

# **Srovnání lepicích systémů pro sendvičové panely dopravních prostředků**

Jitka Klusalová

---

Bakalářská práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav inženýrství polymerů

akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jitka Klusalová**

Osobní číslo: **T14174**

Studijní program: **B2808 Chemie a technologie materiálů**

Studijní obor: **Polymerní materiály a technologie**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Srovnání lepících systémů pro sendvičové panely dopravních prostředků**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma
2. Připravte zkušební vzorky s vybranými lepícími systémy
3. Naměřte mechanické vlastnosti lepených spojů
4. Vyhodnoťte a diskutujte dosažené výsledky

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Lucas F. M. da Silva, Andreas Öchsner, Robert D. Adams: Handbook of adhesion technology. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 3642011683.
2. Interní normy IVECO pro lepení sendvičových panelů
3. Technická dokumentace jednotlivých lepicích systémů
4. Odborné publikace dostupné v databázích knihovny

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Simona Mrkvičková, Ph.D.**

Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce:

**2. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**17. května 2017**

Ve Zlíně dne 1. března 2017



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



doc. Ing. Tomáš Sedláček, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 23.4.2107



.....

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je popsání problematiky lepení, coby jedné z metod spojování materiálů, jejíž uplatnění v poslední době enormně roste jak kvantitativně, tak kvalitativně. Tato technologie patří k dominantním v oblasti výroby dopravních prostředků i pro hromadnou dopravu, tzn. výrobu kolejových vozidel, autobusů a letadel.

Bakalářská práce se dále věnuje konkrétnímu spoji ve výrobě autobusů značky Iveco, a to lepenému sendvičovému panelu, který je použit pro schránu zavazadlového prostoru z exteriérové části autobusu.

Experimentální část obsahuje porovnání současného lepidla a dalších 4 alternativ, které se liší v chemické bázi, rychlosti aplikace, a i způsobu nanášení.

Výsledkem je doporučení pro další použití – lepení tohoto komponentu.

Klíčová slova:

lepidlo, lepení, adheze, koheze, lepené spoje, pevnost v odlupu, třibodový ohyb, sendvičová konstrukce

## **ABSTRACT**

The purpose of this Bachelor Thesis is explanation of bonding technology as one of the possibilities of parts assembly method, that has been increasing in quality and also in quantity. This technology has wide scale of use in transportation industry, including public transportation, it means in buses, trains and aircrafts production.

The Bachelor Thesis discuss the issue of one specific bonding used in the real bus production at company IVECO, it concerns of sandwich panel bonding, that is used as an exterior compartment door.

The practical part includes the comparing of 4 various adhesives differing in chemical base, the reaction speed and application method.

As a result there is a recommendation what adhesive should be the best for joining this specific part.

Keywords:

Adhesive, bonding, adhesion, cohesion, adhesive joints, peel strenght, 3 points flexural strenght, sandwich panel

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych ráda poděkovala své rodině za podporu během mého studia a přípravy této práce a zaměstnavateli, který mi umožnil tímto způsobem rozšířit své znalosti z problematiky lepení. Rovněž chci poděkovat panu Šmerdovi z firmy IVECO za poskytnutí informací ohledně současného stavu používané lepicí technologie při výrobě autobusů a za poskytnutí lepených substrátů a v neposlední řadě i doktorce Ing. Mrkvičkové, vedoucí této bakalářské práce.

**„Bonding like never before“**

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



## OBSAH

<b>I</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
1.1	ZÁKLADNÍ POJMY .....	11
1.2	HISTORIE LEPENÍ .....	12
<b>2</b>	<b>TECHNOLOGIE LEPENÍ.....</b>	<b>15</b>
2.1	TYP LEPENÉ SPÁRY A JEJÍ MECHANICKÉ ZATÍŽENÍ .....	15
<b>3</b>	<b>TESTOVÁNÍ A OVĚŘOVÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ .....</b>	<b>22</b>
3.1	PEVNOST VE SMYKU .....	22
3.2	PEVNOST V ODLUPU .....	22
3.3	OHYBOVÝ TEST – TŘÍBODOVÝ .....	23
3.4	TEST RÁZOVÉ PEVNOSTI – HOUŽEVNATOSTI LEPENÉ SPÁRY .....	25
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>ZADÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....</b>	<b>27</b>
4.1	AKTUÁLNÍ SITUACE .....	27
4.2	POPIS AKTUÁLNÍCH MATERIÁLŮ .....	27
4.3	Popis aktuální aplikace .....	29
<b>5</b>	<b>TEST ALTERNATIVNÍCH LEPIDEL .....</b>	<b>30</b>
5.1	TESTOVACÍ METODIKA .....	30
5.1.1	IVECO metoda 3-bodového ohybu .....	30
5.1.2	Kontrola typu poruchy lepené spáry v ručním odtrhu .....	31
5.2	ZKUŠEBNÍ TĚLESA – POPIS .....	32
5.3	TESTOVANÉ ALTERNATIVNÍ LEPIDLA + STRUČNÝ POPIS JEJICH APLIKACE.....	32
5.3.1	Dvousložkové polyuretanové lepidlo firmy Dow Betamate 7050L + tužidlo 7000 .....	32
5.3.2	Konkurenční dvousložkové polyuretanové lepidlo .....	37
5.3.3	Dvousložkové methylnmethakylátové lepidlo firmy 3M DP8410NS .....	39
5.4	VYHODNOCENÍ TESTŮ .....	50
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>

## I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 ÚVOD

## 1.1 Základní pojmy

### Lepení

Dle standardu DIN EN 923:2015 je lepení proces spojování dvou a více materiálů použitím lepidla [1].

V detailnějším kontextu se jedná o speciální proces skládající se z:

- Skladování substrátů i lepidla
- Příprava povrchu
- Příprava lepidla
- Aplikace lepidla
- Spojení lepených ploch
- Fixování
- Vytvrzení

### Lepidlo

Lepidlo dle DIN EN 923:2015 je nekovová látka, která dovede spojit substráty díky své adhezi a kohezi [1].

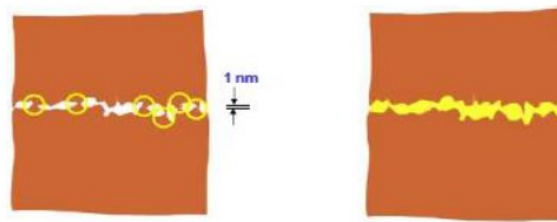
### Adheze

Přilnavost lepidla k substrátu [1].

Síla působící vazby mezi molekulami různých materiálů:

- Chemická vazba – chemické prosíťování mezi molekulami
- Mechanická vazba – zatečení tekutého lepidla do mikro nerovností a pórů materiálu a jeho zatuhnutí tam
- Specifická vazba – mezi molekulové interakce působící mezi molekulami různých materiálů

Interakce však mohou vznikat pouze na vzdálenost 1 nanometru:



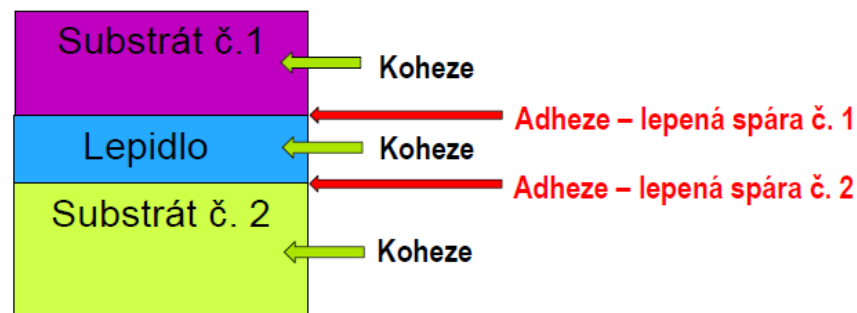
Obr. 1.1 Vzdálenost vazeb [1]

### Koheze

Vnitřní pevnost materiálů (lepidla i lepených materiálů).

Intermolekulární síla, která drží molekuly jednoho materiálu pohromadě [1].

### Lepená spára



Obr. 1.2 Schéma lepené spáry

## 1.2 Historie lepení

Vznik lepení je možné datovat až do doby kamenné, kdy se používalo smoly z březových stromů k výrobě věder z březové kůry, lepení hrotů šípů a harpun. Archeologové našli pozůstatky rozbité keramiky, na které jsou patrné místa opravená lepkavými přírodními pryskyřicemi.

Staří Egypťané znali přírodní lepidla jak na živočišné, tak rostlinné bázi. Papyrové listy byly kromě vlastní šťávy zpevňovány lepidlem z mouky a vody, dřevěné rakve byly zdobeny pigmenty, které byly pojeny směsí křídly a klišu.

K lepení se ve starověku získával albumin (bílkovina obsažená v krevní plazmě) ze zvířecí krve, vařením kostí, kůží a zbytku ryb se vyráběl glutin (čistá želatina).

Římané těsnili své lodě dřevěnými klíny, dehtem a včelím voskem.

Roku 1690 byly v Holandsku založeny první plantáže k zajištění surovin pro výrobu klišu. Tamní první továrna byla tamtéž otevřena za účelem výroby klišu ze zvířecích kůží.

První patent spojený s lepením byl vydán o několik desítek let později v Anglii a týkal se výroby lepidla rybího.

Následovaly patenty pro lepidla vyráběna z přírodního kaučuku, zvířecích kostí, škrobu či kaseinu (mléčné bílkoviny).

V 19. století se rozšířily technologie spojené s vulkanizací přírodního kaučuku. Před 1. světovou válkou byl na obuvnické výstavě představen již podrobný postup na výrobu lepené obuvi, zahrnující již i speciální stroje na aplikaci lepidla.

Prakticky až do 2. světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopny lepidlo vsáknout, jak bude popsáno později, měly dobrou smáčivost povrchu – dřevo, textil, kůže, papír.

Jako základ nové generace syntetických lepidel se staly fenolické pryskyřice (jejich výrobu umožnil objev bakelitu v roce 1910, kdy začala éra plastů). Fólie na bázi fenolické pryskyřice pod názvem Redut byla používána pro spojení dřeva a kovu, čehož se využívalo zejména při výrobě letadel (větroně a dřevěné motorové letouny).

Hromadnou výrobu lepidel poté značně urychlila 2. světová válka, kdy se začala vyrábět lepidla také z jiných polymerů [14].

### 1.3. Současnost

V dnešní době jsou lepidla vyvíjena tak říkajíc „na míru“, takže aktuálně nacházejí uplatnění téměř v každém průmyslovém segmentu. Lze jmenovat výrobu motorových vozidel, prostředků hromadné dopravy, stavebnictví, výrobu strojů, výrobků tzv. bílé techniky, počítačů a mobilních komunikačních zařízení, dokonce i zdravotnictví.

Aktuálními fenomény v oblasti lepení je použití nových materiálů a tím pádem i potřeba jejich spojování, dokonalejší design výrobků, zmenšování velikosti a odlehčení, rychlejší výrobní postupy a neposledně taky tlak na ekologii.

## 1.4. Výhody a nevýhody lepených spojů

Jako každá metoda spojování materiálů má i lepení své přednosti, ale i nedostatky [2].

### Hlavní výhody lepení:

- Spojení různorodých materiálů s různou tloušťkou, vč. velmi tenkých
- Nedochází k narušení spojovaných materiálů (díry, degradace vlivem tepla,.... )
- Snížení váhy
- Rovnoměrná distribuce napětí jak statického, tak dynamického bez koncentrace do bodů vzniklých např., nýtováním či šroubováním
- Umožňuje vytvářet pružné spoje (vyrovnání dilatací, utlumení vibrací)
- Spojení velkých i malých ploch, často komplexních či nepravidelných částí
- Možnost utěsnění spoje, takže v něm nedochází ke korozi
- Zvuková a elektrická izolace
- Lepší design

### Nevýhody lepení:

- Limitovaná tepelná odolnost výsledné lepené spáry i použitelnosti - aplikace lepidla
- Stárnutí lepené spáry (ovlivněno časem, mechanickým zatížením, působením teploty, UV zářením, vlhkosti, chemikáliemi)
- Vytvrzovací čas lepidla
- U většiny spojů nemožnost demontáže
- Vysoké požadavky na celý proces lepení (skladování, předúprava povrchu, atd., více viz dále)
- Speciální proces bez možnosti kontroly slepení nedestructivní metodou, proto je nutná implementace sledování a dokumentace celého procesu před i během výroby lepené spáry, operátoři musí být extra školeni pro kompetentnost technologie lepení

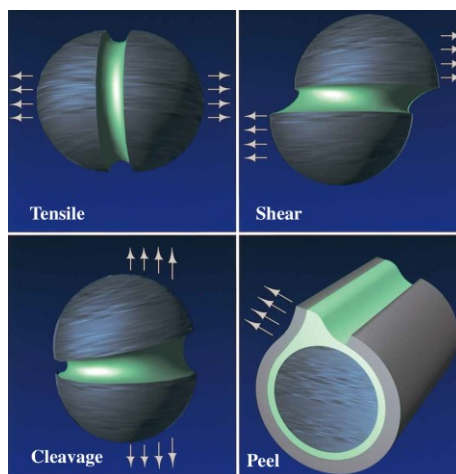
## 2 TECHNOLOGIE LEPENÍ

Pro správný výběr lepicího systému je potřeba znalosti jak samotných lepidel, tak spojovaných materiálů, podmínek dalšího užívání lepené spáry, výrobního procesu.

K výběru je potřeba kompletace všech požadavků od konstruktérů, technologů, kvalitářů, finančního oddělení daného podniku, dodavatele lepidla a aplikačního zařízení, dodavatele lepených materiálů.

