

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Diplomová práce

**Výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce
automobilů**

Bc. Jan Ferkl

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Ferkl

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce automobilů

Název anglicky

Research on hybrid adhesive bonds in area of automobile construction

Cíle práce

Cílem diplomové práce je výzkum mechanických vlastností konstrukčních lepených spojů využívaných zejména v konstrukci automobilů. Student shromáždí literární poznatky o předmětné problematice. Vlastní experimentální část bude věnována výzkumu zejména v prostorách laboratoří katedry.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíl práce a metody jejího zpracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

Klíčová slova

hybridní lepené spoje, mechanické vlastnosti, technologie lepení, výzkum, vyztužující fáze, životnost

Doporučené zdroje informací

BRIŠ, P., KUBĚNA, J., ŠTRKAŇ, J.: Lepení v praxi. Praha: Grada Publishing, 2017.

BROCKMANN, W.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley – VCH, 2009.

CAMPILHO, R. D. S. G.: Strength prediction of adhesively-bonded joints. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017.

Časopis: International Journal of Adhesion and Adhesives, Composite structures, Research in Agricultural Engineering, International Journal of Solids and Structures, Journal of Materials Processing Technology, Strojírenská technologie, Manufacturing Technology atd.

DAVIES, G.: Materials for automobile bodies. Oxford: Butterworth – Heinemann, 2003.

EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. Norwich: William Andrew, 2008.

MESSLER, R. W.: Joining of materials and structures from pragmatic process to enabling technology. Burlington: Elsevier, 2004.

MITTAL, K. L.: Contact angle, wettability and adhesion. Boston: Brill Academic Publisher, 2003.

PACKHAM, D. E.: Handbook of adhesion. Chichester: John Wiley and Sons, 2005.

PIZZI, A., MITTAL, K. L.: Handbook of adhesive technology. New York: Dekker, 2003.

1906

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 14. 1. 2022

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

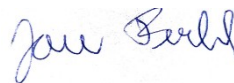
Děkan

V Praze dne 08. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce automobilů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.03.2024



Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Miroslavu Mullerovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za ochotu, vstřícnost a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval své rodině, která mě při magisterském studiu podporovala.

Výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce automobilů

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na hybridní lepené spoje v oblasti konstrukce automobilů, zpracovává souhrn informací o hybridních lepených spojích, které se vyskytují v oblasti konstrukce automobilů. V teoretických východiscích práce shromažďuje informace nalezené v odborných knihách a vědeckých článcích, které se danou problematikou zabývají. Jedná se především o materiály vyskytující se v automobilovém průmyslu a technologii lepení, ať už různými druhy lepidel, výhodami a nevýhodami lepených spojů a jiné. Praktická část je zaměřena na výzkum lepených hybridních spojů vyztužených pomocí různých druhů tkanin, u kterých následně probíhalo jejich zkoumání a porovnávání jejich mechanických vlastností.

Klíčová slova: hybridní lepené spoje, mechanické vlastnosti, technologie lepení, výzkum, vyztužující fáze, životnost

Research on hybrid adhesive bonds in area of automobile construction

Abstract

The thesis is focused on hybrid bonded joints in the automotive industry presents a summary of information on hybrid bonded joints occurring in the field of automotive construction. In the theoretical background, the thesis gathers information found in professional books and scientific articles dealing with the subject. It mainly deals with materials occurring in the automotive industry and bonding technology, whether different types of adhesives, advantages and disadvantages of bonded joints, and others. The practical part focuses on the research of bonded hybrid joints reinforced with different types of fabrics, which were then investigated and compared in terms of their mechanical properties.

Keywords: hybrid bonded joints, mechanical properties, bonding technology, research, reinforcing phases, durability

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Teoretická východiska.....	2
2.1	Materiály využívané v automobilovém průmyslu.....	2
2.1.1	Ocel.....	2
2.1.2	Hliník.....	3
2.1.3	Kompozitní materiály.....	4
2.1.4	Hořčík.....	5
2.1.5	Plasty.....	6
2.2	Lepidla využívaná v automobilovém průmyslu.....	7
2.2.1	Využití lepidel v praxi.....	8
2.3	Lepené spoje.....	8
2.3.1	Výhody a nevýhody lepených spojů.....	8
2.3.2	Princip lepení.....	9
2.3.3	Konstrukce lepených spojů.....	9
2.3.4	Postup lepení spojů.....	10
2.3.5	Zkoušky lepených spojů.....	10
2.3.5.1	Nedestruktivní zkoušky.....	11
2.3.5.2	Destruktivní zkoušky.....	11
2.4	Hybridní lepené spoje.....	14
2.4.1	Tkaniny.....	17
2.4.2	Konstrukce lepených hybridních spojů v oblasti automobilů.....	17
2.4.3	Typy hybridních lepených spojů v konstrukci automobilů.....	18
3	Cíl práce.....	19
4	Metodika experimentu.....	20
5	Praktická část experimentu.....	22
6	Interpretace výsledků zkoušky pevnosti ve smyku.....	31
6.1	Analýza konkrétních vzorků.....	32
6.1.1	Skelná tkanina 160 g/m ²	32
6.1.2	Aero 110 g/m ²	33
6.1.3	Aero 163 g/m ²	34
6.1.4	Lepený spoj bez tkaniny.....	35
6.1.5	Juta 211 g/m ²	36
6.1.6	Juta 260 g/m ²	37
6.1.7	ST 80 g/m ²	38
6.1.8	ST 110 g/m ²	39
6.1.9	ST 220 g/m ²	40

6.2	Výsledky měření.....	41
7	Závěr.....	44
8	Seznam použitých zdrojů.....	46
	Seznam obrázků.....	50
	Seznam tabulek.....	51
	Seznam grafů.....	51
	Seznam rovnic.....	51
	Seznam příloh.....	51
9	Přílohy.....	52

1 Úvod

Automobilový průmysl je v posledních letech provázen velkým rozvojem a změnami, proto je na něj vyvíjen velký tlak. Konstrukteři a designéři jsou podrobena mnoha požadavkům. Jsou zpřísnovány emisní normy a jsou kladeny velké nároky nejen na bezpečnost, ale i na výrobní náklady. Dnes jsou lepené spoje hojně používány v mnoha odvětvích, díky jejich mnoha výhodám např. schopnosti spojit různé materiály a díly. Tato technologie je však disponována i řadou nevýhod. Hybridní spoje jsou vhodnou technikou spojování konstrukčních součástí díky jejich kombinaci dvou spojovacích mechanismů.

V diplomové práci "Výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce automobilů" je zaměřena pozornost na problematiku, kterou je v posledních letech automobilový průmysl provázen.

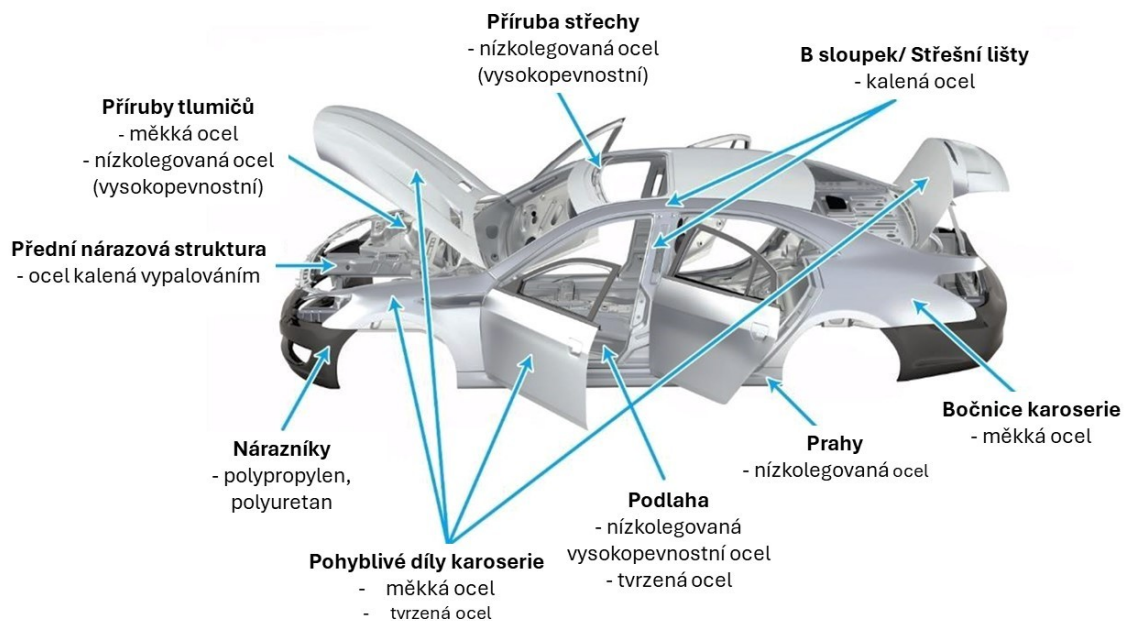
V jednotlivých kapitolách této práce bude tato problematika blíže popisována. Teoretická část bude zaměřena na používané materiály v konstrukci automobilů, na klady a zápory jednotlivých hybridních spojů. Bude se také zabývat samotnou technologií lepení, kde budou popsány druhy lepidel, výhody a nevýhody lepených spojů a celkově spojitost technologie s automobilovým průmyslem.

Praktická část bude zaměřena na výzkum lepených hybridních spojů s použitím různých tkanin, které následně budou porovnány mezi sebou i se spojením, jenž bude lepen pouze lepidlem bez tkaniny. Praktická část bude doplněna o grafy a různé fotografie pořízené během výzkumu, aby bylo možné rozdíly co nejpřesněji popsat.

2 Teoretická východiska

2.1 Materiály využívané v automobilovém průmyslu

Automobilový průmysl v posledních desetiletích prošel mnoha změnami, zejména v oblasti materiálů, které se používají pro výrobu automobilů. Tyto materiály (obrázek 1.) musí splňovat požadavky na pevnost, odolnost vůči korozi, hmotnost a recyklovatelnost, což vede k široké škále materiálů používaných v konstrukci automobilů [1].



Obrázek 1. Materiály pro výrobu komponent vozidla, [38], vlastní zpracování

2.1.1 Ocel

Ocel je jedním z nejdůležitějších a nejčastěji používaných materiálů v automobilovém průmyslu. Její význam spočívá v kombinaci vysoké pevnosti, dostupnosti a nízkých nákladů. Tyto vlastnosti ji dělají vhodným materiálem pro konstrukci karoserie, rámu a dalších komponent [1].

Existuje několik různých typů ocelí, které se používají v automobilovém průmyslu, v závislosti na požadavcích na pevnost, hmotnost a odolnost vůči korozi. Jedná se například o nízkouhlíkové ocele, vysoce pevné ocele a nerezové ocele [2].

Nízkouhlikové ocele neboli měkké ocele se používají pro výrobu karoserií a rámců automobilů, protože nabízejí dobrou tvárnost a svařitelnost. Jejich hlavní nevýhodou je nižší pevnost a náchylnost ke korozi [3].

Vysoce pevné ocele se stávají čím dál tím oblíbenějšími v automobilovém průmyslu, protože nabízejí výrazně vyšší pevnost při zachování nízké hmotnosti. To umožňuje snížit hmotnost automobilu a zlepšit jeho bezpečnost, aniž by bylo nutné zvětšovat tloušťku materiálu. Vysoce pevné ocele se používají pro výrobu bezpečnostních komponentů, jako jsou sloupky a příčky, a také pro zesílení karoserie [3].

Nerezové ocele se v automobilovém průmyslu používají pro výrobu komponentů, které vyžadují vysokou odolnost vůči korozi, jako jsou výfukové systémy, nádrže na palivo a chladičové součásti. Tyto ocele obsahují vyšší procento chromu a niklu, které jim dodávají vysokou odolnost vůči korozi a zvýšenou pevnost [1].

Výzkum a vývoj v oblasti ocelí pro automobilový průmysl se nadále zaměřuje na zlepšení jejich vlastností, jako jsou pevnost, odolnost vůči korozi a snižování hmotnosti. Nové technologie, jako jsou pokročilé povrchové úpravy a speciální procesy zpracování oceli, umožňují výrobcům automobilů dosahovat lepších výsledků a optimalizovat využití oceli [1].

Například v oblasti povrchových úprav se vyvíjejí nové metody protikoroziního nátěru a galvanizace, které zvyšují odolnost oceli vůči korozi a prodlužují životnost automobilových komponentů [4].

Pokročilé procesy zpracování oceli, jako je tváření za tepla, hydroformování nebo válcování za studena, umožňují výrobcům tvarovat ocel do složitých tvarů a vytvářet lehké a pevné komponenty. Tyto procesy také zlepšují její vlastnosti, jako je pevnost a odolnost vůči korozi, a to je důležité pro zajištění bezpečnosti a dlouhé životnosti automobilů [5].

Vývoj nových typů ocelí, jako jsou pokročilé vysoce pevné oceli (AHSS) nebo třetí generace pokročilých vysoce pevných ocelí (3G AHSS), umožňuje dosahovat ještě lepších vlastností, jako je snížení hmotnosti a zvýšení pevnosti. Tímto způsobem automobilový průmysl neustále inovuje a zlepšuje výkon a efektivitu vozidel s využitím oceli [5].

2.1.2 Hliník

Hliník je dalším důležitým materiálem používaným v automobilovém průmyslu. Jeho hlavní přednosti spočívají v nízké hmotnosti, dobrých mechanických vlastnostech a vysoké odolnosti vůči korozi. Díky těmto vlastnostem se hliník stává čím dál tím oblíbenějším materiálem pro konstrukci karoserie, rámu, motoru a dalších komponentů automobilů [2].

Hliníkové slitiny se v automobilovém průmyslu používají především kvůli snižování hmotnosti vozidel, což vede k lepšímu zrychlení, snížení spotřeby paliva a nižším emisím CO₂. Hliník také nabízí výhodu výborné tepelné vodivosti, jež je důležitá pro použití u motorových a chladicích součástí [6].

Jedním z hlavních omezení hliníku v automobilovém průmyslu je jeho vyšší cena ve srovnání s ocelí. Nicméně vývoj nových hliníkových slitin a výrobních technologií, jako jsou lití, kování a tváření za tepla, umožňuje výrobcům automobilů efektivněji využít hliník a snížit náklady na výrobu [6].

V automobilovém průmyslu se používají různé hliníkové slitiny, které mají odlišné vlastnosti, jako je pevnost, tvárnost a tepelná vodivost. Například slitiny řady 6000, které obsahují křemík a hořčík, se často používají pro výrobu karoserií a rámu automobilů, zatímco slitiny řady 2000, které obsahují měď, se používají pro výrobu motorových a chladicích součástí [2].

V oblasti výzkumu a vývoje hliníkových slitin a pokročilých technologií zpracování hliníku se neustále pracuje na rozvoji, jenž umožňuje automobilovému průmyslu neustále inovovat a zlepšovat výkon a efektivitu vozidel. Jedním z nových trendů je vývoj hliníkových kompozitů, které kombinují hliník s jinými materiály, jako jsou uhlíková vlákna nebo keramika, aby se dosáhlo ještě lepších vlastností, jako je snížení hmotnosti a zvýšení pevnosti [6].

Navíc se zkoumají nové metody spojování hliníkových dílů, jako je lepení, třecí promíchávání nebo laserové svařování, které umožňují vytvářet lehké a pevné konstrukce bez nutnosti použití tradičních svarů, jež zlepšují výrobní efektivitu a snižují hmotnost vozidel [6].

2.1.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály, jako jsou uhlíková vlákna nebo skelná vlákna, se stávají stále oblíbenějšími v automobilovém průmyslu, zejména díky svým vynikajícím

mechanickým vlastnostem, nízké hmotnosti a odolnosti vůči korozi. Tyto materiály se často používají ve spojení s polymerovými matricemi, jako je epoxy nebo termoplasty, které zvyšují jejich odolnost vůči nárazům a zlepšují jejich zpracovatelnost [7].

Významnou výhodou kompozitních materiálů je jejich schopnost poskytovat vysokou pevnost a tuhost při nízké hmotnosti, a to vede k lepšímu zrychlení, snížení spotřeby paliva a nižším emisím CO₂. Kompozitní materiály se také často používají pro aerodynamické a estetické účely, jako jsou nárazníky, spoilery, kapoty a křídla [7].

Hlavním omezením kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu je jejich vyšší cena ve srovnání s tradičními materiály, jako jsou ocel a hliník. Nicméně, pokrok v oblasti výrobních technologií, jako je vstřikování nebo pultruze, umožňuje snížení nákladů na výrobu kompozitních součástek a zvyšuje jejich konkurenceschopnost na trhu [8].

