

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie

Srovnání různých typů MS lepidel

Bc. Pavel Štefánek

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Štefánek**
Osobní číslo: **C20568**
Studijní program: **N2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Technologie výroby a zpracování polymerů**
Téma práce: **Srovnání různých typů MS lepidel**
Zadávací katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Zásady pro vypracování

1. V literární rešerši přehledně popište MS polymery se zaměřením na lepidla a tmely a příklady jejich aplikace.
2. V teoretické části se dále zaměřte na problematiku stárnutí polymerů především vliv UV záření na degradaci a vlastnosti polymerů.
3. Charakterizujte různá průmyslová i komerční lepidla na bázi MS polymerů a připravte jednotlivé vzorky pro měření fyzikálně-mechanických vlastností daných lepidel a lepených spojů. Zaměřte se na měření modulu pružnosti při různých teplotách.
4. Studujte vliv jednotlivých typů lepidel na změny mechanických vlastností s ohledem na změnu teploty a následně vliv přirozeného a urychleného stárnutí na fyzikálně-mechanické vlastnosti jednotlivých MS lepidel.
5. Srovnajte a diskutujte zjištěné výsledky měřených vlastností v závislosti na typu lepidla, teploty aplikace a UV stárnutí.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Luboš Prokůpek, Dr.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání diplomové práce: **17. prosince 2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **6. května 2022**

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. David Veselý, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 22. února 2022

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Bc. Pavel Štefánek

Poděkování

Děkuji Ing. Luboši Prokůpkovi, Dr. za vedení práce, připomínky k práci a cenné rady, které mi během této bakalářské práce poskytoval.

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Modernizace praktické výuky a zkvalitnění praktických dovedností v technicky zaměřených studijních programech, reg. číslo CZ.02.2.67/0.0/0.0/16_016/0002458 operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání. Tento projekt je spolufinancován Evropskou unií.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Anotace

Tato diplomová práce se zabývá problematikou UV stárnutí polymerů a srovnáním pevnostních charakteristik u různých typů MS lepidel na různých typech adherendů. První část práce se věnuje problematice MS lepidel, a to konkrétně vlastnostem, vytvrzování a aplikaci MS lepidel.

V další části je věnována pozornost stárnutí polymerů, kde jsou rozebrány jednotlivé faktory, jako vliv kyslíku, UV-záření, vody, ozonu, teploty a větru. V závěru této části je stručně popsáno zkušebnictví, hodnocení pevnosti lepených spojů dle normy ČSN EN 1465 a měření změny barevnosti.

Pro experimentální část bylo vybráno celkem šest MS lepidel. U těchto lepidel byly testovány mechanické vlastnosti lepených spojů pro různé typy adherendů a pevnost v tahu jednotlivých MS lepidel za různých podmínek. V neposlední řadě byly změřeny charakteristické teploty pomocí měření TMA a DMA spolu s modulem pružnosti při různých teplotách, které byly následně porovnány mezi sebou.

Klíčová slova

MS lepidla, adherendy, odolnost proti povětrnosti, pevnost ve smyku, pevnost v tahu

Comparsion of various types of MS adhesives

Annotation

This thesis deals with the the prolematics of UV aging and comparsion of mechanical properties various types of MS adhesives on different types of adherends. The first part of this works is devoted to problematics of MS adhesives, especially to properties, application and curing mechanism.

The next part is devoted to polymer aging, where they are disassembled separately, such as oxygen, UV-radiation, water, ozone, temperature and wind. Finally in this part is briefly introduce testing of polymers, how to judge the quality glued joints by norm ČSN EN 1465 and measuring color change.

For experimental part, six MS adhesives were selected, The mechanical properties of glued joints were tested for these adhesives on various types of adherends, tensile strenght of MS adhesives for various conditions. And finally the characteristic temperatures and E-modulus at

different temperatures were measured by using TMA and DMA analysis. These measured data were then compared to make final conclusion.

