



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Problematika adheze lepeného spoje s polyuretanovými lepicími systémy

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Dominik Hejduk**
Vedoucí práce: Ing. Pavel Tyl





Zadání bakalářské práce

Problematika adheze lepeného spoje s polyuretanovými lepicími systémy

Jméno a příjmení: **Dominik Hejduk**
Osobní číslo: M16000075
Studijní program: B2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektronické informační a řídicí systémy
Zadávací katedra: Ústav mechatroniky a technické informatiky
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte formulace laku ve vztahu k adhezi lepidel – laky různých receptur od různých výrobců.
2. Seznamte se s úpravami povrchu laku před vlastním nánosem lepidla – po očištění izopropylalkoholem (IPA), s nánosy primeru různých formulací od různých firem (vrstva primeru k zabránění migrace změkčovadel z 1K PU do laku).
3. Otestujte adhezi – vyzkoušejte adhezi 1K PU od různých firem na laku, adhezi 1K PU s akcelerátorem od různých firem na laku, adhezi 2K PU od různých firem na laku.
4. Otestujte vliv klimatického zatížení dle automotive norem na adhezi (cyklické zatížení, dlouhodobá vlhkost, dlouhodobé teplo, normy – dle firem BMW, VW, Jaguár).
5. Vytvořte databázi s vhodnými číselníky pro ukládání měření a testování lepených spojů pro jejich další analýzu.

Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

- [1] Miloš Osten: Lepení plastických hmot. SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
- [2] R. D. Adams (Editor): Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications (1st Edition). Woodhead Publishing, 2005. ISBN: 9781855737419.
- [3] C. J. Date: An Introduction to Database Systems (8th Edition). Pearson, 2003. ISBN: 9780321197849.

Vedoucí práce: Ing. Pavel Tyl
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Konzultant práce: Ing. Miloš Svoboda
Magna Exterior Bohemia

Datum zadání práce: 10. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 30. dubna 2019

L. S.

prof. Ing. Zdeněk Plíva, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci 10. října 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

23. 4. 2019

Dominik Hejduk

Anotace

Práce je zaměřena na přípravu a testování spojů slepených jednosložkovými polyuretanovými lepicími systémy a dvousložkovým polyuretanovým lepicím systémem. Všechny testované lepicí systémy jsou používány v automobilovém průmyslu. Jako lepené substráty byla zvolena tělesa povrchově upravena vodou ředitelnými laky na akryl-uretanové bázi.

U spojů slepených jednosložkovými polyuretanovými lepicími systémy byl dále testován vliv akcelérátoru přimíchávaného do lepicího systému a vliv primeru naneseného na povrch lepených lakovaných substrátů na pevnost lepeného spoje.

Na základě dosažených hodnot pevností ve smyku bylo ohodnoceno chování testovaných laků k vybraným testovaným polyuretanovým lepicím systémům.

V poslední řadě vytvoření desktopové aplikace, které bude sloužit pro evidenci experimentů. Parametry a výsledky měření se ukládají do databáze.

Klíčová slova

Jednosložková polyuretanová lepidla, dvousložková polyuretanová lepidla, primer, akcelérátor, lak.

Annotation

This bachelor thesis is focused on preparation and testing joints bonded with one-component polyurethane adhesive systems and two-component polyurethane adhesive system. All tested adhesive systems are used in automotive industry. Bonded substrates had on their surfaces water based lacquers on acrylic-urethane basis.

In the case of joints bonded with one-component polyurethane adhesive systems the influence of the accelerator admixed to the adhesive systems and the influence of the primer applied to the surface of the bonded painted substrates on the strength of bonded joint were further tested.

Based on achieved lap shear strength the behavior of tested varnishes was evaluated for selected polyurethane adhesive systems.

Finally, creating a desktop application that will serve to display existing and create new experiments. Parameters and measurement results are stored in the database.

Key Words

One-component polyurethan adhesives, two-component polyurethan adhesives, primer, accelerator, lacequer.

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Pavlu Tylovi za jeho odborné rady a cenné připomínky, které výrazně přispěly k dokončení této práce. Zároveň bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloši Svobodovi za cenné rady a vstřícnost při konzultacích. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině za všestrannou pomoc, podporu a umožnění studia.

Obsah

Seznam zkratk	10
Seznam tabulek	11
Seznam obrázků	12
Seznam rovnic	13
Úvod.....	14
1. Teoretická část	15
1.1 Lepení a lepidla.....	15
1.2 Adheze.....	15
1.2.1 Podstata adhezních jevů.....	15
1.3 Koheze.....	17
1.4 Lepený spoj	17
1.5 Smyková pevnost lepeného spoje	17
1.6 Porušení slepeného spoje	19
1.7 Požadavky na lepidla	20
1.8 Možné způsoby dělení lepidel	20
1.9 Polyuretanová lepidla používaná v automobilovém průmyslu.....	21
1.9.1 Jednokomponentní polyuretanová lepidla	21
1.9.2 Dvoukomponentní polyuretanová lepidla.....	23
1.10 Quick fix efekt u jednokomponentních polyuretanových lepicích systémů	23
1.11 Laky na plasty používané v automobilovém průmyslu	24
1.12 Aplikace pro evidenci experimentů	24
1.12.1 CASE Studio 2	24
1.12.2 Microsoft SQL Server Management Studio	24
1.12.3 Microsoft Visual Studio.....	25
1.12.4 Základní charakteristika programovacího jazyka C#	26
2. Experimentální část	28
2.1 Příprava povrchu testovaných těles před lepením.....	28
2.2 Příprava testovaných tělísek před lepením	29
2.3 Hodnocení lepených spojů	29
2.4 Hodnocení dvoukomponentního polyuretanového lepidla	30
2.5 Hodnocení jednokomponentních polyuretanových lepidel.....	31
2.5.1 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla A.....	31
2.5.2 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla B.....	33

2.5.3	Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla A s akcelerátorem	36
2.5.4	Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla B s akcelerátorem.....	36
2.5.5	Testování nárůstu pevnosti ve smyku u jednokomponentních polyuretanových lepidel A a B – quickfix efekt (HPT efekt – High Position Tack effect).....	37
2.6	Aplikace pro evidenci experimentů.....	38
2.6.1	Relační schéma a vytvoření databáze.....	38
2.6.2	Programování v jazyce C# ve Visual studiu	40
Závěr	43
Seznam použité literatury	45
Seznam příloh	47

Seznam zkratek

1K PU	jednosložkové polyuretanové lepidlo
2K PU	dvousložkové polyuretanové lepidlo
AF	adhesion failure (adhezní porušení)
CF	cohesive failure (kohezní porušení)
SF	substrate failure (substrátové porušení)
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PS	polystyren
PU	polyuretan
RT	room temperature
HPT	high position tack efekt
SQL	structured query language
ERD	entitně relační diagram
DFD	data flow diagram
CASE	computer aided software engineering
IDE	integrated development enviroment
WPF	Windows Presentation Foundation

Seznam tabulek

Tabulka 1: Slepý spoj 2K PU lepidlem bez klimatického zatížení.	30
Tabulka 2: Slepý spoj 2K PU lepidlem po klimatickém zatížení PV1200.	31
Tabulka 3: Slepý spoj 1K PU lepidlem A bez klimatického zatížení a primeru.	32
Tabulka 4: Slepý spoj 1K PU lepidlem A po klimatickém zatížení PV1200, bez primeru.	32
Tabulka 5: Slepý spoj 1K PU lepidlem A bez klimatického zatížení + primer.	33
Tabulka 6: Slepý spoj 1K PU lepidlem A po klimatickém zatížení PV1200 + primer. ...	33
Tabulka 7: Slepý spoj 1K PU lepidlem B bez klimatického zatížení a bez primeru.	34
Tabulka 8: Slepý spoj 1K PU lepidlem B po klimatickém zatížení PV1200 bez primeru.	34
Tabulka 9: Slepý spoj 1K PU lepidlem B bez klimatického zatížení + primer.	35
Tabulka 10: Slepý spoj 1K PU lepidlem B po klimatickém zatížení PV1200 + primer.	35
Tabulka 11: Slepý spoj 1K PU lepidlem A s akcelerátorem.	36
Tabulka 12: Slepý spoj 1K PU lepidlem B s akcelerátorem.	36
Tabulka 13: Testování quickfix efektu u 1K PU lepidel A a B.	37

Seznam obrázků

Obrázek 1: Provedení přeplátovaného lepeného spoje (1 – vrstva lepidla, 2 – plocha pro čelisti zkušebního přístroje, 3 – plocha smyku).	18
Obrázek 2: Typy porušení.	19
Obrázek 3: Chemická reakce popisující vznik polyuretanu.	21
Obrázek 4: Vliv nadbytku plastifikátoru na strukturu PU hmoty lepicího systému.	22
Obrázek 5: Celkový pohled a detail na upevnění v čelistích.	29
Obrázek 6: Speciálně vyrobený držák tělísek pro testování quickfix efektu.	37
Obrázek 7: Testování quickfix efektu po jedné minutě od slepení.	38
Obrázek 8: Relační schéma vytvořené v programu CASE Studio 2.	39
Obrázek 9: Hlavní část aplikace.	40
Obrázek 10: Formulář na vytváření nových experimentů.	41
Obrázek 11: Přidávání nových parametrů do číselníků.	42

Seznam rovnic

Rovnice 1: Pevnost přeplátovaného spoje ve smyku	18
--	----

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá pevností lepeného spoje mezi lakem a lepicím systémem. Laky i lepicí systémy, které byly použity v této práci, jsou používány v sériové automobilové výrobě.

Prvním úkolem této práce je zjistit vliv primeru a vliv akcelarátoru na lepení lakovaných dílů u jednokomponentních polyuretanových lepicích systémů A a B a zjistit možnost lepení lakovaných dílů pomocí vytypovaného dvoukomponentního polyuretanového lepicího systému.

Druhým úkolem této práce je zjistit, zdali jsou s danými lepicími systémy dosahovány rozdílné pevnosti spojů při použití laků X a Y.