Technologický vývoj v oblasti kompozitních materiálů a technologií postupuje stále dopředu, takže i u těchto materiálů je automobilovému průmyslu umožněno provádění inovací a zlepšování výkonu a efektivity vozidel. Nové směry výzkumu zahrnují vývoj hybridních kompozitů, které kombinují různé typy vláken a matric, aby se dosáhlo ještě lepších vlastností, jako je snížení hmotnosti, zvýšení pevnosti a odolnosti vůči nárazům [8].

Kompozitní materiály budou pravděpodobně hrát stále větší roli v automobilovém průmyslu, zejména v souvislosti se snahami o snižování hmotnosti vozidel a zlepšení palivové účinnosti. Budoucí vývoj v oblasti kompozitních materiálů a technologií může vést k dalším inovacím a zlepšení výkonu a efektivnosti automobilů. Kromě toho se očekává, že s rostoucím důrazem na udržitelnost a snižování emisí bude stále větší požadavek na použití kompozitních materiálů, které mohou přispět ke snížení celkového dopadu automobilů na životní prostředí [9].

Příkladem toho, jak se kompozitní materiály stávají stále důležitějšími v automobilovém průmyslu, je růst použití kompozitů na bázi uhlíkových vláken v konstrukci elektrických vozidel (EV) a hybridních elektrických vozidel (HEV). Tyto materiály jsou stále více využívány pro výrobu baterií a dalších komponentů, které jsou klíčové pro výkon a účinnost těchto vozidel [9].

2.1.4 Hořčík

Hořčík, patřící mezi lehčí konstrukční materiály, který se používá v automobilovém průmyslu. Jeho nízká hustota a vysoká pevnost v tahu činí hořčík atraktivním materiálem

pro snižování hmotnosti vozidel a zlepšování palivové účinnosti. Hořčík se často používá ve slitinách, které zlepšují jeho mechanické vlastnosti a odolnost vůči korozi [10].

Hořčíkové slitiny se používají pro výrobu mnoha automobilových součástí, jako jsou kola, rámy sedadel, přístrojové panely a další komponenty, kde je důležité snížení hmotnosti. Hořčík také nabízí výhodu dobré tlumivosti vibrací a odolnosti proti nárazům, což je důležité pro zlepšení jízdních vlastností a bezpečnosti vozidel [10].

Výzkum a vývoj hořčíkových slitin a pokročilých technologií zpracování hořčíku pokračuje, to umožňuje automobilovému průmyslu neustále inovovat a zlepšovat výkon a efektivitu vozidel. Budoucí vývoj v oblasti hořčíkových slitin a zpracování hořčíku může vést k dalším inovacím a zlepšení výkonu a efektivnosti automobilů. Například vývoj nových hořčíkových slitin s vylepšenou odolností proti korozi a zvýšenou pevností může dále rozšířit možnosti využití hořčíku v automobilovém průmyslu [10].

Kromě toho se očekává, že s rostoucím důrazem na udržitelnost a snižování emisí bude stále větší požadavek na použití lehkých materiálů, jako je hořčík, který může přispět ke snížení celkového dopadu automobilů na životní prostředí, podobně jako kompozitní materiály [11].

2.1.5 Plasty

Plasty se stále více používají v automobilovém průmyslu díky svým vynikajícím vlastnostem, jako je nízká hmotnost, odolnost proti korozi, možnost tvarování a nízké náklady na výrobu. Existuje mnoho druhů plastů, které se používají v různých aplikacích v automobilovém průmyslu, jako jsou polypropylen (PP), polyetylén (PE), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA) a polykarbonát (PC) [31].

Polypropylen (PP) patří mezi běžné plasty používané v automobilovém průmyslu. Díky svým vlastnostem, jako je nízká hustota, dobrá pevnost a odolnost proti nárazům, se PP často používá pro výrobu nárazníků, interiérových dílů a palubních desek. Polyetylén (PE) je další plast, který se používá pro výrobu palivových nádrží, brzdových potrubí a elektrického izolačního materiálu [32].

Polyvinylchlorid (PVC) je plast, který se v automobilovém průmyslu používá pro výrobu kabelových izolací, potahových materiálů a podlahových krytin. Polyamidy (PA), známé také jako nylon, se používají pro výrobu komponentů, jako jsou závěsy motoru, ventilátorové čepele a plastové šrouby. Polykarbonát (PC) je výjimečně odolný materiál, který se používá v automobilovém průmyslu pro výrobu hlavových světlometů, signalizačních světel a světlometů [31].

Výzkum a vývoj v oblasti plastových materiálů a kompozitů pokračuje, to umožňuje automobilovému průmyslu neustále inovovat a zlepšovat výkon a efektivitu vozidel. Kromě toho se očekává, že s rostoucím důrazem na udržitelnost a snižování emisí bude stále větší požadavek na použití plastových materiálů, které mohou přispět ke snížení celkového dopadu automobilů na životní prostředí [32].

2.2 Lepidla využívaná v automobilovém průmyslu

Lepidla hrají důležitou roli v konstrukci automobilů, protože umožňují lepení různých komponentů a materiálů a přispívají k výrobě lehčích a energeticky účinnějších vozidel. V automobilovém průmyslu se používají různé druhy lepidel, jako jsou epoxidové pryskyřice, polyuretany, akryláty a kyanoakryláty, každé s vlastními specifickými vlastnostmi a aplikacemi [12].

Epoxidové pryskyřice jsou běžná lepidla používaná v automobilovém průmyslu díky svým vynikajícím lepicím vlastnostem, vysoké pevnosti a odolnosti vůči teplotám a chemikáliím. Epoxidová lepidla se často používají pro lepení kovových komponentů, jako jsou karoserie vozidel, rámy a závěsy motoru [13].

Polyuretanová lepidla jsou dalším běžně používaným lepidlem v automobilovém průmyslu, která se používají především pro lepení plastů a kompozitních materiálů. Polyuretany jsou známy svou pružností, dobrou adhezí a odolností vůči nárazům, což je činí ideální volbou pro lepení interiérových dílů, jako jsou palubní desky a obložení dveří [12].

Akrylátová lepidla se používají pro lepení široké škály materiálů, včetně kovů, plastů a skla. Akrylátová lepidla nabízejí výhody, jako je rychlé vytvrzení, vysoká pevnost a odolnost proti stárnutí, to je činí vhodnými pro aplikace, jako jsou lepení oken a držáků světlometů [12].

Kyanoakrylátová lepidla se používají v automobilovém průmyslu pro lepení malých komponentů a opravy. Tyto lepidla nabízejí vysokou pevnost, rychlé vytvrzení a dobrou adhezi na různých materiálech, jako jsou kovy, plasty a pryž [14].

I v oblasti lepidel a technologiích adheze neustále probíhá vývoj, čímž může automobilový průmysl dosáhnout lepších výsledků v oblasti lehkosti, pevnosti a životnosti vozidel. Nové lepicí systémy, jako jsou reaktivní hot-melty a hybridní lepidla, se stávají stále populárnějšími díky svým vylepšeným vlastnostem a všestrannosti [15].

V budoucnu lze očekávat, že inovace v oblasti lepidel a adhezivních technologií budou nadále pokračovat, a to povede k dalšímu zlepšení výkonu a efektivity automobilů. Udržitelnější lepidla, jako jsou biodegradabilní a lepidla na bázi biosložek, by mohla také pomoci snížit dopad automobilového průmyslu na životní prostředí a podpořit přechod k udržitelnější dopravě [16].

2.2.1 Využití lepidel v praxi

Lepení v průmyslu se stává stále více využívanou metodou spojování dílů, ačkoli vyžaduje složitou technologii a vysokou kvalitu. Výhodou lepení oproti svařování je schopnost spojit různé materiály, to je důležité v moderním automobilovém a leteckém průmyslu, kde se často používají plastové součásti, které je obtížné spojovat nýtováním nebo šroubováním. Lepení umožňuje vytvořit těsné spoje, izolaci proti korozivním vlivům a tlumení vibrací. V oblastech, jako je vesmírný a vojenský průmysl, se lepení stává stále důležitější [12].

2.3 Lepené spoje

2.3.1 Výhody a nevýhody lepených spojů

Lepení se stává čím dál tím více využívanou technologií v průmyslu, včetně automobilového a letectví, díky mnoha výhodám, které nabízí. Jednou z hlavních výhod lepení je schopnost spojit různé materiály a díly, jež je často nutné v moderním průmyslu, kde se používají různé druhy materiálů, jako jsou kovy, plasty, sklo a kompozitní materiály. Lepení také umožňuje dosáhnout vysoké pevnosti a pevného spoje, který je odolný proti tlaku, vibracím a korozivním vlivům [18].

Další výhodou lepení je, že nedochází k deformaci základního materiálu, jako například u svařování, kde dochází k vysokým teplotám a deformaci materiálu. Lepení také nabízí možnost spojení velmi tenkých fólií a velkých ploch, to je často obtížné pomocí jiných metod spojování. Lepený spoj je také chráněn před vnějšími vlivy, jako jsou prach, voda, chemikálie, světlo a teplo, jenž umožňuje lepení použít v různých podmínkách [18].

Jako další výhody lepených spojů můžeme považovat například elektrickou a tepelnou vodivost, zvukovou izolaci a optické vlastnosti, jako je průhlednost nebo určitá barva lepidla [18].

Lepení je obecně považováno za vynikající metodu pro spojování materiálů, ale jako každá technologie má i několik nevýhod. Hlavní nevýhodou lepení oproti jiným metodám tvorby spoje je potřeba přesné přípravy a složitosti procesu, a to zvyšuje náklady a čas potřebný k výrobě. Další z nich je relativně malá počáteční pevnost spoje před vytvrzením lepidla, která může být problémem při aplikacích vyžadujících okamžitou pevnost spoje. Další nevýhodou je omezená tvarová stálost lepeného spoje při tepelném zatížení, které může vést k deformacím nebo dokonce k narušení celého spoje [18, 26].

Statická zátěž může také způsobit plastické tečení lepeného spoje, jenž může vést k trvalé deformaci nebo dokonce k porušení spoje. Zkoušky lepených spojů pro testování pevnosti spoje jsou nákladné a zpravidla destruktivní, a to může být problémem při výrobě velkých sérií [26].

Před aplikací lepidla musí být lepený materiál řádně připraven, to může být pro různé aplikace pracné a znamená to značnou ztrátu času. Norma EN 13887 uvádí směrnice pro přípravu kovů a plastů před lepením konstrukčními lepidly. K fixaci a vytvrzení po nanesení lepidla jsou často potřebná speciální upínací zařízení [27].

Všechny tyto nevýhody však mohou být minimalizovány pečlivým výběrem správného lepidla, vhodnou přípravou povrchu a jeho správným nanesením a fixací [26].

2.3.2 Princip lepení

Lepidla jsou chemické látky, které využíváme k upevnění dvou nebo více materiálů. Tyto látky se vyznačují dobrými adhezními vlastnostmi, které umožňují vytvoření trvanlivého spoje mezi materiály. Adheze je proces přilnutí lepidla k povrchu lepeného materiálu. Koheze je pak síla držící lepidlo pohromadě. Tyto vlastnosti jsou důležité pro vytvoření pevného a trvanlivého lepeného spoje [17].

V procesu lepení se používají různé typy lepidel, některé už byly jmenovány výše, jako jsou například epoxidové pryskyřice, kyanoakryláty, termoplastická lepidla nebo silikony. Výběr správného lepidla závisí na vlastnostech lepených materiálů, podmínkách prostředí a požadovaných vlastnostech lepeného spoje [18].

Pro vytvoření lepeného spoje je třeba zajistit správnou přípravu povrchu lepených materiálů. Povrchy by měly být čisté, suché a hladké, aby byla dosažena maximální adheze mezi lepidlem a materiálem. Při přípravě povrchu může být potřeba použít různé techniky, jako je například broušení, chemické čištění nebo odlupování vrstev materiálu [19].

Proces lepení lze provést několika způsoby, například pomocí aplikace lepidla ručně, stříkáním lepidla nebo pomocí automatizovaných strojů. Pro zajištění pevného a trvanlivého spoje je důležité dodržet správnou tloušťku vrstvy lepidla a zvolit správnou teplotu pro jeho vytvrzení [20].

2.3.3 Konstrukce lepených spojů

Při návrhu a konstrukci lepených spojů je důležité zohlednit požadovanou pevnost a odolnost lepeného spoje vzhledem k očekávaným zátěžím a podmínkám prostředí. Pro zajištění správné konstrukce lepeného spoje je třeba zvážit mnoho faktorů, jako jsou například vlastnosti použitých materiálů, tloušťka lepené plochy, typ použitého lepidla a způsob aplikace [21].

Při návrhu lepeného spoje je třeba zvážit také mechanické vlastnosti materiálů a jak se tyto vlastnosti mohou ovlivnit při výrobě spoje. Při lepení kovových materiálů je třeba zohlednit jejich pevnost, tažnost a tvrdost, zatímco při lepení plastů je třeba zohlednit jejich pružnost, pevnost a teplotní stabilitu [22].

Dalším důležitým faktorem při konstrukci lepených spojů je správná příprava povrchu. Povrchy lepených materiálů by měly být čisté, suché a hladké, aby byla dosažena maximální adheze mezi materiály a lepidlem. Pro zajištění dobré adheze je třeba provést úpravu povrchu, například broušením, čištěním nebo jinými způsoby, a aplikovat primer nebo jinou adhezní přísadu [20].

2.3.4 Postup lepení spojů

Lepení spojů je důležitý proces v mnoha průmyslových odvětvích, jako zde řešený automobilový průmysl nebo například letectví [23]. Postup lepení spojů je různý v závislosti na použitých materiálech a požadované pevnosti spoje [28].

Při lepení spojů je důležité pečlivě připravit povrchy materiálů, které budou spojovány. Povrchy musí být čisté a suché, aby lepidlo mohlo správně přilnout a vytvořit pevný spoj. V některých případech mohou být povrchy upravovány speciálními technologiemi, jako jsou například plazmové či laserové povrchové úpravy, aby se zvýšila adheze mezi lepidlem a materiálem [29].

Dalším důležitým faktorem je výběr vhodného lepidla. Existuje mnoho typů lepidel, které jsou vhodné pro různé materiály a podmínky. Lepidlo by mělo být také kompatibilní s prostředím, ve kterém bude spoj používán [30].

Aplikace lepidla je dalším krokem v procesu lepení spojů. Existuje několik způsobů, jak aplikovat lepidlo, včetně nanášení pomocí štětce, válečku, spreje nebo nástříku. Po aplikaci lepidla jsou materiály spojeny a musí být pečlivě umístěny a utlačeny, aby se vytvořil pevný spoj [30].

2.3.5 Zkoušky lepených spojů

Součástí technologie lepení jsou zkoušky lepidel a lepených spojů, které slouží k zjištění mechanických vlastností lepidla pro různé druhy zatížení. Tyto zkoušky se dělí na dvě základní skupiny, a to destruktivní a nedestruktivní. Destruktivní zkoušky se dále dělí na statické, jako jsou zkoušky pevnosti v tahu a tlaku, smyku, odlupování a lámavosti. Druhou skupinou jsou zkoušky dynamické, které zahrnují zkoušky rázové pevnosti a zkoušky únavy lepených spojů [12].

2.3.5.1 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky lepených spojů jsou založeny na různých principech a slouží k hodnocení kvality lepeného spoje bez nutnosti jeho zničení. Tyto metody se původně skládaly z hodnocení rovnoměrnosti tloušťky vrstvy lepidla a celistvosti materiálu. S postupným rozvojem moderních technologií nedestruktivních zkoušek byly přidány další metody založené na prozařování, například pomocí rentgenového nebo radioaktivního záření, akustické zkoušky zahrnující zvukové nebo ultrazvukové, magnetické a elektrické metody (elektromagnetické, indukční, kapacitní) a tepelné zkoušky [18].

Cílem nedestruktivních zkoušek je odhalení případných skrytých vad spoje, jako jsou například nehomogenita, trhliny nebo vady ve vrstvách lepidla. Tyto metody jsou velmi důležité pro kontrolu a zajištění kvality lepeného spoje a často se používají v průmyslu, zejména v letectví, kosmonautice, automobilovém průmyslu a výrobě lodí [18].

2.3.5.2 Destruktivní zkoušky

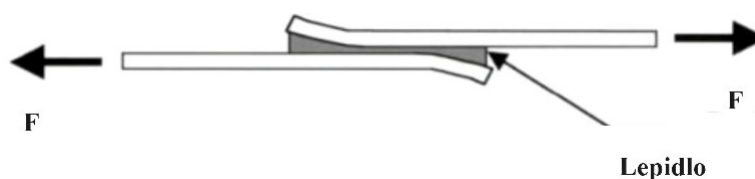
Destruktivní zkoušky lepených spojů jsou metody, které zahrnují zničení testovaného spoje za účelem získání informací o jeho vlastnostech. Tyto metody jsou používány pro ověření kvality lepeného spoje a získání dat o pevnosti, tahové pevnosti, ohybové pevnosti a dalších fyzikálních vlastnostech [14].

