

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Stanovení metodiky pro porovnávání rychlosti vytvrzování jednosložkových
lepidel pro konstrukci autobusů

Bc. Jana Poláková

Diplomová práce

2009

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jana POLÁKOVÁ**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Stanovení metodiky pro porovnávání rychlosti vytvrzování
jednosložkových lepidel pro konstrukci autobusů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- 1) Úvod
- 2) Použití lepidel v automobilovém průmyslu
- 3) Základy teorie lepidel a lepení
- 4) Určení metodiky zkoušení
- 5) Výsledky měření
- 6) Závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Petrie, E. M.: **Handbook of Adhesives and Sealants**. McGraw-Hill, New York USA, 2000, ISBN 0-07-049888-1
2. Ptáček, L. a kol.: **Nauka o materiálu I.-II.** CERM, s.r.o. Brno 1999, ISBN 80-7204-193-2

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavel Švanda, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **20. února 2009**

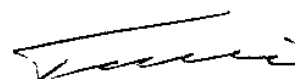
Termín odevzdání diplomové práce: **25. května 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 18.5.2009

Jana Poláková

ANOTACE

Práce je věnována tématice lepení a lepidel. Zahrnuje obecnou teorii týkající se lepení a dále obsahuje i část lepení v oblasti silničních vozidel. Zabývá se problematikou lepidel tuhoucích vlivem působení vzdušné vlhkosti a porovnávání různých druhů takovýchto lepidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

lepidla, lepený spoj, rychlost vytvrzování

TITLE

Determining the methodology for comparing the speed of setting one component adhesives for the construction of buses

ANNOTATION

The work is devoted to issues and adhesive bonding. Includes a general theory concerning the bonding and also includes part of the bonding in the field of road vehicles. It deals with issues of adhesives stiff due to exposure to humidity and comparing different types of such adhesives.

KEYWORDS

stick, glued joint, setting speed

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Švandovi, Ph.D. za jeho pomoc, připomínky a poznámky, které vznášel za účelem dosažení co nejlepšího výsledku této práce a také patří mé poděkování Ing. Zdeňku Šmerdovi, ze společnosti Iveco Czech Republic, a.s..

OBSAH

ÚVOD	8
1 POUŽITÍ LEPIDEL V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	9
1.1 Historie	9
1.2 Lepení dnes	11
1.2.1 Konstruktivně lepené spoje karoserie	11
2 ZÁKLADY TEORIE LEPIDEL A LEPENÍ	18
2.1 Základní pojmy	18
2.1.1	19
2.1.2 Význam lepidel a tmelů	19
2.1.3 Definice lepidel a tmelů	19
2.2 Podstata lepení	20
2.3 Smáčivost	23
2.4 Technologický postup lepení	24
2.4.1 Příprava materiálů k lepení	26
2.4.2 Úprava lepidel a lepicích směsí	26
2.5 Rozdělení lepidel	27
2.5.1	27
2.5.2 Dělení lepidel	27
2.6 Tmely	29
2.7 Primery a stimulanty adheze	29
2.8 Výhody a nevýhody lepení	31
2.8.1 Výhody	32
2.8.2 Nevýhody	32
2.9 Lepené spoje	33
2.9.1 Konstrukce lepených spojů	33
2.9.2 Napěťově-deformační stav a pevnost lepených spojů	34
2.9.3 Nejčastější příčiny poruch lepených spojů	35
2.9.4 Pevnostní parametry lepených spojů	37
3 URČENÍ METODIKY ZKOUŠENÍ	39
3.1 Obecná metodika zkoušení (zkoušky pro hodnocení lepených spojů)	39
3.2 Metodika zkoušení pro porovnávání rychlosti vytvrzování lepidel	41
3.2.1 Vliv papíru na vytvrzování lepidla	50
3.2.2 Měření teploty a relativní vlhkosti při zkoušení	56
4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	57
ZÁVĚR	62
SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	64
SEZNAM OBRÁZKŮ	65
SEZNAM TABULEK	66
SEZNAM ZKRATEK	67
SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

Základy technických znalostí jako je lepení člověk odpozoroval od přírody. Všichni znají slepování včelích pláství či vlaštovčích hnízd. Lepení zasahuje již do pravěkých dob, kdy lidé používali k opravě a zhotovování nástrojů ze dřeva, keramiky a kůže různé šťávy, pryskyřice, včelí vosk apod.

Lepení je metoda poměrně stará. Samozřejmě jako jiné, i tato metoda se stále vyvíjí a zdokonaluje, případně se zkouší nové oblasti použití.

V konstrukci vozidel se dnes s oblibou hojně využívají lepidla. Nýtované nebo svařované spoje jsou na první pohled viditelné a lepené spoje zajišťují jednak dostatečnou pevnost spojů, ale i jejich estetický vzhled.

Cílem mé diplomové práce je poskytnout ucelený přehled porovnání jednotlivých jednosložkových lepidla používaných v konstrukci autobusů. Výrobci sice poskytují na svých výrobcích údaje o rychlosti vytvrzování lepidel, ale ve většině případů jsou uvedeny různé výchozí podmínky testování. Tyto počáteční podmínky se liší většinou v teplotě a vzdušné vlhkosti ve zkušební laboratoři. Při zkoušení metodiky byly podmínky během měření pro všechna lepidla stejné.

1 POUŽITÍ LEPIDEL V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

1.1 Historie

Lepidla a tmely byly poprvé použity před mnoha tisíci lety. Dříve myslivci lepili peří na šipky včelím voskem, dnes poměrně primitivní formou lepidla. Babylónská věž byla pravděpodobně postavena za pomoci malty a dehtu nebo smůly jako tmelu. Řezby v Thébách (cca 1300 př. n. l.) ukazují lepený hrnec a kartáček na lepené dýze ze smokvoně. Donedávna byla většina lepidel a tmelů vyvinuta z rostlinných, živočišných nebo minerálních látek. Po roce 1900 začala syntetická polymerní lepidla vytlačovat mnohé přirozeně se vyskytující produkty, vzhledem k jejich silnější přilnavosti, větší možnosti zpracování a vynikající odolnosti vůči provozním podmínkám prostředí. Nicméně se nepolymerní materiály stále široce využívají a představují největší část z celkového objemu lepidla a tmelů používaných dodnes. Běžné aplikace pro tyto nepolymerní materiály zahrnují lepení porézních podkladů jako je dřevo nebo papír. Kaseinová lepidla (mléčkárenský produkt) a rozpustná lepidla z křemičitanu sodného (anorganická) se běžně používají v průmyslu zabývajícím se kartónovými obaly. Přirozeně se vyskytující asphalt nebo asphaltové materiály byly akceptovány jako tmely po mnoho staletí. Vývoj moderních polymerních lepidel a tmelů začala přibližně ve stejné době jako průmysl polymeru samotného, v počátcích 20 století. Ve skutečnosti se průmysl polymerních a elastomerových pryskyřic váže velmi úzce na průmysl lepidel a tmelů. Tabulka 1 shrnuje historický vývoj lepidel a tmelů. Moderní doba lepidel začala okolo roku 1910 s rozvojem fenol-formaldehydových lepidel pro průmysl překližek. Významný růst se ukázal v letech 1940 - 1950 s rozvojem strukturálních lepidel a tmelů pro vojenský letecký průmysl. Vzhledem k jejich mimořádným sílovým účinkům k poměru hmotnosti je vývoj moderních lepidel a tmelů úzce spjat s historií letadel a leteckého průmyslu. Trvanlivost lepených spojů byla problémem u letadel, dokud nebyly stanoveny, zavedeny a ověřeny technologie lepení po roku 1970. Díky úspěšným zkušenostem v tomto odvětví, byla brzy lepidla přiřazena k ekonomičtějším náhradám metod mechanického upevnění jako je svařování, pájení nebo nýtování. (1)

Tabulka 1: Historický vývoj a lepidel a tmelů

přibližné desetiletí komerční dostupnosti	lepidlo či tmel
Před 1910	lepidla ze zvířecích kostí rostlinná lepidla
1910	fenol-formaldehydová lepidla kaseinová lepidla
1920	ester celulózy alkydová pryskyřice cyklický kaučuk v lepidle polychloropren (neoprén) sojová lepidla
1930	močovino-formaldehydová lepidla lepící pásky (izolepy) adhesivní filmy fenolových pryskyřic
1940	nitril-fenolová lepidla chlorkaučuk melamin-formaldehydová lepidla vinyl-fenolová lepidla akrylová lepidla polyuretany
1950	epoxidy kyanoakryláty anaerobní lepidla epoxidové slitiny
1960	polyamidy polybenzimidazoly
1970	druhá generace akrylátů akryláty citlivé na tlak konstrukční (strukturální) polyuretany
1980	tužidla pro termosetové pryskyřice vodou vytvrzovatelné epoxidy vodou vytvrzovatelné kontaktní lepidla formovatelné a pěnové horké taveniny
1990	polyuretanové modifikované epoxidy

Zdroj: (1)

1.2 Lepení dnes

V současné době se lepení stalo jednou ze základních technologií spojování kovů, plastů i kombinovaných materiálů a to nejen v automobilovém průmyslu. Oproti ostatním technologiím není při lepení (kromě chemických účinků) ovlivněn základní materiál lepených spojů v porovnání se svářením, obráběním, apod.

Technologie lepení je spojena s ekonomičností a efektivností, což je dobře uplatnitelné právě v automobilovém průmyslu.

1.2.1 Konstruktivně lepené spoje karoserie

K základním úlohám konstruktéra patří v této oblasti nalezení vhodného lepidla na straně jedné, oproti tomu je ale nutnost volby vhodné technologie pro určitý druh lepidla na straně druhé. Nejčastěji se tedy jedná o vzájemnou kombinaci – nalezení vhodného lepidla i technologie aplikace. Po tomto výběru se musí zvážit též další aspekty zvolené technologie. Sem patří předúprava povrchů, způsob nanášení lepidel a chování lepidla v průběhu procesu lepení.

Lepené spoje se v automobilovém průmyslu uplatňují v řadě variant jak z hlediska konstrukčního provedení, tak z hlediska funkčního namáhání. Předpokladem pro dobrou pevnost a postačující únosnost spoje je především vhodná konstrukce spoje. Charakteristika lepených spojů spočívá hlavně ve velmi dobré pevnosti ve smyku. Pevnost v tahu je již výrazně nižší. Mezi méně žádané vlastnosti patří pevnost spoje při odlupování. Zásady vhodné aplikace lepených spojů proto vycházejí jinak z charakteru lepidla a požadavku co nejvíce redukovat namáhání v tahu a odlupování. Nelze-li tyto faktory dostatečně omezit a zároveň je třeba zvýšit spolehlivost spoje, kombinuje se lepení s ostatními technikami spojování. V mnoha případech se využívá lepení v kombinaci s bodovým svařováním (např. lemy dveří).

Tenké karosářské plechy jsou nejčastěji spojovány technologií odporového svařování (bodové, švové či výstupkové). Povrchy plechů se často opatřují elektrolyticky nebo zároveň nanášenými povlaky na bázi zinku (pro zvýšení odolnosti proti korozi). Do této technologie to však přináší specifické problémy, kam lze zahrnout spojování plechů různých tloušťek a jakostí. Další nepříjemnosti způsobuje právě povrchová vrstva zinku (ulpívání zinku na elektrodách, problematické zachování ochranné funkce povlaku v místě spoje, aj.) (8)

V automobilovém průmyslu se s výhodou používá lepidel oproti používaným technologiím sváření z následujících výhod:

- úspora hmotnosti snížením tloušťky plechu (využití plošších a zlepšených materiálů)
- ochrana proti korozi a tlumicí účinek (spojovací vrstvou lepidla)
- žádné poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů
- plošné uchycení plechů → větší pevnost a tuhost karoserie
- hladký povrch spojovaných míst (odpadají operace na začištění)
- těsnost spojů (není potřeba dále spoje utěšňovat)
- vrstva lepidla slouží jako elektroizolant (nedochází k elektrochemické korozi)
- vysoká kvalita vzhledu povrchu

S použitím techniky lepení v oblasti konstrukce karoserie vozidel je spojena celá řada požadavků. Na straně jedné musí být splněny požadavky konstrukční, na straně druhé je třeba zohlednit výrobní podmínky použití budoucího automobilu.

Výrobní požadavky:

- podmínky ochrany zdraví (obecným podkladem pro hodnocení lepidel je předpis o nebezpečných látkách)
- zpracování v krátkých časových intervalech
- přilnavost k naolejovaným povrchům (naolejování se pohybuje v průměru 2-4 g/m²)
- přilnavost k různým typům plechů (plechy s povrchovou úpravou)
- přelakovatelnost lepidla

Konstrukční požadavky:

- mechanické vlastnosti (pevnost, modul pružnosti)
- malé smrštění během vytvrzování
- velká trvanlivost spoje (větší než u automobilu)
- provozní pevnost spoje (8)

Na karoserii a nástavné díly (dveře a kapota) jsou požadovány tyto vlastnosti:

- vysoká tuhost
- dostatečná provozní pevnost
- odolnost vůči nárazu

Ve všech fázích výroby automobilu se používají lepidla, která plní funkci přenosu sil, funkci těsnící, funkci antikorozi ochrany či tlumení kmitů. Různé oblasti výroby automobilu se samonosnou celooceľovou karoserií mohou být členěny následovně:

svařovna – sestavení kabiny a pláště, výroba a montáž dveří, kapoty a ostatních dílů

lakovna – podtmelení výztuh

montáž – montáž předem vyrobených dílů či stavebních skupin na nalakovanou karoserii

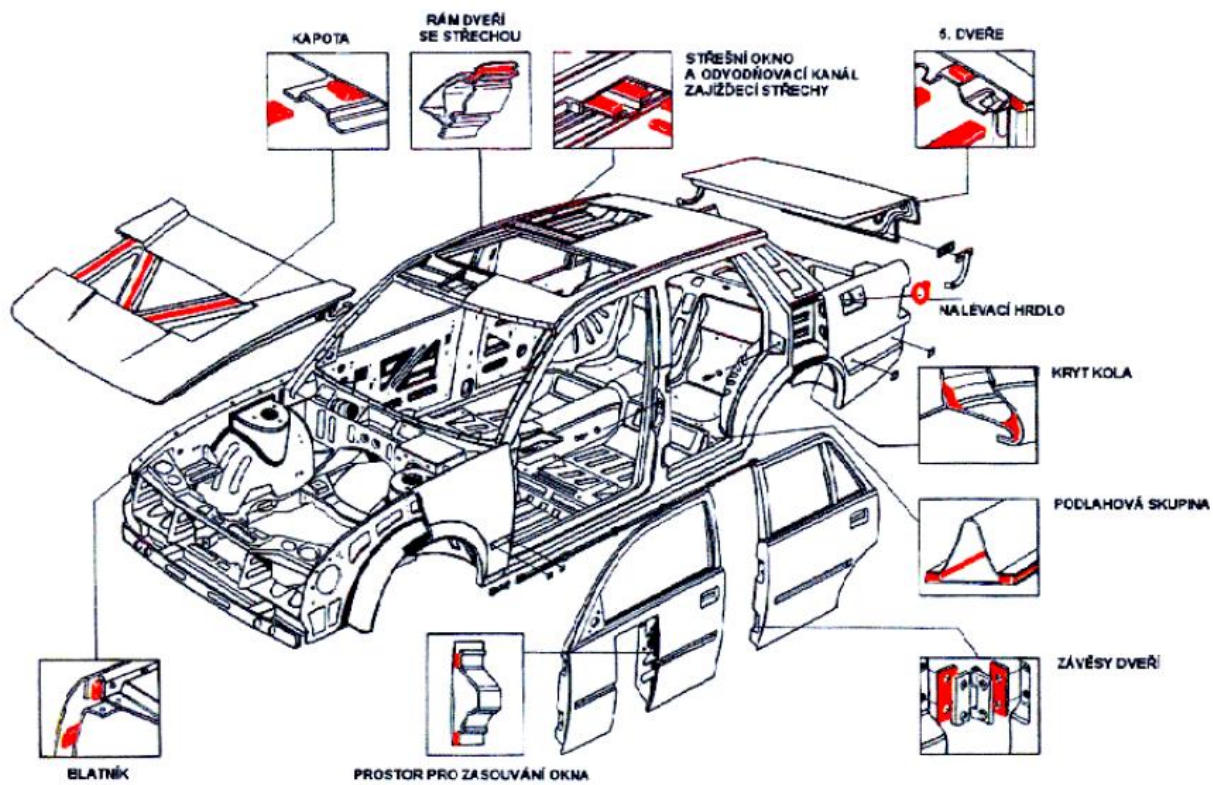
výroba dílů – montáž jednotlivých dílů či stavebních skupin výrobcem automobilu nebo dodavatelskou firmou

Lepené spoje hrají v automobilovém průmyslu i funkci doplňkovou a těsnící. Karoserie se lepí a tmelí za účelem těsnění, utlumení chvění a také jako součást proti korozi ochrany.

Za účelem těsnění se spojují lepidly a tmely následující prvky:

- těsnění lemů, blatníků, hrdla palivové nádrže
- těsnění spoje krytu zadního kola a postranic
- těsnění oken
- zvuková izolace dveří

Tyto lepené spoje lze rozdělit do dvou kategorií – nízkopevnostní a pevnostní lepené spoje. Do kategorie nízkopevnostních lepených spojů patří: spoj hrdla palivové nádrže se zadní postranicí a rámem dveří, lepení výztuh povrchových plechů (dveře, kapota, apod.), lepení střechy a výztuh střechy. Do druhé zmíněné kategorie patří lemy všech dveří a lemy kapoty. (8)



Obrázek 1: Použití lepidel u automobilů

Zdroj: (8)

Základní požadavek na výběr lepidel se řídí skutečností, že v praxi nedochází k odmašťování plechů. V tabulce jsou uvedeny nečastější druhy používaných lepidel, jejich báze, charakter lepeného spoje a aplikace použití.

Tabulka 2: Základ lepidel, charakter lepeného spoje a aplikace

druh lepeného spoje	příklady	používaná lepidla	požadované vlastnosti lepeného spoje
drážkové přírubové lepení	kapota	např. epoxidové pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu, ochrana před štěrbinovou korozí
výztuhové lepení	dveře, kapota	např. polyuretany, PVC, syntetické kaučuky	neohebnost torze, nesmí se deformovat vzhledový díl
lepení nosné struktury	sloupky, profily, přírubové švy	epoxidová pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu
těsné lepení	hrdlo nádrže, utěsnění švu	např. syntetické kaučuky, PVC	těsnost, odolnost vůči korozi
přímé zasklívání	přední, zadní a pevné boční tabule	např. polyuretany	tuhost karoserie, těsnost, nepropustnost

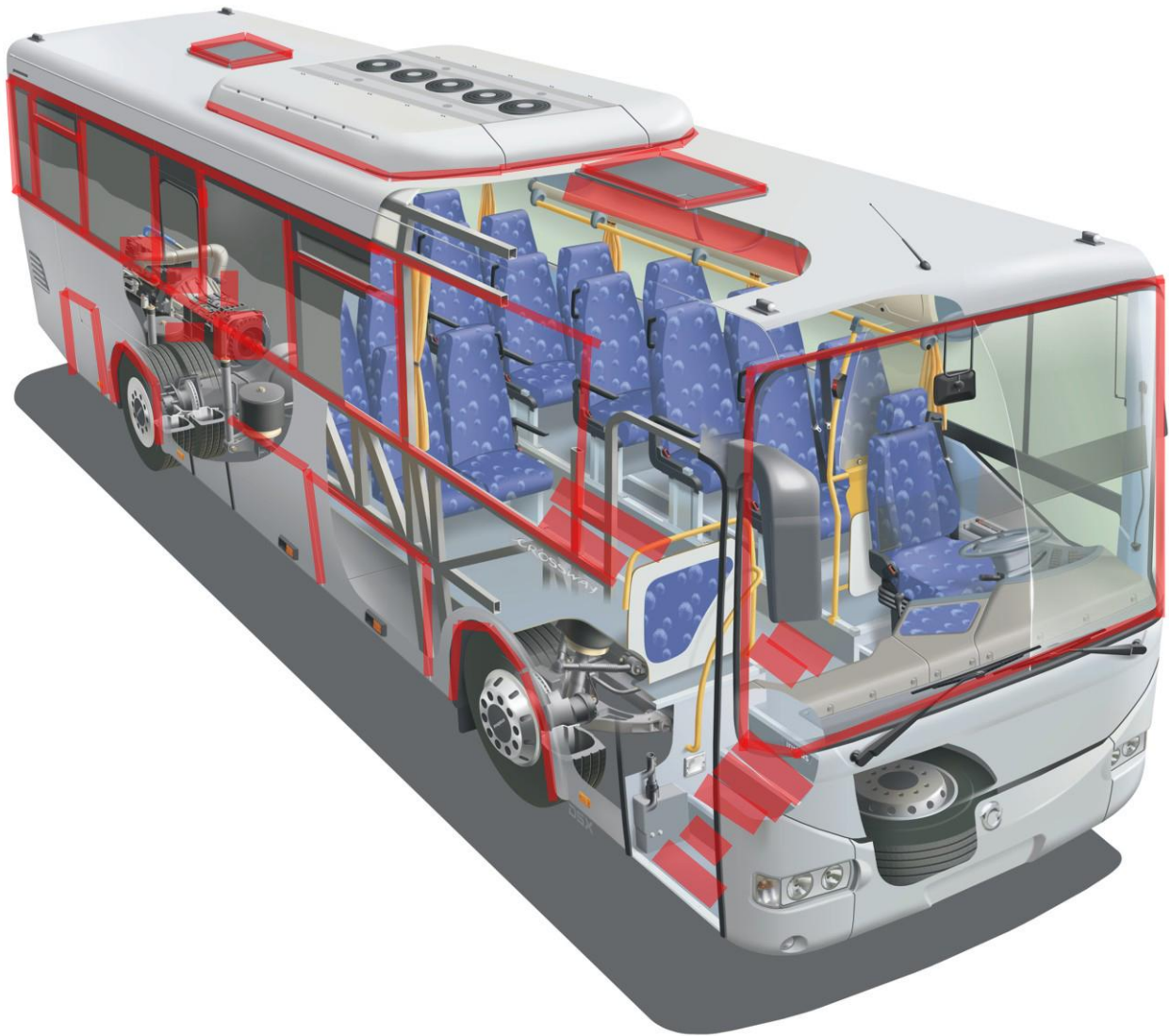
Zdroj: (8)

Technologie lepení nachází při hrubé stavbě karoserie stále větší uplatnění hlavně kvůli požadavkům na snížení hmotnosti karoserie. Dalším důvodem zvyšování podílu lepených spojů při stavbě karoserií automobilů je nižší energetická náročnost v porovnání se svařováním. (8)

Firma Iveco Czech Republic, a.s. aplikuje lepené spoje hlavně v následujících oblastech karoserie autobusů:

- zasklení (boční skla, zadní a čelní sklo)
- pás nadokenního oplechování
- víko motoru
- zadní panel
- podlaha v prostoru pro cestující
- podlaha zavazadlového prostoru
- boční oplechování karoserie
- spodní oplechování karoserie
- blatníky
- ventilace na střeše vozidla
- klimatizační jednotka na střeše vozidla
- ostatní drobné díly (výztuhy, krycí lišty, krycí plechy) (7)

Všechny tyto oblasti lepení karoserie autobusů jsou znázorněny na obr. 2 na další straně.