### 2.1 Typ lepené spáry a její mechanické zatížení

Vždy je třeba zohlednit mechanické zatížení lepené spáry jak statické, tak dynamické, případně zátěže v rychlosti (tzv. Crash test), způsob namáhání v tahu (tensile), ve smyku (shear), rozvoru (cleavage) či odlupu (peel). Je třeba tak znát typ namáhání, tak i velikost deformace.



Obr. 1.3 Typy zatížení [2]

Při výběru vhodného lepidla je důležitá také znalost velikosti lepené plochy – aplikace velkoplošná nebo bodová.

### 2.2 Typy lepených materiálů

Je nutné mít co nejvíce informací ohledně lepených podkladů, znát zejména jeho typ – materiál, důležité je jeho povrchové napětí a smáčivost, jeho mechanické vlastnosti – modul pružnosti  $E$ , smykový modul  $G$ , koeficient tepelné roztažnosti  $\alpha$ , tepelná a chemická odolnost.

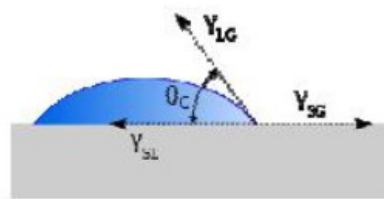
Vhodnost povrchu materiálu se pozná podle měření povrchového napětí – smáčivosti. Jedná se o schopnost kapaliny, v našem případě lepidla, rozprostřít se určitým povrhu.

Pro dobrou adhezi je nutné dostatečné smáčení substrátu lepidlem, lepidlo se musí dostat k materiálu na atomovou vzdálenost  $< 1\text{nm}$ . Žádné smáčení = žádná uspokojivá adheze [1].

Predikce dobré smáčivosti:

- Substráty jsou čisté a suché
- Viskozita lepidla není příliš vysoká
- Povrchové napětí substrátu musí být vyšší jako povrchové napětí lepidla

Do jaké míry je povrch smáčivý se měří několika metodami s různou mírou spolehlivosti. Například měřením kontaktního úhlu mezi tečnou přiléhající ke kapalině/lepidlu v místě styku s podkladem, kapkovou metodou, speciálními inkousty s předem známou hodnotou povrchového napětí, atd.



Obr. 1.4 Měření kontaktního úhlu lepidla a podkladu [3]

Povrchové napětí = specifická povrchová energie je množství energie, které se musí dodat kapalině pro vytvoření nového povrchu o jednotkovou plochu.

Detail kapky na površích s různou povrchovou energií – obrázek vlevo ukazuje na špatnou smáčivost, vpravo na dobrou (kapka se rozprostře po povrchu – podobné chování se dá očekávat u lepidla).

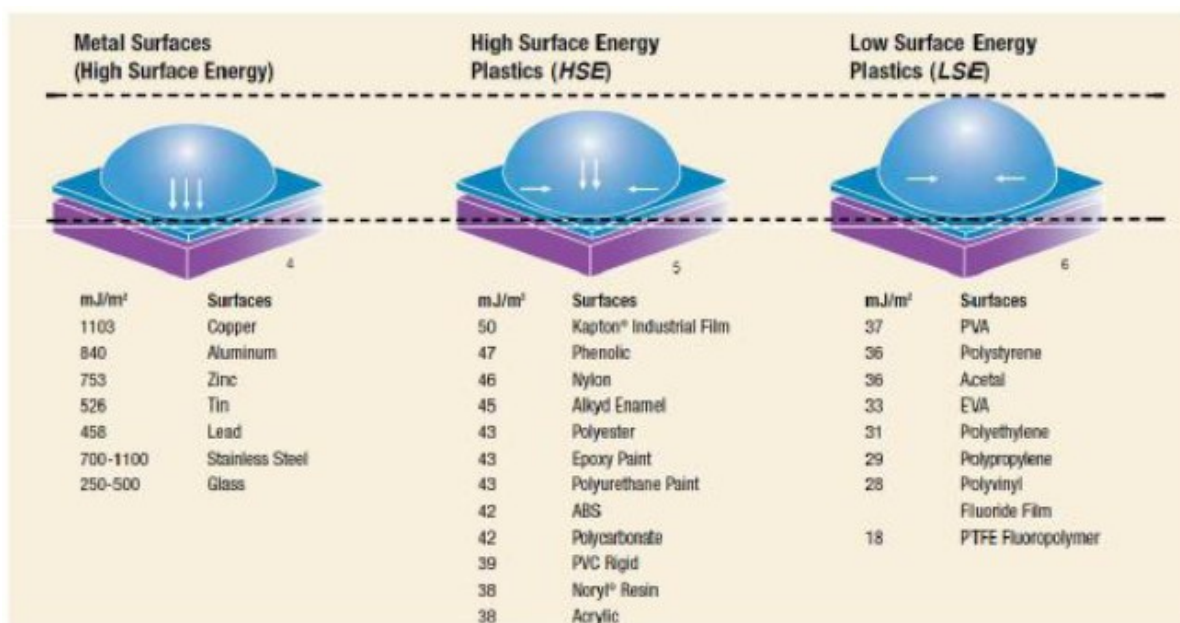


Obr. 1.5 Detail kapky [4]



V tomto pohledu platí jednoduché pravidlo – čím vyšší povrchová energie materiálu, tím vyšší je jeho lepitelnost. Lze rovněž konstatovat vztah, že povrchová energie lepeného materiálu musí být vyšší jako použitého lepidla.

Přehled rozdělení základních materiálů podle jejich povrchové energie, běžně se používá označení HSE ( High Surface Energy = materiály s vysokou povrchovou energií), MSE ( Middle Surface Energy = materiály se střední povrchovou energií) a LSE (Low Surface Energy = materiály s nízkou povrchovou energií) [3].



Obr. 1.6 Rozdělení materiálů podle povrchového napětí [3]

Nízké povrchové napětí substrátu lze zvýšit mechanicky i chemicky, zbrúšením jemným smrkovým papírem, použitím vhodného primeru či jiného chemického aktivátoru povrchu (většinou na bázi silanů či titanátů), plamenem (jeho modrou částí – aktivace kyslíkem), plasmou či korunou apod.

U lepení kovů se nesmí opomenout jeho povrchová úprava, ne vždy je sám kov vrchním materiálem, který je v interakci s lepidlem.

Povrchová úprava vede obvykle ke zkvalitnění vlastností povrchu. Může být povahy ochranné (ochrana proti znehodnocujícím vlivům prostředí), dekorativní (barevný odstín, dekorativní vzor, lesk) či speciální (mechanická odolnost, vodivost, signalizace) [9].

Vrchní vrstva kovů se zejména z důvodu zvýšení odolnosti proti korozi pasivuje a/nebo aktivuje. Proces vždy začíná předúpravou – čištěním, které se skládá z odmaštění, me-

chanické aktivace povrchu a jeho chemické aktivace. Poslední fázi se říká moření (= etching) nejčastěji v kyselině fosforečné, chromové, sírové, chlorovodíkové atd. Takto připravený kovový povrch je pasivní vůči vzniku další oxidické vrstvy, která pro lepení nemá dostatečnou vnitřní pevnost – kohezi, více viz dále.

Samotná aktivace povrchu pak může být jak mechanická, tak chemická, často jsou na povrch kov nanášeny jak anorganické tak organické vrstvy.

Z anorganických se nejčastěji používají vrstvy fosfátů, chromátů, velmi používaná úprava hliníku je jeho eloxování (Elektrochemická Oxidace Hliníku). V praxi se můžeme potkat i s povlakem na bázi zinku, mědi, niklu, chromu či jejich slitin.

Nejrozšířenější povrchovou úpravou kovů jsou však organické povlaky – nátěry, polymerní povlaky a práškové nátěrové hmoty [8].

Jejich lepitelnost a smáčivost již dále musíme posuzovat dle napsaného výše, často hovoříme až o površích s nízkým povrchovým napětím.

Smáčivost je důležitá pro dobrou adhezi lepidla, ale pouze dobrá smáčivost materiálu není dostatečná pro dobrý výsledek lepení. Např. voda nebo vosk jsou materiály s dobrou smáčivostí, ale s nízkou vnitřní pevností – kohezi. Je proto důležité zohlednit i vnitřní pevnost materiálů, jak u substrátu, tak lepidla.

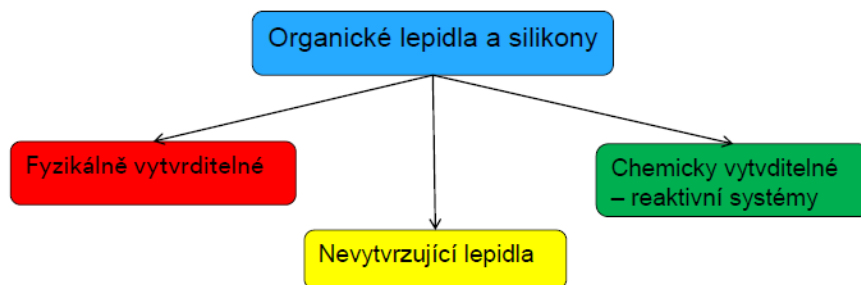
Někdy dochází k výborné adhezi ihned po spojení/vytvrzení lepidla, spoj však časem slábně vlivem působení okolních podmínek – zatížením, vlhkostí, rozpouštědly, UV zářením, změkčovadly, a podobně, vždy je tak nutné zvážit následné podmínky a vybrat správný typ lepidla (s dostatečnou vnitřní pevností).

## 2.3 Typy lepidel

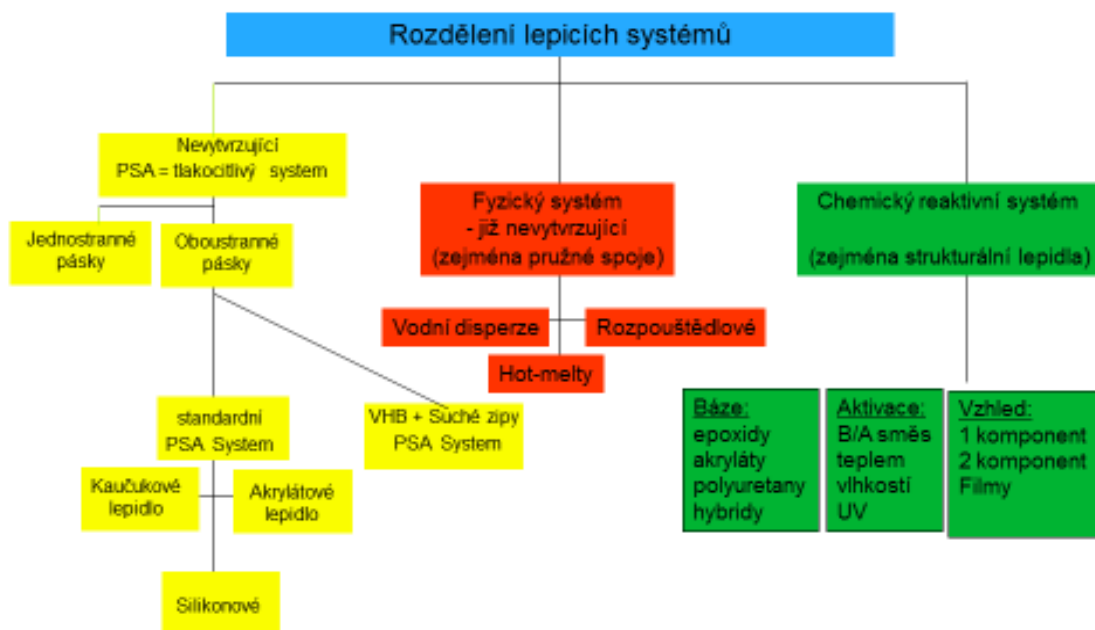
Lepidla, stejně jako plastové materiály, je možné dělit podle několika charakteristik.

Obecně lze lepidla rozdělit na organická a anorganická. V další části práce se budu zabývat pouze organickou částí lepidel, proto druhou skupinu z bližšího popisu vynechám.

### 2.3.1 Rozdělení podle typu vytvrzení:



Podrobněji:

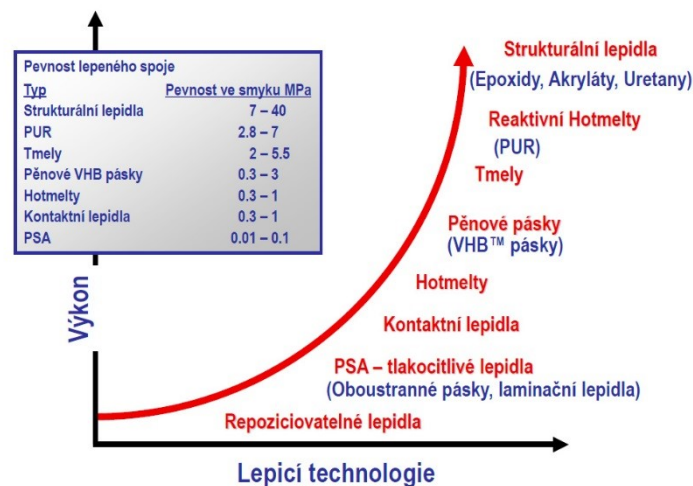


Obr. 1.7 Rozdělení lepidel

### 2.3.2 Rozdělení podle výsledné pevnosti:

- Strukturální – tekutá chemicky reaktivní lepidla vytvářející spoj na bázi chemické reakce mezi spojovanými materiály, např. 1K i 2K akryláty/PMMA, epoxidy, polyuretany, silikony, vteřinové i anaerobní
- Nestrukturální – tekutá chemicky nereaktivní lepidla vytvářející spoj pouze na principu „umí téct“, případně v kombinaci s „umí vytvářet adhezní síly“, např. kontaktní, disperzní a tavná lepidla
- Tlakocitlivá, tzv. PSA (Pressure Sensitive Adhesives) – samolepící viskoelastická lepidla používaná na páskách, např. jednostranné a oboustranné pásky, laminační PSA lepidla

Ukázka možných výsledných pevností jednotlivých skupin lepidel – od pevnosti tzv. repositionovatelného spoje až po tzv. strukturální pevnosti.