Mezi často používané destruktivní zkoušky patří tahové zkoušky, ohybové zkoušky, tlakové zkoušky a smykové zkoušky. Tyto zkoušky se provádějí na vzorcích lepených spojů, které jsou speciálně vyrobeny pro tento účel a jsou následně zničeny během procesu testování [14].

Destruktivní zkoušky jsou velmi důležité pro kontrolu a zajištění kvality lepeného spoje, ale mají také své nevýhody. Tyto zkoušky jsou časově a nákladově náročné a mohou vést k nevratnému poškození testovaného spoje, proto je zapotřebí mít zkušební vzorky [14].

2.3.5.2.1 Zkouška tahem

Zkoušky lepených spojů tahem (obrázek 2.) jsou jednou z velmi často používaných metod pro určení pevnosti spoje. Tato metoda se používá při testování lepených spojů, aby se zjistilo, jaký vliv má lepidlo na pevnost materiálu a jaký je maximální tahový odpor, který může spoj vydržet [33].



Obrázek 2. Zkouška tahem, [40]

Při této zkoušce se na lepený spoj aplikuje tahová síla, dokud nedojde k jeho přetržení. Tahová síla se postupně zvyšuje až do dosažení maximální pevnosti spoje, přičemž výsledkem je maximální tahová síla, kterou spoj dokáže snést [33].

K testování lze použít různé typy strojů, jako jsou například hydraulické nebo elektrické tahové zkoušečky. Při testování se používají speciální vzorky, které jsou připraveny tak, aby byly vystaveny zatížení v přesně definovaných bodech. Po provedení testu se hodnoty výsledků srovnávají s pevností materiálů, které byly použity pro lepení [33].

Při provedení této zkoušky se také sleduje chování lepidla v závislosti na vysokém zatížení a měří se, jak rychle se lepidlo roztahuje. To umožňuje určit pevnost a pružnost lepidla [33].

Zkoušky lepených spojů tahem jsou klíčové pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti výrobků, které jsou vyrobeny s použitím lepidel. Protože jsou lepené spoje

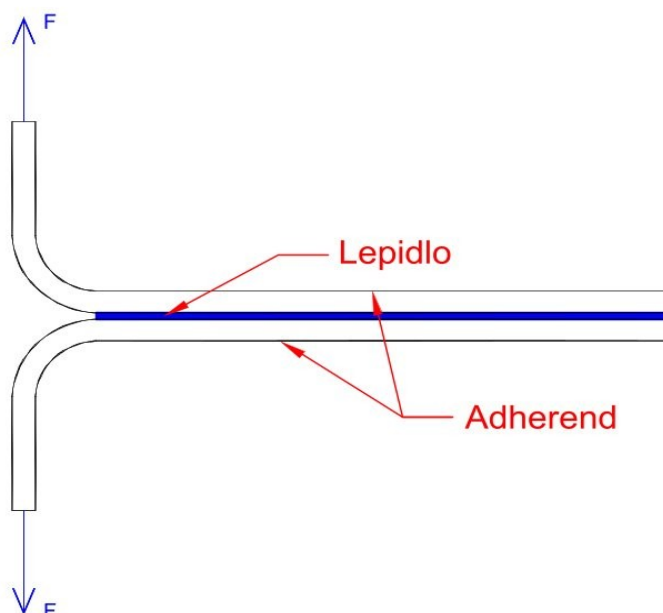
často vystaveny zatížení a napětí, je důležité, aby byly testovány a ověřeny předtím, než jsou výrobky uvedeny na trh [33].

2.3.5.2.2 Zkouška odloupenutím

Zkoušky lepených spojů odloupenutím jsou dalším způsobem, jak posoudit kvalitu a pevnost lepeného spoje. Tato metoda (obrázek 3.) spočívá v aplikaci síly na povrch lepeného spoje v určitém směru, čímž se zkoumá, jak snadno se lepení odlupuje. Zkouška odloupenutím může být prováděna buď ručně pomocí šroubováku a kladívka, nebo pomocí přístrojů, které umožňují přesné měření síly potřebné k odloupenutí lepení [26].

Existují různé typy zkoušek odloupenutím, které se liší v závislosti na způsobu aplikace síly a směru, ve kterém se testuje lepení. Mezi tyto metody patří například zkouška odloupenutím z plochy, zkouška odloupenutím z okraje, zkouška odloupenutím na příčném řezu nebo zkouška odloupenutím s různými úhly náklonu [26].

Při provádění zkoušky odloupenutím je důležité vzít v úvahu faktory, jako je typ lepidla, povrch materiálů, úprava povrchu, tloušťka lepení a další faktory, které mohou ovlivnit pevnost lepeného spoje. Zkouška odloupenutím může být také prováděna před a po vystavení lepeného spoje různým podmínkám, jako je teplota, vlhkost nebo ultrafialové záření, aby se zjistila stabilita a odolnost lepení [26].

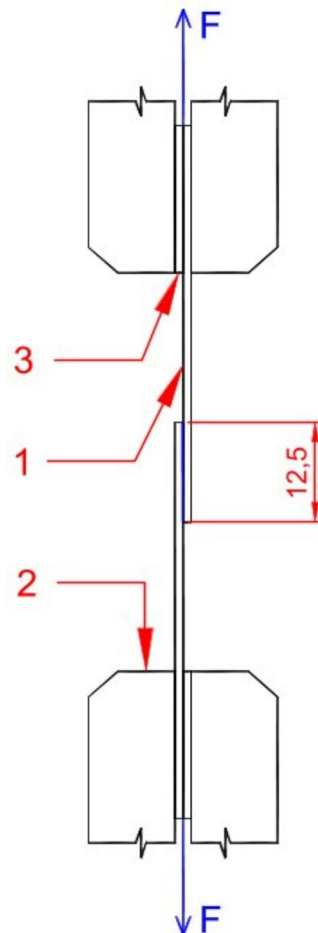


Obrázek 3. Zkouška odloupenutím, vlastní zpracování

2.3.5.2.3 Zkouška pevnosti ve smyku tahovým namáháním

Norma ČSN EN 1465 definuje postup pro určení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených spojů. Zkouška spočívá v namáhání normalizovaného přeplátovaného lepeného spoje mezi tuhými adherendy tahovou silou, která působí rovnoběžně s plochou lepeného spoje a hlavní osou zkušební vzorku.

Tato zkouška má za cíl určit pevnost lepeného spoje měřením pevnosti v mezi kluzu a pevnosti při přetržení zkušebního tělesa. K tomuto účelu se používají jednoduše nebo dvojitě přeplátované vzorky plechů. Pro zajištění přesných výsledků by měl být počet testovaných vzorků minimálně 5, což je stanoveno normou ČSN EN 1465. Schéma zkoušky můžeme vidět na obrázku 4. [34, 35].



Obrázek 4. Zkouška pevnosti ve smyku tahovým namáháním, 1. Zkušební těleso, 2. Čelisti přístroje, 3. Vyrovnávací podložka, vlastní zpracování

2.4 Hybridní lepené spoje

Hybridní spojování je atraktivní v automobilových aplikacích, protože tato technika může nabídnout výhody při výrobě dílů. Šrouby mohou být použity jako prostředek k vyrovnání a připevnění různých konstrukčních částí k sobě a poskytují fixaci během vytvrzování lepidla. Kromě toho mohou hybridní spoje nabídnout lepší výkon ve srovnání s lepenými spoji při nárazovém zatížení, kde je oddělení dílů často nežádoucí [41].

Techniky spojování konstrukčních součástí se rozdělují na mechanické spojování a lepení. Ty mají své výhody a nevýhody, které vedly k myšlence kombinovat dva spojovací mechanismy: hybridní šroubové/lepené spoje, využívající jak lepení, tak upevnění v jediném spoji. Tento kombinovaný typ spoje odhalil svůj potenciál být lepším typem spoje než samotné lepení nebo mechanické upevnění. Hybridní spoje vykazovaly zlepšení únavové životnosti oproti spojmům čistě mechanickým či lepeným [42].

V hybridních spoji je použito dvou nebo více operací, které probíhají současně, a nebo postupně. Častým typem hybridního spoje je kombinace lepidla s bodovým spojením, jako je například mechanický spojovací prvek (nýt či šroub) nebo bodový svar. Časté využití je u spojování plechových materiálů, existují však i aplikace zahrnující extrudované profily a tenké odlitky. Hlavní výhody kombinace bodového spoje s lepidlem jsou:

- vytvoření souvislých, vodotěsných spoju
- obecně lepší pevnost (statická i dynamická)
- zvýšená tuhost spoje
- zlepšená odolnost proti odlupování a nárazu (bodový spoj zastavuje šíření trhlin v lepeném spoji)

Důležitou výhodou je také to, že okamžitě účinný bodový spoj fixuje polohu komponentů, dokud nedojde k vytvrzení lepidla, což výrazně zkracuje a usnadňuje montážní proces. Lepidlo se obvykle nanáší na spojované plochy před montáží a fixací bodovými spoji. [43].

Mezi běžné metody hybridního spojování plechů můžeme zařadit:

- lepení / lemování
- lepení / odporové bodové svařování ("WeldBonding")
- lepení / nýtování se samořeznými nýty ("RivBonding")

- lepení / klinčování
- lepení a další mechanické spojovací prvky (šrouby, nýty, ...)

Druhou důležitou skupinou hybridních spojovacích technik je kombinace dvou různých metod tavného svařování. Tato kombinace se používá hlavně v konstrukčních aplikacích pro spojování tlustších plechů, extrudovaných profilů a odlitků. Kombinace dvou různých svařovacích procesů umožňuje dosáhnout optima v kvalitě svaru a rychlosti svařování využitím výhod jednotlivých procesů. [43].

Ačkoli pojem "hybridní svařování" v zásadě zahrnuje i jakoukoli jinou kombinaci svařovacích technik (například plazmové obloukové / MIG svařování nebo plazmové obloukové / laserové svařování), v praxi se používá konkrétně pro popis procesu MIG svařování s laserem. [43].

Dalšími možnými kombinacemi spojovacích metod jsou:

- mechanické spojování / tavné svařování
- mechanické spojování / mechanické spojování
- lepení / lepení

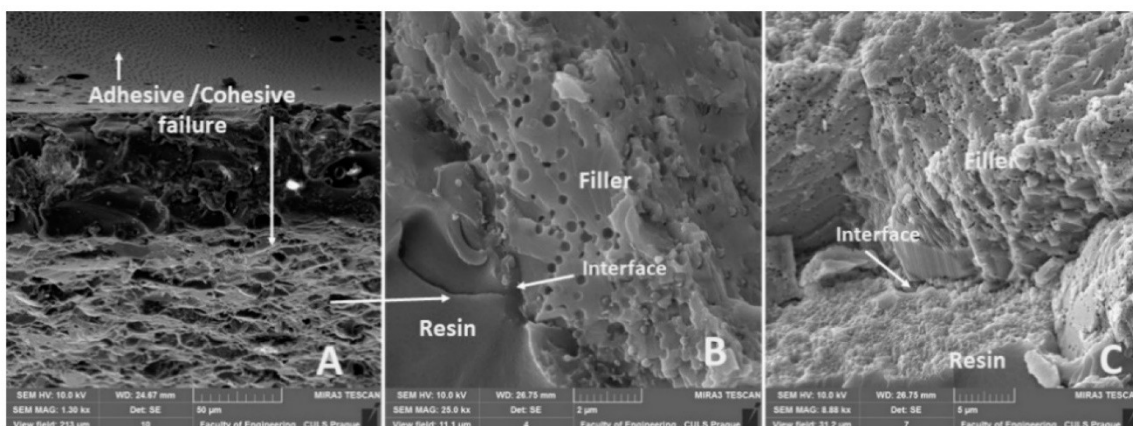
Tyto kombinace jsou však mnohem méně důležité. Kombinace mechanického a tavného spojovacího procesu v hybridní technologii má malý praktický význam, i když kombinace některých technik mechanické fixace a následného procesu tavného svařování by se mohla dobře považovat za sekvenční "hybridní spoj". [43].

Sekvenční použití dvou různých metod mechanického spojování lze v praxi pozorovat poměrně často. Byl však nalezen pouze jeden příklad pro simultánní použití dvou různých metod mechanického spojování. [43].

Také kombinace dvou různých typů lepicích metod lze považovat za hybridní spojovací techniku. Kombinace lepení citlivého na tlak se strukturálními lepidly může například nabídnout výhody z hlediska zpracování a únosnosti, pokud je požadována vysoká odolnost proti statickému i dynamickému zatížení [43].

Kromě toho lze tlakově citlivé lepicí pásy kombinovat se strukturálními termosetovými lepidly (například jako formulovanou směs), čímž vznikne tepelně vytvrzovatelná technologie lepení citlivého na tlak. Takzvané pásy pro strukturální lepení vykazují při pokojové teplotě vlastnosti citlivé na tlak, ale při teplotách nad 140 °C mohou být vytvrzeny tak, aby vyvinuly vlastnosti podobné strukturálním lepidlům. Tento materiál představuje hybridní systém lepidla kombinující lepidla citlivá na tlak a strukturální lepidla [43].

Na obrázku níže (obrázek 5.) můžeme vidět povrch lomu uvnitř adhezivní vrstvy konkrétního hybridního lepeného spoje, tedy adhezivně – kohezivního porušení [44].



Obrázek 5. SEM snímky lomového povrchu: (A)- adhezivní/kohezivní lomový povrch adhezivního spoje (MAG 1,30 kx), (B)- detailní pohled na adhezivní/kohezivní lomový povrch a rozhraní pryskyřice a plniva a detailní pohled na povrch plniva (MAG 25,00 kx), (C)- kohezivní výplň lomu a detailní pohled na povrch výplně (MAG 8,88 kx), [44]

2.4.1 Tkaniny

K lepení tkanin se v mnoha případech používají lepidla na bázi termoplastů nebo termoreaktivních pryskyřic. Termoplastická lepidla se vyznačují tím, že mohou být opakovaně roztavena a znovu tuhnout, to zjednodušuje opravu a úpravu výrobků. Na druhé straně termoreaktivní pryskyřice jsou lepidla, která po zahřátí tuhnou a už je nelze rozpustit. Tyto pryskyřice jsou vhodné pro výrobu tkanin s vysokou pevností a odolností [23].

Při lepení tkanin je důležité zajistit pevný a trvanlivý spoj. Tento cíl se často dosahuje několika různými způsoby, například pomocí tlaku, tepla nebo chemické reakce. Pro zajištění pevnosti spoje se také používají různé adhezivní přísady, jako jsou například zesilovače, které zlepšují adhezi mezi lepidlem a tkaninou [37].

2.4.2 Konstrukce lepených hybridních spojů v oblasti automobilů

V automobilovém průmyslu se konstrukce lepených hybridních spojů stávají stále populárnější díky jejich schopnosti kombinovat výhody různých lepicích systémů a jiných technik. Tyto spoje se používají pro řadu aplikací, jako je spojování karoserie, rámu, interiérových dílů, či kompozitních a plastových součástí vozidel [24].

Hybridní lepené spoje mohou také kombinovat dva nebo více druhů lepidel, jako jsou epoxidová lepidla s polyuretanovými lepidly nebo akrylátovými lepidly, aby bylo dosaženo vylepšených vlastností spoje, jako je odolnost vůči teplotám, chemikáliím nebo vibracím [23].

Dále mohou hybridní spoje zahrnovat kombinaci lepidel s kompozitními materiály, které umožňují vytvoření lehkých a pevných konstrukcí. Tyto spoje mohou tvořit vrstvy lepidla mezi vrstvami kompozitního materiálu nebo v kombinaci s kovovými materiály vedoucí k vyšší pevnosti a lehkosti konstrukce [18].

Hybridní lepené spoje mohou také být vytvořeny za použití lepidel v kombinaci s materiály s tvarovou pamětí, to umožňuje kontrolovat chování spoje pod zatížením a zlepšit celkovou životnost spoje [25].

2.4.3 Typy hybridních lepených spojů v konstrukci automobilů

Hybridní lepené spoje jsou v současné době zastoupeny v mnoha průmyslových odvětvích, například v automobilovém, leteckém a lodním průmyslu, protože nabízejí vynikající kombinaci mechanické pevnosti a odolnosti. Některé spoje jsou tvořeny kombinací adhezivního a mechanického spoje. Adhezivní spoj je vytvořen mezi lepenými povrchy pomocí lepidla, zatímco mechanický spoj je vytvářen pomocí speciálních tvarů na lepených površích, jako jsou drážky nebo výstupky [36].

Existují různé typy hybridních lepených spojů, v závislosti na použité kombinaci adhezivního a mechanického spoje. Například mezi často používanými typy nalezneme kombinace s mechanickým zajištěním, kde se adhezivní spoj doplňuje mechanickým spojem jako jsou klíčky, drážky nebo háčky. Další typy hybridních lepených spojů jsou například lepení a svařování, lepení a nýtování nebo lepení a šroubování [36].

