	59,3	65	63,5	66,2	73,0	73,4	68,8	72,3	71,4	70,5	72,8
	62,5	59,5	61,8	68,1	75,4	72,4	72,6	71,4	71,5	73,2	72,3
\bar{x}	61,9	63,2	64,6	68,1	71,0	72,2	72,4	72,3	72,1	72,0	73,0
σ	2,25	3,95	2,88	3,41	3,50	0,90	2,90	0,89	0,64	1,39	1,01

Pevnost ve smyku při tahovém namáhání lepených sestav dle povrchové úpravy

Korozivzdorná ocel					Hliníkový plech					Pozinkovaný plech				
Odmaštěno					Odmaštěno					Odmaštěno				
F	a	b	τ	Porušen	F	a	b	Pevnost	Porušení	F	a	b	τ	Porušení
N	mm	mm	MPa	í	N	mm	mm	MPa	ení	N	mm	mm	MPa	šení
1956	13,43	24,30	5,99	A	1447	12,87	24,30	4,63	A	1277	13,95	24,40	3,75	A
1981	13,48	24,30	6,05	A	1957	15,22	24,30	5,29	A	1562	14,52	24,30	4,43	A
2081	12,86	24,30	6,66	A	1396	13,92	24,30	4,13	A	1352	12,70	24,40	4,36	A
2034	13,08	24,25	6,41	A	1211	12,48	24,20	4,01	A	1178	13,73	24,50	3,50	A
1920	11,80	24,30	6,70	A	1645	13,51	24,20	5,03	A	1023	13,26	24,50	3,15	A
1728	12,14	24,30	5,86	A	1510	13,99	24,20	4,46	A	1194	11,50	24,40	4,26	A
\bar{x}			6,28		\bar{x}			4,59		\bar{x}			3,91	
σ			0,36		σ			0,50		σ			0,52	
Kartáčováno					Kartáčováno					Kartáčováno				
F	a	b	τ	Porušen	F	a	b	Pevnost	Porušen	F	a	b	τ	Porušení
N	mm	mm	MPa	í	N	mm	mm	MPa	ení	N	mm	mm	MPa	šení
2680	13,10	24,45	8,37	A20 K80	1878	13,64	24,33	5,66	A100	1297	24,4	13,1	4,06	A
2906	12,63	24,50	9,39	A20 K80	1818	13,53	24,30	5,53	A90 K10	1272	24,6	13,3	3,89	A
2645	13,05	24,45	8,29	A10 K90	2057	15,01	24,30	5,64	A60 K40	1147	24,4	11,5	4,09	A
3023	13,23	24,50	9,33	A10 K90	1947	14,48	24,30	5,53	A60 K40	1029	24,5	12,4	3,39	A
2091	12,50	24,50	6,83	A10 K90	1735	13,76	24,30	5,19	A90 K10	886	24,5	11,8	3,06	A
2730	12,82	24,50	8,69	A15 K85	1850	13,57	24,30	5,61	A80 K20	1284	24,5	13,8	3,80	A
\bar{x}			8,48		\bar{x}			5,53		\bar{x}			3,71	
σ			0,93		σ			0,17		σ			0,41	
Broušeno					Broušeno					Broušeno				
F	a	b	τ	Porušen	F	a	b	τ	Porušení	F	a	b	τ	Porušení
N	mm	mm	MPa	í	N	mm	mm	MPa	ení	N	mm	mm	MPa	šení
1934	12,68	24,20	6,30	A10 K90	1876	14,19	24,20	5,46	A	1398	14,87	24,50	3,84	A
1940	24,10	12,28	6,56	A20 K80	2384	14,56	24,20	6,77	A	1509	14,23	24,50	4,33	A
1963	12,73	24,20	6,37	A20 K80	1957	15,55	24,20	5,20	A	1148	13,62	24,50	3,44	A
1880	12,58	24,30	6,15	A70 K30	2123	14,64	24,20	5,99	A	1225	15,24	24,50	3,28	A
1897	12,93	24,50	5,99	A20 K80	2001	14,17	24,30	5,81	A	1343	13,76	24,40	4,00	A
2111	13,29	24,40	6,51	A20 K80	1893	13,95	24,20	5,61	A	1103	15,51	24,40	2,91	A
\bar{x}			6,31		\bar{x}			5,81		\bar{x}			3,63	
σ			0,22		σ			0,54		σ			0,52	
Tryskáno					Tryskáno					Tryskáno				
F	a	b	τ	Porušen	F	a	b	τ	Porušení	F	a	b	τ	Porušení
N	mm	mm	MPa	í	N	mm	mm	MPa	ení	N	mm	mm	MPa	šení
1813	24,30	13,33	5,60	K	1649	24,45	12,52	5,39	K	1647	24,40	13,61	4,96	K
2298	24,30	14,01	6,75	K	1623	24,30	12,38	5,40	K	1937	24,40	12,48	6,36	K
2382	24,30	13,43	7,30	K	1750	24,30	11,95	6,03	K	1602	24,50	12,89	5,07	K
2287	24,30	13,40	7,02	K	1642	24,30	12,12	5,58	K	1508	24,50	13,23	4,65	K
2221	24,30	13,37	6,84	K	1727	24,30	12,41	5,73	K	1686	24,20	12,74	5,47	K
2326	24,30	14,20	6,74	K	1765	24,30	13,85	5,24	K	1963	23,60	12,80	6,50	K
\bar{x}			6,71		\bar{x}			5,56		\bar{x}			5,50	
σ			0,58		σ			0,28		σ			0,77	