Obr. 1.8 Rozdělení lepidel podle pevnosti [2]

## 2.4 Vliv prostředí na lepený materiál, lepidlo a lepenou spáru

Po celou životnost lepené spáry (substrát + lepidlo) na ni působí a je s ní v interakci samotné prostředí: teplota, popřípadě střídání teplot, působení vlhkosti a různých médií (rozpuštědla, soli, chladicí kapaliny, oleje,...), UV záření.

Čím je prostředí agresivnější, tím spára rychleji stárne.

Některá lepidla či materiály budou působením zvýšené teploty měknout či zvyšovat svůj objem (dilatovat), naproti tomu působením nízké teploty budou tvrdnout, křehnout a zmenšovat svůj objem.

Některé lepicí systémy či materiály mohou působením vody či zvýšené vlhkosti časem degradovat, rovněž stejný efekt může způsobit i působení světla, UV, kdy dochází nejprve ke změnám barvy a vzhledu, následně až k strukturální změně.

Působením některých chemických látek lze ovlivnit vlastnosti lepidla či lepených materiálů. Většina plastů bude měknout působením organických rozpouštědel, pryže budou měknout působením olejů. Materiály, které obsahují aditiva pro jejich změkčování a ohebnost, tzv. plastifikátory, mohou zejména při zvýšené teplotě migrovat do vrstvy lepidla a tuto rovněž změkčovat [3].

Většinu těchto vlivů je možné předem odzkoušet.

Existuje poměrně obsáhlý systém laboratorních zkoušek, jejichž cílem je napodobit reálné působení všech vlivů popsanych výše na lepený spoj za účelem zjištění odezvy – chování systému lepená spára.

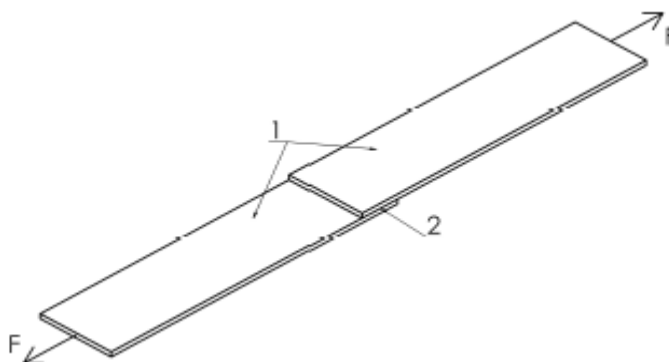
Vždy se však jedná pouze o laboratorní test, který stoprocentně není schopen nasimulovat reálné zatížení, jelikož ve skutečnosti se vždy jedná o kombinaci vlivů zejména s dlouhodobou působností.

### 3 TESTOVÁNÍ A OVĚŘOVÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ

Lepené spoje se nejčastěji testují na výslednou pevnost. Podle typu skutečného namáhání je potřeba zvolit adekvátní zkoušku, dle které budeme provádět a vyhodnocovat parametry.

#### 3.1 Pevnost ve smyku

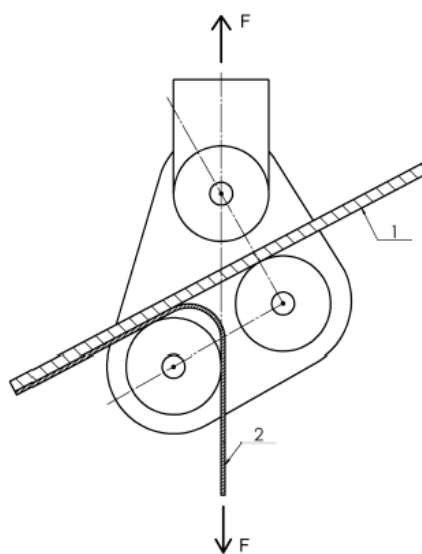
Podstata zkoušky spočívá ve stanovení pevnosti ve smyku při namáhání jednoduchého přeplátovaného spoje většinou mezi tuhými materiály, na které působí tahová síla rovnoběžná s osou zkušebního tělesa. Vyhodnocuje se síla potřebná k přetržení tohoto spoje, popřípadě napětí. Nejčastěji používaná norma pro tento test je ČSN EN 1465.



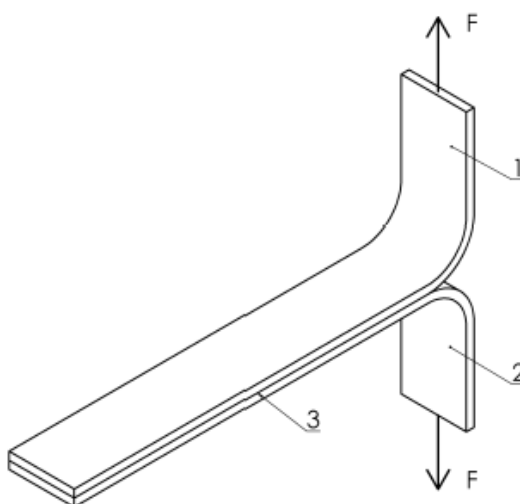
Obr. 1.9 Zkušební těleso – popis: 1 – lepené substráty, 2 – lepená plocha – „přeplátování“, F – působící síla [5]

#### 3.2 Pevnost v odlupu

Podstata zkoušky spočívá ve stanovení odolnosti proti odlupování mezi tuhým a pružným či ohebným materiálem. Metoda stanovuje kontinuální navíjení ohebného adherendu přes plovoucí váleček, většinou pod úhlem 115 °, 90° či 180 °. Nejčastěji používaná norma pro tento test je ČSN EN 1464.



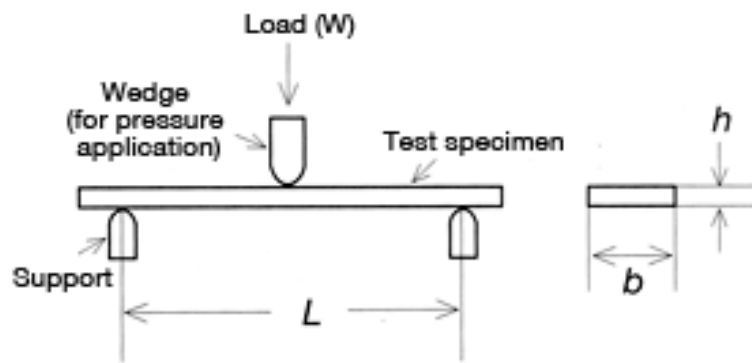
1.10 Zkušební těleso - popis: 1 – pevný substrát, 2 – pružný substrát,  $F$  – působící síla [5]



Obr. 1.11 Zkušební těleso - popis: 1 – pružnější substrát, 2 – pevnější substrát, 3 – lepená spára,  $F$  – působící síla [5]

### 3.3 Ohybový test – tříbodový

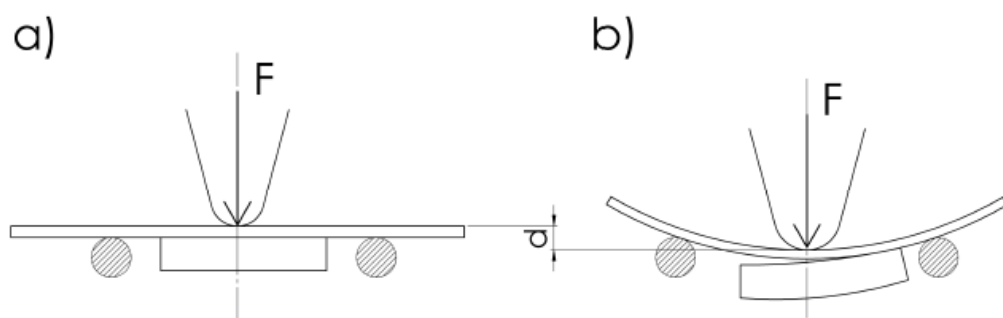
Tento test se používá zejména pro zkoušku tahové pevnosti v ohybu zejména pro materiály s vyšší pevností v tlaku než tahu. V praxi častá metoda pro zkoušku kompozitních materiálů či sendvičových konstrukcí. Při zkoušce se zatěžuje rovnoměrně jedním břemenem či silou prostřednictvím zatěžovacího zařízení až do konečného porušení panelu. Uprostřed z vrchní části bude docházet k nejvyššímu stlačení materiálu (kompresi), ze spodní části k největšímu tahu. Nejpoužívanější metodika – norma ČSN EN ISO 14125.



Obr. 1.12 Zkušební těleso pro ohybový test [6]

Jelikož se jedná o test, z kterého vychází interní „IVECO metoda“ testování lepené schránky, sledovaná v experimentální části této práce, bude tato metoda popsána detailněji dále.

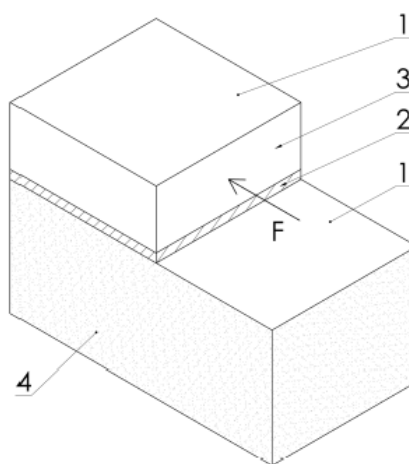
Další možností 3 – bodového ohybu je test adhezní pro určení vhodného lepidla či vhodné předúpravy povrchu před lepením. V takovém případě se porovnávají získané hodnoty a zejména typ poruchy – adhezní (= k poruše spoje došlo na rozhraní lepidlo – adherend) versus kohezní (= k poruše došlo v materiálu či uvnitř lepidla). Pro tento test se vzorek materiálu přilepí k panelu s přesahem ze stejného materiálu, na který v polovině působí jednosměrná síla. Zaznamenává se velikost síly při porušení lepené sestavy a vyhodnocuje se typ poruchy [4].

Obr. 1.13 Zkušební těleso – popis: a) slepenec/vzorek před testem, b) vzorek po namáhání s adhezním typem poruchy,  $F$  – působící síla,  $d$ ) rozdíl v průhybu (dle ČSN EN 1966) [5]



### 3.4 Test rázové pevnosti – houževnatosti lepené spáry

Jedná se o zkušební metodu hodnocení rázové pevnosti lepených spojů ve smyku. Nejčastěji pro spoje dřevo – dřevo, kov – kov, plast - plast či jejich kombinace. Jedná se o míru absorpce energie lepené spáry při úderu definovanou rychlostí kladivem (pendulum) vyjádřenou v Joulech na metr čtvereční slepené plochy. Norma EN ISO 9653 definuje dostatečnou hodnotu této mechanické odolnosti kolem  $100 \text{ J/m}^2$ .



Obr. 1.14 Zkušební těleso - popis: 1 – substráty, 2 – lepená spára, 3 – zóna nárazu kladiva, F – působící síla [5]

Dále se lepené spoje testují na odolnosti určitému prostředí – teplotě, popř. proměnlivému teplotnímu cyklu, odolnosti soli, vlhkosti, UV či dalších chemikálií.

Vždy je potřeba simulovat v laboratoři co nejnějnější podmínky, které na spoj budou působit ve skutečnosti.

Na základě výsledků v laboratoři však nelze stanovit životnost lepeného spoje, většinou však výrobci daného komponentu disponují vlastní mírou porovnání – korelací mezi laboratorními testy a realitou.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 ZADÁNÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Dle domluvy se zástupcem firmy IVECO vytipovat alternativní lepidla vhodná pro lepení daného panelu tak, aby technologicky bylo zasaženo do současného procesu aplikace lepidla co nejméně, se snahou o co nejrychlejší dosažení manipulační pevnosti slepeného panelu za podmínky zachování minimálně stejné pevnosti v ohybu testované dle IVECO metody.

### 4.1 Aktuální situace

Společnost Iveco Czech Republic, a. s. (původně KAROSA) je dnes největším výrobním závodem značky Iveco Bus, která je součástí americké skupiny CNH Industrial N.V. Iveco Bus navrhuje, vyrábí a prodává široký sortiment vozidel hromadné dopravy, převážně městské a meziměstské autobusy, které se z 94 % vyváží do přibližně 30 zemí světa. V roce 2016 bylo v tomto závodě vyrobeno 3 885 autobusů [6].



