



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OVĚŘENÍ RYCHLOSTI VYTVRZOVÁNÍ A BUDOVÁNÍ ADHEZE PU LEPIDEL V ZÁVISLOSTI NA VNĚJŠÍCH PODMÍNKÁCH

VERIFICATION OF SETTING SPEED AND BUILDING ADHESION OF PU ADHESIVES DEPENDING ON EXTERNAL  
CONDITIONS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Jana Slatinská**

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Jaroslav Kubíček, IWE**

**BRNO 2022**

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Bc. Jana Slatinská</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jaroslav Kubiček, IWE</b>
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Ověření rychlosti vytvrzování a budování adheze PU lepidel v závislosti na vnějších podmínkách**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Dopravní systémy v dnešní době využívají k fixaci skleněných oken lepení pomocí elastomerů, které umožňují dilatační změny a tlumí vibrace při pohybu. V oblasti kolejových vozidel především dveřních systémů se lepí na hliníkový podklad sklo pomocí jednokomponentního polyuretanu. V diplomové práci je řešena problematika zvyšování rychlosti vytvrzování za různých tepelně–vlhkostních podmínek. Výsledné lepené spoje jsou vyhodnoceny mechanickými zkouškami.

#### **Cíle diplomové práce:**

Vypracovat literární studii technologie lepení zaměřenou na druhy lepidel používaných v konstrukci dopravních systémů.

Posoudit vliv teploty a vlhkosti na vlastnosti lepeného spoje.

Navrhnout a experimentem ověřit možnosti urychlení vytvrzovací reakce.

Provést a vyhodnotit experiment.

#### **Seznam doporučené literatury:**

EBNESAJJAD, S. Adhesives technology handbook, 2nd ed.p. cm. William Andrew Inc. NY, USA 2008. 513s ISBN 978-0-8155-1533-3.

FISCHER,J. Loctite, Worldwide Design Handbook. 2 vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH.1998. 452s. ISBN 0-96 5590-0-5.

OSTEN,M. Práce s lepidly a tmely. 3vyd. Praha: Grada Publishing s.r.o.1996. 136s. ISBN 80-7169-338-3.

Loctite - Průmyslová lepidla a tmely, [http:// www.loctite.cz](http://www.loctite.cz), přístup 12. října 2021.

Sika CZ, produkty a řešení , [http:// www.cze.sika.com](http://www.cze.sika.com), přístup 12. října 2021.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Firma IFE a. s. (Knorr – Bremse) v Modřicích potřebovala ověřit proces vytvrzování lepených spojů u používaného lepidla Sikaflex®-265. Cílem bylo zjistit, zda je k vytvrzování nutno řízené prostředí, a hlavně zjistit vliv daných faktorů na rychlost vytvrzování a rychlost budování adheze ve spoji. Hlavními faktory, které byly zkoumány byla teplota, vlhkost, poměr Sikaboosteru® P-50 vůči testovanému lepidlu a čas vytvrzování. Z výsledku pak vyplývá, které faktory mají vliv a které pouze minimální. Cílem dále bylo ověření pevnosti spoje, kterou udává výrobce po konkrétním čase. Vliv na otevřený technologický čas nebyl měřen.

### Klíčová slova

technologie lepení, jednokomponentní polyuretan, vlhkost, teplota, booster, klimatická komora, pevnost spoje, smyková zkouška, odlupová zkouška

## ABSTRACT

The company IFE a. S. (Knorr - Bremse) in Modřice needed to verify the curing process of glued joints with the used adhesive Sikaflex®-265. The aim was to find out whether a controlled environment is needed for curing and mainly find out influence of factors on the curing process and the velocity of building adhesion. The main factors that were investigated were temperature, humidity, the ratio of the Sikabooster® P-50 to the tested adhesive and the curing time. The result then shows which factors have an influence and which only minimal. The aim was also to verify the strength of the joint, which is stated by the manufacturer after a specific time. The impact on open technology time has not been measured.

### Key words

adhesive joining technology, polyurethane, humidity, temperature, booster, climatic chamber, joint strength, shear test, peel test

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SLATINSKÁ, Jana. *Ověření rychlosti vytvrzování a budování adheze PU lepidel v závislosti na vnějších podmínkách* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140050>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Ověření rychlosti vytvrzování a budování adheze PU lepidel v závislosti na vnějších podmínkách vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

Brno, 19. 5. 2022

---

Jana Slatinská

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Jaroslavu Kubíčkoví, IWE a konzultantovi Ing. Tomášovi Konečnému, EAE, za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Chtěla bych také poděkovat svým kolegyním v laboratoři Ing. Veronice Ševčíkové a Ing. Radce Piše, EAS. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a blízkým.

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
2 ZÁKLAD TEORIE LEPENÍ.....	11
2.1 Smáčivost .....	13
2.2 Teorie adheze .....	14
2.3 Povrch kovů.....	17
2.4 Úprava povrchů kovů pro lepení .....	19
2.4.1 Povrchová příprava.....	20
2.4.2 Povrchová předúprava .....	21
2.4.3 Dodatečná úprava povrchu .....	24
2.5 Posouzení stupně úpravy povrchu substrátu .....	25
2.6 Předúprava hliníkových slitin.....	25
2.7 Úprava povrchu skla pro lepení.....	27
2.8 Druhy lepidel, chemie vytvrzení .....	28
2.8.1 Polyuretanová lepidla .....	30
2.9 Normy a zkoušení lepených spojů.....	32
2.9.1 Nedestruktivní zkoušení lepených spojů .....	32
2.9.2 Destruktivní zkoušení lepených spojů.....	34
2.9.3 Druhy porušení .....	36
3 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI.....	38
3.1 Použité přístroje a přípravky .....	38
3.2 Použité vzorky (sklo, hřebeny, hliníkové plechy).....	40
3.3 Návrh a provedení experimentu .....	41
3.4 Vyhodnocení výsledků jednotlivých experimentů .....	45
3.4.1 Vytvrzování při 22 °C a 55 % relativní vzdušné vlhkosti (r. v. v.) .....	45
3.4.2 Vytvrzování při podmínkách okolí 22 °C a 55 % r. v. v. – kombinace.....	48
3.4.3 Vytvrzování v klimakomoře při 10 °C a 30 % r. v. v.....	51
3.4.4 Vytvrzování v klimakomoře při 67 °C a 33,5 % r. v. v.....	53
3.4.5 Vytvrzování v temperační místnosti při 42 °C a 8 % r. v. v.....	56
3.4.6 Vytvrzování v klimakomoře při 70 °C a 100 % r. v. v.....	58
3.5 Shrnutí a porovnání výsledků jednotlivých experimentů.....	61
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	66
SEZNAM PŘÍLOH.....	67



## ÚVOD

Tato diplomová práce vznikla na zakázku firmy IFE a. s. (Knorr – Bremse) v Modřicích. Firma se věnuje výrobě dveří do kolejových vozidel jako tramvaje, metra nebo vlaky. Technologie lepení se zde používá pro lepení oken do systému dveří. Lepení nabízí i těsnící vlastnosti, což je pro ustavování oken výhodné na rozdíl od zastaralého způsobu vtlačování do obvodových gum, které navíc nesplňují nové pevnostní standardy. Vysoká pevnost, kterou musí lepený spoj vydržet je daná tím, v jakém provozu se vlaky vyskytují. Při průjezdu dvou vlakových souprav blízko sebe totiž dochází k vývoji vysokých podtlaků, které musí celé dveřní křídlo vydržet. Ještě k vyšším hodnotám těchto tlaků dochází pak při průjezdu dvou vlaků v tunelu. Dále technologie lepení materiálů umožňuje odlehčit celé dveřní křídlo, a tudíž i celou vlakovou soupravu, z čehož plyne pak úspora elektřiny či pohonných hmot při jízdě. Lepení je také vhodné díky jeho schopnosti spojovat dva velmi rozdílné materiály, což je jinými metodami velmi obtížně dosažitelné.

Historie technologie lepení je z jednoho pohledu velmi dlouhá (patří mezi nejstarší technologie), pokud se ale na ni podíváme z pohledu moderního průmyslu, patří tato technologie spíše k těm novějším. Není známo, odkud první adheziva přišla, ale prvotní užitky byly stanoveny již do 140. roku před naším letopočtem, v bájích a legendách bylo však lepidlo zmíněno již v období 1000 let před naším letopočtem. Použití bylo v historii postupné a užití spíše lokální (slepování kousků rozbitého porcelánu, ve stavebnictví, drobné opravy). Jako lepidlo se používala smůla ze stromů, lepidlo ze ryb a dalších zvířat. Industriálního moderního využití se dostalo technologii lepení až v roce 1754, kdy byl představen první patent ohledně výzkumu lepidel. Opravdu hromadné využití a zkoumání začalo ovšem až v minulém století, kdy mezi lety 1895-1912 ve Francii vznikly první továrny na lepidlo v Německu, Francii, Rakousku a Rusku. Zde se již vyráběla syntetická lepidla [1].

Cílem této práce je tedy zjištění vlivu jednotlivých faktorů na vytvrzovací reakci a ověření, technického listu lepidla, totiž zjištění za jak dlouho je možné dosáhnout dané pevnosti. Dále je cílem zjistit, zda je nutné držet lepené substráty v řízeném klimatizovaném prostředí, nebo zda je vliv okolních podmínek v určitém rozsahu zanedbatelný. Nepřítomnost prostředí, které zajišťuje konstantní podmínky pro vytvrzování lepeného spoje, šetří významné finanční položky v rozpočtu firmy.

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Firma využívající technologii lepení používá lepidlo Sikaflex®-265+SikaBooster® P-50. Firma by chtěla optimalizovat a ověřit stávající proces a zda je vůbec možná tento proces ještě optimalizovat (urychlit). Stávající proces využívá 2 % Boosteru v podmínkách výrobní haly (rozptyl vlhkosti 24,5-65 % a teploty 19,5 – 28,5 °C) kdy Sika jako výrobce lepidla doporučuje jakékoliv testování provést po 7 dnech při 23 °C a 50 % relativní vzdušné vlhkosti. Dle interního předpisu firmy IFE je první zkouška přilnavosti povrchu možná provést po 7 dnech. 4 dny byly tedy určeny jako polovina doporučené doby, s čím se bude v praktické části porovnávat. Ohledně zkoušky přilnavosti odlupem je za vybudovanou adhezi považováno minimálně 95 % CF porušení spoje. Cílem je tedy určit, jak moc tyto okolní vlastnosti prostředí mají vliv na lepený spoj a zda může dojít i k nebezpečným podmínkám a jak velký vliv má procento boosteru ve směsi. Z toho pak vyplývá i další cíl, zda je zapotřebí zakoupit klimatizované řízené prostředí pro správný vytvrzovací proces spojů nebo je možné pokračovat ve výrobě bez něj [2].

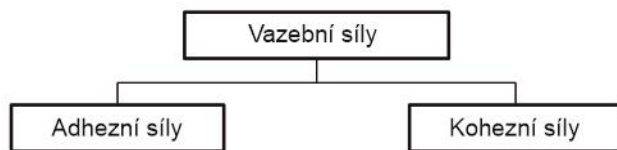
Porovnávací konstantou, je technický list výrobce (viz příloha 1), který uvádí, že pevnost ve smyku je přibližně 4,5 MPa, je nutno však zjistit, za jak dlouhou dobu. Hodnoty pevnosti ve smyku se získají za pomoci smykové zkoušky, která je definována v kap. 2.9.2 dle normy DIN EN 1465.

Výhody technologie lepení jako možnost spojovat různorodé materiály, žádná tepelně ovlivněná oblast, tlumení vibrací, nevzniká elektrolytická koroze atp. byly zmíněny v úvodu této práce. Nevýhodou technologie je pak doba vytvrzování, která je v řádu dnů a podle níž je nutné uzpůsobit celý technologický proces. Cílem výzkumů je pak optimalizovat tuto dobu vytvrzení a další výzkumy zase řeší vliv faktorů na zesíťovací (vytvrzovací) reakci ve spoji. Základními vlivy, které ovlivňují tento proces jsou teplota a vlhkost. Těm se věnuje právě i tato práce. Dále byl vzat v potaz vliv poměru boosteru vůči lepidlu.

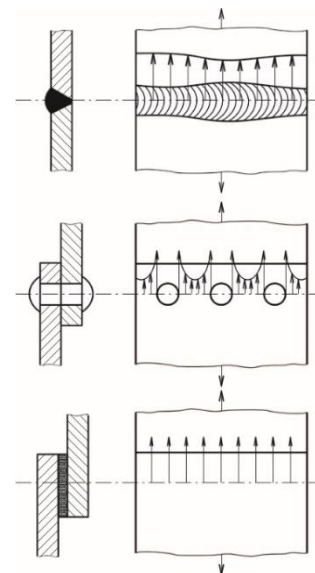
Zkoumané lepidlo je jednokomponentní elastický polyuretan (dle materiálového listu z přílohy 1). Jeho princip vytvrzování je na základě působení vzdušné vlhkosti. Při použití se SikaBoosterem® P-50 se pak jeho vlastnosti vytvrzování stávají mnohem méně náchylné na ovlivnění okolními faktory, které jsou právě předmětem této práce. Mezi výhody tohoto lepidla patří právě možnost urychlení reakce zesíťování pomocí Boosteru, vhodné jak k lepení, tak i tmelení, je elastické, tvoří adhezi při širokých podmínkách lepení a neobsahuje rozpouštědla a PVC. Adhezivo je určeno pro aplikaci při sklení, pro obecné spojové a tmelící aplikace. Je odolné vůči vlivu počasí čili je vhodné pro venkovní použití, což je při výrobě dveřních křídel pro kolejová vozidla nutné.

## 2 ZÁKLAD TEORIE LEPENÍ

Technologie lepení patří k těm nověji zkoumaným způsobům spojování více materiálů k sobě, nemá takovou tradici jako jiné spojovací technologie, především ve strojírenské praxi, jako například svařování či nýtování. Přestože byly lepidla dlouho známa již před vůbec industriálním obdobím v dějinách lidstva, v průmyslu se začaly využívat až v minulém století. Technologie lepení spojuje 2 základní materiály (substráty) prostřednictvím lepidla, které je vhodně zvoleno vůči materiálu, konstrukci lepeného spoje a které je správně zvoleno i s ohledem na podmínky, kde bude lepený spoj nadále působit. Toto lepidlo neboli adhezivo, musí mít dobrou přilnavost k oběma základním materiálům. Základním předpokladem pro toto je jeho dobrá smáčivost. Dále lepený spoj kromě přilnavosti (adheze) a smáčivosti závisí také na kohezi lepidla (vnitřní pevnosti) a pevnosti spojovaných materiálů. Rozdělení vazebních sil je právě znázorněno na obr. 1. Adheze je tak komplexní a zásadní jev, že je blíže popsán v samostatné kap. 2.2. Jednoznačné je ale to, že pro úspěšný lepený spoj je zásadní povrchové napětí, kde povrchové napětí lepidla musí být vždy nižší než povrchové napětí substrátu, aby došlo k rozlití lepidla po povrchu. I kvůli tomuto jevu se špatně lepí nepolární materiály jako jsou plasty, kde je nutná velmi dobrá příprava a aktivace povrchu před lepením. Cílem je získání polárních skupin i na nepolárním povrchu, aby došlo k chemické vazbě mezi lepidlem



Obr. 1 Rozdělení vazebních sil v lepeném spoji [24].



Obr. 2 Průběh napětí ve svařovaném, nýtovaném a lepeném spoji [15].

a substrátem – adhezi. Mezi polární skupiny patří skupiny OH, COO nebo CO. Díky reakci mezi reaktivními skupinami primeru a reaktivními skupinami polymeru lepidla dochází ke vzniku pevné chemické kovalentní vazby. Plasty mají totiž velmi nízké povrchové napětí čili je obtížné najít lepidlo s ještě nižší hodnotou této veličiny [3; 4; 5; 6; 7].

Lepidlo na základní materiál je možné nanášet ručně, či strojně. Mezi nástroje pro ruční nános patří pistole s mixérem (v případě dvousložkových adheziv), štětec, stěrka a kartuše. Mezi strojní nános patří válečky nebo dávkovače (poloautomatické i automatické ve spojení s roboty) [3].

**Technologický postup** u lepení je v podstatě stejný pro každé lepení (pro každou aplikaci lepidla na povrch a celkově vznik spoje) – předúprava povrchu substrátu, příprava lepidla (např. smíchání u vícesložkových komponent), nanesení lepidla, přilepení druhého substrátu (montáž) a vytvoření pevného spoje (jeho vytvrzení).

Mezi největší **výhody** lepených spojů se řadí rovnoměrnost rozložení napětí ve spoji. To je znázorněno na obr. 2. Lepené spoje také tlumí vibrace, díky různorodosti lepidel se dá najít i barevně vhodné adhezivo pro daný spoj. Do spojů kovových konstrukcí se nepřidává další kov jako u svařování, polymerická lepidla jsou daleko lehčí, toto pak nachází své využití zejména v automotive u výroby elektroaut (lepení skel do konstrukce dveří) a letectví. Za pomoci moderních technologií a robotů je možné lepidla dnes nanášet i čistě automaticky (nejčastěji využito v sériové výrobě např. v automotive). Zajistí se tak velká přesnost a opakovatelnost procesu, zrychlení procesu a omezení kontaktu člověka se zdraví škodlivými látkami, čímž lepidla nepochybně jsou (v nevytvrzeném stavu) [3; 5].

Technologie lepení má však i své **nevýhody**. Lepidla jsou často citlivá na změny teploty, spoje jsou rozebíratelná, ale pouze obtížně, oprava těchto spojů je téměř nemožná a je nutná dlouhá a složitá předúprava povrchu. Mezi největší nevýhody pak také patří doba vytvrzování, při níž dosáhneme požadované teploty (to se liší a záleží na konkrétní aplikaci a konkrétním lepidle) [3].

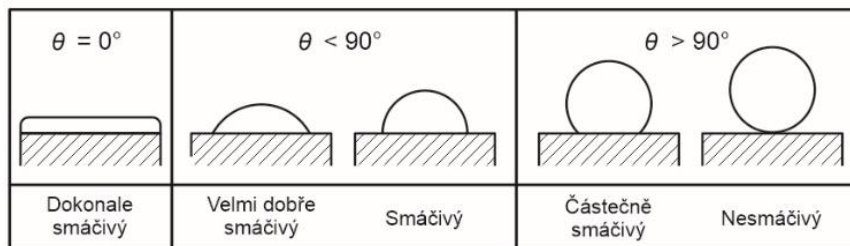
I u lepených spojů se objevují určité **typické chyby**. Mezi nejčastější patří nedostatečná adheze mezi lepidlem a základním materiálem, což pak ústí v nedostatečnou pevnost. Nesprávná adheze (a tedy pak i adhezní lom) může být zapříčiněna nesprávnou předúpravou povrchu, kde se lepidlo naváže na nečistoty a mastnoty na povrchu substrátu než na substrát samotný. Vzniká tak slabá vazbová vrstva. Další chybou je nesprávná kombinace materiálu a lepidla – mohou mezi sebou chemicky reagovat, což opět ovlivní pevnost spoje. Při špatném nastavení boosteru nebo vytvrzovacích podmínek nebo tloušťce housenky může dojít k bublinám ve spoji. Ty pak působí jako koncentrátor napjatosti a rozložení napětí v lepeném spoji není rovnoměrné, ale se špičkami. Další chybou je nevhodná tloušťka lepidla, kde při nedostatečné vrstvě lepidlo dostatečně nevyplní spáru a při příliš velké vrstvě lepidla dochází při například smykovém napětí i k ohybovému momentu a odlupovému zatížení na spoj, které je velmi nevýhodné. Další praktickou chybou bývá špatné zvolení lepidla s ohledem na praktické využití spoje. Například polyuretanová lepidla špatně snáší UV záření (sluneční záření), čili využití těchto lepidel na lepení venkovních instalací při špatném zakrytí těchto spojů ústí v rychlou degradaci spoje. Chyba může být i v základním materiálu, a to při jeho nevhodném povrchu vůči adhezivu, jeho nehomogennost nebo jeho mechanické porušení a tím i změna drsnosti spoje, a tedy tloušťky spoje [3; 4].

**Navrhování konstrukce lepených spojů** silně ovlivňuje výslednou výkonnost a pevnost daného spoje. Čím větší je lepená plocha, tím je lepší výsledek. Nejčastějším typem lepeného spoje je přeplátovaný, který je možné zpevnit příložkami. Oproti tuhým spojům, které jsou vhodné na tlakové namáhání (při tahu zde vznikají nevhodné stříhové napětí), jsou přeplátované spoje vytvořeny na namáhání v tahu a smyku. Zde je ovšem nutné si dávat pozor na spojování polymerů, protože jejich měkkost a elasticita dává vyhnutím možnost za vznik odlupových napětí, která jsou pro lepené spoje nejméně vhodná. Všeobecně platí, že nejvhodnější vrstva lepidla je v řádu desetin milimetrů, nevznikají zde pak tak intenzivní smyková a odlupová napětí. Základní poučkou je, aby největší pevnost spoje byla ve směru maximálního namáhání a plocha lepeného spoje by měla být co největší, aby se napětí mohlo rozprostřít. Při návrhu spoje se musí započítat vliv okolí, namáhání, povrchové úpravy, vliv adherendů a lepidla [3; 4].

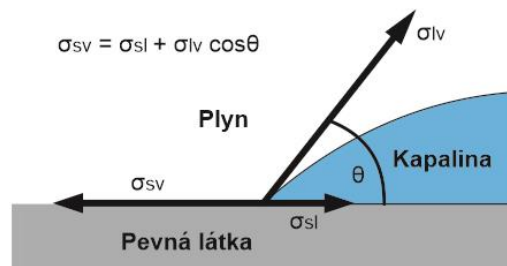
Celková kvalita spoje je vyhodnocena na základě několika **analýz** – analýza pevnosti spoje, základních způsobů lepení, tvorby lepidel, konstrukce spoje, podmínek využití spoje, technologie výroby spoje. Tyto všechny analýzy a faktory pak ovlivňují výsledný návrh spoje a jeho využití [3; 4].

## 2.1 Smáčivost

Smáčivost je vlastnost materiálu, který je lepen. Aby tato vlastnost materiálu byla dostatečně dobrá, je nutno materiál předupravit (ve většině případů). Dobrá smáčivost je základním kamenem ke vzniku adheze. Ke stanovení stupně smáčení se používá **kontaktní úhel** mezi kapalinou (tečnou ke kapce) a základním materiálem. Čím menší je tento úhel, tím lepší je smáčivost (i menší povrchové napětí). Při dostatečném smáčení (pod  $90^\circ$ , ale obvykle se hledají ještě menší úhly) převažují adhezivní síly materiálu před kohezními silami v kapce tekutiny (lepidla). Kontaktní úhel se může měřit pouze ve stavu rovnováhy a klidu. Jak ovlivňuje tento úhel smáčivost kapky je znázorněno na obr. 3. K popisu kontaktního úhlu ( $\theta$ ) se využívá



Obr. 3 Znázornění stupňů smáčivosti [19].



Obr. 4 Grafické znázornění kontaktního úhlu [4].

povrchových napětí na rozhraní základního materiálu, okolní atmosféry a kapky lepidla, které do souvislosti dává Youngova rovnice 2.1. Grafické znázornění této rovnice je znázorněn na obr. 4. Hodnoty jednotlivých povrchových napětí  $\gamma$  reprezentují hodnoty, kterých se dosáhne v rovnovážném stavu všech 3 látek [8; 9; 10; 11].

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{sv} - \sigma_{sl}}{\sigma_{lv}} \quad [4], \quad (2.1)$$

kde:  $\theta$  - kontaktní úhel [ $^\circ$ ],

$\sigma_{lv}$  - mezifázové napětí na rozhraní lepidla a okolní atmosféry [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\sigma_{sv}$  - mezifázové napětí na rozhraní pevného substrátu a atmosféry [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ],

$\sigma_{sl}$  - mezifázové napětí na rozhraní lepidla a substrátu [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ].

Zda je materiál smáčivý vůči dané tekutině se zjišťuje experimentálně (inkoustová metoda) nebo porovnáním hodnot povrchového napětí známých materiálů. Tekutina se rozlije, pokud je její povrchové napětí menší než povrchové napětí substrátu. S tématem smáčivosti úzce souvisí pojmy povrchové napětí a povrchová (volná) energie. **Povrchové napětí** je napětí na povrchu kapaliny, kde suma sil není nulová jako uvnitř kapky. Ke zvýšení plochy je nutné sumu sil překonat a energie spotřebovaná pro zvětšení této plochy je nazývána jako **povrchová energie**. Síly působí do kapaliny, proto mají kapky tvar koule, protože to je nejmenší možný povrch. Povrchové napětí a povrchová energie je u kapaliny stejná, u pevných látek ne. Povrchové napětí je definováno jako práce nutná ke zvětšení plochy povrchu na jednotku (povrchová energie na plochu). Povrchové napětí může být ovlivněno teplotou, protože se zvyšující se teplotou se zvyšují i viskozita referenčních kapalin nebo lepidel a povrchové napětí klesá [8; 10].

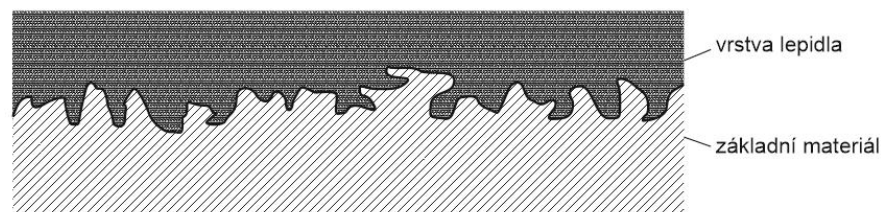
Měření povrchového napětí se liší pro kapaliny a pevné látky. Jsou statické i dynamické metody. Mezi nejtypičtější metody měření napětí povrchu substrátu patří inkoustová metoda nebo metoda měření kontaktního úhlu goniometrem [11].

## 2.2 Teorie adheze

Adheze neboli přilnavost lepidla k základnímu materiálu je velmi složitým úkazem. Přesný popis, jak tento proces probíhá je dodnes neznámý. Existuje ovšem několik teorií a s největší pravděpodobností bude u adheze docházet ke kombinaci těchto teorií. Mezi nejstarší teorie patří mechanické propletení (někdy také jako zaháčkování), elektrostatická teorie a difúze. Novější teorie mluví o chemických vazbách, velkém vlivu smáčení (smáčecí teorie) a o slabé mezní vrstvě [8; 12].

Všechny tyto procesy probíhají na molekulární úrovni. Rozdělení jednotlivých teorií adheze se dělí na makroskopickou úroveň (vliv je viditelný okem), mikroskopickou a molekulární úroveň. Mechanická adheze na mikroskopické úrovni, difúze, chemická adheze a slabá mezní vrstva na úrovni molekulární a elektrostatická teorie na makroskopické úrovni [8; 12].

- **Mechanická teorie adheze** říká, že adheze nastává v momentě, kdy lepidlo penetruje do základního materiálu – do jeho pórů a dalších nedokonalostí, do jeho „drsnosti“. Dalším pozitivním jevem ke vzniku tohoto druhu adheze je „mechanické proplétání“ (viz obr. 5), kdy se adhezivo zaháčkuje o jednotlivé výstupky na nedokonalém povrchu substrátu. Chybou či nedokonalostí této teorie ovšem je, že k adhezii dochází i na velmi hladkých materiálech. Vysvětlení, proč se na hrubším povrchu adheze lépe uskutečňuje



Obr. 5 Znárodnění principu mechanické adheze [24].

je zvýšení reaktivní plochy. Čili není jasné, zda za vyšší adhezi může mechanické zaháčkování do nedokonalostí povrchu nebo zvýšená reaktivní plocha po obrobení. Každopádně vliv to má u povrchů s nízkou povrchovou energií, kde zvýšená drsnost povrchu (například u polymerů a textilií) napomáhá pevnosti lepeného spoje. Tato teorie se mezi další teorie adheze často nedává z důvodu spíše „za kotvení“ obou materiálů do sebe výstupky (jichž lepidlo využívá) a spoj je tedy pevnostně charakterizován spíš z pevnosti lepidla jako takového a jedná se spíše o mechanický spoj. Přesto pak měření ukázala, že drsnost povrchu má na pevnost spoje vliv, proto je zde uváděna [4; 6; 8; 12].

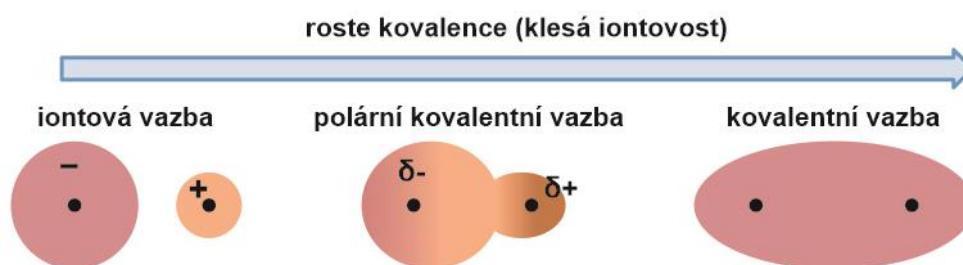
- **Elektrostatická (elektronová) teorie** tvrdí, že adheze nastává díky elektrostatickým efektům mezi adhezivem a adherendem. Výměna elektronů teoreticky nastává díky nestejnorodým pásům elektronových struktur. Elektrostatické síly ve formě dvojité vrstvy jsou vytvořeny na rozhraní těchto dvou látek na základě toho, že je spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Tvrzení podporující tuto teorii je díky vypořádanému elektrickému náboji, který vzniká při odlupování housenky (případně jiných pásků) adheziva od základního materiálu. Po výpočtech a experimentálních měření bylo zjištěno, že příspěvek elektronického mechanismu je u polymerních spojů významný ovšem u kovových spojů velmi drobný při srovnání s chemickými vazbami [4; 7; 8; 13].