Ocelový plech					Polyesterový laminát					Březová překližka				
F	a	b	τ	Porušen	F	a	b	Pevnost	Porušení	F	a	b	τ	Porušení
N	mm	mm	MPa	í	N	mm	mm	MPa	ení	N	mm	mm	MPa	šení
1396	13,62	24,00	4,27	K	1488	15,09	24,60	4,01	K	1496	13,52	24,10	4,37	K
1844	13,18	24,20	5,78	K	1643	14,58	24,60	4,58	K	1864	13,28	25,20	5,75	K
1597	12,40	24,20	5,32	K	1546	13,34	24,60	4,71	K	1697	12,30	24,20	5,31	K
1352	11,90	24,20	4,69	K	1470	12,60	24,40	4,78	K	1452	11,92	24,20	4,43	K
1391	13,19	23,20	4,55	K	1665	14,00	24,20	4,91	K	1368	13,39	23,10	4,61	K
1690	13,81	23,40	5,23	K	1454	12,60	24,80	4,65	K	1730	13,78	23,30	5,17	K
\bar{x}			4,97		\bar{x}			4,61		\bar{x}			4,85	
σ			0,56		σ			0,32		σ			0,52	

Parametr drsnosti Ra

Hliníkový plech	
Povrchová úprava	Ra
Tryskáno	1,82
Tryskáno	1,66
Tryskáno	2,57
Tryskáno	2,08
Tryskáno	3,29
Tryskáno	2,66
\bar{x}	2,35
σ	0,610
Broušeno	0,79
Broušeno	1,41
Broušeno	0,91
Broušeno	0,38
Broušeno	0,31
Broušeno	0,3
\bar{x}	0,68
σ	0,440
Odmaštěno	0,21
Odmaštěno	0,28
Odmaštěno	0,16
Odmaštěno	0,3
Odmaštěno	0,26
\bar{x}	0,24
σ	0,057
Kartáčováno	2,79
Kartáčováno	3,67
Kartáčováno	4,02
Kartáčováno	1,64
Kartáčováno	3,81
Kartáčováno	3,2
\bar{x}	3,19
σ	0,879

Korozivzdorný plech	
Povrchová úprava	Ra
Tryskáno	1,05
Tryskáno	0,92
Tryskáno	0,8
Tryskáno	1,05
Tryskáno	1,11
Tryskáno	
\bar{x}	0,99
σ	0,125
Broušeno	0,17
Broušeno	0,19
Broušeno	0,15
Broušeno	0,31
Broušeno	0,29
Broušeno	0,24
\bar{x}	0,23
σ	0,066
Odmaštěno	0,07
Odmaštěno	0,23
Odmaštěno	0,18
Odmaštěno	0,09
Odmaštěno	0,15
\bar{x}	0,14
σ	0,065
Kartáčováno	0,82
Kartáčováno	0,77
Kartáčováno	1,22
Kartáčováno	0,82
Kartáčováno	1,14
Kartáčováno	0,71
\bar{x}	0,91
σ	0,212