Lepená schrána zavazadlového prostoru

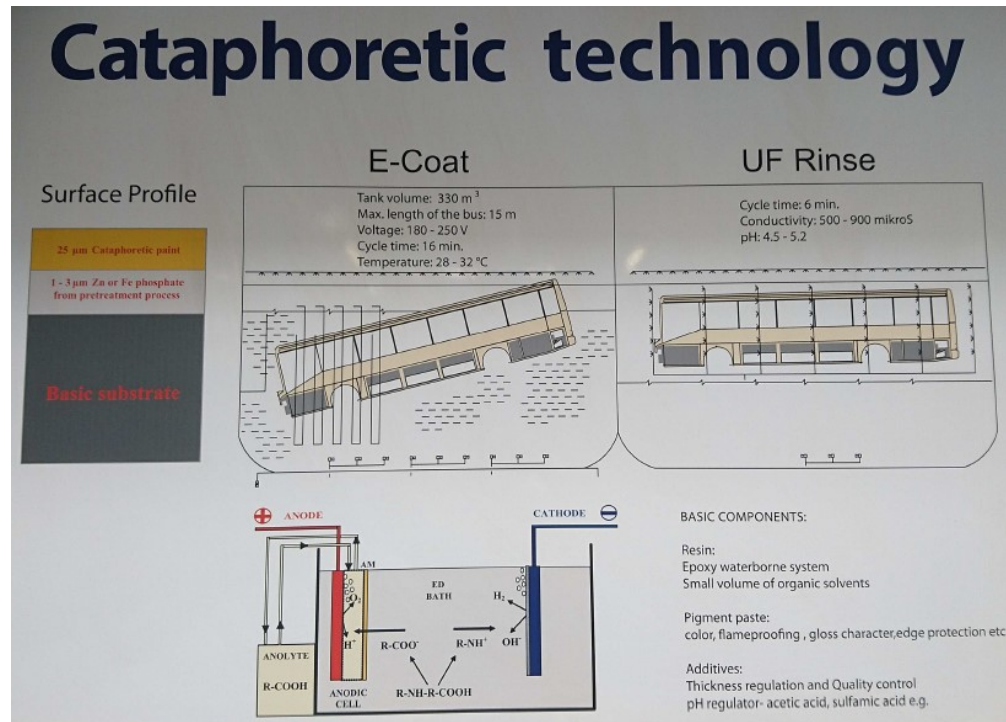
Obr. 2.1 Část výroby v Ivecu [7]

### 4.2 Popis aktuálních materiálů

Aktuálně používané materiály – popis schrány (velikost + materiál)

- Plech + povrchová úprava

Surový ocelový plech je po odmaštění opatřen konverzní fosfátovou pasivací, následně je metodou CTL (elektrolytická kataforéza) nanesena první vrstva epoxidového nátěru v tloušťce cca 25  $\mu\text{m}$ , viz obrázek níže. Po jeho vytvrzení je na povrch aplikována bílá prášková barva typu PPG EP – PE SGL T 9010.



Obr. 2.2 Proces kataforézy

Velikost plechu: 1560x850x1,6mm

- Voština: extrudovaný polypropylen s oboustranně nalaminovanou polyesterovou (PET) tkaninou, typ Puricomb PP 8,0-80 T30.

Velikost: 1560x850x20mm

- Lepidlo: dvousložkové polyuretanové lepidlo firmy DOW – Betamate 7050L + 7000, technický list v příloze.

- Celý sendvič

Sendvič se skládá ze „skinu“, který tvoří vrchní a spodní lakovaný plech, uprostřed voštinové jádro z PP, která je vlepena lepidlem Betamate celoplošně.

Velikost celého sendviče: 1560x850x24mm

- Předúprava povrchů před lepením: odmaštění prostředkem Betaclean 3350 (heptan)

### 4.3 Popis aktuální aplikace

Po odmaštění prostředkem Betaclean a jeho odpaření (5 min) je strojově v housenkách naneseo lepidlo Betamate (již předem smícháno v centrálním směšovací zařízení) a obsluhou rozetřeno pomocí zubové stěrky velikosti B2 po celé ploše panelu. Ještě v otevřené době lepidla (max.10min) je vloženo voštinové PP jádro. Po celém obvodu je na přírubu plechu naneseo housenka lepidla rychlého 2K MMA lepidla, které zajišťuje okamžitou pevnost slepence. SCHRÁNA je dále smontována a vložena do lisu v tvarové formě na 120 minut.

Po vyjmutí z lisu je hotová schránka dále manipulována a předána na další pracoviště.



Obr. 2.3 Aktuální proces lepení

#### Její nevýhody = potřeba změny (= zadání)

Současná aplikace je spolehlivá co se kvality týká, výroba samotné schránky je však zdoluhavá, zejména se výrobní čas prodlužuje nutností lisování po dobu 120 minut. Při současném navýšení výroby (porovnání počtu vyrobených autobusů v r. 2016 vs. 2015 +14%) je situace kritická, další operace jsou zdoluhavým časem lisování zpožděny – nedosahuje se kontinuity ve výrobě.

Proto je požadavek na urychlení této části výroby při zachování minimálně stejné kvality výrobku.

## 5 TEST ALTERNATIVNÍCH LEPIDEL

### 5.1 Testovací metodika

Dle dohody se zástupcem firmy IVECO byly pro zkoušky lepidel určeny 2 testy, které se běžně používají pro zjištění pevnosti lepených panelů, a to:

- „IVECO“ metoda vycházející z normy EN 14125 [17]
- Kontrola typu poruchy lepené spáry v ručním odtrhu

#### 5.1.1 IVECO metoda 3-bodového ohybu

Iveco metoda vychází z normy EN 14125 [17], tzv. stanovení ohybových vlastností metodou 3-bodového ohybu. Měření je prováděno na zkušebním tělese definované velikosti umístěným ve zkušebním přípravku – konkrétně trhacím stroji Zwick 1456, na kterém jsou upevněny normou definované podpěry a zatěžovací trn pohybující se konstantní rychlostí, v konkrétním případě 20mm/min.



Obr. 2.4 Trhací stroj Zwick

Zaznamenává se síla a odpovídající průhyb zkušebního tělesa. Nejvyšší síla se zaznamená v okamžiku poruchy testovaného panelu. Automatický zapisovač vyhodnotí závislost ohybové síly na průhybu. Z této křivky se následně stanoví všechny důležité parametry,

jako E modul, napětí při 0,2% deformaci, maximální síla v okamžiku poruchy, deformace, vykonaná práce při dané síle a vypočítá se pevnost v ohybu  $\sigma_{fs}$ .

Pro výpočet pevnosti v ohybu = Flexural strenght  $\sigma_{fs}$  udávaný v MPa je pro obdélníkový (rectangle) průřez zkušebním tělesem použit vztah [8]:

$$\sigma_{fs} = \sigma_m^{fail} = \frac{1.5F_{max}L}{bd^2_{rect.}}$$

kde:

$F_{max}$  je maximální naměřená síly v N v okamžiku poruchy sendviče

$L$  je délka v mm mezi rozpěrami (dáno normou)

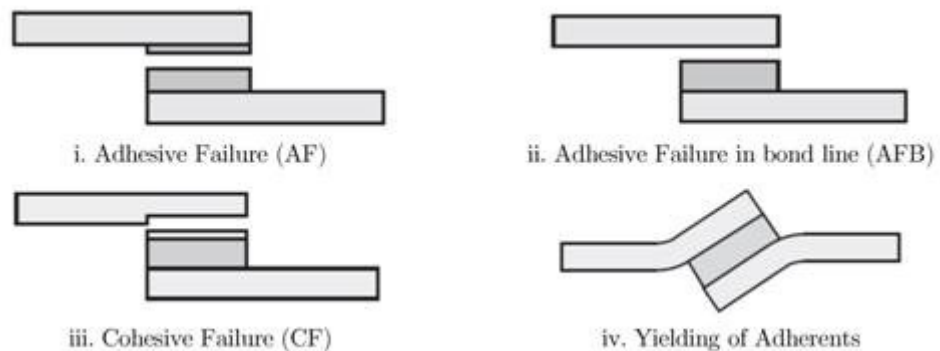
$b$  je šířka v mm testovaného tělesa

$d$  je výška v mm testovaného tělesa

### 5.1.2 Kontrola typu poruchy lepené spáry v ručním odtrhu

Pro každý určený čas a použité lepidlo je rovněž slepen 1 sendvičový panel stejného rozměru jako pro ohybové zkoušky, na kterém je v definovaném čase ručně za pomoci kleští odtrháván vrchní plech. Hodnotí se typ poruchy.

Typy možných poruch:



Obr. 2.5 Popis typů poruch: i. Adhezní porucha v laminární vrstvě lepidla, ii. Úplná adhezní porucha, iii. Kohezní porucha v lepeném materiálu, iv. Deformace substrátů [3]



## 5.2 Zkušební tělesa – popis

Zkušební těleso – sendvič – popis:

Sendvičový panel se skládá z vrchního a spodního lakovaného plechu a polypropylénového voštinového jádra s vrchní PET tkaninou.

Velikost lakovaného plechu: 600 x 100 x 1,6mm

Velikost jádra – voštiny: 600 x 100 x 20mm

Velikost testovacího sendviče: 600 x 100 x 24 mm (23,6mm až 24,4mm dle typu použitého lepidla)

Všechny testovací materiály jsou v kvalitě standardních (povrchové úpravě) používaných materiálů pro výrobu.

Předúprava materiálů před lepením: odmaštění přípravkem Betaclean 3550 (heptan)

## 5.3 Testované alternativní lepidla + stručný popis jejich aplikace

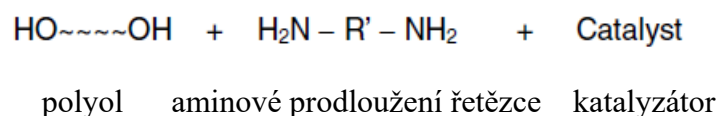
Pro zkoušení byly zvoleny 4 lepidla od různých výrobců, na různých chemických bázích, pro každý test ve 3 provedeních. Jedno z nich je současné používané lepidlo, které slouží zároveň při testování i jako etalon, s nímž budou v závěru ostatní lepidla porovnána. Lepidla byla nanášena ručně z duo kartuší, při výstupu byly jednotlivé složky již smíchány ve směšovací trysce v daném poměru. „Housenka“ smíchaného lepidla byla následně rozetřena ozubenou stěrkou po celé ploše panelu.

### 5.3.1 Dvousložkové polyuretanové lepidlo firmy Dow Betamate 7050L + tužidlo 7000

Jedná se strukturální dvoukomponentní lepidlo na bázi polyuretanu, jehož polyadiční reakcí mezi polyolem (složka A) a izokyanátem (složka B) vzniká zesíťovaný termoset.

Pravděpodobný mechanismus reakce:

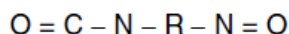
Složka A :



+



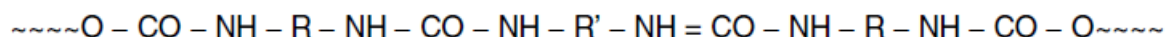
Složka B:



prepolymer diizokyanátu



Vytvrzené lepidlo:



polyuretan

Polyuretanové lepidla vytváří pevné vazby s vysokou pevností v odlupu. Mají vyšší pevnost při nízkých teplotách v porovnání s ostatními lepidly (při minusových teplotách pouze silikony mají vyšší výkon, tyto však nedosahují takových tahových pevností). Polyuretanové lepidla mívají rovněž dobrou pružnost a rázuvzdornost, odolnost vůči oděru. Jejich chemická odolnost je dobrá, ačkoliv epoxidy a akryláty mají tuto vyšší. Rovněž jejich tepelná odolnost vůči vyšším teplotám je obecně nižší, maxima se pohybují kolem 120°C.

Betamate 7050L + 7000 je pro danou aplikaci lepení sendvičového panelu používán již více jak deset let právě z důvodu vysoké pevnosti, rázuvzdornosti, tepelné odolnosti provozním teplotám, spolehlivosti spoje a ceny. Jeho nevýhodou je pomalejší nástup manipulační pevnosti.

Výsledky testu „IVECO“ metoda vycházející z normy EN 14125 (3-bodový ohyb). Pevnost v ohybu se počítala ze zjištěné působící síly na daný vzorek v 15 až 30minutových intervalech s počátkem měření od 30. nebo 45. minuty od samotné aplikace lepidla:

Betamate-45min	$E\{lo\ mod\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{lo\ max\}$	dL at $F\{lo\ max\}$	W to $F\{lo\ max\}$	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	251	1,1	187	1,7	3500,85	2,28
Směr. odchylka	9,01	0,0789	104	1,1	3419,9	1,03
Var. koeficient	3,59	7,16	55,7	64,16	97,69	55,56

Tab. 1 Lepidlo Betamate, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. Pevnost

Betamate-60min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	538	3,75	451	2	9484,71	5,49
Směr. odchylka	160	1,09	84,1	0,1	1476,56	0,72
Var. koeficient	29,82	28,97	18,65	6,46	15,57	18,55

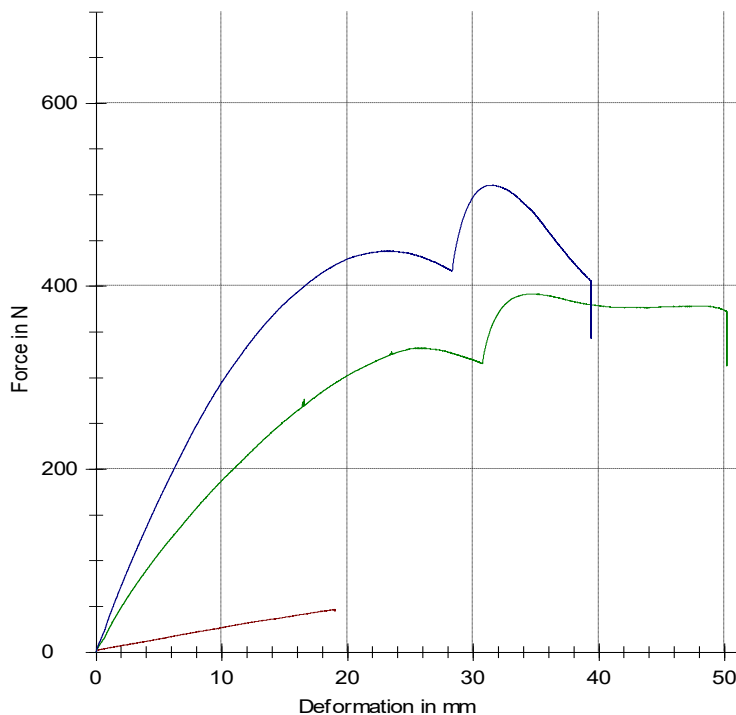
Tab. 2 Lepidlo Betamate, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