- **Difúzní teorie** – adheze dle difúzní teorie vzniká díky difúzi molekul mezi adherendem a lepidlem napříč rozhraním. Tak dochází k promíchávání obou povrchů. Tato teorie je uplatnitelná v momentě, kdy jak lepidlo, tak substrát je z polymeru s dlouhými řetězci molekul, které jsou schopné se hýbat. Samotné chemické složení základního materiálu a lepidla a jejich struktura ovlivňuje, zda se adheze vůbec bude konat. Existují výzkumy, které podporují tento druh teorie, kdy se za vyšších teplot (tedy i intenzivnější difúzi) nastává vyšší pevnost spoje. Nedostatkem této teorie je nedostatečné vysvětlení úspěšné adheze i vzájemně nepodobných materiálů (nedifundují na základě chemické podobnosti) jako jsou kov-plast [4; 7; 8; 13].
- **Smáčecí teorie** tvrdí, že adheze je výsledkem molekulárního kontaktu 2 látek a povrchové síly od povrchového napětí je drží pohromadě. K vytvoření takových vazeb je zapotřebí dobré smáčivosti adherendu lepidlem (ideální je dokonalá smáčivost při roztečení lepidla po povrchu adherendu). Pro dosažení dobré smáčivosti je zapotřebí lepidlo, které má menší povrchové napětí než samotný základní materiál. Problematika smáčení je v kapitole 2.1. Při dobrém smáčení povrchu dochází k zatečení adheziva do nedokonalostí povrchu a je tak vyšší reaktivní plocha. Při nedokonalém smáčení se vytváří z lepidla můstky před nedokonalostí a plocha se zmenšuje, což má za výsledek menší pevnost spoje [8].
- **Teorie chemických vazeb** připisuje vznik adheze chemickým vazbám mezi lepidlem a adherendem. Při existenci vzájemně reaktivních skupin na povrchu substrátu a v lepidle se mohou vytvořit kovalentní a iontové velmi pevné vazby. Získ těchto reaktivních skupin je cílem předúpravy povrchu (mimo jiné). Pro získání pevného adhezivního spoje je tedy potřeba, aby byly vytvořeny silné primární vazby mezi lepidlem a substrátem. Dále se zde vyskytují slabší vazby – vazby vodíkových můstků a Van der Waalovy síly, které napomáhají vzniku spoje, ale již ne tak výrazně. Problémem této teorie je, že lepení neprobíhá za termodynamických podmínek, které by umožňovaly vznik primárních vazeb, a pokud by i tak nastaly, vazby by probíhaly i v rámci jednotlivých fází, a nejen na povrchu [4; 8; 13].
- **Teorie slabé mezní vrstvy** říká, že porušení lepeného spoje nastává buď kohezním porušením (v základním materiálu nebo lepidle) nebo kvůli slabé mezní vrstvě. Tato slabá vrstva může vznikat kvůli lepidlu, základnímu materiálu nebo prostředí. Často toto porušení vyvstává v moment, kdy se v jednom místě na substrátu objeví vyšší koncentrace nečistot a vzniká tak slabá vazba mezi lepidlem a substrátem. Lepidlo se totiž váže k nečistotám, a ne k povrchu. Příkladem může být vrstva kovových oxidů na povrchu kovů, oxidy nejsou vždy pevně připojeny k základnímu materiálu dostatečně pevně, může tedy pak nastat porušení při jejich odlepení od základu. Toto se netýká však hliníkových slitin, ty mají oxidickou vrstvu velmi pevnou. Slabé povrchové mezní vrstvy (kovových oxidů) mohou být odstraněny příslušnou povrchovou úpravou, ale nejčastěji vznikají na polymerních materiálech, ty jsou známé odmítáním cizích substancí. Příkladem slabé mezní vrstvy z vlivu okolí je uvězněná vzduchová vrstvička při nedokonalém smáčení substrátu lepidlem [8; 12].
- **Reologická teorie** neobjasňuje příčiny vzniku adhezivního spoje, ale říká, že správný adhezivní spoj se nikdy nepřeruší a přerušení daného lepeného spoje vždy nastane kohezně či v substrátu. Tato teorie sice neobjasňuje, jak adheze vzniká, umožňuje ale pevnostní výpočty, které říkají, že pevnost spoje závisí na mechanických vlastnostech substrátů a adheziv [4; 8; 12; 13].

Dle mnoha teorií je adheze, jak bylo výše uvedeno, velmi složitý proces. Další neméně důležitou vazbou v lepeném spoji jsou síly a vazby **kohezní** (v rámci lepidla, v rámci základního substrátu). Kohezní síly se někdy také označují jako soudržné. Mezi základní

kohezní vazby patří kovová vazba, polární vazba, van der Waalsovy vazby, iontové a kovalentní vazby a síly tvořící vodíkové můstky [4; 6; 14]:

- Princip **kovalentní vazby** spočívá ve výměně a sdílení valenčního elektronu (páru) mezi 2 atomy podobné elektronegativity (případně výměna elektronového páru, který se pak společně sdílí mezi spojovanými částicemi). Dochází pak k zaplnění poslední valenční vrstvy a vzniká vyšší stabilita spoje. Polární a nepolární vazby se rozlišují pouze na základě rozdílu hodnot elektronegativit atomů účastnících se vazby. Při překonání horní hodnoty rozdílu elektronegativit polární vazby pak vzniká vazba iontová (nejpolárnější) [6; 14].
- **Iontová vazba** stojí na principu elektrostatického přitahování záporných a kladných nábojů. Tyto náboje vznikají při přesunu valenčních elektronů k atomu, který má vyšší elektronegativitu. K přesunu ale dochází pouze při dostatečném rozdílu elektronegativit jednotlivých atomů účastnících se vazby. Atomy pak doplňují vzájemné elektronové valenční vrstvy. Elektronegativnější atom se pak stává záporným anionem a donor se stává kationem. Vliv kovalence na vazbu je na obr. 6 [14; 15].



Obr. 6 Znáznornění kovalence jednotlivých druhů chemických vazeb [26].

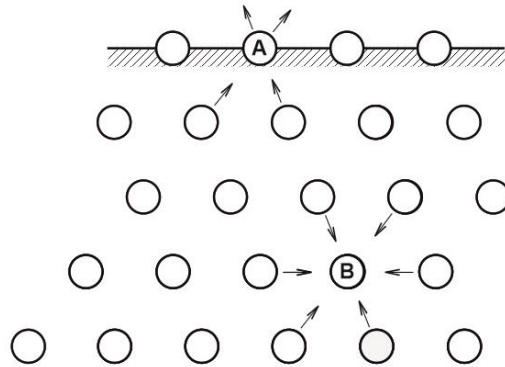
- **Kovová vazba** se nachází v krystalech kovů. V mřížce se pak sdílí všechny valenční elektrony se všemi atomy. Vzniká zde tzv. elektronový plyn, kde kationty jednotlivých atomů kovu jsou v co nejtěsnějším uspořádání. Tento druh vazby je pak způsoben elektrostatickou přitažlivostí kladně nabitých částic kovu a elektronů v elektronovém plynu. Elektronový plyn pak umožňuje základní vlastnost kovů, a to elektrickou vodivost pomocí uspořádaného pohybu elektronů v materiálu [14; 15; 16].
- **Van der Waalsovy síly** patří mezi slabé mezimolekulové interakce. Tyto síly působí mezi všemi částicemi. Základním principem je působení dipólů. Přestože jsou atomy navenek nejčastěji neutrální, v důsledku kmitání elektronů kolem jádra (kromě teploty 0 K) dochází k odchylkám a chvilkovým vznikům dipólů, které mezi sebou pak interagují. Tyto síly jsou ale velmi slabé [17; 18].
- **Síly tvořící vazbu vodíkovými můstky** stejně jako síly Van der Waalsovy patří k slabým mezimolekulovým vazbám, i když je poněkud silnější než ostatní slabé vazebné síly. Podmínka vzniku této vazby je přítomnost vodíku v molekule a dále velmi silně elektronegativní prvek s volným elektronovým párem. Typickými představiteli jsou kyslík, dusík a fluor. Vodík má pouze jeden valenční elektron, který mu převezme právě silně elektronegativní atom. Pak vzniká kation vodíku, který poutá volný elektronový pár druhého atomu a vzniká vazba. Vodíková vazba je větší, než Van der Waalsova [17].

Celková problematika adheze a její zkoumání zatím došlo k závěru, že je adhezní vazba složena z několika faktorů, otázkou zůstává, které z těchto faktorů a teorií mají největší vliv na adhezi a které menší. Jedno je ale jasné – správný adhezní spoj se zabezpečí pouze při správné předúpravě lepených povrchů.



## 2.3 Povrch kovů

Povrch jakožto hranice dvou rozlišných prostředí má i různé vlastnosti v závislosti na předúpravě a vlastní struktuře materiálu. K popisu povrchu lze přistoupit z více stran, ovšem pro prvotní posouzení musíme nejdříve znát vlastnosti dokonalého povrchu čistého kovu. Samotný povrch ovlivňuje mnoho vlastností základního materiálu – optické (odrazivost a lom světla) nebo například mechanické (třecí vlastnosti). Ovlivní pak výsledný lepený spoj.



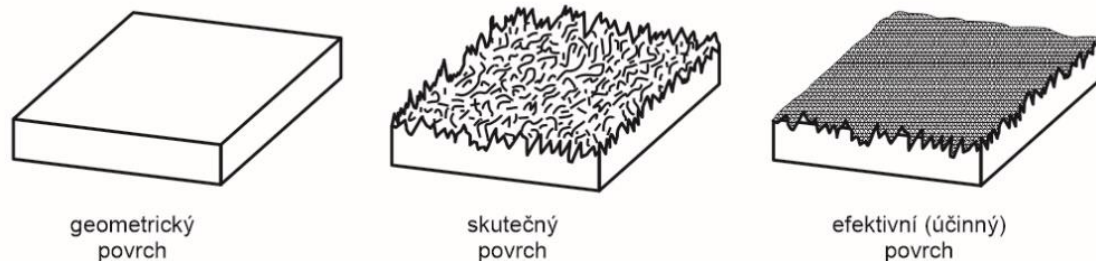
Obr. 7 Působení mezimolekulových sil na částice na povrchu materiálu a uvnitř jej [19].

Volný povrch kovů se dá popsat jako soubor zrn, které vytvářejí rozhraní mezi fází a okolím. Okolí (nejčastěji plyn) pak reaguje s povrchem dle druhu kovu (a jeho mřížky) a dle druhu okolí. Co ale mají všechny pevné fáze společné, pak je to změna působících sil na atom na povrchu materiálu. Uvnitř základního materiálu jsou síly vzájemně kompenzovány (na obr. 7 atom B), zatímco na povrchu působí na atom A síly pouze zespu. Vzdálenost povrchové vrstvy je pak mírně větší oproti ostatním vrstvám pod ní, uspořádání atomů se liší a povrch tak může být nestabilní a neúplné nasycení povrchových vazeb vytváří pak silové pole, které absorbuje plyny z okolí a dochází k jejich hromadění [6; 19; 20; 21].

**Povrchová energie** je energie potřebná k vytvoření nového povrchu na jednotkové ploše. Je to míra vztažných sil mezi molekulami materiálu a také vůči molekulám dalších fází (například lepidla). Stabilní plochy mají tuto energii co nejmenší. Čím vyšší je povrchová energie materiálu, tím je základní materiál lehčí k lepení (ke smočení a přilnutí, což je pak důležité pro správnou adhezi lepidla k adherendu). Materiály s nejvyšší povrchovou energií jsou kovy, naopak s nejmenší nejčastěji plasty, proto se pak plasty musí pečlivě předupravovat před samotným lepením [20; 21].

**Geometrická struktura** (znázorněna na obr. 8) povrchu kovů hraje při lepení kovů velkou roli. Přičemž se musí ujasnit pojmy, se kterou plochou se právě pracuje a která plocha je ta efektivní (cílená). **Geometrická plocha** je ideální, čistá a bez rýh. **Skutečná plocha** je ta, kterou získáme naměřením povrchu kovu metrologickými metodami. Je nepravidelná s množstvím chyb a je obtížné stanovit lepicí proces na tomto povrchu, například kvůli tloušťce housenky (kdyby byla nedostatečná, nezbyde adhezivo mezi spojovanými substráty a někde by zase přebývalo, a to by znamenalo neoptimální pevnostní podmínky). **Efektivní (účinná) plocha** představuje část reálného povrchu, která reálně je schopná vyvinout lepený spoj, dotýká se lepidla a přispívá k pevnosti vazby. Optimální drsnost se ověřila měřením, kde v závislosti na přilnavosti byla experimentálně zjištěna jako 50  $\mu\text{m}$ . Zdrsněním se zvětší efektivní plocha, při ale velké drsnosti je obtížné zaplnit výběžky adhezivem [22].

Struktura povrchu je nejen geometrická, ale i **elektronová** (popisuje rozložení elektronových hustot), se kterou úzce souvisí jeho chemická reaktivita. Jak bylo již zmíněno výše, atom na povrchu materiálu je v nesymetrii sil. Jeho stav se pak dá popsat jako stav někde mezi plně izolovaným atomem a atomem uvnitř materiálu. Atom má pak část elektronů vázaných v povrchové vrstvě (lokalizované elektrony) a část delokalizovaných (volných). Právě ty jsou velmi podstatné kvůli další interakci s okolím. Pomocí nich se právě molekuly okolí mohou připojit k povrchu (adsorpce) [6].

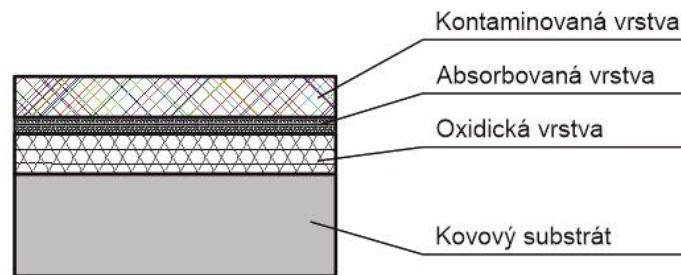


Obr. 8 Efektivní plochy povrchu materiálu [6].

**Adsorpce** plynných molekul k povrchu pevné fáze je více druhů. Chemisorpce je vázání plynných molekul přes elektron a adsorpce fyzikální s využitím například mezimolekulových Van der Waalových sil. Molekuly plynu pak dále mohou vytvořit souvislou vrstvu na povrchu základního materiálu, mohou vytvořit více vrstev nebo mohou pronikat hlouběji. Vznik adsorpční vrstvy je převážně reversibilní. Povrchy reálných kovů jsou heterogenní s různými zrny a různými mřížkovými vadami. Pak je tedy pokrýván vrstvami molekul s různou tloušťkou a složením nebo hustotou. Nikde tedy není dokonale stejná vrstva. To a další nečistoty a změny poměrů faktorů jako jsou tlak či teplota, dochází ke změně tloušťky vrstvy a činí tento proces velmi obtížně přesně predikovatelný. Nejen adsorpce je jedinou interakcí plynných molekul se základním materiálem. Dalším vlivem je i **difúze** směrem dovnitř krystalu a také rovinná difúze (po povrchu). Absorbované částice pak mění vazby v rámci povrchové vrstvy [6; 19].

Při uvažování kovových slitin se základní materiál stává složitějším, protože se zde nevyskytuje ideální čistý kov, ale různé roztoky a další tuhé fáze. Pak zde vzniká povrchová segregace čili chemická a strukturní rozdílnost mezi materiálem v závislosti vzdálenosti od povrchu. Pokud se budeme bavit o **reálném povrchu**, pak reálné materiály nemají povrchy dokonale čisté – vyskytují se zde adsorbované oxidy, rýhy, vlhkost, nečistoty mastné či organické atp. To vše má vliv na další vlastnosti a vlastní využití daného materiálu. Pro technologii lepení tyto jevy hrají velkou roli při vytváření adheze, která je základním kamenem této technologie. Pokud je povrch nedokonalé připravený a vyskytují se na něm výše zmíněné nedokonalosti ve větší míře, adhezi není možné dosáhnout tak, abychom splnili podmínky správného spoje. Aby byla zajištěna co největší čistota a rovnost povrchu, je potřeba povrch materiálu před samotným lepením předupravit. Předúprava se liší dle typu materiálu [19].

## 2.4 Úprava povrchů kovů pro lepení



Obr. 9 Vrstvy na povrchu kovových materiálů [22].

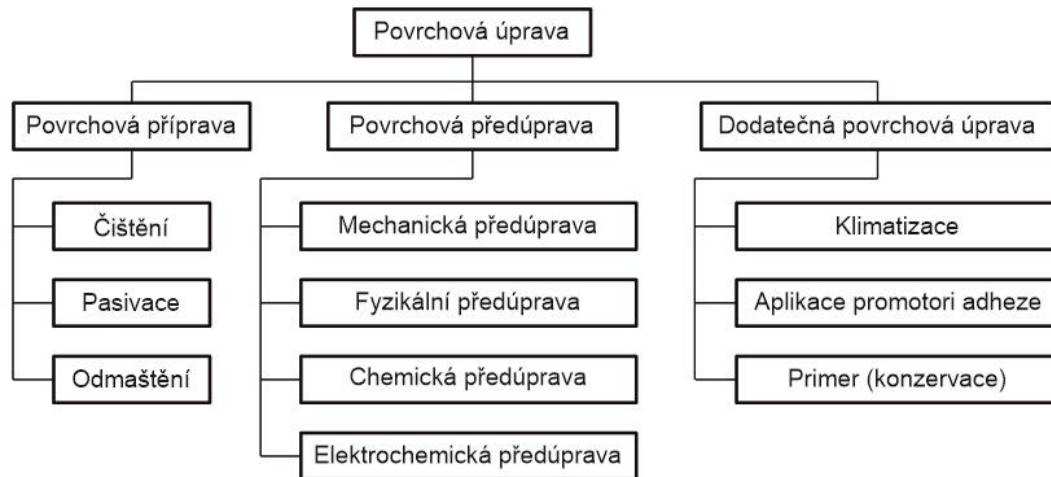
Hlavními úkoly úpravy povrchů všem materiálů je ke zlepšení opakovatelnosti a stálosti lepeného spoje, adheze (aktivace povrchu, zvýšení volné povrchové energie) a smáčení a ke zlepšení vytvoření silnějších vazeb a aktivace povrchu. Dalšími důvody, proč úpravu povrchu dělat jsou eliminace slabých mezních vrstev (kontaminanty a oxidické vrstvy, které nejsou pevně spojeny se základním povrchem) a úprava povrchové energie. Cílem je vytvoření povrchu pro adhezni spoj, kde jsou známé a definované vlastnosti a zlepšení povrchu tak, aby se prodloužila trvanlivost spoje v důsledku odstranění všech vrstev snižující adhezi. Celková charakteristika předúpravy pak záleží na samotném materiálu a adhezivu, stavu povrchu před započítáním speciální předúpravy pro technologii lepení (zda je materiál odlit atp.) a také na požadavcích na daný spoj a tvaru výrobku. Mezi nejčastěji volené druhy předúpravy materiálu (nejčastěji se používá více za sebou) patří odmašťování, umytí, mechanická předúprava (obrábění), povlakování a další konzervace povrchu. Mezi jednotlivými kroky se aplikuje oplach, (odvětrání) a usušení. Povrch, na který je možné aplikovat lepidlo (tak, aby se výrazně nezměnil) je ten, který je pevně připojen k samotnému kovu. U hliníkových slitin, které jsou předmětem praktické části této práce, je tato vrstva ta oxidická (reaktivní). Tato oxidická vrstva vzniká na základě okolní atmosféry (vlhkost, kyslík v atmosféře). U ostatních kovů je vrstva reaktivní taktéž pevně spojena se základním kovem. Jednotlivé vrstvy povrchu kovů jsou znázorněny na obr. 9. K zajištění takového povrchu je předúprava povrchu k lepení krucální. [12; 22; 23]

Všechny kovy obsahují oxidovou vrstvu, její struktura se však liší. Některé jsou kompaktní, jiné se drojí. Cíle úprav povrchů je se zbavit nekoherentních vrstev, odstranění současné zoxidované vrstvy a nahradit ji takovou, kde je možná lepší predikce povrchu s lepší koherencí a soudržností s kovem, aby byl spoj dostatečně pevný. [22]

**Proces celkové úpravy povrchu se dá rozdělit na 3 fáze – povrchová příprava** (odstranění všech vrstev snižující adhezi, otření, aklimatizace materiálu, očištění od mastnot), **povrchová předúprava** (mechanické, chemické a fyzikální metody, popř. povlakování pro zvýšení smáčení a adheze aktivací povrchu) a proces úpravy povrchu již po slepení (**dodatečná úprava** a zakonzervování povrchu na delší čas – primer). [6; 22; 23]

### 2.4.1 Povrchová příprava

Mezi přípravu povrchu patří vizuální kontrola (výskyt rýh mimo normu atp.), aklimatizace substrátů (zabránění kondenzaci vody při změně teplot), začištění rohů, oplach a někdy se do této skupiny řadí i mechanická úprava (k odstranění koroze). Nejvýznamnější je ovšem samotné čištění povrchu pro různé lepené materiály. Výsledná pevnost spoje závisí na použitém čisticím a jeho metodě nanášení. Zařazení povrchové přípravy a další fáze povrchové úpravy jsou znázorněny na obr. 10 [6; 8; 23].



Obr. 10 Rozdělení fází povrchové úpravy před lepením [6].

**Odmašťování a očištění** povrchu patří mezi nejdůležitější kroky samotné úpravy povrchu. Pokud by byl mastný, vytvářela by se vazba mezi lepidlem a mastnými částicemi, a ne částicemi materiálu, jak je žádoucí. Očištění povrchu by se mělo provádět i během mechanických předúprav (bude rozvedeno dále), aby se předešlo inkorporaci nečistot do povrchu substrátu. Adheze by pak totiž nebyla dostatečně pevná. Odmašťovat se dá otřením rozpouštědly, sprejováním nebo využitím plazmy [6; 8; 23].

**Výběr rozpouštědel** je stěžejní pro přípravu povrchu. Rozpouštědla musí odstranit všechny mastnoty a nečistoty na povrchu (polární i nepolární), zároveň nesmí na povrchu ulpět, ale co nejrychleji se vypařit, nesmí základní materiál poničit nebo způsobit korozi a také nesmí porušit bezpečnostní normy (i ohledně životního prostředí).[6] Čistidla mohou být organická (mezi ně patří i velmi častý isopropanol či aceton) nebo anorganická (stlačené plyny) nebo vodné čisticí prostředky (kyselé, neutrální a zásadité). Metody nanášení čistidla jsou několikeré [23].

**Metody čištění** povrchů jsou různé, nejčastější je však jednoduché otření. Výběr metody závisí na stupni chtěného vyčištění. V kombinaci s ponořením se využívá mechanického umývání či zvýšené teploty. Metoda sprejování naopak pro hořlavá čistidla doporučena není, pouze v inertní atmosféře, což je další finanční náklad. Tato metoda je také vhodná pouze pro otevřené plochy, kde síla čistidla při výstupu ze spreje vyčištění napomáhá. Vypařovací metody odmašťování jsou velmi efektivní. Princip této metody je jednoduchý – čištěný povrch je chlazen a je vložen do komory s horkým plynem. Plyn – čistidlo – na substrátu kondenzuje a odtéká pryč, přičemž s sebou bere i nečistoty. Pak se výrobek nechá vysušit. Dalšími možnostmi odmašťování jsou elektrochemická či čistě ultrazvuková (fyzikálněchemická). Ultrazvukové metody se často kombinují s plyny či tekutinami [8; 22].

Po nanášení čistidla je důležité povrch nechat odvětrat (opět dle druhu), aby se adhezí spoj netvořil mezi molekulami čistidla a lepidla, ale mezi lepidlem a spojovanou látkou. Velmi se doporučuje aplikovat lepidlo na adherend co nejdříve po očištění a předúpravě povrchu, aby nedošlo k sekundárnímu znečištění a maštění [22].

Zdroje znečištění jsou různorodé, z lubrikantů využitých při předchozí výrobě nebo z rukou pracovníků na lince. Jedná se o různé oleje, maziva, vosky, tuky, rez, oxidy, prachové částice nebo pasty. Proto je vždy před procesem lepení důležité zvážit co se s materiálem dělo a tomu pak výrobní postup přizpůsobit [22; 23].

### 2.4.2 Povrchová předúprava

**Aktivace** povrchu je dalším důležitým krokem k zajištění správného adhezního spoje. Cílem aktivace je zvýšení povrchové energie, aby mohlo dojít k lepšímu rozlití lepidla a umožní tak lepší přípravu pro spoj. Aktivace dostává do polohy dipóly na povrchu substrátu tak, aby byly reaktivní s adhezivem – dojde k vychýlení z jejich rovnovážné polohy. Aktivovat povrch lze chemicky nebo dalšími fyzikálními metodami a povlakováním. Mezi další efekty, mimo zvýšení schopnosti adheze, aktivace povrchu patří nízká přitažlivost vůči uhlíkovým částicím (například prach z okolí) a uvolnění místa pro adhezivo čili se povrch kovu chrání. Nejčastější způsoby aktivace jsou aktivací plazmou, chemickým způsobem či pod UV zářením. Tyto metody ovšem nepřipraví a nezarovnají povrch tak dobře jako mechanické předúpravy povrchu, navíc jsou mechanické metody často levnější a jednodušší pro aplikaci ve výrobě. Proto se často tyto způsoby kombinují [23; 24; 25; 26].

Předúprava povrchu závisí na mnoha činitelích: druh výrobku, druh materiálu a jeho chemické složení, stav povrchu výrobku před úpravou, rozměry výrobku a jejich množství, druh lepeného spoje a dispozice firmy atp. [26]

**Mechanická předúprava povrchu** je nejstarší a nejobvyklejší metodou předúpravy povrchu pro zlepšení adhezních vazeb. Může být klasicky obráběcí (např. broušení nebo otryskávání pískem, kartáčování, lapování, superfinišování, frézování), či s využitím nekonvenčních technologií jako silikátování tryskáním. Během mechanické úpravy povrchu dochází ke vzniku pravidelných i nepravidelných stop po obrobení, vzniká vnesené napětí a vznik trhlin a lomů. Všeobecně se metody mechanické předúpravy dají rozdělit na obrábění s koherentními nástroji a s volnými částicemi. Tyto metody mají čisticí účinek, zvětšení povrchu, upravují geometrii a také aktivují povrch (ale pouze v omezené míře). Každá technologie, která zvýší drsnost (a tím i povrchovou energii) lepené plochy je pro lepicí proces kladná. Zvýšená drsnost znamená větší povrch, kam se může adhezivum uchytit a mechanické „háčky“ v povrchu tomuto také napomáhají (mechanický způsob adheze viz kapitola 2.2). Při ale přílišné drsnosti je obtížné povrch dokonale smočit, přičemž smáčení je jedním ze stěžejních podmínek k dosažení správné adhezní vazby. Optimální drsnost se pohybuje v intervalu  $R_m=7-25 \mu\text{m}$ . Podstatné je ovšem nanesení dostatečné tloušťky adheziva, aby se nové zdrsnění povrchu vyrovnalo. Po každé obráběcí metodě je důležité očištění substrátu, aby se nadále vzniklé třísky a prachové částice neinkorporovaly do materiálu. Tyto metody předúpravy povrchu také napomáhají odstranění absorbovaných látek (u hliníku je okamžitý vznik nové zoxidované vrstvy) a je typická pro kovové a skleněné základní materiály. Výhoda mechanické předúpravy povrchu je jednoduchá implementace do výroby, nástroje jsou poměrně levné a konvenční a poměrně přesná predikce povrchu. Nevýhodou je vnášení napětí do základního materiálu, což může napomáhat pozdější deformaci spoje [22; 23; 26].

- Pro **broušení** se doporučuje zrnitost P120. Každé zrno má svoji orientaci a nejsou přesně definovány čili ani povrch není pravidelný. Používají se broušící stroje s broušícími kotouči, kde zrna jsou upevněna v houževnaté matici. Dochází k odebrání tenké vrstvy na povrchu [22; 26].
- K **otryskávání** se využívají kovové, organické či minerální materiály (písek), přičemž nejvhodnější pro lepení je využití korunu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a skleněných zrn. Existují i organické prostředky jako jsou rozdrčené částičky vlašských ořechů. Je možné využít suchých či mokrých metod. Využívá se stlačeného vzduchu nebo odstředivých sil, u mokrých

metod pak vody či dalších abrazivních médií. Urychlené částice pak dopadají na povrch a opracovávají ho díky své kinetické energii. U mokrých metod, zvláště při použití vody, vstupují do hry faktory zvyšující rychlost vzniku koroze. Proto se voda častěji nahrazuje například dusíkem sodným, který tuto reakci zpomaluje. Rychlost částice na výstupu je až 100 m/s. Kromě rychlosti výstupu je podstatný také úhel, pod kterým částice na povrch dopadá. Výsledný vzor na povrchu totiž velmi ovlivňuje pevnost spoje. Po tryskání je kruciólní dobré očištění povrchu k odstranění všech částic. Efekt této metody je čistící a zdršňovací [8; 22; 26].

- **Silikátování tryskáním (SACO)** kombinuje 2 úpravy povrchu v jednom. Nejdříve odstraní požadovanou část povrchu pomocí korundového zrna a stlačeného vzduchu a poté vytvoří přilnutím silikátový povrch (na základě oxidu křemičitého) z povrstvovacího materiálu na korundovém zrně. Vzniká pak přilnavější povrch a keramická vrstva [23].
- **Kartáčování** se využívá pro odstranění velmi hrubých nečistot (rez). Spolu s **leštěním** se používá pro snížení drsnosti povrchu, což je pro technologii lepení spíše záporným faktorem, proto se tyto metody příliš nevyužívají [26].

**Mezi chemické metody předúpravy povrchu** (mokrý či suchý) patří například leptání či fluorace. Odebírají povrchovou vrstvu pro vytvoření nového povrchu ideálního pro lepený spoj. Velkou výhodou je aktivace povrchu pro pevnější spoje a také dobrá korozní odolnost a tím, že nedochází k fyzikálnímu hrubému porušení povrchu, ale pouze tenké vrstvy, vnesené napětí do povrchu je menší, a z toho plynoucí trhliny jsou méně pravděpodobné [22; 23].