Pozinkovaný plech	
Povrchová úprava	Ra
Tryskáno	2,13
Tryskáno	2,52
Tryskáno	1,25
Tryskáno	1,48
Tryskáno	1,78
Tryskáno	2,05
\bar{x}	1,87
σ	0,462
Broušeno	0,55
Broušeno	0,62
Broušeno	0,46
Broušeno	0,48
Broušeno	0,52
Broušeno	0,54
\bar{x}	0,53
σ	0,073
Odmaštěno	0,55
Odmaštěno	0,47
Odmaštěno	0,53
Odmaštěno	0,47
Odmaštěno	0,39
\bar{x}	0,48
σ	0,063
Kartáčováno	1,15
Kartáčováno	0,68
Kartáčováno	0,91
Kartáčováno	0,82
Kartáčováno	1,19
Kartáčováno	0,71
\bar{x}	0,91
σ	0,218

Hliník s povrch. úpravou	
Povrchová úprava	Ra
Odmaštěno	0,58
Odmaštěno	0,75
Odmaštěno	0,76
Odmaštěno	0,55
Odmaštěno	0,62
Odmaštěno	0,64
\bar{x}	0,65
σ	0,097

Tlakové vlastnosti

Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -	Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -
35	377	35	33,7	151	3,71	35	547	25	24,2	219	3,20
35	370	35	33,9	148	3,14	35	550	25	24,3	220	2,80
35	371	35	33,8	148	3,43	35	542	25	24,2	217	3,20
35	380	35	33,8	152	3,43	35	569	25	24,2	228	3,20
35	368	35	33,9	147	3,14	35	541	25	24,3	216	2,80
35	370	35	33,6	148	4,00	35	546	25	24,3	218	2,80
\bar{x}	373			149	3,48	\bar{x}	549			220	3,00
σ	4			1,72	0,30	σ	9			3,75	0,20
Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -	Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -
60	841	35	33	336	5,71	35	572	40	38,7	229	3,25
60	815	35	32,9	326	6,00	35	588	40	38,2	235	4,50
60	800	35	32,9	320	6,00	35	565	40	38,4	226	4,00
60	828	35	32,7	331	6,57	35	576	40	38,6	230	3,50
60	813	35	32,8	325	6,29	35	569	40	38,5	228	3,75
60	820	35	33	328	5,71	35	567	40	38,7	227	3,25
\bar{x}	820			328	6,05	\bar{x}	573			229	3,71
σ	13			5,11	0,30	σ	8			3,06	0,44
Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -	Hustota kg·m ⁻³	F _{max} N	h ₀ mm	h ₁ mm	σ _t kPa	ε _t -
145	3362	35	31,9	1345	8,86	35	583	60	58	233	3,33
145	2600	35	32,8	1040	6,29	35	587	60	57,8	235	3,67
145	2833	35	32,5	1133	7,14	35	579	60	57,9	232	3,50
145	3324	35	32,6	1330	6,86	35	581	60	57,9	232	3,50
145	2765	35	31,9	1106	8,86	35	583	60	57,7	233	3,83
145	2678	35	32,7	1071	6,57	35	586	60	57,8	234	3,67
\bar{x}	2927			1171	7,43	\bar{x}	583			233	3,58
σ	303			121,20	1,04	σ	3			1,09	0,16

Pevnost ve smyku lepených sestav při tahovém namáhání v závislosti na čase

12 hodin				24 hodin				3 dny			
F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost
N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa
497	24,50	12,50	1,62	810	26,30	11,95	2,58	994	26,70	11,00	3,39
488	24,50	12,50	1,59	867	26,65	12,15	2,68	957	26,00	13,30	2,77
552	26,40	12,60	1,66	617	26,40	11,40	2,05	758	26,20	13,14	2,20
607	26,60	13,30	1,72	756	26,80	11,77	2,40	1062	26,30	13,20	3,06
499	26,40	13,60	1,39	898	26,20	12,52	2,74	648	26,10	12,60	1,97
415	24,30	11,80	1,45	810	26,70	12,10	2,51	914	26,30	13,10	2,65
\bar{x}			1,57	\bar{x}			2,49	\bar{x}			2,67
σ			0,13	σ			0,25	σ			0,53
5 dnů				7 dnů				14 dnů			
F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost
N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa
1067	26,48	13,71	2,94	1158	26,60	14,20	3,07	997	11,46	25,70	3,39
1198	25,60	12,78	3,66	1244	26,60	14,16	3,30	1195	12,52	26,60	3,59
1178	25,30	12,94	3,60	1024	24,30	12,80	3,29	1219	12,79	25,00	3,81
1063	25,50	12,91	3,23	1290	26,40	13,30	3,67	1240	11,95	26,20	3,96
1122	25,50	13,77	3,20	1318	26,60	13,60	3,64	1275	14,13	25,40	3,55
1052	25,45	13,12	3,15	1341	26,50	13,30	3,80	1292	13,30	26,50	3,67
\bar{x}			3,30	\bar{x}			3,46	\bar{x}			3,66
σ			0,28	σ			0,28	σ			0,20