Obrázek 2: Použití lepidel u autobusů

Zdroj: Iveco Czech Republic, a.s.

2 ZÁKLADY TEORIE LEPIDEL A LEPENÍ

2.1 Základní pojmy

Na počátku této kapitoly bych ráda objasnila některé pojmy, které budou v práci nadále používány:

adherend = základní materiál, který je spojován lepením (někdy též označován jako substrát)

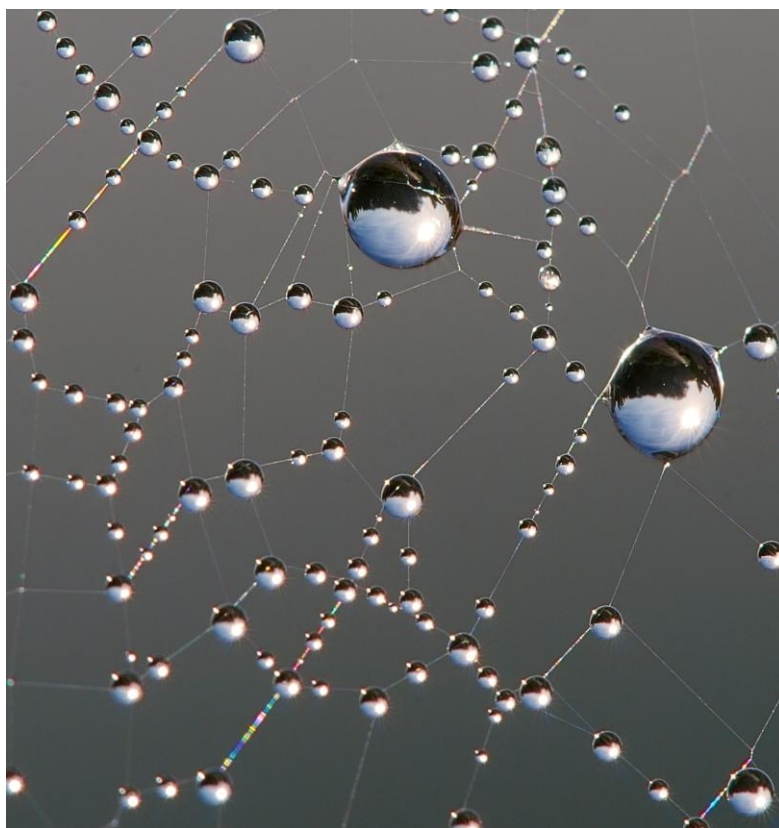
adhezivo = lepidlo, kterým se spojují adherendy

adheze = přilnavost různých materiálů

koheze = soudržnost různých materiálů (někdy také označována jako vnitřní adheze)

smáčivost = roztékavost lepidla po adherendu (schopnost lepidla smáčet určitou látku)

S adhezí a kohezí se nesetkáváme jen při lepení, ale i v životě obecně. Názorně to představují obrázky 3 a 4.



Obrázek 3: Adheze (přilnutí kapek k pavučině)

Zdroj: (5)



Obrázek 4: Koheze (soudržnost vody ve větších kapkách), adheze drží kapky na místě

Zdroj: (5)

2.1.1 Význam lepidel a tmelů

S lepidly a tmely se setkáváme všude kolem nás v přírodě i v našem každodenním životě. Mnoho podniků soustředěných na rozvoj a výrobu obstarávají trh s těmito materiály, které v podstatě používá dnes každý průmysl. Od kancelářských „post-it“ bločků, bezpečnostního skla na obuv pro kosmonautiku, až po „neolizovací“ poštovní známky. Hodně věcí, které považujeme za samozřejmost, by nemohlo existovat bez lepidel a tmelů. Pokud by se dala vyjádřit celková přidaná hodnota našeho hospodářství o relativně malé množství lepidla a tmelu, jež jsou používány, výsledek by byl ohromující. (1)

2.1.2 Definice lepidel a tmelů

Lepidla a tmely jsou často vyrobeny z podobných materiálů a někdy jsou používány pro stejné aplikace. Mají srovnatelné způsoby zpracování a základy způsobu jejich práce jsou taktéž podobné.

lepidlo – látka schopná udržet silně nejméně dva povrchy spolu trvalým způsobem

tmel – látka, která slouží jako pojivo nebo jako výplň otvorů

Lepidla a tmely jsou spolu často spojovány či zaměňovány, protože oba přilínají a těsní; obě látky musí odolávat provozním podmínkám v prostředí, kde jsou používány a zároveň jsou jejich vlastnosti závislé na způsobu použití a zpracování. Lepidla a tmely sdílejí také několik společných charakteristik:

- musí se chovat jako kapaliny v průběhu spojování s adherendy
- tvoří připevněný povrch pomocí adheze
- musí být odolné někdy k průběžné zátěži někdy k zátěži variabilní po celý svůj život
- přenáší a rozvádí zátěž mezi komponenty spoje
- musí vyplnit mezery a dutiny
- s ostatními prvky spoje musí poskytovat trvanlivost lepeného spoje (1)

2.2 Podstata lepení

Lepení je proces spojování materiálů (jinak označované jako adherendů), při kterém se dosahuje trvalého spojení stejných nebo jiných materiálů prostřednictvím lepidel (jinak zvaných adheziv). Lepidlo je látka schopná utvořit pevný a trvalý spoj mezi dvěma materiály. Zmíněná schopnost závisí na adhezi k povrchům lepených spojů a na kohezi samotného lepidla.

Adheze a koheze jsou dva podstatné faktory ovlivňující celkovou pevnost lepeného spoje.

V praxi rozlišujeme mechanické adhezní síly, které mají původ v mechanickém zakotvení (uchycení) lepidla v nerovnostech a pórech spojovaných materiálů, a specifické adhezní síly skládající se z chemických (např. primární chemické vazby) a fyzikálních sil (van der Waalovy mezimolekulární síly, difúzní síly, Londonovy disperzní síly, Keesomovy elektrostatické síly, Debeovy indukční síly, valenční adhezní síly apod.). Koheze je souhrn sil, kterými jsou částice jednoduché látky drženy pohromadě valenčními a mezimolekulárními silami (van der Waalovy síly). Koheze je označována jako vnitřní adheze a její velikost udává tzv. kohezní energie, kterou je možné vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních částic. Kohezní síly vznikají ve filmu lepidla. Adhezní a kohezní síly by měly být přibližně v rovnováze. (4)

Lepení se dá jinak označit též jako adhezní spojování dílů. Teorie lepení souvisí se vzájemným působením jednotlivých molekul. Se strukturou molekul souvisí i přilnavost, přičemž stále platí fyzikální či mezimolekulární síly a chemické vazby.

Dnes se nejčastěji uplatňují následující teorie adheze:

molekulová (adsorpční) teorie

Molekulová teorie vychází z obdoby jevu smáčení, adsorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a adheziva (lepidla). Je proto nutné, aby molekuly adherendu i adheziva měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit na dvě etapy: 1) přesun molekul adheziva k povrchu adheziva, 2) vzájemná interakce mezimolekulárních sil (van der Waalsovy) po přiblížení molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm až do dosažení adsorpční rovnováhy. Za předpokladu dostatečného molekulárního kontaktu adherendu a adheziva postačí van der Waalsovy síly k dobré pevnosti adhezního spojení (vzhledem k vysoké četnosti těchto sil). Malá pevnost adhezního spoje může být zapříčiněna omezeným kontaktem adherendu a adheziva, což úzce souvisí i se smáčením povrchu adherendu adhezivem.

elektrostatická teorie

Tento typ teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozdílných látek ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle toho je lepený spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Po jejich oddělení vznikne potenciálový rozdíl, který se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. Ovšem při podrobnějších studiích nebyl prokázán vzájemný vztah mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností, jež odpovídají adhezním spojení.

mechanická teorie

Teorie mechanická vychází z představy, že po průniku kapalného adheziva do trhlin a dutin lepeného povrchu, dojde po zatuhnutí adheziva k jeho „zaklínění“ v povrchu adherendu. Tyto druhy teorií adheze se dnes využívají sporadicky pouze ve speciálních případech (např. adheze pryžových směsí k textilním vláknům, výroba překližek).

difuzní teorie

Dle této teorie vzniká pevnost spoje vzájemnou difuzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (např. polymery) mohou navzájem difundovat. Průběh této difuze, která závisí hlavně na čase,

teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherendu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti látek (polymerů), ovlivňuje pevnost spoje. Difuzní teorie však nezahrnuje možnost spojení dvou materiálů, které vzájemně nedifundují, ale s úspěchem se lepí (např. kov – sklo).

chemická teorie

Podle chemické teorie pro získání kvalitního pevného spoje, který nevykazuje adhezivní ale kohezivní lom, je potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly vytvořením primárních chemických vazeb napříč rozhraním. Někdy takové vazby sice vznikají, lepení však vždy probíhá v termodynamických podmínkách (nikdy se neprovádí ve fyzikálním vakuu) a ty vznik chemických vazeb neumožňují. V případě vzniku těchto vazeb nelze jednoznačně tvrdit, že zvyšují pevnost spoje, neboť snahy zavést do adheziv či adherendů reakceschopné funkční skupiny často nevedly ke zlepšení vlastností adhezního spoje. (8)

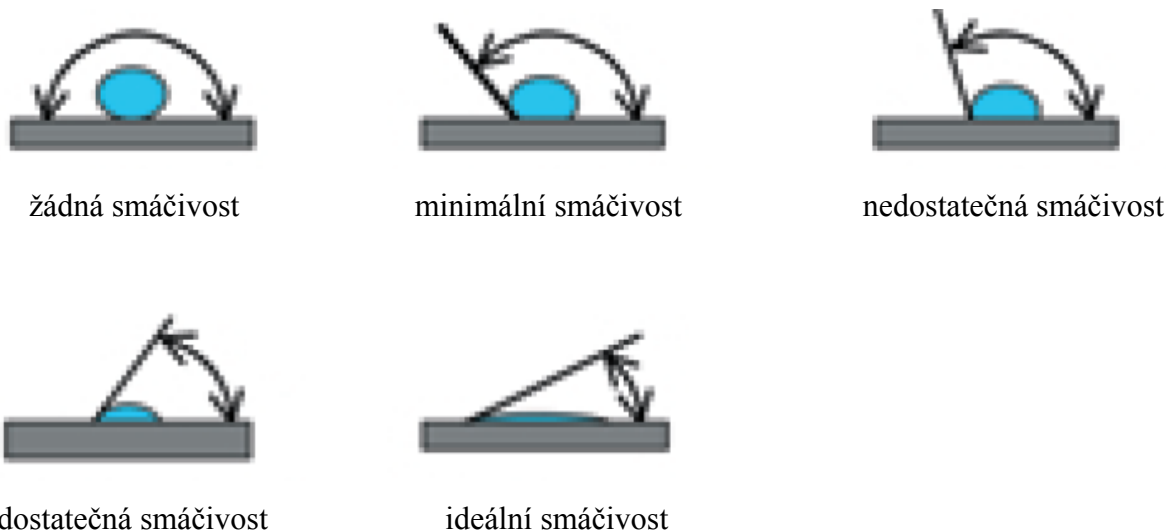
2.3 Smáčivost

Lepidla jsou nekovové materiály rostlinného a živočišného původu nebo připravené synteticky, které mají vysokou vnitřní soudržnost a přilnavost k povrchu tuhých látek. Nejčastěji vzniká dobrá přilnavost kapalných látek k tuhým látkám. Kapalná látka se dobře přizpůsobuje nerovnostem povrchu tuhých látek a zároveň je nevyhnutelné, aby kapalina tuhý povrch dokonale smáčela (rozlila se po něm). Když zajistíme, že se kapalná látka přemění do tuhého skupenstva v určitém časovém intervalu a jsou od ní stykové plochy smáčené, stává se za předpokladu adhezních vlastností lepidlem. Tento časový interval je od několika vteřin (např. kontaktní nebo tavná lepidla) až po několik hodin (např. lepidla tvrdnoucí ztrátou rozpouštědla, termoreaktivní lepidla tvrdnoucí polykondenzační anebo polymerizační reakcí). Nejčastěji rozlišujeme lepidla podle chemického složení a surovin, ze kterých jsou vyrobené. Jako hlavní kategorie tohoto třídění jsou lepidla živočišného původu, lepidla rostlinného původu a tmely.

Adhezi můžeme definovat jako přilnavostní sílu, tj. mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách, které se společně označují jako síly Van der Waalsovy. Van der Waalsovy síly jsou velmi slabé přitažlivé síly působící mezi nepolárními molekulami. Jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu. Dosah těchto mezimolekulárních sil je výrazně nižší než hloubka drsnosti mechanicky opracovaných ploch. Je tedy nutné, aby lepidlo vniklo do těchto povrchových nerovností a smáčelo dokonale obě lepené plochy.

Příznivá adheze závisí na dobré smáčivosti lepeného pevného povrchu tekutým lepidlem. Smáčivost souvisí s krajovým úhlem, který svírá okraj kapky lepidla se základním materiálem (adherendem), a tedy s povrchovou energií obou látek (lepidla a adherendu).

Pokud má lepidlo smáčet pevný povrch základního materiálu, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepeného materiálu. Nejvyšší povrchovou energii z kapalin má voda. Jestliže voda bude smáčet povrch základního materiálu, můžeme usoudit, že materiál bude smáčen i jinými kapalinami - lepidly. Smáčivost lepených povrchů se nejjednodušeji hodnotí kapkovou metodou (viz. obr. 5). Abychom dosáhli ideální smáčivosti, pak úhel, který svírá kapalina s pevným povrchem, by měl být minimální.



Obrázek 5: Druhy smáčivosti

Zdroj: (9)

2.4 Technologický postup lepení

Postup výroby lepeného spoje má následující základní fáze:

1) příprava adherendů

V této fázi je rozhodující smáčivost adherendu použitým lepidlem. Všechny úpravy slepovaných povrchů mají za cíl zvýšení smáčivosti povrchu lepidlem. K základním úpravám povrchů před samotným lepením se řadí metody fyzikální (např. broušení, tryskání, kartáčování, apod.) a metody chemické (např. odmašťování, moření, fosfatizace, apod.).

2) příprava lepidla

Způsob přípravy lepidla je závislý na čtyřech faktorech:

- druhu lepidla (chemická struktura, počet složek lepidla, atd.)
- době životnosti lepidla po uskladnění
- způsobu nanášení (velikost a tvar lepených povrchů)
- způsobu vytvrzování (teplota a tlak při vytvrzování)

3) nanesení lepidla

Aplikace lepidla je jakousi mezifází, která odděluje přípravné operace od vlastního vytvoření lepeného spoje. Cílem je vytvoření souvislé a rovnoměrné vrstvy lepidla v určité tloušťce. Většinou je lepidlo nanášeno a obě lepené plochy. Nanášení může být:

- ruční (např. štětcem, injekční stříkačkou)

- strojní (pistole a další zařízení)



Obrázek 6: Pistole pro vytlačení lepidla z kartuše

Zdroj: autor

4) montáž spoje

U této fáze se jedná o zafixování lepených dílů předepsaným tlakem a vytvoření vhodných fyzikálních a chemických podmínek pro tvorbu pevných vazeb, dokud nedojde k vytvoření adhezního spojení.

5) vytvrzování lepidla

Vytvrzování probíhá za normálních nebo zvýšených teplot a v případě potřeby za působení vnější síly.

6) kontrola spoje

- destruktivní (ohyb, smyk, odlupování)
- nedestruktivní (rentgen, ultrazvuk) (8, 12)

Na základě teorie lepení můžeme určit následující základní podmínky lepení:

- správná volba lepeného materiálu a lepidla
- správný návrh konstrukce spoje
- vhodná povrchová úprava základních materiálů
- dodržení předepsaného postupu při lepení
- utvoření fyzikálněchemických a jiných podmínek vzniku pevných vazeb. (4)

Při volbě materiálů k lepení se přihlíží na jejich chemické složení, polaritu, mechanické, povrchové, fyzikální a fyzikálněchemické vlastnosti. V případě lepidel je to chemické složení, viskozita lepidla, povrchové napětí, bod vzplanutí, způsob vytvrzování, tepelná roztažnost a mechanické vlastnosti.

Princip lepení a pracovní postup při něm se všeobecně skládá z přípravy povrchu lepených částí, přípravy lepidla, nanášení lepidla, montáže spoje a utvoření pevného spoje (vytvrzování).

2.4.1 Příprava materiálů k lepení

Tato příprava se skládá z dělení, obrábění, čištění, odmaštění a slícování lepených dílů. Cílem přípravy povrchů je dosažení maximální adheze a zabránění podoxidování lepidla. Povrchová úprava adherendu je jednou z nejdůležitějších operací při lepení. Navrhuje se podle druhu a stavu lepeného materiálu, podle druhu použitého lepidla, podle provozních podmínek a životnosti spoje, podle výrobních nákladů apod. Na čištění a odmašťování se používá alkalická odmašťovadla, tamponování rozpouštědly nebo odmašťování v parách rozpouštědla. Není doporučeno používat laková rozpouštědla a benzin. Mezi vhodné prostředky patří např. aceton, technický líh, toluen, éter, perchloretylen, atd. Často se používá moření materiálů v různých kyselinách. V případě moření se většinou dosahuje vyšší pevnosti spoju jako při mechanické úpravě povrchu. Z pohledu kvality je důležitá též drsnost povrchu. (4)

2.4.2 Úprava lepidel a lepicích směsí

Cílem úpravy lepidel před jejich vlastním zpracováním je požadavek na získání jejich optimálních vlastností, jež vyhovují danému způsobu použití. Velká část lepidel se dá použít i bez úprav, ale některá lepidla, ať už na přírodní či syntetické bázi je výhodné, v některých případech i nutné upravovat.

Aby se lepidlo dobře nanášelo a vytvořilo rovnoměrný film s optimální tloušťkou, je zapotřebí upravit jeho viskozitu. Viskozitu lepidla upravujeme většinou rozpouštědlem (buď tím, jaké již lepidlo obsahuje anebo rozpouštědlem doporučeným od výrobce).

Naopak některá lepidla je nutné použít hustější a je tedy zapotřebí vhodných přísad plniv a nastavovadel. (2)

2.5 Rozdělení lepidel

V technické praxi se lepidla dělí podle několika aspektů. Nejzákladnějším hlediskem pro rozdělení lepidel je jejich chemické složení. Dle původu základní složky se lepidla dělí na přírodní a syntetická. Přírodní lze dále dělit na organická - živočišného nebo rostlinného původu (škrob, živočišné klišy, atd.) a anorganická (vodní sklo, sádra, cement, apod.), syntetická dále na lepidla na bázi reaktoplastů, termoplastická, elastomerová (kaučukovitá) a směsná.

Dalším hlediskem je dělení na základě fyzikálního charakteru, kde se rozlišují lepidla pevná, polopevná a tekutá. Poslední zmíněná – tekutá lepidla – je možno opět dále rozdělit na roztoková, disperzní, pasty a pěny. U reaktivních lepidel je ještě možné využít rozdělení pro typ reakce, který je potřebný pro vytvrzení lepidla.