Keywords

MS adhesives, adherends, weather resistance, shear strength, tensile strength

Úvod.....	11
1 Teoretická část	12
1.1 Obecné rozdělení přírodních a syntetických lepidel.....	12
1.2 MS polymery – tmely, lepidla	13
1.3 Struktura MS polymerů	14
1.4 Vytvrzování MS Polymerů	15
1.5 Aplikace MS Polymerů.....	16
1.6 Stárnutí polymerů	18
1.6.1 Faktory stárnutí	18
1.6.1.1 Ultrafialové záření	19
1.6.1.2 Vliv ozonu	23
1.6.1.3 Účinek kyslíku.....	23
1.6.1.4 Vliv vody	26
1.6.1.5 Vliv teploty.....	26
1.6.1.6 Vliv větru, atmosférických nečistot a plynných nečistot.....	27
1.7 Zkušebnictví.....	28
1.8 Barevné diference	29
1.8.1 Metoda CIELAB.....	31
1.8.2 Index žloutnutí	32
2 Experimentální část.....	33
2.1 Použité suroviny	33
2.1.1 Použitá lepidla.....	33
2.1.1.1 Bison Grizzly Montage Extreme White	33
2.1.1.2 Den Braven Mamut Glue High Tack.....	34
2.1.1.3 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	35
2.1.1.4 Kömmerling Körapop 225.....	35
2.1.1.5 Kömmerling Körapop 225-2 K	36

2.1.1.6	Kömmerling Körapop 330.....	37
2.1.2	Použité adherendy.....	38
2.1.3	Použité chemikálie.....	38
2.2	Příprava vzorků.....	38
2.2.1	Příprava vzorků pro měření pevnosti lepených spojů ve smyku	38
2.2.2	Příprava vzorků jednotlivých MS lepidel pro měření pevnosti v tahu	40
2.2.3	Příprava vzorků pro přirozené a urychlené stárnutí.....	41
2.2.4	Příprava vzorků pro TMA a DMA	42
2.3	Metody měření.....	43
2.3.1	Měření doby želatinace.....	43
2.3.2	Měření pevnosti ve smyku.....	43
2.3.3	Měření pevnosti v tahu	44
2.3.4	Měření tvrdosti Shore A	44
2.3.5	Měření barevnosti	44
2.3.6	Měření TMA	45
2.3.7	Měření DMA.....	46
3	Výsledky a diskuze	49
3.1	Výsledky měření doby želatinace	49
3.2	Výsledky měření pevnosti ve smyku	50
3.2.1	Bison Grizzly Montage Extreme White.....	50
3.2.2	Den Braven Mamut Glue High Tack.....	52
3.2.3	3M SMP Adhesive Sealant 760UV	54
3.2.4	Kömmerling Körapop 225	56
3.2.5	Kömmerling Körapop 225-2 K.....	58
3.2.6	Kömmerling Körapop 330.....	60
3.2.7	Celkové porovnání pevnosti ve smyku u zkoumaných lepidel.....	62
3.3	Výsledky měření pevnosti v tahu.....	64

3.3.1	Bison Grizzly Montage Extreme White.....	64
3.3.2	Den Braven Mamut Glue High Tack	65
3.3.3	3M SMP Adhesive Sealant 760UV	67
3.3.4	Kömmerling Körapop 225	68
3.3.5	Kömmerling Körapop 225-2 K.....	70
3.3.6	Kömmerling Körapop 330.....	71
3.3.7	Celkové porovnání pevnosti v tahu u zkoumaných lepidel	73
3.4	Výsledky měření DMA a TMA	75
3.5	Stárnutí polymerů	77
3.5.1	Bison Grizzly Montage Extreme White.....	77
3.5.2	Den Braven Mamut Glue High Tack	80
3.5.3	3M SMP Adhesive Sealant 760UV	83
3.5.4	Kömmerling Körapop 225	86
3.5.5	Kömmerling Körapop 225-2 K.....	89
3.5.6	Kömmerling Körapop 330	92
3.5.7	Celkové porovnání naměřených výsledků u stárnutí polymerů.....	95
	Závěr	100
	Zdroje použité literatury	102
	Seznam grafů	105
	Seznam obrázků.....	108
	Seznam tabulek	111
	Seznam rovnic.....	113
	Seznam zkratk	114