- **Moření** chemicky (mokrý způsob) odstraní zoxidované vrstvy a mírně zdršní základní substrát. Leptání lokálně (například na již svařený spoj, nebo jeho okolí) je vhodné řešit pastou. Ta se pak musí opláchnout. Prostředků pro leptání existuje celá řada – soli kyselin halogenů, zásadité NaOH, kyseliny sírová, fosforečná či dusičná, patří mezi ty nejčastější. Je možno také vytvoření konverzního povlaku pomocí fosfátování či chromátování. To však spadá spíše do elektrochemických metod, které budou rozebrány níže. Metody leptání jsou aplikací spreje, štětce či ponoru. Každá volba má své dané časové a teplotní vhodné intervaly. Efektivita pak roste s časem a zvyšující se teplotou. Po určité době ovšem z chemických reakcí vznikají železité a další kovové soli, které zpomalují proces, proto je potřeba leptací činidlo měnit. Nastavení procesu se také odvíjí od tloušťky oxidické vrstvy, při přílišné intenzitě může dojít k odleptání samotného čistého kovu, což je nežádoucí [22; 23].
- **Fosfátování** je chemická předúprava materiálu díky vytvoření vrstvy fosforečnanů velmi obtížně rozpustitelných. Fosfátování patří do povlaků konverzních (kov je přeměněn na sloučeninu). Konverzní povlaky vznikají za chemických či elektrochemických procesů (viz níže). Mají také za úkol zlepšení vzhledu, zlepšení korozních vlastností, a hlavně zajistit výborné přilnavostní podmínky pro adhezivo. Tato metoda nabízí velmi dobré vlastnosti za poměrně levné prostředky, jednoduchou operaci a vysokou rychlost. Výborná korozní odolnost, otěruvzdornost a dobré adhezivní vlastnosti jsou ty nejpodstatnější. Používá se pro železné i neželezné kovy. Povlak se skládá z fosfátů manganu, zinku a železa. Fosfátování také zvyšuje drsnost povrchu, a tedy se zvýšením lepicí plochy zlepší i adheze s lepidly nebo barvami. Dále také vzniklá vrstva funguje jako ochrana vůči vzdušnému kyslíku nebo vlhkosti a zpomaluje galvanickou korozi díky velké pevnosti spoje povlaku a substrátu. Typický postup fosfátování je odstranění nečistot, oplach, povrchová aktivace kyselinou, oplach, neutralizující oplach, usušení a nanesení konzervující vrstvy (oleje atp.). Nevýhodou je právě komplexní postup s přesnými pokyny, jak jej provádět (přesné teploty a časy) [13; 22; 26].

- **Fluorace** nepolárních plastů (PP, PE) dává za vznik směsi fluoru a kyslíku. Jedná se především o povrchovou úpravu vysoce nepolárních plastů, které mají nízkou povrchovou energii, proto jsou před úpravou pro lepení nevhodné [5].

**Elektrochemické předúpravy povrchu** se vesměs rozdělují na metody elektrochemického leptání a elektrochemické konverzní povlakování (sem patří anodizace, chromtizace a fosfátování) [22].

- **Elektrochemické leptání** využívá vzorů, které jsou odolné vůči dané chemikálii. Tento vzor se dá na povrch, přičemž odhalená místa jsou právě odleptána za pomoci elektrického proudu. Další obměnou je využití elektrolytického leptání, kde je odstranění vrstvy materiálu zaručeno využitím katody a jako anoda se zapojí právě základní substrát. Elektrolyt zaplní prostor mezi elektrodami a díky proudu dochází k odstranění [22].
- Pod **elektrochemické konverzní povlakování** patří anodizace a chromtizace. **Anodizace** je velmi obsáhlý proces elektrolýzy. Alternativní název této metody je eloxování nebo elektrolytická oxidace. Jedná se o jednu z nejvíce používaných metod elektrochemický předúprav a během procesu anodizace vznikají oxidické vrstvy (konverzní povlak). Největší využití má pro hliníkové slitiny – bude proto rozebrána v kapitole 2.6. **Chromtizace** (chromátování) je proces, kde se na povrch generují oxidy chromu (anorganická amorfni vrstva). Toho se docílí buď elektrochemickou metodou při ponoření objektu do vany s chromtizujícím činidlem v přítomnosti elektrického proudu, nebo čistou chemickou metodou (stejná jako elektrochemická bez přítomnosti elektrického proudu). Tento konverzní povlak zaručuje zvýšení korozní odolnosti, má i dekorativní efekt, a hlavně připravuje povrch k barvení a lepení dalších organických povlaků. Chromtizovaná vrstva je měkká a nabízí dobré absorpční vlastnosti [22; 26; 27].

**Fyzikální metody předúpravy povrchu** se dělí na tepelné (opalování plamene, silikátování plamenem, laser) a plazmové (corona, atmosférická, nízkotlaké plazma) [23].

- **Opalování plamenem** využívá plamene s nadbytkem kyslíku, který se stává velmi reaktivním a reaguje s povrchem. Jedná se o levnou a jednoduchou metodu, je ovšem vhodná pouze pro tlustostěnné výrobky kvůli vzniklé tepelně ovlivněné oblasti. Navíc je úprava poměrně nestabilní čili je potřeba výrobek dále ihned zpracovat. Tato metoda je častější u polymerů než u kovů [23].
- **Silikátování plamenem (povlakování) PYROSIL** – povlakové částice pro tyto povrchy jsou tekuté silany, které jsou podávány jako aerosol skrz propanový plamen. Teplo plamene tyto částice zaktivuje na velmi reaktivní, lépe pak k základní látce přílnou. Vytvoří se uhlíkovokřemičitá (silikátová) vrstva s dobrými elastickými vlastnostmi. Povrch je pak předpřipraven pro dobrou adhezi mezi křemičitou vrstvou a adhezivem při použití prostředku na podpoření adheze. Tato metoda exceluje hlavně jak na kovech, tak i na skle a plastech. Vhodné pro hliníkové slitiny [28].
- **Předúprava plazmou** (tzv. čtvrtým skupenstvím neboli ionizovaný plyn) působí do hloubky 2,5 nm. Plazma je tvořena z elektronů, iontů a radikálů. Těžké ionty dopadají na povrch adherendu a čistí jej. Tato metoda má velmi silné možnosti změny povrchu z ohledu aktivace. Jedná se o efektivní, neznečišťující životní prostředí a ekonomickou možnost vyčištění a aktivace povrchu kovu (často i polymeru). Výrazně také zlepšuje adhezní vlastnosti a to tím, že dá za vznik polárním skupinám, které dobře reagují s reaktivními skupinami adherendu. Díky inzerce kyslíkových atomů do základního materiálu je kyslík v excitovaném stavu pak velmi reaktivní a štěpí uhlíkové vazby substrátu. Tím jsou uvolněny uhlíkové atomy, které mohou reagovat s kyslíkem a vznikají polární skupiny CO, COOH atp. [5; 22; 23].

- **Předúprava coronou** využívá výbojů mezi 2 elektrodami (**nepřímá** volná nebo postřiková **corona**) nebo je jednou upravovaný povrch mezi 2 elektrodami (**přímá corona**). Při volné coroně se před 2 elektrody vloží výrobek (vzdálenost dle zvolené intenzity), při postřikové coroně se výbojové jiskry přenáší proudem vzduchu na povrch. Vhodné spíše pro již upravené a hladké povrchy. Používá se hlavně k aktivaci povrchu, je levnější než plazma a je vhodná pro velké povrchy. Častěji, než pro kovy se využívá pro aktivaci povrchu před lepením u polymerů [22; 23].
- **Úprava povrchu vlivem elektromagnetického záření** nabízí několik metod – UV záření, využití laseru nebo elektronového a gama záření. Všechny tyto metody jsou prioritně využívány pro polymerové kompozity, ale dají se využít i pro kovy, jen je potřeba vzít v potaz tepelnou vodivost materiálu. **UV záření** způsobuje oxidaci povrchu, redukci kontaktního úhlu (smáčivého) a velmi zvýší adhezní sílu. Využití **laseru** pro kovové slitiny a kompozity je efektivní. Mohou zlepšit mechanické, optické i chemické vlastnosti vložení lehkých atomů okolní reaktivní atmosféry do povrchové vrstvy. Využití **gama záření** zaručuje větší průchod energie než u UV záření, což má za výsledek vyšší povrchovou energii a pozdější snadnější lepení [22].

### 2.4.3 Dodatečná úprava povrchu

Po předúpravě je povrch materiálu velmi aktivní a reaktivní čili snadný ke vzniku adhezní vazby. Problém nastává, pokud povrch necháme dlouho na vzduchu, protože pak aktivní povrch začne reagovat i se vzdušnými složkami, kterých bylo zapotřebí se právě během předúpravy zbavit. Proto je vhodné lepidlo nanést co nejdříve po předúpravě. Jedním ze způsobů prodloužení této doby (např. na uskladnění) je Primer. [8; 24]

**Primer** (někdy i jako aktivátor) slouží k vytvoření vhodné vazby lepidla k povrchu pomocí funkční molekulární vrstvy je to rozpouštědlo s molekulami adheziva (aktivuje povrch a zrychluje vytvrzovací reakci adheziva), zlepšuje přilnavost (adhezi), zvyšuje volnou povrchovou energii (povrch je pak jednodušší na smáčení a na lepení) a odolnost proti stárnutí (pevnost lepeného spoje neklesá ani po několika dnech). Funguje také jako konzervant stavu povrchu po předchozí předúpravě. Použití primeru navyšuje i pevnost ve smyku až několikrát při porovnání pouze s odmaštěným a zdrsňeným povrchem. Nanášení primeru je důležité provádět v co nejmenší vrstvě a výběr samotného primeru závisí na druhu adherendu a adheziva. Primer je velmi často využíván pro svoji jednoduchost při lepení polymerů, ale své využití má i při lepení kovů. Aplikace primeru má dva druhy: [22; 23]

- aplikace primeru přímo na povrch základního materiálu (buď pouze na jeden nebo na oba spojované materiály), na nanesený primer se položí housenka lepidla, tato metoda má vyšší pevnostní vlastnosti,
- primer je již inkorporován do adheziva, housenka adheziva se pak přímo nanese na substrát.

Samotné nanesení primeru je možné speciální houbičkou, sprejem, automatickým dávkovačem a dalšími metodami. Výběr primeru se odvíjí od použití, cílené pevnosti spoje, substrátu a adheziva – vybírat se dá ze silanových, pryskyřicových, složených, polyuretanových, akrylických a dalších primerů [23].

Cílem primeru je se chemisorpcí dostat do substrátu a s adhezivem vytvořit pevné kovalentní vazby. Tedy hlavní výhodou primerů je vznik pevných a silných kovalentních vazeb. Obvykle při adhezním spoji se vyskytují spíše slabší chemické vazby (Van der Waalsovy) [22; 23; 24].

**Oplach** následuje nejčastěji po chemické úpravě substrátu k odstranění zbytkových chemikálií. Využívá se teplá, studená nebo destilovaná voda apod. Metody oplachu jsou ponor, sprej, chemický oplach, použití proudící či stojící vody, případně odmašťovačů [22].



Posledním krokem, k úplné přípravě základního materiálu k lepení je **usušení**. Pokud by voda z předchozího kroku ulpěla na povrchu, nebyl by možný vznik pevné adhezivní vazby, protože by se adhezivo vázalo na molekuly vody, a ne na povrch substrátu. Využívá se sušení na volné atmosféře, využití teplého vzduchu nebo například stlačeného vzduchu. Z nekonvenčních metod sušení je na výběr sušení v inertní atmosféře (dusík, argon) nebo například využití infračerveného záření. Další výhodou sušení je zamezení snížení vzniku koroze [22].

## 2.5 Posouzení stupně úpravy povrchu substrátu

K posouzení stupně úpravy povrchu se využívá několik norem, které se zabývají jak testováním povrchu ohledně drsnosti, čistoty a vizuální kontroly. Drsnost povrchu úzce souvisí s možností smáčení, které je pro adhezivní spoj kruciólní. Pro posouzení, jak byla úprava povrchu úspěšná se posuzuje smáčivost čili kontaktní úhel (povrchová volná energie). Formou destruktivního zkoušení k ověření je vytvoření lepeného spoje a udělat tahovou zkoušku (obvykle smykem), kde se získá jak hodnota pevnosti spoje, tak druh porušení spoje. Často se využívají následující metody pro zjištění efektivnosti úpravy povrchu substrátu [8; 22]:

- **Metoda inkoustová** (testovací kapalina) je rychlá, často využívaná přímo ve výrobním procesu díky její jednoduchosti a rychlosti. Nevýhodou je, že se jedná o subjektivní metodu zkoušení povrchu. Využívá se tekutiny vzniklé smícháním 2 chemikálií v rozsahu 30-70 mJ/m<sup>2</sup> a jejich nakapání na povrch. Pozoruje se jejich rozptílení po povrchu během 2 sekund. Objektivnější formou této zkoušky je měření kontaktního úhlu kapky na povrchu. Dalším typem této metody je nanesení souvislé čáry kapaliny o různém povrchovém napětí dle daného rozmezí. Pokud se čára slije v jednotlivé kapky, povrch má nižší energii než referenční kapalina. Pokud zůstane inkoust jako jednodolitá čára, povrch má vyšší energii než kapalina. Postupným použitím různých kapalin se pak experimentálně zjistí daná hodnota substrátu [8; 23].
- **Zkouška soudržnosti vodních kapek** využívá faktu, že čistý aktivní čistý upravený materiál bude na svém povrchu držet rovnoměrnou vrstvu vody spíše než jednotlivé kapky. Při koncentraci nečistot na povrchu se vrstva roztrhne a vzniká zde indikace problému. Používá se destilovaná voda po dobu 30 sekund působení. Před tímto testem je potřeba vytvořit co nejčistší a suchý povrch, aby nevznikaly falešné indikace. Pokud povrch tímto testem neprojde, je potřeba proces čištění znovu prodělat. Pokud se toto opakuje je potřeba upravit celý proces předúpravy povrchu substrátu [8].
- **Metoda kontaktního úhlu** – pro provedení této zkoušky je zapotřebí referenční tekutina se známým povrchovým napětím (destilovaná voda). Měří se kontaktní úhel jako tečna této kapky a povrchu (viz kapitola 2.1 o smáčení). Čím menší tento kontaktní úhel je, tím je smáčení dokonalejší a vhodnější k lepení. Měření úhlu je možné po vyfocení kapky a jeho vypočítání z tečny k této kapce. Fotka kapky se získává goniometrem [8; 11].

## 2.6 Předúprava hliníkových slitin

V praktické části této práce je předmětem zkoumání lepení hliníkových slitin. Hliník a jeho slitiny jsou velmi často využívány v leteckém průmyslu, a protože lepení zlehčuje konstrukce oproti například svařování, metody předúpravy povrchu hliníku jsou častým předmětem zkoumání. Na povrchu hliníku se tvoří antikorozi ochranná (pasivační) vrstva Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Tvoří se velmi rychle, má poměrně velkou tloušťku a je velmi pevně spojena se základním hliníkem. Pokud je ovšem taková slitina pod vlivem kyselin nebo solných roztoků, je nebezpečí odtrhnutí této vrstvy od hliníku (koroze na rozhraní). Chemické předúpravy hliníkových slitin jsou například leptání (zde se doporučují zásadité látky jako NaOH). Doporučuje se 5-10 % NaOH při teplotě 50-60 °C po dobu 2-3 minut. Metod pro předúpravu hliníkových slitin je mnoho –

lehká až těžká abraze (od Scotchbrite až po tryskání), chemické metody, elektrochemické metody (anodizace) nebo například plazma. Tyto jsou ty nejvhodnější [1; 6].

Pro zvýšení pevnosti lepeného spoje se pro hliníkové slitiny využívají mechanické metody předúprav povrchu jako otryskávání nebo broušení. Tyto metody ovšem nenabízejí žádnou odolnost vůči korozi, což pro samotnou technologii lepení je problém. Pro ještě větší zvýšení pevnosti spoje a zároveň zlepšení korozní odolnosti se využijí finančně náročnější metody jako je elektrochemické konverzní povlakování – jeho oxidická forma eloxování (anodizace) [13; 22; 24].

**Eloxování**, jak bylo již zmíněno, dává za vznik oxidické vrstvě (konverzní povlak) a je pro předúpravu hliníkových slitin téměř typické. Proces je umístěn ve vaně s elektrolytem při použití konstantního přímého elektrického proudu a specifikované teploty a času. Povrch je před eloxací leštěn (aby se zamezilo nevyplavování kyseliny) a odmašťován, pak mořen v NaOH (případně zesvětlen v HNO<sub>3</sub>) a dále se pro různé tloušťky používají různé mořící kyseliny (sírová, chromová). Rozpouštění jedné elektrody umožňuje vznik oxidické vrstvy na žádaném výrobku. Výraznou výhodou této metody je vznik tlusté vrstvy oxidů, které mají velké ochranné vlastnosti vůči korozi. Základní rovnicí procesu je rovnice č. 2.2 [22; 24].



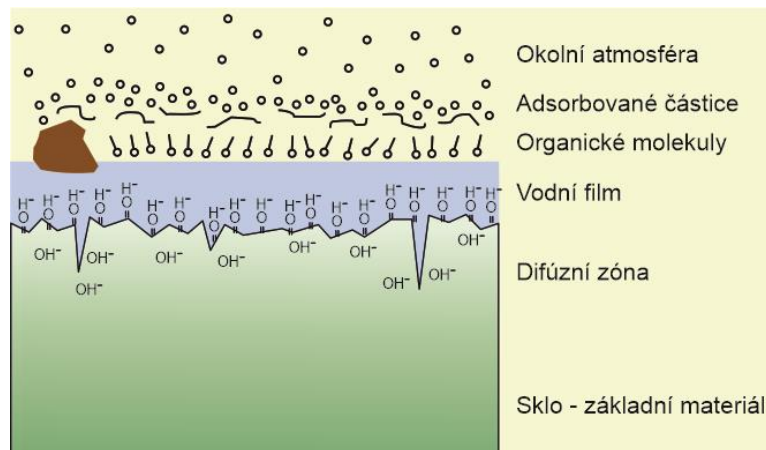
Zásadním rozdílem mezi původní oxidickou vrstvou, která již na hliníkové slitině je, a novou oxidickou vrstvou je vznik aktivních pórů. Navíc se vytvoří povrch, který je definovaný a ví se, co se na něm přesně odehrává. Během procesu se rozruší vzniklá bariéra z první fáze eloxování a vznikají trhliny, které se pak přemění v póry. Ty mohou být využity například pro barvení. Husté a drobné póry jsou pro tento proces nejvhodnější. Vzniklá oxidická vrstva je pevně spojena se základním kovem, funguje jako ochrana a má dobré vlastnosti pro technologii lepení (po určitý čas – přibližně 24 hod – je povrch zaktivován). Po vzniku pórů je vhodné povrch konzervovat a uzavřít například horkou destilovanou vodou po právě zmíněném barvení. Vrstva po eloxování je tvrdá a odolná [19; 22; 24; 27].

**Konverzní povlaky** vznikají jako vrstvy oxidů kovů. Tyto povlaky mají velkou přilnavost a velmi dobře na základním substrátu drží. Výroba těchto povlaků je podobná fosfátování, chromování a oxidace. Struktura a vlastnosti povrchu závisí na adherendu, podmínkách procesu a použitých mořících médiích [15].

Další velmi oblíbenou předúpravou povrchu pro hliník je fosfátování se vznikem pevné oxidické vrstvy hexagonálního tvaru. Ta je pevně připojena k základnímu hliníku. Postup, výhody a nevýhody fosfátování byly popsány v kap. 2. 4. 2 [13].

## 2.7 Úprava povrchu skla pro lepení

Cíle úpravy povrchu skla jsou stejné jako ty obecné – zvýšení smáčivosti a drsnosti na vhodnou úroveň, odstranění nečistot a zlepšení adhezního spoje. Sklo je anorganický materiál, amorfní se základními stavebními prvky křemíkem a kyslíkem. Má výbornou korozivzdornost, dobré optické vlastnosti a dobrou tlakovou pevnost. Je to ale materiál křehký. Sklo využívané v praktické části práce je dle materiálového listu bylo termálně vytvrzeno. Tato technologie funguje na principu kontrolovaného zahřívání a ochlazování, kde se povrch dostane a zamkne ve stavu komprese. Spoj je na rozhraní kov-sklo, který potřebuje důležitou předúpravu kvůli nízké smáčivosti skla [12; 29; 30].



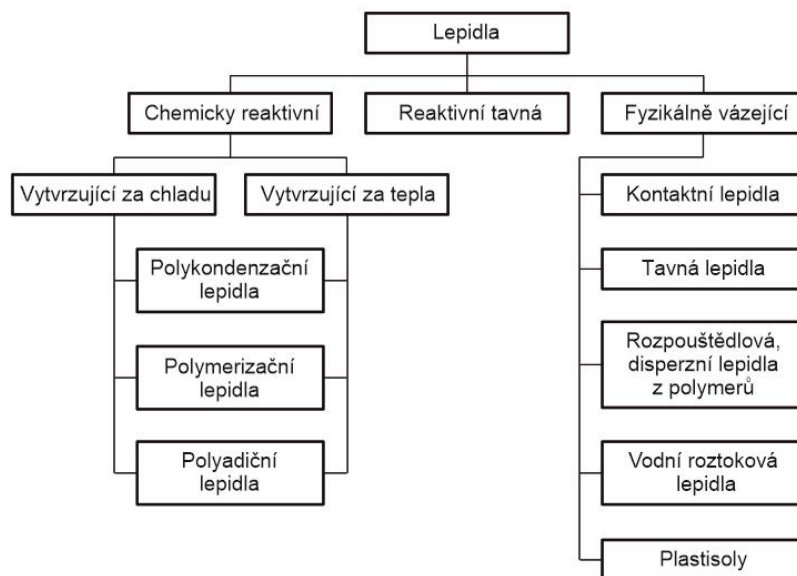
Obr. 11 Znárodnění vrstev na povrchu skla [18].

Povrch skla se skládá z oxidů křemíku, objevují se zde i prvky vápníků a sodíku. Postupně k vnějšímu povrchu skla směrem k vzdušné atmosféře roste i podíl vodní složky, protože sklo vodu ze vzduchu přitahuje. Křemík ve vazbě na kyslík se tedy pak vymění za vodík a vzniká vodní film. Na obr. 11 jsou vrstvy povrchu skla znázorněny. Vodní vrstva chemisorbovaná leží na vrstvě z fyzikálně absorbovaných částic nečistot z atmosféry. Množství nečistot záleží na technologii výroby a způsobu skladování. Různé **metody úpravy** povrchu jsou pak s cílem buď vytvořit zcela nový povrch, stávající povrch pouze upravit nebo vytvořit zcela novou vrstvu. Pro odstranění materiálu jsou vhodné mechanické a chemické technologie (leštění, broušení nebo leptání), pro novou vrstvu se pak využívají plazmové metody nebo povlakové a (CVD, PVD, využití tekutých barev a tekutých kovů atp.) [29]:

- **odmaštění** podobně jako u odmaštění kovů, jde hlavně o odstranění mastných nečistot, ke kterým by se adhezivo vázalo místo vazby se základním materiálem,
- **povlakování skla pro lepení,**
- **leptání** (kyselina fluorovodíková) – nevznikají trhlinky,
- **pískování,**
- **plazmové metody předúpravy skla** patří k modernějším přístupům předúpravy skla. Využívá stlačeného vzduchu a elektrického proudu s vysokou frekvencí a vysokým napětím. Plazmový hořák má potenciál zlepšit jak smáčivost, tak reaktivitu povrchu (volné oxidové můstky, kam se pak může adhezivo napojit na substrát) a také vytvořit nové povrchy na základním materiálu. Jako nejdůležitější se ale ukazují parametry nastavení okolní atmosféry a samotného hořáku. Při nesprávném nastavení totiž plazma reaktivitu povrchu a oxidové můstky snižuje. Spojení skla s adhezivem je rychlejší u silanových lepidel než u polyuretanových. Tam se dá využít silanových skupin v primeru. Výhodou plazmové předúpravy je ekologičnost a také se jedná o bezpečnější metodu, než chemické primery a jejich výpary [13; 31].

## 2.8 Druhy lepidel, chemie vytvrzení

Celkové rozdělení **všech lepidel** (obr. 12) je velmi složité a není nikde fixně dáno. Je potřeba si určit, dle čeho lepidla je nutné rozdělovat. Základní rozdělení lepidel je na přírodní lepidla a syntetická. Přírodní měla největší využití v historii, kde se využívalo jak živočišných, tak rostlinných zdrojů. Dále se pak dělí na **organická** (živočišná a rostlinná) a **anorganická** (minerální – sádra, cement). Pro dnešní společnost a nároky průmyslu bylo ovšem potřeba vynaleznout a vytvořit nová syntetická lepidla. Zde se začíná klasifikace jednotlivých lepidel lišit. Jejich základní rozdělení je ale na lepidla **termoplastická** (tavná, kaučuková, polyakrylátová), **elastomerová** a **reaktoplastická** (někdy také jako duromerová, např. polyadiční polyuretany a epoxidy nebo polykondenzační aldehydy). Termoplastická lepidla mají po vytvrzení řetězce polymerů propleteny, ale nenachází se zde chemická vazba mezi těmito řetězci. Naopak u duromerů je zde tato vazba přítomna a dochází k plnému zesílení (vytvrzení) spoje. Elastomerová lepidla jsou řídce zesítená, to nabízí velkou pružnost, ale menší pevnost spoje [6; 7; 32].



Obr. 12 Rozdělení lepidel dle vytvrzovacího mechanismu [24].

Další rozdělení je znázorněno níže [7; 32]:

### 1. Rozdělení dle principu vytvrzování

Principů vytvrzování lepidel je mnoho, nejčastěji se dělí na fyzikální a chemický způsob, někdy ovšem dochází i ke kombinaci obou způsobů. Mezi **fyzikální způsoby** patří lepidla vytvrzující se odpařením (disperze), ztuhnutím (tavná lepidla), trvale lepivá (citlivá na tlak) a adheziva vytvrzující gelováním (plastisoly). **Chemický způsob** vytvrzování má tři druhy reakcí, které způsobí zesílení – polymerační, polyadiční a polykondenzační. Ty jsou typické pro dvoukomponentní adheziva. Vytvrzující reakce potřebuje úvodní energii k tomu, aby započala. Systémů vytvrzování je více, záleží na konkrétním lepidle [3; 4; 7; 23; 32; 33; 34]:

- **chemicky reaktivní lepidla** se ještě dělí na reaktivní dvousložková a jednosložková lepidla, protože každá z nich se vytvrzuje jiným způsobem. Dvousložkové systémy vytvrzují v lepený spoj chemickou reakcí (epoxidy, polyuretany) a to polyadicí, polykondenzací či polymerací. Poměr obou složek lepidla je přesně definován a má omezenou otevřenou dobu zpracování.

Jednosložkové vytvrzují na základě působení okolního činitele – vzdušná vlhkost, teplo atp.,

- **rozpouštědlová lepidla** vytvrzují odpařením a vsáknutím rozpouštědla v průběhu schnutí lepeného spoje. Místo odpaření je také možná absorpce základním materiálem. Základní podmínkou je zde pak pórovitost základního materiálu,
- **vodná roztoková lepidla** vytvrzují odpařením vody,
- **vodná disperzní lepidla** vytváří film po nanesení a po odpaření vody (disperze lepidla ve vodném roztoku),
- **tavná lepidla** se musí natavit, aby začala lepit (polotovar přichází ve vysokoviskozním stavu). Po vychladnutí spoje se dosahuje pevnosti,
- **tlaková lepidla** vytvrzují při zvýšeném tlaku. Jedná se nejčastěji o elastomery, které se snadno deformují pod tlakem a mohou se tak dostat dostatečně blízko k substrátu, kde začnou působit adhezivní chemické vazby (Van der Waalsovy). Nejčastěji jsou tato adheziva dodávána ve formě pásek,
- **lepidla Hot-Melt**

## 2. dle chemického principu vytvrzování

Zde vytvrzování nastává pouze u chemicky reaktivních lepidel. Buď se zde jednoduché molekuly odštěpují (polykondenzace) či ne (polyadice a polymerace) [4; 23]:

- **polyadiční adheziva** vznikají podobně jako polykondenzáty, kde se střídavě napojují monomery obou vstupujících látek, na rozdíl od polykondenzace zde však nevzniká štěpný produkt. Místo toho zde vzniká dvojná vazba,
- **polykondenzační adheziva** fungují na principu slučování mnoha molekul v makromolekuly, kde vzniká štěpný produkt (nejčastěji voda či alkohol). Výsledek reakce polykondenzát má jiné složení než vstupující suroviny. Nejčastěji touto reakcí vznikají polyestery nebo polyamidy,
- **polymerační adheziva** vznikají polymerací, kde je spouštěč tvrdidlo s dvojnou vazbou a na něj se navazují jednotlivé monomery, z nichž vznikají makromolekuly. Typické pro výrobu polyethylenu nebo polystyrenu.

## 3. dle systému vytvrzování

Každé lepidlo má jiný systém vytvrzování, jiný princip vytvrzování. Krátký přehled je podrobněji popsán v následujícím textu [7; 38]:

- **Anaerobní reakce** při vytvrzování nastává v okamžiku, kdy se lepidlo dostane do stavu bez atmosférického kyslíku v okolí. Ten totiž působí jako inhibitor reakce. Toho je možné dosáhnout nanesením housenky a přitlačením substrátů k sobě. Dochází pak k vysoké rychlosti vytvrzovací reakce, hlavně v případě kovů, kde kovy působí jako urychlovače (katalyzátory) reakce. Další výhodou kromě rychlého procesu jsou i vysoké mechanické vlastnosti spoje, nevýhodou naopak menší otevřená doba ke zpracování. Tento princip vytvrzování je typický pro jednokomponentní lepidla vytvrzujících při pokojových podmínkách.
- **Lepidla vytvrzená UV zářením** se musí pečlivě vybírat, protože například u polyuretanů dochází k degradaci polyuretanu, proto tato možnost není možná k urychlení vytvrzovací reakce. Záleží také pak na vybrané vlnové délce UV záření, a to záleží především na tloušťce spoje, protože určité vlnové délky působí hlavně na povrch spoje a pro tenké spoje, zatímco další vlnové délky jsou vhodné pro tlustší spoje až několik milimetrů. Často při působení UV záření vzniká teplo, které je sekundárním zdrojem urychlení vytvrzovací reakce.

Lepidla vytvrzená UV zářením jsou vhodná i pro odhalené spoje ve venkovních aplikacích, protože pod vlivem slunečního záření nedegradují.

- **Aktivační systémy** napomáhají vytvrzovací reakci adheziva urychlením (nebo započítím) díky aktivátoru. Ten se nanese na jednu polovinu základního substrátu, zatímco lepidlo na druhou a po přitlačení se obě složky smíchají a dochází k zesílení. Další možností je pak aktivátor přímo smíchat s lepidlem. Tyto adheziva nabízí velkou pevnost ve smyku a velkou oblast pracovních teplot (-55 °C až 120 °C) a tím i širokou využitelnost mezi materiály.
- **Vlhkostí atmosféry** (vzdušnou vlhkostí) se vytvrzují lepidla, kde při předem dané relativní vlhkosti vzduchu adhezivo vytvrdí, a to velmi rychle. Při nanášení housenky na povrch se během několika sekund vlhkost dostane do adheziva a tím ho polymerizuje. Nejčastější relativní vlhkost vzduchu je 40-60 % při teplotě 22°C. Při vyšší vlhkosti se rychlost vytvrzení sice zrychlí, ale dochází pak k porušení spoje (bubliny), které vedou ke snížení pevnosti spoje. Nižší vlhkost zase proces zpomaluje. Do této skupiny patří některé polyuretany, silikony – jsou vhodné do automatizovaných, rychlých výrobních procesů.
- **Teplem vytvrzující lepidla** jsou velmi častá, jejich jednoduchá aplikovatelnost do výroby je velkou výhodou. Zdrojem tepla může být klimatická komora či lokální IR zářič (sekundárně i UV zářič). Při vyšší teplotě se totiž zrychlí reakce zesílení (vytvření) a lepidlo nabývá své manipulační pevnosti mnohonásobně rychleji. Nevýhodou při využití tohoto druhu urychlení reakce je využitelnost pro různé druhy materiálů. U plastů je zde nebezpečí ztráty pevnosti vlivem vyšší teploty a u kovů je nebezpečí vzniku tepelně ovlivněné oblasti a tepelného zpracování (např. popuštění), což není žádoucí. Teplem vytvrzující lepidla se využívají u jednokomponentních adheziv jako spouštěč či u dvoukomponentních jako urychlovač reakce.