Betamate-90min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	1630	17,2	1320	1,5	21857,17	17,46
Směr. odchylka	138	1,27	96,2	0,2	5180,2	0,93
Var. koeficient	8,44	7,35	7,31	15,15	23,7	7,53

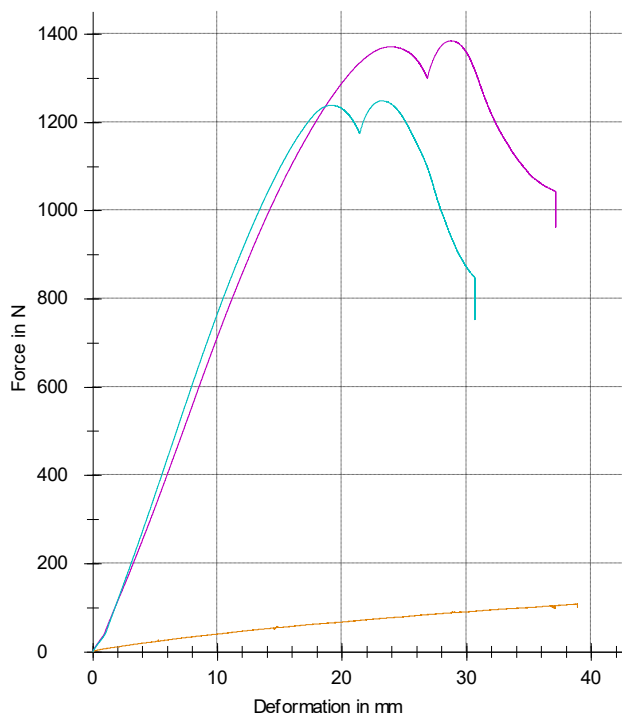
Tab. 2 Lepidlo Betamate, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

Betamate-120min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	2070	18,1	1540	1,4	21938,18	19,53
Směr. odchylka	63,8	0,0983	62,6	0,2	4440,19	0,51
Var. koeficient	3,08	0,54	4,06	14,17	20,24	3,69

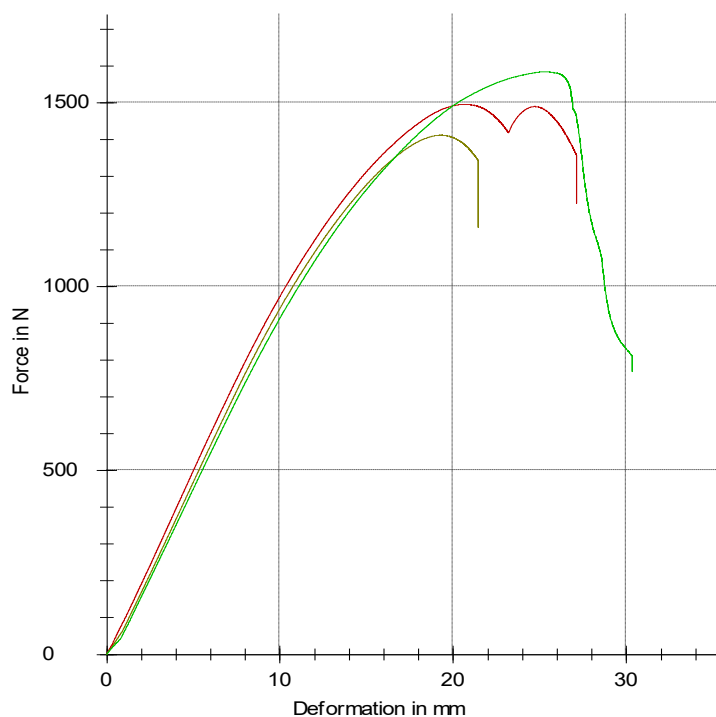
Tab. 2 Lepidlo Betamate, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. Pevnost



Obr. 2.6 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo Betamate měřeno po 60 minutách od sestavení sendviče



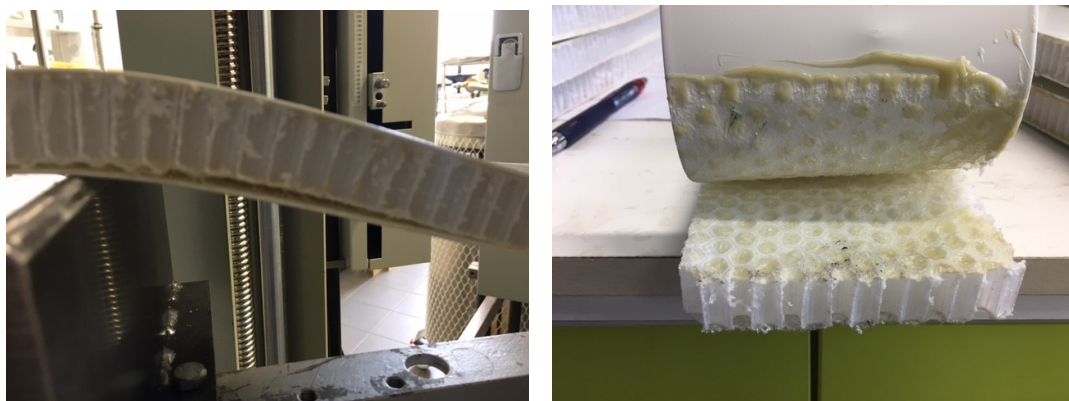
Obr. 2.7 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo Betamate měřeno po 90 minutách od sestavení sendviče



Obr. 2.8 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo Betamate měřeno po 120 minutách od sestavení sendviče

Z naměřeného vyplývá, že lepidlo Betamate vykazuje nástup manipulační pevnosti po 90 minutách od aplikace, někde v úseku 90 – 120 minut, 90. minuta ještě vykazuje nestabilní výsledky pro všechny vzorky, viz graf.

Výsledná pevnost v ohybu po 120 minutách, kdy je v současné době panel vyndán z lisu a je s ním dále na provozu manipulováno, je 19,5 MPa.



Obr. 2.9 Typ poruchy panelu

### 5.3.2 Konkurenční dvousložkové polyuretanové lepidlo

Jedná se rovněž o strukturální dvoukomponentní lepidlo na bázi polyuretanu, jehož polyadiční reakcí mezi polyolem (složka A) a izokyanátem (složka B) vzniká zesíťovaný termoset.

Reakční mechanismus je stejný jako u lepidla Betamate, viz výše.

Jelikož je toto lepidlo dnes dodáváno pouze v sudovém provedení, nebylo možné pro mé testování zajistit typ obalu, ze kterého by bylo lepidlo laboratorně možné aplikovat, proto se pro porovnání použily data dodané výrobcem. Měření byla však provedena dle stejné normy na jiném zařízení a při čtyřikrát nižší rychlosti posuvu čelistí, což mohlo vést k získání jiných hodnot.

Výsledky testu „IVECO“ metoda vycházející z normy EN 14125 (3-bodový ohyb). Pevnost v ohybu se počítala ze zjištěné působící síly na daný vzorek v 15 až 30minutových intervalech od samotné aplikace lepidla:

Konkurence-45min	F{lo max}	dL at F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	N	%	MPa
Průměr z měření	1893,38	69	23,66
Směr. odchylka	138,43	5	6,44
Var. koeficient	7,31	7,83	37,26

Tab. 5 Konkurenční lepidlo po 45 min, max. síla F, prodloužení, výsledná pevnost v ohybu

Konkurence-60min	F{lo max}	dL at F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	N	%	MPa
Průměr z měření	2224,86	73	27,79
Směr. odchylka	292,59	9	2,99
Var. koeficient	13,15	11,94	13,16

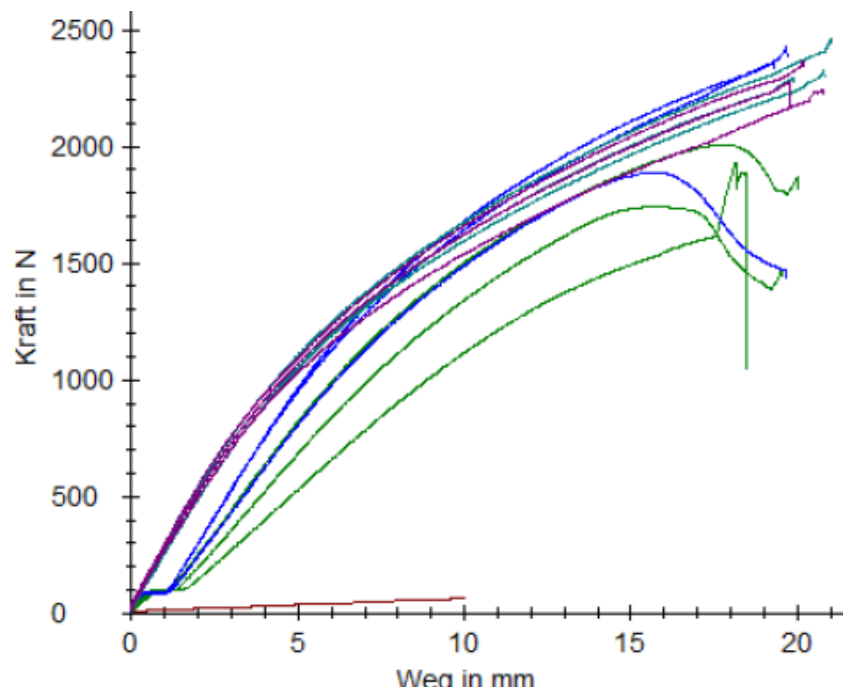
Tab. 6 Konkurenční lepidlo po 60 min, max. síla F, prodloužení, výsledná pevnost v ohybu

Konkurence-90min	F{lo max}	dL at F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	N	%	MPa
Průměr z měření	2360,96	82	29,49
Směr. odchylka	88,71	2	0,85
Var. koeficient	3,76	2,886	3,51

Tab. 7 Konkurenční lepidlo po 90 min, max. síla F, prodloužení, výsledná pevnost v ohybu

Konkurence-120min	F{lo max}	dL at F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	N	%	MPa
Průměr z měření	2298,33	81	28,71
Směr. odchylka	64,05	2	0,65
Var. koeficient	2,79	2,43	79,6

Tab. 8 Konkurenční lepidlo po 120 min, max. síla F, prodloužení, výsledná pevnost v ohybu



Obr. 2.10 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro konkurenční lepidlo měřeno po uvedených minutách od sestavení sendviče: ■ po 45 min, ■ po 60 min, ■ po 90 min, ■ po 120 min

Z uvedeného vyplývá, že konkurenční lepidlo dosahuje pevnosti v ohybu kolem 23 MPa již po 45 minutách od sestavení panelu, což hodnotou, ale zejména rychlostí nástupu této pevnosti převyšuje současné lepidlo Betamate.

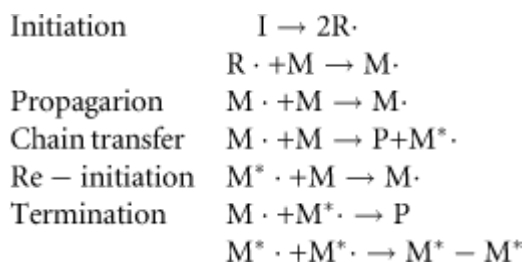
### 5.3.3 Dvousložkové methylnmethakrylátové lepidlo firmy 3M DP8410NS

Jedná se o dvoukomponentní MMA lepidlo vzniklé radikálovou polymerací monomerů a prepolymerů kyseliny methylakrylátové modifikované kaučukem (akrylonitrilbutadien). Pryže a aktivní skupiny na hlavním řetězci umožňují zesíťování, tzn. z běžného termoplastu se stává termoset.

Monomerní jednotky nejsou sami se sebou reaktivní, nárůst polymerního řetězce probíhá pouze za podmínky aktivního koncového centra.

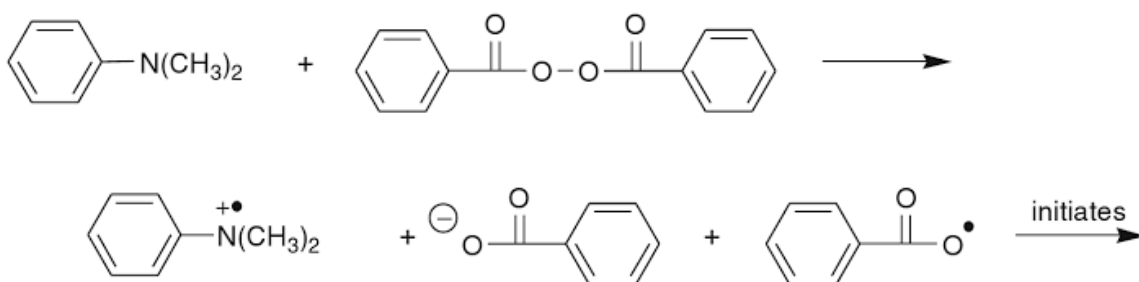
Začátek reakce tak musí být iniciován tzv. iniciátorem, u MMA lepidel jsou jimi volné radikály mající nepárový volný elektron.

Po iniciaci nárůstu řetězce dochází k dalším reakcím: propagaci, transferu a terminaci :



kde I = iniciátor, R= radikál, M= monomer, P=produkt

Často se jedná o redukci organických peroxidů aminovými či jinými aktivními skupinami za vzniku radikálů:



Obr. 2.11 Reakce benzoyl peroxidu s N,N-dimethylanilínem za vzniku volných radikálů nutných pro iniciaci polymerace [13].