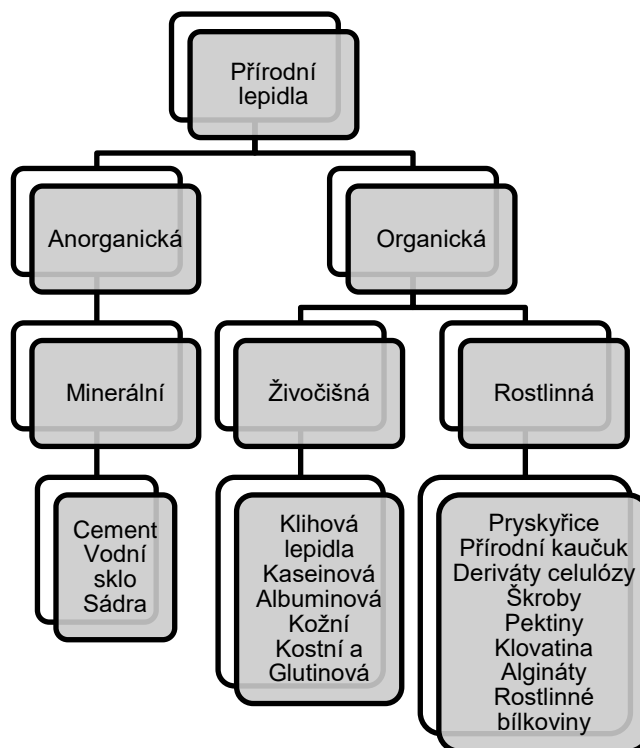
Úvod

Historie a dějiny lepení spolu se samotnými lepidly vycházejí již z raného období lidských dějin. První důležitou věcí je uvědomit si co pojem lepidlo znamená. Lepidlo je materiál s nekovovou strukturou, který pomocí adheze, koheze a povrchového napětí je schopen spojit dva materiály k sobě. Během tohoto procesu nedochází k výrazné změně struktury u lepených materiálů. První lepidla byla používána již před 4000 lety v Egyptě. Byla to lepidla na bázi přírodních materiálů, jako je kaseinový olej, glutinový olej, vaječný bílek, popřípadě latex. Další skupinou jsou klišy, které jsou živočišného či rostlinného původu. Klišy jsou známé z USA a z Anglie z doby okolo 17. století. Velký rozvoj chemie způsobil, že se v 19. století objevily první syntetické materiály, které se začaly ve 20. století hojně využívat pro výrobu lepidel. Nejvíce se tento fakt projevil před druhou světovou válkou, kdy byl zaznamenán velký rozvoj ve výrobě plastických hmot. Jejich základ tvořili syntetické pryskyřice, které měly mnohem lepší vlastnosti než doposud používaná přírodní lepidla. Tato syntetická lepidla umožnila vznik nových neprobádaných oblastí jako je výroba kompozitních materiálů. V současné době se na vývoji lepidel pracuje velmi intenzivně, protože je kladen důraz na zdravotní nezávadnost, voděodolnost, nízkou cenu a fyzikální vlastnosti lepidel. Dnes jsou lepidla významně využívána v automobilovém průmyslu, především pro lepení karoserií a autoskel. Dále také ve stavebním a elektrotechnickém průmyslu, kde se lepí izolační materiály a zajišťují elektronické komponenty. Další oblasti využití jsou floristika, filtrační přepážky, výroba nábytku, lepení obalových materiálů, obuvní a textilní průmysl. Další významnou aplikací jsou lepidla pro domácí použití, pro lepení širokého spektra věcí, které máme v domácnostech. V této diplomové práci jsem se zaměřil na skupinu MS lepidel a tmelů. U těchto lepidel a tmelů bylo cílem zjistit pevnost ve smyku u určité skupiny adherendů, pevnost v tahu samotných lepidel za různých podmínek a stanovit teploty skelného přechodu T_g pomocí TMA, teploty T_1 a T_2 a modul pružnosti z měření DMA. [1, 2, 3,4]