Při výběru vhodného typu hybridního lepeného spoje je nutné zvážit několik faktorů, jako jsou požadavky na mechanickou pevnost, odolnost proti únavě, teplotní stabilitu, chemickou odolnost a v neposlední řadě i náklady. Důležitým faktorem je také volba vhodného adhezivního materiálu a jeho správné aplikování na lepené povrchy [21].

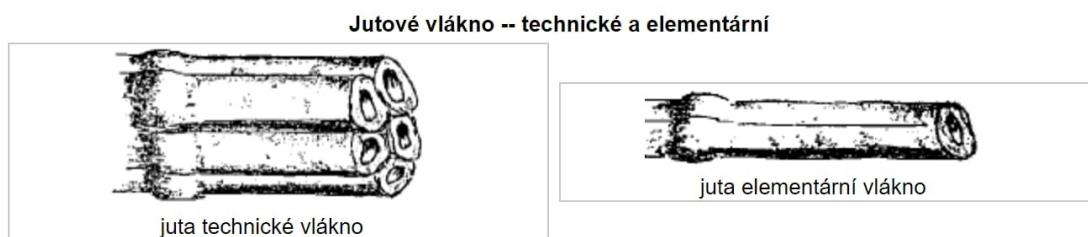
3 Cíl práce

Cílem diplomové práce je shromáždění poznatků o vlastnostech lepených spojů, které jsou využívány v automobilovém průmyslu. Ke shromáždění podkladů budou sloužit jak literární rešerše týkající se této problematiky, tak i vlastní výzkum, který bude probíhat výhradně v prostorách laboratoří katedry materiálu a strojírenské technologie České zemědělské univerzity v Praze. Ve výzkumu budou vytvořeny hybridní lepené spoje, lepené epoxydovou pryskyřicí a vyztužené pomocí skelných a jutových tkanin o různých gramáží na metr čtvereční. U vzorků bude vyhodnocena pevnost ve smyku. Pevnosti budou porovnávány s pevností ve smyku vzorku lepeného pouze epoxidovou pryskyřicí bez přidané tkaniny.

4 Metodika experimentu

Metodikou diplomové práce je zaprvé shromáždění materiálů, které s daným tématem souvisí. Při vyhledávání budou využívány odborné knihy a články. Praktická část práce bude věnována výzkumu hybridních lepených spojů, při kterých budou lepené spoje vyztuženy pomocí tkaniny. Po přípravě spojů proběhne jejich zkoušení na univerzálním zkušebním přístroji. Výzkum bude probíhat výhradně v prostorách katedry materiálu a strojírenské technologie.

Jako vyztuž byly použity skelné technické tkaniny různých gramáží na metr čtvereční a dva typy jutové tkaniny. Jutová vlákna (obrázek 6.), která jsou biologicky odbouratelná a recyklovatelná jsou šetrná k životnímu prostředí [45]. Vlákna juty jsou v neupravené formě vysoce hořlavé, odolné vůči UV záření, absorbují vodu, ale mají vysokou odolnost vůči vlhkosti [46].



Vlákna juty jsou složena z lysinu, díky tomu vykazují vysokou pevnost, celulózy a ligninu. Tkaniny z jutových vláken jsou na povrchu hrubé a málo pružné [48].

Skelné tkaniny (obrázek 7.) jsou odolné vůči teplu, disponují vynikajícími izolačními vlastnostmi a schopnost odolávat chemikáliím a korozivním procesům. Technický list skelné tkaniny Aeroglass 110 g/m² použité v praktické části nalezneme v příloze práce (příloha 1.) Také tkaniny ze skelných vláken mohou být recyklovány, a díky tomu je jejich použití ekologičtější než u jiných materiálů [49].



Obrázek 7. Skelné tkaniny, [50]

Velmi používanou součástí pro výrobu skleněných vláken nazýváme E-sklem, borosilikátové sklo neobsahující alkálie [51]. Tkaniny Aeroglass použité v praktické části mají úpravu vhodnou zejména pro epoxydové pryskyřice [52].

5 Praktická část experimentu

Praktická část experimentu probíhala podle normy ČSN EN 1465

a) odkaz na tuto evropskou normu

Laboratorní experiment hybridních lepených spojů vyztužených tkaninami se řídil pomocí technických norem ČSN EN 1465 - Lepidla-Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených soustav, ČSN ISO 10365 – Lepidla – označení hlavních typů porušení lepeného spoje.

b) identifikace zkoušeného lepidla včetně typu

Pro lepení hybridních spojů zkoumaných v praktické části této diplomové práce bylo použito epoxidové lepidlo CHS-EPOXY 324 (Epoxy 1200) od českého výrobce Stachema s.r.o. (obrázek 8.).



Obrázek 8. Epoxidové lepidlo, [zdroj autor]

Tato pryskyřice má vysokou hustotu, dobrou adhezi k většině materiálů. Vytvrzuje se při normální nebo teplotě zvýšené do 60°C. Vytvrzení pryskyřice probíhá do 48 hodin. Technický list s více informacemi nalezneme v příloze této práce viz. příloha č.2 [39]. Epoxidová pryskyřice byla promíchána s tvrdidlem P11, jehož technický list nalezneme v příloze této práce (příloha 3.). Tvrdidlo vytvrzené kompozici dodává velmi dobré

mechanické vlastnosti a výbornou chemickou odolnost. Vytvrzuje i za pokojové teploty. Vyznačuje se krátkou dobou zpracovatelnosti natužené směsi (cca 1-2 hodiny) a větším vývinem tepla při vytvrzování. Doba zpracovatelnosti se s rostoucím množstvím natužené směsi zkracuje [39].

c) identifikace adherendů, včetně tloušťky materiálu, šířky a způsobu přípravy povrchu

Pro hybridní spoje byly zvoleny plechy konstrukční uhlíkové ocele S235J0 o rozměrech: délka 100 mm, šířka 25 mm a tloušťka 1,5 mm. Jedná se o běžně používanou konstrukční ocel s minimální mezí kluzu 235 MPa a zaručenou svařitelností. Má dobrou plasticitu, houževnatost a dobré ohybové vlastnosti za studena. Další vlastnosti a chemické složení oceli můžeme nalézt v přílohách práce (viz. Příloha 3.) [54].

Úprava adherendů probíhala nejprve mechanickým opracováním materiálu pomocí tryskové komory PK-ITB 65 (obrázek 9.).



Obrázek 9. Tryskací komora PK-ITB 65, [zdroj autor]

Při této fázi jsou vzorky zbaveny nečistot pomocí pískového abraziva a dojde k zdrsnění jejich povrchu (obrázek 10.), tím se zajistí dosažení adhesivní schopnosti lepidel.

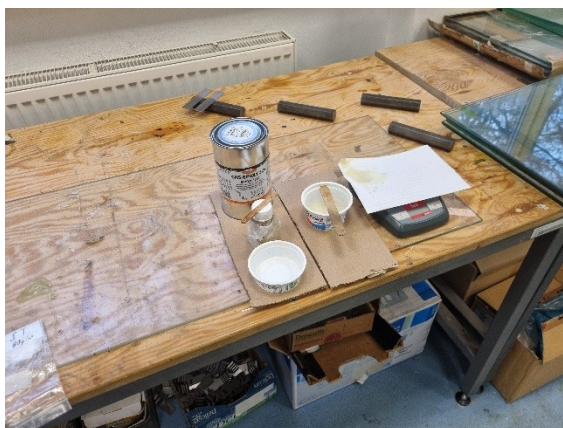


Obrázek 10. Vzorky po zdrsnění povrchu, [zdroj autor]

Zbylou část plochy, kde nedojde k přeplátování není potřeba upravovat. Následně očistíme vzorky od hrubých zbytků abrazivního média. Finální čištění provedeme pomocí acetonu, které vyčistí povrch od zbylých nečistot. Acetonem čistíme celý vzorek. Po tomto úkonu jsou vzorky připraveny k lepení.

d) popis postupu lepení, včetně metody nánosu lepidla, dobu, teplotu a tlak při vytvrzování nebo tvrdnutí

Lepení hybridních spojů probíhalo v prostorách katedry materiálu a strojírenské technologie, a to za standardních podmínek, tedy tlaku 1atm a teplotě zhruba 20°C. Vzorky, které jsou využity v tomto měření jsou lepeny ručně. Délka přeplátování a rovinnost spoje je hlídána pomocí čtverečkového papíru, na kterém jsou narýsovány dvě navzájem rovnoběžné linky od sebe vzdálených 12,5 mm. Lepidlo připravujeme ručně smícháním dvou složek v přesně daném poměru 23,4 gramů pryskyřice a 1,6 gramů tvrdidla, které si odvážíme na váze (obrázek 11.). Vzorky byly lepeny v počtu 20 kusů, abychom lepidlo nevystavovali dlouhodobým atmosférickým vlivům.



Obrázek 11. Příprava lepidla, [zdroj autor]

Nanášení lepidla na vzorky probíhalo za pomoci tyčinek. Na první díl vzorku byla po nanesení lepidla přidána tkanina, která byla také pomoci tyčinek promísena s lepidlem. Poté byl přiložen druhý díl tak, aby délka přeplátování byla 12,5 mm. Následně je spoj ručně stlačen a ihned zatížen závažím o předepsané hmotnosti 740 ± 10 g (obrázek 12.).



Obrázek 12. Zatížení během vytvrzování, [zdroj autor]

Spoj byl závažím zatížen 24 hodin, po celou dobu vytvrzování lepidla. Poté byly vzorky uschovány ve stejných prostorech, než probíhal další krok měření.

e) průměrnou tloušťku vrstvy lepidla pro vytvoření spoje a rovněž metodu použitou pro kontrolu jeho tloušťky

Tloušťka vrstvy nanášeného lepidla byla vyhodnocována vizuálně. Vrstva byla nanášena rovnoměrně a následně stlačena závažím.

f) úplný popis zkušební tělesa, včetně rozměrů a uspořádání s jmenovitým přeplátováním spoje

Jako zkušební vzorky byly použity plechy uhlíkové oceli, které byly nastříhány na tabulových padacích nůžkách NTC 2530/4 (obrázek 13.), u kterých byla délka přeplátování $12,5 \pm 0,25$ mm stanovených normou ČSN EN 1465. Šířka lepených plechů je stanovena na 25 mm a tloušťka na 1,5 mm. Lepené vzorky jsou označeny podle druhu tkaniny, který byl pro konkrétní vzorek použit.



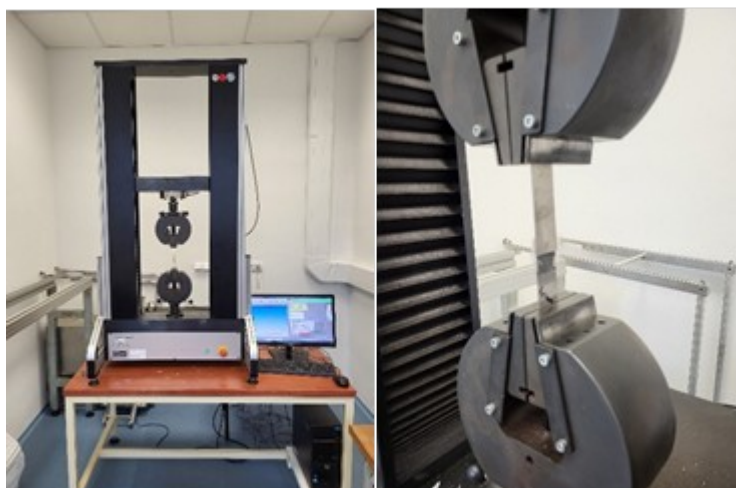
Obrázek 13. Tabulové padací nůžky NTC 2530/4, [zdroj autor]

g) kondicionování před zkoušením a jeho parametry a zkušební prostředí

Vzorky byly po odstranění závaží uschovány v laboratorních podmínkách na přibližnou dobu 10 dní.

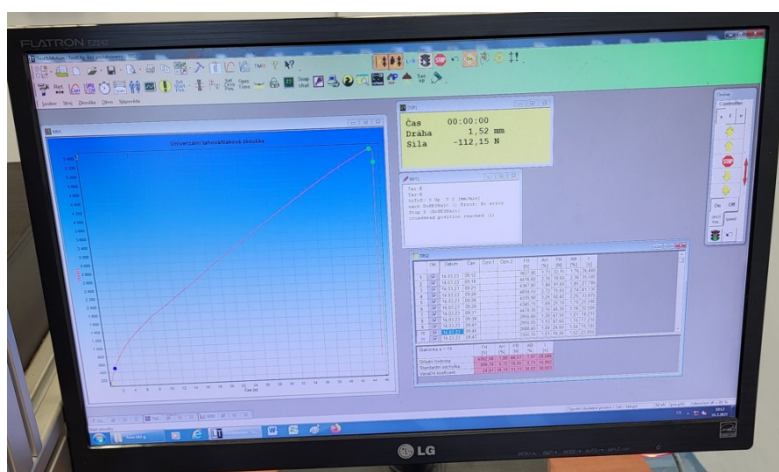
h) rychlost zatěžování nebo rychlost posuvu čelistí

Pro účely provedení tahové zkoušky byly vyrobené vzorky lepených spojů umístěny do čelistí univerzálního zkušebního stroje LabTest 5.50ST (obrázek 14.), který byl naprogramován tak, aby zajistil správný průběh testu. Zkouška byla prováděna pohybem čelistí v opačných směrech s předem stanovenou rychlostí zařízení 2 mm/s.



Obrázek 14. LabTest 5.50 ST, [zdroj autor]

Komunikace zkušebního zařízení a počítače probíhala pomocí softwaru LT Test&Motion (obrázek 15.). Průběh zkoušky byl zaznamenán tahovým diagramem. Naměřená data byla následně exportována do souboru Excel pro další analýzu.



Obrázek 15. LT Test&Motion, [zdroj autor]

Pro účely měření pevnosti lepených spojů byly jednotlivé vzorky pečlivě umístěny do testovacího zařízení a fixovány v přesně stanovené pozici. Po zajištění stabilní polohy bylo zahájeno měření, které probíhalo až do okamžiku, kdy došlo k porušení spoje. Celý proces byl opakován pro každý vzorek za stejných podmínek, včetně stanovené rychlosti 2 mm/s, aby byla zajištěna konzistence a porovnatelnost výsledků.

Pro dosažení vysoké přesnosti měření, bylo použito sedm vzorků z každého testovaného materiálu, čímž vzniklo celkem devět sad po sedmi vzorcích. Pro účely porovnání byla rovněž použita jedna sada sedmi vzorků, u které bylo použito pouze

lepidlo bez tkaniny. Tyto vzorky byly pečlivě vybrány a připraveny podle přesně stanovených postupů, aby se zajistilo, že jsou v souladu s požadavky na kvalitu a přesnost měření.

Celkově byly provedeny opakované měření, aby byla minimalizována chybovost a zvýšena spolehlivost výsledků.

i) jednotlivé výsledky síly nebo napětí při přetržení, aritmetický průměr a variační koeficient spolu s informací o rozptylu výsledků

Podle normy ČSN EN 1465 jsou výsledky měření všech zkušebních těles vyjádřeny jako aritmetické průměry a variační koeficienty síly při přetržení v newtonech. Pevnost ve smyku pro tahové namáhání při tahovém namáhání se následně vypočte jako podíl síly při přetržení v newtonech a smykové plochy v milimetrech. Deformaci lepených vzorků vyjadřujeme v procentech [34].

Smykové napětí nám udává pevnost lepeného spoje v megapascalch

$$\tau = \frac{FN}{S} = \frac{FN}{b * l}$$

Rovnice 1. Pevnost ve smyku

τ – pevnost ve smyku [MPa], FN – maximální tahová síla nutná k přetržení vzorku [N], b – šířka vzorku [mm], l – délka přelátování lepeného spoje [mm]

Aritmetický průměr vypočtený ze součtu naměřených hodnot dělený jejich počtem

$$\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i$$

Rovnice 2. Aritmetický průměr

\bar{x} – aritmetický průměr [MPa], n – celkový počet hodnot, x_i – jednotlivé hodnoty [MPa]

Směrodatná odchylka vyjadřující míru rozptylu

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Rovnice 3. Směrodatná odchylka

σ – směrodatná odchylka [MPa], n – celkový počet naměřených hodnot, x_i – jednotlivé hodnoty [MPa], \bar{x} – aritmetický průměr jednotlivých hodnot [MPa]

Variační koeficient udává variabilitu rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Rovnice 4. Variační koeficient

V – variační koeficient [%], σ – směrodatná odchylka [MPa], \bar{x} – aritmetický průměr [MPa]

j) typ porušení spoje podle EN ISO 10365

Typy porušení lepeného spoje

Lomy lepených spojů mohou být klasifikovány do tří hlavních kategorií, kterými jsou čistě adhezní porušení, čistě kohezní porušení a adhezně-kohezní porušení. Tyto kategorie lze rozlišit podle způsobu, jakým dochází k porušení spoje, a jsou klíčové pro analýzu a optimalizaci výkonu lepených spojů [26].