První oddíl experimentální části je věnován testování adheze jednosložkových polyuretanových lepidel bez primeru, s primerem a s akcelarátorem. Pro srovnání s jednosložkovými polyuretanovými lepidly bylo testováno i dvousložkové polyuretanové lepidlo. Zároveň se zjišťovalo, jaký vliv má klimatické zatížení na výslednou pevnost lepeného spoje. Pro testování byla použita lakovaná tělíska s laky X a Y. Oba laky jsou vodou ředitelné a jsou založeny na akryl-uretanové bázi.

Druhý oddíl experimentální části je určen programování databáze na bázi desktopové aplikace, která bude sloužit pro ukládání parametrů a výsledků měření a testování lepených spojů pro jejich další analýzu.

1. Teoretická část

V této části se autor zabývá teorií používaných lepidel a laků na testovaných zkušebních tělískách. Dále vysvětluje pojmy, které se s testováním pojí.

1.1 Lepení a lepidla

Lepení je spojování dvou těles za použití lepidla. Norma DIN 16920 definuje lepidlo jako nekovovou látku, která může spojovat volné části plošným přilnutím a vnitřní pevností (adheze a koheze).

1.2 Adheze

Adheze je síla vyvolávající přilnavost lepidla a lepeného materiálu (adherendu), obecně síla, kterou se přitahují dva materiály dotýkající se navzájem svými povrchy.

Aby se kapalina nebo ztekucená látka stala lepidlem, musí lepený povrch dobře smáčet a za podmínek lepení přejít do pevného stavu (výjimka – některá lepidla citlivá na tlak s tzv. samolepicím efektem).

Adheze dostačující k bezpečnému lepení na pevném povrchu vzniká pouze tehdy, je-li povrchové napětí lepicího filmu, který se při svém tuhnutí zpevňuje, menší než povrchové napětí pevného povrchu.

1.2.1 Podstata adhezních jevů

- **Příčiny spojení** při lepení spočívají (podobně jako při sváření či pájení) v mikroblasti atomárních, popř. molekulárních vzdáleností a energií.
- **Teorie mechanické adheze** vysvětluje soudržnost lepených spojů tím, že lepidlo nejprve pronikne do pórů a nerovností povrchu, kde po ztuhnutí vytvoří mechanický zakotvený systém. Uvedená teorie nevysvětluje adhezi lepidel k neporézním materiálům (sklo, kovy, plasty, lakované povrchy adherendů, apod.).

- **Adsorpční teorie** tvrdí, že adheze je výsledkem molekulárního kontaktu mezi dvěma materiály a povrchovými silami, které se vyvíjejí, obvykle označovanými jako sekundární van der Waalsovy síly. Aby se tyto síly rozvinuly, musí lepidlo vytvořit molekulární kontakt s povrchem substrátu. Proces vytvoření kontinuálního kontaktu mezi lepidlem a adherendem je znám jako „smáčení“. Smáčení může být stanoveno měřením kontaktního úhlu. K úplnému přirozenému smočení dochází, když je kontaktní úhel roven 0 stupňů, neboli když se materiál stejnoměrně rozprostře po substrátu do podoby tenkého filmu. Smáčení prospívá, když povrchové napětí substrátu je vysoké a povrchové napětí smáčející kapaliny je nízké. Jakmile je smáčením docíleno kontaktu mezi lepidlem a adherendem, je permanentní adheze hlavně výsledkem sil molekulárního přitahování. Rozlišují se čtyři obecné typy chemických vazeb, které se uplatňují při adhezi a kohezi: elektrostatická, kovalentní, metalická a van der Waalsovy síly. O prvních třech zmíněných se hovoří jako o vazbách primárních, van der Waalsovy síly jsou pak považované za vazby sekundární. Ve většině praktických aplikací lepidel jsou sekundární vazby převládajícím prvkem, který přispívá k pevnosti lepeného spojení.
- **Elektrostatické a difuzní teorie** se všeobecně necení tak vysoko jako jiné teorie v obecné praxi spojování. Jsou však některé aplikace, ve kterých jsou velmi důležité a pomáhají vysvětlit, proč se vazby vytvoří. Elektrostatická teorie říká, že elektrostatické síly se vytvářejí na rozhraní mezi lepidlem a adherendem. Tyto síly jsou zodpovědné za odolnost. Tato teorie sbírá podporu z faktu, že byly pozorovány elektrické výboje při odlupování lepidla od substrátu. Elektrostatická adheze je pokládána za dominantní faktor při adhezi biologických buněk a adhezi částic. Základní koncepcí difuzní teorie je fakt, že adheze vzniká vzájemnou difuzí molekul v lepidle a adherendu. Difuzní teorie je použitelná zejména v případě, že jsou lepidlo i adherend polymery, které mají kompatibilní dlouhé řetězce molekul schopných pohybu. Sváření termoplastických substrátů pomocí rozpouštědla nebo tepla se vykládá jako výsledek difuze molekul.

1.3 Koheze

Koheze představuje vlastní pevnost vrstvy lepícího systému. Pokud se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepícího systému, je adheze i pevnost lepeného materiálu vyšší než koheze lepícího systému. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepícího systému (dvousložkové epoxidy mají vysokou kohezi) a na tepelném namáhání lepeného spoje (většina jednosložkových lepidel může při zvyšování teploty měknout).

1.4 Lepený spoj

Předpokladem pro vznik kvalitního lepeného spoje je nanesení nebo přenesení lepidla na obě kontaktní plochy, které lepidlo ve svém tekutém stavu smáčí. Je nutné vytvořit vhodné podmínky k tomu, aby byl vytvořen takový nános lepidla, který musí za daných technologických podmínek ztuhnout a vázat povrchy obou adherendů.

Kvalitu spoje ovlivňují:

- povrchové napětí lepidla,
- reologické vlastnosti lepidla,
- chemická povaha lepidla,
- poréznost lepených povrchů,
- tloušťka naneseného filmu,
- přiměřený kolmý tlak na lepené substráty.

1.5 Smyková pevnost lepeného spoje

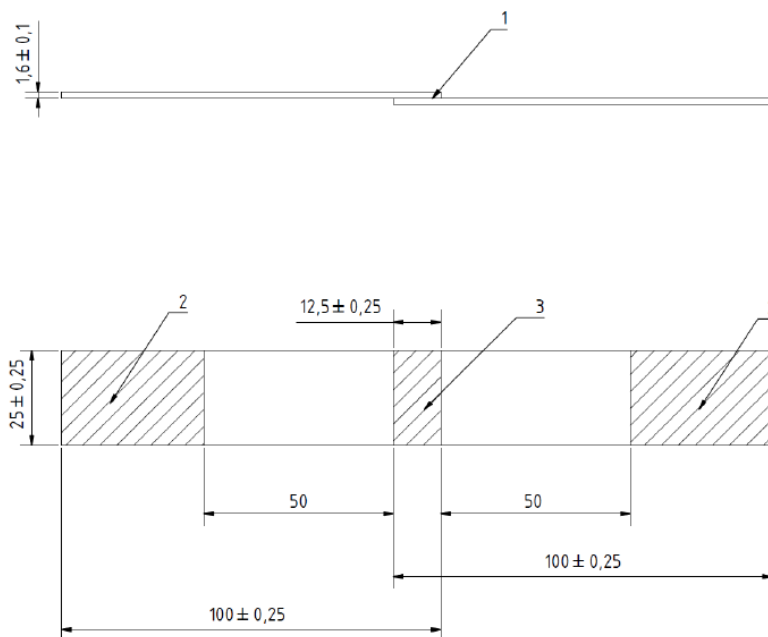
Smyková pevnost lepeného spoje je síla potřebná k rozpojení spoje vztažená na plochu lepeného spoje. Pevnost ve smyku se stanoví dle normy ČSN EN 1465. Vzorek je upnutý v čelistích měřicího stroje a je zatěžován silou, která je zaznamenávána. Rychlost posuvu je konstantní. Největší síla, která je zaznamenána, se považuje za sílu (F_m) potřebnou k přetržení. Pevnost (τ) přeplátovaného spoje ve smyku se vypočítá podle vzorce

(Rovnice 1), kde S je plocha lepeného spoje. Tvar tělíska musí vyhovovat tvarem a rozměry (Obrázek 1).

Rovnice 1: Pevnost přeplátovaného spoje ve smyku

$$\tau = \frac{F_m}{S} \text{ [MPa]}$$

Zdroj: Vlastní zpracování.