#### 4. podle počtu složek

Počet složek pak výrazně ovlivňuje aplikaci a vytvrzovací proces [15]:

- **jednokomponentní** neboli jednosložková lepidla vytvrzují na základě fyzikálního principu. Mohou být ve formě folií, prášků, tekutiny, tyčinky či pasty,
- **dvou a vícekomponentní** vytvrzují chemickou reakcí složek adheziva. V praxi jsou nejrozšířenější. Princip vytvrzování může být za chladna i za vyšších teplot.

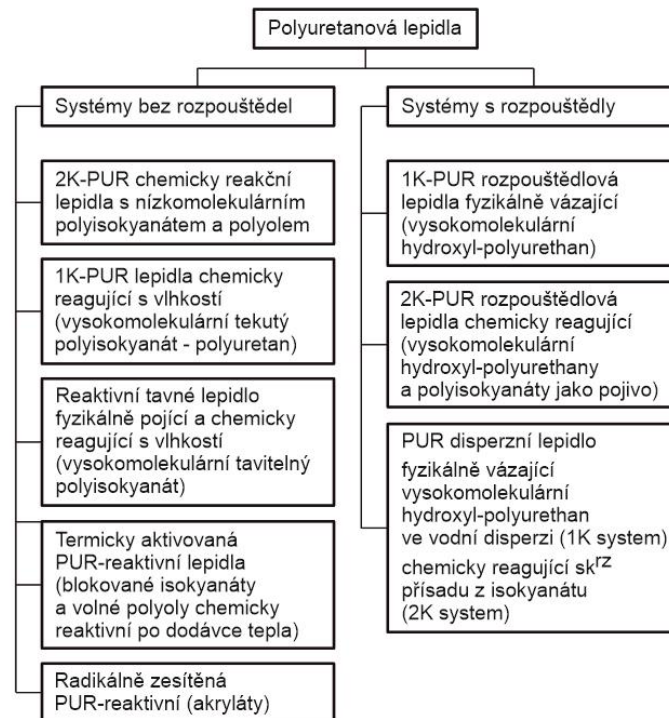
##### 2.8.1 Polyuretanová lepidla

Díky svým vlastnostem mechanickým i chemickým jsou polyuretanová lepidla (jejich rozdělení na obr. 13) velmi univerzální a při jejich zpracování se jejich jednotlivé vlastnosti mohou vylepšit či potlačit. Mezi hlavní výhody patří schopnost vytvrzování i v podmínkách extrémní vlhkosti a teplot, univerzální použití pro mnoho organických i anorganických substrátů, jsou voděodolné (proto se polyuretanové materiály využívají často i jako tmely), dobře tlumí vibrace a absorbují napětí při namáhání spoje. Nevýhodou je obsah izokyanátů a jejich kratší zpracovatelná doba – je nutno s nimi zacházet poměrně rychle, často také mají vysokou dobu vytvrzení (v řádu dní i týdnů) než jsou plně schopna dosáhnout požadované pevnosti [35; 36].

**Polyuretany** jsou typem polymerních materiálů a existují ve více formách – jako součásti barev a povlaků pro ochranu před okolím, jako elastomery, izolační pěny, pevné trubky atp. Vyrábějí se chemickým procesem polyadice, kdy dochází k opakování uretanové skupiny. Vznikají reakcí izokyanátů a alkoholů. Díky aditivům se pak výrazně mění výsledné vlastnosti polyuretanu (PU), mohou být pevné i ohebné. Přes všechny své výhody mají jednu velkou nevýhodu – citlivost na UV záření. Čili při využívání této látky ve venkovním prostředí je

potřeba dobré ochrany vůči například slunečnímu záření. Zajímavostí poslední doby je „zelená výroba“ polyuretanů, kdy se místo izokyanátového základu využívají organické zdroje jako bavlněná semena či výroby lepidla z hybridu PU a polyhydroxyuretanu. Tyto nové látky byly testovány jako povlaky i jako adheziva a studie ukazují, že v budoucnu by bylo možné se izokyanátům vyhnout i při industriální výrobě. Hlavním důvodem je vysoká reaktivita izokyanátů a jejich jedovatost pro organismy včetně člověka [35].

**Druhů PU lepidel** je více a druhů rozdělování také (další rozdělení také viz obr. 13). Všeobecně se využívá obecných 3 skupin [37]:



Obr. 13 Rozdělení polyuretanových lepidel [24].

- **nereaktivní adheziva** fungují na bázi rozpouštědel, vody či jako hot-melt lepidla. Nejčastěji se aplikují jako kontaktní adheziva [14],
- **reaktivní jednokomponentní adheziva (1K PUR)** jsou na bázi rozpouštědel, ale existují i ta bez nich. Jejich využití je univerzální. Vytvrzují se teplem, vlhkostí. Spoje jsou pevné a tvrdé, ale i tak poskytují určitou elasticitu [37; 38],
- **reaktivní dvoukomponentní adheziva (2K PUR)** mají princip vytvrzování smícháním dvou složek (chemický způsob), jejich využití je opět univerzální. Zvládají flexibilní a měkké spoje, ale i velmi pevné a tvrdé. Jejich výhodou je možnost lepení různých materiálů k sobě (měkké a houževnaté s tvrdými) [37; 38].

**Booster** je složka smíchávána s adhezivem k urychlení vytvrzovací reakce. Výrobcem je přesně dané (či doporučené) množství, kdy dochází k rychlému a efektivnímu vytvrzení bez vzniku poruch (např. bublin). V rámci praktické části této diplomové práce bylo procentuální množství boosteru jedním z faktorů ovlivňující finální lepený spoj. Jednokomponentní polyuretan, vytvrzují za pomoci okolí (vlhkost, teplota), ovšem k urychlení této velmi zdlouhavé reakce je zapotřebí právě booster. Výhodou boosteru je pak také disperzita v rámci celého adheziva. Umožňuje tak rovnoměrně vytvrdit i objemově větší lepený spoj, než kdyby se spoj vytvrzoval pomocí vzdušné vlhkosti. Tam navíc hrozí i vytvrzení povrchu dřívě než vnitřku, kam se vzduch pak již vůbec nedostane a vnitřek se vůbec nevytvrdí. Pak není možné získat požadovanou pevnost spoje [39].

## 2.9 Normy a zkoušení lepených spojů

Přesně definované zkoušky a normy pro zkoušení lepených spojů jsou stěženy pro reprodukci daného spoje. Základní rozdělení zkoušek lepených spojů je na zkoušky **destruktivní** a **nedestruktivní**. Při těchto zkouškách se nejčastěji mění podmínky okolí (parametry, ve kterých daný spoj zůstává) a pak se zkoumá vytvrzení daného spoje a jeho lomové vlastnosti. Zkoumá se tedy vliv okolních parametrů na výsledný lepený spoj. Nejčastějšími parametry jsou teplota, vlhkost okolní atmosféry, čas vytvrzování. Pro získání vyšších teplot, ve kterém může dojít často k rychlejšímu vytvrzení lepidla, se využívají pece (indukční, elektrické) a další zařízení (radiační lampy – IR zářič, ultrazvukové generátory). Při vyhodnocování lepeného spoje se pak využívá vizuální kontroly, rozměrové přesnosti daného spoje za pomoci měřidel a také vizuální kontrola lomu – druhu porušení (to je rozebráno v kap. 2.9.3) a také samostatné zkoušky – jejich rozdělení je znázorněno na obr. 14 [4; 6; 15; 22; 40].



Obr. 14 Rozdělení druhů zkoušek lepených spojů [22].

Komplexní testování lepeného spoje je tedy vizuální kontrola, nedestruktivní kontrola a pak i destruktivní. Cílem zkoušek je zjištění, zda jsou ve spoji problémy s adhezí nebo se zde často vyskytují jiné vady jako bubliny, porozita základního materiálu, nesterjnorodé vytvoření adheze, znečištění základního materiálu, nesterjnorodá tloušťka spoje atp. [4; 6; 15; 22; 40].

Důležité pro správné provedení zkoušky spoje (aby výsledky byly relevantní) je vzít v potaz vlastnosti daného spoje, totiž jeho tloušťku a typ lepidla, typ adherendů, geometrie spoje, lokace spoje a jeho další využití (okolní záření – např. při umístění lepeného spoje na slunci), cena zkoušky, druh produkce spoje, testovací zařízení, které máme k dispozici, možné testovací podmínky, bezpečnost samotné zkoušky a rozhodnutí, zda můžeme spoj zničit nebo ne [4; 6; 15; 22; 40].

### 2.9.1 Nedestruktivní zkoušení lepených spojů

Po ukončení testování nedestruktivními metodami je spoj možné dále využít ve výrobě. Zde nedochází k porušení adhezni vazby nebo adherendu. Na rozdíl od metod destruktivního zkoušení zde není téměř možné zjistit hodnotu pevnosti daného spoje. K čemu jsou velmi výhodné je však určení vad v adhezni vrstvě a samotném adhezivu (praskliny, bubliny, chyby smáčení), protože je možné určit lokaci dané vady a její velikost. Tyto vady mají zásadní vliv na pevnost spoje. Ideální je kombinace nedestruktivních a destruktivních metod pro kompletní



prozkoumání spoje (např. várka zničených vzorků, dále kontrola jen pomocí NDT). Rozdělení NDT metod je na základě fyzikálního principu, kterého využívají (elektrické, prozařovací nebo tepelné atp.) [5; 22]:

- **Vizuální kontrola** je nejlevnější metodou zkoušení, je velmi jednoduchá. Může se provádět pouze okem či i za pomoci zvětšovací lup nebo kamer. Jedná se o první a základní zkoušku, kterou lze provést v podstatě bez nákladů. Nevýhodou je subjektivita vyhodnocení dle pracovníka. Podmínkou je tedy pravidelné vyšetření pracovníka a dobré osvětlení pracoviště (500 lx) dle normy [22].
- **Penetrační zkouška** je další z jednoduchých a levných metod, kde se penetrant dostane do všech štěrbin a vad spoje, které pak po nanesení vývojky jsou viditelné (fluorescenční nebo barevná metoda). Není vhodné pro porózní materiály [22].
- **Kontrola ultrazvukem** je jednou z nejpodstatnějších zkoušek pro zkoušení lepených spojů vůbec. Ultrazvuk využívá ultrazvukové vlny a jejich odraz od vad ve spoji, které pak zachytávají sondy na té samé straně od zdrojové sondy, nebo na druhé straně materiálu. Při porovnání ech od základního echa (od konce ZM na druhé straně) je možné detekovat lokaci a hloubku dané vady (bublíny nebo trhliny). Vada totiž roztříští původní vlnu a odkloní ji mimo příjmovou sondu. Ultrazvuková vlna je generována piezoelektrickým zdrojem (ten převádí elektrické signály na mechanické). Mezi sondou a základním materiálem je nutná tekutina či gel. [5; 22].
- **Fluorescenční zkoušení povrchu** se využívá pro detekci zbytkového zamaštění povrchu, což je při technologii lepení velmi příhodné. Kontroluje tak přípravu povrchu před samotným nalepením a měří jeho čistotu. Bez dokonale čistého povrchu není lepený spoj možné uskutečnit. Tato forma zkoušky může být přímá či nepřímá. Přímé metody detekují mastnoty přímo na povrchu pomocí luminiscence nečistot při nasvícení UV lampou a zachytí kontaminace kamerou, zatímco nepřímé metody používají kontrolní rozpouštědla, které se na povrch nanese a poté se odebere zpět. Následnou analýzou znečištěného rozpouštědla je pak možné zjistit stav povrchu [41].
- **Kontrola rentgenem** je v principu jednoduchá, daný spoj se prozáří rentgenovým zářením. Jsme tak schopni určit vnitřní vady, jejich velikost a jejich lokaci [22].
- **Tepelná kontrola** využívá infračerveného záření a tepelné vodivosti substrátu a adheziva. Cílem této zkoušky je získat grafické znázornění rozložení tepla v lepeném spoji (termogram) a na jeho povrchu. Existují dva druhy této zkoušky – pasivní a aktivní. U pasivního IR testu se spoj zkoumá pod jeho přirozeně vyzařujícím teplem. To se používá při aktivním zapojen spoje do soustavy. Vady totiž během zatížení generují či absorbují teplo, které se pak dá využít k analýze. Při **aktivním** testování se přímo na spoj září infračervené záření (či jiný zdroj tepla). Důležité je spoj vložit do stabilního prostředí pokojové teploty, kde se nastaví a kalibrují přístroje snímající záření. Hlavním použitým zařízením je pak termická kamera, která dokáže snímat různé vlnové délky a dokáže pak vyhodnotit plochu na druhé straně od zdroje tepla. Vzniká pak termogram, s teplejšími a chladnějšími místy, kde chladnější místa právě ukazují místo vady. Vada totiž snižuje tepelnou vodivost (například bublina). Kromě získávání termogramu a termokamery je také možné využít barviv reagujících při určitých teplotách, jejichž barva se změní při dosažení konkrétní hodnoty [5; 22].
- **Akustická kontrola** je podobná ultrazvukové kontrole, kde se opět generuje vlna (tentokrát akustická – která vyvolává napětí), které se vytváří v případě, že je mezimolekulová energie uvolněna například při vytvoření deformace nebo změny fáze. Tedy pracovník negeneruje vlnu, ani žádné externí zařízení, neovlivňuje se tedy základní materiál, ale pouze se měří fyzikální efekty na základní materiál, které jsou generovány samy v měřeném subjektu. Získáváme tak signály, které jsou generovány

vadami ve spoji, které jsou právě zdrojem těchto vln. Pak je možné za pomoci vyhodnocení zjistit i lokaci vad [5; 22].

## 2.9.2 Destruktivní zkoušení lepených spojů

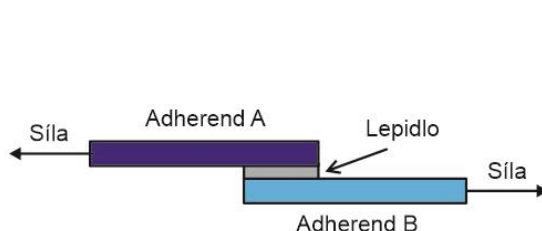
Po ukončení testování spoje je dále nepoužitelný, proto je podstatné zkoušky provádět v dávkách, čím víc kusů, tím lépe. Pro splnění statistické podmínky je vhodné minimálně 5 testů, pokud je to kapacitně možné. Destruktivní zkoušky se dále mohou dělit na statické a dynamické, krátkodobé a dlouhodobé, únavové a pod dalšími externími vlivy. Destruktivní metody zkoušení určují nejen sílu adheze, ale i koheze. Samotná síla spoje závisí na mnoho faktorech jako jsou: rozprostření napětí ve spoji, samotné vlastnosti adherendů (mechanické), povrchová energie substrátů, předúprava, podmínky vytvrzování atp. Každá zkouška může mít i více verzí, ale všechny musí být přesně podle konkrétní normy [22].

- **Zkouška smykem (DIN EN 1465)** je jedním z nejčastějších a nejstandardnějších testů pro lepené spoje vůbec. Principem zkoušky je namáhání vzorku ve smyku kvazistatickým tahem, jak naznačeno na obr. 15. Jeho hlavním cílem je získat maximální síly spoje ve smyku, který je spoj schopen vydržet do porušení. Podmínkou testu je naprostá eliminace normálových sil na spoj. Jeho výsledkem je pak tahová křivka. Norma přesně specifikuje plochu housenky, která je vhodná. Šířka je 25 mm a délka 12,5 mm. To se zajistí spacery, nebo se pak přepočítává síla na plochu změřením posuvným měřidlem plochy lepidla po přetržení. Vzorek se vloží do čelistí, které pevně sevřou oba adherendy a trhá je od sebe. Po přetržení skončí proces (dle nastavení softwaru například po poklesu síly o 40 %) a je možné vyhodnotit druh lomu. Ze získané síly se po přepočtu získá síla spoje v MPa, jak je znázorněno ve vztahu 2.3 [5; 22; 40]:

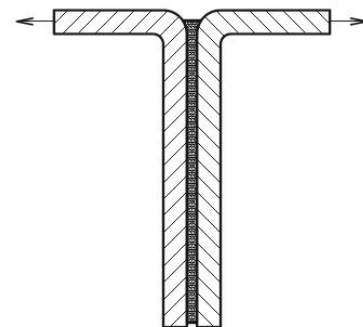
$$P_S = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{L \cdot b}, \quad (2.3)$$

- kde:  $F_{max}$  - maximální síly získaná v tahové křivce [N]  
 $A$  - lepená plocha [mm<sup>2</sup>]  
 $L$  - délka přeplátování (lepené plochy) [mm]  
 $b$  - průměrná šířka lepené plochy [mm]

Tato zkouška se nejčastěji používá pro posouzení lepidel a jeho vhodnost pro výrobní podmínky. Protože při zkoušce také dochází k vychýlení spoje od osy čelistí, hodnoty se pro adhezní pevnost se pak snižují o 2 % nebo se použije vložka.



Obr. 15 Schéma smykové zkoušky [22].

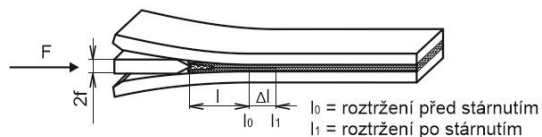


Obr. 16 Schéma T-peel zkoušky (odlupové) [6].

- **Zkouška odlupem** má v podstatě dvě formy – T-peel test (někdy také jako 2x90° test) a test odlupování housenky od základního materiálu T-peel test je znázorněn na obr. 16. Tímto testem se určuje odolnost spoje vůči odlupovým silám, které jsou pro lepené spoje všeobecně nejvíc kritické. Posuzuje se jimi efektivita povrchových úprav

a samotná adheze. Test probíhá, dokud nejsou oba adherendy plně odděleny. Síla pro oddělení je pak zaznamenána stejně jako je zaznamenána délka čelistí od sebe. Získáme pak odlupový diagram. Volba, který druh zkoušky zvolit závisí na flexibilitě substrátu (například při spojení tvrdého a křehkého materiálu s měkkým a houževnatým je možné udělat test  $1 \times 90^\circ$ , kdy se ohne a odtrhává pouze měkký materiál). Odlupová zkouška je velmi důležitá a stěžejní, ale pouze při relativním porovnávání. [22; 40].

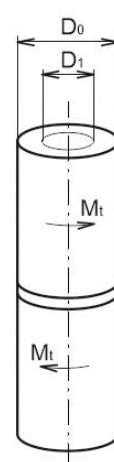
- **Zkouška krutem** se moc často neuplatňuje, její praktické využití totiž není valné. Používá se pouze pro stanovení torzní smykové pevnosti pro testování adhezivních vrstev. Jako technologická zkouška je ovšem neobvyklá. Zkušebními vzorky nejčastěji bývají 2 trubky. U krutu se ovšem získává rovnoměrná hodnota napětí po celé ploše čili je možné získat vyšší hodnoty pevnosti než jen u přeplátovaných jednoduchých spojů. Problematický průběh zkoušky je ale však problém u normování, kde často dochází k velkým odchylkám od normy. Schéma zkoušky je na obr. 19 [6].
- **Zkouška na tupo (tahem) (EN ISO 4624)** se využívá primárně pro posouzení adheze ve spoji. Typickou vlastností této zkoušky je nerovnoměrné rozprostření napětí v celém průměru substrátů. Největší napětí se vyskytuje na okrajích, naopak nejmenší ve středu vzorku. Test končí naprostým oddělením substrátů a získá se tak hodnota maximální pevnosti spoje a opět křivka závislosti síly na čase. Zatížení je čistě normálovými silami (kolmými na spoj). Schéma zkoušky je na obr. 18 [5; 22].
- **Zkouška klínem** (obr. 17) se využívá pro testování adhezních vlastností spoje a také vlastnosti spoje po stárnutí a jeho odolnost. Byl založen firmou Boeing. Zkoumá jak se šíří trhlinka, která vznikla právě klínem. Nejdřív se klínem vytvoří prasklina v adhezivu, zaznačí se její konec a pak se pod určitými podmínkami testuje (vyšší teploty, mechanické zatížení) samotný spoj (dle výrobních parametrů). Po ukončení testu se ve spoji zkoumá o kolik se prasklina rozšířila [6; 40].
- **Zkouška únavová** funguje na principu cyklického zatěžování a zkoumá spoj, jak je odolný vůči přetržení. Frekvence a amplituda je daná normami, každopádně se pohybují do až 5000 Hz a napětí až  $10^8$  Pa. Směr namáhání je různý, stejně tak jako teploty [4; 15].



Obr. 17 Zkouška klínem [6].



Obr. 18 Zkouška na tupo [6].

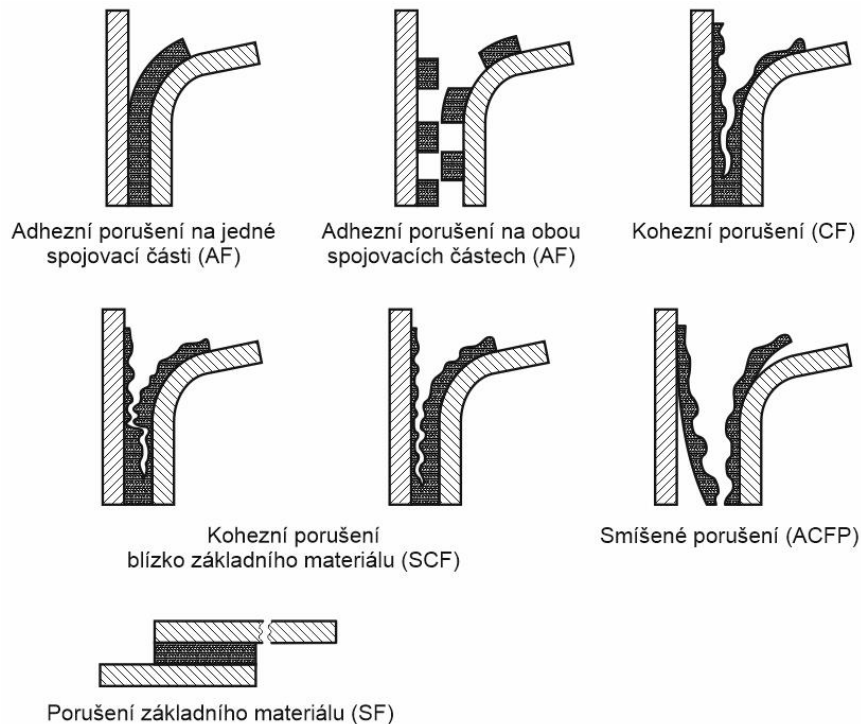


Obr. 19 Zkouška krutem [6].

### 2.9.3 Druhy porušení

Porušení v adhezním spoji jsou definované normou ČSN ISO 10365. Tato klasifikace je důležitá pro zjištění příčiny lomu daného spoje. Tato norma je použitelná pro všechny mechanické zkoušky lepených spojů, všechny adheziva a všechny základní materiály. Norma definuje, že je nutné zapsat i případné procentuální zastoupení v případě, že je lom složen z více druhů hlavních porušení (např. kombinace kohezního a adhezního lomu). Na základě této normy jsou pak vyhodnocovány výsledky z praktické části této práce [6; 23].

Cílem lepeného spoje je dosáhnout kohezního porušení – ať už v adhezivu, nebo ideální v základním materiálu. Při porušení v substrátu je totiž dokázáno, že pevnost konstrukce není



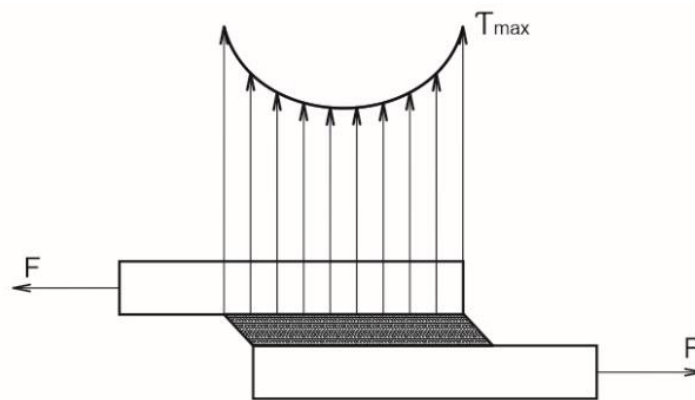
Obr. 20 Druhy porušení lepených spojů [6].

ovlivněna lepeným spojem, tudíž to není nejslabší místo. V případě adhezního porušení není možné předpovědět přesnou pevnost spoje, protože zde pravděpodobně došlo ke špatné přípravě povrchu (např. špatné dočištění spoje a lepidlo si vytvořilo adhezní vazbu s nečistotami na povrchu, a ne se substrátem). Navíc lze musíme předpokládat vliv koroze na substrátu, která se zde časem vyskytne čili pokud by adhezní vrstva nebyla již v době nalepení dokonale připravena a spojena, během času dojde k rychlé degradaci spoje. Druhy lomu jsou znázorněny na obr. 20 [6; 23].

**Adhezní lom** v ideálním případě, s dokonalou přípravou povrchu a dokonalým nastavením procesních parametrů, nikdy nenastane. Ale protože proces nejde nikdy nastavit ideálně, pak k němu dochází. Základní teoretický princip tohoto lomu je, že mezi substrátem a adhezivem se nachází velmi tenká vrstva, kde dochází ke koheznímu lomu v případě zatížení lepeného spoje. Toto je ovšem pouze teoretická domněnka za předpokladu že čistě adhezivní lom není možné nikdy porušit. Z čistě praktického hlediska slabá vazební vrstva mezi lepidlem a základním materiálem nastává v případě přítomnosti nečistot, uzavřených bublin atmosférických plynů v důsledku nedokonalé smáčivosti atp. jak již bylo zmíněno výše. U lepení polymerů zde hraje ještě roli chemisorpce a absorbované oxidické „vměstky“ do struktury polymeru, které mohou adhezní vrstvu oslabit [6].

**Kohezní lom** nastává v adhezivu (někdo jej považuje i za lom v základním materiálu, ale v této práci jej definujeme jako lom v substrátu). Stejně jako se posuzují lomy všech materiálů na houževnaté a křehké, stejně se posuzují i kohezní lomy lepených spojů. Křehký lom je rychlý a s čistým povrchem, je typický pro hustě zesíťovaná adheziva např. fenolové pryskyřice. V případě křehkého lomu není lepidlo schopné absorbovat mnoho energie, protože není schopné se deformovat. Křehkost adheziva se zvyšuje se snižující se teplotou okolí. Houževnatý lom naopak má po porušení povrch velmi členitý, protože se lepidlo před porušením bylo schopno deformovat. Vliv na druh lomu mají okolní parametry jako teplota okolí, rychlost zatížení a charakteristika zatížení [6].

Zvýšená pravděpodobnost lomu nastává za přítomnosti koncentrátorů napětí čímž jsou nečistoty a vměstky, zářezy a mikrotrhliny. V těchto lokalitách pak dochází ke vzniku porušení. Dalšími lokacemi častých začátků trhlin jsou, jak vyplývá z průběhu napětí ve spoji, koncové části u překládaných spojů. Průběh napětí v lepeném spoji ne obr. 21 [6].



Obr. 21 Průběh napětí při smykovém zatížení lepeného spoje [6].

### 3 NÁVRH A PROVEDENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Cílem praktické části této práce bylo zjistit vytvrzovací křivku lepidla Sikaflex®-265+SikaBooster® P-50 a při kterých podmínkách je proces vytvrzování nejefektivnější a zda je nutné pořídit pro firmu řízené prostředí (klimatizované), aby došlo k vývoji správné adheze. Dále bylo úkolem zmapovat chování lepidla v různých podmínkách vytvrzování a jak proces vytvrzování ovlivňují (zpomalují či zrychlují). Praktická část byla prováděna ve firmě IFE (Knorr-Bremse) se sídlem v Modřicích. Předmětem vyhodnocování tudíž byly:

1. **pevnost** – křivka vytvrzování a porovnání dosažených pevností a rychlostí vytvrzování při konkrétních podmínkách,
2. **podíl adhezního porušení** – při tahové zkoušce z 5 vzorků, při odlupové zkoušce z kapacitních důvodů 2 vzorky, výsledná hodnota je průměr výsledků.

#### 3.1 Použité přístroje a přípravky

Jako čistič a odmašťovač jak pro kov, tak i sklo byl použit Sika® Cleaner P (obr. 22). Jedná se o organické rozpouštědlo, které má za účel odstranit nečistoty a mastnoty z povrchu, před dalším krokem předúpravy broušením, aby se zamezilo vměstnání nečistot do základního materiálu. Materiálový list tohoto čističe je uveden v příloze 2. Je určen pro neporézní materiály a byl skladován za pokojové teploty (20 °C).



Obr. 22 Čistič Sika® Cleaner P.



Obr. 23 Sika® Primer-207.



Obr. 24 Testované adhezivo Sikaflex®-265.

Dále se využil Scotch Brite arch pro ruční broušení a ruční vibrační bruska k broušení pro zarovnání nerovností na povrchu lepeného materiálu. Tím je možné přesně definovat materiál a sjednotit ho pro všechny vzorky, protože polotovary mají drsnost větší a různorodou.

Předúprava skel byla zajištěna ořením povrchu Sika® Cleanerem P do čisté utěrky TORK (do čisté bílé barvy bez jakýchkoliv šedých stop) – bez broušení.

Jako primer byl využit Sika® Primer-207 (obr. 23), materiálový list je uveden v příloze 3. Jeho základem je pigmentovaný roztok (barva černá) v rozpouštědlech. Tento primer je vysoce hořlavou kapalinou a jeho páry jsou taktéž hořlavé, proto je na místě opatrná manipulace,



Obr. 25 Trhací zařízení pro měření.



Obr. 26 Dávkočepidla.

čerstvý vzduch v okolí pracoviště a proškolení pracovníka. Tento primer je vhodný pro sklo, keramické vrstvy, plasty, některé nátěry i kovy. Čili je vhodný pro aplikaci lepení kov-sklo.