2.5.1 Dělení lepidel

A) podle principu tuhnutí ve spoji

1) lepidla tuhnoucí vsáknutím a odpařením rozpouštědel ve spoji:

- rozpouštědlová lepidla disperzní
- rozpouštědlová lepidla roztoková
- tavná lepidla
- lepidla stále lepivá

2) lepidla reaktivní

- lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí
- lepidla tuhnoucí kontaktem s kovy bez přístupu vzduchu (anaerobní)
- lepidla tuhnoucí po přidání tvrdidel (obvykle dvousložková)
- lepidla tuhnoucí zvýšenou teplotou

B) podle chemické báze

1) lepidla na přírodní bázi

- lepidla anorganického a minerálního původu (např. vodní sklo, asfaltová, fosfátová, silikátová, metalická, keramická lepidla)
- lepidla organického původu (např. glutinová, kaseinová, albuminová, škrobová, dextrinová lepidla)

2) lepidla na syntetické bázi

- např. epoxidová, polyuretanová, akrylátová, silikony, apod.

C) podle počtu složek lepidel

1) jednokomponentní

2) dvoukomponentní

2.6 Tmely

Tmely tvoří zvláštní skupinu. Jsou kapalně nebo tvářitelné látky schopné vytvářet silnější vrstvy a vyplňovat otvory či štěrbiny mezi tuhými materiály s nerovnoběžnými, tvarově komplikovanými, hrubými anebo relativně vzdálenými stykovými plochami.

Od všech druhů tmelů se požaduje schopnost vyplňovat daný prostor, pokud možno bez následného smršťování a propadnutí (a to trvalého nebo dočasného).

Další charakteristiky jsou dané složením, popř. úpravami tmelu. Předpokladem jakosti je přiměřená adheze k základním materiálům.

Tmely se vyrábí z více organických a anorganických materiálů a obvykle obsahují dvě funkční rovnocenné složky – plnivo a pojivo. Ačkoli se prodává i práškový tmel, k použití se musí upravit tak, aby měl pastovitou anebo sirupovitou konzistenci.

Dle způsobu tuhnutí ve spáře lze tmely zařadit do podobných skupin jako lepidla. Důležitým hlediskem na rozlišení druhů tmelů je účel použití. Podle toho se potom tmely dělí na:

- lepidivé
- výplňové a těsnicí
- antikorozi a izolační
- teplem tvářitelné.

Toto hledisko je ovšem třeba považovat jen za rámcové, protože některé tmely se dají zařadit současně do více skupin.

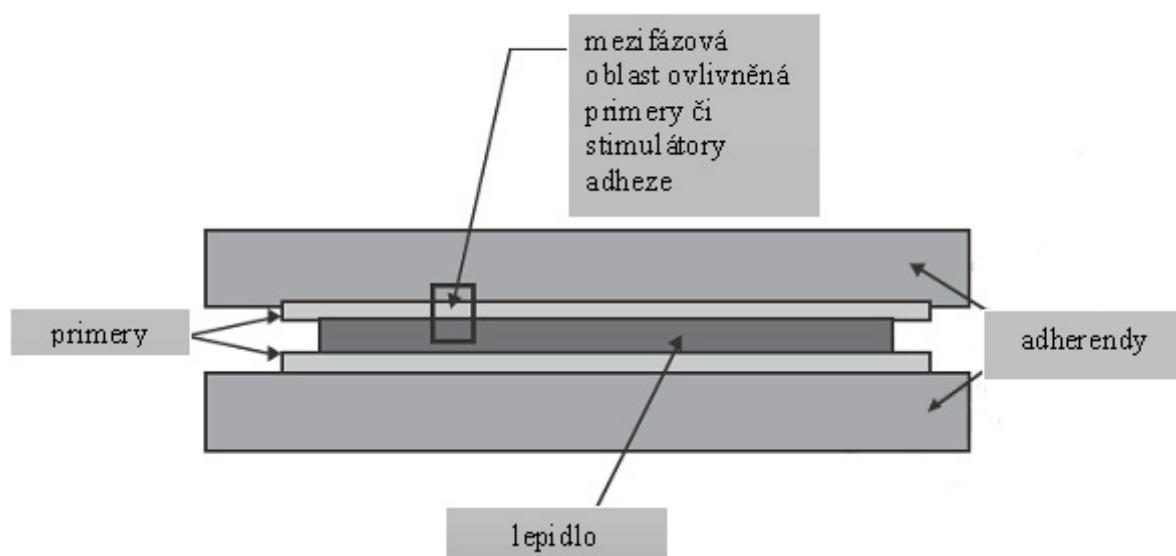
Doplňkovým hlediskem může být i rozřídění tmelů podle materiálů, na jaké je tmel použit (tmely na dřevo, beton, kovy, sklo, atd.)

Z vlastností, které tmely podstatně odlišují od lepidel, můžeme uvést především tuhost. Při zpracování si tmel může zachovat svou tvárnost i ve spáře a po vyjmutí ze spáry je možné buď ho znovu použít nebo tmel po aplikaci ztuhne či ztvrdne a ze spáry ho lze vyjmout jen za předpokladu destrukce spoje. (2)

2.7 Primery a stimulatory adheze

Některá lepidla a tmely mohou poskytovat pouze okrajovou přilnavost k určitým typům substrátů. To by mohlo vést k nízké povrchové energii na substrátu vzhledem k lepidlu nebo k hranici vrstvy, která má slabou soudržnost. Substrát může umožňovat prostup vlhkosti a chemických látek.

Primery a stimulatory adheze přispívají ke zlepšení adheze. Přidávají novou, obvykle organickou vrstvu na rozhraní, jak je níže zobrazeno. (1)



Obrázek 7: Primery a stimulatory adheze poskytují silnější oblast mezifáze s lepší přilnavostí a stálostí.

Zdroj: (1)

Hlavní rozdíl mezi primery a stimulatory adheze je fakt, že primery jsou kapaliny, které se použijí na substrát jako relativně těžký nátěr před použitím lepidla. Adhezní stimulatory jsou kapaliny, které tvoří velmi tenkou vrstvu mezi substrátem a lepidlem. Chemické vazby obvykle vznikají mezi stimulatory adheze a lepidlem a také mezi stimulatory adheze a povrchem substrátu. Tyto vazby jsou silnější než vnitřní chemické vazby uvnitř lepidla. Tyto nové vazby rovněž poskytují oblast rozhraní, která je více odolná vůči chemickým útokům z okolního prostředí. Stimulatory adheze jsou také často označovány jako spojovací činidla.

Stimulatory lze použít buď začleněním přímo do lepicí směsi, nebo jejich nanesením na podklad, podobně jako primer.

Primery jsou tekutiny, které mohou být použity na substrát před aplikací lepidla či tmelu. Důvody pro jejich použití jsou různé a mohou být (buď jednotlivě nebo v kombinaci) následující:

- ochrana povrchů po ošetření (primery mohou být použity k prodloužení času mezi přípravou povrchu adherendu a lepením)

- rozpuštění nízkých úrovní organických znečištění, které by jinak zůstaly na rozhraní jako slabá mezní vrstva
- podpora chemické reakce mezi lepidlem a adherendem
- zamezení koroze základního materiálu během provozu
- slouží jako vrstva ke zvýšení fyzických vlastností a zlepšení sil ve vrstvách

Možné důvody „selhání“ prumerů:

- aplikovaná vrstva je příliš silná
- příliš dlouhý čas mezi aplikací a vytvrzováním umožňující hydrolyzu a kontaminaci
- zpěněná a porézní vrstva způsobená příliš rychlým tepelným „dozríváním“
- vliv rozpouštědel na lepidlo (1)

2.8 Výhody a nevýhody lepení

Každý aplikovaný spoj je třeba zvážit s ohledem na jeho specifické požadavky. Jsou okamžiky, kdy jsou lepidla nejhorší možností spojení dvou základních materiálů, ale naopak jsou okamžiky, kdy lepidla mohou být nejlepší nebo jedinou možnou alternativou. Je třeba vzít v úvahu čas, problémy a náklady, které jsou potřebné pro použití lepidla. Například některé plasty mohou vyžadovat nákladné povrchové přípravy procesů tak, aby lepidlo mohlo smáčet jejich povrch.

Na druhou stranu, některé aplikace by nemohly existovat bez lepení. Příkladem je spojování keramických nebo elastomerových materiálů, spojování velmi tenkých substrátů, povrchů pláství medu a mnoho dalších aplikací. Existují i některé aplikace, kde jsou lepidla zvolena z důvodu jejich nízkých nákladů a schopnosti snadného a rychlého spojení (např. obaly, spotřební zboží, spojování velkých ploch). Konvenční svařování nebo mechanické spojování někdy prostě není možné. Základní materiály se mohou vzájemně vylučovat pro metalurgické svařování v důsledku jejich koeficientů tepelné roztažnosti, chemie nebo tepelného odporu. (1)

2.8.1 Výhody

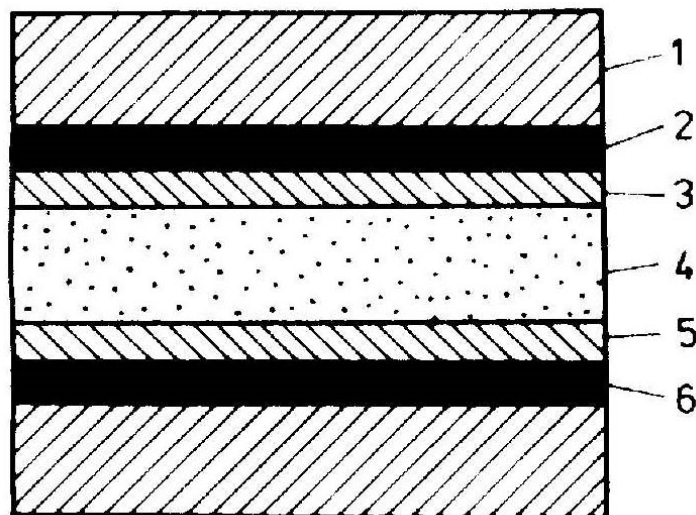
- poskytují velkou oblast pro rozložení napětí
- poskytují vynikající únavovou pevnost
- tlumí vibrace a absorbují nárazy
- snižují nebo zabraňují galvanické korozi mezi rozdílnými kovy
- umožňují spojení všech tvarů a tloušťek
- možnost spojování nepravidelných povrchů
- utěsnění spojů
- spojování jakékoliv kombinace obdobných nebo odlišných materiálů
- často jsou levnější a rychlejší než mechanické spojování
- poskytují přitažlivé síly vzhledem k hmotnosti
- nenarušují vnitřní strukturu základních materiálů
- nenarušují vzhled lepeného celku
- nezeslabují průřez spoje
- nižší hmotnost výrobku

2.8.2 Nevýhody

- povrchy musí být pečlivě očištěny
- nutnost dodržování technologických procesů
- může být zapotřebí delší doba léčby (ve zdravotnictví)
- omezení horních provozních teplot (okolo 177 °C)
- při požadavku na velkou pevnost potřeba delší doby vytvrzování
- závislost doby vytvrzování na okolním prostředí (teplota, vzdušná vlhkost) (1)

2.9 Lepené spoje

Z pohledu struktury lze každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný lepený spoj dvou základních materiálů považovat za celek tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev. (5)



Vysvětlivky k obrázku:

1 – základní materiál (adherend), 2 – adhezní zóna, 3 – přechodová adhezní zóna, 4 – kohezní zóna, 5 – přechodová kohezní zóna, 6 – adhezní zóna

Obrázek 8: Struktura lepeného spoje

Zdroj: (5)

2.9.1 Konstrukce lepených spojů

Lepenou konstrukci je třeba rozdělit na co nejméně složité části vhodné k lepení. Přitom je nutné dodržovat technologický předpis (např. vyhnout se dvojitému lepení). Zároveň není vhodné lepit dílce vystavené při montáži odlupujícím silám či dílce s velkým a složitým zakřivením. Mechanické namáhání musí být rozděleno rovnoměrně, aby se nesoustředilo pouze v místě spoje. Spoj by měl být namáhán v tahu a smyku a minimálně v odlupování. Plocha spoje musí být dostatečně velká a napětí rovnoměrně rozloženo v celém lepeném spoji. Lepené spoje by měly mít v místě spojení stejné anebo podobné koeficienty roztažnosti. Nejběžnější jsou přeplátované spoje. Lepších výsledků se dosahuje u tenkých adherendů. Po lepení se mohou v místě spoje vrtat otvory a např. nýtovat. Lepidlo si konstruktér vybírá na základě požadované pevnosti spoje, dále dle technologie zpracování lepidla a dle ceny. Pro většinu lepených spojů platí, že pevnost ve smyku není příliš závislá v rozmezí tloušťky vrstvy lepidla 0,05 – 0,4 mm. Pevnost ve smyku zpravidla stoupá s pevností adherendu. (4)

2.9.2 Napětově-deformační stav a pevnost lepených spojů

Nosnost a v některých případech i deformace lepených konstrukcí závisí na mechanických vlastnostech lepeného spoje a na napětově-deformačním stavu. Napětově-deformační stav je daný deformačními vlastnostmi lepeného spoje a lepených materiálů, geometrií spoje a způsobem namáhání. To se vztahuje jak na konstrukce, tak i na všechny ostatní druhy vzorků používané při zkoumání pevnosti lepených spojů.

Napětově-deformační stav lepených spojů je obvykle nerovnoměrný a lom spoje začíná v místě, kde napětí dosahují pro daný spoj kritických hodnot. Objektivní informaci o pevnosti spoje a adhezních vazeb lze tedy získat jen na základě posouzení stavu jejich napětí anebo při použití takových vzorků, u kterých nerovnoměrnost rozdělení napětí na ploše spoje můžeme zanedbat.

V praxi se lze setkat většinou se vzorky a lepenými spoji v konstrukcích, které jsou charakterizovány podstatnou nerovnoměrností napětí. Na kvantitativní hodnocení rozdělení napětí je nevyhnutelné použití poměrně rozsáhlého a složitého matematického aparátu. Přitom se neobejdeme bez potřebných vstupních údajů (tloušťka, kritéria pevnosti spoje, deformační vlastnosti spoje, atd.). Při relaxačních procesech se napětí ve spoji časem mění a může nastat jeho podstatné přerozdělení.

Experimentální hodnocení pevnosti lepeného spoje proto ve většině případů vede k určení lomového namáhání spoje nebo k určení tzv. „střední pevnosti“ tím, že se lomové namáhání dělí lepenou plochou (viz. vzorec 1). Takové hodnocení poskytuje přinejmenším nejednoznačné výsledky. Často tento postup způsobuje nesprávné vyhodnocování výsledků výzkumu a v konečném důsledku snižuje efektivnost využívání lepených spojů. (3)

$$t_b = \frac{F_{\max}}{S} \quad [\text{MPa}], \quad (\text{vzorec 1})$$

kde:

t_b – smyková pevnost

F_{\max} – lomové namáhání

S – plocha

$$S = b \times l \quad [\text{mm}^2], \quad (\text{vzorec 2})$$

kde:

b = šířka přeplátovaného spoje

l = délka přeplátovaného spoje (4)

Kvalitu lepeného spoje lze ovlivnit:

- 1) způsobem nanášení lepidla
- 2) tloušťkou nanesené vrstvy
- 3) podmínkami při vytvrzování (tlak, teplota, čas)
- 4) použitím ultrazvuku
- 5) tepelné ovlivnění různými zdroji ohřevu (infračervený či laserový paprsek)
- 6) přípravou povrchu materiálu
- 7) úpravou lepidla a jeho použitím. (5)

2.9.3 Nejčastější příčiny poruch lepených spojů

Lepený spoj je velmi náročný systém a jeho kvalita či počet poruch závisí na mnoha faktorech. Základní poruchy lepených spojů se dělí na adhezní a kohezní. Při správném použití kvalitních konstrukčních lepidel se spoj obvykle poruší uvnitř vrstvy lepidla – jedná se o kohezní poruchu. Pokud dojde k odtržení spoje mezi vrstvou lepidla a lepeným materiálem, jde o poruchu adhezní. (5)

Nízká pevnost

- a) nepravý spoj
 - příčinou je tenká vazbová vrstva, která je v podstatě způsobena:
 - nesprávnou technologií lepení (tenká vrstva lepidla, nesprávné nanášení)
 - nesprávným výběrem materiálu (nedostatečná smáčivost adherendu, nevhodné vzájemné mechanické vlastnosti, negativní reakce mezi lepidlem a materiálem)
- b) vznik koncentrace napětí
 - zapříčiněné následujícími skutečnostmi:
 - lepidlem (nevhodný tlak při vytvrzování, nesprávná fixace)
 - materiály mající skryté chyby (dutiny, praskliny, únava materiálu, nedostatečné vytvrzení lepidla, vnitřní napětí, nevhodné krystalické složení, materiál s nízkou pevností pro dané namáhání)
 - nerovnoměrností lepené vrstvy zapříčiněné např. špatným nanášením lepidla, špatnou fixací při vytvrzování, vysokou viskozitou lepidla, nerovnoměrnou zrnitostí plniva)
 - nesprávnou konstrukcí spoje (nevhodný poměr plochy spoje k tloušťce vrstvy lepidla, nevhodný typ spoje pro dané namáhání)
- c) nevhodná tloušťka vrstvy lepidla

- způsobená nevhodnou viskozitou lepidla

Nízká odolnost složek spoje proti prostředí

- jedná se o ztrátu pevnosti vlivem podmínek působících mimo lepený spoj
- příčinou je většinou proniknutí agresivních látek do spoje, nevhodný výběr materiálů pro dané prostředí, vlivy způsobující stárnutí, nízká teplotní odolnost složek lepeného spoje, nedokonalá popř. žádná povrchová úprava, koroze.

Nízká životnost

- ztráta pevnosti působením následujících příčin ve spoji:
 - chyby vzniklé zejména při technologii lepení (nezreagované zbytky tvrdidel vyvolají korozi adherendu, migrace k povrchu lepidla zapříčiní vznik tenké vrstvy už v hotovém spoji)
 - nevhodný výběr materiálu
 - některé parametry dynamického namáhání vyvolají předčasnou únavu spoje a jeho destrukci (vysoká frekvence kmitů, rezonance, nerovnoměrnost)

Vzhledové chyby

- důležité jsou v případě, kdy je lepení součástí procesu dokončení výrobku
 - přetečení vytvrzeného lepidla (další opracování je nevyhnutelné)
 - nevhodná barva lepidla vzhledem k ostatním materiálům

Funkční nedostatky

- chyby lepeného spoje, které ovlivňují funkčnost výrobku
 - elektroizolační vlastnosti lepidla (v případech, kdy se nemá narušit vodivost) (5)

2.9.4 Pevnostní parametry lepených spojů

K hodnocení pevnosti lepených spojů při krátkodobém namáhání se nejvíce užívají tři parametry: střední pevnost, maximální napětí a energie porušení.

Střední pevnost – je pevnostní parametr charakterizovaný napětím, které je dané poměrem síly potřebné pro lom k lepené ploše (viz. vzorec 1).

Často se používá v praxi při zkouškách kvality lepení, ale i ve výzkumných pracích. Jeho široké použití se vysvětluje jednoduchostí a tím, že při určování tohoto parametru se používají experimentální, jednoduše měřitelní údaje.

Na parametr střední pevnosti ve smyku má významně vliv geometrie vzorku a deformační vlastnosti všech jeho složek, především místo spoje. Například při zvýšení zkušební teploty se současně mění pevnost a deformovatelnost v místě spoje. Snížení pevnosti lepidla snižuje parametr střední pevnosti spojů, ale zvýšení jeho deformovatelnosti obvykle pomáhá rovnoměrnějšímu rozdělení napětí. Přesto se vliv zvýšení teploty může projevovat velmi rozdílným způsobem. Analogický jev je možné pozorovat při návrhu spoje či při přidání plastifikátorů (= látka zlepšující zpracovatelnost hmot) do lepicí směsi. (4)

Maximální napětí

Většina způsobů zkoušení lepených spojů nezabezpečuje rovnoměrnost namáhání všech adhezivních vazeb spoje a spoje se začínají lámat tam, kde se projevuje maximální napětí. Z fyzikálního hlediska parametr maximálního napětí má blíže k pevnosti adhezivních vazeb daného páru lepidlo – substrát, jako parametr střední pevnosti. Prakticky jedinými způsoby hodnocení maximálního napětí jsou výpočtové metody.

Poněvadž experimentálně je možné nejpřesněji určit namáhání, spolehlivost výpočtů bude daná tím, jak teoretické křivky souhlasí s experimentálními závislostmi střední pevnosti od rozdílných parametrů.

Protože maximální napětí je parametrem na hodnocení adhezivní pevnosti, je možné ho využít při výpočtu přímo:

$$\tau_{str} \leq \frac{\tau_{max}}{\sqrt{\frac{K_{\sigma}^2}{2} + K_{\tau}^2}} \quad (\text{vzorec 3})$$

kde:

τ_{str}, τ_{max} - střední a maximální tangenciální napětí

K_σ, K_τ - koeficienty koncentrace normálových a tangenciálních napětí.

Ve výpočtech můžeme hodnotu τ_{\max} přirovnávat hodnotě dovoleného napětí ve smyku anebo stříhu.

Energie porušení (lomu)

Energetický parametr se používá při hodnocení spojů namáhaných způsobem nerovnoměrného odtrhování. Přitom je třeba odlišovat výpočet energie lomu při odlupování měkkých materiálů a při nerovnoměrném odtrhnutí masivních a tvrdých lepených materiálů, i když je třeba brát v úvahu ztrátu energie na deformaci lepených materiálů.