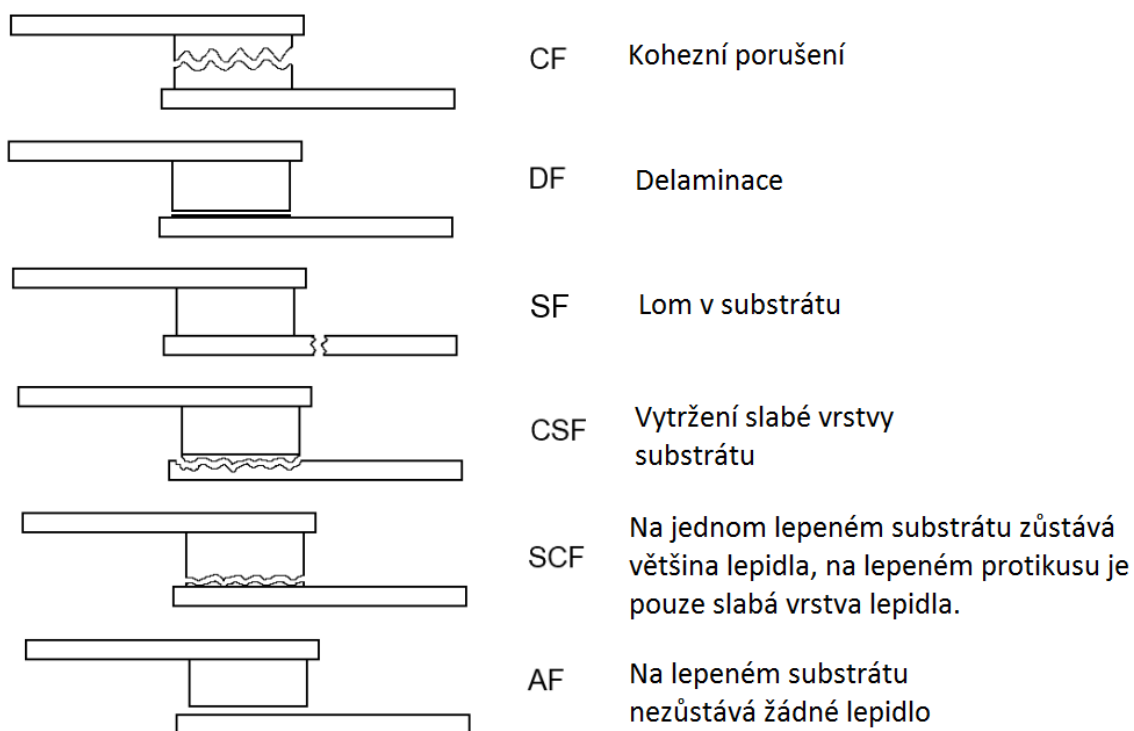
Obrázek 1: Provedení přeplátovaného lepeného spoje (1 – vrstva lepidla, 2 – plocha pro čelisti zkušebního přístroje, 3 – plocha smyku).

Zdroj: ČSN EN 1465: Lepidla - Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav.

Zatěžovací síla se měří tenzometrickým snímačem. Důležité je upevnění tělísek do čelistí tak, aby sestava byla upnutá do osy tenzometrických senzorů.

1.6 Porušení slepeného spoje

Norma ČSN ISO 10365 zavádí klasifikaci jednotlivých porušení. Typy porušení jsou graficky znázorněny a určují se podle (Obrázek 2).



Obrázek 2: Typy porušení.

Zdroj: Vnitřní podklady společnosti Magna.

Dojde-li při vyhodnocení pevnosti ve smyku k odtržení lepeného spoje mezi vrstvou lepidla a lepeným tělískem, je toto porušení nazýváno jako adhezní (AF). Důvodem může být špatně provedená přípravná fáze (očistění) nebo nesprávně zvolená povrchová úprava, která neumožnila vytvořit aktivní povrch. Dojde-li k selhání v lepicím systému tak, že na obou tělíscích zůstane vrstva lepicího systému, jedná se o kohezní porušení (CF).

1.7 Požadavky na lepidla

- Vhodné aplikační vlastnosti odpovídající lepeným substrátům a použité technologii (např. vhodná zpracovatelnost za tepla nebo za studena, dostatečná stabilita za podmínek lepení, vhodný otevřený čas lepidla – delší než otevřená doba nastavená na lepicím stroji atd.).
- Správné užitné vlastnosti odpovídající požadavkům na lepený spoj (pevnost slepení, elasticita, barva, odolnost proti plísním a rozkladu, dostatečná tepelná odolnost, dobré vlastnosti při nízkých teplotách atd.).

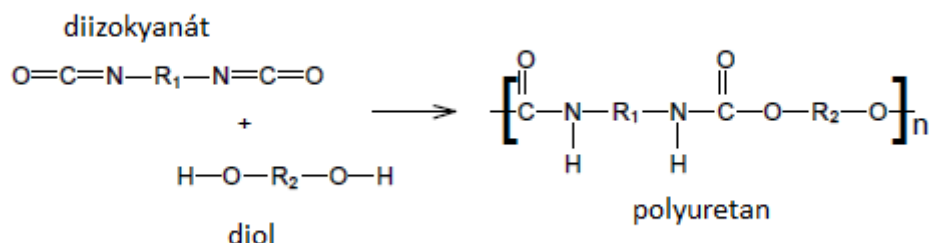
1.8 Možné způsoby dělení lepidel

Lepidla je možné dělit podle:

- účelu použití,
- teploty zpracování,
- obsahu sušiny,
- původu,
- počtu složek (jednosložková, vícesložková),
- způsobu přechodu do tuhé fáze:
 - roztoková a disperzní (tuhnou vsakováním a odtěkáváním vody nebo rozpouštědla),
 - reaktivní (vytvrzují se následkem chemické reakce – vyvolané ve filmu lepidla zvýšením teploty, přidavkem tvrdidla, kontaktem s vlhkostí atd.),
 - tavná a natavitelná (po předchozím roztavení – natavení tuhnou ochlazením na normální teplotu).

1.9 Polyuretanová lepidla používaná v automobilovém průmyslu

Vyobrazení chemické reakce a složení vzniklého polyuretanu (Obrázek 3).



Obrázek 3: Chemická reakce popisující vznik polyuretanu.

Zdroj: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/Polyuretany.pdf>

1.9.1 Jednokomponentní polyuretanová lepidla

Tato lepidla se používají převážně pro lepení skel. Tento typ lepidel se vyznačuje svou elasticitou i při nízkých teplotách ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), a proto je možné je používat pro tuto aplikaci. Vytvrzování těchto lepidel probíhá vzdušnou vlhkostí, která je proměnlivá.

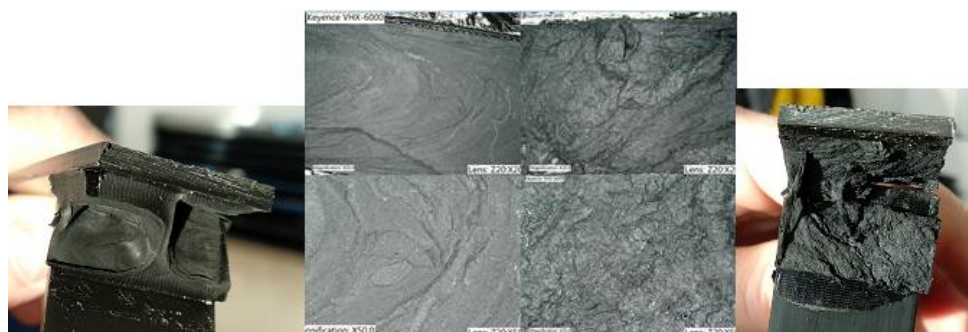
Aby bylo zamezeno vlivu tohoto faktoru, jsou některé typy jednokomponentních polyuretanových lepidel používány s tzv. akcelerátorem (někdy je tato komponenta nazývána též booster), který se přidává většinou v objemovém směšovacím poměru 100:2 až 100:4. Tento akcelerátor zajišťuje vytvrzování v celém objemu lepidla.

Přídavek akcelerátoru má ale i nežádoucí účinky:

1. Je velmi problematické zajistit, při směšovacím poměru 100:4 a méně, dokonalé promíchání. K největšímu výskytu nánosu housenky lepidla se špatným směšovacím poměrem obou složek dochází na začátku nánosu housenky.
 - a) Pokud nastane výskyt nižší koncentrace akcelerátoru v lepicím systému, tak lepicí systém po čase dosítuje vzdušnou vlhkostí z okolí tzn., že pokud spoj

odolá nepříznivým vlivům okolí do konečného vytvrzení (klimatické a mechanické namáhání), pak bude vše v pořádku.

- b) Pokud dojde k nadměrné koncentraci akceleratoru v lepicím systému, pak dané množství OH skupin akceleratoru odreaguje s NCO skupinami v 1K PU lepicím systému a v lepicím systému zbyde nezreagovaný akcelerator, který zde působí jako plastifikátor, což ve svém důsledku zabrání požadovanému zesíťování (získání požadovaných hodnot ve smyku, které charakterizují daný lepený spoj). Tato hmota již nikdy nebude mít požadované vlastnosti a těchto vlastností nedosáhne ani za extrémních podmínek (dlouhodobá zátěž při +90 °C s 80% vlhkostí), které by mohly umožnit dosíťování. Toto je ukázáno na níže uvedených fotografiích (Obrázek 4). Jedná se o vyhodnocení lepených těles pevností ve smyku a v obou případech byl na dávkovacím stroji nastaven směšovací poměr 100:4. Na levé fotografii zkušebního tělíska po vyhodnocení a na dvou levých fotografiích z optického mikroskopu, které znázorňují požadovaný směšovací poměr 100:4, lze vidět požadovanou strukturu PU lepicího systému. Na pravých fotografiích je znázorněna struktura, kde je nadbytek akceleratoru, který zde působí jako plastifikátor. Hodnoty pevnosti ve smyku u struktury zobrazené níže vpravo byly 8x menší v porovnání s pevností ve smyku u tělíska zobrazeného vlevo.



*Obrázek 4: Vliv nadbytku plastifikátoru na strukturu PU hmoty lepicího systému.
Zdroj: Vlastní zpracování.*

2. Aby bylo docíleno optimálního promíchání, obzvláště u tak problematických směšovacích poměrů jako 100:4 a méně, je žádoucí mít viskozity obou komponent

(1K PU lepicí systém a akcelerátor) přibližně stejné. Pokud se použije 1K PU s quickfix efektem (někdy se tato vlastnost lepicího systému také nazývá high position tack effect – HPT), je hodnota viskozity tohoto lepicího systému diametrálně vyšší v porovnání s hodnotou viskozity akcelerátoru.

3. 1K PU lepicí systém je prepolymer, který má v porovnání s 2K PU lepicími systémy relativně malou reaktivitu (a proto má vyšší nároky na kvalitu povrchu substrátu v porovnání s 2K PU lepicími systémy). 1K PU lepicí systémy tvoří proto adhezní vazby k povrchu substrátu pomaleji a nyní jsou tyto reakce vlivem akcelerátoru urychlovány. Výsledkem může být nedostatečná adheze těchto akcelerovaných 1K PU lepicích systémů k povrchu substrátu. Čím větší je zastoupení akcelerátoru, tím více jsou urychlovány reakce, a tím větší je možnost tvoření kohezních vazeb v lepicím systému na úkor vazeb mezi lepicím systémem a povrchem substrátu. Hlavními výrobci jsou firmy Dow, Eftec, Henkel, Sika a Yokohama.