Adhezní porušení

Tento typ porušení (obrázek 16.) nastává, když je spoj rozpojen na rozhraní mezi adhezivním materiálem (lepidlem) a přilnavým povrchem. To znamená, že lepidlo selhalo ve vytvoření dostatečně silné vazby s materiálem, to může být způsobeno špatnou přípravou povrchu, nevhodným lepidlem pro daný materiál nebo nedostatečným vytvrzením lepidla. Adhezní porušení je nežádoucí, protože znamená, že spoj není schopen přenášet síly a zatížení mezi spojovanými díly [26].



Obrázek 16. Adhezivní porušení spoje, [53]

Kohezní porušení

Kohezní porušení (obrázek 17.) nastává, když selhává samotný adhezivní materiál, nikoli vazba mezi adhezivním materiálem a povrchem. V tomto případě je lom lokalizován uvnitř lepidla a je způsoben překročením jeho pevnosti nebo tuhosti. Kohezní porušení může být způsobeno nevhodným lepidlem, které nemá dostatečné mechanické vlastnosti pro danou aplikaci, nebo špatným návrhem spoje, který způsobuje koncentraci zatížení v určitých oblastech lepidla [26].



Obrázek 17. Kohezní porušení spoje, [53]

Adhezně-kohezní porušení

Tento typ porušení (obrázek 18.) představuje kombinaci adhezního a kohezního porušení, to znamená, že lom zahrnuje jak selhání vazby mezi lepidlem a povrchem, tak selhání lepidla samotného. Adhezně-kohezní porušení může nastat v důsledku kombinace špatné přípravy povrchu, nevhodného lepidla nebo nedostatečného vytvrzení, stejně jako v důsledku nevhodného návrhu spoje nebo přetížení [26].



Obrázek 18. Adhezivně-kohezní porušení spoje, [53]

k) výsledky zkušebních těles, u kterých došlo k porušení adherendu

U žádného zkušebního vzorku nedošlo k porušení adherendu, mohly být tedy všechny použity pro analýzu výsledků

l) všechny odchylky od předepsaného postupu a okolnosti, které by mohly ovlivnit výsledky

U vzorků nebyly nalezeny výrazné odchylky od předepsaného postupu. Všechny vzorky byly použity pro měření.

6 Interpretace výsledků zkoušky pevnosti ve smyku

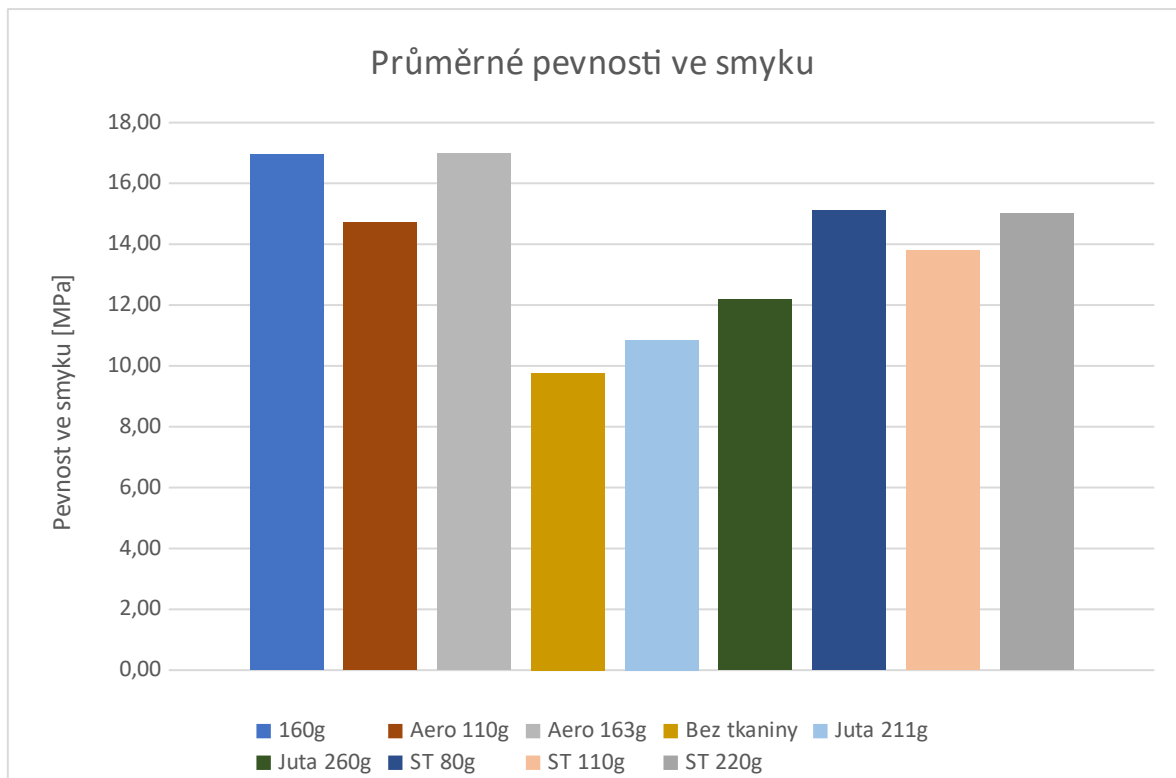
Zkouška pevnosti ve smyku tahovým namáháním u vzorků použitých v praktické části ukazují průměrné pevnosti ve smyku v grafu níže (graf 1.). Za prvé, lze pozorovat, že materiál Aero 163 g/m² a spoje s tkaninou 160 g/m² mají vysokou pevnost ve smyku, s průměrnou hodnotou 16,98 [MPa] u Aera 163 g/m², a 16,96 [MPa] u spoje s tkaninou 160 g/m². To znamená, že tento materiál je velmi odolný proti praskání při tažení.

Na druhou stranu, použití samotného lepidla bez tkaniny vykazuje nízkou pevnost ve smyku oproti výše zmíněným vzorkům s průměrnou hodnotou pevnosti ve smyku 9,77 [MPa]. Z toho můžeme sledovat, že tento materiál je mnohem méně odolný proti praskání při tažení.

Dále, juta 211 g/m² a juta 260 g/m² vykazují podobné výsledky, s průměrnou hodnotou pevnosti ve smyku 10,85 [MPa] pro jutu 211 g/m² a průměrnou hodnotou 12,19 [MPa] pro jutu 260 g/m². To znamená, že tyto dva materiály mají podobné pevnosti ve smyku, i když je juta 260 g/m² o něco odolnější.

Použité materiály ST 80 g/m², ST 110 g/m² a ST 220 g/m² vykazují pevnost ve smyku s průměrnými hodnotami 15,12 [MPa], 13,79 [MPa] a 15,02 [MPa]. To naznačuje, že materiály ST jsou také vhodné pro použití v aplikacích, které vyžadují vysokou pevnost při tahové zátěži.

Celkově můžeme předpokládat, že v závislosti na konkrétní aplikaci je třeba zvážit pevnostní vlastnosti jednotlivých materiálů při výběru vhodného materiálu pro danou aplikaci.



Graf 1. Průměrná pevnost ve smyku, [zdroj autor]

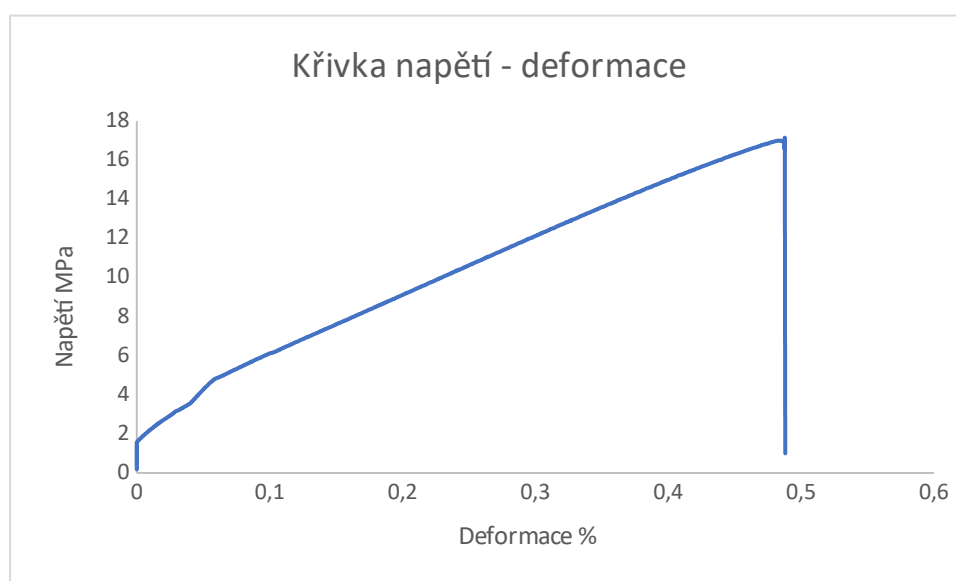
6.1 Analýza konkrétních vzorků

6.1.1 Skelná tkanina 160 g/m²

Zkušební vzorky, které byly vyztuženy pomocí skelné tkaniny s gramáží 160 g/m² měli průměrnou hodnotu pevnosti ve smyku 16,96 MPa se směrodatnou odchylkou 0,493 a variačním koeficientem 2,906 %. Graf zobrazený níže (graf 2.) znázorňuje průběh pomocí tzv. Stress – strain křivky. Dále z přiloženého obrázku (obrázek 19.) bylo zjištěno, že u spoje došlo ke kohezivnímu porušení.



Obrázek 19. Skelná tkanina 160 g/m²; [zdroj autor]



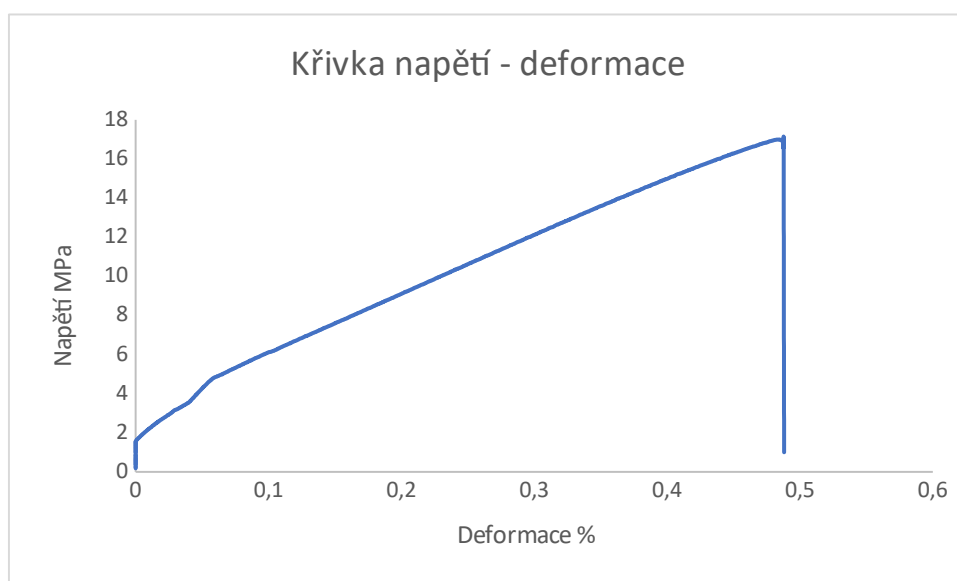
Graf 2. Graf závislosti napětí a deformace skelné tkaniny 160 g/m², [zdroj autor]

6.1.2 Aero 110 g/m²

Vzorky s použitou skelnou tkaninou Aeroglass s gramáží 110 g/m² měli průměrnou hodnotu napětí ve smyku 14,72 MPa s hodnotou směrodatné odchylky 0,879 a variačním koeficientem 2,906 %. Graf 3. znázorňuje průběh měření a z obrázku 20. je patrné opět porušení uvnitř tkaniny nebo lepidla.



Obrázek 20. Aero 110 g/m²; [zdroj autor]



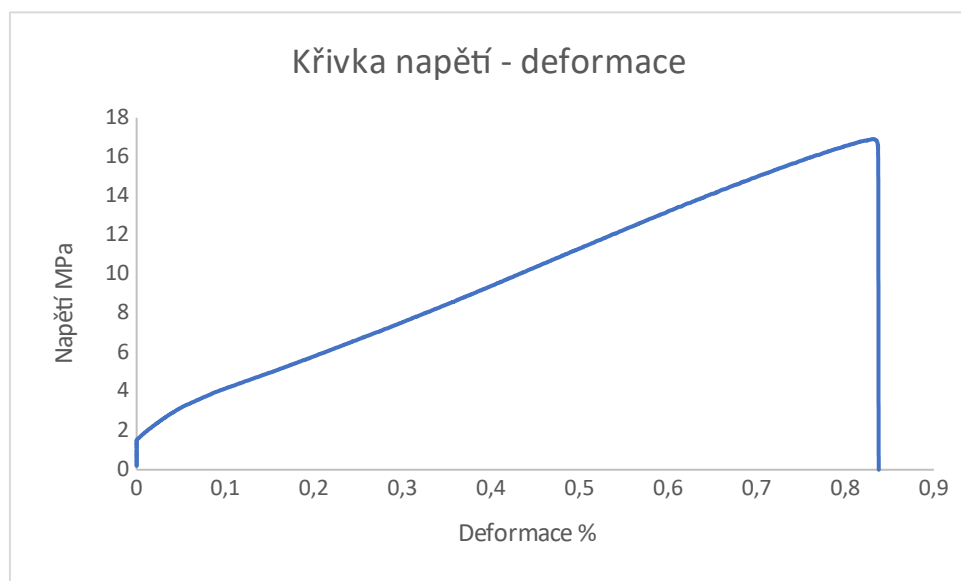
Graf 3. Graf závislosti napětí a deformace Aero 160 g/m², [zdroj autor]

6.1.3 Aero 163 g/m²

U dalších vzorků s použitím tkaniny opět od výrobce Aeroglass s gramáží 163 g/m² bylo dosaženo průměrné pevnosti ve smyku 16,98 MPa s hodnotou směrodatné odchylky 0,656 a variačním koeficientem 3,862 %. Grafu 4. znázorňuje průběh napětí a deformace. Obrázek 21. ukazuje, že u vzorků došlo k porušení adhezivně-kohezivnímu, které znamená, že došlo k porušení jak mezi lepidlem a tkaninou, tak uvnitř tkaniny nebo lepidla.



Obrázek 21. Aero 163 g/m²; [zdroj autor]



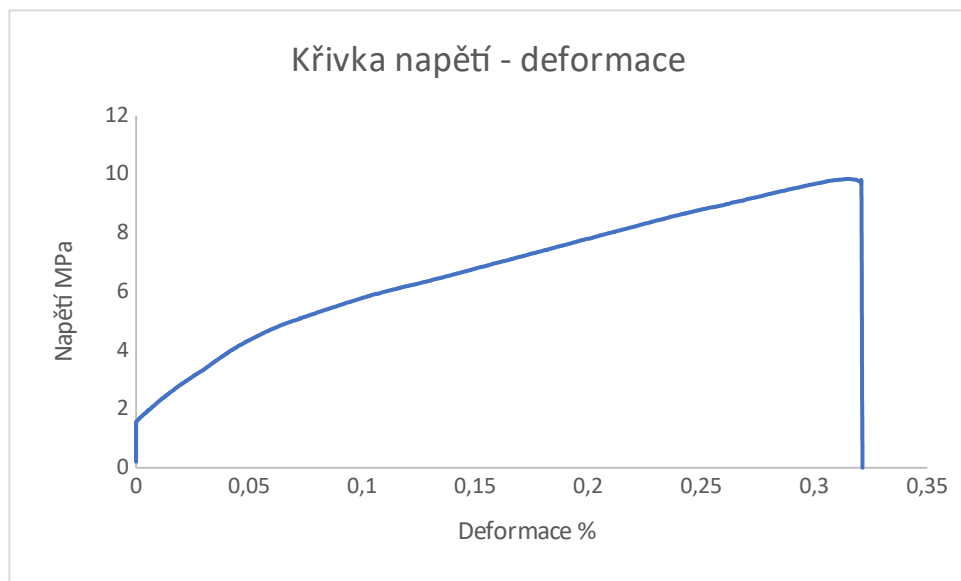
Graf 4. Graf závislosti napětí a deformace Aero 163 g/m²; [zdroj autor]

6.1.4 Lepený spoj bez tkaniny

Vzorky, které nebyly vyztuženy pomocí tkanin a byly spojeny pouze pomocí epoxidové pryskyřice vykazovaly nižší hodnoty pevnosti ve smyku oproti zkušebním vzorkům vyztužených tkaninami. Průměrná hodnota pevnosti ve smyku byla 9,77 MPa s hodnotou směrodatné odchylky 0,604 a variačním koeficientem 6,179 %. Graf 5. vykresluje křivku průběh deformace v závislosti na napětí. Obrázek 22. znázorňuje, že k porušení došlo jak na pomezí lepidla a materiálu, tak uvnitř lepidla nebo materiálu.