Při destrukci nerovnoměrným odtrháváním spojů tvrdých konstrukčních materiálů, kovů, dřeva apod. nastává mimořádně nerovnoměrné rozdělení napětí podél místa spoje, což způsobuje, že lomová energie se určuje poměrně nepřesně. Pokud je výpočet energie spojený s napěťově-deformačním stavem, tak energie měřená „integrálně“ musí být funkcí parametrů modelu (ačkoliv existují předpoklady o nezávislosti energie od geometrie spoje). Dalo by se říci, že při použití energetické metody vyvstanou před výzkumníky stejné problémy jako při použití zřetelněji se projevujícího parametru maximálního napětí. (4)

3 URČENÍ METODIKY ZKOUŠENÍ

3.1 Obecná metodika zkoušení (zkoušky pro hodnocení lepených spojů)

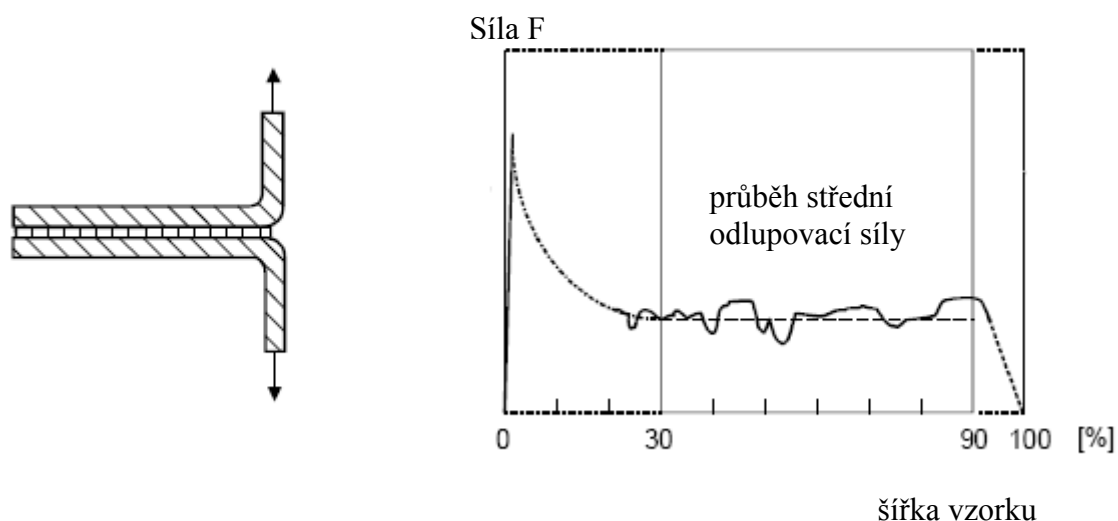
Pro hodnocení lepidel jsou používány normalizované zkoušky lepených spojů:

- a) zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem

Zkušební vzorek se skládá ze dvou přeplátovaných plechů o předem daných rozměrech 150×20 mm, přičemž délka přeplátování je 10 mm. Konstantní tloušťka vrstvy lepidla je zajištěna distančními drátky o průměru 0,2 mm v místě spoje. Zkouší se při teplotě 23 °C. Z této zkoušky se vyhodnocuje pevnost ve smyku a typ porušení lepeného spoje.

- b) zkouška stanovení pevnosti lepených spojů v odlupování podle německé národní normy DIN 53 282

Vzorek pro zkoušení se skládá ze dvou plechů ohnutých o 90° o rozměrech 275×30 mm, lepená plocha má rozměry 175×30 mm. Neměnná tloušťka vrstvy lepidla je opět zajištěna drátky o průměru 0,2 mm v místě spoje. Vyhodnocuje se střední odlupovací pevnost definovaná jako střední odlupovací síla podělená šířkou vzorku a dále se vyhodnocuje typ porušení lepeného spoje. Zkoušecí teplota: 23°C. (8)



Obrázek 9: Zkouška dle DIN 53 282

Zdroj: (11)

c) hodnocení přilnavosti lepidla

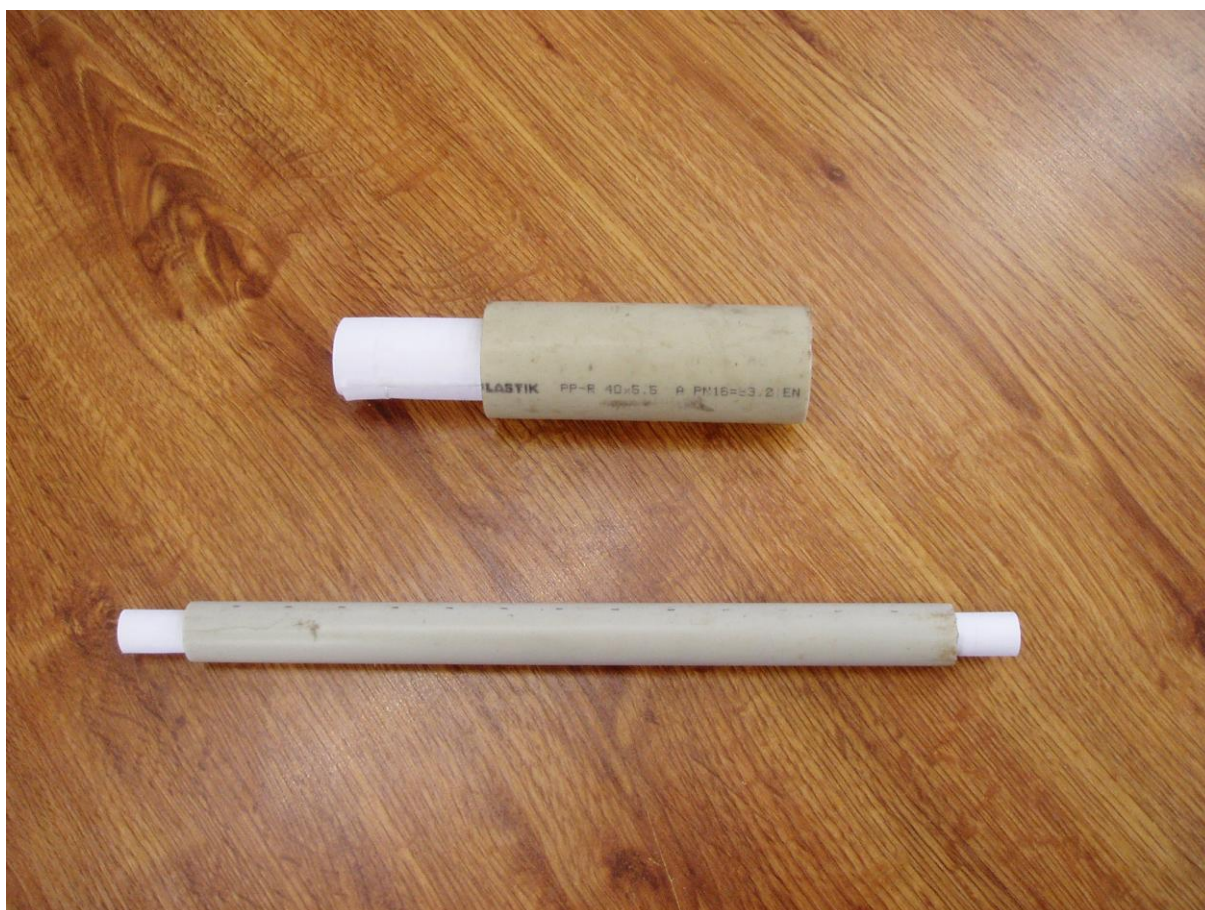
Je to v podstatě zjednodušená zkouška odlupováním. Při hodnocení přilnavosti lepidla k základnímu materiálu se vychází z německé normy VDA 230-201. Hodnocen je typ porušení lepeného spoje pro různé kombinace maziv, lepidel a substrátů (základních materiálů). (8)

3.2 Metodika zkoušení pro porovnávání rychlosti vytvrzování lepidel

Tato metodika není normalizována a úkolem této práce je nalezení nejvhodnější metodiky, která by objektivně posoudila rychlost tuhnutí jednosložkových lepidel různých výrobců. Jak již bylo zmíněno na začátku, tyto tmely tuhnou vlivem působení vzdušné vlhkosti.

Společnost Iveco Czech Republic, a.s. dodala ke zkoušení potřebné tmely.

Pro nalezení nejvhodnější metodiky se lepidlo vytlačilo do předem připravených papírových „formiček“. Na počátku zkoušení a zkoumání metodiky byly zvoleny dva tvary a různé rozměry: 1) kruhový profil o průměrech 14 mm a 28 mm (viz. obr. 10), 2) čtvercový profil 25×25 mm (viz. obr. 11). Pro kruhové profily byl zvolen jako forma měkký papír, z důvodu lepší poddajnosti. Pro čtvercový profil bylo vhodnější zvolit tvrdší papír (karton). Lépe drží tvar a není náchylný k tvorbě různých prohloubenin a důlků při manipulaci.



Obrázek 10: Příprava forem pro zkoušené lepidlo – kruhové profily

Zdroj: autor



Obrázek 11: Příprava forem pro zkoušené lepidlo – čtvercový profil

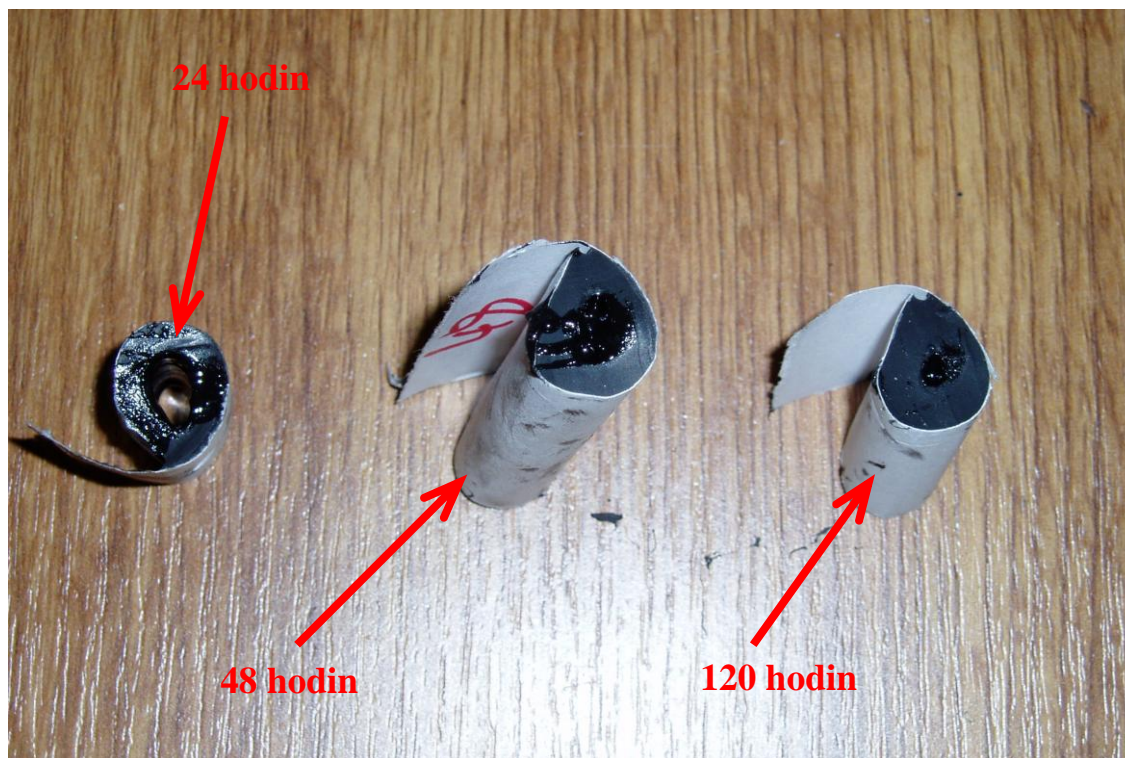
Zdroj: autor

Pro hledání metodiky bylo vybráno lepidlo BETAFILL 10215. Po vytlačení z kartuše je poměrně tekuté a pro začátky zkoušení bylo tudíž ideální. Dobře se roztékalo do předem připravených forem a nevznikala zde nevyplněná místa.

Kruhové profily se moc neosvědčily. I když je BETAFILL 10215 poměrně tekutý, vzorek se nepodařilo vyplnit souměrně a bylo obtížné změřit vrstvu vytvrzení, hlavně u kruhového profilu o průměru 14 mm.

Kruhový profil – \varnothing 14 mm

Na obrázku 12 je dobře vidět nepravidelnost vzorku, ačkoli forma měla přesný tvar. Obtížnější bylo i měření vytvrzené vrstvy lepidla. U kruhových profilů byl vzorek změřen ze 4 míst, aby byla průměrná hodnota co nejpřesnější.



Obrázek 12: Průběh vytvrzování – vzorek kruhového profilu, \varnothing 14 mm

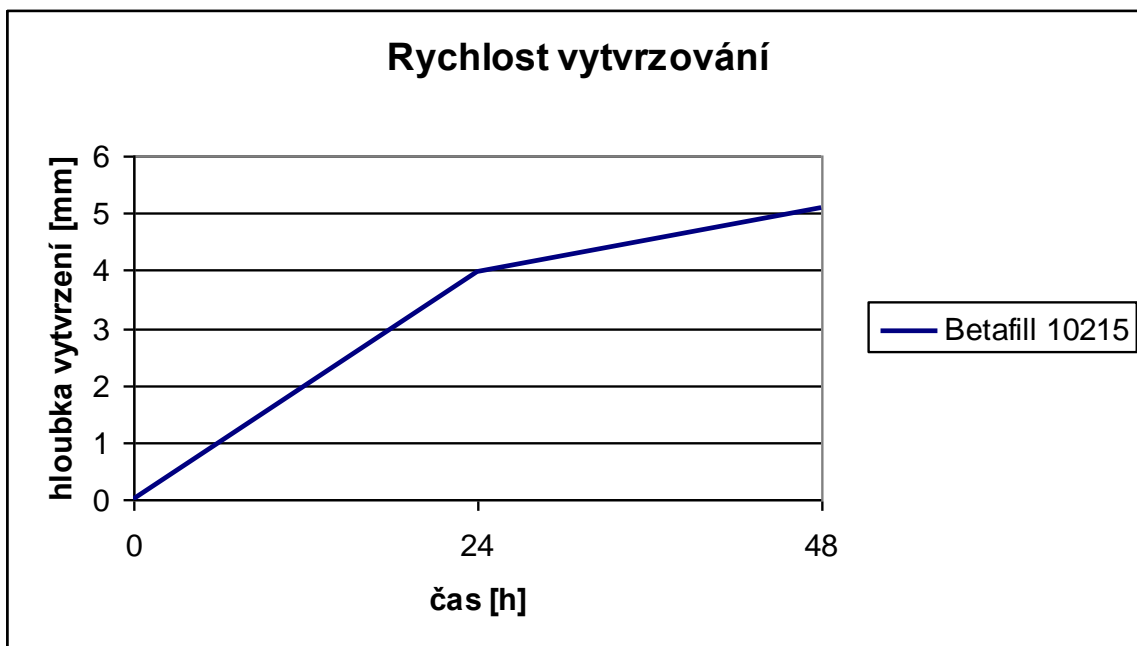
Zdroj: autor

Tabulka 3 obsahuje aritmetické průměry z naměřených dat. U tohoto malého vzorku se ukončilo měření po 48 hodinách. Byl proveden ještě jeden řez po 120 h, který již nebyl měřen z důvodu poznání, že kruhové profily nejsou pro stanovení metodiky vhodné.

Tabulka 3: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – kruhový profil \varnothing 14 mm

kruhový profil, \varnothing 14 mm	vrstva vytvrzení [mm]		
	0 h	24 h	48 h
BETAFILL 10215	0	3,975	5,075

Zdroj: autor

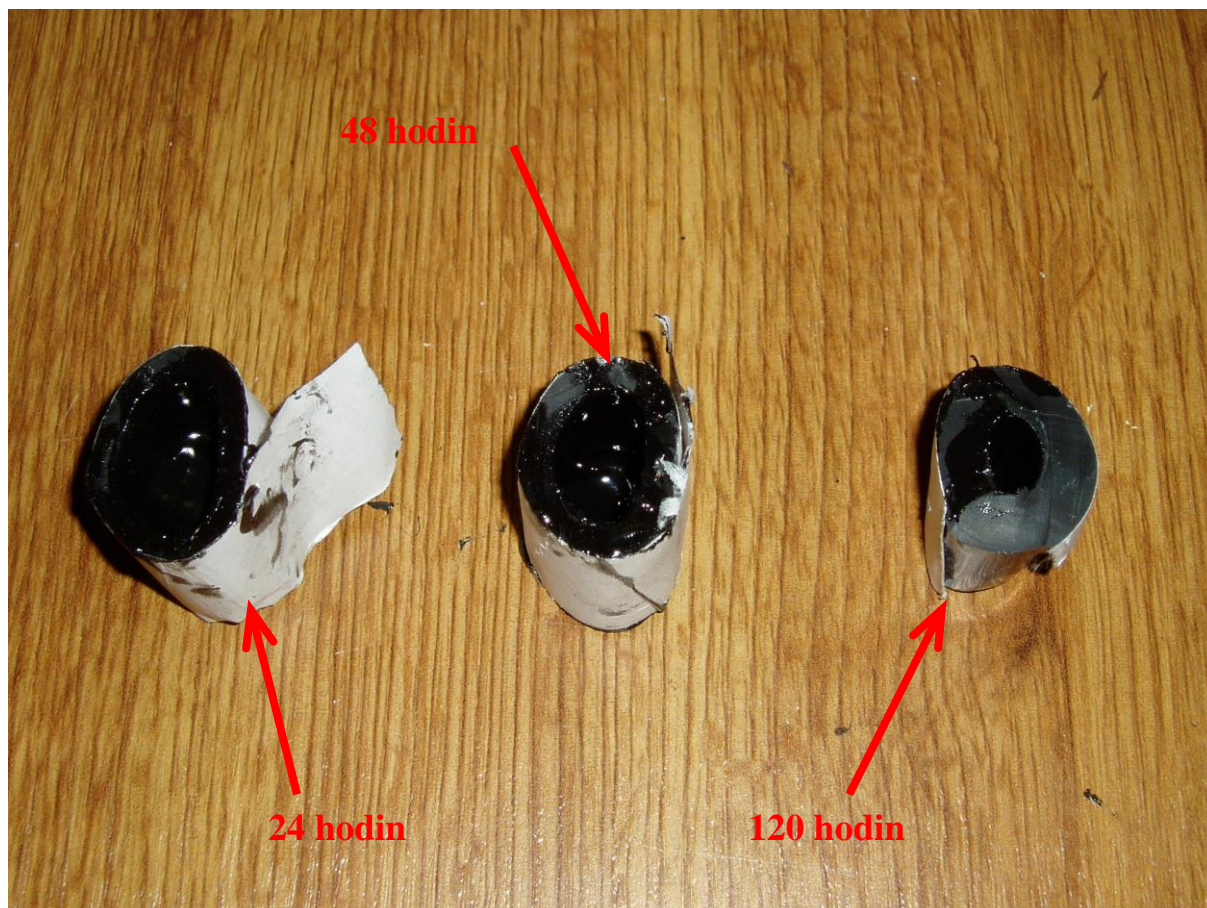


Obrázek 13: Graf rychlosti vytvrzování – kruhový profil \varnothing 14 mm

Zdroj: autor

Kruhový profil – \varnothing 28 mm

Tento vzorek je též poměrně nepravidelný. Avšak u tohoto probíhalo měření o trochu lépe než u předchozího vzorku. I tento vzorek byl změřen ze 4 míst, aby byla průměrná hodnota co nejpřesnější.



Obrázek 14: Průběh vytvrzování - vzorek kruhového profilu, \varnothing 28 mm

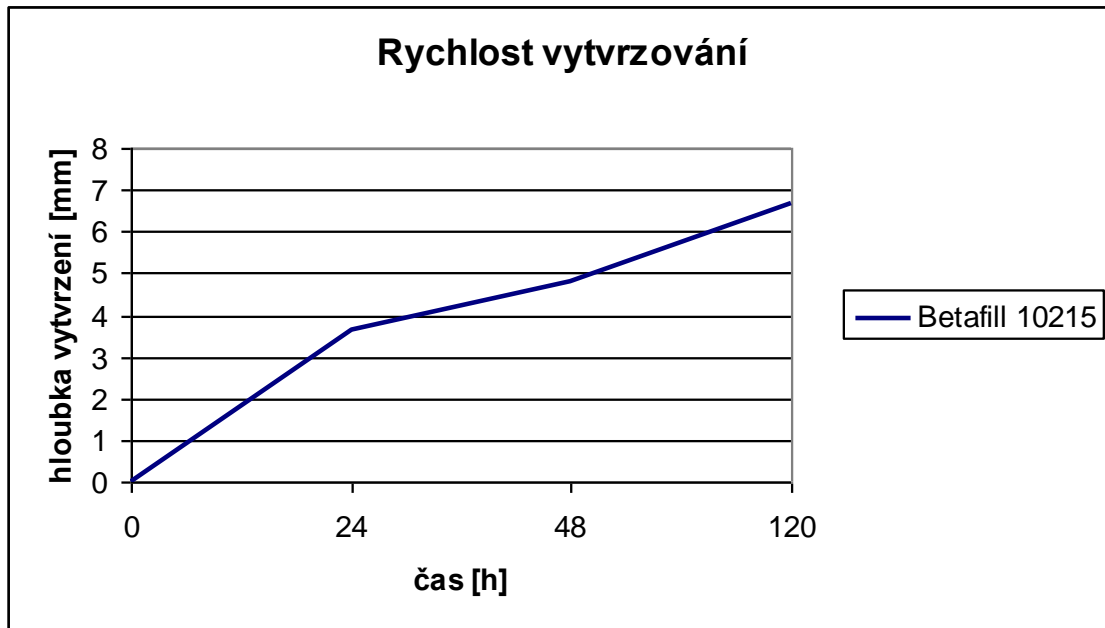
Zdroj: autor

Tabulka 4 obsahuje taktéž aritmetické průměry z naměřených dat. Měření vzorku \varnothing 28 mm se ukončilo po 120 hodinách.