1.9.2 Dvoukomponentní polyuretanová lepidla

Tato lepidla se dělí na elastická lepidla, semistrukturální lepidla a strukturální lepidla. Toto rozdělení je závislé na hodnotě modulu daného lepidla. Nejpevnější spoje jsou dosahovány se strukturálními lepidly. Při výběru dvoukomponentního lepidla pro daný spoj je nutné zvážit nejen požadavek na pevnost spoje, ale je nutné brát v úvahu i požadavek na pružnost spoje – pohlcování rázů, vibrační atd. Hlavními výrobci jsou firmy Ashland, Dow, Henkel, PPG a Sika.

1.10 Quick fix efekt u jednokomponentních polyuretanových lepicích systémů

Tento jev je někdy též nazýván HPT efekt. Tyto 1K PU lepicí systémy jsou aplikovány při teplotách od 50 °C do 70 °C. Díky této teplotě se u těchto lepicích systémů sníží viskozita a je možné aplikovat housenku tohoto typu lepidla. Při chladnutí lepeného spoje dojde ke krystalizaci jedné komponenty v lepicím systému – polyesteru. Tato krystalizace

způsobí nárůst viskozity, která zajistí spojení lepených ploch proti samovolnému oddálení. Tento quick fix efekt se projeví v prvních minutách po slepení – zaleží na rychlosti odvodu tepla z lepeného spoje.

1.11 Laky na plasty používané v automobilovém průmyslu

V současné době je snaha používat vodou ředitelné laky – ekologické hledisko. Tyto laky jsou většinou na akryl-uretanové bázi. Laky na plasty v automobilovém průmyslu se většinou skládají z básislaku a klárlaku. Básislak má vrstvu cca 12–25 mikrometrů a zajišťuje barevný odstín a světelný efekt. Klárlak má vrstvu cca 40–55 mikrometrů a zajišťuje lesk, ochranu před vlhkostí, UV zářením a chemikáliemi. Básislak je možno aplikovat na předupravený plast přímo nebo se mezi básislak a plast aplikuje primer. Hlavní důvod pro aplikaci primeru je otázka adheze básislaku k předupravenému plasty a otázka kryvosti basecoatu k plasty.

1.12 Aplikace pro evidenci experimentů

Tato aplikace obsahuje databázi na bázi relačního modelu. V následujících odstavcích jsou vysvětleny pojmy a programy potřebné k vytvoření databáze a později i aplikace.

1.12.1 CASE Studio 2

CASE je zkratkou Computer Aided Software Engineering a jedná se o nástroj, který umožňuje automatizovat specifikaci požadavků, návrhy, analýzu a následně generování zdrojového kódu. Jedná se o profesionální databázový modelovací nástroj pro vytváření ERD (entitně relační diagram) a DFD (data flow diagram).

1.12.2 Microsoft SQL Server Management Studio

Aplikace je administrační nástroj, ve kterém lze navrhovat strukturu databáze a také pracovat s jejím obsahem (tedy s uloženými daty). Jako všechny relační databázové

systemy i MS SQL využívá pro práci s databázemi strukturovaný dotazovací jazyk SQL (Structured Query Language).

Při práci s databázemi se používají tyto termíny:

- **Databáze** značí modelovaný systém z reálného světa.
- Druhy objektů sledovaného systému lze rozdělit do **entit** a jsou reprezentovány tabulkami.
- **Relace** slouží k vytvoření vztahů mezi entitami.
- Řádky tabulky jsou popsány vlastnostmi, které jsou zachyceny pomocí **atributů**.
- **Primární klíč** je velmi důležitým pojmem. Je to atribut, pomocí kterého jednoznačně identifikujeme jednotlivé řádky v tabulce. Hodnoty jsou jedinečné a nesmějí být prázdné. Většinou do tabulky zavádíme další atribut (ID), který plní funkci primárního klíče. Tomuto atributu přiřadíme automaticky vygenerovaný klíč, nejčastěji nezáporné celé číslo.
- **Cizí klíč** je atribut v tabulce, který odpovídá na základě relace primárnímu klíči jiné tabulky.
- **Relace** značí vztahy mezi entitami. Rozlišujeme tři základní druhy vazeb: 1:1, 1:N, M:N. U relace 1:1 odpovídá jeden záznam v tabulce jednomu záznamu v druhé tabulce. V relaci 1:N odpovídá jeden záznam v první tabulce několika záznamům ve druhé tabulce. Relace N:M znamená, že odpovídá více záznamům v první tabulce více záznamům v druhé tabulce.

Každý sloupec musí mít přiřazený některý z datových typů:

- číselné typy (integer, float, double, decimal),
- řetězové typy (char, varchar, text),
- datum a čas (date, time, datetime).

1.12.3 Microsoft Visual Studio

Je to vývojové prostředí (IDE) od společnosti Microsoft. Může být použito pro vývoj konzolových aplikací a aplikací s grafickým rozhraním spolu s aplikacemi windows forms,

webovými stránkami, webovými aplikacemi a webovými službami jak ve strojovém kódu, tak v řízeném kódu na platformách Microsoft Window, .NET, Microsoft Silverlight apod. Aktuálně je na trhu Visual Studio 2019.

Visual Studio obsahuje editor kódu podporující IntelliSense a refaktorování. Integrovaný debugger pracuje jak na úrovni kódu, tak na úrovni stroje. Další vestavěné nástroje zahrnují designer formuláře pro tvorbu aplikací s GUI, designer webu, tříd a databázových schémat.

Visual Studio podporuje jazyky prostřednictvím jazykových služeb, což umožňuje, aby editor kódu a debugger podporoval jakýkoli programovací jazyk. Mezi vestavěné jazyky patří C/C++, VB.NET, C#. Podporu dalších jazyků jako Oxydane, F#, Python, Ruby, je nutné doinstalovat zvlášť. Dále také podporuje XML, HTML, JavaScript a CSS.

1.12.4 Základní charakteristika programovacího jazyka C#

Jazyk C# vyvinula firma Microsoft. Byl představen spolu s celým vývojovým prostředím .NET. Jak název napovídá, vychází tento jazyk v mnohém z programovacího jazyka C/C++, ale v mnoha ohledech je daleko bližší programovacímu jazyku Java.

Základní charakteristiky jazyka jsou:

- Jazyk C# je čistě objektově orientovaný.
- Obsahuje nativní podporu komponentového programování.
- Podobně jako Java obsahuje pouze jednoduchou dědičnost s možností násobné implementace rozhraní.
- Vedle členství dat a metod přidává vlastnosti a události.
- Správa paměti je automatická. O korektní uvolňování zdrojů aplikace se stará garbage collector.
- Za pomoci výjimek se odstraňují chyby.
- Zajišťuje typovou bezpečnost a podporuje řízení verzí.
- Podporuje atributové programování.

- Zajišťuje zpětnou kompatibilitu se stávajícím kódem jak na binární, tak na zdrojové úrovni.

Většina uvedených vlastností vychází přímo z funkcionality vývojového rámce .NET. Jazyk C# je také integrován do vývojového prostředí Visual Studio .NET.

Překladače jazyka C# jsou case sensitive. Rozlišuje tedy velká a malá písmena. Jako u jiných programovacích jazyků, tak i v jazyku C# bylo zavedeno několik konvencí. Jména balíků, tříd, rozhraní a většiny dalších položek začínají velkým písmenem. Malým začínají privátní a chráněné atributy, lokální proměnné a parametry.

Základní prvky programovacího jazyka C#:

- Třídy – základní stavební prvky při tvorbě objektově orientovaných aplikací obsahující metody a atributy.
- Struktury – lze je chápat jako zjednodušené třídy, jejichž užitím jsou nejčastěji popisovány vlastní datové struktury.
- Výčtové typy.
- Vlastnosti – někdy označované jako chytré proměnné.
- Zástupci – typově bezpečné ukazatele na funkce.
- Události – druh zástupců sloužící ke zpracování asynchronních operací.

V programovacím jazyce C# neexistuje vícenásobná dědičnost, takže každá třída může být potomkem pouze jedné třídy. Dále nenajdeme žádné globální proměnné a metody. Vše musí být deklarováno uvnitř tříd.

Windows Forms (WinForms) je knihovna tříd pro tvorbu grafického rozhraní, která je součástí .NET frameworku firmy Microsoft. Umožňuje jednoduchou tvorbu formulářových aplikací pomocí grafického designeru. Nalezneme zde plnou sadu ovládacích prvků (komponenty) pro většinu situací. Dokonce si lze vytvořit vlastní nebo upravit stávající. Nejnovější aplikace používají modernější WPF (Windows Presentation Foundation).

2. Experimentální část

Prvním úkolem této bakalářské práce bylo zjistit adhezi 1K PU a 2K PU lepicích systémů na daný lak. Byly použity lepicí systémy 1K PU, které byly aplikovány na lakované povrchy bez primeru, s primerem a s akcelerátorem a 2K PU lepicí systém, který byl vždy aplikován na lakovaný povrch bez primeru. Smyková pevnost spoje mezi lepicím systémem a substrátem (lakem naneseným na polypropylen s talkem) byla testována na tělesech nevystavených a vystavených klimatickému zatížení. Bylo použito klimatické zatížení PV1200 (cyklické klimatické zatížení dle VW) a PR308.2 (cyklické klimatické zatížení dle BMW). Výška lepeného spoje byla vždy 5 mm, neboť to odpovídá požadavku automobilek na lepení skla. Lepicí systém v tomto případě musí působit jako silentblok, a proto je nutná právě tato výška pro zajištění funkce silentbloku, obzvláště za nízkých teplot. Zkušební tělíska byla lakována laky X a Y. Oba tyto laky mají po chemické stránce stejné složení. Druhým úkolem této práce bylo zjistit, zdali jsou s danými lepicími systémy dosahovány rozdílné pevnosti spojů při použití laků X a Y.