Výhodou akrylátových lepidel je vysoká pevnost ve smyku jak u použití na kovech, tak i většiny plastů při velmi rychlém nástupu manipulační pevnosti. Obecně je tato skupina strukturálních lepidel nejrychlejší ve vytvrzování při pokojové teplotě. Rovněž některé receptury vynikají adhezí na mírně zamaštěných kovech. Použitím organoboranových iniciátorů aktivovaných uretanovými skupinami se dokonce dá zvýšit adheze na LSE plastech (plasty s nízkých povrchovým napětím, např. polyethylen či polypropylen).

Nevýhodou ve většině případech bývá jejich nižší pevnost v odlupu, nemodifikovaná lepidla na této bázi bývají tvrdá a křehká, mají rovněž nižší pevnost při nízkých teplotách. Typický je rovněž jejich zápach.

Modifikované MMA lepidlo DP8410NS bylo pro test vybráno z důvodu očekávaného rychlého nástupu manipulační pevnosti, dle technického listu výrobce cca 25-30 minut.

Výsledky testu „IVECO“ metoda vycházející z normy EN 14125 (3-bodový ohyb). Pevnost v ohybu se počítala ze zjištěné působící síly na daný vzorek v 15 až 30minutových intervalech od samotné aplikace lepidla:

8410-30min	$E_{\text{mod}}$	F at 0.2% plastic deformation	$F_{\text{lo max}}$	dL at $F_{\text{lo max}}$	W to $F_{\text{lo max}}$	Flexural Strength
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	2590	6,84	602	0,5	3172,09	7,48
Směr. odchylka	561	2	2,62	0,2	776,3	1,69
Var. koeficient	21,71	29,25	34,87	32,14	24,47	32,1

Tab. 9 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost



8410-45min	$E\{\text{lo mod}\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{\text{lo max}\}$	dL at $F\{\text{lo max}\}$	W to $F\{\text{lo max}\}$	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	1570	3,97	345	0,4	1426,66	4,20
Směr. odchylka	494	0,68	73,3	0,1	359,96	0,73
Var. koeficient	31,52	17,18	21,21	19,59	25,23	21,3

Tab. 10 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

8410-60min	$E\{\text{lo mod}\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{\text{lo max}\}$	dL at $F\{\text{lo max}\}$	W to $F\{\text{lo max}\}$	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	1460	3,68	305	0,5	1706,35	3,80
Směr. odchylka	3,25	0,04	1,05	0,3	1119,46	0,01
Var. koeficient	0,22	1	0,34	52,52	65,61	0,2

Tab. 11 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

8410-90min	$E\{\text{lo mod}\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{\text{lo max}\}$	dL at $F\{\text{lo max}\}$	W to $F\{\text{lo max}\}$	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	1340	3,74	302	0,5	2230,76	3,94
Směr. odchylka	102	0,60	32	0,3	1398,48	0,29
Var. koeficient	7,62	15,99	10,59	49,1	62,69	10,38

Tab. 12 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

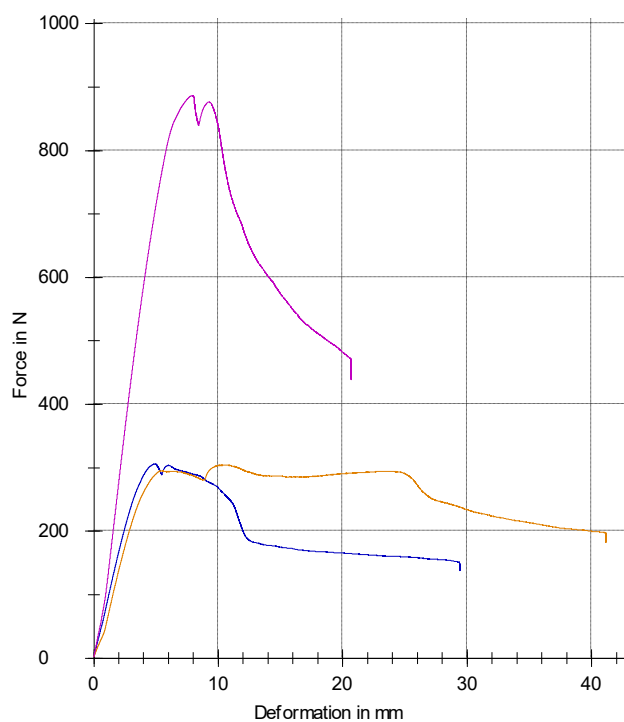
8410-120min	$E\{\text{lo mod}\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{\text{lo max}\}$	dL at $F\{\text{lo max}\}$	W to $F\{\text{lo max}\}$	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	1380	3,71	303	2,4	1648,65	3,81
Směr. odchylka	197	0,30	22	3,4	849,98	0,29
Var. koeficient	14,31	8,19	41,04	7,26	51,56	10,59

Tab. 13 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

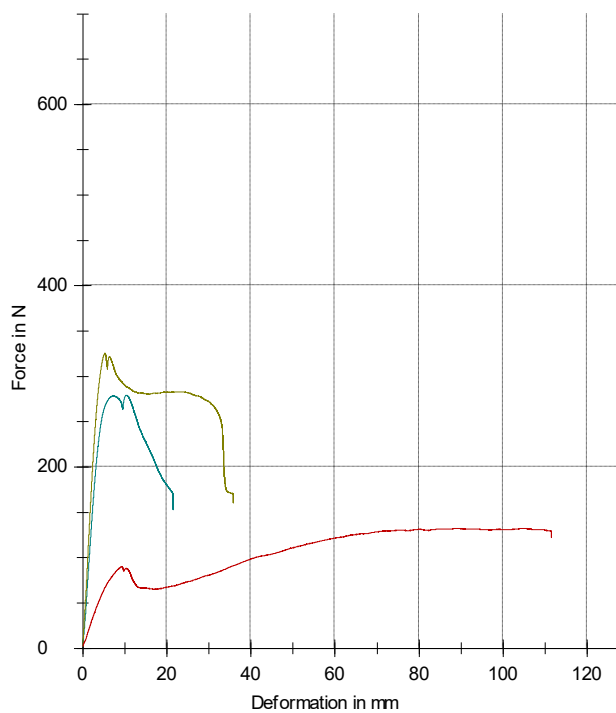
Z důvodu uvedeného dále byla do testování zahrnuta i zkouška pevnosti v ohybu po dosažení finální pevnosti, tj. po 48-72hodinách:

8410-po 48hod	$E\{\text{lo mod}\}$	F at 0.2% plastic deformation	$F\{\text{lo max}\}$	dL at $F\{\text{lo max}\}$	W to $F\{\text{lo max}\}$	Flexural Strenght
n = 1	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	3270	15,4	1470	1,2	18674,49	18,49
Směr. odchylka						
Var. koeficient						

Tab. 14 Lepidlo 8410, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost



Obr. 2.12 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo DP8410 měřeno po 90 minutách od sestavení sendviče



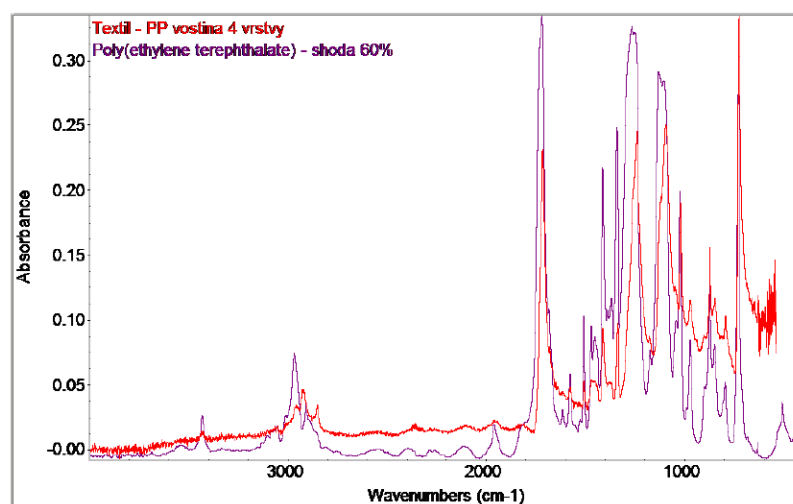
Obr. 2.13 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo DP8410 měřeno po 120 minutách od sestavení sendviče

Z grafů i naměřených hodnot u lepidla DP8410 lze sledovat velmi nízké hodnoty pevnosti v ohybu, které se za dobu standardního měření, tj. v průběhu 120 minut nijak nezvyšovaly.

Lepidlo po porušení spoje zůstávalo v tomto časovém rozmezí stále mokré a na dotek lepkavé, lze konstatovat, že neproběhla očekávaná chemická reakce – polymerace.

Pro identifikaci příčiny popsaného efektu bylo potřeba dalších testů – byla provedena infračervená spektroskopie za účelem zjištění složení povrchu voštinového PP jádra, resp. tkaniny, zda-li tato není negativně v interakci s lepidlem.

Touto metodou bylo zjištěno pravděpodobné složení tkaniny – jednalo se o PET – polyethylentereftalát, viz obrázek níže. Domnívám se proto, že tento materiál svým složením nijak neovlivňuje či nedegraduje použité lepidlo.

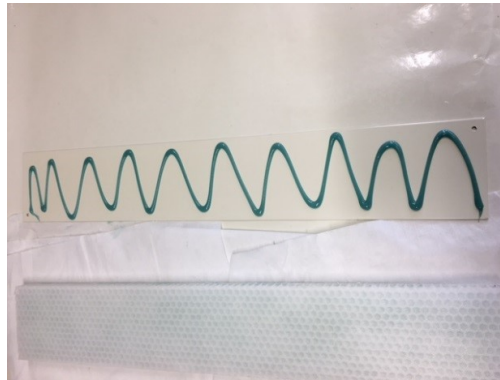


Obr. 2.14 Snímek z infračerveného spektroskopu vzorku tkaniny

V dalším testu bylo lepidlo aplikováno samostatně na oba substráty a ponecháno volně na vzduchu (sendvič nebyl uzavřen) k další reakci.

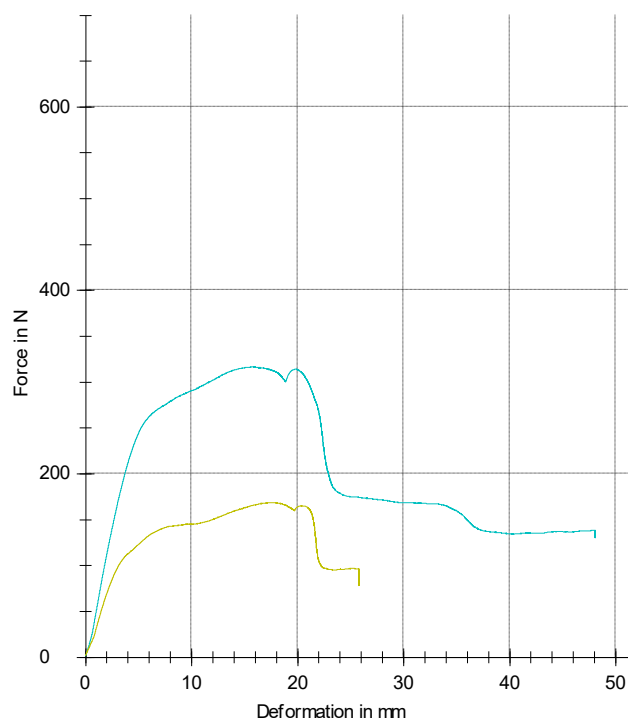
Lepidlo aplikované pouze na plechu s práškovou barvou vytvrdlo do hodiny, měřeno vizuálně a pohmatem – na dotek lepidlo na povrchu měkké, uvnitř tvrdé.

Lepidlo aplikované pouze na voštinu s PET tkaninou na povrchu bylo i po 120 minutách stále měkké a lepkavé, k reakci došlo až po 5 dnech.



Obr. 2.15 Aplikace housenky lepidla

Test měření finální pevnosti v ohybu celého sendviče ukázal, že po 5 dnech lepidlo ve spáře není plně zreagováno a má stále charakteristický akrylátový zápach monomeru, což dokazuje výsledná pevnost v ohybu popsána v grafu níže. Z tohoto vývoje reakce předpokládám, že k úplnému vytvrzení dojde během několika dalších dnů (v rámci této Bakalářské práce již není prostor pro další testování, ráda bych se tomu však věnovala při studiu i nadále).

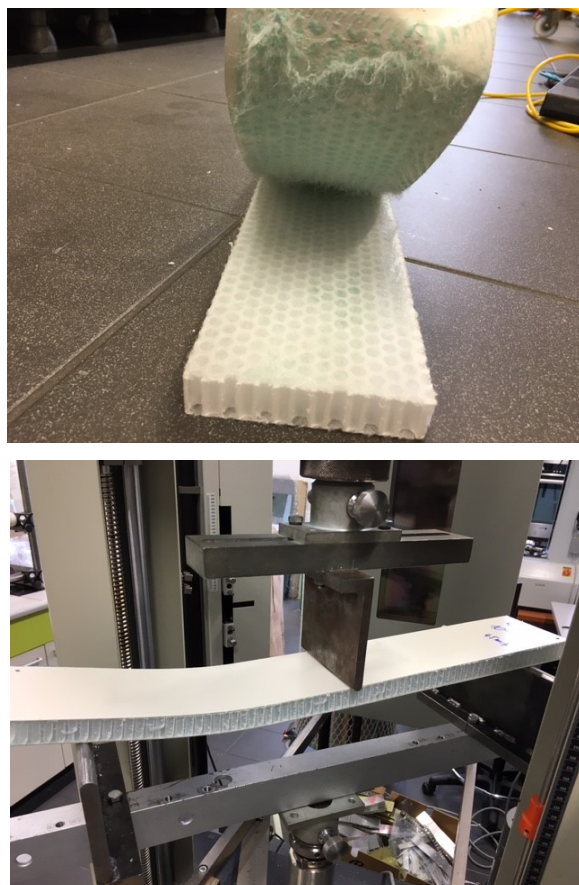


Obr. 2.16 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro lepidlo DP8410 měřeno po 5 dnech od sestavení sendviče

Tímto testováním a dalším studiem podkladů, zejména z publikace Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology [13], pasáž na stranách 565-569, se prokázal vliv kyslíku coby inhibitoru reakce volných radikálů. To má za příčinou vznik nízkomolekulárních sloučenin na povrchu lepidla v kontaktu se vzduchem, ačkoliv uvnitř lepidla dochází k standardní polymeraci. Ve finále je takovýto povrch měkký, lepkavý nebo dokonce i tekutý. Tento fenomén bývá pozorován na koncích lepených spár, které jsou v kontaktu se vzduchem, ačkoliv dosažená pevnost uvnitř slepence bývá vysoká.