Tabulka 4: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – kruhový profil \varnothing 28 mm

kruhový profil, \varnothing 28 mm	vrstva vytvrzení [mm]			
	0 h	24 h	48 h	120 h
BETAFILL 10215	0	3,625	4,775	6,7

Zdroj: autor

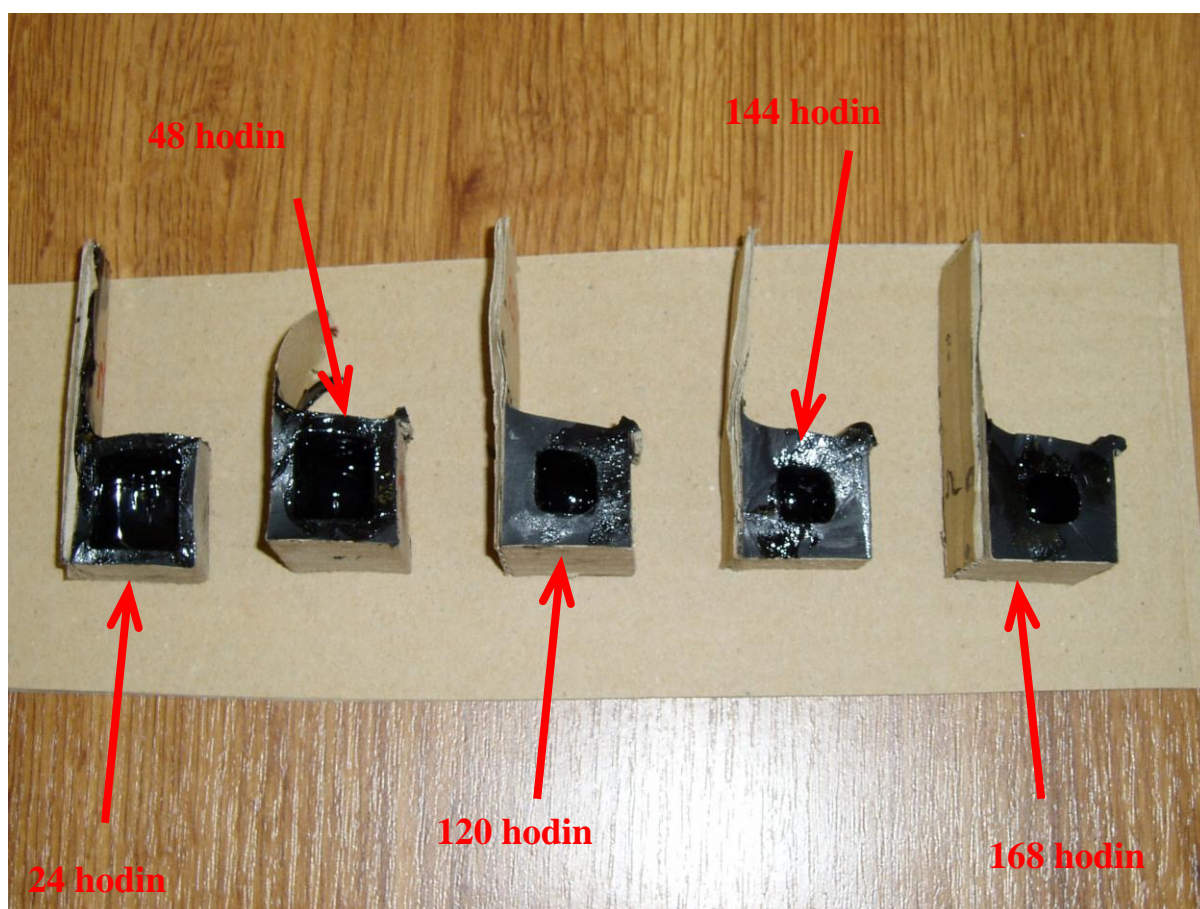


Obrázek 15: Graf rychlosti vytvrzování – kruhový profil \varnothing 28 mm

Zdroj: autor

Čtvercový profil 25×25 mm

Čtvercový profil byl pro měření oproti kruhovým profilům mnohem lepší. Vrstva vytvrzeného lepidla byla od krajů pravidelná a chyby měření jistě nebyly tak vysoké. Vzorek byl ze 3 stran čtverce obklopen papírem a čtvrtá strana byla bez něj. Z obrázku 16 je patrné, že vrstva vytvrzení je rovnoměrná ze všech stran. Papír tedy neměl na tuhnutí lepidla žádný vliv a mohl být použit při zkoušení.



Obrázek 16: Průběh vytvrzování - vzorek čtvercového profilu, 25×25 mm

Zdroj: autor

Tabulka 5 obsahuje opět aritmetické průměry z naměřených hodnot měřených ze všech 4 stran čtvercového profilu.

Tabulka 5: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – čtvercový profil

čtvercový profil, 25×25 mm	vrstva vytvrzení [mm]							
	0 h	24 h	48 h	120 h	144 h	168 h	192 h	216 h
BETAFILL 10215	0	3,45	5,025	6,7	7,225	8,4	9,1	10,1

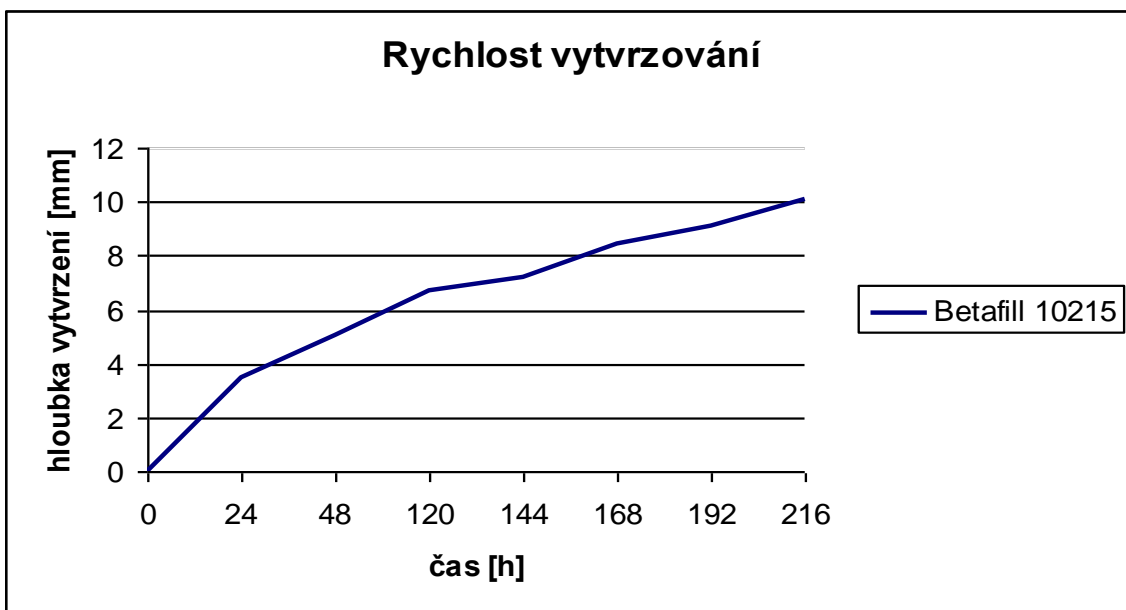
Zdroj: autor

Pro ukázkou vkládám tabulku, kde jsou jednotlivé naměřené hodnoty. 3 naměřené údaje jsou ze stran, kde lepidlo tuhlo s papírem a 1 strana, kde nebyl přiložen žádný papír. Papír neměl žádný vliv na vytvrzenou vrstvu lepidla.

Tabulka 6: Jednotlivé naměřené hodnoty – čtvercový vzorek

	naměřené údaje [mm]	
	s papírem	bez papíru
0 h	0	0
24 h	3,3	3,6
	3,4	
	3,5	
48 h	5,0	4,9
	5,1	
	5,1	
120 h	6,6	6,6
	6,8	
	6,8	
144 h	7,0	7,6
	7,0	
	7,3	
168 h	8,3	8,4
	8,4	
	8,5	
192 h	9,2	9,1
	8,9	
	9,2	
216 h	10,3	10,5
	9,2	
	10,4	

Zdroj: autor



Obrázek 17: Graf rychlosti vytvrzování – čtvercový profil

Zdroj: autor

3.2.1 Vliv papíru na vytvrzování lepidla

Dalším předmětem zkoušení bylo zjišťování, zda papír (karton) má vliv na vytvrzování lepidla. Lepidlo bylo vytlačeno na skleněnou podložku, protože sklo zcela jistě nepropouští vzdušnou vlhkost. Vytvrzování tedy probíhalo (mimo skleněné podložky) za přístupu vzduchu.



Obrázek 18: Vytlačování lepidla na skleněnou podložku

Zdroj: autor

Byla porovnáována rychlost vytvrzování na skle s volným povrchem a v "papírové formičce". Rychlost tuhnutí lepidla byla v obou případech stejná. Papír tedy není žádnou zábranou pro vytvrzování vzdušnou vlhkostí a je možné ho použít, aniž by byly ovlivněny výsledky zkoušení.



Obrázek 19: Vytvrzování lepidla na skle

Zdroj: autor

Toto zkoušení prokázalo, že papír neovlivňuje rychlost vytvrzování lepidel. Ale i tato metoda zkoušení měla své úskalí. Ze skleněné podložky se lepidlo hůře odřezává a hrozí poškození vzorku. Proto se tedy budou nadále používat ve zkoušení papírové formičky.

Obdélníkové profily

Jako další profil byl zvolen obdélník pro porovnání s předchozími vzorky a také pro získání co nejvíce informací ke stanovení metodiky. Obdélníky – vzorky A a B měly různou výšku, aby bylo při hledání metodiky prokazatelné, že tloušťka naneseného lepidla nemá vliv na rychlost vytvrzování. Delší strany obdélníku se oblepily izolační páskou, aby se zamezilo přístupu vzdušné vlhkosti a vzorky tak tuhly pouze z bočních (kratších) stran.



Obrázek 20: profil obdélník A

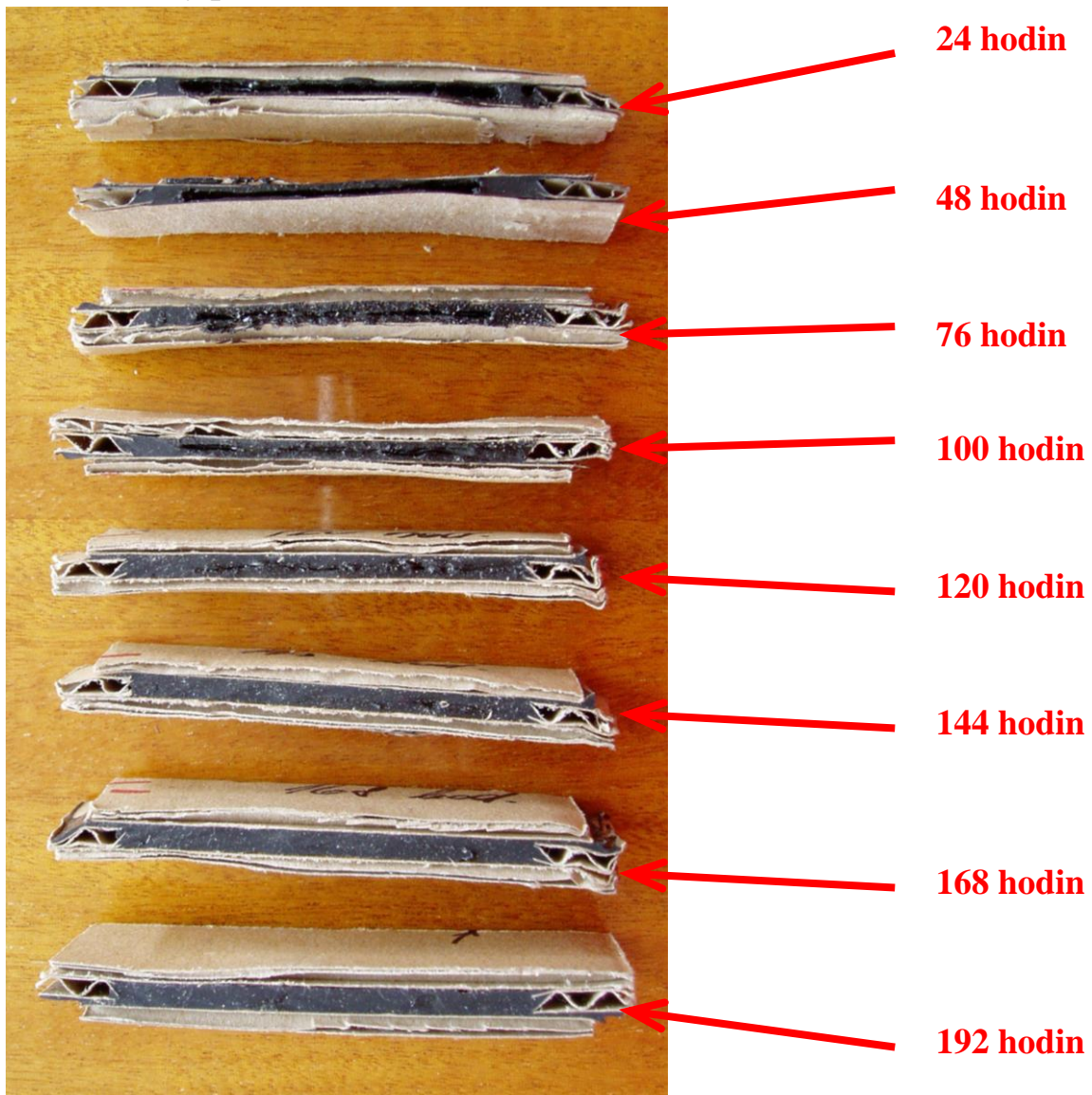
Zdroj: autor



Obrázek 21: profil obdélník B

Zdroj: autor

Obdélníkový profil, vzorek A



Obrázek 22: Průběh vytvrzování - vzorek A

Zdroj: autor

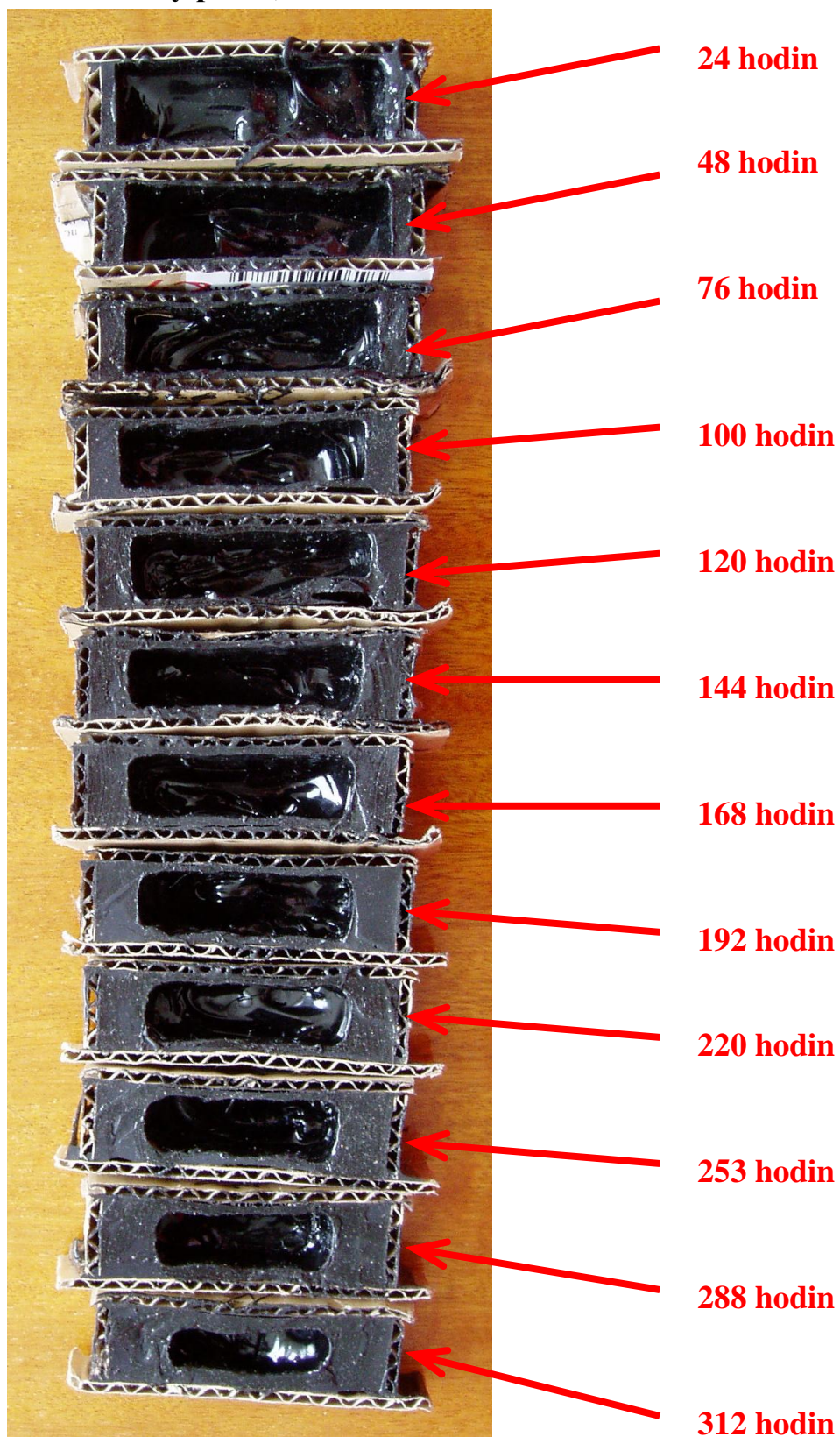
U vzorku A bylo měření zastaveno již po 144 hodinách, kdy byl vzorek celý vytvrdlý. Vzorek byl ještě pro jistotu rozřezán, aby bylo jisté, že je opravdu celý vytvrdlý.

Tabulka 7: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – vzorek A

obdélníkový profil, vzorek A	vrstva vytvrzení [mm] / čas [h]						
	0 h	24 h	48 h	76 h	100 h	120 h	144 h
BETAFILL 10215	0	3,65	4,55	5,3	6,3	8,15	9,25

Zdroj: autor

Obdélníkový profil, vzorek B



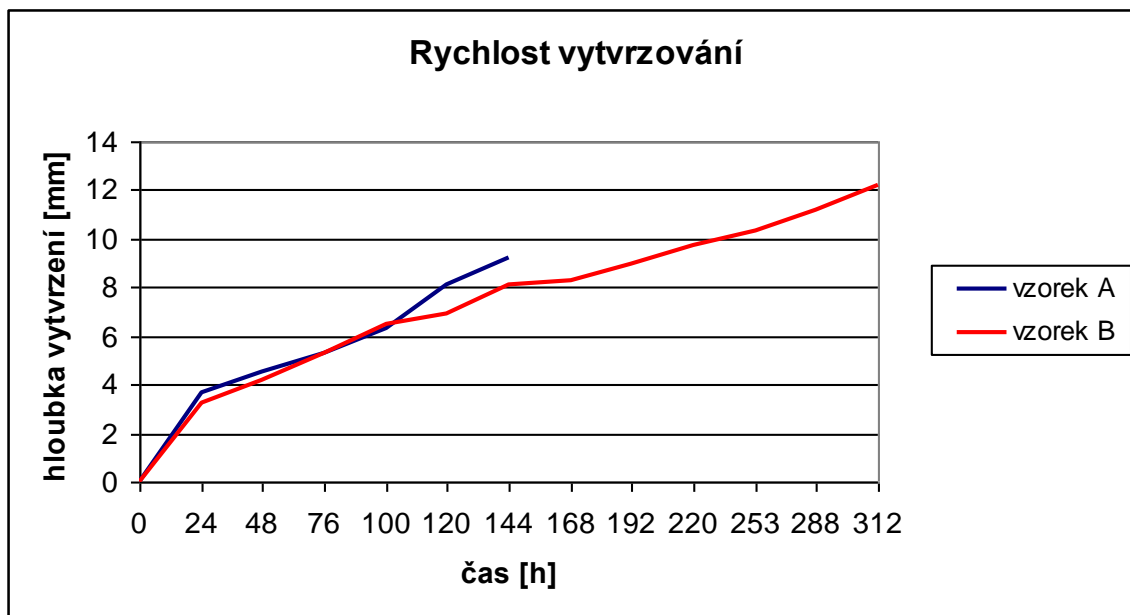
Obrázek 23: Průběh vytvrzování - vzorek B

Zdroj: autor

Tabulka 8: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – vzorek B

obdélníkový profil, vzorek B	vrstva vytvrzení [mm] / čas [h]												
	0 h	24 h	48 h	76 h	100 h	120 h	144 h	168 h	192 h	220 h	253 h	288 h	312 h
BETAFILL 10215	0	3,25	4,15	5,3	6,45	6,95	8,15	8,3	9	9,75	10,35	11,15	12,25

Zdroj: autor



Obrázek 24: Graf rychlosti vytvrzování vzorků A, B

Zdroj: autor

Pro porovnávání lepidel byl zvolen profil obdélník – vzorek B. Vzorek A byl na zkoušení malý a tuhnul rychle a také měření tloušťky vytvrzené vrstvy u něj bylo obtížnější. Oproti tomu se vzorkem B nebyly při zkoušení žádné potíže, které by bránily jeho zvolení.