2.1 Příprava povrchu testovaných těles před lepením

Před samotným lepením jsou lakovaná tělíska otírána izopropylalkoholem za účelem odstranění nečistot z povrchu laku. Tento způsob očištění lakovaného povrchu byl použit vždy pro dvoukomponentní polyuretanové lepicí systémy.

Pro lepení jednokomponentními polyuretanovými lepicími systémy byla určena dvojitá úprava lakovaného povrchu. V prvním případě byl lakovaný povrch pouze očištěn izopropylalkoholem za účelem odstranění nečistot, v druhém případě bylo provedeno očištění lakovaného povrchu opět izopropylalkoholem, ale na takto očištěný lakovaný povrch byl nanesen primer za účelem zvýšení adheze mezi lepicím systémem a povrchem lakovaného substrátu. Je nutné, aby nános lepidla byl prováděn na zaschlý primer bez těkavých podílů.

2.2 Příprava testovaných tělísek před lepením

Na zaschlý primer, který již neobsahoval těkavé složky, byly nalepeny spacers (distanční elementy) s výškou 5 mm. Vzdálenost mezi spacersy je 12,5 mm, což odpovídá normě ČSN EN 1465. V tomto případě měla lepená plocha rozměry 25 mm × 12,5 mm.

2.3 Hodnocení lepených spojů

Lepené spoje byly hodnoceny stanovením smykové pevnosti lepeného spoje. Bylo použito zařízení na stanovení pevnosti ve smyku od firmy Tira (Obrázek 5).



Obrázek 5: Celkový pohled a detail na upevnění v čelistích.
Zdroj: Vlastní zpracování.

2.4 Hodnocení dvoukomponentního polyuretanového lepidla

Při stanovení pevnosti ve smyku (Tabulka 1) při RT bez klimatického zatížení lepeného spoje, došlo ke koheznímu lomu s hodnotou pevnosti ve smyku 1,82 MPa. Tento typ porušení (kohezní porušení) je vyžadován. Při testování pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C došlo k vytržení horní vrstvy lakovaného substrátu (PP+talek), nejedná se tedy o selhání lepicího systému, ale o porušení substrátu (vytržení horní vrstvy substrátu s lakem). Na základě této skutečnosti lze konstatovat, že nejslabší článek v lepeném spoji je horní vrstva substrátu, u které dochází k vytržení od zbytku vzorku. Při testování smykové pevnosti při teplotě -35 °C došlo ve dvou případech k lomu v substrátu a ve třech případech ke koheznímu lomu. Vzhledem k dosaženým smykovým pevnostem a koheznímu porušení či lomu v substrátu lze konstatovat, že toto lepidlo je vhodné pro spoje, které jsou vystaveny teplotě -35 °C.

Tabulka 1: Slepý spoj 2K PU lepidlem bez klimatického zatížení.

2K PU					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CF	1,85	CSF	0,63	SF	3,66
CF	1,86	CSF	0,38	SF	3,8
CF	1,7	CSF	0,81	CF	3,83
CF	1,78	CSF	0,43	CF	3,16
CF	1,89	CSF	0,76	CF	3,68
průměr	1,82	průměr	0,60	průměr	3,63
odchylka	0,07	odchylka	0,17	odchylka	0,24

Zdroj: Vlastní zpracování.

Hodnoty pevnosti ve smyku (Tabulka 2) při RT po klimatickém zatížení PV1200 se snížily z průměrné hodnoty pevnosti ve smyku 1,82 MPa na hodnotu 1,56 MPa. Vyhodnocení smykových pevností při +85 °C ukázalo stejný typ porušení jako u klimaticky nezatížených spojů, tedy odtrhnutí laku z horní vrstvy substrátu tak, že nedochází k selhání lepicího systému, ale k selhání substrátu. Vyhodnocení smykových pevností při -35 °C došlo ve všech případech k porušení substrátu, což je způsobeno zvýšením hodnoty modulu ve smyku u lepicího systému.

Tabulka 2: Slepý spoj 2K PU lepidlem po klimatickém zatížení PV1200.

2K PU					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CF	1,55	CSF	0,56	SF	3,13
CF	1,57	CSF	0,42	SF	3,29
CF	1,58	CSF	0,57	SF	3,32
CF	1,56	CSF	0,52	SF	2,98
CF	1,56	CSF	0,35	SF	2,62
průměr	1,56	průměr	0,48	průměr	3,07
odchylka	0,01	odchylka	0,09	odchylka	0,25

Zdroj: Vlastní zpracování.

2.5 Hodnocení jednokomponentních polyuretanových lepidel

Byly testovány dva komerčně vyráběné typy 1K PU lepicích systémů, které jsou nabízeny s primery na laky s tím, že výrobci těchto 1K PU lepicích systémů doručují použití primeru v závislosti na použitém laku.

2.5.1 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla A

Hodnota pevnosti ve smyku bez klimatického zatížení a bez použití primeru (Tabulka 3) při RT je porušení v substrátu a kombinace porušení v kohezi lepicího systému s odtržením horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C došlo vždy k odtržení horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C došlo v jednom případě k lomu v substrátu, což bylo způsobeno zvýšením modulu pevnosti ve smyku lepidla a ve čtyřech případech vytržení horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při RT se zatížením PV1200 je ve všech případech typ lomu kombinací kohezního lomu a odtržení vrchní vrstvy substrátu. Tabulka 4 obsahuje hodnoty přibližně stejné jako bez klimatického zatížení (2,24 MPa × 2,18 MPa). Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C došlo ve všech případech ke stejnému lomu, tedy odtržením horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C bylo ve všech případech odtržení horní vrstvy substrátu s lakem.

Tabulka 3: Slepý spoj 1K PU lepidlem A bez klimatického zatížení a primeru.

Lepidlo A					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
SF	2,1	CSF	0,66	CSF	2,67
CF/CSF	2,42	CSF	0,39	CSF	2,7
SF	2,26	CSF	0,31	CSF	2,12
CF/CSF	2,22	CSF	0,24	CSF	2,72
CF/CSF	2,19	CSF	0,4	SF	3,14
průměr	2,24	průměr	0,40	průměr	2,67
odchylka	0,11	odchylka	0,14	odchylka	0,32

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 4: Slepý spoj 1K PU lepidlem A po klimatickém zatížení PVI200, bez primeru.

Lepidlo A					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CF/CSF	2,13	CSF	0,36	CSF	2,78
CF/CSF	2,3	CSF	0,31	CSF	3,08
CF/CSF	2,11	CSF	0,33	CSF	2,82
CF/CSF	2,29	CSF	0,3	CSF	2,48
CF/CSF	2,05	CSF	0,23	CSF	2,86
průměr	2,18	průměr	0,31	průměr	2,80
odchylka	0,10	odchylka	0,04	odchylka	0,19

Zdroj: Vlastní zpracování.

1K PU lepidlo A s doporučeným typem primeru (stejný výrobce) bez klimatického zatížení (Tabulka 5), došlo při stanovení pevnosti ve smyku při RT ve čtyřech případech k lomu v substrátu a u jednoho případu k odtržení horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C došlo vždy k porušení horní vrstvy substrátu s lakem a při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C došlo opět k odtržení horní vrstvy substrátu s lakem. Po klimatickém zatížení při stanovení pevnosti ve smyku při RT dochází ke kombinaci lomu substrátu a odtržení horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C je ve všech případech odtržení horní vrstvy substrátu s lakem a při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C je také tento typ odtržení (Tabulka 6).

Tabulka 5: Slepý spoj 1K PU lepidlem A bez klimatického zatížení + primer.

Lepidlo A + primer					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
SF	2,29	CSF	0,29	CSF	2,3
CSF/CF	1,95	CSF	0,37	CSF	2,96
SF	2,45	CSF	0,26	CSF	1,79
SF	2,3	CSF	0,24	CSF	2,17
SF	2,21	CSF	0,21	CSF	2,31
průměr	2,24	průměr	0,27	průměr	2,31
odchylka	0,16	odchylka	0,05	odchylka	0,38

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 6: Slepý spoj 1K PU lepidlem A po klimatickém zatížení PV1200 + primer.

Lepidlo A + primer					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
SF	2,11	CSF	0,34	CSF	2,51
SF	2,38	CSF	0,28	CSF	2,86
CF/CSF	2,1	CSF	0,42	CSF	3
CF/CSF	2,16	CSF	0,3	CSF	2,68
CF/CSF	2,19	CSF	0,35	CSF	2,78
průměr	2,19	průměr	0,34	průměr	2,77
odchylka	0,10	odchylka	0,05	odchylka	0,17

Zdroj: Vlastní zpracování.

Na základě výše uvedených výsledků pevnosti ve smyku u 1K PU lepicího systému A je patrné, že primer nemá vliv na hodnoty pevnosti ve smyku bez klimatického zatížení a totéž lze konstatovat i pro hodnoty pevnosti ve smyku po klimatickém zatížení.

2.5.2 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla B

Při hodnocení testovaných vzorků pevnosti ve smyku bez použití primeru při RT bez klimatického zatížení (Tabulka 7) a s klimatickým zatížením PV1200 (Tabulka 8) je průměrná hodnota téměř stejná. Typ lomu jak u vzorků s klimatickým zatížením, tak bez klimatického zatížení je kombinace kohezního lomu s odtržením vrchní vrstvy substrátu s lakem. Při teplotě +85 °C je hodnota pevnosti ve smyku s klimatickým zatížením a bez klimatického zatížení stejná (odtržení vrchní vrstvy substrátu s lakem). Průměrná hodnota je v obou případech 0,35 MPa. Při teplotě -35 °C bez klimatického zatížení došlo při

stanovení pevnosti ve smyku k porušení v substrátu. Po klimatickém zatížení PV1200 je průměrná hodnota pevnosti ve smyku menší než bez klimatického zatížení. Porušení je kombinací kohezního lomu s odtržením horní vrstvy substrátu s lakem.