Obrázek 22. Spoj bez použití tkaniny; [zdroj autor]



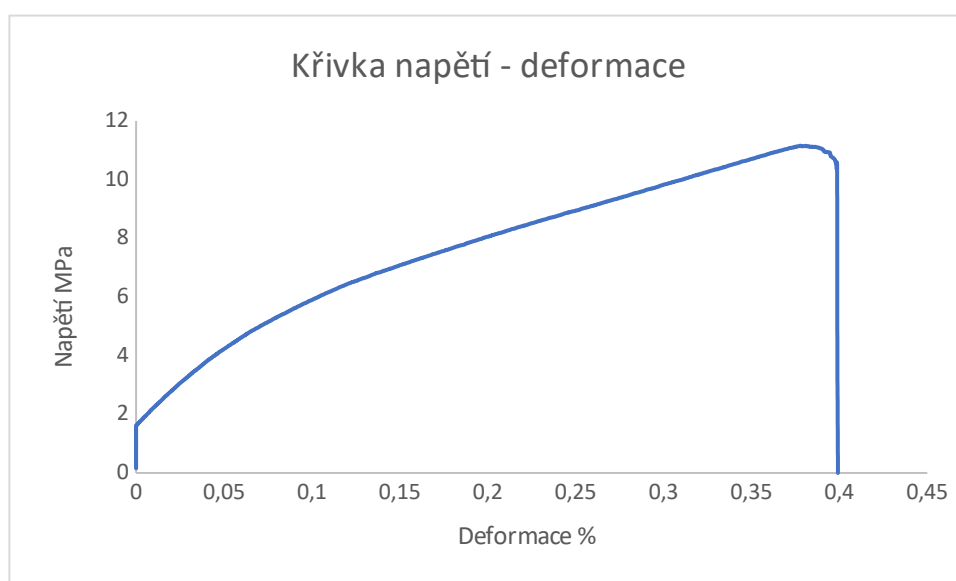
Graf 5. Graf závislosti napětí a deformace spoj bez tkaniny, [zdroj autor]

6.1.5 Juta 211 g/m²

Spoje vyztužené pomocí jutové tkaniny s gramáží 211 g/m² dosahovaly průměrné pevnosti ve smyku 10,85 MPa se směrodatnou odchylkou 0,970 a variačním koeficientem 8,940 %. Graf 6. opět znázorňuje průběh měření a obrázek 23. znázorňuje, že u spojů došlo k adhezivnímu porušení, to znamená, že vazba mezi lepidlem a tkaninou byla slabá, a to mělo za následek oddělení tkaniny od lepidla.



Obrázek 23. Juta 211 g/m²; [zdroj autor]



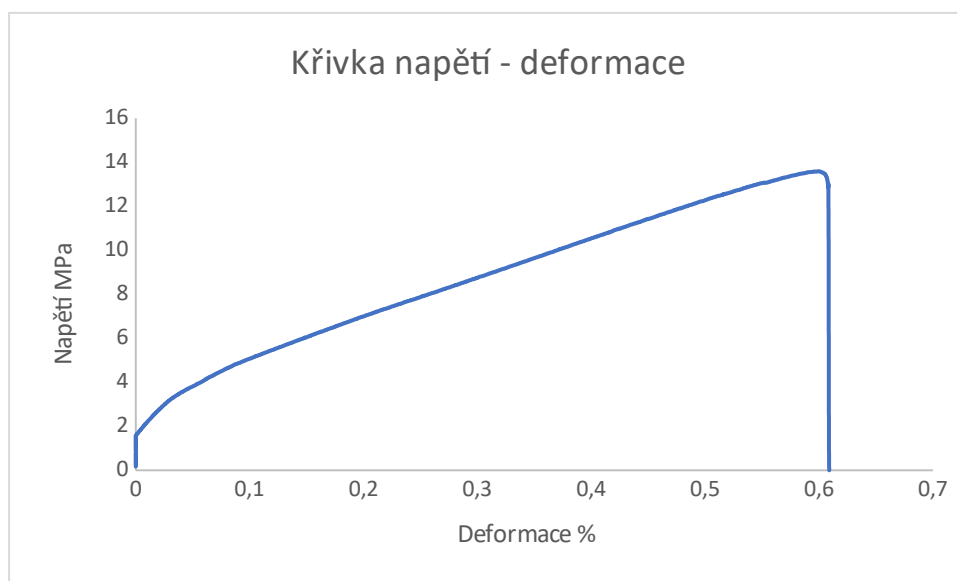
Graf 6. Graf závislosti napětí a deformace Juta 211 g/m², [zdroj autor]

6.1.6 Juta 260 g/m²

Další vzorek také obsahuje jutovou tkaninu, nyní ale o gramáži 260 g/m². Průměrná hodnota pevnosti zde dosahovala trochu vyšší hodnoty a to 12,19 MPa se směrodatnou odchylkou 1,904 a variačním koeficientem 15,617 %. Obrázek 24. znázorňuje, že u spojů došlo k porušení jak mezi lepidlem a tkaninou, tak uvnitř tkaniny nebo lepidla. Graf 7. nám zobrazuje závislost napětí a deformace pro vzorky s použitím této přírodní tkaniny.



Obrázek 24. Juta 260 g/m²; [zdroj autor]



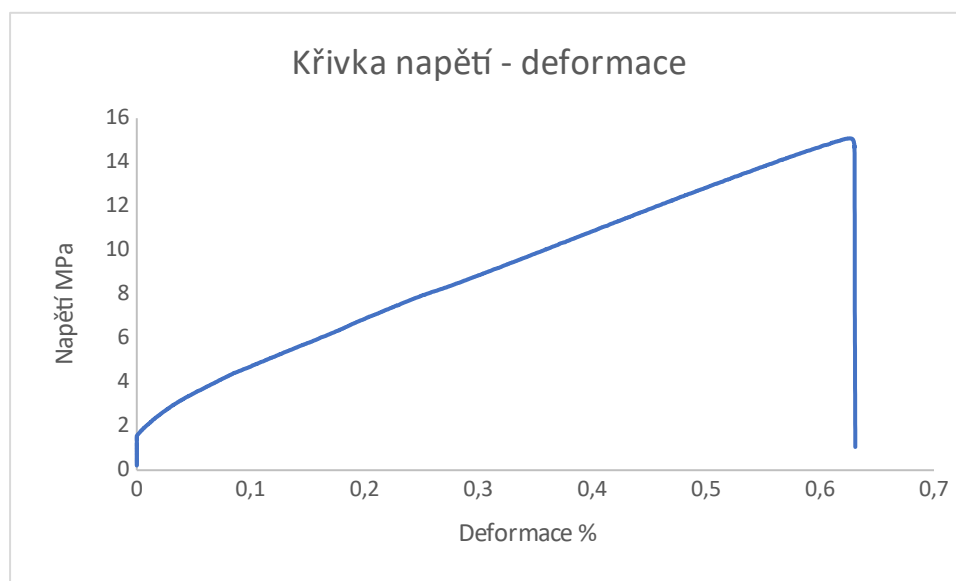
Graf 7. Graf závislosti napětí a deformace Juta 260 g/m², [zdroj autor]

6.1.7 ST 80 g/m²

Další vzorky obsahovaly jako výztuž opět skelnou tkaninu tentokrát o gramáži 80 g/m². Průměrná hodnota pevnosti ve smyku dosahovala hodnoty 15,12 MPa a směrodatnou odchylku 0,875 a variační koeficient 5,789 %. Graf 8. opět znázorňuje průběh měření a obrázek 25. naznačuje, že u spojů docházelo ke kohezivnímu porušení, tedy k porušení uvnitř tkaniny nebo lepidla.



Obrázek 25. ST 80 g/m²; [zdroj autor]



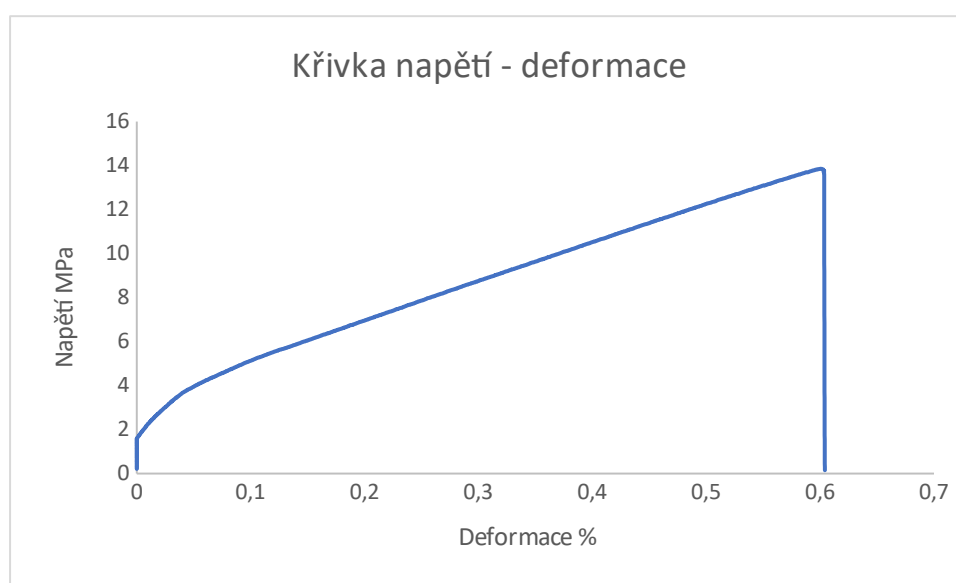
Graf 8. Graf závislosti napětí a deformace ST 80 g/m², [zdroj autor]

6.1.8 ST 110 g/m²

Vzorky vyztuženy pomocí skelné tkaniny o gramáži 110 g/m² dosahovaly průměrné hodnoty pevnosti ve smyku 13, 79 MPa, směrodatnou odchylku 1,065 a variační koeficient 7,726 %. Tyto spoje se také porušily kohezivně (obrázek 26.), to ukazuje, že došlo k porušení uvnitř tkaniny nebo lepidla. Graf 9. znázorňující průběh měření nalezneme níže.



Obrázek 26; ST110 g/m²; [zdroj autor]



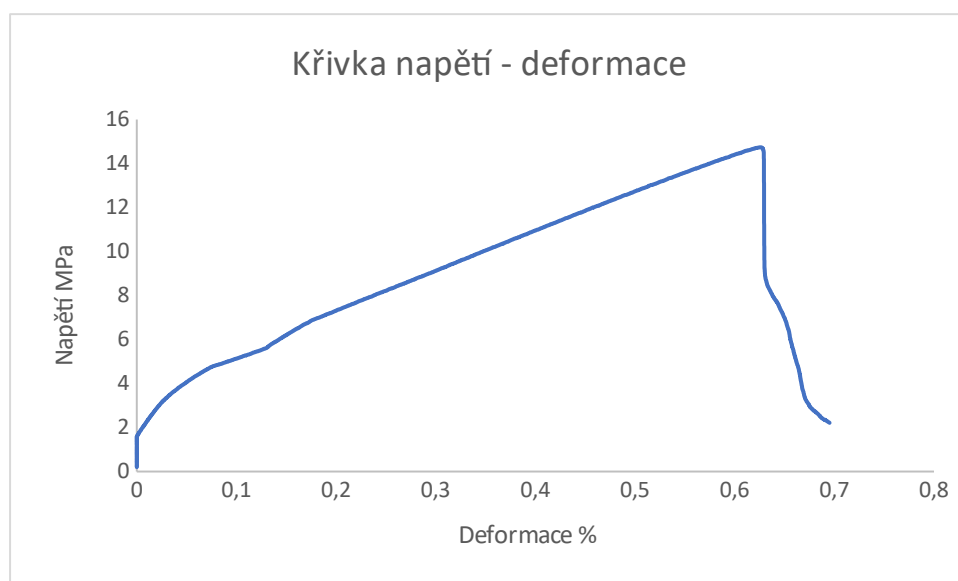
Graf 9. Graf závislosti napětí a deformace ST 110 g/m², [zdroj autor]

6.1.9 ST 220 g/m²

Poslední vzorky obsahující skelnou tkaninu o gramáži 220 g/m² dosahovaly průměrné pevnosti ve smyku 15,02 MPa a směrodatnou odchylku 1,078 a variační koeficient 7,182 %. Z obrázku 27. je patrné, že došlo k adhezivně-kohezivnímu porušení. Graf 10. zobrazuje průběh měření.



Obrázek 27. ST220 g/m²; [zdroj autor]



Graf 10. Graf závislosti napětí a deformace ST 220 g/m², [zdroj autor]

6.2 Výsledky měření

Z analýzy a porovnání vyplývá, že hybridní spoje s tkaninou vykazují lepší výkonnost než spojení bez tkaniny. Dobré výsledky dosáhly spoje Aero 160 g/m² a Aero 163 g/m², které dosahovaly nejvyšších hodnot pevností ve smyku.

Spojení bez tkaniny mělo nižší průměrnou pevnost ve smyku, to naznačuje, že přítomnost tkaniny výrazně zlepšuje vlastnosti hybridních spojů v automobilovém průmyslu. Toto spojení se porušilo adhezivně-kohezivně a může značit slabší vazbu mezi lepidlem a materiálem.

Je také důležité poznamenat, že mezi různými tkaninami se hodnoty pevnosti ve smyku hybridních spojů odlišují. Aero 160 g/m² a Aero 163 g/m² dosáhly vysokých hodnot pevnosti ve smyku, zatímco ostatní tkaniny, jako Juta (211 g/m² a 260 g/m²) a ST (80 g/m², 110 g/m² a 220 g/m²), vykazovaly menší průměrné pevnosti ve smyku. Toto

porovnání může být užitečné při výběru vhodného materiálu pro konkrétní aplikace v automobilovém průmyslu.

Výsledky analýzy naznačují, že hybridní spoje s tkaninou mají značný potenciál pro využití v automobilovém průmyslu. Tkaniny zlepšují pevnost a odolnost spojení ve srovnání s použitím samotného lepidla. Výběr vhodné tkaniny, lepidla a způsobu spojení, který zohledňuje způsob porušení, by mohly vést k dalšímu zlepšení výkonnosti hybridních spojů a jejich širšímu uplatnění v automobilovém průmyslu.

Tabulka 1. znázorněna níže obsahuje vypočtené hodnoty použité v analýzách a porovnávání konkrétních vzorků.