Testovaným lepidlem bylo **Sikaflex® 265+SikaBooster® P-50** (obr. 24). Toto lepidlo je jednokomponentní polyuretanové elastické adhezivo černé barvy, které vytvrzuje za vlhkosti. Je zde ovšem předpoklad, že při využití boosteru mají okolní podmínky menší vliv na vytvrzovací proces. Výrobce doporučuje nastavení boosteru k tomuto lepidlu v rozmezí 1,8-2,2 % (poměr zajistí dávkočepidla na obr. 26). Aplikační teplota závisí na typu aplikace, při nanášení z barelu je doporučená teplota nanášení mezi 10-35 °C a otevřená doba zpracování se pohybuje okolo 10 minut. Výrobce dále uvádí, že je to lepidlo vhodné k využití na otevřených spojích jak pro lepení, tak pro tmelení, což pro výrobu dveří do kolejových dopravních prostředků je vhodné. Je odolné vůči vodě a dalším vodním vlivům, částečně odolné i vůči olejům a minerálním olejům z okolí. Technický a bezpečnostní list je k nalezení v příloze 1, kde jsou i všechny mechanické vlastnosti lepidla (pevnosti v tahu, smyku i elongace). Booster je přimícháván v zařízení, které lepidlo v housence poloautomaticky nanáší. Zařízení přesně namíchá žádaný poměr boosteru k lepidlu a pracovník jen pomocí ramene a pistole připevněné na přístroji nanese housenku lepidla. Booster je využíván k urychlení vytvrzovací reakce,



Obr. 27 Brusný materiál Scotch Brite.

předmětem této praktické části bylo ověření, kolik procent boosteru v lepicí směsi je pro daný lepený spoj ideální.

K měření nalepených a vytvrzených vzorků bylo využito trhací zařízení Z010 ProLine od firmy Zwick Roell (obr. 25). [42] Maximální trhací síla je 10 kN. Tento stroj je určen pro testování standardních vzorků, tak i přímo na součástech. Maximální zdvih je 1050 mm a šířka testovacího pole 420 mm. Rychlost čelistí se pohybuje mezi 0,0005 až 1000 mm/min. Přesnost přístroje je 0,0232  $\mu\text{m}$ . Toto zařízení je připojeno k počítači s programem TestExpert, kde se na základě zadaných parametrů dle normy a rozměrů naměřených na daném vzorku, vyhodnocují přetržené lepené spoje. Program ukazuje i tahové křivky a hodnotu maximálního smykového napětí, které daný spoj vydržel. Grafické výsledky v závěrečném zhodnocení byly získány právě z tohoto softwaru.

### 3.2 Použité vzorky (sklo, hřebeny, hliníkové plechy)

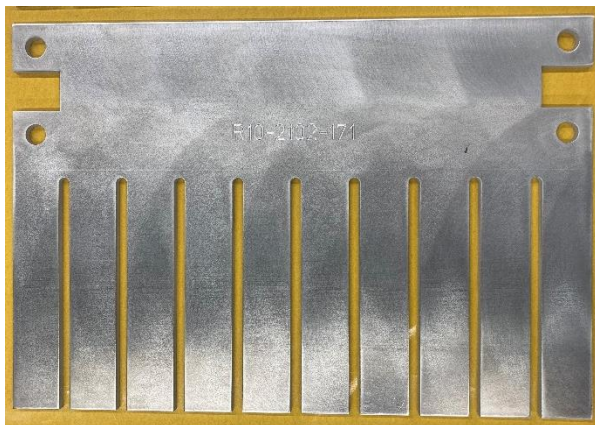
Lepený spoj se skládal z hliníkových hřebenů a skla. Dále byly testovány na odlup housenky nalepené na hliníkových plechách. Materiálové listy k materiálům jsou přístupné v příslušných normách.

#### Hliníkový hřeben – EN AW-6060

Chemické složení (tab. 1) hliníkového materiálu je znázorněno v tab. 1 – jednotky jsou hmotnostní %. Jedná se o materiál slitiny hliníku EN AW-6060 (AlMgSi) dle normy ČSN EN 573. Je to hliníková slitina tvářená určena pro všeobecné účely. Rozměry hřebenu byly (na obr. 28) 295 x 200 x 5 mm.

Tab. 1 Chemické složení testovaného hliníkového materiálu.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,3-0,6	0,1-0,3	0,1	0,1	0,35-0,6	0,05	0,15	0,1	zbytek



Obr. 28 Hliníkový hřeben.



Obr. 29 Hliníkový plech pro odlupovou zkoušku.

#### Sklo – PARSOL GREEN 4,85 mm

Bylo vyrobeno firmou Saint-Gobain, jedná se o sklo s tloušťkou 4,85 mm. Bližší mechanické a optické vlastnosti skla nejsou možné z důvodu interních předpisů zveřejnit. Sklo je zbarveno. Rozměry skla byly 350 x 250 x 5 mm. Sklo je celé potištěno sítotiskem.

#### Hliníkový plech

Plech (obr. 29) má stejné chemické složení jako hřeben. Jeho rozměry byly: 350 x 250 x 1 mm.



### 3.3 Návrh a provedení experimentu

První částí experimentu byla předúprava použitých vzorků (hřebenu, skla, hliníkových plechů). Předúprava se skládala z několika kroků.

Prvním krokem předúpravy hliníkových plechů a hliníkových hřebenu bylo očištění odmašťovadlem Sika® Cleaner P (viz obr. 30).

Tímto krokem se zajistil rovnoměrnější povrch a byl i lépe definován, navíc více menších nerovností (definovaných) napomáhá mechanické adhezi. Dále se musel materiál opět očistit, protože při broušení vzniklo mnoho nových nečistot a dalších částic hliníku.

Dalším krokem v předúpravě, jak hřebenu, tak hliníkových plechů, tak skla bylo nanesení primeru (obr. 31 a 32). Na to byl využit Sika Primer 207, jehož materiálový list je uveden



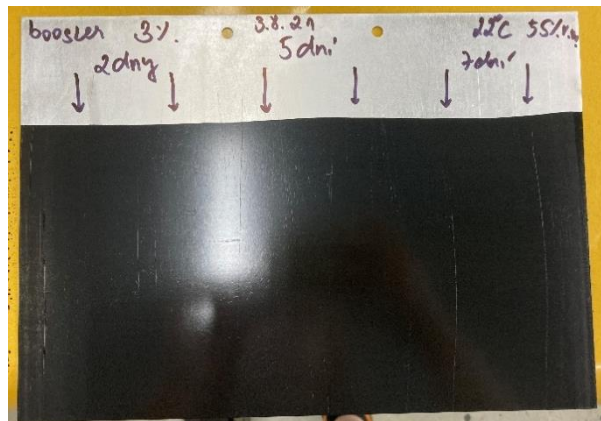
Obr. 30 Čištění hliníkového hřebenu Sika Cleanerem P.



Obr. 31 Nanesení primeru.



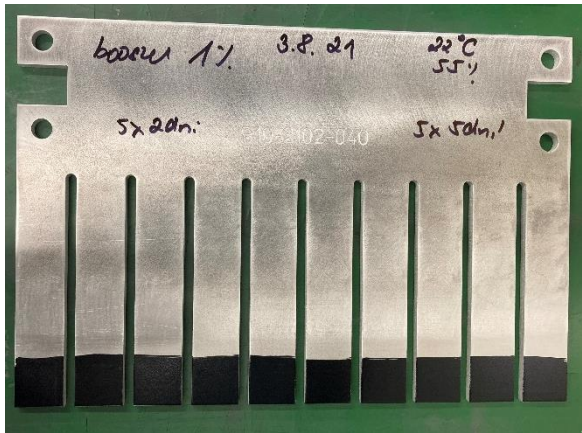
Obr. 32 Sklo s nanesenou vrstvou primeru.



Obr. 33 Hliníkový plech s vrstvou primeru.

v příloze 3. Jak bylo uvedeno v teoretické části, primer napomáhá stabilnějšímu, pevnějšímu a často i rychlejšímu navázání spoje a také prodlužuje životnost předešlé předúpravy. Primer je kritickou částí přípravy povrchu základního materiálu. Je určen speciálně pro přípravu materiálů před lepením lepidly Sika. Před aplikací primeru výrobce doporučuje ořtení plochy a její očištění od prachu a mastnot, což bylo dodrženo. Broušení je doporučeno, které bylo provedeno taktéž. Primer byl aplikován při pokojové teplotě, což splňuje doporučení výrobce. Primer byl nanesen speciální houbičkou v 1 tahu, což zajistí nanesení velmi tenké vrstvičky.

Jak je vidět na obr. 31, primer na hliníkový hřeben byl nanesen na konce, kam se nanese housenka lepidla a spojí se se sklem. Na obr. 32 je vidět nanesení primeru na sklo a na obr. 33 zase nanesení primeru na hliníkový plech, který bude sloužit k odlupovým zkouškám.



Obr. 34 Hliníkový hřeben s naneseným primerem a označením pro vyhodnocování.



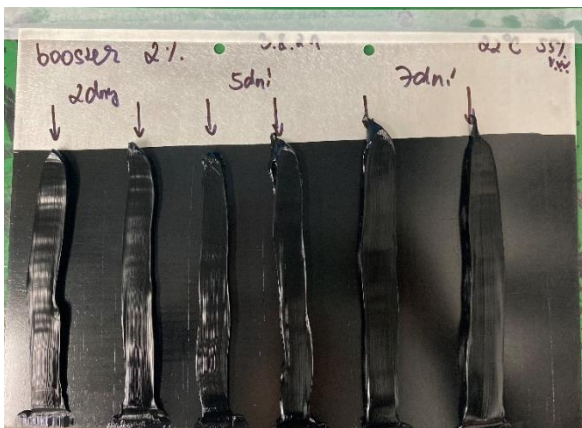
Obr. 35 Usazení lepeného spoje ze skla a hliníkového hřebenu.

Dalším krokem je označení všech vzorků, aby bylo možné zpětně identifikovat, které vzorky prošly jakými podmínkami procesu vytvrzování a mohlo tak dojít ke spárování výsledků z smykové zkoušky a adhezni zkoušky (jak byl spoj přetržen – adhezně, kohezně, smíšeně). Na hřebeny bylo označeno množství boosteru vmíchaného do lepidla dávkovačem, datum lepení, teplota a vzdušná vlhkost, při které vzorky vytvrzovaly a také pro jednotlivé vzorky označeno, jak dlouho mají vytvrzovat (obr. 34). Vzorky vytvrzovaly 2, 6 a 8 dní (na obrázcích je zaznačeno 2, 5 a 7 dní, což bylo později změněno a ve výsledcích správně zaznamenáno). Pro smykovou zkoušku bylo pro každý den vytvrzení přetrženo 5 vzorků, pro 4 stupně boosteru. Celkem tedy byl získán 20 křivek vytvrzení.

Po nanesení primeru a jeho odvětrání (minimálně 10 minut) na všechny základní materiály účastníci se spoje a označení všech vzorků je důležité nanést housenku. Ta byla nanášena pomocí dávkovače z obr. 26 a to poloautomaticky (operátor nanášel za pomoci automatického dávkovače, který automaticky míchá nastavené procento boosteru s adhezivem). Housenka je nanášena na kraje předpřipravených primerovaných ploch. Pro zabezpečení předepsané plochy spoje byly použity vymezení za pomoci polystyrenových podložek a hliníkových podložek po přesném vyměření. Plocha se při vyhodnocování ale ještě jednou přeměřovala pro upřesnění výsledků. Ustanovení, ve kterém vzorky vytvrzovaly jsou znázorněny na obrázcích 35 a 36. Na obr. 36 je možné vidět i tenkou vrstvu primeru, která je nanášena na skle. Na skle je také sítotisk, protože část skla ve vlakových dveřích, kam se nanáší primer a pak housenka lepidla je právě ošetřeno povrchovou úpravou sítotisku.



Obr. 36 Usazení lepených spojů.



Obr. 37 Nanesení housenek pro odlupovou zkoušku.

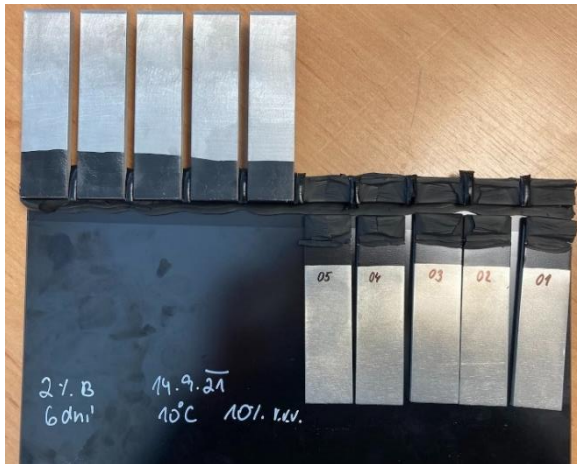


Obr. 38 Strojní nůžky pro ustržení vzorků.

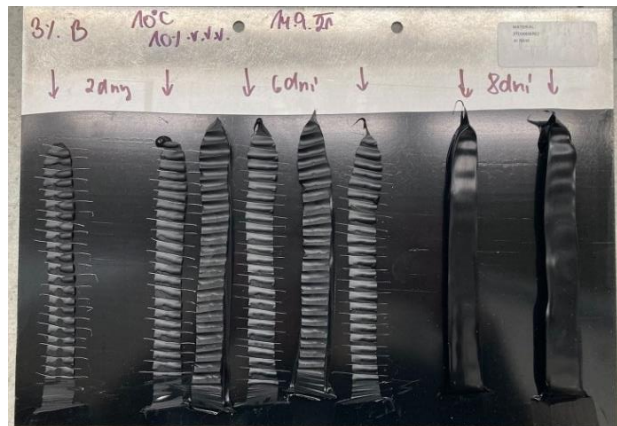
U hliníkových plechů byl postup až do primerování stejný. Po té se hliník označil opět datem lepení, množstvím boosteru, podmínkami vytvrzování a poté se zaznačily šipkami místa, kam se pak pokládaly housenky lepidla (obr. 37).

Hřebeny se po vytvrzení ostříhly na stříhacím stroji (obr. 38), aby bylo možné celý spoj (sklo – hřeben) vložit do trhacího zařízení (obr. 42). Po přetržení 5 vzorků bylo možné vyhodnocovat výsledky. Vyhodnocení a zkouška proběhla podle normy EN 1465.

Hliníkové plechy se po vytvrzení využily pro odlupovou zkoušku, kde byly vždy odloupnuty 2 housenky a proběhlo vyhodnocování přilnavosti a vytvrzení dané housenky vůči základnímu materiálu. Příklady přetržených vzorků jsou na obr. 39 a odloupených na obr. 40.



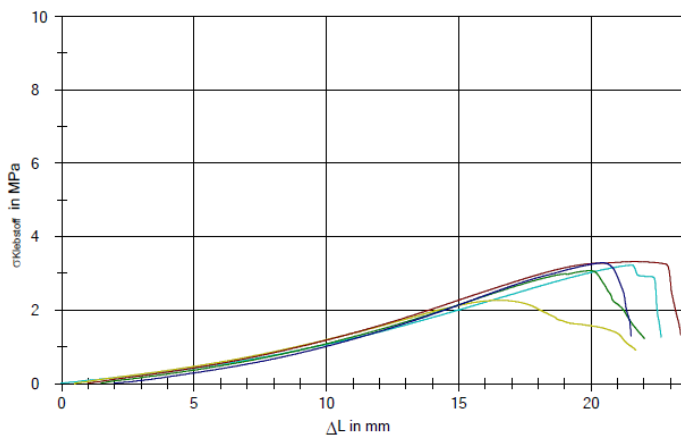
Obr. 39 Vzorky po provedení smykové zkoušky – přetržené vzorky.



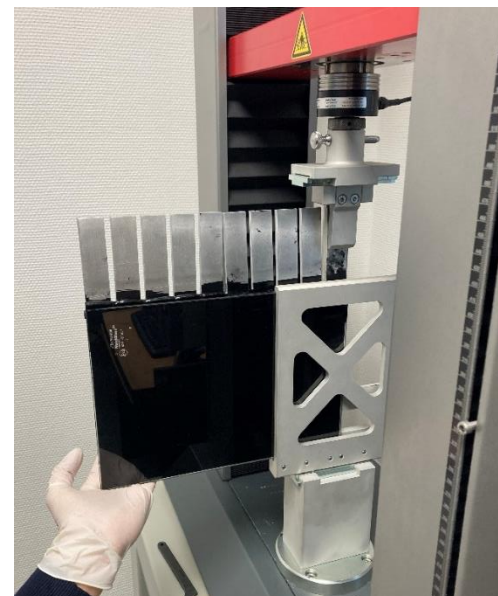
Obr. 40 Vzorky po odlupové zkoušce.

Z odloupených vzorků se pak posuzovalo adhezní porušení nebo kohezní porušení housenky (na rozhraní adhezivo – hliníkový na primerovaný plech). Ve výsledcích se pak poměr porušení a druh zaznamenal v procentech a podle normy ISO 21194.

U přetrhnutých vzorků smykovou zkouškou se opět procenty charakterizoval druh porušení a díky softwaru bylo možné získat pevnostní křivku, a tedy maximální zatížení, které spoj vydržel, než se porušil. Příklad takové křivky je zobrazen na obr. 41.



Obr. 41 Výsledek smykové zkoušky – tahová křivka.



Obr. 42 Vložení vzorku do trhacího zařízení.

### 3.4 Vyhodnocení výsledků jednotlivých experimentů

Celkově bylo provedeno 6 dávek měření, přičemž jedna dávka se skládala z 12 hřebců a 12 skel (vždy 4 dvojice pro jeden den vytvrzení – dny vytvrzení 2, 6, 8 dní) a 4 plechů s housenkami (každý plech pro jedno procento boosteru). Daná procenta vlhkosti a °C teploty, při kterých byly zkoušky provedeny (a jsou to i ty uvedené) se vzaly jako průměrné hodnoty dané místnosti/klimakomory za dobu 8 dní (po celou dobu experiment), protože žádné zařízení nedokáže vytvořit dokonalé podmínky bez odchylek.

Na vytvrzovací reakci a budování adheze spoje má vliv více faktorů. V této práci byly zkoumány faktory teploty, času, relativní vzdušné vlhkosti a procento boosteru přimíchané k testovanému adhezivu Sikaflex®-265. Původně nastavené procento boosteru byly 2 % a podmínky lepení byly podmínky okolí (ve výrobní hale), kde se teplota pohybuje v průměrné hodnotě za celý rok kolem hodnoty 22,5 °C a vlhkost 43 % (zde je rozsah větší – 25 % až 67 %). Cílem je tedy stanovit možné lepší kombinace těchto faktorů, případně zda mají rozsahy těchto hodnot zanedbatelný vliv a není potřeba zařídit řízené prostředí.

Výsledky byly u smykové zkoušky vyhodnoceny za pomoci trhacího zařízení a programu Test Expert. Ten vyhodnocuje nejvyšší zatížení v MPa, které daný spoj vydržel a vyhodnotí a tahovou křivku lepeného spoje. Výsledky smykové zkoušky byly zaneseny do tabulek podle procenta boosteru využitého pro daný spoj a z těchto tabulek se nadále vytvořilo grafické znázornění vytvrzujících křivek pro jednotlivé podmínky vytvrzení.

Pro odlupovou zkoušku bylo vyhodnocení vizuální čili do vyhodnocení vstupovala i subjektivní vyhodnocení lidského faktoru. Procentuálně se vyjádřilo zastoupení adhezního (AF) a kohezního lomu (CF), případně nevytvrzené části housenky (NC) nebo vzniku bublin (Bubbles). Toto vyhodnocení bylo zaneseno do tabulek, které byly využity jako podklady pro zisk křivek rychlosti budování adheze.

Předem je nutné si uvědomit možné chyby, které během měření mohou nastat, či odchylky, které nejdou ovlivnit, ale musí být brány v potaz:

- Nepřesné nastavení poměru boosteru a adheziva kvůli malým testovacím dávkám. Mezi dávkami je potřeba nechat směs odtéct, aby se poměr ustálil a zpřesnil, což při menších dávkách je obtížné.
- Lidský faktor – vyhodnocování odlupové zkoušky vizuálně, kde se poměr adhezního a kohezního porušení spoje vyhodnocuje subjektivně.
- Lidský faktor – předúprava lepeného povrchu. Povrch před lepením se čistí, brousí, znovu čistí a primeruje lidským operátorem, což dává za vznik odchylek mezi jednotlivými testovanými dávkami.
- Nedokonalé udržení vytvrzovacích podmínek řízeným prostředím. Nikdy nelze dosáhnout dokonalého řízeného prostředí s naprosto neměnnými vytvrzovacími podmínkami.
- Odchylky v základním materiálu, které jsou ale minimální a na pevnost lepeného spoje mají mizivý vliv.

#### 3.4.1 Vytvrzování při 22 °C a 55 % relativní vzdušné vlhkosti (r. v. v.)

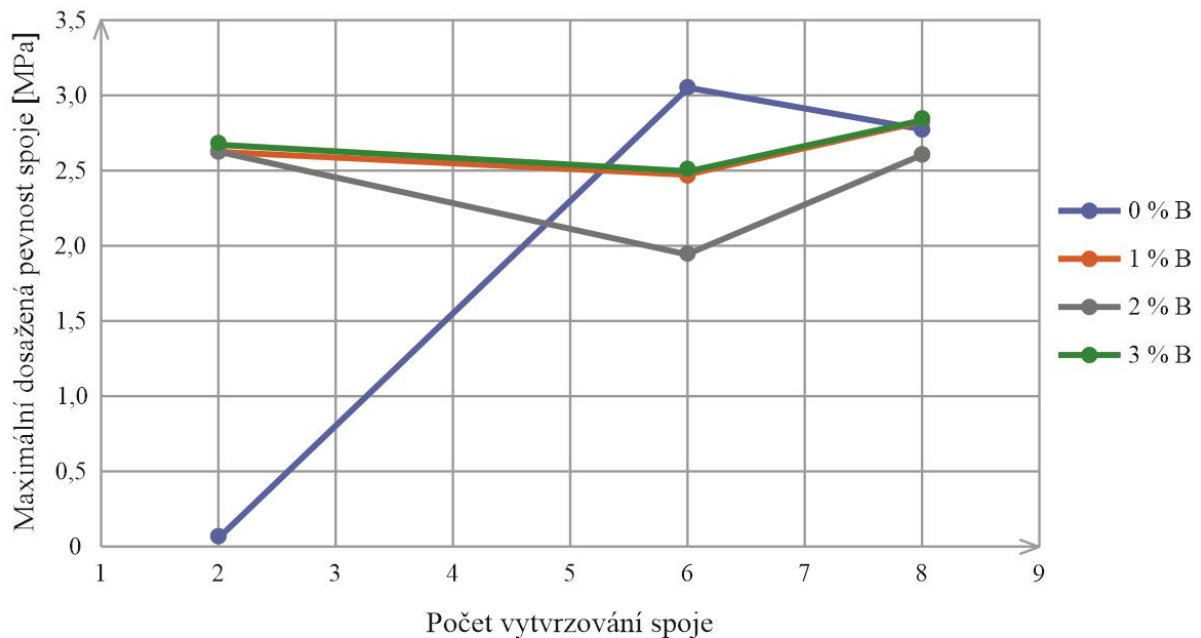
Prvním testovacím prostředím pro definované vzorky bylo vytvrzování při pokojových podmínkách čili bez žádného způsobu urychlování vytvrzovací reakce. Data ze zkoušky **smykem** (tab. 2) jsou uvedeny v tabulkách níže (červeně vybraná data byla pro grafická znázornění vyjmuta, aby se odstranily extrémní hodnoty). Z kapacitních důvodů bylo ke každému dni vytvrzování a ke každému procentu boosteru vyzkoušeno pouze 5 vzorků, proto zde dochází k velkému variačnímu koeficientu.

Tab. 2 – pevnostní výsledky ze zkoušky smykem při 22 °C a 55 % r. v. v.

vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	0,0484	0,0687	2,81	2,606	2,93	2,618	2,95	2,67
	0,115		2,64		2,65		2,7	
	0,0669		2,7		2,32		2,8	
	0,0471		2,29		2,66		2,23	
	0,0661		2,59		2,53		1,8	
6	3,22	3,03	2,46	2,474	1,77	1,93	2,36	2,5
	2,26		2,41		1,75		2,66	
	3,32		2,55		1,94		2,33	
	3,07		2,43		2,11		2,35	
	3,28		2,52		2,08		2,8	
8	2,74	2,764	3,13	2,816	3,42	2,334	2,48	2,8325
	2,88		2,74		2,59		3,13	
	2,64		2,78		2,29		2,08	
	2,89		2,92		2,07		2,85	
	2,67		2,51		1,3		2,87	

Grafické znázornění na obr. 43 datových výsledků dává lepší představu o zesíťovací – vytvrzovací reakci, která ve spoji vznikla a jakého bylo dosaženo pevnostního výsledku.

Vytvrzování při 22 °C a 55 % r. v. v.



Obr. 43 Výsledek smykové zkoušky při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.

Podmínky při 22 °C a 55 % relativní vzdušené vlhkosti se považují za **ideální podmínky** a jde i o průměrnou hodnotu podmínek ve výrobní hale během celého roku. V těchto podmínkách do této doby firma fungovala a spoje byly v pořádku. Protože jsou všechny pevnosti nižší o 2 MPa (přibližně 2,6 MPa) vůči cíli a vůči pevnosti, která je i avizovaná v technickém listu (4,5 MPa), je nutné toto měření **zopakovat**, protože s největší pravděpodobností došlo k chybě.

I přes očištění dat (statisticky) od velkých odchylek se totiž ve výsledcích nachází velké rozsahy a velké odlišnosti oproti předpokladům. Navíc při porovnání s ostatními měřeními, které byly provedeny později vyplývá, že je tato hodnota menší o více než 1 MPa než při horších podmínkách (menší teplota i vlhkost, a protože lepidlo vytvrzuje při vzdušné vlhkosti, při menší vlhkosti vytvrzuje pomaleji). V 6. dni je vidět chyba u směsi, která měla být bez boosteru. Protože před nanášením této bezboosterové směsi byly nanášeny směsi s 2 % Boosteru, tak nejspíš došlo k pozůstatku menšího množství SikaBoosteru® P-50 ve směsi s adhezivem, což se pak projeví tak vysokou hodnotou pevnosti v 6. dni.

Další výsledky (tab. 3 a tab. 4) poskytla zkouška **odlupem**. Zde je vyhodnocování na základě vizuálního posouzení čili výsledky jsou ovlivněny lidským faktorem. Při zachování stejného pracovníka však je možné udržet stejné procento posouzení pro všechny vzorky a tím lidský faktor částečně eliminovat.

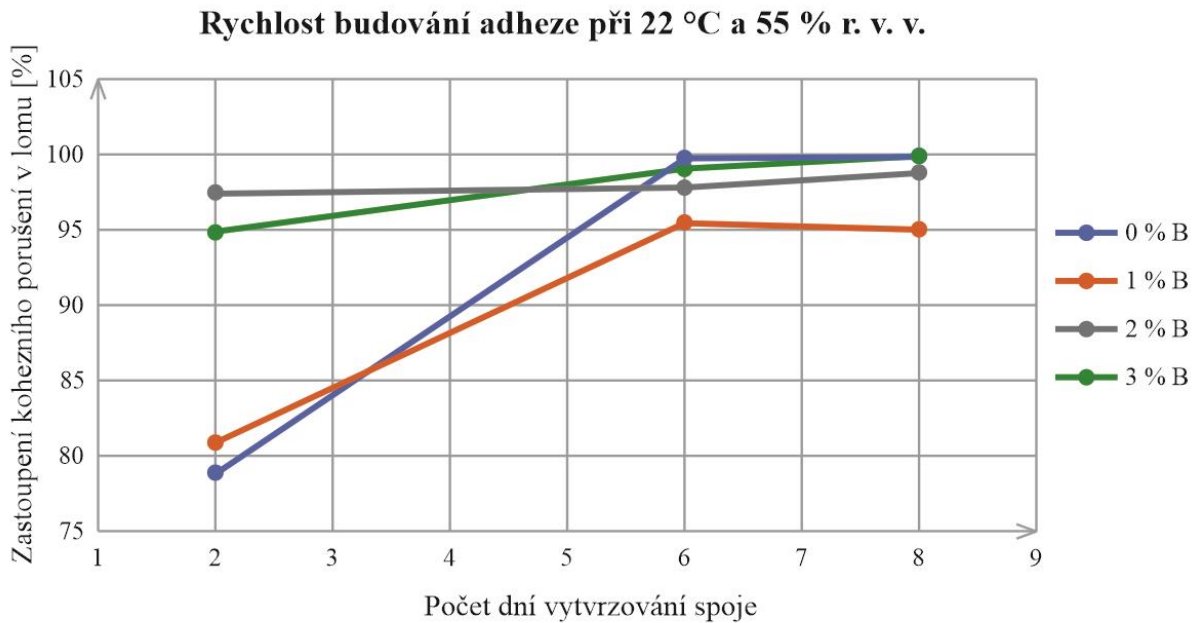
Tab. 3 Výsledek odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 22 °C a 55 % r. v. v.

přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	25 % NC 75 % CF	33 % AF 66 % CF	3 % AF 97 % CF	5 % AF 95 % CF
	17 % NC 83 % CF	4 % AF 96 % CF	2 % AF 98 % CF	5 % AF 95 % CF
6	0,5 % AF 75 % CF	100 % CF	4 % AF 96 % CF	1 % AF 99 % CF
	100 % CF	9 % AF, 91 % CF	100 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF
8	100 % CF	2 % AF 98 % CF	2 % AF 98 % CF	100 % CF
	100 % CF	8 % AF 92 % CF	100 % CF	100 % CF

Tab. 4 Přehled kohezního porušení při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.

dny	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	75	79	66	81	97	97,5	95	95
	83		96		98		95	
6	99,5	99,75	100	95,5	96	98	99	99,25
	100		91		100		99,5	
8	100	100	98	95	98	99	100	100
	100		92		100		100	

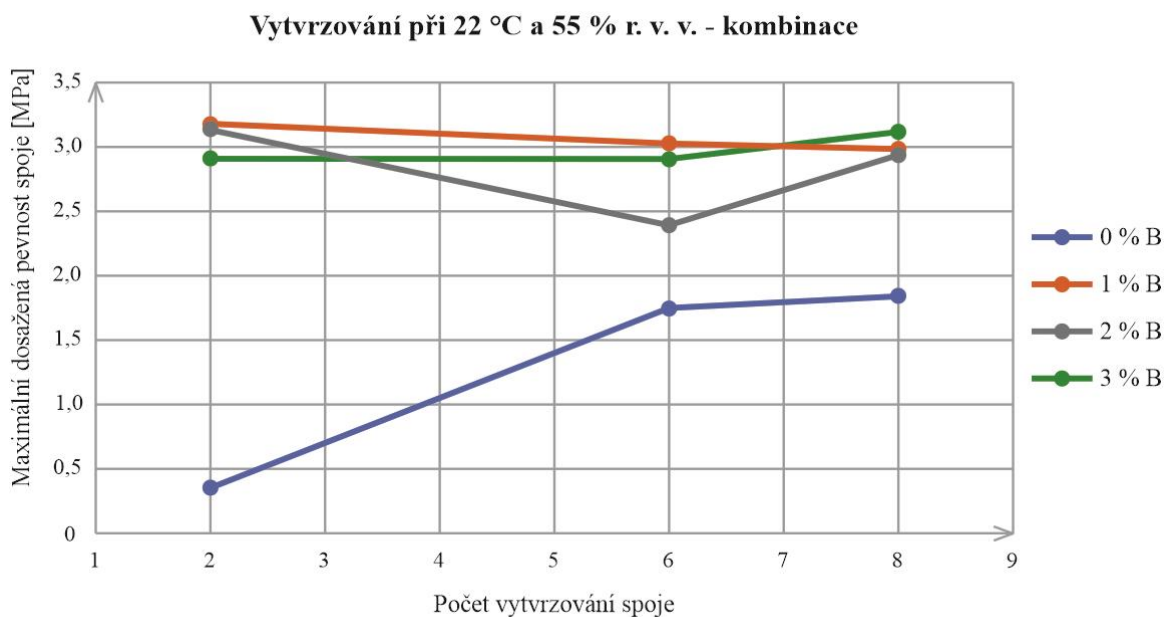
U této zkoušky odlupem výsledné křivky (obr. 44) rychlosti budování adheze **odpovídají teoretickému předpokladu**. U boosterovaných materiálu dojde k vytvoření adheze v podstatě již po 2 dnech, zatímco u neboosterovaného až při 6. dni. To potvrzuje teoretické předpoklady. Jediná chyba nastala u směsi s 1 % Boosteru, kde při druhém dni je % vytvořené adheze příliš nízké. K tomu došlo nejspíše kvůli tomu, že před nanášením směsi s 1 % Boosteru byla nanášena dávka bez boosteru a poté nebyla směs lepidla a boosteru v novém poměru dostatečně odečtena čili nebyl dodržen přesně poměr adheziva a boosteru a tento nedostatek pak zapříčinil nedostatečné vytvoření adhezních vazeb.