Tabulka 7: Slepý spoj 1K PU lepidlem B bez klimatického zatížení a bez primeru.

Lepidlo B					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CSF/CF	2,09	CSF	0,31	SF	3,6
CSF	1,86	CSF	0,31	SF	2,98
CSF/CF	2,08	CSF	0,42	SF	2,95
CSF	2,59	CSF	0,33	SF	3,22
CSF/CF	2,34	CSF	0,37	SF	3,33
průměr	2,19	průměr	0,35	průměr	3,22
odchylka	0,25	odchylka	0,04	odchylka	0,24

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 8: Slepý spoj 1K PU lepidlem B po klimatickém zatížení PV1200 bez primeru.

Lepidlo B					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CF/CSF	2,33	CSF	0,43	CSF	2,85
CF/CSF	2,58	CSF	0,34	CF/CSF	3,18
CF/CSF	1,9	CSF	0,31	CF/CSF	2,65
CF/CSF	2,38	CSF	0,34	CF/CSF	2,69
CF/CSF	1,79	CSF	0,31	SF	2,81
průměr	2,20	průměr	0,35	průměr	2,84
odchylka	0,30	odchylka	0,04	odchylka	0,19

Zdroj: Vlastní zpracování.

1K PU lepidlo B s použitím doporučeného primeru bez klimatického zatížení (Tabulka 9) – při stanovení pevnosti ve smyku při RT je výsledkem odtržení vrchní vrstvy substrátu s lakem, což je také u vzorků s klimatickým zatížením PV1200. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě +85 °C je porušení u obou souborů zkušebních tělísek stejné, a to odtržení vrchní vrstvy substrátu s lakem. Hodnoty pevnosti ve smyku v obou případech jsou přibližně stejné. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C bez klimatického zatížení nastává porušení charakterizované odtržením horní vrstvy substrátu s lakem. Při stanovení pevnosti ve smyku při teplotě -35 °C po klimatickém zatížení PV1200 dojde k lomu v substrátu (Tabulka 10).

Tabulka 9: Slepý spoj 1K PU lepidlem B bez klimatického zatížení + primer.

Lepidlo B + primer					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
CSF	2,22	CSF	0,48	CSF	3,49
CSF	2,3	CSF	0,75	SF	2,78
CSF/CF	2,56	CSF	0,58	CF/CSF	3,13
CSF	2,32	CSF	0,69	CF/CSF	3,21
CSF	2,18	CSF	0,46	CSF	3,47
průměr	2,32	průměr	0,59	průměr	3,22
odchylka	0,13	odchylka	0,11	odchylka	0,26

Zdroj: Vlastní zpracování.

Tabulka 10: Slepý spoj 1K PU lepidlem B po klimatickém zatížení PV1200 + primer.

Lepidlo B + primer					
RT		+85 °C		-35 °C	
porušení	MPa	porušení	MPa	porušení	MPa
SF	2,12	CSF	0,44	SF	2,94
SF	2,16	CSF	0,5	SF	3,14
SF	1,89	CSF	0,6	SF	2,74
SF	1,79	CSF	0,37	SF	3,06
SF	2,18	CSF	0,62	SF	3,49
průměr	2,03	průměr	0,51	průměr	3,07
odchylka	0,16	odchylka	0,09	odchylka	0,25

Zdroj: Vlastní zpracování.

U 1K PU lepidla B je patrné z výše uvedených výsledků, že primer nemá vliv na hodnoty pevnosti ve smyku bez klimatického zatížení a ani po klimatickém zatížení PV1200.

2.5.3 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla A s akcelerátorem

Tabulka 11: Slepý spoj 1K PU lepidlem A s akcelerátorem.

Lepidlo A						
	-35 °C		RT		+85 °C	
	Bez zátěže	1x PR 308.2	Bez zátěže	1x PR 308.2	Bez zátěže	1x PR 308.2
lak na substrátu bez primeru	3,58 ± 0,42	3,56 ± 0,49	2,45 ± 0,18	2,65 ± 0,22	0,81 ± 0,17	0,49 ± 0,19
	SF	SF	SF	SF	CSF	CSF

Zdroj: Vlastní zpracování.

Výše uvedená měření pevnosti ve smyku (Tabulka 11) u lepicích systémů s akcelerátory byla provedena v externí laboratoři.

2.5.4 Hodnocení jednokomponentního polyuretanového lepidla B s akcelerátorem

Tabulka 12: Slepý spoj 1K PU lepidlem B s akcelerátorem.

Lepidlo B						
	-35 °C		RT		+85 °C	
	Bez zátěže	1x PR 308.2	Bez zátěže	1x PR 308.2	Bez zátěže	1x PR 308.2
lak na substrátu bez primeru	3,95 ± 0,28	4,00 ± 0,31	2,35 ± 0,16	1,87 ± 0,19	0,44 ± 0,16	0,37 ± 0,06
	SF	SF	CF	CF	CSF	CSF
	lak na substrátu s primerem	3,26 ± 0,15	3,33 ± 0,08	1,22 ± 0,64	1,12 ± 0,30	0,59 ± 0,14
	SF	SF	CF	CF	CSF	CSF

Zdroj: Vlastní zpracování.

Výše uvedená měření pevnosti ve smyku (Tabulka 12) u lepicích systémů s akcelerátory byla provedena v externí laboratoři.

Pokud porovnáme pevnosti ve smyku u 1K PU lepidel A a B bez akcelerátoru a s akcelerátorem, je možné na základě dosažených hodnot konstatovat následující. U 1K PU lepidla A se vliv akcelerátoru na naměřené hodnoty pevnosti ve smyku neprojevil. U 1K PU lepidla B se vliv akcelerátoru na naměřené hodnoty pevnosti ve smyku při testování lakovaných povrchů bez primeru neprojevil.

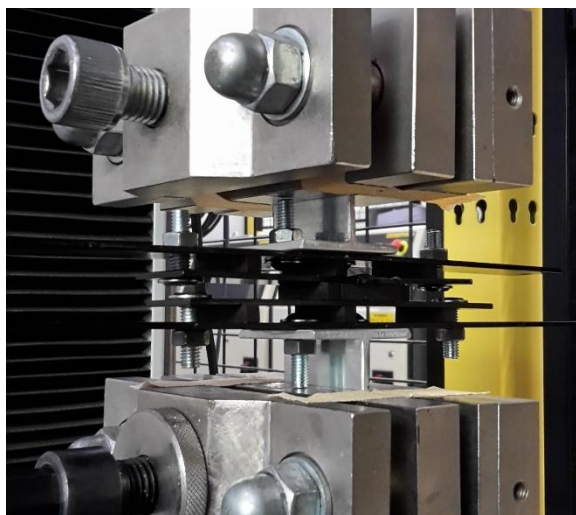
U 1K PU lepidla B se vliv akceleračtoru na naměřené hodnoty pevnosti ve smyku při testování lakovaných povrchů s primerem projevil. S největší pravděpodobností zde došlo při aplikaci lepidla k nadbytku akceleračtoru ve směsi s 1K PU lepidlem B, tento akceleračtor působil v lepeném spoji jako plastifikátor, a proto jsou naměřené hodnoty pevnosti ve smyku výrazně nižší.

2.5.5 Testování nárůstu pevnosti ve smyku u jednokomponentních polyuretanových lepidel A a B – quickfix efekt (HPT efekt – High Position Tack effect)

Tabulka 13: Testování quickfix efektu u 1K PU lepidel A a B.

Lepidlo A - 60 °C		Lepidlo B - 60 °C		Lepidlo B - 70 °C	
RT		RT		RT	
čas	MPa	čas	MPa	čas	MPa
1 min	0,14	1 min	0,31	1 min	0,16
3 min	0,23	3 min	0,52	1 min	0,17
4 min	0,26	6 min	0,39	3 min	0,25
6 min	0,24	6 min	0,37	6 min	0,21
10 min	0,38			10 min	0,39
průměr	0,25	průměr	0,40	průměr	0,24
odchylka	0,08	odchylka	0,08	odchylka	0,08

Zdroj: Vlastní zpracování.



Obrázek 6: Speciálně vyrobený držák tělísek pro testování quickfix efektu.

Zdroj: Vlastní zpracování.



Obrázek 7: Testování quickfix efektu po jedné minutě od slepení.
Zdroj: Vlastní zpracování.

Z výše uvedené tabulky (Tabulka 13) je patrné, že lepidlo A aplikované při 60 °C vykazuje stejné vlastnosti při náběhu pevnosti jako lepidlo B aplikované při 70 °C. Lepidlo B vykazuje vyšší náběh pevnosti při teplotě 60 °C, ale dávkování při 60 °C není doporučeno, neboť lepidlo B má při této aplikační teplotě velmi vysokou viskozitu, která způsobuje enormní tlaky v dávkovacím zařízení, a to způsobuje poškození těsnících elementů v dávkovacím zařízení ve velmi krátkém čase. Obrázek 6 znázorňuje průběh testu a Obrázek 7 tělíška po jedné minutě od lepení.