	FH[N] Pevnost v tahu	AH[%] Prodloužení při trhání v tahu	FB[N] Maximální tlakové napětí	AB[%] Prodloužení při trhání v tlaku	t[s]	Průměrná kontrola délky překladače (mm)	Plocha (mm)	Mez pevnosti (MPa)	Průměr meze pevnosti (Mpa)	Směrodatná odchylka meze pevnosti	Variační koeficient meze pevnosti (%)
160g	5281,2	3,11	4388,6	3,12	46,87	12,73	318,25	16,59	16,96	0,493	2,906
	5064,1	3,17	3728,4	3,18	47,79	12,64	316	16,03			
	5630,15	3,3	4495,5	3,33	50,01	13,12	328	17,17			
	5697,15	3,5	5583,9	3,52	52,87	13,15	328,75	17,33			
	5693	3,34	5467,05	3,37	50,67	13,05	326,25	17,45			
	5542,95	3,42	865,2	3,5	52,55	12,94	323,5	17,13			
	5447,4	3,1	5296,45	3,12	46,91	12,82	320,5	17,00			
Aero 110g	4549,55	2,92	3671,1	2,95	44,4	12,67	316,75	14,36	14,72	0,879	5,971
	4805,45	2,96	3394,15	2,97	44,7	12,74	318,5	15,09			
	4088,7	2,44	2797,35	2,46	37	12,45	311,25	13,14			
	5012,05	3,39	4246,05	3,41	51,26	12,93	323,25	15,51			
	4776,05	2,72	3249,3	2,74	41,14	12,7	317,5	15,04			
	4498,35	2,35	3495,8	2,36	35,49	12,63	315,75	14,25			
	5115,6	3,19	4139,65	3,21	48,22	13,05	326,25	15,68			
Aero 163g	5096,75	2,54	4691,6	2,56	38,41	12,71	317,75	16,04	16,98	0,656	3,862
	5588,6	3,1	4301,95	3,13	46,94	12,97	324,25	17,24			
	5953,1	3,05	3803,75	3,07	46,09	13,27	331,75	17,94			
	5421,9	2,92	5127,8	2,95	44,35	13,18	329,5	16,45			
	5784,15	3,38	4526,55	3,4	51,03	13,25	331,25	17,46			
	5668,65	2,98	4278,15	3	45,07	13,22	330,5	17,15			
	5283,15	2,62	5105,65	2,64	39,59	12,75	318,75	16,57			
Bez tkaniny	2856,6	1,2	2747,5	1,21	18,21	12,52	313	9,13	9,77	0,604	6,179
	2888,45	1,04	2224,65	1,04	15,7	12,57	314,25	9,19			
	3350,15	1,51	2416,3	1,52	22,85	12,87	321,75	10,41			
	3145,5	1,29	2641,2	1,33	19,91	12,77	319,25	9,85			
	3150,45	1,17	2860,5	1,2	18,04	12,8	320	9,85			
	2939,95	1,04	2934,7	1,04	15,59	12,63	315,75	9,31			
	3453,15	1,24	2878,2	1,25	18,78	12,95	323,75	10,67			
Juta 211g	3576,9	1,54	2497,95	1,61	24,13	12,53	313,25	11,42	10,85	0,970	8,940
	3183,4	1,27	2965,75	1,29	19,46	12,39	309,75	10,28			
	3513,55	1,5	3062,4	1,57	23,59	12,47	311,75	11,27			
	3137,95	1,4	2518,45	1,42	21,41	12,36	309	10,16			
	2882,1	1,34	2606,25	1,39	20,85	12,3	307,5	9,37			
	3469,25	1,42	3084	1,49	22,45	12,44	311	11,16			
	3863,3	1,93	2653,1	1,99	29,86	12,58	314,5	12,28			
Juta 260g	3591,6	1,97	3190,9	2	30,05	12,57	314,25	11,43	12,19	1,904	15,617
	4796,3	2,55	3948,6	2,57	38,62	12,82	320,5	14,97			
	3531,8	1,55	3382,8	1,57	23,53	12,52	313	11,28			
	3064,05	1,53	2286,15	1,54	23,2	12,37	309,25	9,91			
	4315,8	2,24	2774,1	2,28	34,2	12,7	317,5	13,59			
	4374,25	2,22	4272,6	2,23	33,53	12,74	318,5	13,73			
	3249,6	1,57	2691	1,6	23,99	12,46	311,5	10,43			
ST 80g	4781,1	2,57	3219,15	2,59	38,91	12,78	319,5	14,96	15,12	0,875	5,789
	4848,6	2,34	4362,6	2,36	35,4	12,86	321,5	15,08			
	4615,45	2,31	3956,9	2,33	35,04	12,68	317	14,56			
	5510,55	3,23	5162,15	3,25	48,88	12,93	323,25	17,05			
	4751,95	2,79	4596,85	2,8	42,09	12,76	319	14,90			
	4595,5	2,42	3415,2	2,44	36,57	12,64	316	14,54			
	4681,9	2,84	3411,85	2,86	42,92	12,72	318	14,72			
ST 110g	3627,9	1,73	1032,15	1,76	26,48	12,52	313	11,59	13,79	1,065	7,726
	4416,6	2,35	4218,6	2,36	35,5	12,6	315	14,02			
	4367,85	1,84	1191,65	1,85	27,78	12,58	314,5	13,89			
	4814,55	2,72	3615,65	2,74	41,13	12,75	318,75	15,10			
	4339,9	2,25	3260,4	2,26	33,97	12,53	313,25	13,85			
	4345,15	1,69	3725,1	1,7	25,59	12,55	313,75	13,85			
	4478,35	2,15	3946,35	2,16	32,5	12,61	315,25	14,21			
ST 220g	4649,5	2,34	699,25	2,6	39,09	12,62	315,5	14,74	15,02	1,078	7,182
	4026,4	2,22	833,9	2,24	33,66	12,47	311,75	12,92			
	5020,05	2,61	805,35	2,81	42,23	12,77	319,25	15,72			
	4900,45	2,45	736,95	2,74	41,11	12,71	317,75	15,42			
	4568,1	2,2	686	2,48	37,18	12,57	314,25	14,54			
	5177,1	2,9	3857,75	2,91	43,77	12,88	322	16,08			
	5030,9	2,92	781,55	3,23	48,51	12,82	320,5	15,70			

Tabulka 1. Výsledky měření, vlastní zpracování

7 Závěr

Diplomová práce se zaměřila na výzkum hybridních lepených spojů v oblasti konstrukce automobilů a jejich přínos pro automobilový průmysl.

Z výsledků vyplývá, že hybridní lepené spoje s tkaninou představují vhodnou volbu pro výrobu automobilů, zejména díky lepší výkonnosti oproti spojením bez tkaniny. Tkaniny jako Aero 160 g/m² a Aero 163 g/m² mají dobré výkonnost, to může být užitečné při výběru vhodného materiálu pro konkrétní aplikace v automobilovém průmyslu.

Použití hybridních lepených spojů v automobilovém průmyslu má potenciál přinést pozitivní dopady z ekologického hlediska. Vzhledem k tomu, že lepené spoje vyžadují méně mechanických částí, mohou snížit hmotnost vozidel, a to vede k nižší spotřebě paliva a emisím. Navíc, díky použití materiálů jako je Juta, která je obnovitelným zdrojem, mohou hybridní spoje přispět k udržitelnosti automobilového průmyslu.

Oproti jiným metodám spojů, jako jsou svařování nebo šroubování, nabízí hybridní lepené spoje možnost snížení nákladů na výrobu a údržbu vozidel. Lepení umožňuje rychlejší a jednodušší montáž a demontáž, tím se může zkrátit doba výroby a snížit náklady.

Ekonomické hledisko je také důležitým faktorem při zvažování použití hybridních lepených spojů v automobilovém průmyslu. Snižování nákladů na výrobu a údržbu vozidel může vést ke konkurenceschopnějším cenám pro spotřebitele a k většímu zájmu o automobily s těmito spoji.

Vzhledem k výsledkům diplomové práce lze konstatovat, že hybridní lepené spoje představují inovativní a udržitelnou alternativu k tradičním metodám spojování v automobilovém průmyslu. Výsledky této práce mohou být přínosné při vývoji nových konstrukcí a technologií s cílem dosahovat lepších výkonů, udržitelnosti a konkurenceschopnosti.

Rozšířením práce v těchto oblastech by se mohlo přispět k hlubšímu porozumění problematice hybridních lepených spojů a jejich potenciálním přínosům pro automobilový průmysl i dalším odvětví. Navíc by se mohly objevit nové příležitosti pro vývoj inovativních materiálů a technologií, které by mohly zlepšit výkonnost, udržitelnost a konkurenceschopnost výrobků.

V neposlední řadě by se mohla zkoumat možnost vytvoření inteligentních hybridních lepených spojů, které by mohly například poskytovat informace o svém stavu či zatížení, a tak přispět k bezpečnosti a spolehlivosti vozidel.

Studium vlivu prostředí a stárnutí na hybridní lepené spoje: Výzkum by mohl zkoumat vliv různých podmínek prostředí, jako jsou vlhkost, teplota nebo UV záření, na životnost a výkonnost hybridních lepených spojů, a tak lépe předvídat jejich dlouhodobé chování.

Výsledky této práce a možné rozšíření výzkumu nabízí široké spektrum příležitostí pro další studium a aplikaci hybridních lepených spojů, což může přinést pozitivní dopady z hlediska ekologie, ekonomiky a konkurenceschopnosti automobilových výrobců.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] Davies G., Materials for Automobile Bodies, Elsevier Science & Technology, 2012, ISBN 9780080969794
- [2] Rowe J.D., Advanced Materials in Automotive Engineering, Elsevier Science & Technology, 2012, [online], [cit. 2023-03-26], Dostupné z <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=1575031>
- [3] Baluch N., Udin Z. M., Abdullah C. S., “Advanced High Strength Steel in Auto Industry: an Overview”, 2014, [online], [cit. 2023-03-29], Dostupné z <https://doi.org/10.48084/etasr.444>
- [4] Davis J.R., Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance (Matsci), 2001, ISBN 978-0871707000
- [5] Demeri M.Y., Advanced High-Strength Steels: Science, Technology, and Applications, 2013, ISBN 978-1627080057
- [6] Cole G.S., Sherman A.M., Light weight materials for automotive applications, Volume 35, 1995, [online], [cit. 2023-03-28], Dostupné z [https://doi.org/10.1016/1044-5803\(95\)00063-1](https://doi.org/10.1016/1044-5803(95)00063-1)
- [7] Composite Materials for Automotive Applications, 2018, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/Composite%20-%20Automotive%20Brochure.pdf>
- [8] Chawla K.K., Composite Materials, 2016, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74365-3>
- [9] Elmarakbi A., Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness, 2013, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1002/9781118535288.fmatter>
- [10] Kainer K.U., Magnesium Alloys and Their Applications, 2000, ISBN 978-3527302826
- [11] Gupta M., Ling S.N.M., Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites, 2010, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1002/9780470905098.fmatter>
- [12] Ebnesajjad S., Landrock A.H., Adhesives Technology Handbook, 2015, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35595-7.00021-8>
- [13] Ebnesajjad S., Handbook of Adhesives and Surface Preparation, 2011, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-4461-3.10020-3>
- [14] Skeist I., Handbook of Adhesives, 2012, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0671-9>

- [15] Possart Prof.Dr.W., Adhesion: Current Research and Applications, 2005, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z <https://doi.org/10.1002/3527607307.fmatter>
- [16] Khan A., Rangappa S.M., Siengchin S., Biofibers and Biopolymers for Biocomposites: Synthesis, Characterization and Properties, 2020, ISBN 978-3030403027
- [17] Adams R.D., Structural Adhesive Joints in Engineering, 2011, ISBN 978-9401089777
- [18] Petrie E.M., Handbook of adhesives and sealants, [online], [cit. 2023-03-21], Dostupné z <https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Handbook%20of%20Adhesives%20and%20Sealants.pdf>
- [19] Pocius A.V., Adhesion and Adhesives Technology, 2012, [online], [cit. 2023-03-21], Dostupné z <https://doi.org/10.3139/9783446431775.fm>
- [20] Pizzi A., Mittal K.L., Handbook of Adhesive Technology, 2003, [online], [cit. 2023-03-14], Dostupné z <https://polymerinnovationblog.com/wp-content/uploads/2015/02/handbook-of-adhesive-technology.pdf>
- [21] Adams R.D., Adhesive Bonding, 2021, [online], [cit. 2023-03-21], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819954-1.09991-3>
- [22] Cognard P., Handbook of Adhesives and Sealants, 2005, [online], [cit. 2023-03-21], Dostupné z [https://doi.org/10.1016/S1874-5695\(02\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S1874-5695(02)80001-X)
- [23] Kinloch A.J., Adhesion and Adhesives, 2012, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7764-9>
- [24] Cloud G.L., Patterson E., Backman D., Joining Technologies for Composites and Dissimilar Materials, Volume 10, ISBN: 978-3-319-42426-2
- [25] Leng J., Du S., Shape-Memory Polymers and Multifunctional Composites (1st ed.), 2010, CRC Press, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1201/9781420090208>
- [26] Silva L.F.M., Öchsner A., Adams R.D., Handbook of Adhesion Technology, 2011, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01169-6>
- [27] ČSN EN 13887, Konstrukční lepidla-Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením., Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [28] Vasiliev V., Morozov, E. Advanced mechanics of composite materials and structures. Amsterdam: Elsevier, 2013, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098231-1.00010-8>,
- [29] Wegman R.F., Twisk J.V., Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding (Second Edition), 2013, [online], [cit. 2023-03-14], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3126-8.00011-7>

- [30] Cagle C.V., Handbook of Adhesive Bonding, 1982, ISBN 978-0070095885
- [31] Stauber R., Plastics in automotive engineering. ATZ worldwide. 2007, [online], [cit. 2023-03-27], Dostupné z: <https://doi:10.1007/BF03224916>
- [32] Mann D., Bos J.C.V., Way A., Automotive Plastics and Composites, 1999, [online], [cit. 2023-03-29], Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-185617349-0/50002-7>
- [33] Lees W.A., Adhesives in Engineering Design, 2013, [online], [cit. 2023-03-29], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-3-662-11032-4>
- [34] ČSN EN 1465, Lepidla-Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přepřátovaných lepených soustav., Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2009.
- [35] Briš P., Kuběna J., Štrkaň J., Lepení v praxi, Praha: Grada Publishing, 2017.
- [36] Silva L.F.M., Pirondi A., Öchsner A., Hybrid Adhesive Joints, 2011, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16623-5>
- [37] Horrocks A.R., Anand S.C., Handbook of Technical Textiles, 2016, [online], [cit. 2023-03-25], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-458-1.10000-7>
- [38] Cargroup, [online], [cit. 2023-03-30], Dostupné z https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2019/10/Technology-Roadmap_Materials-and-Manufacturing.pdf
- [39] Havel-composites, [online], [cit. 2023-03-30], Dostupné z <https://havel-composites.com/uploads/files/products/335/2bf05fdb434cf27e38cd1554c43a9a4792aa4db.pdf>
- [40] Kamke F.A., Nairn J.A., Advances in Structural Adhesive Bonding (Second Edition), 2023, [online], [cit. 2024-03-22], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91214-3.00001-6>
- [41] Kelly G., Quasi-static strength and fatigue life of hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints, 2006, [online], [cit. 2024-03-22], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.11.002>
- [42] Lim G.H., Bodjona K., Raju K.P., Fielding S., Romanov V., Lessard, L., Evolution of mechanical properties of flexible epoxy adhesives under cyclic loading and its effects on composite hybrid bolted/bonded joint design. Composite Structures, [online], [cit. 2024-03-22], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.01.049>
- [43] European Aluminium Association, THE ALUMINIUM MANUAL, 2011, [online], [cit. 2024-03-18], Dostupné z https://www.european-aluminium.eu/media/1515/10-hybridjoining-techniques_2015.pdf

- [44] Kolář V., Müller M., Mishra R., Rudawska A., Šleger V., Tichý M., Hromasová M., Valášek P., Quasi-Static Tests of Hybrid Adhesive Bonds Based on Biological Reinforcement in the Form of Eggshell Microparticles. *Polymers* 2020, [online], [cit. 2024-03-21], Dostupné z <https://doi.org/10.3390/polym12061391>
- [45] Omar F., Bledzki A.K., Peter F.H., Mohini S., Biokompozity vyztužené přírodními vlákny, [online], [cit.2024-03-22], Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>
- [46] Juta-e-shop, [online], [cit. 2024-03-24], Dostupné z <https://juta-eshop.cz/jak-zachazet-s-jutou/>
- [47] Školatextilu, [online], [cit.2024-03-20], Dostupné z <https://www.skolertextilu.cz/elearning/459/textilni-terminologie-zboziznalstvi/vlakna-prize-a-nite/Vlakna-ze-stonku-len-konopi-juta-ramie.html>
- [48] Modernatex, [online], [cit.2024-03-24], Dostupné z <https://modernatex.cz/jutova-latka/>
- [49] Re-art, [online], [cit.2024-03-25], Dostupné z https://www.re-art.cz/skelna-tkanina-80g-m-5-m--/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw5ImwBhBtEiwAFHDZx-3BzgMiX3fiHmEqF5aG5EropcLdBq97jpAU6PSOgE2qCcAn1xxjxhoChY8QAvD_BwE
- [50] Bevedo, [online], [cit.2024-03-20], Dostupné z <https://www.bevedo.cz/napoveda/clanky/skelna-vlakna/>
- [51] Ssxg fiberglass, [online], [cit.2024-03-24], Dostupné z <https://cz.ssxg fiberglass.com/info/composition-and-performance-of-glass-fiber-60507727.html>
- [52] Element-shop, [online], [cit.2024-03-24], Dostupné z <https://www.element-shop.cz/skelne-tkaniny-kepr/skelna-tkanina-aeroglass-110-g-m2-kepr-2-2--33tex--16x15-cm--s--100-cm/>
- [53] Adhesion Science:Types of Adhesive Failure Modes, [online], [cit. 2024-03-20], Dostupné z <https://www.linkedin.com/pulse/adhesion-sciencetypes-adhesive-failure-modes-ashish-lokhande-yephf/>
- [54] Gneesteel, [online], [cit.2024-03-26], Dostupné z <https://www.gneesteel.com/cs/products/steel-plate/carbon-steel/s235j0-steel-plate.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1. Materiály pro výrobu komponent vozidla, [38], vlastní zpracování.....	2
Obrázek 2. Zkouška tahem, [40].....	12
Obrázek 3. Zkouška odloupením, vlastní zpracování.....	13
Obrázek 4. Zkouška pevnosti ve smyku tahovým namáháním, 1. Zkušební těleso, 2. Čelisti přístroje, 3. Vyrovnávací podložka, vlastní zpracování.....	14
Obrázek 5. SEM snímky lomového povrchu: (A)- adhezivní/kohezivní lomový povrch adhezivního spoje (MAG 1,30 kx), (B)- detailní pohled na adhezivní/kohezivní lomový povrch a rozhraní pryskyřice a plniva a detailní pohled na povrch plniva (MAG 25,00 kx), (C)- kohezivní výplň lomu a detailní pohled na povrch výplně (MAG 8,88 kx), [44].....	17
Obrázek 6. Jutové vlákno, [47].....	20
Obrázek 7. Skelné tkaniny, [50].....	21
Obrázek 8. Epoxidové lepidlo, [zdroj autor].....	22
Obrázek 9. Tryskací komora PK-ITB 65, [zdroj autor].....	23
Obrázek 10. Vzorky po zdrsnění povrchu, [zdroj autor].....	23
Obrázek 11. Příprava lepidla, [zdroj autor].....	24
Obrázek 12. Zatížení během vytvrzování, [zdroj autor].....	25
Obrázek 13. Tabulové padací nůžky NTC 2530/4, [zdroj autor].....	26
Obrázek 14. LabTest 5.50 ST, [zdroj autor].....	26
Obrázek 15. LT Test&Motion, [zdroj autor].....	27
Obrázek 16. Adhezivní porušení spoje, [53].....	29
Obrázek 17. Kohezní porušení spoje, [53].....	30
Obrázek 18. Adhezivně-kohezní porušení spoje, [53].....	30
Obrázek 19. Skelná tkanina 160 g/m ² ; [zdroj autor].....	33
Obrázek 20. Aero 110 g/m ² ; [zdroj autor].....	34
Obrázek 21. Aero 163 g/m ² ; [zdroj autor].....	35
Obrázek 22. Spoj bez použití tkaniny; [zdroj autor].....	36
Obrázek 23. Juta 211 g/m ² ; [zdroj autor].....	37
Obrázek 24. Juta 260 g/m ² ; [zdroj autor].....	38
Obrázek 25. ST 80 g/m ² ; [zdroj autor].....	39
Obrázek 26; ST110 g/m ² ; [zdroj autor].....	40
Obrázek 27. ST220 g/m ² ; [zdroj autor].....	41