Obr. 44 Grafické znázornění budování adheze při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.

### 3.4.2 Vytvrzování při podmínkách okolí 22 °C a 55 % r. v. v. – kombinace

Protože výsledky z prvního měření – vytvrzování při 22 °C a 55 % relativní vlhkosti ve vzduchu – neodpovídaly pravidelným výsledkům, které firma provádí, bylo měření zopakováno. Při pravidelných testech se dosahuje pevnosti přes 4 MPa, čehož nebylo při prvním měření dosaženo. Získaná data se zkombinovala s daty z předchozí dávky měření, grafické výsledky a data jsou znázorněna níže (tab. 5). Navíc se tímto navýšením vzorků získá víc dat pro snížení variačního koeficientu, což umožní přesnější vyhodnocení, co se v lepeném spoji děje při vytvrzování při pokojových podmínkách. Stálost prostředí byla zajištěna klimatizovaným prostředím v místnosti ve výrobě.



Obr. 45 Kombinace výsledků smykové zkoušky při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.



Tab. 5 Souhrn pevnostních výsledků ze zkoušky smykem při 22 °C a 55 % r. v. v.

vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	0,0484	0,358	2,81	3,196	2,93	3,152	2,95	2,927
	0,115		2,64		2,65		2,7	
	0,0669		2,7		2,32		2,8	
	0,0471		2,29		2,66		2,23	
	0,0661		2,59		2,53		1,8	
	0,689		4,01		3,84		3,78	
	0,773		3,73		4,07		3,55	
	0,645		3,94		3,08		3,16	
	0,614		3,85		3,5		3,51	
	0,518		3,4		3,94		2,79	
6	3,22	1,758	2,46	3,03	1,77	2,415	2,36	2,925
	2,26		2,41		1,75		2,66	
	3,32		2,55		1,94		2,33	
	3,07		2,43		2,11		2,35	
	3,28		2,52		2,08		2,8	
	0,397		3,94		3		3,31	
	0,514		3,03		3,37		2,93	
	0,328		3,65		3,43		3,77	
	0,404		3,65		1,41		3,44	
	0,789		3,66		3,29		3,3	
8	2,74	1,849	3,13	2,992	3,42	2,963	2,48	3,131
	2,88		2,74		2,59		3,13	
	2,64		2,78		2,29		2,08	
	2,89		2,92		2,07		2,85	
	2,67		2,51		1,3		2,87	
	1,26		3,72		4,62		4,7	
	1,01		3,06		3,24		3,1	
	1,19		3,13		3,25		3,39	
	0,571		3,1		3,9		3,14	
	0,64		2,83		2,95		3,57	

Pro porovnání je v tabulce zkoušek **ve smyku** znázorněno prvních pět řádků v daném dni vždy z prvního testování, zatímco dalších 5 řádků je nové testování. Tyto hodnoty byly zkombinovány a z průměrných hodnot byly vytvořeny grafy. Z grafu na obr. 45 vyplývá, že neboosterovaný materiál potřebuje déle času ke svému plnému vytvrzení a zisku správné pevnosti spoje než boosterovaný. To odpovídá teoretickým předpokladům. Dále z výsledků vyplývá, že booster má vliv na rychlost vytvrzení, ale na pevnost jako takovou ne. Postupem času i ten neboosterovaný materiál dojde do podobného bodu pevnosti.

I přesto, že se zkouška zopakovala, tak se stále nedosáhlo podobných pevnostních výsledků, které firma provádí na měsíční bázi. Pevnosti byly naměřeny přibližně o necelý MPa stále nižší. Pro odůvodnění těchto výsledků a proč je pevnost stále tak nízká by bylo potřeba udělat daleko více vzorků, bude to nadále předmětem výzkumného oddělení firmy, aby se zjistily příčiny a aby se tyto případné nestability odstranily.

Tab. 6 Kombinace výsledků odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 22 °C a 55 % r. v. v.

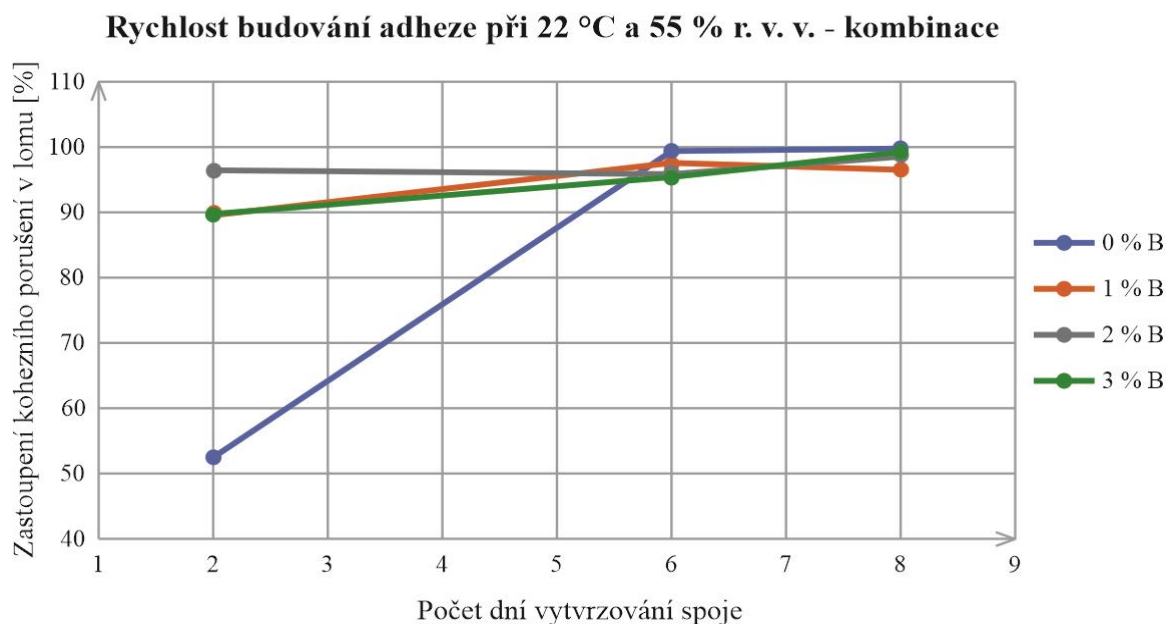
přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	25 % NC 75 % CF	33 % AF 66 % CF	3 % AF 97 % CF	5 % AF 95 % CF
	17 % NC 83 % CF	4 % AF 96 % CF	2 % AF 98 % CF	5 % AF 95 % CF
	75 % NC 25 % CF	100 % CF	97 % CF 3 % AF	90 % CF 10 % AF
	73 % NC 27 % CF	100 % CF	95 % CF 5 % AF	80 % CF 20 % AF
6	0,5 % AF 75 % CF	100 % CF	4 % AF 96 % CF	1 % AF 99 % CF
	100 % CF	9 % AF 91 % CF	100 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF
	99 % CF 1 % AF	100 % CF	95 % CF 5 % AF	93 % CF 7 % AF
	100 % CF	100 % CF	95 % CF 5 % AF	91 % CF 9 % AF
8	100 % CF	2 % AF 98 % CF	2 % AF 98 % CF	100 % CF
	100 % CF	8 % AF 92 % CF	100 % CF	100 % CF
	100 % CF	100 % CF	99,5 % CF	0,5 % Bubbles 0,5 % NC, 99 % CF
	100 % CF	99 % CF 1 % AF	99 % CF 1 % AF	99 % CF 1 % AF

Tab. 7 Kombinace přehledů kohezních porušení při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.

dny	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	75	52,5	66	90,5	97	96,75	95	90
	83		96		98		95	
	25		100		97		90	
	27		100		95		80	
6	99,5	99,625	100	97,75	96	96,5	99	95,625
	100		91		100		99,5	
	99		100		95		93	
	100		100		95		91	
8	100	100	100	97,25	99,5	99,125	99	99,5
	100		99		99		99	
	100		98		98		100	
	100		92		100		100	

Výsledky **odlupové zkoušky** odpovídají teoretickým předpokladům a bylo zde potvrzeno i tvrzení ze smykové zkoušky, že Booster má vliv na rychlost vytvrzení, nikoliv na výsledné vytvoření spoje (pevnost i adhezní vazby se vytvoří stejně, pouze později). Odlupové zkoušky, které splňují teoretické předpoklady stojí v kontrastu s neúspěšnými smykovými zkouškami.

Jak bylo již zmíněno, pro zjištění příčin by bylo potřeba získat více dat, čehož ale nebylo z kapacitních důvodů možné dosáhnout.



Obr. 46 Graf kombinace výsledků při budování adheze při vytvrzování 22 °C a 55 % r. v. v.

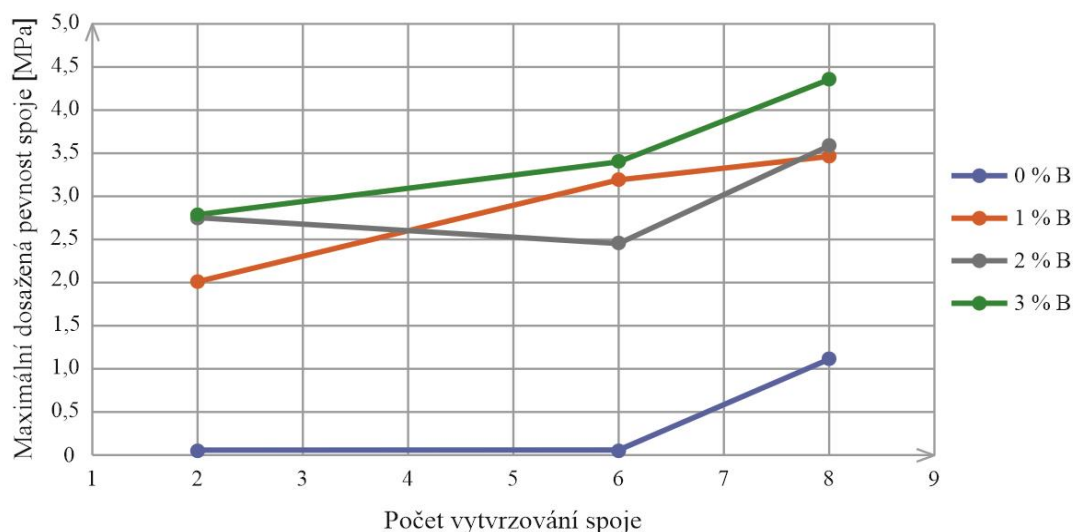
### 3.4.3 Vytvrzování v klimakomoře při 10 °C a 30 % r. v. v.

Pro simulaci podmínek během zimního období a zjištění, jak se lepidlo chová při nízkých teplotách a při nízké vzdušné vlhkosti, byla provedena druhá dávka měření (data výsledků na tab. 8) právě v těchto podmínkách. Navíc firma chtěla zjistit vliv extrémních podmínek (i pod 15 °C, které doporučuje pro vytvrzování výrobce Sika®) a jak se pak materiál bude chovat s boosterem a bez něj právě při extrémech.

Tab. 8 Pevnostní výsledky ze zkoušky smykem při 10 °C a 30 % r. v. v.

vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	0,0651	0,0615	2,66	2,046	2,28	2,766	3,16	2,82
	0,0579		1,64		2,6		2,81	
	-		2,09		2,84		2,63	
	-		1,75		2,99		2,67	
	-		2,09		3,12		2,83	
6	0,036	0,05165	3,18	3,215	2,42	2,474	2,3	3,42
	0,0673		3,19		2,61		3,69	
	-		3,29		2,51		3,62	
	-		3,2		2,33		3,5	
	-		2,49		2,5		2,87	
8	1,27	1,136	3,14	3,488	3,41	3,588	4,7	4,39
	1,07		3,37		3,65		4,38	
	1,21		3,7		3,8		4,11	
	1,09		3,43		3,36		4,25	
	1,04		3,8		3,72		4,51	

Vytvrzování při 10 °C a 30 % r. v. v.



Obr. 47 Výsledek smykové zkoušky při vytvrzování 10 °C a 30 % r. v. v.

Z výsledků smykových zkoušek pro podmínky 10 °C a 30 % relativní vzdušné vlhkosti plyne potvrzení předpokládaného faktu, že při nižší teplotě a nižší vlhkosti dochází ke zpomalení zesílení a vytvrzení lepeného spoje (i na základě principu vytvrzování lepidla). Při porovnání boosterovaného a neboosterovaného materiálu dochází k výraznému rozdílu hodnot pevnosti spoje, kdy u neboosterovaného materiálu získáváme nějakou pevnost až po 8 dnech vytvrzování, zatímco po 2 dnech u boosterovaného materiálu získáme dvojnásobnou hodnotu. To je zapříčiněno snížením vzdušné vlhkosti, která je základním principem vytvrzení tohoto lepidla Sikaflex®-265. Dobré pevnosti (až ke 4 MPa) získáme až po 8 dnech, nejlépe s 3 % Boosteru ve směsi. Jak je však viditelné na obr. 47, vliv procenta Boosteru je minimální.

Z těchto výsledků vyplývá, že při extrémně nízkých hodnotách závisí vytvrzení na tom, zda směs obsahuje booster či nikoliv, kolik procent ve směsi již není tolik podstatné (odchylka stroje trhacího jako takového je 0,2 MPa). Za přítomnosti boosteru je získání pevnosti poměrně rychlé, na výslednou hodnotu se však dostáváme až 8. den. Pro získání stejné pevnosti u neboosterovaného materiálu by byla potřeba času několikanásobně více.

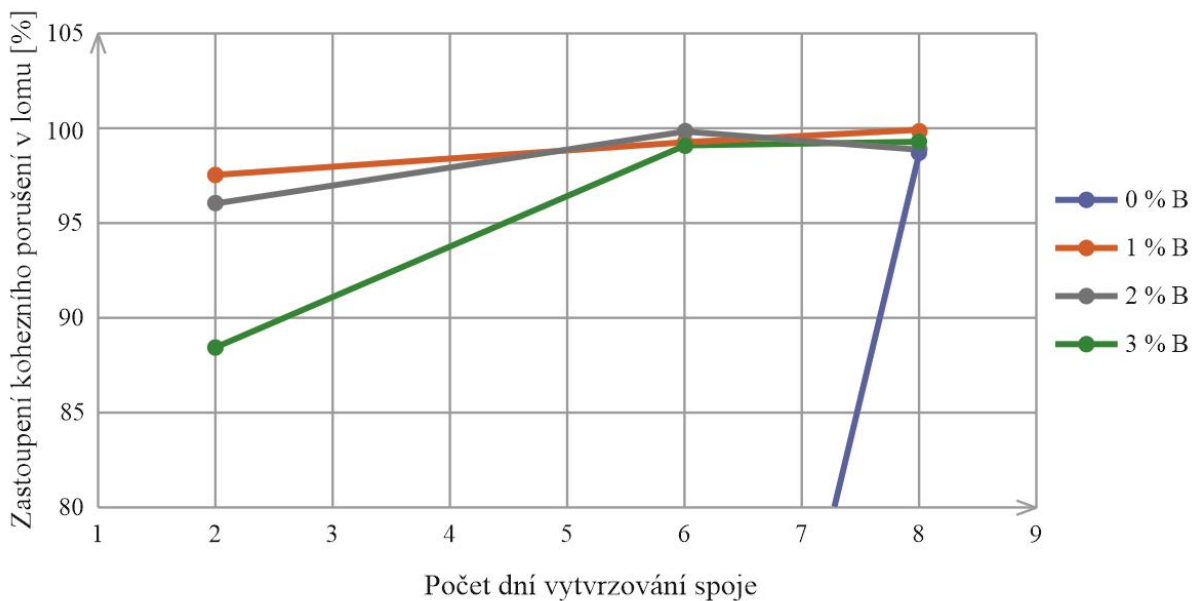
Tab. 9 Výsledek odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 10 °C a 30 % r. v. v.

přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	95 % NC 5 % CF	3 % AF 97 % CF	5 % AF 95 % CF	20 % AF 80 % CF
	95 % NC 5 % CF	2 % AF 98 % CF	3 % AF 97 % CF	3 % AF 97 % CF
6	50 % NC 50 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF	1 % AF 99 % CF
	40 % NC, 15 % AF 45 % CF	1 % AF 99 % CF	100 % CF	1 % AF 99 % CF
8	2 % AF 98 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF	2 % AF 98 % CF	0,5 % AF 99,5 % CF
	0,5 % AF 99,5 % CF	100 % CF	100 % CF	99 % CF 1 % Bubbles

Tab. 10 Přehled kohezního porušení při vytvrzování 10 °C a 30 % r. v. v.

dny	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	5	5	97	97,5	95	96	80	88,5
	5		98		97		97	
6	50	47,5	99,5	99,25	99,5	99,75	99	99
	45		99		100		99	
8	98	98,75	99,5	99,75	98	99	99,5	99,25
	99,5		100		100		99	

Rychlost budování adheze při 10 °C a 30 % r. v. v.



Obr. 48 Grafické znázornění budování adheze při vytvrzování 10 °C a 30 % r. v. v.

Z výsledků **rychlosti budování adheze** (data v tabulkách 9 a 10, graficky znázorněno na obr. 48) plyne, že u boosterovaných materiálů je tvorba adheze již po dvou dnech na poměrně vysoké úrovni, zatímco u neboosterovaného materiálu samotný spoj ještě vůbec nevytvrdil. Po odloupení pak byly housenky nevytvrzené a stále tekuté. K dobrému vytvrzení u neboosterované housenky došlo až po 8 dnech. U boosterovaných došlo ke zrychlení a plné adheze bylo dosaženo již po 6 dnech, při použití boosteru v poměru 1 % a 2 % byly hodnoty již po dvou dnech nad 95 %, zatímco u použití 3 % Boosteru byla tato hodnota nižší. To jde proti předpokladům, ale z důvodu pouze 2 vzorků dochází k velké odchylce, kdy první housenka měla podíl kohezního lomu pouze 80 % a druhá již 97 %. Nejspíše došlo k pochybení pod vlivem lidského faktoru. Pro upřesnění by bylo potřeba tento pokus znovu opakovat. Dva vzorky byly změřeny proto, že z důvodu nevytvrzení byly naměřené hodnoty trhacím zařízením příliš nízké až se limitně blížily nule. Odlupové zkoušky odpovídají teorii.

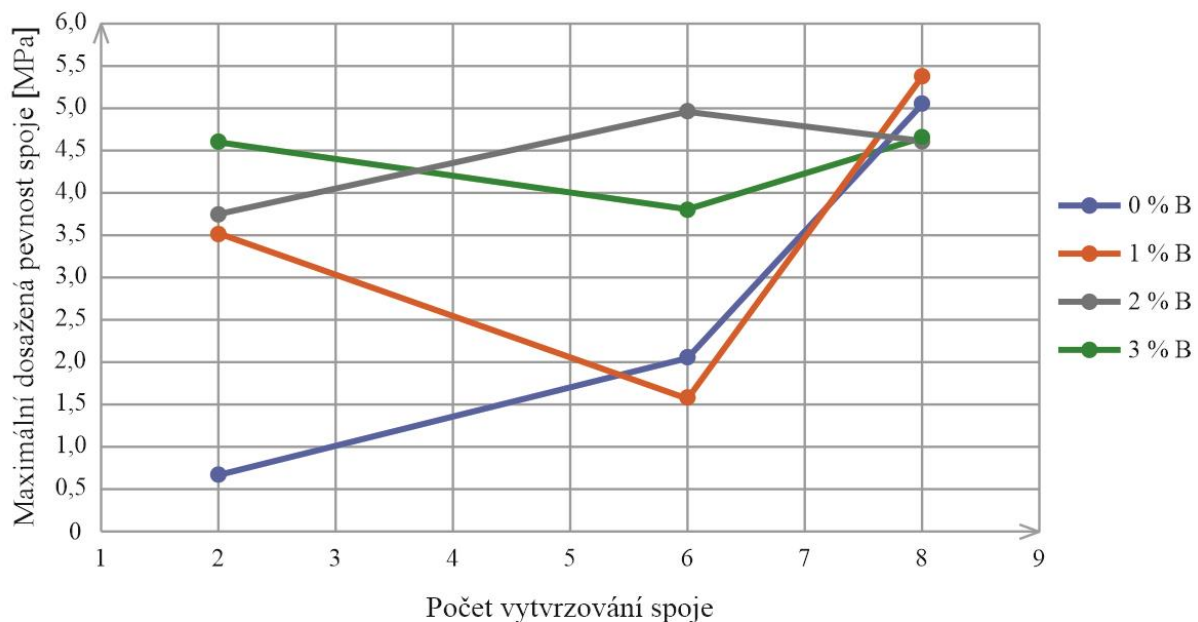
### 3.4.4 Vytvrzování v klimakomoře při 67 °C a 33,5 % r. v. v.

Měření (výsledky v tabulce 11) v podmínkách 67 °C a 33,5 % simuluje chování lepidla při podmínkách **vysoké teploty a průměrné vzdušné vlhkosti**. Zkoumá se zde tedy zda je vyšší teplota klíčová pro rychlejší vytvrzení či ne.

Tab. 11 Pevnostní výsledky ze zkoušky smykem při 67 °C a 33,5 % r. v. v.

vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	1,23	0,6895	3,42	3,53	3,09	3,754	4,92	4,596
	0,867		3,57		4,23		4,22	
	0,539		3,94		4		4,88	
	0,599		3,28		3,62		4,98	
	0,753		3,44		3,83		3,98	
6	4	2,065	2,21	1,6	4,54	4,956	4	3,8025
	2,2		0,814		5,06		2,54	
	1,97		1,05		4,8		4,02	
	1,98		1,25		5,52		3,51	
	2,11		1,89		4,86		3,68	
8	5,13	5,0775	6,07	3,978	4,84	4,6	4,27	4,6725
	5,04		4,81		4,23		5,58	
	4,69		5,27		4,79		4,58	
	5,45		2,39		4,8		3,73	
	2,98		1,35		4,34		4,26	

Vytvrzování při 67 °C a 33,5 % r. v. v.



Obr. 49 Výsledek smykové zkoušky při vytvrzování 67 °C a 33,5 % r. v. v.

Zde (na obr. 49) je opět **ze zkoušky smykem** viditelný výrazný rozdíl mezi boosterovanými a neboosterovanými materiály. U neboosterovaného materiálu je získání výrazné pevnosti až po 8 dnech, přičemž při použití boosteru je získání pevnosti dvakrát vyšší již po 2 dnech. Vyšší teplota napomohla rychlejšímu zesílení a kompenzovala nízkou vlhkost. U 1 % Boosteru došlo k chybě měření u 6. dne, kdy je výrazný propast pevnosti. To neodpovídá jak ostatním měřením, tak teoretickým předpokladům, proto bylo toto měření prohlášeno za chybné (stejně tak byly 2 hodnoty u vytvrzení v 8. dni velmi nízké, pro grafické znázornění byly odfiltrovány). Při porovnání 2 % a 3 % Boosteru ve směsi, vliv na pevnost spoje je zde minimální. To ukazuje, že vliv procenta boosteru ve směsi je minimální pro dosažení cílené pevnosti, které tedy dosáhneme již při 6 dnech – zde by bylo nutné provést více měření, aby bylo ověřeno, zda při

6 dnech je možné dosáhnout pevnosti nad 4,5 MPa opakovaně. Ale je zde potvrzení teze z předchozích měření, kde se ukázalo, že množství % Boosteru ve směsi není tak podstatné jako jeho přítomnost jako taková. Z grafu také vyplývá rychlejší zisk vyšší pevnosti než u předchozích měření (při nižší teplotě a podobné vlhkosti) z čehož vyplývá, že při vyšší teplotě dojde k zesíťovací reakci a vytvrzení spoje dříve.

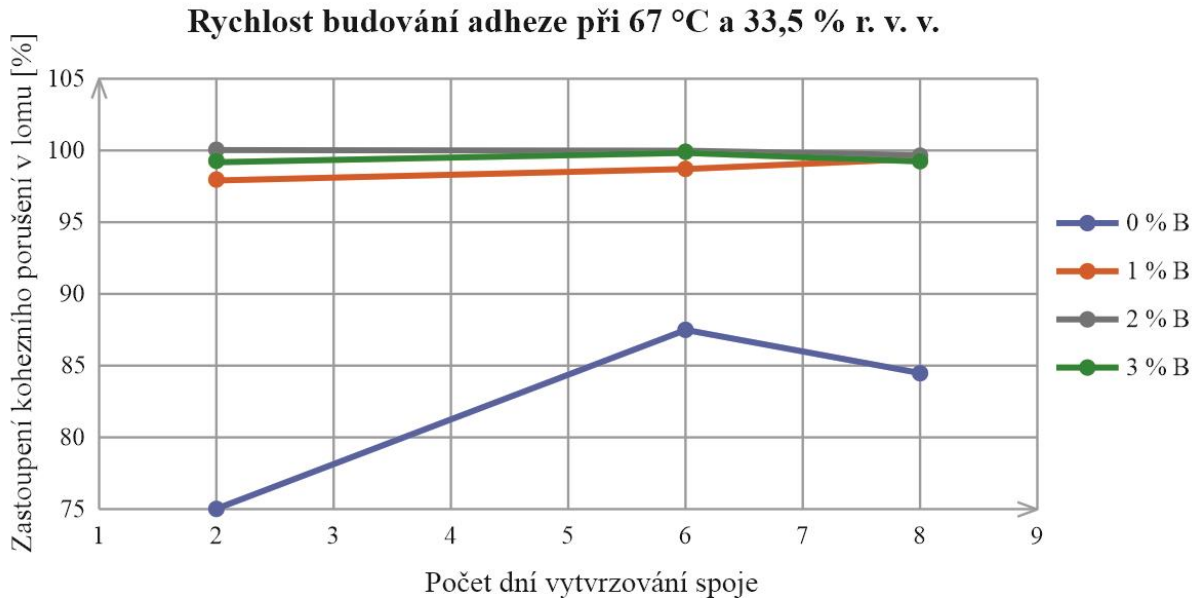
Tab. 12 Výsledek odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 67 °C a 33,5 % r. v. v.

přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	50 % AF, 50 % CF	2 % AF 98 % CF	100 % CF	1 % AF, 99 % CF
	100 % CF	2 % AF 98 % CF	100 % CF	0,5 % AF, 99,5 % CF
6	25 % AF, 75 % CF	1,5 % AF, 98,5 % CF	100 % CF	100 % CF
	100 % CF	1 % AF 99 % CF	100 % CF	100 % CF
8	28 % AF 72 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
	3 % AF 97 % CF	1 % Bubbles, 99 % CF	0,5 % Bubbles 99,5 % CF	1 % AF 99 % CF

Tab. 13 Přehled kohezního porušení při vytvrzování 67 °C a 33,5 % r. v. v.

dny vytvrzování	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	50	75	98	98	100	100	99	99,25
	100		98		100		99,5	
6	75	87,5	98,5	98,75	100	100	100	100
	100		99		100		100	
8	72	84,5	100	99,5	100	99,75	100	99,5
	97		99		99,5		99	

Z výsledků **zkoušky odlupem** (data v tabulkách 12 a 13, graficky na obr. 50) jasně vyplývá vliv boosteru na budování adheze. Při využití boosteru dochází (i díky zvýšené teplotě) k zisku adheze ve spoji nad 98 %, což je již přijatelná hodnota pro spoj, již po dvou dnech. U neboosterovaného materiálu dochází k zajímavé odchylce, kdy jeden vzorek je vždy takřka vybudován nad 97 %, ale druhý vzorek je vždy výrazně nižší. Buď se jedná o chybu během nanášení či měření, nebo to značí výraznou nestabilitu díky okolním podmínkám (kdy dojde k vytvrzení i jádra housenky a kdy pouze povrchových oblastí a do jádra již nepřichází vlhkost nutná pro vytvrzení). Pro přesné vyhodnocení by bylo potřeba udělat ještě více měření, které z kapacitních důvodů nebyly možné provést.



Obr. 50 Grafické znázornění budování adheze při vytvrzování 67 °C a 33,5 % r. v. v.

### 3.4.5 Vytvrzování v temperační místnosti při 42 °C a 8 % r. v. v.

Testování při těchto podmínkách probíhalo v temperované místnosti, řízeném prostředí. Podmínky 42 °C a 8 % r. v. v. na rozdíl od předchozího měření (10 °C a 30 % r. v. v.) simulují situaci podobnou, ale tentokrát je zde extrémnější nedostatek vlhkosti. Výsledná data (tab. 14) byla graficky znázorněna na obr. 51.