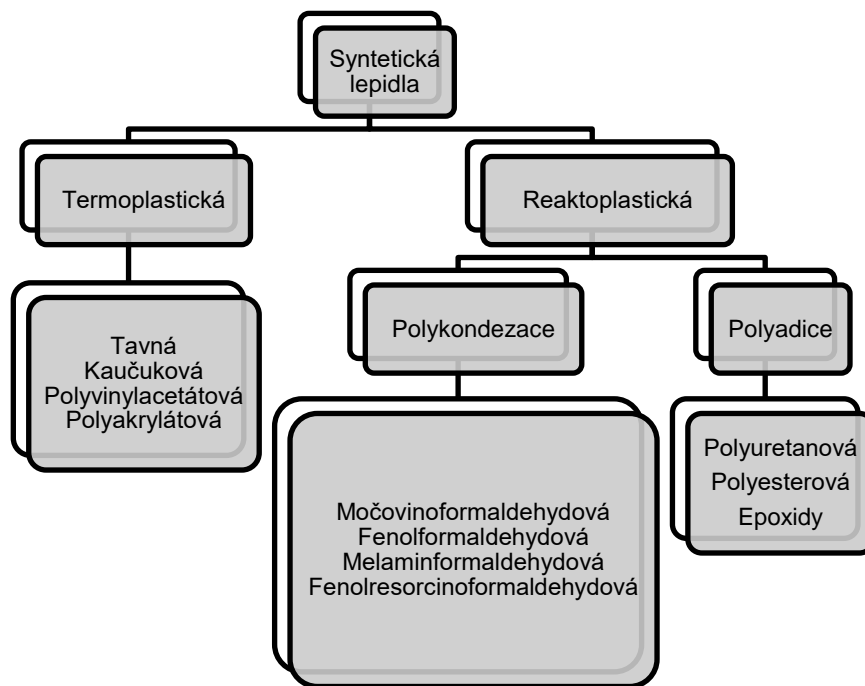
1 Teoretická část

1.1 Obecné rozdělení přírodních a syntetických lepidel

Lepidla lze obecně dělit do dvou skupin na lepidla přírodní a syntetická. Na Obrázku 1 a 2 jsou podrobněji rozděleny tyto dvě hlavní skupiny.



Obrázek 1: Rozdělení přírodních lepidel [1]



Obrázek 2: Rozdělení syntetických lepidel [1]

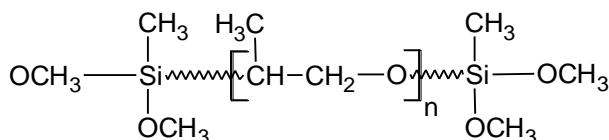
1.2 MS polymery – tmely, lepidla

Tmely na základě MS Polymerů (Silyl terminated Modified Polymers) byly objeveny poprvé v Japonsku kolem roku 1990. Jejich vlastnosti jsou odvozeny od tmelů na bázi silikonu a polyuretanu. Velký nárůst popularity MS Polymerů je dán jejich vlastnostmi, jako je vyváženost a všestrannost použití. Tyto tmely lze používat ve velice širokém spektru různých oborů a aplikací. Specifikace výhod a vlastností tmelů na bázi MS Polymerů v porovnání s ostatními tmely na jiné bázi: [5,6]