Ke zkoušení byla použita následující jednosložková lepidla:

BETASEAL 1001

BETASEAL 1407

BETASEAL HV3 PAAS

BETAFILL 10215

BETAMATE 1100

LJF TOTALSEAL 110

LJF TOTALSEAL 180

SIKAFLEX 221

SIKAFLEX 252

SIKAFLEX 265

3.2.2 Měření teploty a relativní vlhkosti při zkoušení

Při měření byl použit digitální záznamový teploměr-vlhkoměr s externí sondou Commeter D3121 firmy COMET SYSTEM, s.r.o..

Přístroj je určen pro měření a záznam teploty a relativní vlhkosti vzduchu externí sondou na kabelu s možností přímého zobrazení vypočtené teploty rosného bodu. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na dvouřádkovém LCD displeji a mohou být ukládány v nastavitelném časovém intervalu do vnitřní, energeticky nezávislé paměti, odkud je lze přenést do počítače. Teplota je měřena odporovým snímačem Ni1000/6180ppm. Přístroj porovnává měřené hodnoty teploty, vlhkosti i rosného bodu se dvěma nastavitelnými hranicemi pro každou veličinu.

Pro zajímavost uvádím technické parametry přístroje pro měření teploty a relativní vlhkosti:

Teplota:

Rozsah měření: -30 až +105 °C

Rozlišení: 0,1 °C

Přesnost: ± 0,4 °C

Relativní vlhkost (údaj je teplotně kompenzován v celém teplotním rozsahu):

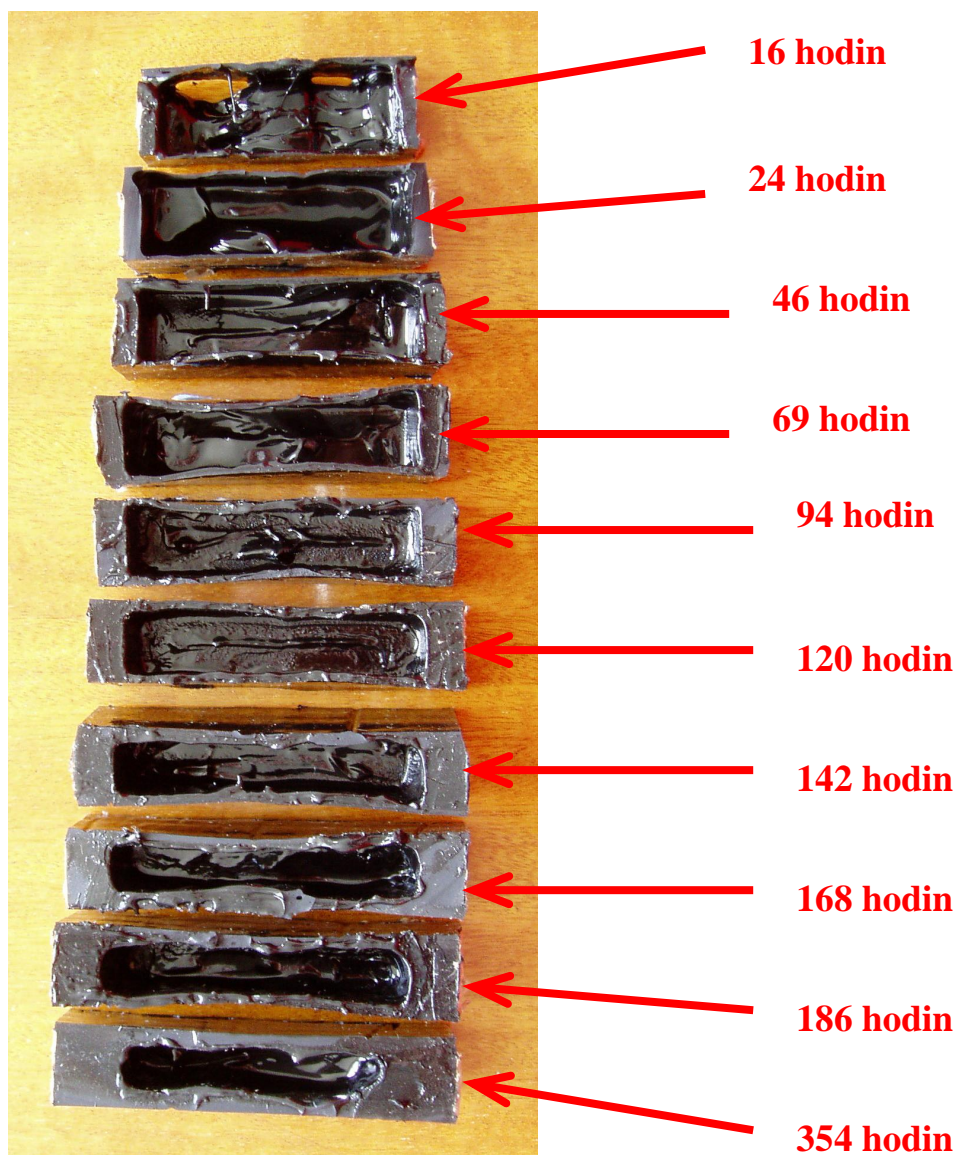
Rozsah měření: 0 až 100 %RV

Rozlišení: 0,1 %RV

Přesnost: ± 2,5 %RV v rozsahu 5 až 95 %RV při 23 °C. (13)

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na obr. 25 je zobrazen průběh vytvrzování lepidla BETAFILL 10215. Průběhy vytvrzování ostatních lepidel včetně lepidla BETAFILL 10215 jsou v příloze, protože se jedná v podstatě o shodné obrázky. Tudíž není třeba je uvádět všechny do výsledků měření. Důležité jsou hlavně hodnoty vytvrzování jednotlivých lepidel, které jsou uvedeny v tab. 9.



Obrázek 25: Průběh vytvrzování - BETAFILL 10215

Zdroj: autor

V tabulce 9 jsou aritmetické průměry naměřených hodnot ze vzorků. Průměrné hodnoty byly zvoleny proto, že některé vzorky měly rozdílné hodnoty na pravé a levé straně.

Tabulka 9: Průměrné hodnoty doby vytvrzování jednotlivých vzorků

lepidlo	čas [h]										
	0	16	24	46	69	94	120	142	168	186	354
BETASEAL 1407	0	2,15	2,6	3,9	4,4	5,55	6,1	7,05	7,15	7,85	10,55
BETASEL 1001	0	3,15	3,4	4,85	5,3	6,65	7,6	8	8,8	9,7	14,05
BETASEAL HV3	0	2,75	3,25	4,6	5,55	6,5	7,4	8,2	9,3	10,4	14,4
BETAFILL 10215	0	3,5	3,75	4,75	5,65	6,5	7	8,1	8,65	9,5	14,05
TOTALSEAL 180	0	2,75	3,45	4,55	5,45	6,45	6,95	7,8	8,8	9,5	14,8
TOTALSEAL 110	0	2,3	3,15	4,5	5,45	6,4	6,7	8,3	9,5	10,4	15,4
SIKAFLEX 265	0	2,7	3	4,4	4,95	6,15	6,9	7,5	9,35	9,5	12,5
SIKAFLEX 221	0	2,8	3,5	4,7	5,6	6,5	7,15	8,1	9,3	10,25	14,45
SIKAFLEX 252	0	2,9	3,35	4,65	5,6	6,85	7,4	8,4	9,2	10,35	15,05
BETAMATE 1100	0	2,3	2,75	3,75	4,45	5,3	5,95	7,15	7,75	7,95	10,75

Zdroj: autor

Vzhledem k tomu, že obrázek 26 je lépe názorný ve větším měřítku, umístuji jeho legendu na tuto stranu i s popisem obrázku a obrázek samotný je na straně následující:

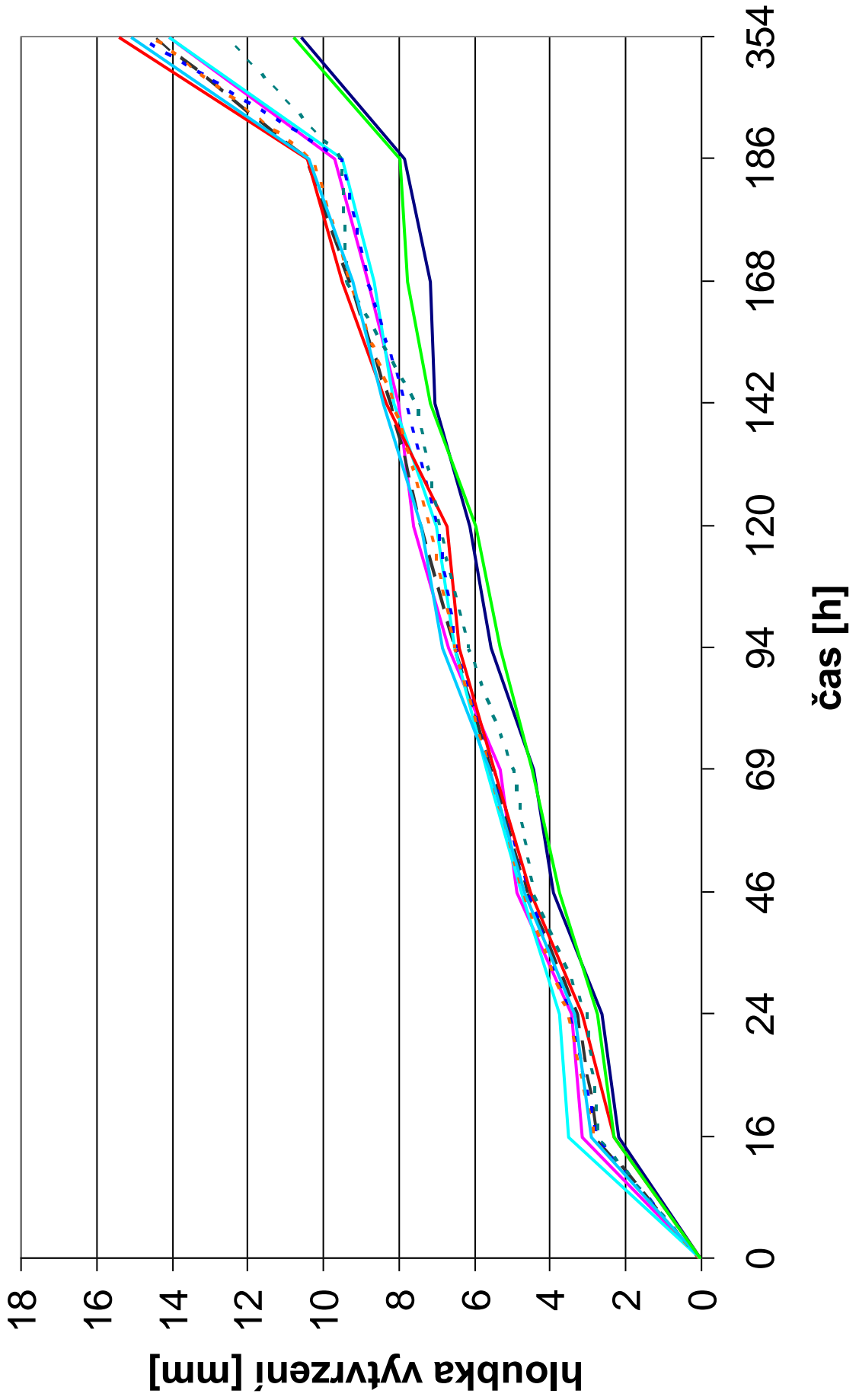
Legenda k obr. 26:

— Betaseal 1407	— Betaseal 1001	— — Betaseal HV3 PAAS
— Betafill 10215	— ··· Totalseal 180	— Totalseal 110
— ··· Sikaflex 265	— ··· Sikaflex 221	— Sikaflex 252
— Betamate 1100		

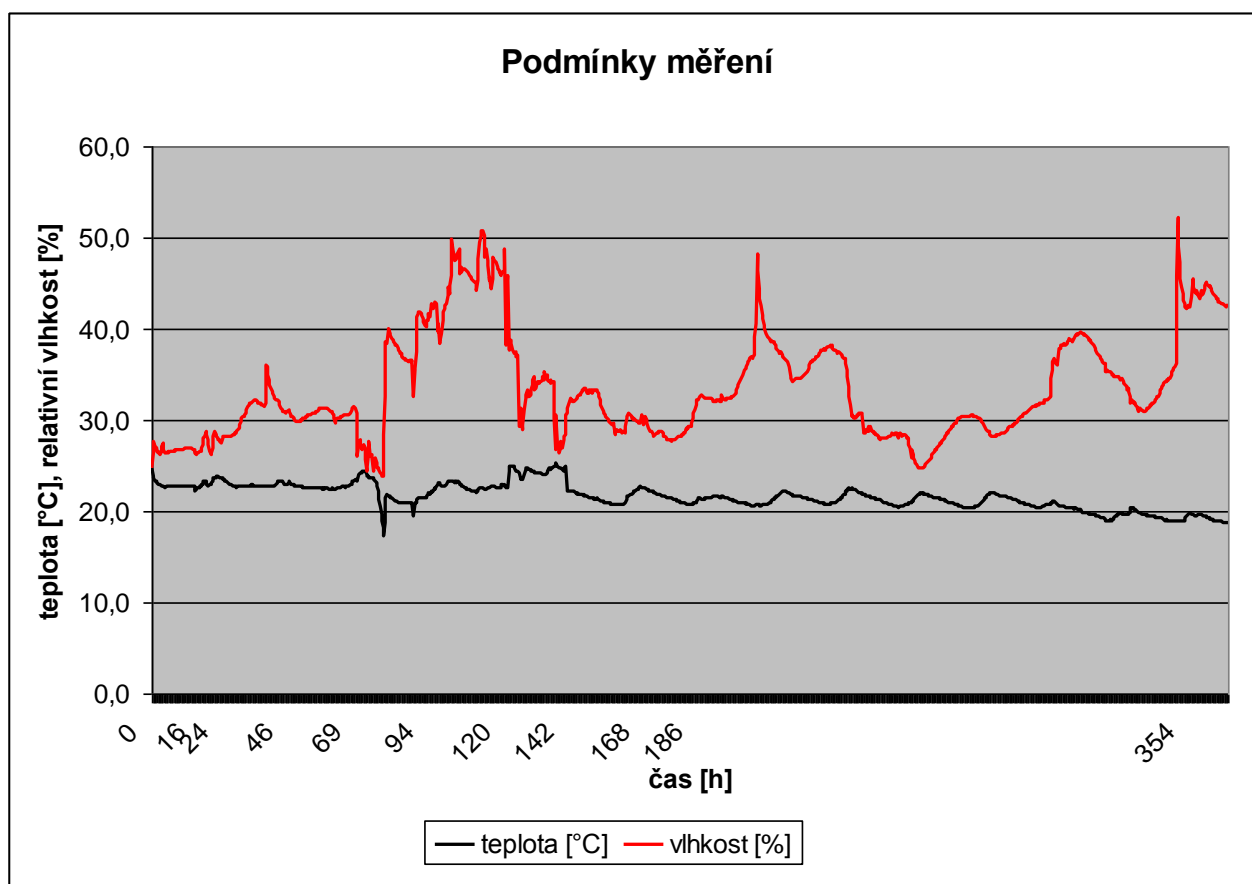
Obrázek 26: Graf rychlostí vytvrzování různých jednosložkových lepidel

Zdroj: autor

Rychlosti vytvrzování jednosložkových lepidel



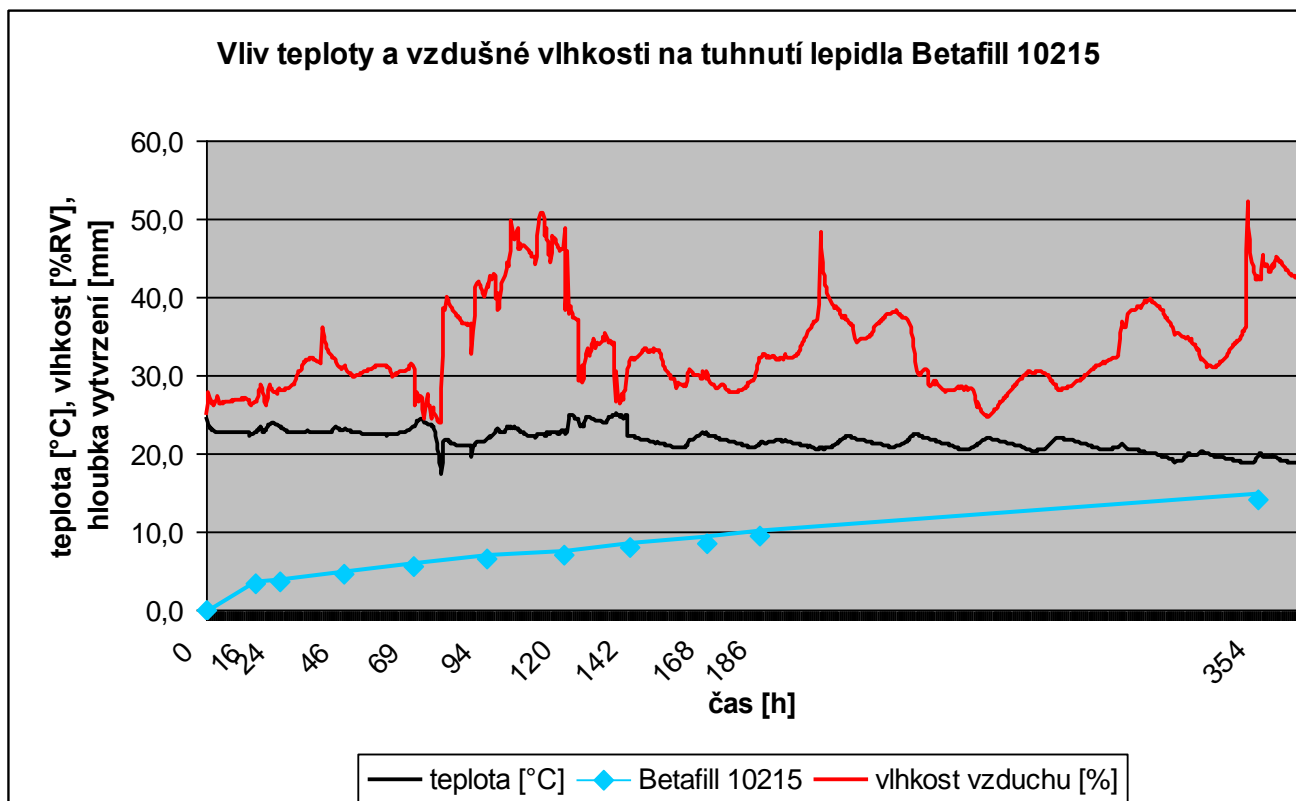
Na obrázku 26 je na konci grafu poměrně velký „skok“ tuhnutí lepidel. V první řadě je to způsobeno řezem lepidla po delším časovém úseku než 24h. Lepidla tuhla poměrně pomalu a jistě je dobré vědět, jak jsou na tom po několika dalších dnech. V další řadě je větší hloubka vytvrzení způsobena zvýšením relativní vzdušné vlhkosti v tomto období. Průběh teploty a vlhkosti vzduchu během měření je na obrázku 27.



Obrázek 27: Průběh teploty a vzdušné vlhkosti během zkoušení

Zdroj: autor

Na dalším obrázku 28 je pro ukázkou do grafu průběhu teploty a vzdušné vlhkosti zanesen i průběh tuhnutí lepidla BETAFILL 10215. Pro lepší orientaci je opět uvedeno jen jedno lepidlo, konkrétně BETAFILL 10215. Křivky tuhnutí všech lepidel jsou na obr. 26, proto není třeba zobrazovat s vlivem teploty a vlhkosti ostatní lepidla.



Obrázek 28: Vliv teploty a vzdušné vlhkosti na tuhnutí lepidla BETAfill 10215

Zdroj: autor

Teplota na tuhnutí lepidla tak zásadní vliv nemá. Zato u vzdušné vlhkosti je vidět, jak se zvyšující se hodnotou vzrostla i hloubka vytvrzení.

ZÁVĚR

Použití lepidel v automobilovém průmyslu, resp. v konstrukci autobusů má svůj nenahraditelný význam. Některé součásti nelze připevnit jiným způsobem, nežli lepením. V řadě případů se nejedná jen o praktické, ale i estetické využití. Vhodnost použití lepidel se však musí důkladně zkoumat a testovat. Vyhodnocené údaje jsou důležitým zdrojem informací pro vývojáře a konstruktéry. Nezbytné je dodržování daných norem v oblasti zkoušek lepených spojů a lepidel. Nemálo lepených součástí v oblasti konstrukce totiž souvisí i s bezpečností vozidel.