V našem konkrétním případě lepení porézní voštiny s povrchovou tkaninou při aplikaci velmi malé vrstvy lepidla je toto pravděpodobně atakováno kyslíkem nejen po obvodu, ale zejména ze směru porézní voštiny s tkaninou.

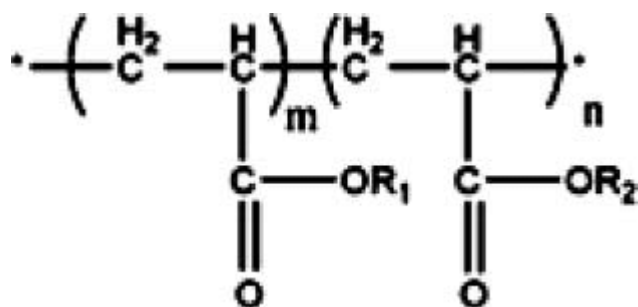
Proto se domnívám, že došlo k inhibici polymerace či velmi pomalé reakci, která však není patrná po prvních 120 minut.



Obr. 2.17 Typ poruchy panelu a panel v ohybu

### 5.3.4 Tlakocitlivá 3M VHB akrylová páska 4936

Jedná se o tzv. systém PSA (Pressure Sensitive Adhesive = Tlakocitlivý) na bázi akrylátových kaučuků, např. etylakrylátů, butylakrylátů, izooktylakrylátů, atd. Základ pásky tvoří akrylátová pěna s uzavřenými buňkami s různě modifikovaným akrylátovým lepidlem na povrchu. Jedná se o elastomerické polymery s různou molekulovou hmotností akrylátové kyseliny vzniklé radikálovou polymerací popsanou v předešlé kapitole.



Obr. 2.18 Vzorec kyseliny akrylátové

Jejich výhodou je velmi rychlá a snadná aplikace, trvalá pružnost a rázuvzdornost, trvalá odolnost vodě a UV, dle typu i vysoká teplotní odolnost při nízkých i vysokých teplotách. Nevýhodou je nižší pevnost ve smyku a tahu v porovnání se strukturálními lepidly a zejména tendence k tečení, tzv. creepu pod napětím.

Jelikož mezi páskou a lepeným materiálem nedochází k vytvoření chemických vazeb, ale pouze fyzikálních, je nutné dosáhnout maximálního kontaktu zatlačením a zatečením, přiblížení lepidla k substrátu na vzdálenost maximálně 1 nanometru. V tento okamžik se vytvoří dipólové vazby. Počet těchto vazeb se bude s časem zvyšovat postupně tak, jak bude lepidlo zatékat do povrchu. Uvádí se, že manipulační pevnost, cca 50% z celkové, je dosažena do 20 minut, finální během 48 hodin při pokojové teplotě.

Páska VHB 4936 byla vybrána pro test především kvůli rychlému nástupu manipulační pevnosti, trvalé rázuvzdornosti a dostatečné tepelné odolnosti provozním teplotám. Její modifikované akrylátové lepidlo na povrchu má rovněž zvýšenou adhezi na plasty, jako je použita prášková barva na povrchu plechu a PP/PET voština.

Výsledky testu „IVECO“ metoda vycházející z normy EN 14125 (3-bodový ohyb). Pevnost v ohybu se počítala ze zjištěné působící síly na daný vzorek v 15 až 30minutových intervalech od samotné aplikace lepidla:

4936-45min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	435	1,96	171	1,4	3126,91	2,17
Směr. odchylka	19,1	0,15	13,5	0,1	553,63	0,14
Var. koeficient	4,38	7,48	7,91	9,86	17,71	7,86

Tab. 15 Páska 4936, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

4936-60min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	453	2,03	179	2,5	6493,26	2,27
Směr. odchylka	30,5	0,19	26,4	1,3	4309,96	0,27
Var. koeficient	6,73	9,4	14,79	52,9	66,38	14,68

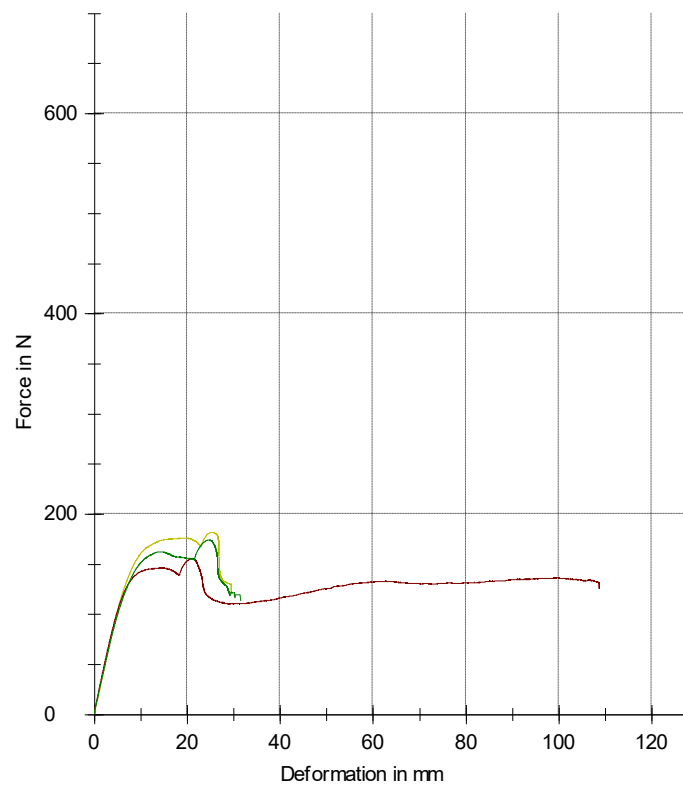
Tab. 16 Páska 4936, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

4936-90min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 2	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	552	3,3	349	2,3	9990,04	4,36
Směr. odchylka	2,01	0,04	16	0	84,1	0,14
Var. koeficient	0,36	1,27	4,58	1,45	0,84	4,47

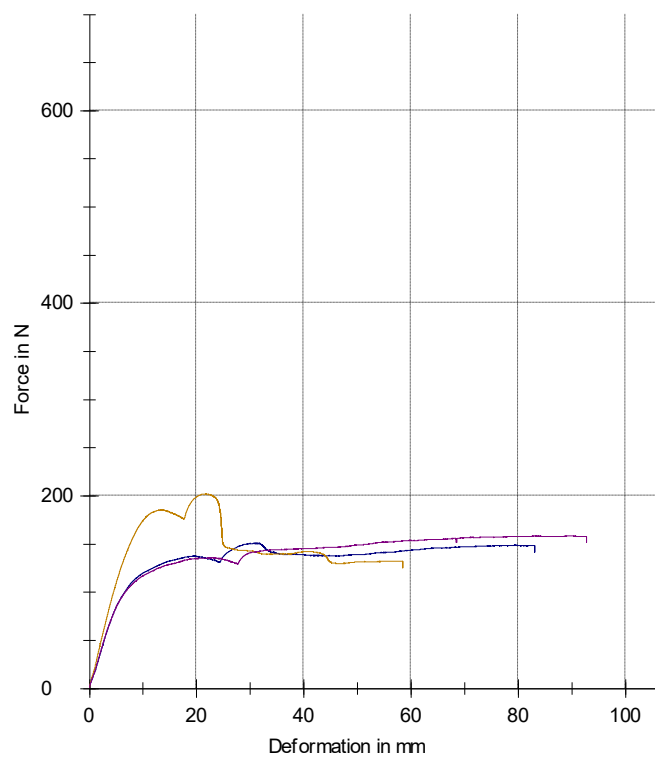
Tab. 17 Páska 4936, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

4936-120min	E{lo mod}	F at 0.2% plastic deformation	F{lo max}	dL at F{lo max}	W to F{lo max}	Flexural Strenght
n = 3	MPa	MPa	N	%	Nmm	MPa
Průměr z měření	556	3,52	368	2	8577,54	4,67
Směr. odchylka	12,7	0,08	30,2	0,6	3712,24	0,31
Var. koeficient	2,29	2,17	8,19	29,69	43,28	8,17

Tab. 18 Páska 4936, E modul, síla při 0,2% deformaci, max. síla F, prodloužení, práce, výsledná ohyb. pevnost

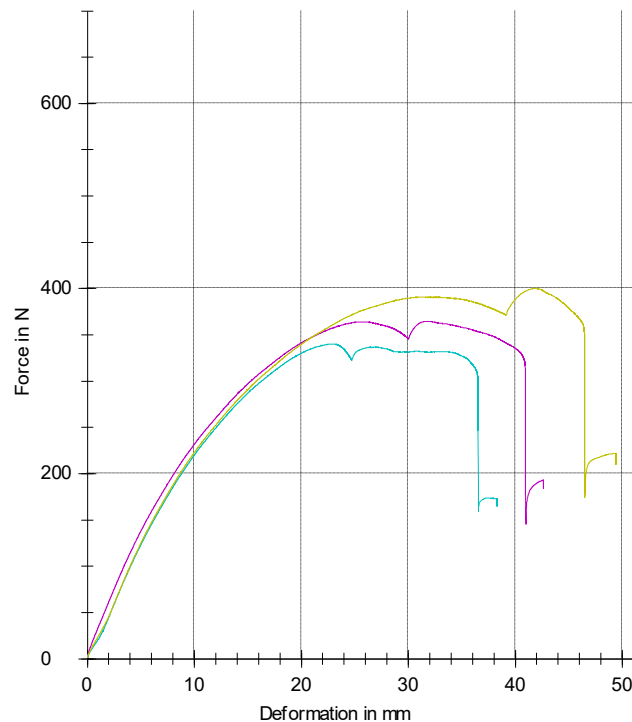


Obr. 2.19 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro pásku VHB 4936 měřeno po 30 minutách od sestavení sendviče





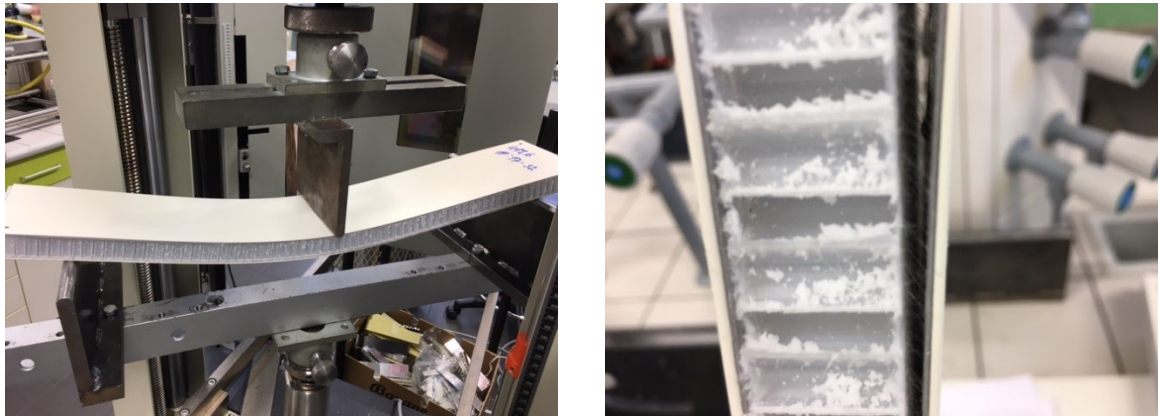
Obr. 2.20 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro pásku VHB 4936 měřeno po 60 minutách od sestavení sendviče



Obr. 2.21 Graf pro měření vývoje působící síly v Newtonech v závislosti na deformaci – průhybu – v milimetrech pro pásku VHB 4936 měřeno po 120 minutách od sestavení sendviče

Z grafů i naměřených hodnot je zřetelné, že pevnost v ohybu při použití tlakocitlivé pásky je poměrně nízká, i když se zvýšila během 2 hodin na více jak dvounásobek hodnoty hodnoty z prvního měření po aplikaci.

Nízké pevnosti jsou důsledkem malé četnosti kontaktních míst (jedná se o voštinu) a vlivem vyšší viskozity pásky, která je schopna zatéci do substrátu, a to až s odstupem času popsaným výše, pouze na jednu polovinu své tloušťky (při testu byla použita páska tloušťky 0,6 mm).