21 dnů				42 dnů				84 dnů			
F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost	F	a	b	Pevnost
N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa	N	mm	mm	MPa
1297	24,40	13,10	4,06	1290	24,50	14,33	3,67	1145	24,80	12,70	3,64
1272	24,60	13,30	3,89	1273	25,50	12,73	3,92	1123	24,80	13,00	3,48
1147	24,40	11,50	4,09	1294	24,60	13,26	3,97	1113	24,90	12,10	3,69
1029	24,50	12,40	3,39	1152	25,50	11,81	3,83	1255	24,50	12,70	4,03
886	24,50	11,80	3,06	1291	25,00	12,80	4,03	1268	24,70	12,60	4,07
1284	24,50	13,80	3,80	1170	24,78	13,80	3,42	1170	24,80	12,50	3,77
\bar{x}			3,71	\bar{x}			3,81	\bar{x}			3,78
σ			0,41	σ			0,23	σ			0,23

Kohezní pevnost lepidla v závislosti na čase

Čas	Fmax	s	a	b	σ_t	ϵ_t	Čas	Fmax	s	a	b	σ_t	ϵ_t
	N	mm	mm	mm	MPa	-		N	mm	mm	mm	MPa	-
12 hodin	45	9,14	9,1	2,9	1,71	0,183	14 dnů	156	9,81	9,1	3,7	4,63	0,196
	54	22,55	9,2	3,2	1,83	0,451		138	7,29	9,1	3,1	4,89	0,146
	61	19,51	9,2	2,6	2,55	0,390		152	11,15	9,2	3,3	5,01	0,223
	53	17,34	9,1	3,1	1,88	0,347		152	12,78	9,1	3,4	4,91	0,256
	50	16,4	9,1	2,9	1,89	0,328		171	11,42	9,2	3,9	4,77	0,228
	58	19,21	9,1	2,7	2,36	0,384		113	7,62	9,1	2,6	4,78	0,152
\bar{x}					2,04	0,347	\bar{x}					4,83	0,200
σ					0,31	0,083	σ					0,12	0,040
1 den	76	15,3	9,2	3,2	2,58	0,306	21 dnů	165	10,86	9,1	3,6	5,04	0,217
	62	14,4	9,2	3,2	2,10	0,288		157	11,32	9,2	3,3	5,17	0,226
	85	16,1	9,1	3,4	2,75	0,322		132	11,32	9,2	2,9	4,95	0,226
	89	17,5	9,2	3,4	2,85	0,350		163	13,99	9,1	3,5	5,12	0,280
	80	15,9	9,2	3,2	2,70	0,318		185	8,23	9,2	4,2	4,79	0,165
	75	15,4	9,2	3,2	2,56	0,308		158	10,16	9,1	3,7	4,69	0,203
\bar{x}					2,59	0,315	\bar{x}					5,01	0,223
σ					0,24	0,019	σ					0,14	0,037
3 dny	90	12,29	9,1	3	3,30	0,246	42 dnů	167	7,64	9,1	3,8	4,83	0,153
	88	9,01	9,3	3,1	3,05	0,180		210	12,95	9,1	4,1	5,63	0,259
	100	9,69	9,1	3,2	3,43	0,194		185	7,23	9,1	3,8	5,35	0,145
	89	12,37	9,1	2,8	3,49	0,247		176	8,53	9,2	3,8	5,03	0,171
	104	13,78	9,1	3,5	3,27	0,276		188	9,22	9,2	3,9	5,24	0,184
	90	8,37	9,2	3,5	2,80	0,167		187	7,95	9,2	3,9	5,21	0,159
\bar{x}					3,22	0,218	\bar{x}					5,22	0,178
σ					0,24	0,040	σ					0,25	0,038
5 dnů	96	8,22	9,2	3,5	2,98	0,164	84 dnů	164	7,64	9,1	3,8	4,74	0,153
	81	4,71	9,1	3,5	2,54	0,094		207	12,93	9,1	4,1	5,55	0,259
	105	7,07	9,2	3,9	2,93	0,141		180	7,23	9,1	3,8	5,21	0,145
	127	13,48	9,1	3,5	3,99	0,270		185	7,53	9,2	3,8	5,29	0,151
	131	11,79	9,2	3,8	3,75	0,236		192	8,02	9,2	3,9	5,35	0,160
	115	9,11	9,2	3,7	3,38	0,182		181	7,95	9,2	3,9	5,04	0,159
					3,26	0,181	\bar{x}					5,20	0,171
					0,50	0,058	σ					0,25	0,040
7 dnů	155	11,3	9,4	4,5	3,66	0,226							
	142	11,2	9,2	4,2	3,67	0,224							
	130	10,3	9,4	3,3	4,19	0,206							
	108	8,8	9,4	3,4	3,38	0,176							
	125	11,3	9,4	3,2	4,16	0,226							
	134	10,5	12,4	3,3	3,27	0,210							
\bar{x}					3,72	0,211							
σ					0,35	0,018							