Tato práce měla za úkol porovnat jednotlivé druhy jednosložkových lepidel dodaných firmou Iveco Czech Republic, a.s. a hlavně stanovit metodu, kterou by mohly být prováděny zkoušky vytvrzování lepidel. V práci byl z forem různých tvarů vybrán obdélníkový profil. Na delších stranách obdélníku se zamezil přístup vzdušné vlhkosti. Mohlo se tak sledovat tuhnutí pouze z bočních stran. Po určitém intervalu se provedl řez, byla vyjmuta tekutá (nevytvrzená) část lepidla a odstraněny papírové formy ze vzorku. Poté byla u každého vzorku změřena vrstva vytvrzeného lepidla a zanesena do grafu. Graf výsledných vrstev vytvrzení zobrazuje, jak jsou na tom jednotlivá lepidla.

Na počátku zkoušení po 16 hodinách si nejlépe vzhledem k největší vrstvě vytvrzení vedla lepidla BETAFILL 10215, BETASEAL 1001 a SIKAFLEX 252. V průběhu zkoušení se vrstvy vytvrzení u jednotlivých lepidel poměrně rovnala až na lepidla BETAMATE 1100 a BETASEAL 1407. Tato lepidla vyšla z pokusů s nejmenší vrstvou vytvrzeného lepidla. V závěru měření si nejlépe vedla lepidla TOTALSEAL 110, SIKAFLEX 252 a následně TOTALSEAL 180.

Z výsledků nelze jednoznačně určit lepidlo s nejrychlejší dobou vytvrzování. Dle mého názoru si dobře vede lepidlo SIKAFLEX 252, které bylo jak na počátku, tak i na konci testování na prvních třech místech, co do hloubky vytvrzené vrstvy. SIKAFLEX 252 je lepidlo bílé barvy, je možné, že v některých oblastech konstrukce z hlediska estetiky je třeba použít lepidlo tmavé. V tom případě se podle mého mínění dobře jevílo lepidlo BETAFILL 10215. Na počátku tuhlo vlivem vzdušné vlhkosti nejrychleji, což může být při konstruování a výrobě autobusů někdy nespornou výhodou.

Usuzuji, že metodika použitá v této práci by se dala též považovat za neoficiální a nenormovaný způsob zkoušení vytvrzování lepidel, které tuhnou vlivem vlhkosti vzduchu, používaných v automobilovém průmyslu, popř. i lepidel jiných.

SEZNAM INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- [1] PETRIE, Edward M. *Handbook of Adhesives and Sealants*. 2nd edition. McGraw-hill Professional Publishing, c2000. 800 s. ISBN 0071479163.
- [2] KUBÍN, Juraj, OLTMAN, Ladislav. *Lepíme drevo, plasty a kovy*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1981. 112 s. ISBN 63-100-81.
- [3] FREJDIN, Anatolij. *Pevnosť a životnosť lepených spojov*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1988. 288 s. ISBN 063-039-88.
- [4] GREGOR, Miroslav. *Lepení* [online]. c2006 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.oblibene.cz/lepidla/>>.
- [5] Podklady pro výuku předmětu Speciální technologie od doc. Dr. Ing. Libora Beneše.
- [6] *TM vydavatelství* [online]. 2003 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf>.
- [7] FOLTA, Jiří. *Hodnocení pevnosti lepených spojů v konstrukci autobusů*. 2008. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Švanda, Ph.D. .
- [8] *Lepení* [online]. [2008] [cit. 2009-03-20]. Dostupný z WWW: <www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf>.
- [9] MÜLLER, Miroslav, BROŽEK, Milan. Technologie lepení : mechanická úprava lepeného povrchu. *Tematický magazín : SDSM - svařování, dělení, spojování materiálů* [online]. 2004, č. 02 [cit. 2009-04-10]. Dostupný z WWW: <http://www.tmvydavatelstvi.cz/svarovani/0402/str_56.pdf>.
- [10] *Lepidlo* [online]. [2006] [cit. 2009-04-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.quido.cz/Objevy/lepidlo.htm>>.
- [11] DORN, Lutz. *TALAT Lecture 4705 : Quality Assurance* [online]. 1994 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.eaa.net/aaa/education/TALAT/lectures/4705.pdf>>.
- [12] HUMÁR, Anton. *Technologie montáže* [online]. [2009] [cit. 2009-03-29]. Dostupný z WWW: <<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnMontaze.pdf>>.
- [13] COMMETER D3121 : Návod k použití [online]. 2003 , 16.4.2009 [cit. 2009-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.remaxcz.com/katalog/zaznam/n/i-com-d3121.pdf>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Použití lepidel u automobilů</i>	14
<i>Obrázek 2: Použití lepidel u autobusů</i>	17
<i>Obrázek 3: Adheze (přilnutí kapek k pavučině)</i>	18
<i>Obrázek 4: Koheze (soudržnost vody ve větších kapkách), adheze drží kapky na místě</i>	19
<i>Obrázek 5: Druhy smáčivosti</i>	24
<i>Obrázek 6: Pistole pro vytlačení lepidla z kartuše</i>	25
<i>Obrázek 7: Primery a stimulatory adheze poskytují silnější oblast mezifáze s lepší přilnavostí a stálostí.</i>	30
<i>Obrázek 8: Struktura lepeného spoje</i>	33
<i>Obrázek 9: Zkouška dle DIN 53 282</i>	39
<i>Obrázek 10: Příprava forem pro zkoušené lepidlo – kruhové profily</i>	41
<i>Obrázek 11: Příprava forem pro zkoušené lepidlo – čtvercový profil</i>	42
<i>Obrázek 12: Průběh vytvrzování – vzorek kruhového profilu, Ø14 mm</i>	43
<i>Obrázek 13: Graf rychlosti vytvrzování – kruhový profil Ø 14 mm</i>	44
<i>Obrázek 14: Průběh vytvrzování - vzorek kruhového profilu, Ø 28 mm</i>	45
<i>Obrázek 15: Graf rychlosti vytvrzování – kruhový profil Ø 28 mm</i>	46
<i>Obrázek 16: Průběh vytvrzování - vzorek čtvercového profilu, 25×25 mm</i>	47
<i>Obrázek 17: Graf rychlosti vytvrzování – čtvercový profil</i>	49
<i>Obrázek 18: Vytlačování lepidla na skleněnou podložku</i>	50
<i>Obrázek 19: Vytvrzování lepidla na skle</i>	51
<i>Obrázek 20: profil obdélník A</i>	52
<i>Obrázek 21: profil obdélník B</i>	52
<i>Obrázek 22: Průběh vytvrzování - vzorek A</i>	53
<i>Obrázek 23: Průběh vytvrzování - vzorek B</i>	54
<i>Obrázek 24: Graf rychlosti vytvrzování vzorků A, B</i>	55
<i>Obrázek 25: Průběh vytvrzování - BETAFILL 10215</i>	57
<i>Obrázek 26: Graf rychlostí vytvrzování různých jednosložkových lepidel</i>	589
<i>Obrázek 27: Průběh teploty a vzdušné vlhkosti během zkoušení</i>	60
<i>Obrázek 28: Vliv teploty a vzdušné vlhkosti na tuhnutí lepidla BETAFILL 10215</i>	61

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Historický vývoj a lepidel a tmelů</i>	10
<i>Tabulka 2: Základ lepidel, charakter lepeného spoje a aplikace</i>	15
<i>Tabulka 3: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – kruhový profil Ø 14 mm</i>	43
<i>Tabulka 4: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – kruhový profil Ø 28 mm</i>	45
<i>Tabulka 5: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – čtvercový profil</i>	48
<i>Tabulka 6: Jednotlivé naměřené hodnoty – čtvercový vzorek</i>	48
<i>Tabulka 7: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – vzorek A</i>	53
<i>Tabulka 8: Průměrné hodnoty vytvrzování vzorku – vzorek B</i>	55
<i>Tabulka 9: Průměrné hodnoty doby vytvrzování jednotlivých vzorků</i>	58

SEZNAM ZKRATEK

DIN = Deutsches Institut für Normung e.V.

VDA = Verband der Automobilindustrie (přeloženo do češtiny: Sdružení automobilového průmyslu)

obr. = obrázek

tab. = tabulka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Průběh vytvrzování – BETASEAL 1001

Příloha B: Průběh vytvrzování – BETASEAL 1407

Příloha C: Průběh vytvrzování – BETASEAL HV3 PAAS

Příloha D: Průběh vytvrzování – BETAFILL 10215

Příloha E: Průběh vytvrzování – BETAMATE 1100

Příloha F: Průběh vytvrzování – LJF TOTALSEAL 110

Příloha G: Průběh vytvrzování – LJF TOTALSEAL 180

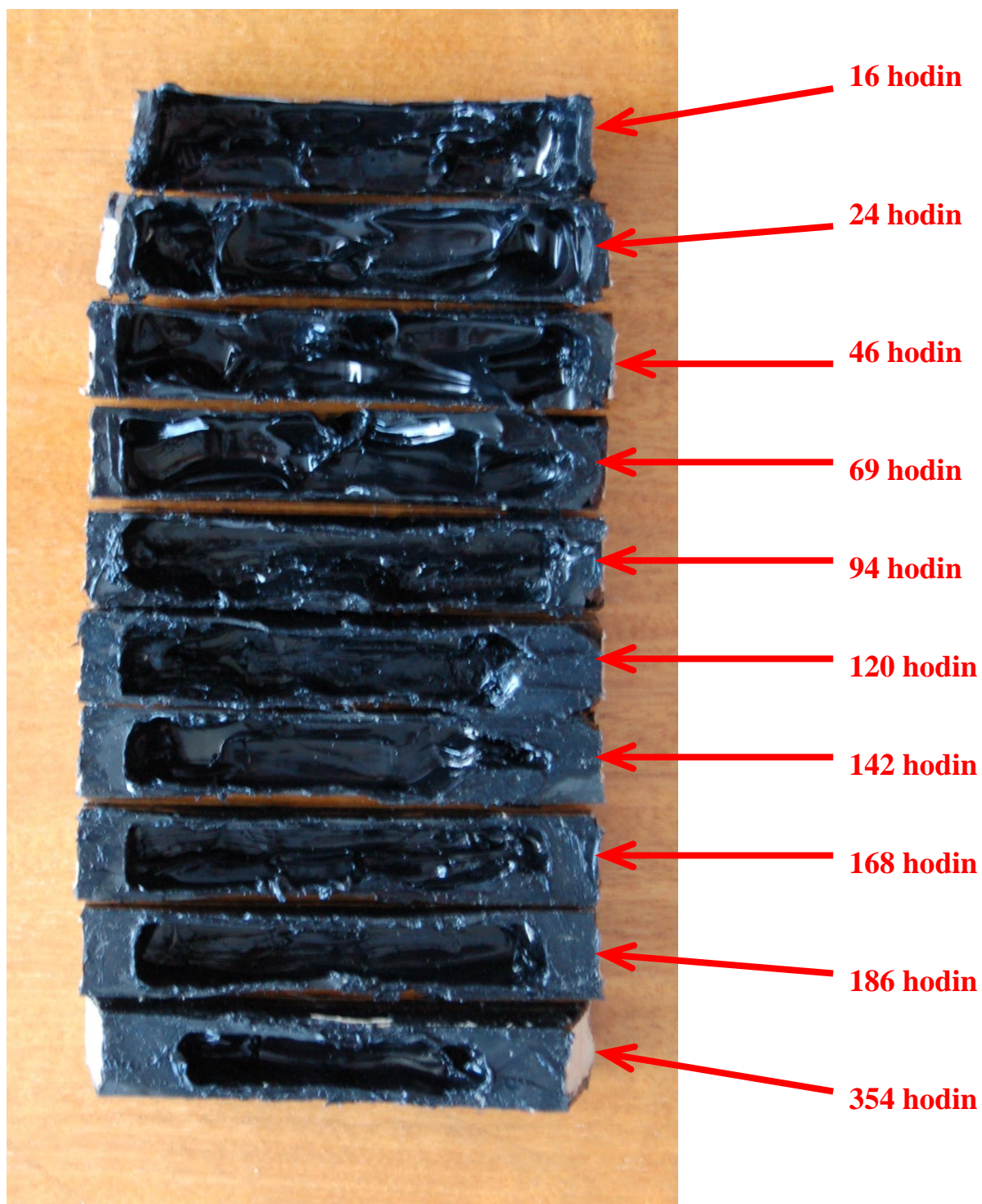
Příloha H: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 221

Příloha I: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 252

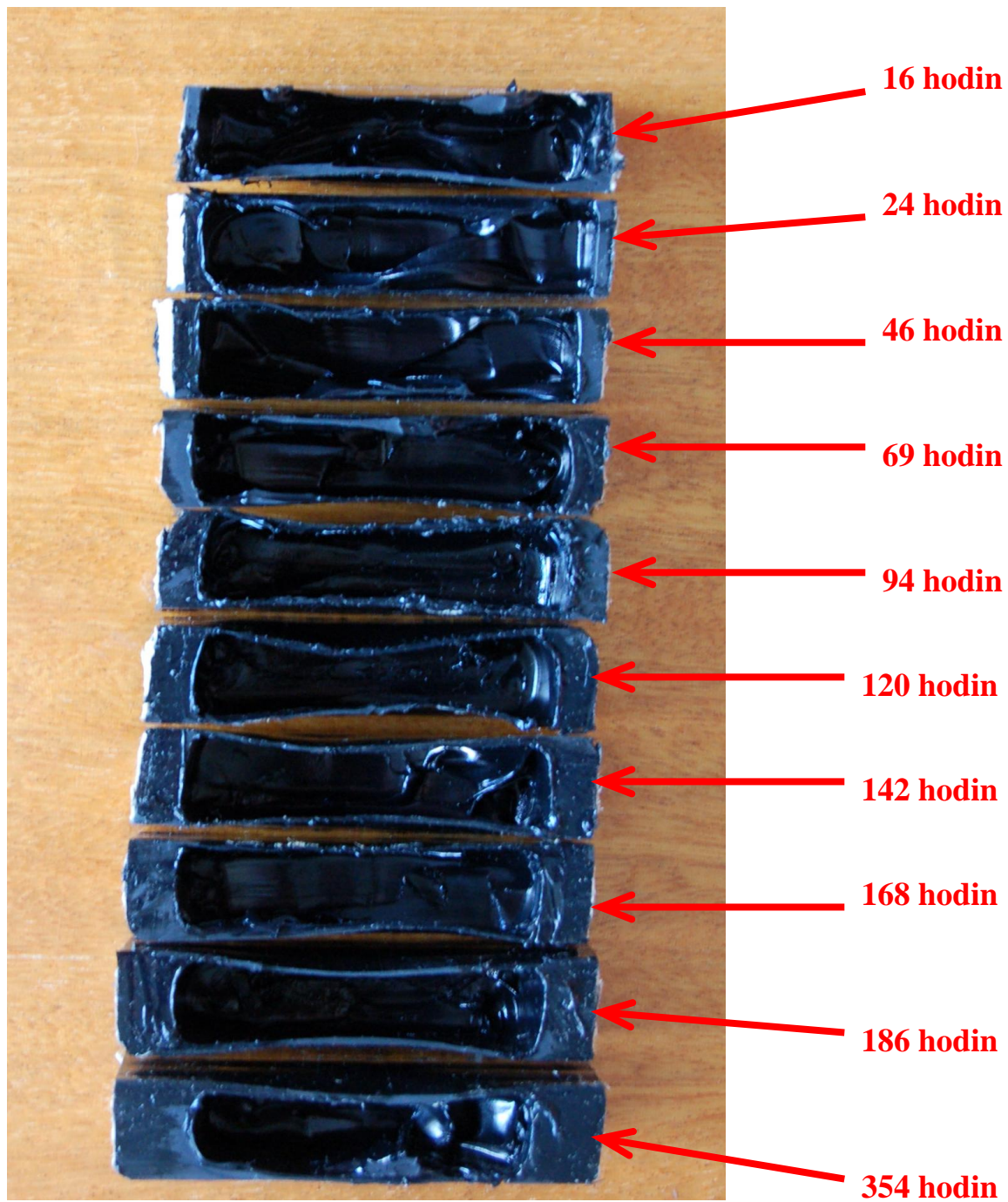
Příloha J: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 265

PŘÍLOHY

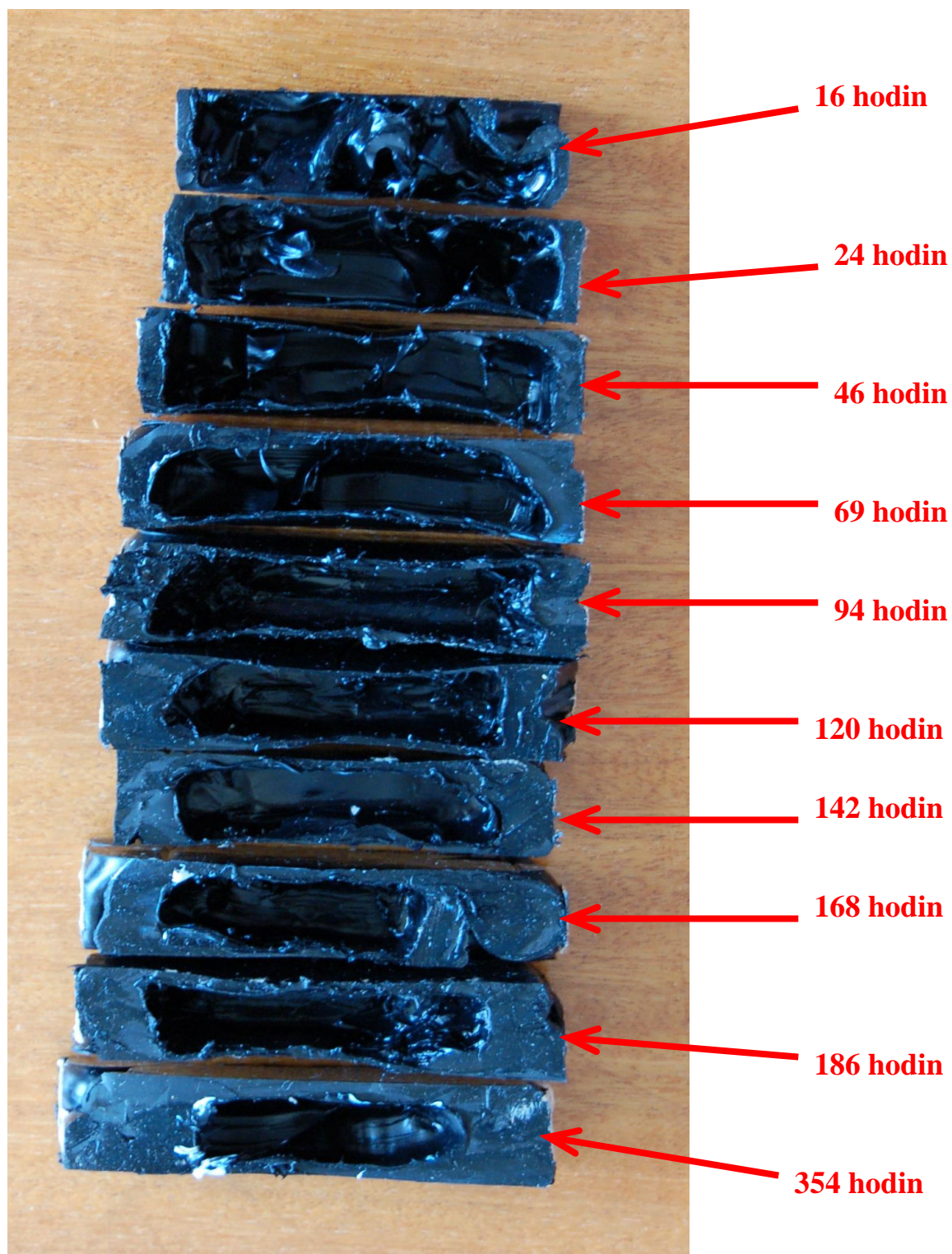
Příloha A: Průběh vytvrzování – BETASEAL 1001