Tab. 14 Pevnostní výsledky ze zkoušky smykem při 42 °C a 8 % r. v. v.

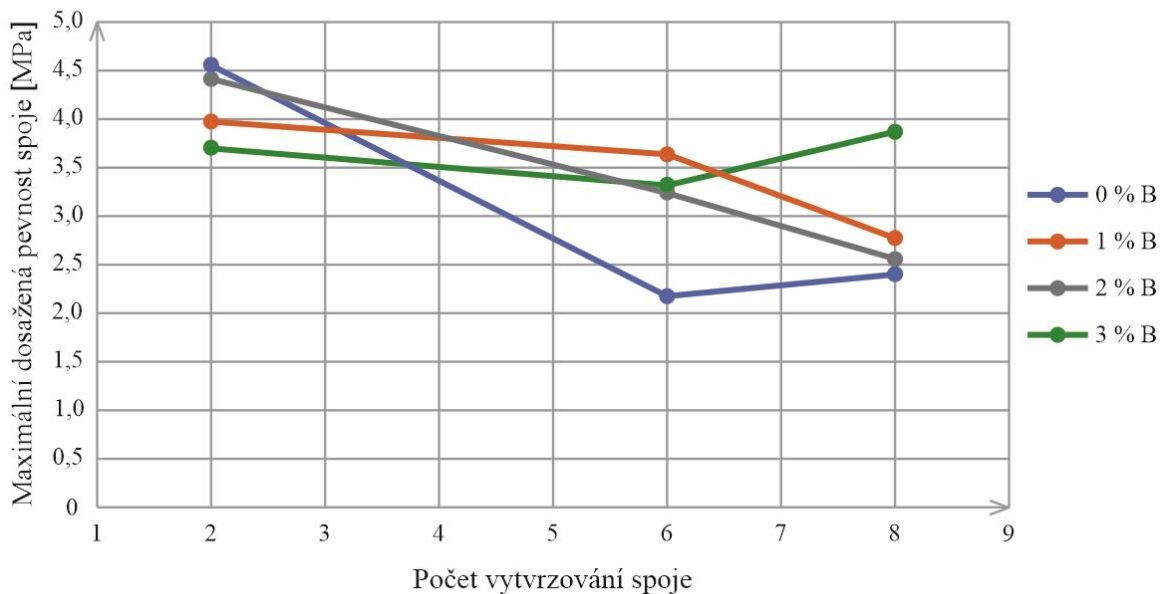
vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	2,5	4,55	3,24	3,185	3,32	4,415	3,17	3,71
	4,34		3,58		4,72		3,58	
	4,97		5,13		4,43		4,31	
	4,45		0,223		4,68		4,23	
	4,44		0,79		3,83		3,26	
6	1,53	2,168	3,91	3,624	3,64	3,248	3,39	3,326
	3,14		3,53		2,96		3,08	
	3,4		3,45		3,13		3,61	
	1,12		3,53		3,31		3,11	
	1,65		3,7		3,2		3,44	
8	1,75	2,422	2,72	2,788	2,13	2,562	3,68	3,876
	2,56		2,83		2,7		4,16	
	2,32		2,64		2,57		4,03	
	2,4		3,11		2,68		3,79	
	3,08		2,64		2,73		3,72	

Při smykovém měření došlo ke zvláštnímu úkazu, a to klesání pevnosti spoje s delším časovým úsekem. Možným vysvětlením je vložení vytvrzovaného materiálu do extrémních podmínek (výrobce doporučuje teplotu aplikace 10–35 °C) ještě před aspoň částečným vytvrzením (ihned). Lepidlo může po vytvrzení pracovat mezi teplotami -40–90 °C, ale až po vytvrzení. Čili spoje byly vloženy do prostředí s vysokou teplotou před vytvrzením, pak mohlo dojít



k vnitřní degradaci lepidla, což se pak projevilo při delším časovém úseku vytvrzování v těchto podmínkách. Tuto domněnku by ale bylo potřeba potvrdit dalšími měřeními. Pevnost je ovšem vyšší než u podmínek nízké teploty a vlhkosti což ukazuje, že vyšší teplota supluje při zesíťovací reakci menší množství vlhkosti. Dalším zajímavým úkazem je vysoká pevnost i ve spojích které neobsahovaly booster – kolem 4,5 MPa. Nejspíše bylo způsobeno opět podobnou chybou jako v předchozím měření, kdy nebyl dodržen přesný poměr ve směsi adhezivo-booster, a i malá přítomnost Boosteru výrazně zrychluje vytvrzovací reakci.

Vytvrzování při 42 °C a 8 % r. v. v.



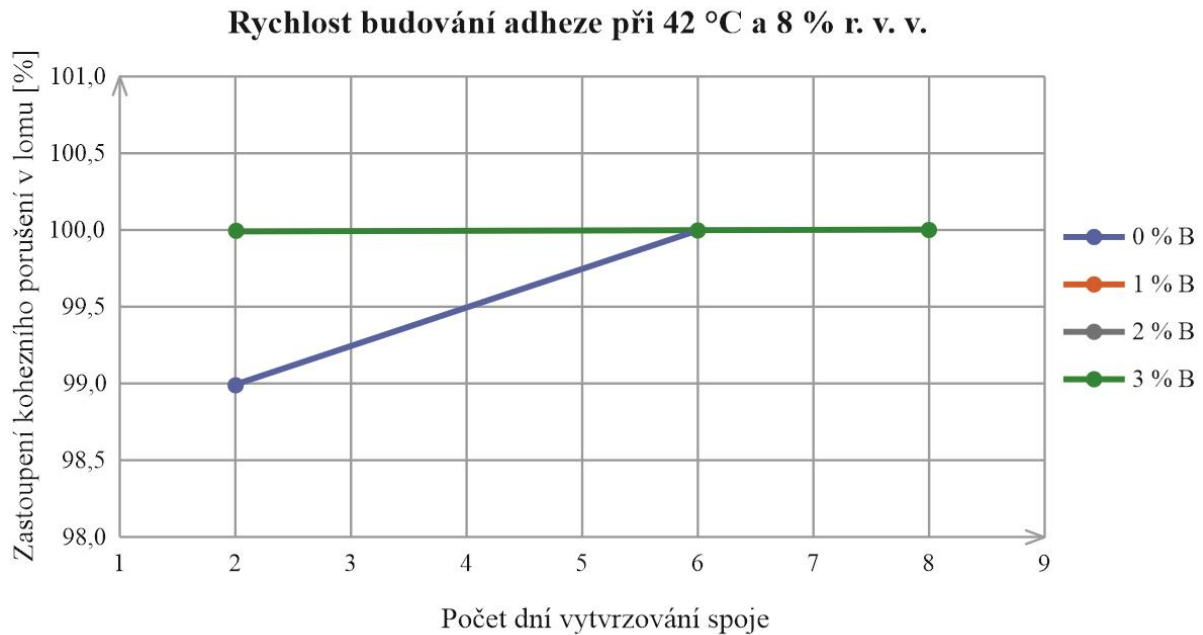
Obr. 51 Výsledek smykové zkoušky při vytvrzování 42 °C a 8 % r. v. v.

Tab. 15 Výsledek odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 42 °C a 8 % r. v. v.

přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	100 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
	98 % CF, 2 % AF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
6	100 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
	100 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
8	100 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF
	100 % CF	100 % CF	100 % CF	100 % CF

Tab. 16 Přehled kohezního porušení při vytvrzování 42 °C a 8 % r. v. v.

dny vytvrzení	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	100	99	100	100	100	100	100	100
	98		100		100		100	
6	100	100	100	100	100	100	100	100
	100		100		100		100	
8	100	100	100	100	100	100	100	100
	100		100		100		100	



Obr. 52 Grafické znázornění budování adheze při vytvrzování 42 °C a 8 % r. v. v.

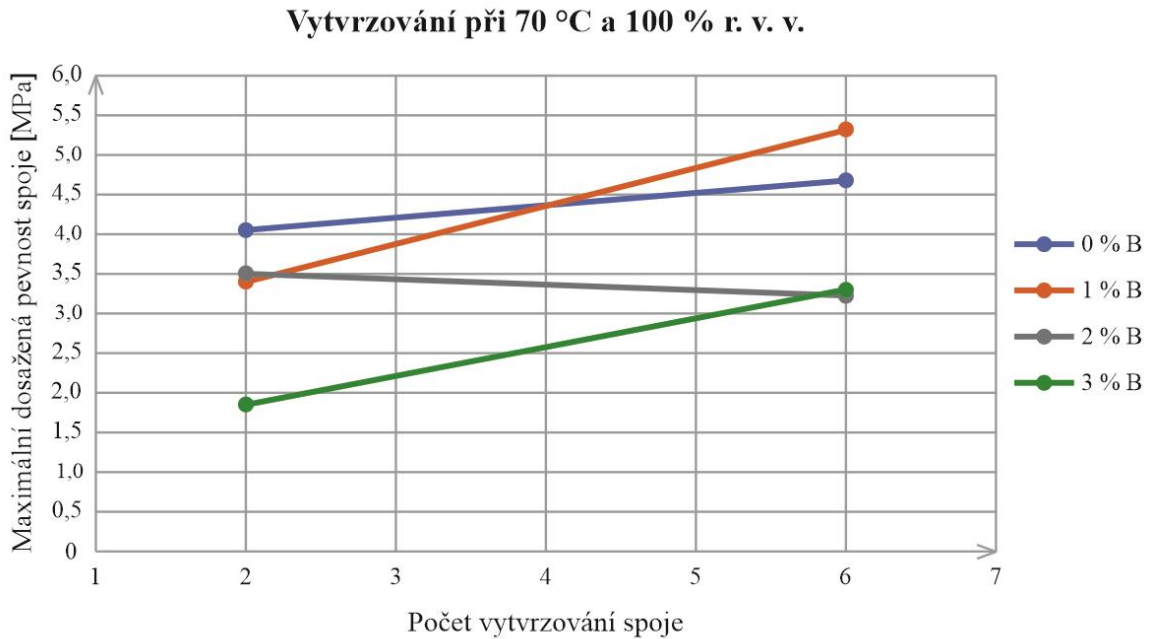
Z **odlupových zkoušek** vyplývá potvrzení předchozí teze, že ve směsi, kde neměl být žádný Booster nejspíše z předchozích dávek nějaký zůstal, protože i navázání adhezních vazeb a vybudování adheze na 99 % je abnormálně vysoké.

### 3.4.6 Vytvrzování v klimakomoře při 70 °C a 100 % r. v. v.

Z kapacitních důvodů bylo provedeno měření při vysoké teplotě a vysoké vlhkosti pouze do šesti dnů (8. den se vynechal). Byl zde zkoumán vliv opravdu extrémních hodnot a jak při těchto podmínkách je možné či nemožné získat pevnosti a adhezní vazby ve spoji. Tato zkouška probíhá v podmínkách, které výrobce nedoporučuje, jde pouze o zjištění chování adheziva.

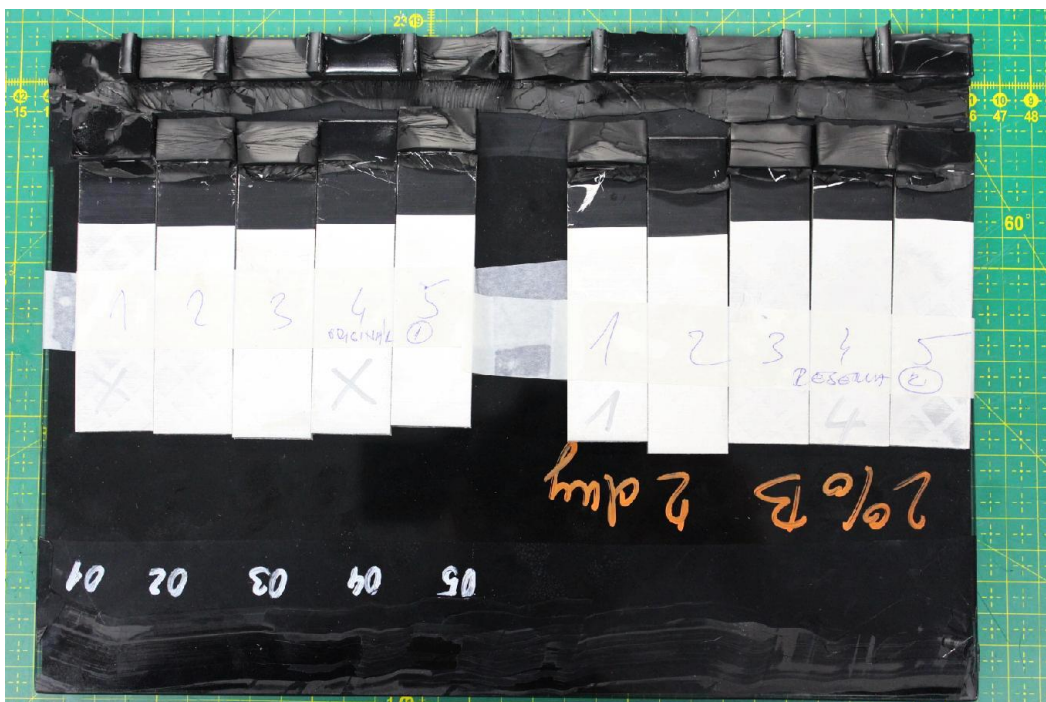
Tab. 17 Pevnostní výsledky ze zkoušky smykem při 70 °C a 100 % r. v. v.

vytvrzení [dny]	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr	pevnost [MPa]	průměr
2	3,91	4,068	3,43	3,43	3,64	3,522	4,96	1,8622
	5,07		3,34		3,99		3,68	
	3,03		3,7		3,15		0,156	
	4,45		3,42		2,98		0,281	
	3,88		3,26		3,85		0,234	
6	5,46	4,664	5,18	5,34	0,344	3,2466	4,31	3,3266
	4,05		5,19		0,439		0,223	
	3,54		5,89		5,52		4,01	
	5,26		5,63		5,23		3,85	
	5,01		4,81		4,7		4,24	



Obr. 53 Výsledek smykové zkoušky při vytvrzování 70 °C a 100 % r. v. v.

Při této **zkoušce smykem** bylo problémové získat data, jako jediná z měřených dávek totiž ukazovala i vzorky s téměř 100 % adhezním porušením spoje (obr. 54). Proto bylo využito více vzorků (ne pouze 5 jako u ostatních zkoušek) a byly vybrány hodnoty, které se daly vyhodnotit. Každopádně i tento výsledek značí velké nestability při tvoření adhezního spoje, což bylo při těchto vytvrzovacích podmínkách předpokládáno. Příčinou je totiž příliš rychlá zesíťovací reakce a s vytvrzeným materiálem není možné vytvořit adhezní vazby (dříve se povrch housenky zesíťoval, než aby vytvořil vazby s naprimerovaným základním materiálem). Vysoké naměřené hodnoty u neboosterované materiály jsou díky dodání vlhkosti z okolí (suplementace Boosteru okolím).



Obr. 54 Ukázka ze smykové zkoušky při vytvrzování při 70 °C a 100 % r. v. v.

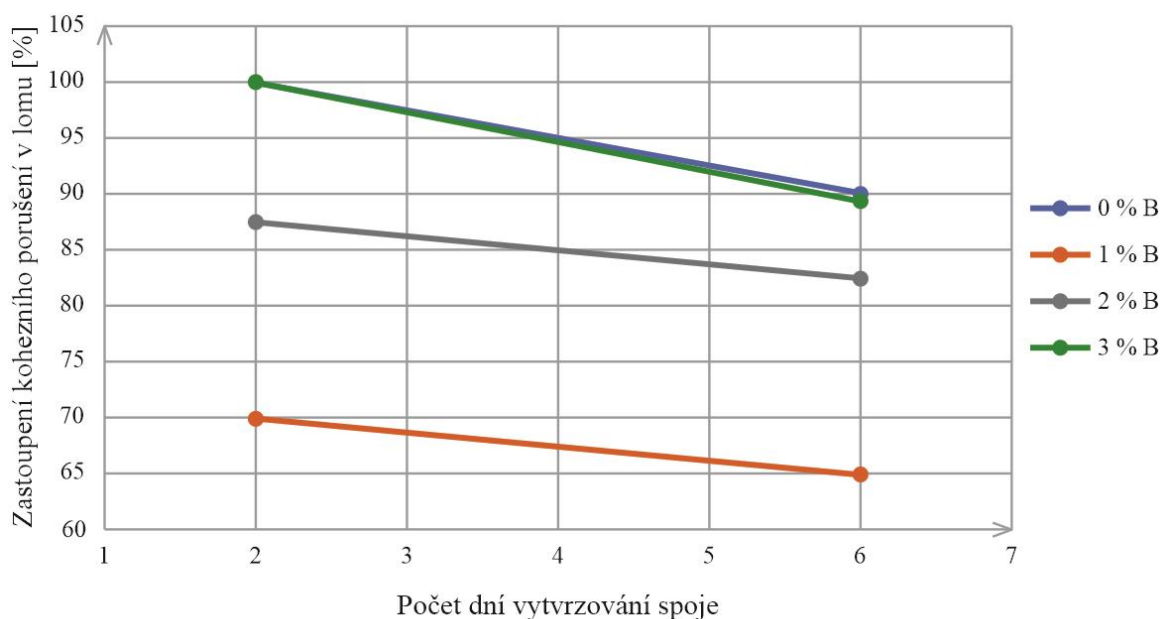
Tab. 18 Přehled kohezního porušení při vytvrzování 70 °C a 100 % r. v. v.

dny vytvrzení	0 % B		1 % B		2 % B		3 % B	
	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr	% CF porušení	průměr
2	100	100	65	70	85	82,5	100	100
	100		75		80			
6	80	90	70	65	85	87,5	80	89,5
	100		60		90			

Tab. 19 Výsledek odlupové zkoušky – přehled lomů při vytvrzování při 70 °C a 100 % r. v. v.

přehled druhů lomů v testování odlupovou zkouškou				
dny vytvrzování	0 % B	1 % B	2 % B	3 % B
2	100 % CF	85 % CF, 15 % AF	85 % CF, 15 % AF	100 % CF
	100 % CF	90 % CF, 10 % AF	90 % CF, 10 % AF	100 % CF
6	80 % CF, 20 % AF	80 % CF, 20 % AF	80 % CF, 20 % AF	80 % CF, 20 % AF
	100 % CF	85 % CF, 15 % AF	85 % CF, 15 % AF	99 % CF, 1 % AF

Rychlost budování adheze při 70 °C a 100 % r. v. v.



Obr. 55 Grafické znázornění budování adheze při vytvrzování 70 °C a 100 % r. v. v.

Předchozí tezi o zisku vysokých pevností u neboosterovaného materiálu potvrzuje i **odlupová zkouška**. Došlo zde tedy s největší pravděpodobností k suplementaci vlhkosti z Boosteru vlhkostí z okolí. I při zkoušce odlupem stejně jako při zkoušce smykem docházelo k velkým nestabilitám, kdy vytvoření adhezních vazeb, a tedy pak kohezního porušení, bylo velmi obtížné získat. Z dat plyne, že nejnestabilnější byly směsi s 1 % a 2 % Boosteru, ale pro potvrzení těchto tvrzení by bylo potřeba více housenek a měření, protože při pouhých dvou housenkách na % Boosteru v daném dni je variační koeficient příliš velký. Grafické znázornění této zkoušky je na obr. 55.

### 3.5 Shrnutí a porovnání výsledků jednotlivých experimentů

První zkouškou, která se na vzorcích prováděla, byla zkouška smykem. Protože první zkoušky smykem při **22 °C a 55 % r. v. v.** (pokojových podmínkách) nevyšly dle teoretických předpokladů, byly zopakovány a došlo ke kombinaci dat z obou dávek. Po kombinaci těchto výsledků z grafického znázornění vyplynulo, že nejpodstatnější rozdíl na získané pevnosti činila přítomnost boosteru, přičemž jeho procentuální podíl ve směsi s adhezivem nebyl již tak důležitý. To pak vesměs potvrdily i odlupové zkoušky, ale docházelo k chybám, kde výsledky v jednotlivých poměrech Booster – adhezivo byly nestabilní (i v jednotlivých vytvrzovacích dnech), pro hlubší závěry by bylo potřeba vytvořit více vzorků a více měřících dávek.

Poté se zkoušelo při extrémnějších podmínkách – nejdříve snížená teplota s relativně normální vlhkostí (**10 °C a 30 % r. v. v.**). Zde došlo ke zpomalení vytvrzovací reakce, ale potvrdila se zde teze z předchozích měření čili, že pro urychlení vytvrzovací reakce je podstatná hlavně přítomnost Boosteru jako takového, protože i přes snížení podmínek došlo za 8 dní přeci jen téměř k žádané pevnosti (nad 4 MPa). Odlupové zkoušky to jen potvrdily.

Další dávka byla měřena za vysoké teploty a velmi nízké vzdušné vlhkosti (**42 °C a 8 % r. v. v.**), kde ve smykové zkoušce došlo k nevysvětlitelnému jevu, a to klesání pevnosti při delším období vytvrzování, přičemž je možné, že při nanášení došlo k expozici nevytvrzené směsi do vysoké teploty a extrémně nízké vlhkosti k chemické degradaci. Pro toto tvrzení by však bylo nutné naměřit více vzorků, protože tento výsledek jde proti všem teoretickým předpokladům. V odlupové zkoušce bylo dosaženo dobrých adhezních vazeb, což vylučuje možnost vytvrzení housenky nejdříve na povrchu a v jádru housenky již ne (jak se pak stalo při testování při 70 °C a 100 % r. v. v.). Další, co vyplývá z výsledků tohoto testování je, že nejspíš dochází k suplementaci nedostatku vlhkosti vyšší teplotou, protože úvodní pevnosti získané ve spojích byly již ve 2 dnech ty žádoucí (nad 4 MPa). Tento předpoklad by bylo potřebné opět ověřit větším množstvím vzorků.

Testování při **67 °C a 33,5 % r. v. v.** ukázalo, že vyšší teplota napomáhá urychlení zesíťovací reakce. Sice v 6. dni došlo k chybě a nestabilitě (která se nepodařila vysvětlit), pokud by ale došlo k dalšímu měření a potvrdily by se teoretické předpoklady (zvyšování pevnosti spoje s delším vytvrzovacím obdobím exponenciálně), pak by se tento poznatek dal aplikovat v praxi pro zrychlení vytvrzovací reakce. Dobré adhezní vazby mezi základním materiálem a adhezivem potvrdily odlupové zkoušky.

Posledními testovanými podmínkami byla extrémně vysoká teplota i vlhkost (**70 °C a 100 % r. v. v.**). Zde došlo k zajímavému jevu suplementace vlhkosti z Boosteru vlhkostí z okolí, protože směs adheziva a Boosteru s 0 % B (čili adhezivo samotné) dosahovala stejně vysokých pevností a vytvoření adhezních vazeb jako směsi, kde Booster přítomen byl. Nevýhodou těchto podmínek se však ukázala vysoká nestabilita hlavně při vytváření adhezních vazeb, kde docházelo k velkým poměrům adhezních lomů oproti kohezním, což je nežádoucí. Tyto nestability byly způsobeny (jak bylo zmíněno výše) rychlejším vytvrzením povrchu housenky lepidla oproti navázání adhezních vazeb mezi housenkou a základním materiálem. Oproti měřené dávce 67 °C a 33,5 % r. v. v. se ukázalo, že extrémní teplota testované směsi nedělá problém, ale extrémní podmínky jak teplotní, tak vlhkostní již nestability tvoří.

Téměř ze všech zkoušek vyplývá však to, že booster stabilizuje vytvrzovací reakci adheziva a zrychluje ji. Při použití Boosteru je tak směs méně náchylná na vliv okolních podmínek (jejich zvýšení či snížení od normálu do určitého rozmezí, při extrémních podmínkách jak teploty, tak vlhkosti, dochází k nestabilitám). Dále se pravděpodobně ve více dávkách stala chyba lidského faktoru – nedostatečné odtečení směsi adheziva a Boosteru, přičemž pak docházelo ke špatným poměrům mezi adhezivem a Boosterem. To je zpráva pro výrobu a nastavení lepších technologických požadavků do budoucna pro operátory při změně poměru na přístroji.

---

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjištění vlivu enviromentálních podmínek na vytvrzení testovaného adheziva Sikaflex<sup>®</sup>-265. Proměnné podmínky bylo procento Boosteru ve směsi s lepidlem, teplota, relativní vzdušná vlhkost a časové období pro vytvrzení spoje.

Prvním poznatkem při porovnání výsledků všech zkoušek je, že výsledná pevnost není ovlivněna množstvím SikaBoosteru<sup>®</sup> P-50 ve směsi. Podstatná je jeho přítomnost jako taková. Hlavní rozdíly v zisku pevnosti a adhezních vazeb mezi základním materiálem a lepicí směsí tedy pak nastávaly, pokud ve směsi SikaBooster<sup>®</sup> P-50 byl či ne. To je důležitý poznatek pro výrobu a další nastavení procesů, protože ve stávajícím postupu procesu bylo nutné při vlhkosti nižší než 30 % zastavit výrobu a znovu přizpůsobit prostředí. Při využití SikaBoosteru<sup>®</sup> P-50 se stabilizuje vytvrzovací proces čili je možné lepit a nechat vytvrzovat spoje i při nižších vlhkostech, jak bylo zjištěno experimentem. Pokud se tento poznatek potvrdí při dalších měření (které z kapacitních důvodů nebyly možné uskutečnit během této diplomové práce), byla by na místě velká časová úspora a usnadnění plánování výroby a úspora hlavně finanční. Dále přítomnost Boosteru je podstatná pro urychlení zesíťovací reakce, kde při více zkouškách se potvrdilo mnohonásobně rychlejší zisk žádané pevnosti a adhezního navázání než u směsi bez přítomnosti Boosteru. Tento poznatek odpovídá teoretickým předpokladům.

Dalším poznatek, který z výsledků vyplývá je, že přestože je principem vytvrzování testovaného lepidla Sikaflex<sup>®</sup>-265 vytvrzování vlhkostí je možné vlhkost nahradit zvýšením teploty. Nesmí se ovšem zajít do extrémních podmínek (teploty nad 70 °C), kdy může dojít k rychlejšímu vytvrzení povrchu housenky čili se nestihnou vytvořit adhezní vazby mezi lepidlem a základním materiálem. Tato teze vyplývá z měření při 42 °C a 8 % r. v. v., kde ale došlo k nestabilitám, proto pro potvrzení tohoto poznatku je nutné naměřit další vzorky, aby se mohly vyloučit případné chyby měření a při nanášení lepidla.