Pevnost v tlaku v rovině vrstev sendvičového materiálu (vzpěr)

LAM-PUR 35-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	300	15015	1,43
35	300	14854	1,41
35	300	15358	1,46
\bar{x}		15076	1,44
σ		210	0,02

LAM2-PUR-LAM2			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	300	23311	2,22
35	300	21485	2,05
35	300	21425	2,04
\bar{x}		22074	2,10
σ		875	0,08

LAM-PR3-PUR 35-PR3-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	300	23695	2,26
35	300	26606	2,53
35	300	28408	2,71
\bar{x}		26236	2,50
σ		1942	0,18

LAM-PR9-PUR 35-PR9-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	300	43845	4,18
35	300	40429	3,85
35	300	43071	4,10
\bar{x}		42448	4,04
σ		1462	0,14

LAM-PUR 35-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	50	2947	1,68
35	50	2552	1,46
35	50	2555	1,46
\bar{x}		2685	1,53
σ		186	0,11

LAM2-PUR35-LAM2			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	50	4713	2,69
35	50	2503	1,43
35	50	2700	1,54
\bar{x}		3305	1,89
σ		999	0,57

LAM-PR4-PUR 35-PR4-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	50	5490	3,14
35	50	3500	2,00
35	50	3400	1,94
\bar{x}		4130	2,36
σ		963	0,55

LAM-PR9-PUR 35-PR9-LAM			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
35	50	6982	3,99
35	50	10804	6,17
35	50	9749	5,57
\bar{x}		9178	5,24
σ		1612	0,92

Voština			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
17	300	15254	2,99
17	300	16587	3,25
17	300	13987	2,74
\bar{x}		15276	3,00
σ		1062	0,21

Styrofoam			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
24	300	14116	1,96
24	300	12297	1,71
24	300	13847	1,92
\bar{x}		13420	1,86
σ		802	0,11

PC voština			
Tloušťka	Šířka	Fmax	σvz
mm	mm	N	MPa
18	300	27662	5,12
18	300	29564	5,47
18	300	26897	4,98
\bar{x}		28041	5,19
σ		1121	0,21

Příloha C (Dotazníky)

Průzkum trhu - Dodavatelé

Dobrý den, prosím o vyplnění online dotazníku pro zákazníky firmy PSP izoterm s.r.o. Dotazník byl vytvořen v rámci řešení disertační práce, je anonymní, vyplnění Vám nezabere více jak 10 minut a bude sloužit ke zpracování práce a zlepšení služeb PSP izoterm s.r.o.

1. Jak dlouho spolupracujete s firmou PSP izoterm ?

- Méně než 1 rok
- 1 - 3 roky
- 4 - 7 let
- 8- 15 let
- Více jak 15 let

2. Jaký podíl z Vašich celkových tržeb má zastoupení spolupráce s firmou PSP izoterm?

1 2 3 4 5

Významnou Zanedbatelnou

3. Kolik alternativních dodavatelů máte pro výrobky dodávané firmou PSP izoterm?

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4 a více

4. Změnili jste dodavatele výrobků dodávaných firmou PSP izoterm?

- Ne
- Ano, v posledním roce
- Ano, v posledních 3 letech
- Ano, v posledních 5 letech
- Ano, v posledních 10 letech