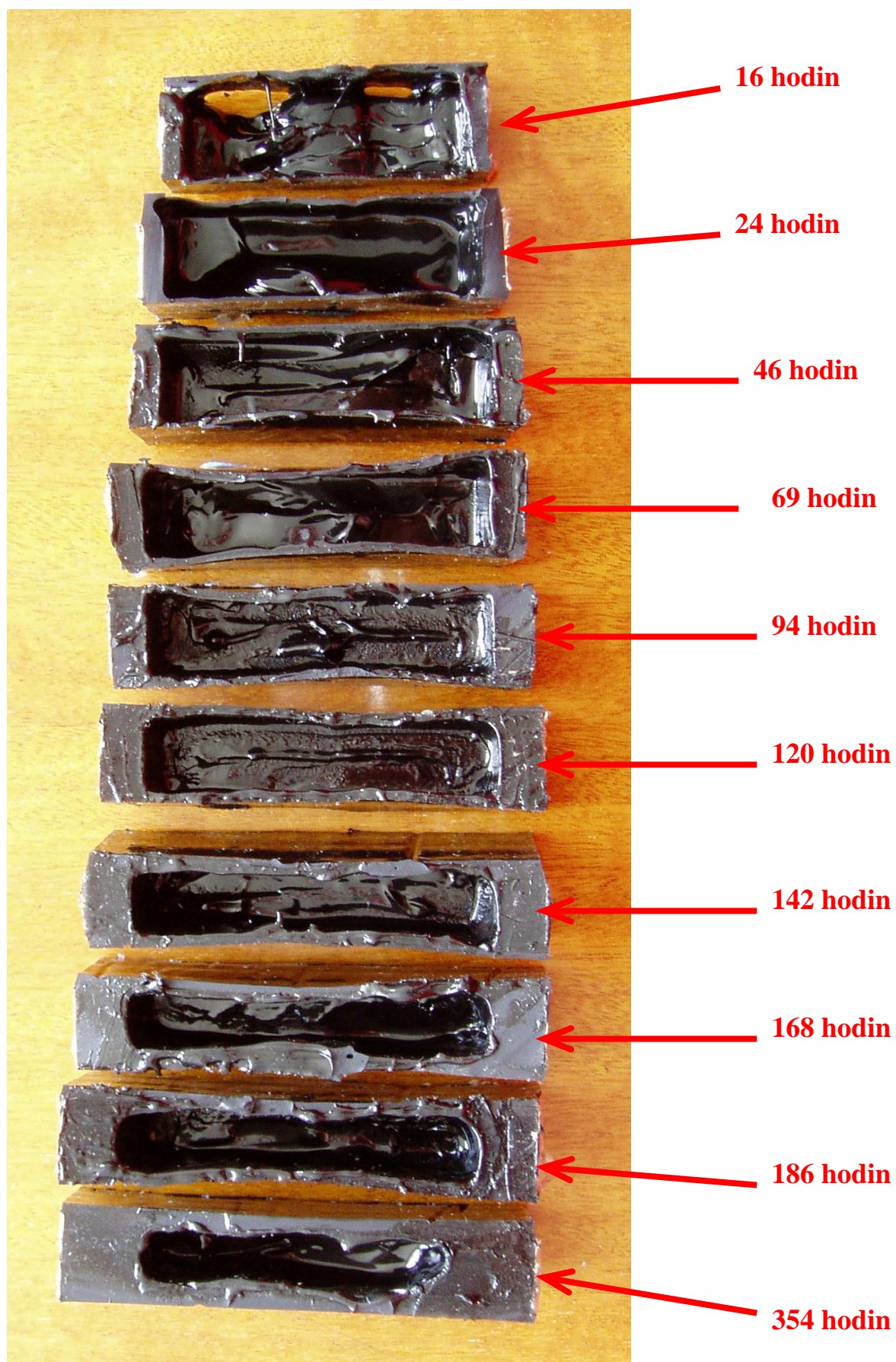
Příloha B: Průběh vytvrzování – BETASEAL 1407



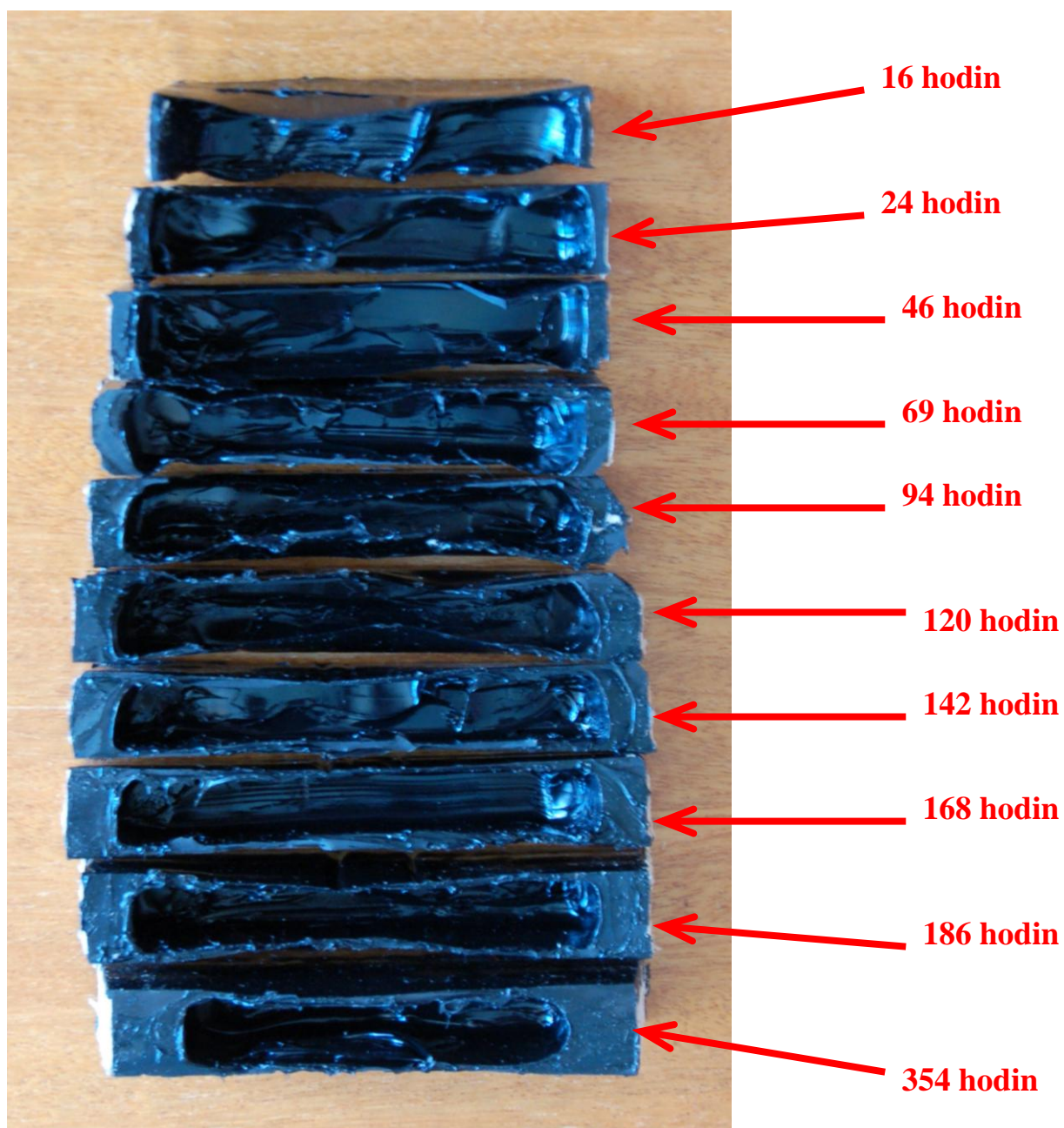
Příloha C: Průběh vytvrzování – BETASEAL HV3 PAAS



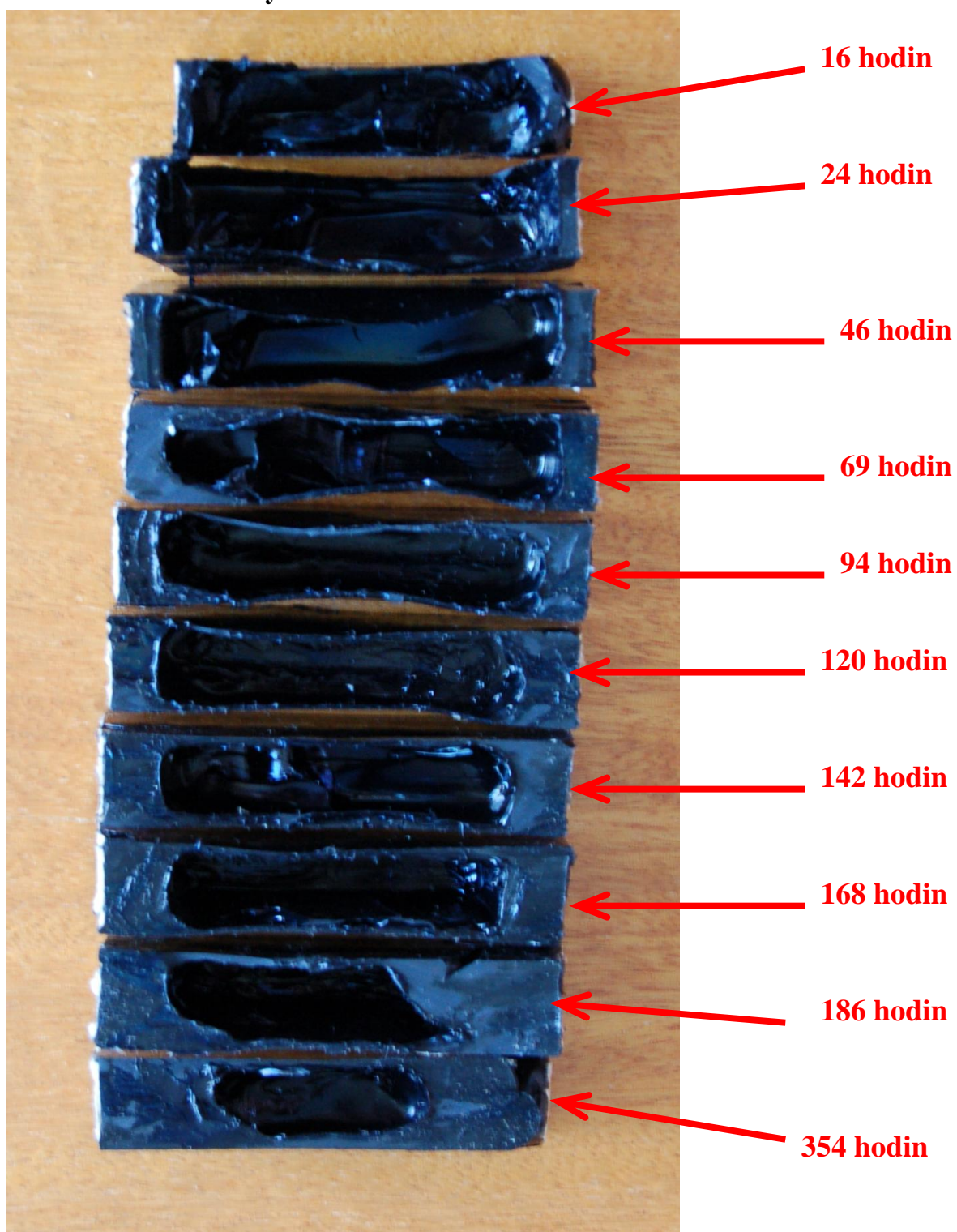
Příloha D: Průběh vytvrzování – BETAFILL 10215



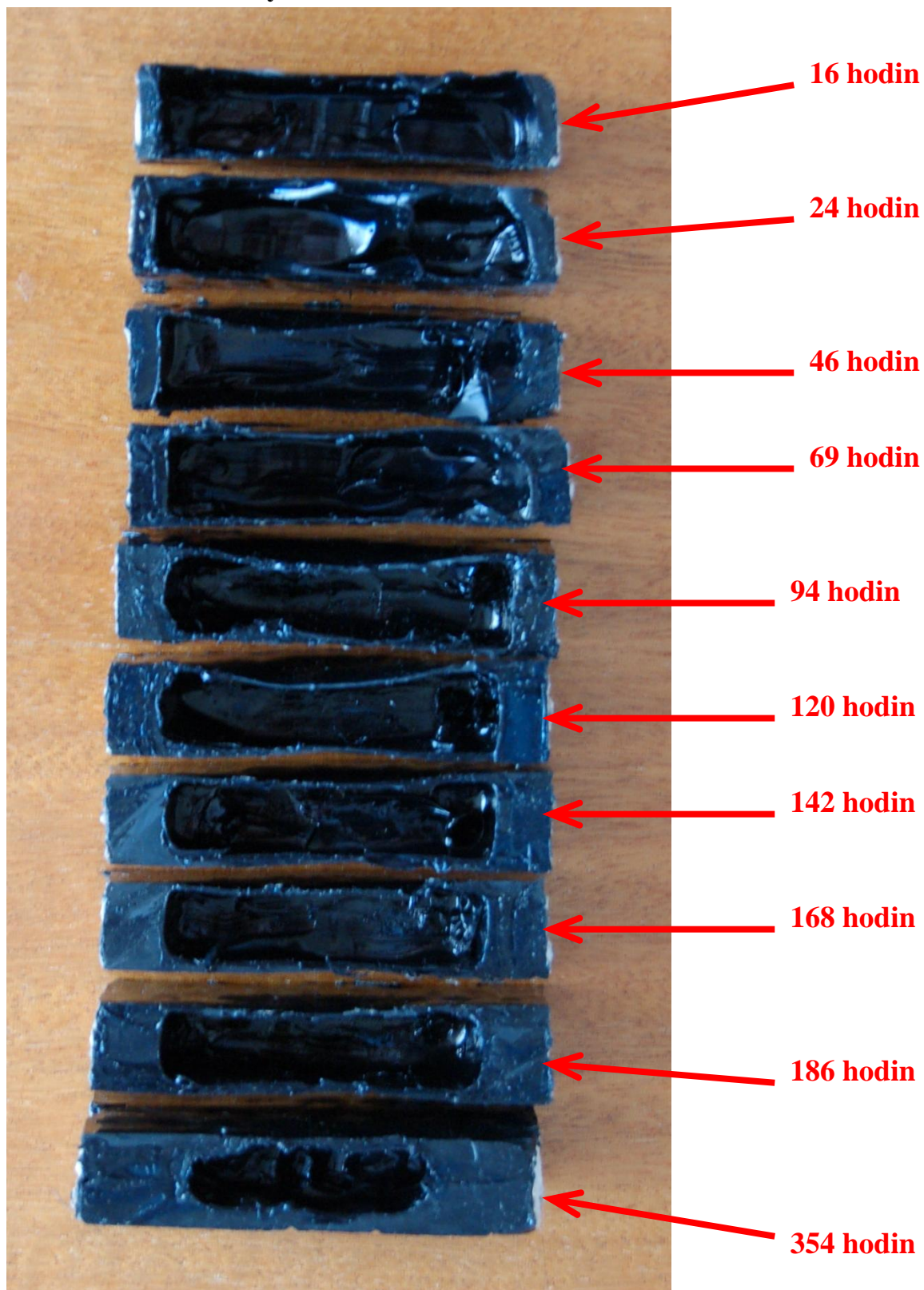
Příloha E: Průběh vytvrzování – BETAMATE 1100



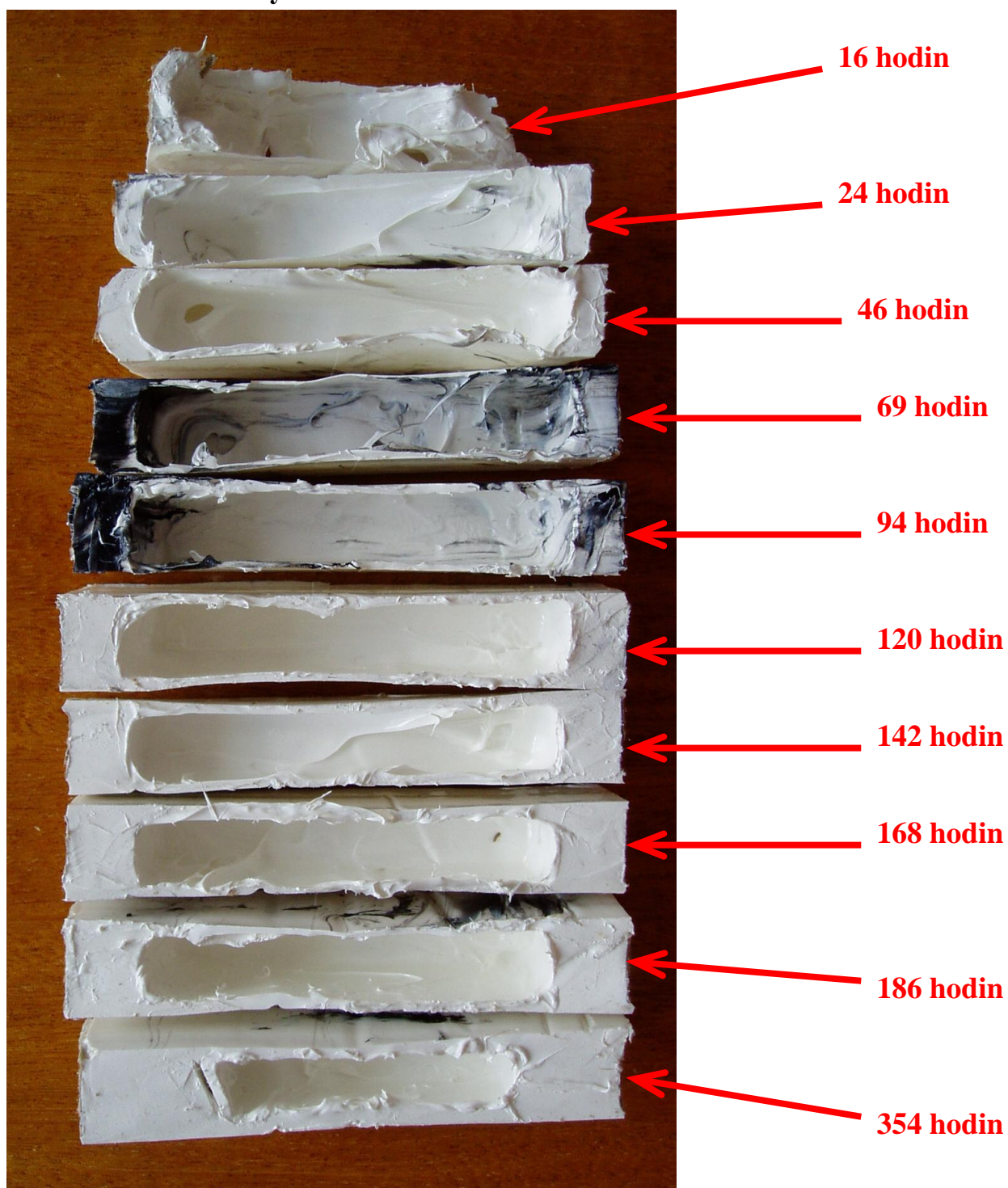
Příloha F: Průběh vytvrzování – LJF TOTALSEAL 110



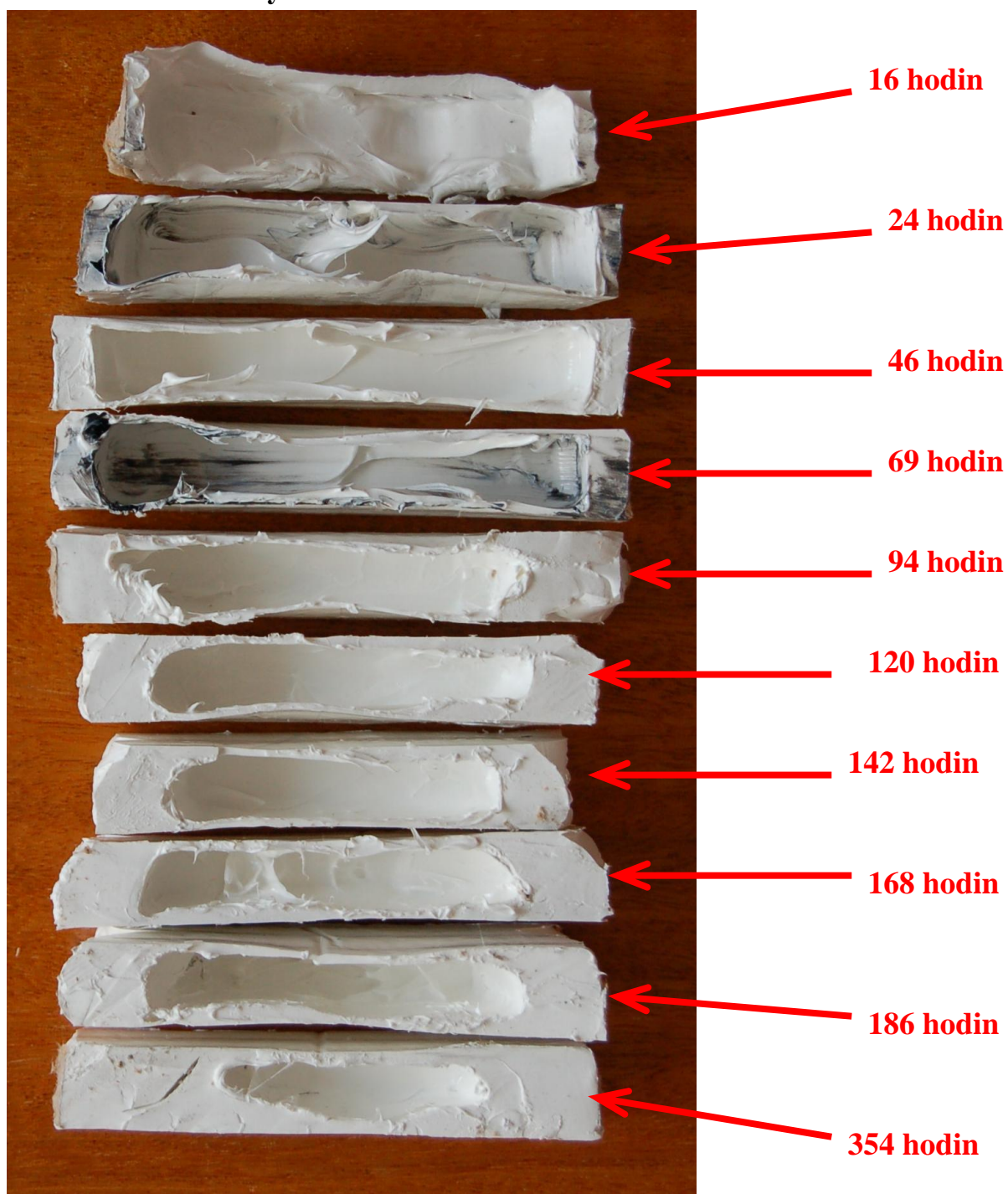
Příloha G: Průběh vytvrzování – LJF TOTALSEAL 180



Příloha H: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 221



Příloha I: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 252



Příloha J: Průběh vytvrzování – SIKAFLEX 265