- Ohleduplnost k životnímu prostředí – při jejich výrobě nejsou používána rozpouštědla a nebezpečné materiály a přísady, jako jsou například isokyanáty
- Jednoduchá aplikace – velká výhoda je aplikace v jakémkoliv ročním období a ve velkém rozmezí teplot
- Bezpečné aplikace tmelů – jsou bezpečné pro běžné používání, jejich výhodou je, že neobsahují isokyanáty a rozpouštědla, tím pádem není nutné používat speciální ochranné prostředky při práci
- Adheze tmelů na bázi MS Polymerů pro široké spektrum adherendů – jakožto jeden ze všech typů pružných tmelů
- Přetíratelnost – tmely na této bázi lze ihned po aplikaci nebo po vytvrzení přetírat vodou ředitelnými barvami
- Úprava viskozity pro různé aplikace, které vyžadují rozdílnost v pevnosti spojů
- Pevnost a odolnost vůči počasí – tyto dvě klíčové vlastnosti jsou kombinací vlastností polyuretanových a silikonových tmelů

1.3 Struktura MS polymerů

Existuje poměrně mnoho typů MS Polymerů, které jsou komerčně dostupné. Mezi nejvíce uznávané patří MS Polymery s hlavním řetězcem na bázi polyéteru, který je zakončen dimethoxysilanovými skupinami, je znázorněn na Obrázku 3. Dalšími možnostmi jsou jiné koncové skupiny, molekulární struktura a rozdílná funkčnost monomerů. [5,7,8]



Obrázek 3: Obecná struktura MS Polymerů

Chemická struktura MS Polymerů se podílí na následujícím:

- MS Polymery nemají uretanovou, močovinovou nebo jiné funkční skupiny, které jsou typické pro polyuretanové tmely
- Díky hlavnímu řetězci mají tmely nízkou viskozitu, teplotu skelného přechodu, pružnost v širokém rozsahu teplot
- Nepřítomnost izokyanátové skupiny, snížení toxicity a zápachu při zpracování
- Koncové skupiny umožňují vytvrzení vzdušnou vlhkostí, síťování a velmi dobrou adhesi

MS Polymery mají poměrně nízkou viskozitu v rozsahu 7–46 Pa.s i přes vysokou molekulovou hmotnost a zároveň je viskozita relativně stálá v širším rozsahu teplot. Výsledkem je, že výsledný tmel je snadno zpracovatelný i za nízkých teplot. Samotný tmel před vytvrzením má nízkou viskozitu a po vytvrzení získává vysokou pružnost a při výrobě není nutné používat změkčovadla pro zlepšení vlastností tmelů.

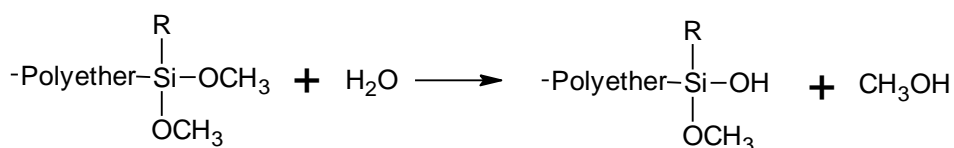
Struktura MS Polymerů je tvořena kombinací struktury polyuretanových a silikonových tmelů. V následující části je porovnání výhod MS polymerů oproti polyuretanům a silikonům: [5,7,8]

Tmel	Výhoda MS Polymerů
Polyuretanový	<ul style="list-style-type: none"> ○ Neobsahuje isokyanát, rozpouštědlo a VOC ○ Menší toxicita – kontakt s kůží a zápach při práci ○ Netvoří se bublinky, více UV stabilní a aplikace i bez primeru
Silikonový	<ul style="list-style-type: none"> ○ Menší toxicita a lepší pevnost spojů ○ Možnost přetřít vzniklý lepený spoj nátěrovými hmotami na bázi vody