5. Pokud ano, co bylo důvodem změny dodavatele?

6. Seřadte dle vašich priorit vlastnosti dodavatelů. (Všech), (1 - nejvyšší priorita, 9 - nejnižší priorita)

Cena

Rychlost dodávky

Jakost dodávky

Možnost změny a variabilita

Reklamace

Platební podmínky

Benefity

Výzkum a inovace

Komunikace

7. Uveďte slabé stránky a negativa Vašich dodavatelů? (Všech)

8. Uveďte silné stránky a pozitiva, které preferujete u svých dodavatelů? (Všech)

9. Seřadte dle vašich priorit vlastnosti dodavatele PSP izoterm. (1 - nejvyšší priorita, 9 - nejnižší priorita)

Cena výrobku

Rychlost dodávky

Jakost dodávky

Možnost změny a variabilita

Reklamace

Platební podmínky

Benefity

Výzkum a inovace

Komunikace

10. Uveďte slabé stránky nebo negativní vlastnosti dodavatele PSP izoterm.

11. Uveďte silné stránky a pozitiva dodavatele PSP izoterm.

12. Jak byste ohodnotili služby dodavatele PSP izoteterm?

	1 -nejlepší	2	3	4	5-nejhorší
Nabídka produktů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Komunikace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rychlost dodávky	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cena produktů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reklamace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Platební podmínky	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benefity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Jakost dodávky	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Možnost změny a variabilita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inovace, věda a výzkum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. Kdy byste uvažovali o změně dodavatele, pokud by konkurence nabídla cenu nižší?

- neuvažuji
- o 5%
- o 10%
- o 15%
- o 20% a více

14. Kolik procent z ceny výrobku byste byli ochotni investovat do spolupráce s dodavatelem, který zlepšuje svoje výrobky na základě vědy, výzkumu a zkušeností zákazníků?

- žádná investice
- 1%
- 5%
- 10%
- 15% a více

15. Pokud chcete sdělit další informace, postřehy nebo zkušenosti, prosím, uveďte.

Průzkum trhu - Odběratelé

Dobrý den, prosím o vyplnění online dotazníku pro zákazníky firmy PSP izoterm s.r.o. Dotazník byl vytvořen v rámci řešení disertační práce, je anonymní, vyplnění Vám nezabere více jak 10 minut a bude sloužit ke zpracování práce a zlepšení služeb PSP izoterm s.r.o.

1. Jak dlouho spolupracujete s firmou PSP izoterm ?

- Méně než 1 rok
- 1 - 3 roky
- 4 - 7 let
- 8 - 15 let
- Více jak 15 let

2. Jaký podíl z Vašich celkových tržeb má zastoupení spolupráce s firmou PSP izoterm?

1 2 3 4 5

Významnou Zanedbatelnou

3. Kolik alternativních odběratelů máte pro výrobky odebírané firmou PSP izoterm?

- 0
- 1
- 2
- 3
- 4 a více

4. Seřadte dle vašich priorit vlastnosti odběratelů. (Všech), (1 - nejvyšší priorita, 8 - nejnižší priorita)

Velikost zakázek

Pravidelnost zakázek

Nejvyšší cena

Platební morálka

Komunikace

Jméno (goodwill, know how)

Benefity

Výzkum a inovace

5. Uveďte slabé stránky a negativa vašich odběratelů ? (Všech)

6. Uveďte silné stránky a pozitiva, které preferujete u svých odběratelů? (Všech)

7. Seřadte dle vašich priorit vlastnosti odběratele PSP izoterm. (1 - nejvyšší priorita, 8 - nejnižší priorita)

Velikost zakázek

Pravidelnost zakázek

Nejvyšší cena

Platební morálka

Komunikace

Jméno (goodwill, know how)

Benefity

Výzkum a inovace

8. Jak byste ohodnotili služby firmy PSP izoterm?

	1 -nejlepší	2	3	4	5-nejhorší
Velikost zakázek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Komunikace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pravidelnost zakázek	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cena produktů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reklamace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Platební morálka	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Benefity	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modifikace výrobků na základě zkušeností	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inovace a výzkum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. Uveďte slabé stránky a negativa odběratele PSP izoterm.

10. Uveďte silné stránky a pozitiva odběratele PSP izoterm.

11. Kolik procent z ceny zakázky byste byli ochotni investovat do spolupráce s odběratelem, který zlepšuje svoje výrobky na základě vědy, výzkumu a zkušeností zákazníků?

- žádná investice
- o 1%
- o 5%
- o 10%
- o 15% a více

12. Místo pro Vaše postřehy, poznatky a další informace, které byste rádi uvedli.