Seznam tabulek

Tabulka 1. Výsledky měření, vlastní zpracování.....	54
---	----

Seznam grafů

Graf 1. Průměrná pevnost ve smyku, [zdroj autor].....	42
Graf 2. Graf závislosti napětí a deformace skelné tkaniny 160 g/m ² , [zdroj autor].....	43
Graf 3. Graf závislosti napětí a deformace Aero 160 g/m ² , [zdroj autor].....	44
Graf 4. Graf závislosti napětí a deformace Aero 163 g/m ² ; [zdroj autor].....	45
Graf 5. Graf závislosti napětí a deformace spoj bez tkaniny, [zdroj autor].....	46
Graf 6. Graf závislosti napětí a deformace Juta 211 g/m ² , [zdroj autor].....	47
Graf 7. Graf závislosti napětí a deformace Juta 260 g/m ² , [zdroj autor].....	48
Graf 8. Graf závislosti napětí a deformace ST 80 g/m ² , [zdroj autor].....	49
Graf 9. Graf závislosti napětí a deformace ST 110 g/m ² , [zdroj autor].....	50
Graf 10. Graf závislosti napětí a deformace ST 220 g/m ² , [zdroj autor].....	51

Seznam rovnic

Rovnice 1. Pevnost ve smyku.....	28
Rovnice 2. Aritmetický průměr.....	28
Rovnice 3. Směrodatná odchylka.....	28
Rovnice 4. Variační koeficient.....	28

Seznam příloh

Příloha 1. Technický list skelné tkaniny Aeroglass 110 g/m ² [39].....	63
Příloha 2. Technicko-aplikační list, [39].....	64
Příloha 3. Technicko-aplikační list, [39].....	65
Příloha 4. Technicko-aplikační list, [39].....	66
Příloha 5. Technický list tvrdidla P11[39].....	67
Příloha 6. Chemické a mechanické vlastnosti oceli S235J0 [54].....	68

9 Přílohy

Technický list

Skelná tkanina 110 g/m²
AEROGLOSS
plátno

Váha na jednotku plochy		110 +/- 10 g/m ²
Vazba		plátno
Okraje		stříhané
Hustota cm	osnova	16,0+/- -1
Hustota cm	útek	15,0+/- 1
Použitá lubrikace		Epoxidová kompatibilní
Pevnost v tahu N/50*200 mm	osnova	1226
	útek	1056
Šíře		100 +/- <u>1cm</u>
Délka / 1 role		100 +/- 2 cm
Doporučená skladovatelnost	teplota	Do 25 ° C
	vlhkost	Do 68 %
Nábal	Papírová dutinka	Vnitřní průměr 76 mm
Balení		Polyethylenová folie

Příloha 1. Technický list skelné tkaniny Aeroglass 110 g/m²[39]

CHS-EPOXY 324 EPOXY 1200

POPIS	Středněmolekulární epoxidová pryskyřice připravená reakcí bisfenolu A s epichlorhydrinem modifikovaná bezftalátovým změkčovadlem	
POUŽITÍ	K přípravě lepicích kompozic pro lepení kovů, skla, keramiky, porcelánu, eternitu, výrobků z močovinoformaldehydových pryskyřic a jiných materiálů, dále k přípravě stěrkových hmot a tmelů. Použití kovového prášku jako plniva způsobuje vodivost vytvrzené kompozice. Pryskyřice ani natužená směs před aplikací nesmí být zředována přidavkem jakéhokoliv rozpouštědla či ředidla.	
VLASTNOSTI	<i>Vzhled:</i>	nažloutlá až žlutá čirá silně viskózní kapalina
	<i>Hustota (20 °C):</i>	1,15 g.cm ⁻³
	<i>Viskozita (25 °C):</i>	20-60 Pa.s
	<i>Obsah epoxidových skupin (mol.kg⁻¹):</i>	3,0-3,4
	<i>Epoxidový hm. ekvivalent (g.mol⁻¹):</i>	290-330
	<i>Celkový obsah chloru (%):</i>	max. 0,5
	Neobsahuje VOC.	
PŘÍPRAVA POVRCHU	Povrch musí být suchý, čistý, odmaštěný a zbavený mechanických nečistot (prach po broušení, atd.), nejlépe mírně zdrsňený. Teplota podkladu by měla dosahovat 15–25 °C při max. 80% relativní vlhkosti vzduchu. Nevytvrzenou kompozici lze z povrchu nářadí umýt acetonem.	
TUŽENÍ		poměr hmotnostní/ poměr objemový
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdidlo P 11	100 : 7 100 : 8,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdidlo T 0492	100 : 16 100 : 19,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdidlo T 0503	100 : 30 100 : 34,5
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdidlo AN 2609	100 : 24 100 : 26
	CHS-Epoxy 324 : Tvrdidlo AN 2712	100 : 30 100 : 34,5
ZPRACOVÁNÍ	<ul style="list-style-type: none"> • Tvrdidlo P 11 je rychlé tvrdidlo s kratší dobou zpracovatelnosti. Vyznačuje se dolepem na povrchu po vytvrzení. Dolep lze odstranit omytím vodou nebo 3% roztokem kyseliny citronové. Vytvrzená kompozice zůstává transparentní. <i>Doba želatinace:</i> 30 – 50 min. při 23 °C (dle připraveného množství) <i>Nejnižší doporučená teplota zpracování:</i> 15 °C <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C <i>Plné vytvrzení:</i> 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C 1–2 dny při 23 ± 5 °C a dotvrzení 3 dny při 50–60 °C (infrazářiče) uzavřené nádoby: po 7 dnech vytvrzování se dotvrzuje při teplotě 23 ± 5 °C naplněním nádoby vlažnou vodou, jejíž teplota se postupně zvýší až na 60 °C a udržuje se 2–3 dny. • Tvrdidlo T 0492 snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu. <i>Doba želatinace:</i> 1 – 2 hodiny. při 23 °C (dle připraveného množství) <i>Vytvrzení:</i> 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C <i>Plné vytvrzení:</i> 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C • Tvrdidlo T 0503 snižuje vývin tepla při reakci, proto je vhodné použití tohoto tvrdidla za účelem prodloužení doby želatinace. Použití tvrdidla T 0503 umožňuje natužení a zpracování většího množství pryskyřice najednou. 	

 IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, www.sincolor.cz

 Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, prodej@dch-sincolor.cz
 K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, info@dch-sincolor.cz

1 / 3

Příloha 2. Technicko-aplikační list, [39]

CHS-EPOXY 324 EPOXY 1200

Vytvrzená kompozice je zabarvená do žluta a bez dolepu.
Doba želatinace: 45 - 70 min. při 23 °C (dle připraveného množství)
Vytvrzení: 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C
Plné vytvrzení: 7 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2609** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvrzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvrzování čistých pryskyřic ve větším množství. Pryskyřici je potřeba vrstvit. Vytvrzená kompozice je transparentní a bez dolepu.

Doba želatinace: 25 – 40 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)
Vytvrzení: 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C
Plné vytvrzení: 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **Tvrdidlo AN 2712** je rychlé tvrdidlo vhodné k vytvrzování za snížené teploty (do 5 °C). Vzhledem ke své zvýšené reaktivitě není vhodné pro vytvrzování čistých pryskyřic ve větším množství. Pryskyřici je potřeba vrstvit. Vytvrzená kompozice je nažloutlá, čirá a bez dolepu.

Doba želatinace: 25 – 40 minut. při 23 °C (dle připraveného množství)
Vytvrzení: 24 hodin při teplotě 23 ± 5 °C
Plné vytvrzení: 5 dní při teplotě 23 ± 5 °C

- **UPOZORNĚNÍ**

POZOR! Při aplikaci je třeba zajistit takové teplotní podmínky, aby nedošlo k vysrážení vlhkosti na povrchu natíraného předmětu (rosný bod). Větráním je nutné omezit případný výskyt kyselých plynů a par (např: CO₂), které reagují s tužidlem a znemožňují dokonalé vytvrzení materiálu.

POZOR! Natužením velkého množství pryskyřice dochází k vývinu tepla a tím ke zkrácení doby zpracovatelnosti!

- **UŽITNÉ VLASTNOSTI**

<i>Vytvrzený spoj dobře odolává:</i>	30% kyselině sírové a chlorovodíkové 5–10% hydroxidu sodnému 30% hydroxidu amonnému (čpavku) benzinu, oleji
<i>Vytvrzený spoj částečně poškozují:</i>	voda, alkoholy, aromatické uhlovodíky
<i>Vytvrzený spoj narušují:</i>	aceton, chlorové uhlovodíky
<i>Lineární smrštění (dle ČSN EN 12617-3):</i>	po 24 h /23 °C max. 0,5 % po 120 h /23 °C max. 0,5 %
<i>Přidržitost k podkladu (dle ČSN EN ISO 4624):</i>	6,25 MPa
<i>Vodotěsnost (dle ČSN EN 12390-8):</i>	0 l.m ⁻² za 30 minut

- **BALENÍ**

Set 110g, set 268 g, set 535 g, set 1,07 kg a set 10,7 kg (v setu s Tvrdidlem P11).
 Obaly 10 kg, 50 kg, 200 kg. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.

- **SKLADOVÁNÍ**

24 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech za teploty 15–25 °C. Nevystavovat přímému slunečnímu záření.

- **BEZPEČNOST**

Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.

- **DOKUMENTACE**

Bezpečnostní list	Stavební-technické osvědčení
Protokol o ověření shody typu výrobku	Prohlášení o shodě

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, www.sincolor.cz

Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, prodej@dch-sincolor.cz

K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, info@dch-sincolor.cz

2 / 3

**CHS-EPOXY 324
EPOXY 1200**

-
- **ODVOLÁNÍ** Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti
-
- **DATUM VYDÁNÍ** 26.10.2006
 - **DATUM REVIZE** 1.9.2013
-

IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, www.sincolor.czPlzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, prodej@dch-sincolor.czK. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, info@dch-sincolor.cz

3 / 3

Příloha 4. Technicko-aplikační list, [39]

Tvrdidlo P 11

Tvrdidlo pro epoxidové pryskyřice a Eprosiny

• POPIS	Směs technických polyalkylen polyaminů, obsahující převážně diethylenetriamin.	
• POUŽITÍ	<ul style="list-style-type: none"> • vytvrzování epoxidových pryskyřic a Eprosinů zejména pro oblast stavebnictví, dále při výrobě kompozitů a pro výrobu lepidel. • vytvrzené kompozici dodává velmi dobré mechanické vlastnosti a výbornou chemickou odolnost. • vyznačuje se krátkou dobou zpracovatelnosti natužené směsi a větším vývinem tepla při vytvrzování. Vytvrzuje za pokojové teploty. • vyznačuje se dolepem na povrchu po vytvrzení. Dolep lze odstranit omytím vodou nebo 3 % roztokem kyseliny citronové. Při přetírání kompozic vytvrzených P 11 rozpouštědlovými náterovými hmotami doporučujeme omýt povrch vodou, případně lehce zbrousit a teprve po dostatečném vyschnutí aplikovat náterovou hmotu. 	
• VLASTNOSTI	<i>Vzhled:</i> <i>Hustota (25 °C):</i> <i>Bod vzplanutí:</i> <i>Aminové číslo (mg KOH/g):</i>	transparentní kapalina s typickým zápachem 0,95 g.cm ⁻³ 90 °C 1480 – 1680
• TUŽENÍ	Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 324 Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 531 Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 520 (510) Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 455 Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 512 Tvrdidlo P 11 : CHS-Epoxy 521 Tvrdidlo P 11 : Eprosin T 02 Tvrdidlo P 11 : Eprosin Z 40 (KE 1) Tvrdidlo P 11 : Eprosin T 22	poměr hmotnostní/ poměr objemový 7 : 100 8,5 : 100 12 : 100 15,4 : 100 11 : 100 13,5 : 100 10 : 100 12,2 : 100 10 : 100 11,8 : 100 10 : 100 12,3 : 100 3 : 100 5,6 : 100 5,5 : 100 8,9 : 100 6,5 : 100 10,1 : 100
• ZPRACOVÁNÍ	Odvažte pryskyřici/tmel a tvrdidlo v předepsaném poměru a důkladně promíchejte. Při mísení nezašlejte vzduch do hmoty.	
• BALENÍ	Plastové obaly 10g, 15g, 45g, 55g, 70g, 200g, 400g, 500g, 700g, 1kg, 1,1kg, 4kg.. Jiné obaly je možno dohodnout s výrobcem.	
• SKLADOVÁNÍ	12 měsíců od data výroby při skladování v původních uzavřených obalech v suchu za teploty 5 -25 °C.	
• BEZPEČNOST	Podrobné údaje týkající se bezpečného zacházení a ochrany zdraví jsou uvedeny v bezpečnostním listu výrobku.	
• DOKUMENTACE	Bezpečnostní list	
• ODVOLÁNÍ	Informace uvedené v tomto technickém listu se opírají o naše nejlepší znalosti, podložené výsledky laboratorních testů a praktické zkušenostmi. Nicméně, vzhledem k tomu, že výrobek je často používán mimo rámec naší kontroly, nemůžeme ručit za nic jiného než za kvalitu výrobku jako takového. Neručíme za chyby vzniklé špatnou aplikací, použitím jiných ředidel než doporučených, použitím po době skladovatelnosti	
• DATUM VYDÁNÍ	14.10.2005	
• DATUM REVIZE	1.9.2013	

 IČ: 25248294, DIČ: CZ25248294, www.sincolor.cz

 Plzeň: ČS č. ú.: 720008369/0800, tel.: +420 377 416 511, 512, 513, 521, fax: +420 377 416 510, prodej@dch-sincolor.cz

 K. Vary: ČSOB č. ú.: 109410716/0300, tel./fax: +420 353 565 571, mobil: +420 602 459 808, +420 777 150 030, info@dch-sincolor.cz

1 / 1

Příloha 5. Technický list tvrdidla P11[39]

Chemické složení a mechanické vlastnosti

Chemické složení % oceli jakosti S235J0

C	Mn	P	S	N	Cu	CEV
max 0,17	max 1,4	max 0,035	max 0,035	max 0,012	maximálně 0,55	maximálně 0,38

Mechanické vlastnosti oceli třídy S235J0

Jmenovitá tloušťka (mm)	do 16	16 - 40	40 - 63	63 - 80	80 - 100	100 - 125
ReH - Minimální mez kluzu (MPa)	235	225	215	215	215	195
Jmenovitá tloušťka (mm)	3 - 100			100 - 125		
Rm - pevnost v tahu (MPa)	360-510			350-500		

Příloha 6. Chemické a mechanické vlastnosti oceli S235J0 [54]