1.4 Vytvrzování MS Polymerů

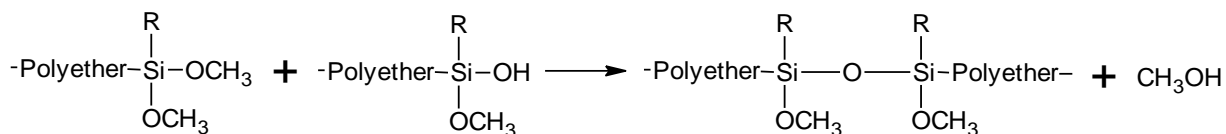
Křemík ve struktuře, nedovoluje vytvrzení mechanismem, který se využívá u polyuretanových tmelů, ale poskytne tmelu výbornou adhezi na mnoho adherendů a poměrně dobrou stabilitu během skladování. Koncové skupiny jsou velmi reaktivní a vytvrzení nastane za přítomnosti vzdušné vlhkosti a odpovídajícího katalyzátoru pomocí hydroxylových skupin silanolu (Obrázek 4 a 5). Díky methoxysilanovým skupinám nedochází k mechanismu vytvrzení jako u silikonových tmelů, kde voda reaguje se silanem na silanol. [5,7,8]

Prvním krokem je reakce methoxysilanových koncových skupin s vodou za vzniku silanolu:



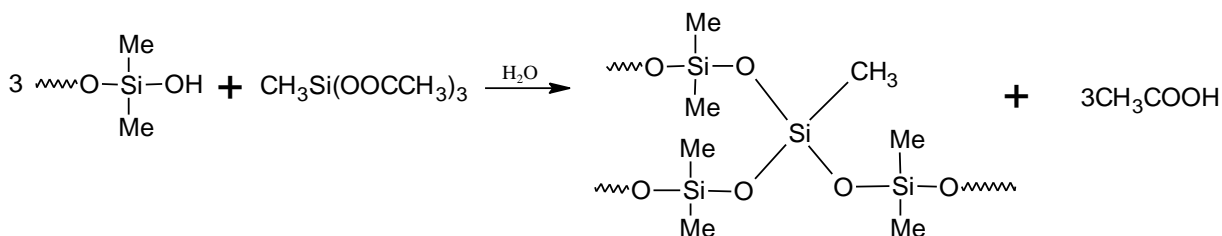
Obrázek 4: Vytvrzovací reakce MS Polymeru

Druhým krokem je kondenzace silanolu na výslednou siloxanovou síť:

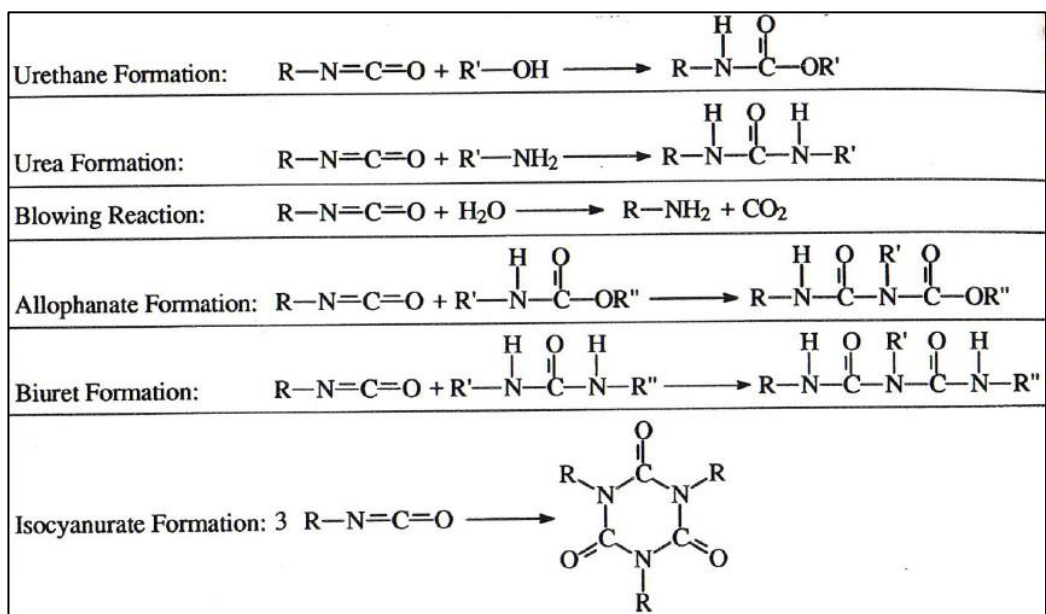


Obrázek 5: Vytvrzovací reakce MS Polymeru

Pro porovnání odlišnosti mechanismu vytvrzování jsou níže uvedeny mechanismy pro silikonové a polyuretanové tmely (Obrázek 6 a 7), pro polyuretany jsou uvedeny vytvrzovací reakce obecně, z důvodu různých kombinací výchozích složek a následného řízení vytvrzovací reakce: [5,7,8]