Z těchto poznatků vyplývá, že pokud se vytvrzovaný spoj nedostane do extrémních podmínek (velmi nízké teploty a nízké vzdušné vlhkosti nebo naopak velmi vysoké teploty a vysoké vzdušné vlhkosti), vliv okolních podmínek je minimalizován SikaBoosterem<sup>®</sup> P-50. Jeho využití je tedy užitečné nejen pro urychlení vytvrzovací reakce adheziva, ale i pro stabilizaci vytvrzovacího procesu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FAY, P. A., ed. History of Adhesive Bonding. ADAMS, Robert D. *Adhesive Bonding: Science, Technology and Applications* [online]. Velká Británie: Woodhead Publishing, 2005, s. 3-22 [cit. 2022-03-14]. ISBN 978-1-85573-741-9. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781855737419500013?via%3Dihub>
2. KONEČNÝ, Tomáš. *Diplomová práce* [elektronická pošta]. Message to: [slatinska.jana@seznam.cz](mailto:slatinska.jana@seznam.cz). 18. února 2022 10:46 [cit. 2022-02-19]. Osobní komunikace.
3. SIGMUND, Marian. Lepení. [cit. 2018-12-05]. Přednáška. [prezentace]. Prezentace je dostupná pouze účastníkům přednášky v kurzu ETV.
4. LUDOMÍR, Kovačič. *Lepenie kovov a plastov. 2*. Bratislava: Nakladatelství technické literatury Praha, 1984.
5. KREIBICH, Viktor a Vojtěch KLEČKA. Aktivace povrchu a automatizace v lepení. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. 2006 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [http://www.cws-anb.cz/docu/clanky/0007/000720\\_watech-seminar-cistení-a-uprava-povrchu-2021.pdf](http://www.cws-anb.cz/docu/clanky/0007/000720_watech-seminar-cistení-a-uprava-povrchu-2021.pdf)
6. HABENICHT, Gerd. *Kleben: Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Německo: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co., 2008, 1104 s. ISBN 3540852646.
7. KUBÍČEK, Jaroslav. Lepení. *Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_lepeni\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_lepeni_2018_kubicek.pdf). Přednáška absolvována 29. 4. 2021 a materiál byl poskytnut účastníkům kurzu HPU.
8. EBNESAJJAD, Sina a Cyrus EBNESAJJAD. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding* [online]. 2. 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA: Elsevier Science & Technology Books, 2013 [cit. 2022-02-19]. ISBN 9780323265041. Dostupné z: <https://www.elsevier.com/books/surface-treatment-of-materials-for-adhesive-bonding/ebnesajjad/978-0-323-26435-8>
9. Wetting: The Physics Behind Wetting. *Adhesives.org: Sealants.org* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/science-of-adhesion/wetting>
10. MRŇA, Libor. Lepení materiálů. *Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2022-02-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
11. Contact Angle: A Guide to Theory and Measurement. *Ossila: Enabling Materials Science* [online]. Nizozemsko [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.ossila.com/pages/contact-angle-theory-measurement>
12. WINGFIELD, Joshua R. J. Treatment of composite surfaces for adhesive bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. Elsevier, 28. 2. 2003, 13(3), 151-156 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0143-7496. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(93\)90036-9](https://doi.org/10.1016/0143-7496(93)90036-9)
13. COMYN, John. Surface treatment and analysis for adhesive bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 1990, 10(3), 161-165 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0143-7496. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(90\)90099-J](https://doi.org/10.1016/0143-7496(90)90099-J)
14. Příprav se – Obecná a anorganická chemie: Chemická vazba. *E-learning VŠCHT* [online]. Praha: VŠCHT, 5. 12. 2018 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://e-learning.vscht.cz/mod/page/view.php?id=13069>

15. PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 788 s.
16. CÍDLOVÁ, Hana, Zuzana MOKRÁ a Barbora VALOVÁ. Kovová vazba. *Obecná chemie* [online]. Brno [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna\\_chemie/web/pages/18-kovova-vazba.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna_chemie/web/pages/18-kovova-vazba.html)
17. CÍDLOVÁ, Hana, Zuzana MOKRÁ a Barbora VALOVÁ. Kovová vazba. *Obecná chemie* [online]. Brno [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna\\_chemie/web/pages/16-slabe-vazebne-interakce.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js18/obecna_chemie/web/pages/16-slabe-vazebne-interakce.html)
18. KRÁLOVÁ, Magda. Vazebné síly. *Techmania Science Centre: Eduportál* [online]. Plzeň, 2007 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <http://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/pevne-latky/vazebne-sily>
19. KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 216 s. ISBN 80-708-2668-1.
20. Kategorizace povrchové energie. *3M Science Applied to Life*. [online]. Praha [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: [https://www.3mcesko.cz/3M/cs\\_CZ/bonding-and-assembly-ctl/training-education/science-of-adhesion/categorizing-surface-energy/](https://www.3mcesko.cz/3M/cs_CZ/bonding-and-assembly-ctl/training-education/science-of-adhesion/categorizing-surface-energy/)
21. Úvod do povrchové energie. *3M Science Applied to Life*. [online]. Praha [cit. 2022-02-19]. Dostupné z: [https://www.3mcesko.cz/3M/cs\\_CZ/bonding-and-assembly-ctl/training-education/science-of-adhesion/introduction-surface-energy/](https://www.3mcesko.cz/3M/cs_CZ/bonding-and-assembly-ctl/training-education/science-of-adhesion/introduction-surface-energy/)
22. RUDAWSKA, Anna. *Surface Treatment in Bonding Technology*. Elsevier Science Publishing Co, 2019. ISBN 978-0-12-817010-6.
23. BAND, Julian a Klaus DILGER. *Evropský lepičský praktik. Übach – Palenberg, Carlstrasse 50: TCKleben GmbH, 2015)*
24. Rozhovor s Tomášem KONEČNÝM, vedoucím Speciálních procesů ve firmě IFE (Knorr-Bremse) v Modřicích, 19. 7. 2021
25. Tantec company. An Overview of Surface Activation. *Metal Surface Treatment Blog: A blog about different Surface treatment equipment, advantages, processes and methods* [online]. Dánsko, 11. 2. 2016 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.metalsurfacetreatment.com/164-2/>
26. TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2005, 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
27. KUBÍČEK, Jaroslav. Anodická oxidace hliníku – Eloxování. *Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_eloxace\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_eloxace_2018_kubicek.pdf)]. Přednáška absolvována 22. 4. 2021 a materiál byl poskytnut účastníkům kurzu HPU.
28. Silica Coating: Principle. *Arcotec: For better treatment* [online]. Mönsheim, Německo [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.arcotec.com/en/products/flame/silica-coating>
29. TRIER, Ferdinand a Ulrich RANKE. *The Glass Surface and Ways of Its Modification* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [http://www.ksr.tul.cz/glassman/download/10\\_05\\_10-00-Trier.pdf](http://www.ksr.tul.cz/glassman/download/10_05_10-00-Trier.pdf)
30. YI, Ruixiang, Chao CHEN, Yuxiang LI, Hao PENG, Xiaoqing REN a Huiyang ZHANG. *The bonding between glass and metal* [online]. Springer Nature, 2020, listopad 2020, 21(1) [cit. 2022-03-14]. ISSN 1433-3015. Dostupné z: [doi:10.1007/s00170-020-06018-x](https://doi.org/10.1007/s00170-020-06018-x)



31. LUNDEVALL, Asa, P. SUNDBERG a L. MATTSON. Improved glass bonding with plasma treatment. *Applied Adhesion Science* [online]. Švédsko: Springer, 3. 12. 2018, 6(9) [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1186/s40563-018-0111-6>
32. SIGMUND, Marian. Lepení. [cit. 2020-12-09]. Přednáška. [prezentace]. Prezentace je dostupná pouze účastníkům přednášky v kurzu HS2.
33. BENEŠ, Libor. Základy teorie lepení. *Fakulta strojní ČVUT v Praze* [online]. LEAR [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie\\_lepeni%20\\_%20LEAR.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf)
34. Types of Adhesives. *Adhesives.org: Sealants.org* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/science-of-adhesion/design-of-adhesives-bonds/types-of-adhesives>
35. AKINDOYO, John O., Mohammad D. H. BEG, Suriati GHAZALI, M. R. ISLAM, Nitthiyah JEYARATNAM a A. R. YUVARAJ. Polyurethane types, synthesis and applications – a review. *RSC Advances* [online]. 2016, 24. 11. 2016, (115) [cit. 2022-03-14]. ISSN 2046-2069. Dostupné z: doi:10.1039/C6RA14525F
36. Polyurethane Adhesives and Sealants. *Adhesive Platform* [online]. 2019 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.adhesiveplatform.com/polyurethane-adhesives-and-sealants/>
37. SEGURA, Dominique M., Andrew D. NURSE, A. MCCOURT a A. SEGURA. Chemistry of polyurethane adhesives and sealants: Chapter 3. *Handbook of Adhesives and Sealants* [online]. 2005, 101-162 [cit. 2022-03-14]. ISSN 1874-5695. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/S1874-5695\(02\)80004-5](https://doi.org/10.1016/S1874-5695(02)80004-5)
38. Chemically Curing. *Adhesives.org: Sealants.org* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/adhesive-technologies/chemically-curing>
39. Sikaflex Booster Adhesives. *Sika Industry: Building Trust* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://industry.sika.com/en/home/technologies/fast-cure-booster-powercure/sikaflex-booster-adhesive.html>
40. Joint Testing. *Adhesives.org: Sealants.org* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesives-sealants-overview/structural-design/joint-testing>
41. KUDLÁČEK, Jan. Detekce zbytkového zamaštění. *Povrchová úprava* [online]. Hradec Králové, 2004, červen 2004, 1, 1-5 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10978266-Povrchova-uprava-detekce-zbytkoveho-zamasteni-pdf-casopis-nove-pripravky-technologie-sluzby-rocnik-i-cerven-2004.html>
42. Pre-owned Z010 ProLine, 10 kN. *Zwick Roell* [online]. Brno [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.zwickroell.com/products/pre-owned-market/pre-owned-z010-proline-10-kn/>
43. ADAMEC, Petr. *Souhrn výsledků* [elektronická pošta]. Message to: [slatinska.jana@seznam.cz](mailto:slatinska.jana@seznam.cz). 14. března 2022 21:35 [cit. 2022-02-19]. Osobní komunikace.
44. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbols

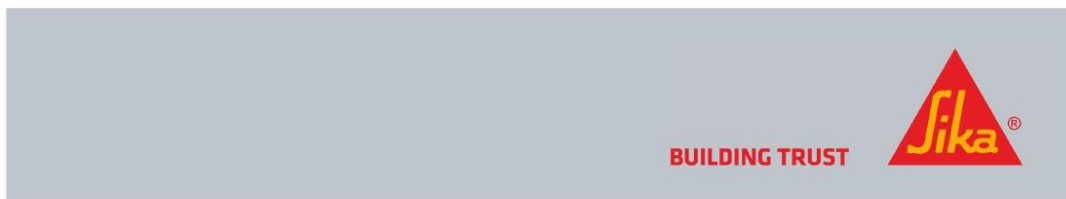
Označení	Legenda	Jednotka
A	lepená plocha	[mm <sup>2</sup> ]
b	průměrná šířka lepené plochy	[mm]
F <sub>max</sub>	Maximální zatěžovací síla spoje	[N]
L	délka přeplátování (lepené plochy)	[mm]
P <sub>s</sub>	Síla spoje	[MPa]
$\sigma_{LV}$	mezifázové napětí na rozhraní lepidla a okolní atmosféry	[N·m <sup>-1</sup> ]
$\sigma_{SV}$	mezifázové napětí na rozhraní pevného substrátu a atmosféry	[N·m <sup>-1</sup> ]
$\sigma_{SL}$	mezifázové napětí na rozhraní lepidla a substrátu	[N·m <sup>-1</sup> ]
$\theta$	kontaktní úhel	[°]

### Zkratky

Označení	Legenda
PUR (PU)	Polyuretan
B	Booster
SACO	Silikátování tryskáním
1K	Jednokomponentní
2K	Dvoukomponentní
NDT	Metody nedestructivních zkoušení materiálů
ZM	Základní materiál
AF	adhezní porušení lepeného spoje
CF	kohezní porušení lepeného spoje
NC	Non-cured, nevytvrzený lepený spoj

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Materiálový list Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 [43]  
Příloha 2 Materiálový list čističe Sika® Cleaner P [43]  
Příloha 3 Materiálový list primeru Sika® Primer-207 [43]



PRODUKTOVÝ LIST

## Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50

Lepidlo a tmel pro přímé zasklívání odolné povětrnostním vlivům urychlené Boostrem

TYPICKÉ PRODUKTOVÉ INFORMACE (DALŠÍ ÚDAJE JSOU UVEDENY V BEZPEČNOSTNÍM LISTU)

Chemická báze	Polyuretan
Barva (CQP001-1)	Černá
Mechanismus vytvrzení	Vlhkostí <sup>A</sup>
Hustota (nevytvrzený materiál)	Lepidlo 1.2 kg/l SikaBooster® P-50 1.1 kg/l
Obsah Boosteru	objemově 2.0 % váhově 1.9 %
Stabilita	Dobrá
Aplikační teplota	okolí 10 – 35 °C
Otevřený čas (CQP526-1)	20 minut <sup>B</sup>
Počáteční pevnost ve smyku (CQP046-1 / ISO 4587)	viz Tabulka 1
Objemová změna (CQP014-1)	1 %
Tvrdość Shore A (CQP023-1 / ISO 7619-1)	50
Pevnost v tahu (CQP036-1 / ISO 527)	6 MPa
Prodloužení při přetržení (CQP036-1 / ISO 37)	450 %
Pevnost v dalším trhání (CQP045-1 / ISO 34)	14 N/mm
Pevnost ve smyku (CQP046-1 / ISO 4587)	4.5 MPa
Teplotní odolnost (CQP509-1 / CQP513-1)	-40 – 90 °C
Skladovatelnost (CQP016-1)	Lepidlo 6 měsíců <sup>C</sup> SikaBooster® P-50 9 měsíců <sup>C</sup>
Mixer	Statomix MS 13/18 G

CQP = Corporate Quality Procedure

A) Použitím SikaBooster® P-50

B) 23 °C / 50 % r. h.

C) Skladovat do 25 °C

**POPIS**

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 je urychlené, elastické lepidlo pro lepení a tmelení spojů v aplikacích zasklívání užitkových vozidel. Díky své vynikající odolnosti vůči povětrnostním vlivům je velmi vhodná pro použití v exteriérových spojech.

Sikaflex®-265 je kompatibilní s procesem lepení Sika bez černých pramerů.

Díky použití SikaBooster® vytvrzuje do značné míry nezávisle na atmosférických podmínkách.

**VÝHODY**

- Rychlé vytvrzení pomocí Booster Technologie
- Vyhovuje normě EN45545-2 R1/R7 HL3
- Vhodné pro lepení a tmelení
- Dobrá odolnost proti povětrnostním vlivům
- Bez rozpouštědel
- Nízký zápach
- Velmi dobré vlastnosti pro zpracování a vyhlazení

**OBLASTI POUŽITÍ**

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 je určen pro aplikace přímého zasklívání stejně tak na trhu OEM. Díky dobrým vlastnostem pro vyhlazení a zvýšené stabilizaci proti povětrnostním vlivům může být produkt použit pro vnější spoje.

Použití SikaBooster® P-50 poskytuje rychlé dosažení pevnosti a rychlý vývoj adheze.

Tento produkt je určen pro profesionální použití, před aplikací je nutno uskutečnit testy adheze s aktuálními podklady a podmínkami.

PRODUKTOVÝ LIST

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50

Verze 02.01 (03 - 2022), cs\_CZ

012001232650901050

#### MECHANISMUS VYTVRZENÍ

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 vytvrzovací reakce probíhá pomocí SikaBooster® P-50 a do značné míry nezávislé na vzdušné vlhkosti. Typické údaje o nárůstu pevnosti viz tabulka níže.

Čas [h]	Pevnost ve smyku při 23 °C [MPa]
1	0.2
2	0.5
4	2.2

Tabulka 1: Nárůst pevnosti Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50

#### CHEMICKÁ ODOLNOST

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 je obecně odolný vůči sladké vodě, mořské vodě, zředěným kyselinám a zředěným louhům; dočasně odolný vůči palivům, minerálním olejům, rostlinným a živočišným tukům a olejům. Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 není odolný vůči organickým kyselinám, glykolovému alkoholu, koncentrovaným minerálním kyselinám a žíravým roztokům nebo rozpouštědům.

#### ZPŮSOB APLIKACE

##### Příprava podkladu

Povrchy musí být čisté, suché a zbavené mastnoty, oleje a prachu. Povrchová úprava závisí na specifické povaze podkladů a je zásadní pro dlouhodobou vazbu/spojení. Návrhy na přípravu povrchu najdete v aktuálním vydání příslušného dokumentu Sika® Pre-Treatment Chart.

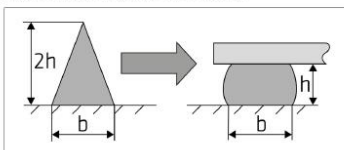
Vezměte v úvahu, že tyto návrhy vycházejí ze zkušeností a musí být v každém případě ověřeny zkouškami na původních podkladech.

##### Aplikace

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 musí být zpracován odpovídajícím aplikačním systémem. Je třeba respektovat typ mixeru (viz tabulka Typické údaje o produktu).

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 lze zpracovávat při teplotě 10 °C až 35 °C (okolní prostředí a produkt), je však třeba vzít v úvahu změny reaktivity a aplikačních vlastností. Optimální teplota podkladu a tmelu je mezi 15 °C a 25 °C.

Pro zajištění rovnoměrné tloušťky spoje se doporučuje nanést lepidlo ve formě trojúhelníkové housenky (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Doporučený tvar housenky

V horkém a vlhkém prostředí je otevřená doba výrazně kratší. Obecně platí, že změna + 10 °C zkracuje otevřenou dobu na polovinu. Díly musí být vždy nainstalovány v otevřené době.

Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 je nutné aplikovat adekvátním aplikačním zařízením. Pro radu ohledně výběru a nastavení vhodného systému pumpovacího zařízení kontaktujte oddělení systémového inženýrství Sika Industry.

##### Vyhlazení a zapravení povrchu

Zahlazování a dokončování musí být provedeno v době otevřeného času lepidla. Doporučujeme používat k zahlazování Sika® Tooling Agent N. Ostatní přípravky musí být testovány před použitím na vhodnost, kompatibilitu.

##### Odstranění

Nevytvrzený Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50 lze odstranit z nástrojů a zařízení pomocí Sika® Remover-208 nebo jiného vhodného rozpouštědla. Po vytvrzení lze materiál odstranit pouze mechanicky.

Ruce a exponovanou pokožku je třeba okamžitě ošetřit utěrky Sika® Handclean nebo jiným vhodným průmyslovým čistěčem rukou, vodou.

Na pokožku nepoužívejte rozpouštědla!

##### DALŠÍ INFORMACE

Informace zde uvedené jsou poskytovány pouze pro obecnou orientaci. Pokyny ke konkrétním aplikacím jsou k dispozici na vyžádání od technického oddělení Sika Industry.

Kopie následujících dokumentů jsou k dispozici na vyžádání:

- Bezpečnostní listy
- Sika tabulka předpříprav povrchů (Sika Pre-treatment Chart) pro 1-komponentní polyuretan
- Obecné pokyny Lepení a tmelení s 1-komponentním Sikaflex®

#### INFORMACE O BALENÍ

Sikaflex®-265

Hobok	23 l
Sud	195 l

SikaBooster® P-50

Monoporce	600 ml
Hobok	23 l

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PRODUKTU

Veškeré technické údaje uvedené v tomto dokumentu vycházejí z laboratorních zkoušek. Z důvodu okolností, jež nejsme schopni ovlivnit, mohou být skutečně naměřené hodnoty odlišné.

#### BEZPEČNOSTNÍ INFORMACE

Informace a pokyny týkající se bezpečné manipulace, skladování a likvidace chemických výrobků najdete v aktuálním vydání Bezpečnostního listu, který obsahuje také fyzikální, ekologické, toxikologické a ostatní údaje týkající se bezpečné manipulace s výrobkem.

#### PRÁVNÍ DODATEK

Informace a zejména doporučení k aplikaci a použití výrobků společnosti Sika koncovými uživateli jsou poskytovány v dobré víře na základě stávajících znalostí a zkušeností společnosti Sika s těmito výrobky za předpokladu řádného skladování, nakládání a používání za běžných podmínek v souladu s doporučeními společnosti Sika. V praxi nelze vzhledem k rozdílům v materiálech, podkladech a ve skutečných podmínkách v daném místě dovozovat z těchto informací ani z písemných doporučení či jiného poskytnutého poradenství žádnou záruku za prodejnost či vhodnost k určitému účelu ani žádnou odpovědnost vyplývající z jakéhokoli právního vztahu. Uživatel výrobku musí předem vyzkoušet, zda je výrobek vhodný pro zamýšlené použití a účel. Společnost Sika si vyhrazuje právo změnit vlastnosti svých výrobků. Je nutné respektovat majetková práva třetích osob. Veškeré objednávky přijímáme v souladu s Obchodními a dodacími podmínkami v platném znění. Uživatelé jsou vždy povinni prostudovat si poslední verzi produktového listu k danému výrobku, jehož kopie zašleme na vyžádání nebo jsou k dispozici na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

PRODUKTOVÝ LIST  
Sikaflex®-265 + SikaBooster® P-50  
Verze 02.01 (03 - 2022), cs\_CZ  
012001232650901050

Sika CZ, s.r.o.  
Bystrcká 1132/36  
CZ-624 00 Brno  
tel: +420 546 422 464  
sika@cz.sika.com  
www.sika.cz





PRODUKTOVÝ LIST

## Sika® Cleaner P

Čistící prostředek na bázi rozpouštědla pro neporézní podklady

TYPICKÉ PRODUKTOVÉ INFORMACE (DALŠÍ ÚDAJE JSOU UVEDENY V BEZPEČNOSTNÍM LISTU)

Chemická báze	na bázi rozpouštědel
Barva (CQP001-1)	bezbarvá, čirá
Aplikační teplota	5 – 40 °C
Aplikační metoda	Nanést a setřít Sika® Cleaner P (tzv. metoda wipe-on, wipe-off) papírovou utěrkou, která nepouští vlákna.
Skladovatelnost (CQP016-1)	48 měsíců <sup>A</sup>

CQP = Corporate Quality Procedure

A) skladovat v uzavřené nádobě na suchém místě do 25 °C

**POPIS**

Sika® Cleaner P je bezbarvý (čirý) čistící prostředek na bázi rozpouštědla pro neporézní podklady.

**VÝHODY**

- dobré odmašťující vlastnosti
- snadná aplikace
- rychlost aplikace

**OBLASTI POUŽITÍ**

Sika® Cleaner P se používá k odstranění kontaminace (nečistot) lepeného povrchu jako je tuk, olej, prach atd. Sika® Cleaner P lze použít pro vyčištění povrchů jako jsou sklo, plasty, kovy, lakované kovy s práškovým nástřikem a kovy potažené PVDF před samotnou aplikací tmelů a lepidel.

Sika® Cleaner P musí být použit pouze na neporézní podklady.

Tento produkt je vhodný pouze pro profesionální využití.

Před aplikací je nutno uskutečnit testy adheze s aktuálními podklady a podmínkami.

#### ZPŮSOB APLIKACE PENETRACE

Naneste Sika® Cleaner P na papírovou utěrku. Nikdy nestrkejte papírovou utěrku do láhve s čističem z důvodu možné kontaminace celého balení.

Potřete povrch podkladu pomocí navlhčené papírové utěrky. Pravidelně měňte utěrky, aby se zajistil správný čistící efekt a nedošlo ke kontaminaci mezi jednotlivými povrchy.

Setřete čistou a suchou papírovou utěrkou povrch podkladu před samotným vypařením (evaporací) čističe z povrchu.

Opakujte poslední dva kroky dokud neodstraníte veškerou kontaminaci a papírová utěrka zůstane čistá.

Pokud nejsou vyčištěné části spleeny, zakryjte je, abyste zabránili novému znečištění. Pokud je doba mezi čištěním a dalším zpracováním delší než dvě hodiny, opakujte čistící proces výše popsaným způsobem.

Ideální teplota povrchu pro aplikaci je 15°C až 25°C.

Použijte vždy pouze čisté, jednobarevné, nezmokující se papírové utěrky.

Nádobu ihned po každém použití těsně uzavřete.

#### DŮLEŽITÉ POZNÁMKY

Kompatibilitu s daným podkladem je třeba ověřit před samotnou aplikací.

V případě, že Sika® Cleaner P ztratí své vlastnosti (bezbarvosť, čistotu atd.) okamžitě jej přestaňte používat a zlikvidujte daný výrobek.

#### DALŠÍ INFORMACE

Výše uvedené informace slouží pouze pro obecnou orientaci. V případě, že potřebujete ověřit vhodnost produktu pro daný výrobek kontaktujte technické centrum Sika Industry. Kopie následujících dokumentů jsou k dispozici na vyžádání:

- bezpečnostní list produktu

#### INFORMACE O BALENÍ

Láhev	0.8 kg 4 kg
-------	----------------

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PRODUKTU

Veškeré technické údaje uvedené v tomto dokumentu vycházejí z laboratorních zkoušek. Z důvodu okolností, jež nejsme schopni ovlivnit, mohou být skutečně naměřené hodnoty odlišné.

#### BEZPEČNOSTNÍ INFORMACE

Informace a pokyny týkající se bezpečné manipulace, skladování a likvidace chemických výrobků najdete v aktuálním vydání Bezpečnostního listu, který obsahuje také fyzikální, ekologické, toxikologické a ostatní údaje týkající se bezpečné manipulace s výrobkem.

#### PRÁVNÍ DODATEK

Informace a zejména doporučení k aplikaci a použití výrobků společnosti Sika koncovými uživateli jsou poskytovány v dobré víře na základě stávajících znalostí a zkušeností společnosti Sika s těmito výrobky za předpokladu řádného skladování, nakládání a používání za běžných podmínek v souladu s doporučeními společnosti Sika. V praxi nelze vzhledem k rozdílům v materiálech, podkladech a ve skutečných podmínkách v daném místě dovozovat z těchto informací ani z písemných doporučení či jiného poskytnutého poradenství žádnou záruku za prodejnost či vhodnost k určitému účelu ani žádnou odpovědnost vyplývající z jakéhokoliv právního vztahu. Uživatel výrobku musí předem vyzkoušet, zda je výrobek vhodný pro zamýšlené použití a účel. Společnost Sika si vyhrazuje právo změnit vlastnosti svých výrobků. Je nutné respektovat majetková práva třetích osob. Veškeré objednávky přijímáme v souladu s Obchodními a dodacími podmínkami v platném znění. Uživatelé jsou vždy povinni prostudovat si poslední verzi produktového listu k danému výrobku, jehož kopie zašleme na vyžádání nebo jsou k dispozici na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

PRODUKTOVÝ LIST  
Sika® Cleaner P  
Verze 01.01 (11 - 2021), cs\_CZ  
014362000019002000

Sika CZ, s.r.o.  
Bystrcká 1132/36  
CZ-624 00 Brno  
tel: +420 546 422 464  
[sika@cz.sika.com](mailto:sika@cz.sika.com)  
[www.sika.cz](http://www.sika.cz)





PRODUKTOVÝ LIST

## Sika® Primer-207

Pigmentovaný primer na bázi rozpouštědel na různé podklady

TYPICKÉ PRODUKTOVÉ INFORMACE (DALŠÍ ÚDAJE JSOU UVEDENY V BEZPEČNOSTNÍM LISTU)

Chemická báze	Polyuretanový roztok na bázi rozpouštědla	
Barva (CQP001-1)	Černá	
Obsah pevných látek	27 %	
Aplikační teplota	5 – 40 °C	
Aplikační metoda	Štětce, plst nebo pěnový aplikátor	
Vydatnost	v závislosti na poréznosti podkladu 50 ml/m <sup>2</sup>	
Čas odvětrání	nad 5 °C	10 minut <sup>A</sup>
	maximum	24 hodin <sup>A</sup>
Skladovatelnost (CQP016-1)	1000 ml	9 měsíců <sup>B</sup>
	menší balení	12 měsíců <sup>B</sup>

CQP = Corporate Quality Procedure

A) pro specifické aplikace se může teplota a doba odvětrání lišit

B) skladováno v uzavřené nádobě ve správné poloze na suchém místě při teplotě ≤ 25 °C

### POPIS

Sika® Primer-207 je černý primer na bázi rozpouštědel, který reaguje s vlhkostí a vytváří tenkou vrstvu. Tato vrstva funguje jako spojení mezi podklady a lepidly.

Sika® Primer-207 je speciálně navržen pro ošetření lepených ploch před aplikací 1-komponentních polyuretanů Sika. Tento primer může poskytnout vynikající adhezi bez předchozího aktivizačního kroku k mnoha podkladům. Sika® Primer-207 fluoreskuje pod dlouhovlnným UV světlem po omezenou dobu. Tato funkce se používá pro kontrolu průběhu procesu.

### VÝHODY

- Vylepšená adheze k široké škále podkladů
- Viditelný pod UV zářením
- Snadné použití

### OBLASTI POUŽITÍ

Sika® Primer-207 se používá ke zlepšení adheze k velmi široké škále různých podkladů, jako je tabulové sklo, sklo potažené keramikou, plasty, přípravné nátěry, lakované povrchy, E-nátěry a kovy.

Pro aplikace na materiály náchylné na tvorbu napětových trhlin, proveďte testy na originálních podkladech, vyžádejte si odborné poradenství Sika Industry.

Tento produkt je určen pro profesionální použití. Aby byla zajištěna přilnavost a slučitelnost materiálu, je nutno před aplikací uskutečnit testy adheze s aktuálními podklady a podmínkami.

PRODUKTOVÝ LIST

Sika® Primer-207  
Verze 04.01 (09 - 2021), cs\_CZ  
014761012070001000



#### ZPŮSOB APLIKACE PENETRACE

##### Příprava pro nanesení primeru

Povrchy musí být čisté, suché a zbavené mastnoty, oleje, prachu a nečistot.

Přílnavost k podkladům lze zlepšit přidáním a/nebo kombinací postupů předúpravy, jako je zdrsnění, čištění a aktivace.

##### Aplikace primeru

Plechovku Sika® Primer-207 velmi důkladně protřepejte, ocelová kulička v plechovce musí být volná a slyšitelná. Pokračujte v třepání další minutu a naneste tenkou, ale plně sytou vrstvu štětcem, plstí nebo pěnovým aplikátorem.

Ideální aplikace a teplota povrchu jsou mezi 15 °C a 25 °C.

Sika® Primer-207 musí být použit ideálně v jedné vrstvě. Je třeba dbát na to, aby tato jediná aplikace poskytovala dostatečné pokrytí. Spotřeba a způsob aplikace závisí na specifické povaze podkladů. Ihned po každém použití nádobu těsně uzavřete.

##### DŮLEŽITÉ POZNÁMKY

Pokud je Sika® Primer-207 použit při teplotě nižší než 5 °C, je otestování za očekávaných podmínek nezbytné.

Sika® Primer-207 je systém reagující na vlhkost. Aby byla zachována kvalita výrobku, je důležité nádobu ihned po použití znovu uzavřít vnitřní plastovou vložkou. Jakmile je operace předúpravy povrchu dokončena, musí být našroubováno víčko.

Zlikvidujte materiál měsíc po otevření (při častém používání) nebo po dvou měsících (v případě občasného použití). 100 ml balení zlikvidujte dva týdny po otevření. 30 ml plechovky, tyčinky a tuby jsou pouze pro jednorázovou aplikaci.

Pokud je zaznamenáno gelovtění, separace nebo výrazné zvýšení viskozity, primer okamžitě zlikvidujte.

Tento produkt nikdy neřeďte ani nemíchejte s jinými látkami.

Při použití na průhledné nebo průsvitné podklady, jako je tabulové sklo, plasty atd. je nutná odpovídající ochrana před UV zářením.

##### ZJIŠTĚNÍ LUMINISCENCE

Sika® Primer-207 lze zviditelnit pomocí světelného zdroje s vlnovou délkou 320 až 420 nm pro účely kontroly procesu. Ztlumením světla, jako je sluneční světlo nebo umělé světlo, během detekčního procesu lze výrazně zvýšit kvalitu detekce.

Poznámka: Luminiscenční efekt časem degeneruje.

##### DALŠÍ INFORMACE

Informace zde uvedené jsou poskytovány pouze pro obecnou orientaci. Pokyny ke konkrétním aplikacím jsou k dispozici na vyžádání od technického oddělení Sika Industry.

Pracovní pokyny vydané pro definovanou aplikaci mohou dále specifikovat technické údaje obsažené v tomto produktovém listu.

Na vyžádání jsou k dispozici kopie následujících publikací:

- Bezpečnostní listy
- Návod k použití pro AGR
- Technická příručka pro výměnu skel osobních automobilů

##### INFORMACE O BALENÍ

Tyčinka	1,4 ml
Tuba	10 ml
Plechovka	30 ml
	100 ml
	250 ml
	1000 ml

##### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PRODUKTU

Veškeré technické údaje uvedené v tomto dokumentu vycházejí z laboratorních zkoušek. Z důvodu okolností, jež nejsme schopni ovlivnit, mohou být skutečně naměřené hodnoty odlišné.

##### BEZPEČNOSTNÍ INFORMACE

Informace a pokyny týkající se bezpečné manipulace, skladování a likvidace chemických výrobků najdete v aktuálním vydání Bezpečnostního listu, který obsahuje také fyzikální, ekologické, toxikologické a ostatní údaje týkající se bezpečné manipulace s výrobkem.

##### PRÁVNÍ DODATEK

Informace a zejména doporučení k aplikaci a použití výrobků společnosti Sika koncovými uživateli jsou poskytovány v dobré víře na základě stávajících znalostí a zkušeností společnosti Sika s těmito výrobky za předpokladu řádného skladování, nakládání a používání za běžných podmínek v souladu s doporučeními společnosti Sika. V praxi nelze vzhledem k rozdílným v materiálech, podkladech a ve skutečných podmínkách v daném místě dovozovat z těchto informací ani z písemných doporučení či jiného poskytnutého poradenství žádnou záruku za prodejnost či vhodnost k určitému účelu ani žádnou odpovědnost vyplývající z jakéhokoliv právního vztahu. Uživatel výrobku musí předem vyzkoušet, zda je výrobek vhodný pro zamýšlené použití a účel. Společnost Sika si vyhrazuje právo změnit vlastnosti svých výrobků. Je nutné respektovat majetková práva třetích osob. Veškeré objednávky přijímáme v souladu s Obchodními a dodacími podmínkami v platném znění. Uživatelé jsou vždy povinni prostudovat si poslední verzi produktového listu k danému výrobku, jehož kopie zašleme na vyžádání nebo jsou k dispozici na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).