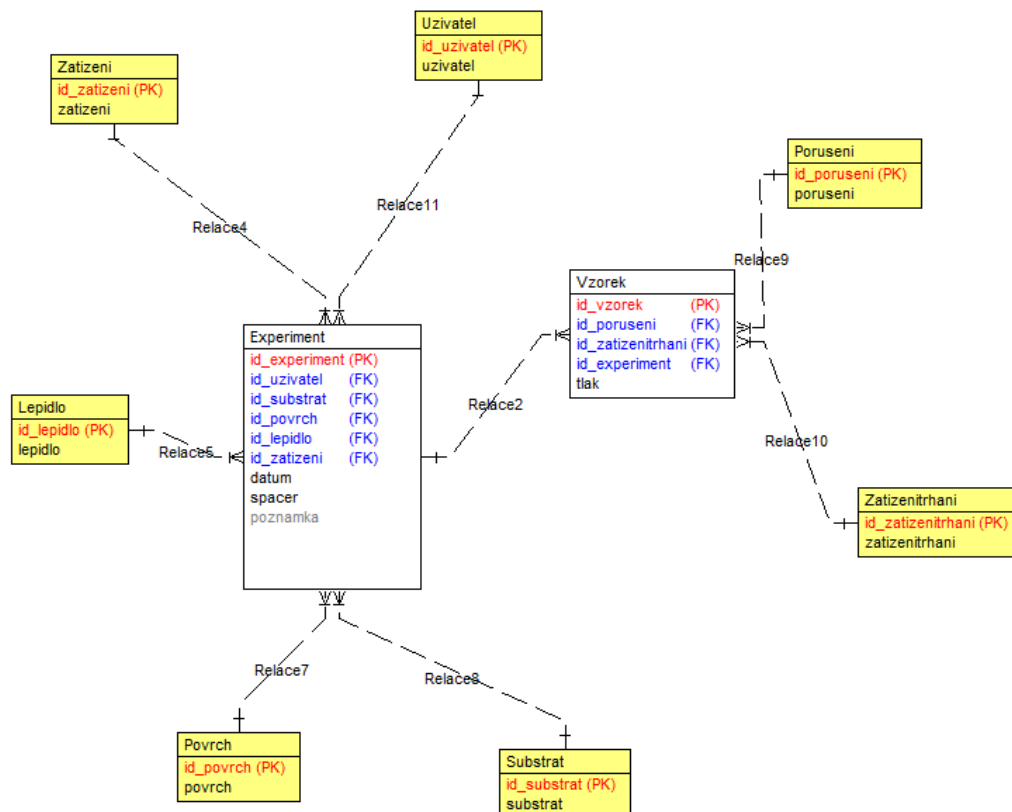
2.6 Aplikace pro evidenci experimentů

Tato kapitola popisuje vytvoření desktopové aplikace, která bude sloužit pro evidenci experimentů.

2.6.1 Relační schéma a vytvoření databáze

Pro tuto databázi bylo zvoleno relační schéma, které bylo po promyšlení, jak budou tabulky vypadat a jak vhodně zvolit číselníky, vytvořeno ve zvoleném programu CASE Studio 2, které je vhodné pro vytváření relačních schémat. Nejprve bylo potřeba vybrat cílovou databázi. Nakonec byla vybrána databáze MS SQL, kterou je výhodné použít, když výsledná aplikace je v .NET. Entity mají své primární klíče v podobě ID, což je nezáporné celé číslo. To je nastaveno tak, že se automaticky inkrementuje.

V této databázi jsou dvě hlavní tabulky - *Experiment* a *Vzorek*. Tyto tabulky mezi sebou mají vazbu 1:N, protože máme jeden experiment pro několik vzorků. Tabulka *Experiment* je spojena s pěti číselníky přes vazbu 1:N a tabulka *Vzorek* je spojena se dvěma číselníky také vazbou 1:N. Tyto číselníky (Obrázek 8) jsou zvýrazněny žlutou barvou.

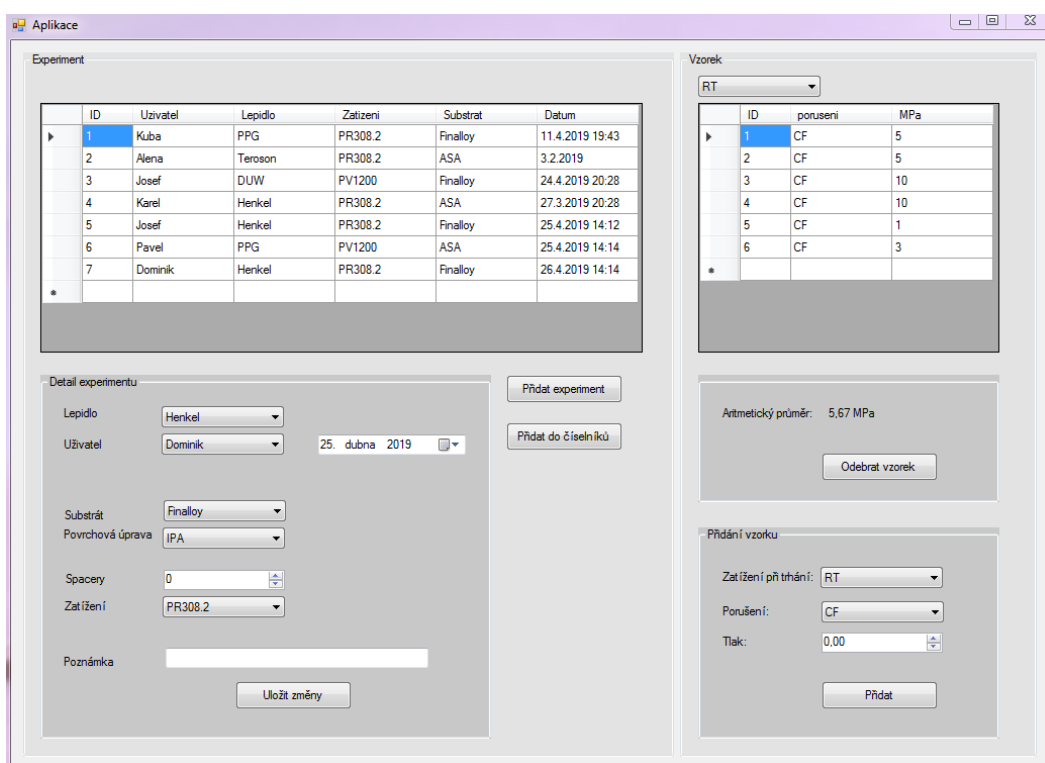


Obrázek 8: Relační schéma vytvořené v programu CASE Studio 2.
Zdroj: vlastní zpracování.

Z relačního schéma je následně vygenerován SQL kód, který bude využit později při vytvoření databáze a tabulek v Microsoft SQL Server Management Studiu. Aby bylo možné vytvořit databázi, je nutné nainstalovat SQL server a poté v nástroji SQL Server Configuration Manager nastavit požadovaný server na running. Po následném nastavení je již možné vytvořit databázi s tabulkami. Tyto vytvořené tabulky lze editovat dvěma způsoby, buď přímo vložením hodnot do tabulky nebo přes query string pomocí INSERT. Na začátku byla databáze naplněna hodnotami, díky kterým bylo možné zjistit, zda je připojení k databázi správné a je možné z ní zobrazovat data.

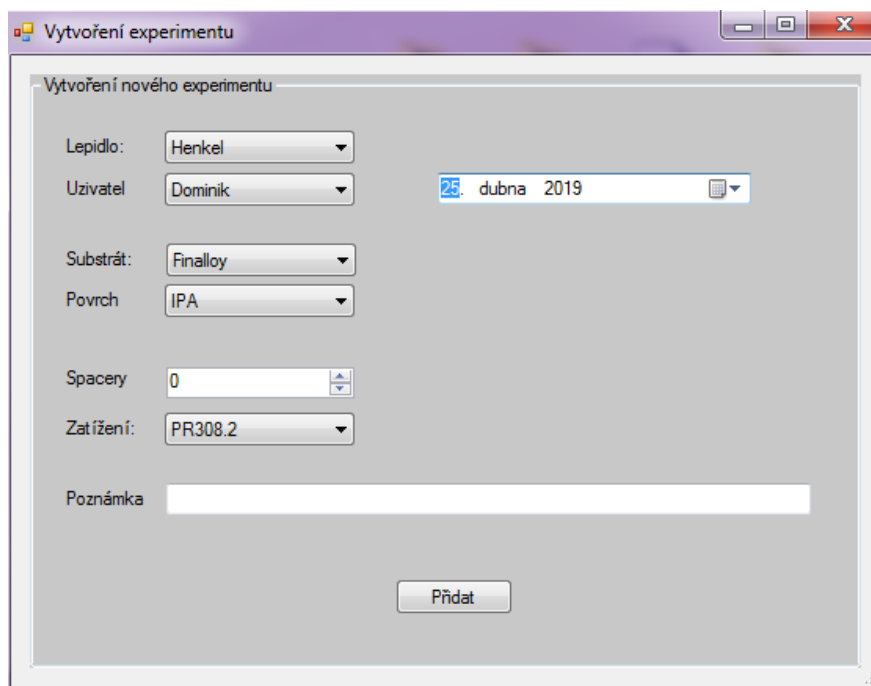
2.6.2 Programování v jazyce C# ve Visual studiu

K programování byl vybrán jazyk C#. Autor práce se přiklonil k desktopové aplikaci, pro kterou bylo zvoleno grafické rozhraní Windows Forms. Tato aplikace se skládá ze tří formů (formulářů). První (Obrázek 9), který se zobrazí po spuštění aplikace, je jádrem celé aplikace. Obsahuje zobrazení jednotlivých experimentů v datagridview, ve kterém jsou jen základní informace. Po kliknutí na jednotlivý experiment se zobrazí veškeré informace o daném experimentu. Tyto hodnoty jsou zobrazovány v comboboxech, ve kterých jsou uloženy hodnoty z číselníku. Z těch je možné vybírat pro následnou možnou změnu parametrů, která se potvrzuje tlačítkem *Uložit změny*. Na pravé straně je část určená pro vzorky, které jsou identifikovány svým unikátním primárním klíčem a obsahují také cizí klíč z tabulky *Experiment*. Ten udává, ke kterému experimentu vzorek patří. Vzorky jsou zobrazovány v druhém datagridview, který má nad sebou combobox. Tím je určováno, jaké vzorky budou zobrazeny vzhledem k zatížení při trhání. Pod tímto datagridview se nachází část pro přidávání a mazání vzorků. Zároveň je zde zobrazen aritmetický průměr naměřených hodnot.



Obrázek 9: Hlavní část aplikace.
Zdroj: vlastní zpracování.