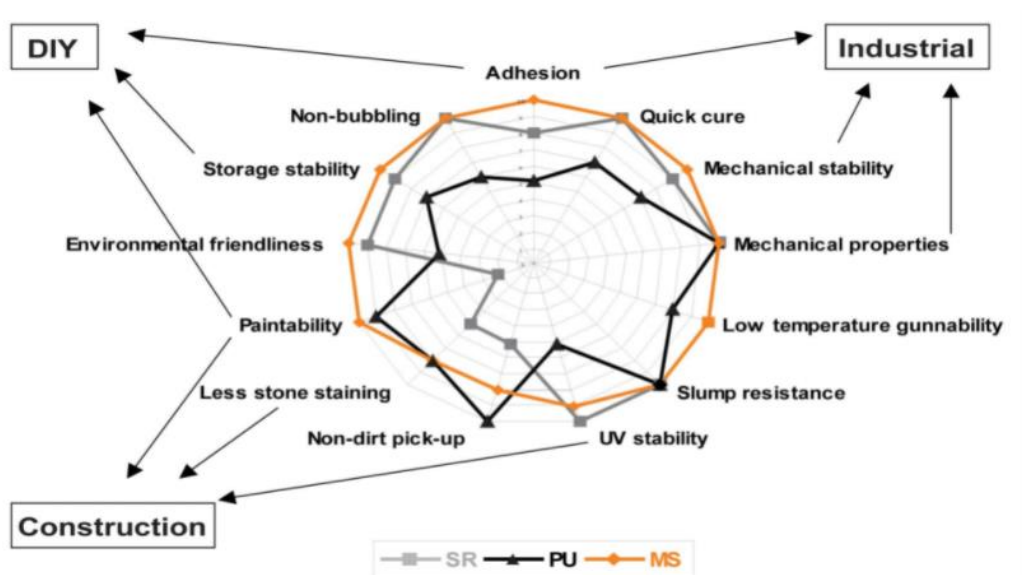
Obrázek 6: Vytvrzení jednosložkového silikonového tmelu



Obrázek 7 Vytvrzovací reakce u polyuretanových tmelů [9]

1.5 Aplikace MS Polymerů

MS Polymery jsou primárně rozděleny do dvou typů výrobků, a to na lepidla a tmely. Jejich aplikace pokrývá široké spektrum (Obrázek 8) od montáží přes automobilový průmysl až po kutilství.