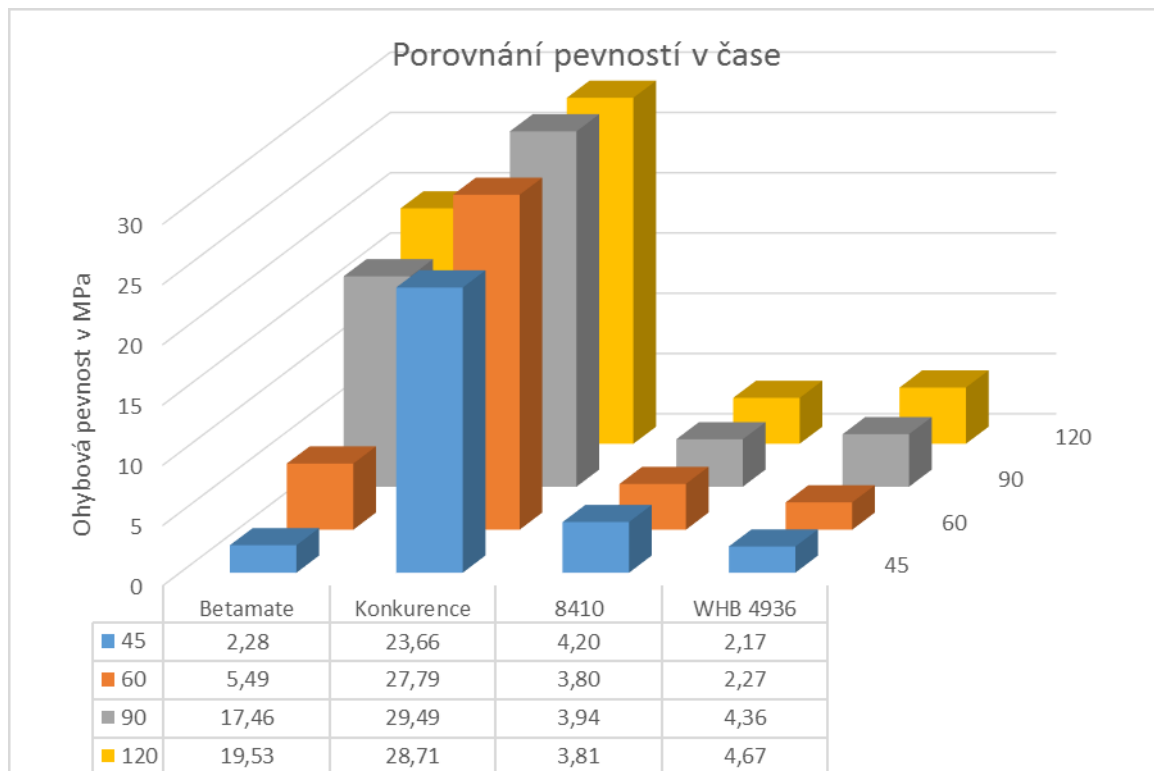
Obr.2.22 Panel při ohybu a typ poruchy

## 5.4 Vyhodnocení testů

Pro porovnání chování jednotlivých lepidel je důležité dosažení co nejvyššího ohybového napětí v co nejkratším čase. Jako etalon – podmínky minimální hodnoty - je považován výsledek současného řešení (použité lepidlo Betamate či Dow), jelikož tento je ověřen již bezproblémovou několikaletou praxí.

Test měření ohybové pevnosti a jejího nárůstu v čase ukázal jako nejlepší typy lepidel na bázi 2K polyuretanu, 2K MMA lepidla jsou pro zvolené materiály nevhodné (porézní materiály umožňují kyslíku pronikat do lepidla a jeho reakci tak blokovat), páska VHB má v porovnání se současným systémem nižší pevnost.

Konkrétně nejvyšší pevnosti a nejrychlejší reakci prokazuje konkurenční lepidlo na stejné chemické bázi jako současné, avšak pro stoprocentní konstatování faktu by bylo potřeba provést testy nové, na stejném zařízení a stejným způsobem (v případě konkurenčního lepidla je vycházeno pouze z testu dodaného výrobcem lepidla).



Graf 2.23 Porovnání pevností v ohybu jednotlivých lepidel testovaných po 45, 60, 90 a 120 minutách od aplikace

Manuální test v odtrhu prokázal u všech poruch typ kohezního selhání, to znamená, že k porušení došlo uvnitř lepidla či v lepeném materiálu, konkrétně v tkanině. PET tkanina má malou kohezní pevnost, při namáhání spoje jsou z této vytahovány jednotlivá vlákna, což je vidět na přiložených fotografiích. Tento jev je možné pozorovat i z průběhu křivek v jednotlivých grafech, kdy k prvnímu píku/maximu pevnosti dochází právě v okamžiku vytažení vláken, k druhému až při poruše v lepidle či v samotném nosiči voštiny.



Obr. 2.24 Poruchy panelu

## ZÁVĚR

Práce byla rozdělena do dvou částí. První se zabývala teorií spojenou s lepením a hlavními parametry, které je potřeba při lepení sledovat. Druhá část byla praktická. Experiment probíhal dle domluvy se zástupcem firmy Iveco. Vyhodnocení získaných hodnot pevnosti v ohybu je zpracováno dle obvyklého postupu této firmy. Hlavní podmínkou je, aby výsledná pevnost celého lepeného sendviče nebyla horší/nížší jako pevnost aktuálního sendviče. Získané hodnoty musí být minimálně na stejné hodnotě jako současný stav. Takové lepidlo musí být dále rychlejší v dosažení manipulační pevnosti, pokud možno při zachování současného systému aplikace (co nejméně změn pro operátory a zařízení). Samozřejmě důležitou roli bude hrát i finanční porovnání stávajícího systému s novým.

Dle sledovaných parametrů se jeví jako nejrychlejší variantou při zachování, v konkrétním případě dokonce i překročení, hodnot pevnosti v ohybu, konkurenční dvousložkové polyuretanové lepidlo.

Výsledek je však podle mého názoru potřeba znovu ověřit nejen z důvodu nedostatečného množství testovaných vzorků, ale především z důvodu použitého pravděpodobně jiného testovacího zařízení s jiným nastavením právě u tohoto lepidla.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Fraunhofer IFAM, podklady školení pro certifikaci Evropského Lepicího Specialisty dle DVS/EWF, Bremen, 2012.
- [2] 3M Company. Structural adhesives – product selection guide. St. Paul: Industrial Adhesives and Tapes Division, 2008. [online], cit. [2017-05-12]. URL: <http://cdn2.hubspot.net/hub/99603/docs/gwstructuraladhesives.pdf?t=1469474468863>.
- [3] Interní dokumenty a prezentace firmy 3M
- [4] LibreTexts. org: Chemistry. Wetting agents. [online]. [cit. 2017-04-17]. URL: [https://chem.libretexts.org/Core/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry/Physical\\_Properties\\_of\\_Matter/States\\_of\\_Matter/Properties\\_of\\_Liquids/Wetting\\_Agents](https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter/Properties_of_Liquids/Wetting_Agents)
- [5] Weberova, Z., Bachelor Thesis. Methods of adhesive bonding joints testing, 2016. <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/65617>
- [6] Toray Plastics, Tensile characteristics, [online]. [cit. 2017-05-12]. URL: [http://www.toray.eu/plastics/amilan/technical/tec\\_001.html](http://www.toray.eu/plastics/amilan/technical/tec_001.html)
- [7] Logistika, Iveco Ioni vyrobila rekordní počet autobusů, [online]. [cit. 2017-05-12]. URL: <http://logistika.ihned.cz/c1-65131560-iveco-ioni-vyrobilo-rekordni-pocet-autobusu-nejuspesnejsi-je-mezimestska-crossway-a-zelene-vozy>
- [8] Measuring Flexural Strength, [online]. [cit. 2017-05-12]. URL: <https://image.slidesharecdn.com/lecture-0434/95/lecture-04-9-728.jpg?cb=1184096184>
- [9] GSI SLV SVV Praha, podklady školení pro certifikaci Evropského Lepicího Inženýra dle DVS/EWF 517, Brno, 2017.
- [10] Beuth, DIN 2304-1:2016-03, Adhesive bonding technology - Quality requirements for adhesive bonding processes - Part 1: Adhesive bonding process chain. 2016.
- [11] Ebnesajjad, S., Handbook of Adhesives and Surface Preparation, 2010. ISBN 978-1-4377-4461-3.

- [12] Ebnesajjad, S., Adhesives Technology Handbook. 2nd ed. 2008. ISBN 978-0-81-551533-3.
- [13] Kent, James, A., Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology. Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 146-1-44259-1.
- [14] BSA, Volume 1, Issue 2, History of Adhesives. 1991, [online]. [cit. 2017-04-17].  
URL:<http://www.bsahome.org/archive/html/escreports/historyofadhesives.pdf>
- [15] Koschade, R., Sandwich Panel Construction. Berlin: 2002. ISBN 3-433-017-8.
- [16] Howard, G. A., Neal, B. G., Analysis and Design of Structural Sandwich Panels. ISBN 978-0-08-012870-2.
- [17] Beuth, DIN EN ISO 14125:2011-05, Fibre-reinforced plastic composites – Determination of flexural properties. 2016.
- [18] Frederick, E. W., Bonding Theory for Metals and Alloys. 2005, ISBN 978-0-444-51978-8.
- [19] Cooper, D., Valence Bond Theory. 2002. ISBN 978-0-444-50889-8.
- [20] Maksic, Z., B., The Concept of the Chemical Bond: Theoretical Models of Chemical Bonding Part 2. 1st ed. 2010. ISBN 978-3540515531.
- [21] Zou, G., Wu, Y., Hou, Y., Study of Sandwich Plate System in three-point bending considering effect of adhesive, Materials research innovations, 2015. Vol. 19, DOI 10.1179/1432891714Z.0000000001137, pp 486-489.
- [22] Garesci, F., Static and dynamic analysis of bonded sandwich plates, International Journal of adhesion and adhesives, 2012. Vol. 33, DOI 10.1016/j.ijadhadh.2011.10.004, pp 7-14.
- [23] ČSN ISO EN 178:2001, Plasty – Stanovení ohybových vlastností.
- [24] Edward Petrie, Handbook of Adhesives and Sealants. McGraw Hill Professional, 2007. ISBN 007-1-70981-9.
- [25] Lucas F.M. da Silva. Andreas Öchsner. Robert D.Adams: Handbook of adhesion technology. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 364-2-018-3.
- [26] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 923:2015, Adhesives – Terms and Definitions. 2016.


## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PP Poylpropylen

PET Polyethylenteraftalát

PSA Pressure Sensitive Adhesive, Tlakocitlivé lepidlo

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- 1.1 Vzdálenost vazeb
- 1.2 Schéma lepené spáry
- 1.3 Typy zatížení
- 1.4 Měření kontaktního úhlu lepidla a podkladu
- 1.5 Detail kapky
- 1.6 Rozdělení materiálů podle povrchového napětí
- 1.7 Rozdělení lepidel
- 1.8 Rozdělení lepidel podle pevnosti
- 1.9 Zkušební těleso pro pevnost v tahu a jeho popis
- 1.10 Zkušební těleso pro pevnost v odlupu přes váleček jeho popis
- 1.11 Zkušební těleso pro pevnost v „T“ odlupu a jeho popis
- 1.12 Zkušební těleso pro ohybový test
- 1.13 Zkušební těleso a jeho poruchy po testu v ohybu
- 1.14 Zkušební těleso a jeho popis pro test rázové houževnatosti
- 2.1 Část výroby v Ivecu
- 2.2 Proces kataforické úpravy
- 2.3 Aktuální proces lepení
- 2.4 Trhací stroj Zwick
- 2.5 Popis typů poruch
- 2.6 Graf pro měření pro lepidlo Betamate - po 60 minutách
- 2.7 Graf pro měření pro lepidlo Betamate – po 90 minutách
- 2.8 Graf pro měření pro lepidlo Betamate – po 120 minutách
- 2.9 Typ poruchy panelu
- 2.10 Graf pro měření lepidlo SikaForce  
 po 45 min, po 60 min, po 90 min, po 120 min
- 2.11 Reakce benzoyl peroxidu s N,N-dimethylanilínem
- 2.12 Graf pro měření pro lepidlo DP8410 - po 90 minutách
- 2.13 Graf pro měření pro lepidlo DP8410 - po 120 minutách
- 2.14 Snímek z infračerveného spektroskopu vzorku tkaniny
- 2.15 Aplikace housenky lepidla
- 2.16 Graf pro měření pro lepidlo DP8410 měřeno po 5 dnech
- 2.17 Typ poruchy panelu a panel v ohybu



- 2.18 Vzorec kyseliny akrylátové
- 2.19 Graf měření vývoje působící síly pro pásku VHB 4936 - po 30 minutách
- 2.20 Graf měření vývoje působící síly pro pásku VHB 4936 - po 60 minutách
- 2.21 Graf měření vývoje působící síly pro pásku VHB 4936 - po 120 minutách
- 2.22 Panel při ohybu a typ poruchy
- 2.23 Porovnání pevností v ohybu jednotlivých lepidel po daných minutách
- 2.24 Poruchy panelu lepeného lepidlem DP8410

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1	Lepidlo Betamate 7050L+7000 po 45 min
Tab. 2	Lepidlo Betamate 7050L+7000 po 60 min
Tab. 3	Lepidlo Betamate 7050L+7000 po 90 min
Tab. 4	Lepidlo Betamate 7050L+7000 po 120 min
Tab. 5	Konkurenční lepidlo po 45 min
Tab. 6	Konkurenční lepidlo po 60 min
Tab. 7	Konkurenční lepidlo po 90 min
Tab. 8	Konkurenční lepidlo po 120 min
Tab. 9	Lepidlo DP8410 po 30 min
Tab. 10	Lepidlo DP8410 po 45 min
Tab. 11	Lepidlo DP8410 po 60 min
Tab. 12	Lepidlo DP8410 po 90 min
Tab. 13	Lepidlo DP8410 po 120 min
Tab. 14	Lepidlo DP8410 po 48 hod
Tab. 15	Páska VHB4936 po 30 min
Tab. 16	Páska VHB4936 po 45 min
Tab. 17	Páska VHB4936 po 90 min
Tab. 18	Páska VHB4936 po 120 min

## SEZNAM PŘÍLOH

- [1] Technický list lepidla Betamate 7050L+7000
- [2] Technický list lepidla 3M DP8410NS
- [3] Technický list 3M VHB pásky