Druhý form *Vytvoření experimentu* (Obrázek 10) se zobrazí kliknutím na tlačítko *Přidat experiment*. V tomto formu je po vyplnění údajů vytvořen nový experiment. Po kliknutí na tlačítko *Přidat* se okno zavře a otevře se opět první form. Zde je již tento nový experiment vytvořen.

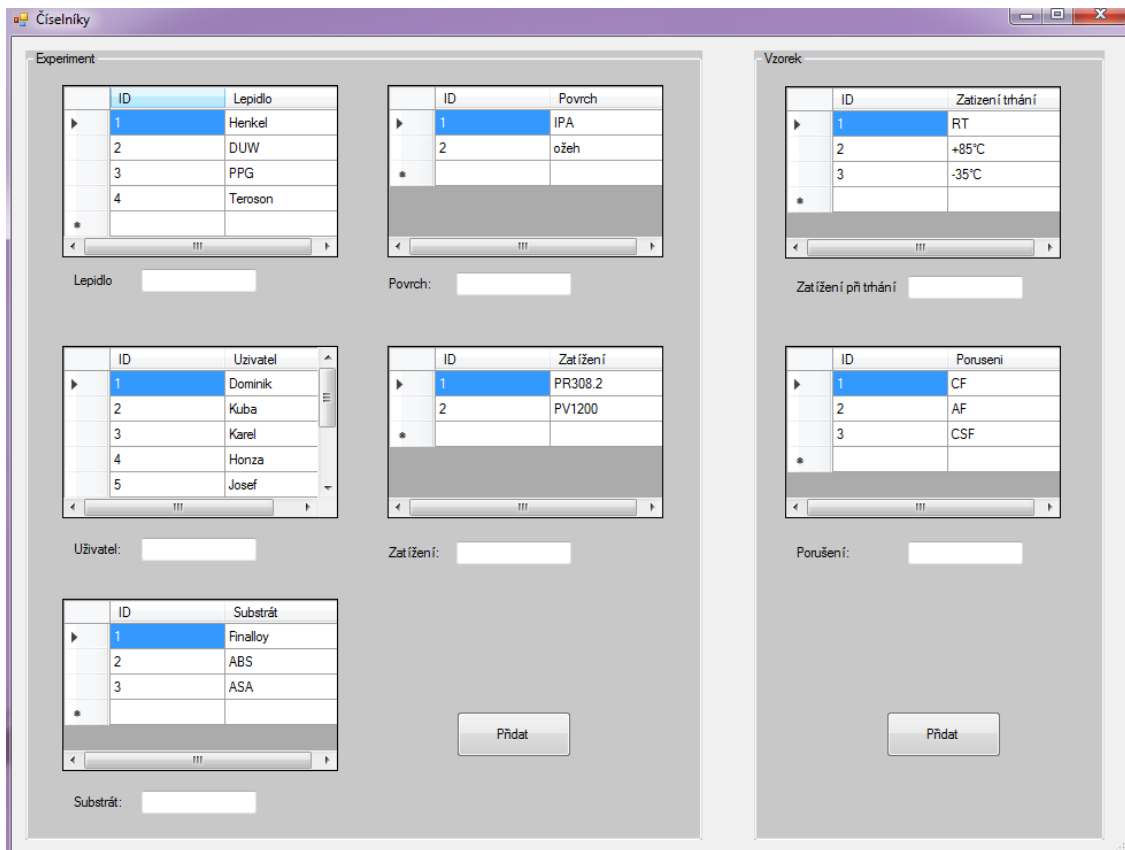


The screenshot shows a window titled "Vytvoření nového experimentu". Inside the window, there are several form fields:

- Lepidlo: Henkel (dropdown)
- Uživatel: Dominik (dropdown)
- Date: 25. dubna 2019 (calendar icon)
- Substrát: Finalloy (dropdown)
- Povrch: IPA (dropdown)
- Spacer: 0 (spin box)
- Zatížení: PR308.2 (dropdown)
- Poznámka: (empty text area)
- Button: Přidat

Obrázek 10: Formulář na vytváření nových experimentů.
Zdroj: Vlastní zpracování.

Třetí form *Číselníky* (Obrázek 11), který se otevře tlačítkem *Přidat do číselníků*, obsahuje sadu datagridview. Do těch lze přidat nové parametry, které se po stisknutí tlačítka *Přidat* zobrazí v jednotlivých comboboxech v prvním formu.



Obrázek 11: Přidávání nových parametrů do číselníků.
Zdroj: Vlastní zpracování.

Závěr

Tématem této bakalářské práce byla problematika adheze lakovaných zkušebních těles lepených polyuretanovými lepicími systémy. Úkolem bylo porovnat lepení těchto lakovaných ploch na zkušebních tělískách jednokomponentními polyuretanovými lepicími systémy A a B a dvoukomponentním polyuretanovým lepicím systémem. U jednokomponentních polyuretanových lepicích systémů A a B byl dále zkoumán vliv primeru na předúpravu lakované plochy, vliv akcelérátoru a porovnání quickfix efektu. Vyhodnocování lepených spojů se provádělo stanovením pevnosti ve smyku. Lepené spoje byly vyhodnocovány pevností ve smyku jak bez klimatického zatížení, tak po cyklických klimatických zatíženích dle norem VW (PV1200) a BMW (PR308.2).

Dalším úkolem na základě dosažených výsledků pevnosti ve smyku bylo zjistit, zdali mají laky X a Y stejné vlastnosti pro lepení testovanými polyurethanovými lepidly.

V teoretické části této práce se autor zabývá lepením a jeho vyhodnocováním. Dále je zde stručně popsána charakteristika používaných laků na testovaných zkušebních tělískách. V experimentální části se autor zabývá přípravou adherendů – očištění, nános primeru a vymezení plochy pro nános lepidla s požadovanou výškou lepeného spoje.

Ze získaných hodnot pevnosti ve smyku je patrné, že u testovaných jednokomponentních polyuretanových lepidel A a B nemá použití primeru vliv na velikost hodnot pevnosti ve smyku. Toto je možné konstatovat jak pro slepené spoje, které nebyly vystaveny daným klimatickým zatížením, tak i pro lepené spoje, které těmto klimatickým zatížením vystaveny byly.

Ze získaných výsledků pevnosti ve smyku lze vyčíst, že u testovaných jednokomponentních polyuretanových lepidel s akcelérátorem může dojít při dávkování lepicí směsi k nadbytku akcelérátoru v lepicí směsi 1K PU lepidla s tímto akcelérátorem. Tento akcelérátor působí v lepidle jako plastifikátor a dochází ke zhoršení vlastností lepidla. Toto se projeví výrazným poklesem hodnoty pevnosti ve smyku (pokles z hodnoty 2,4 MPa na hodnotu 1,2 MPa).

Ze získaných výsledků pevnosti ve smyku je patrné, že u testovaných jednokomponentních polyuretanových lepidel lepidlo A aplikované při 60 °C vykazuje stejné vlastnosti při náběhu pevnosti jako lepidlo B aplikované při 70 °C. Lepidlo B vykazuje vyšší náběh pevnosti při teplotě 60 °C, ale dávkování při 60 °C není doporučované, neboť lepidlo B má při této teplotě velmi vysokou viskozitu, která způsobuje enormní tlaky v dávkovacím zařízení, a to způsobuje poškození těsnících elementů ve velmi krátkém čase.

Ze získaných výsledků pevnosti ve smyku lze vyčíst, že u testovaného dvoukomponentního polyuretanového lepidla došlo po klimatickém zatížení k nízkému poklesu hodnot pevnosti ve smyku. Vzhledem k velikosti tohoto poklesu lze konstatovat, že toto dvoukomponentní polyuretanové lepidlo je vhodné k lepení lakovaných ploch laky X a Y.

Na základě dosažených hodnot pevností ve smyku lze konstatovat, že laky X a Y vykazují stejné vlastnosti, co se týče lepení k vybraným testovaným polyuretanovým lepicím systémům.

Aplikace pro evidenci experimentů byla vytvořena s vhodnými číselníky tak, aby byla uživatelsky jednoduchá a graficky přehledná. Parametry a naměřené hodnoty jsou ukládány do databáze. Databáze je založena na relačním modelu a je vytvořena v MS SQL. V aplikaci je kromě zobrazování a ukládání nových parametrů možné parametry také upravovat. Odstraňovat se dají pouze naměřené hodnoty, protože parametry, které již byly použity v nějakém experimentu, nemohou být odstraněny.

Seznam použité literatury

1. OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1974.
2. R. D. Adams (Editor): Adhesive Bonding Science, Technology and Applications (1st Edition). Woodhead Publishing, 2005. ISBN: 9781855737419.
3. C. J. Date: An Introduction to Database Systems (8th Edition). Pearson, 2003. ISBN:9780321197849.
4. KALEDOVÁ, Andrea. Technologie nátěrových hmot I.: pigmenty a plniva pro nátěrové hmoty. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-576-5.
5. KALEDOVÁ, Andrea a Petr KALENDA. Technologie nátěrových hmot I.: pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 80-7194-691-5.
6. Technologie a technika lepení [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
7. Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje. *Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum* [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vliv-tloustky-vrstvy-lepidla-na-pevnost-lepeneho-spoje.html>
8. Lepidla [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/SHRNUTI%20_%20na_zaver_prednasky.docx
9. PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha: SNTL, 1980.

10. Prvák, nauka, kap.8. *Úvod* [online]. Copyright © 2011 [cit. 22.03.2019]. Dostupné z:
<http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat8.php>

11. Adhesives and Sealants in Automotive Sector. *Industrial Adhesives and Sealants - Online Materials Database* [online]. Copyright © SpecialChem 2019 [cit. 15.04.2019]. Dostupné z: <https://adhesives.specialchem.com/tech-library/article/adhesives-and-sealants-in-the-transportation-market-part-1-automotive>

Seznam příloh

Příloha A	CD-ROM.....	48
-----------	-------------	----

Příloha A CD-ROM

- Textová práce v .pdf
- Aplikace se zdrojovým kódem
- Query kód pro vytvoření databáze