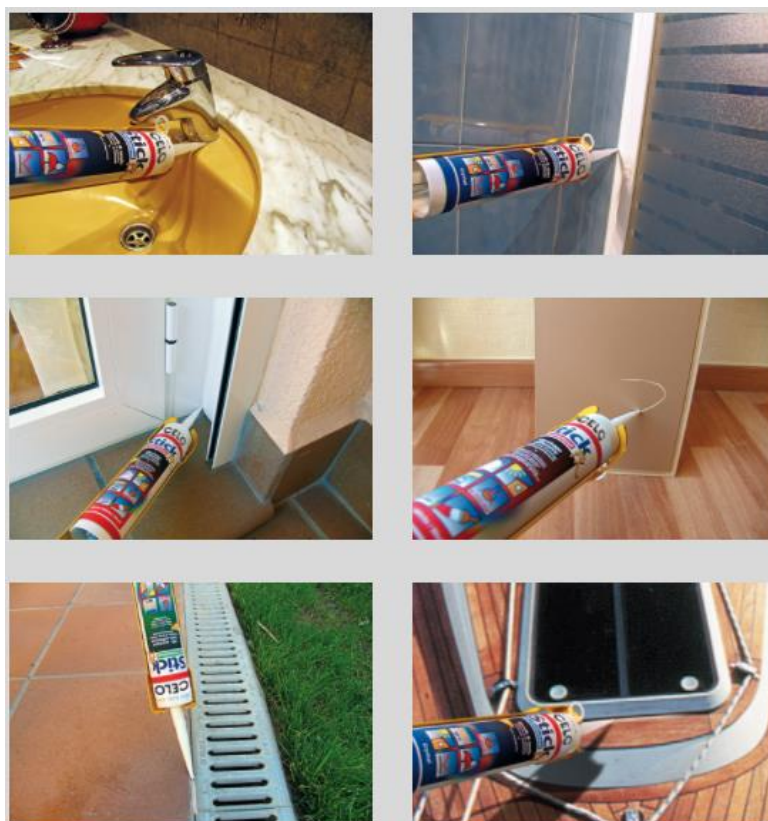
Obrázek 8: Porovnání vlastností v aplikacích SR, PU a MS tmelů [10]

Pro montáže je výhodou menší tvorba skvrn, ulpívání nečistot a přetíratelnost, kde u silikonových tmelů je toto problém. V průmyslu se využívá především dobré mechanické stability, vlastností, adheze a rychlého vytvrzení, kde u polyuretanových a silikonových tmelů tyto výhody nenacházíme hromadně jako u tmelů na bázi MS polymerů. Kutilové využívají hlavně dobrou stálost při skladování, adhezi a možnost přetírat vzniklý spoj. V tomto směru se polyuretanové a silikonové tmely dají také využít, ale je třeba vybírat podle konkrétní aplikace, proto se častěji používají tmely na bázi MS polymerů, které splňují vše. [10]

Na Obrázku 9 a 10 je znázorněno využití tmelů na bázi MS polymerů, jedná se o vyplňování spár u umyvadel, sprchových koutů, oken a venkovních odtokových kanálků a lepení dřeva. Z obrázků je patrné, že tyto tmely lze aplikovat jak v interiéru, tak exteriéru. [11]



Obrázek 9: Obecné příklady aplikací MS polymerů – stavebnictví, průmysl, doprava, podlahářství a kutilství [5]



Obrázek 10: Aplikace tmelů na bázi MS polymerů [11]

1.6 Stárnutí polymerů

Souhrn všech dlouhodobých ireverzibilních změn vlastností a struktury u polymerů obecně definujeme jako stárnutí. Do tohoto pojmu zahrnujeme dlouhodobé změny vyvolané veškerými vlivy, které působí na polymery během jejich používání a skladování. Mezi nejvýznamnější řadíme vlivy povětrnostní, prostředí, ionizačního záření, tepla, elektrické a mechanické. Stárnutí definujeme jako souhrn veškerých změn, které probíhají v polymeru, ať už jde o reakce spojené se změnou chemické struktury anebo o nevratné fyzikálně-chemické a fyzikální změny. Z chemického pohledu lze očekávat odbourávání a zvětšování makromolekul a dále také změny struktury u aditiv a změkčovadel, které se přidávají do polymerů. Do fyzikálně-chemických a fyzikálních pochodů řadíme změny ve strukturách krystalů a sférolitů, zároveň dochází ke ztrátám nízkomolekulárních látek, jako jsou změkčovadla, stabilizátory a produkty odbourávání, které se odpařují a migrují z polymeru. Souhrnně jsou všechny tyto změny u polymerů nežádoucí a zároveň vedou k výraznému zhoršení užitečných vlastností polymerů.

Odolnost proti stárnutí u polymerů je velice důležitým parametrem a je nutné ji sledovat. Určuje životnost, respektive použitelnost daného polymerního materiálu za určitých podmínek, které jsou požadovány ze strany spotřebitelů. Analýzou pochodů, které probíhají během stárnutí polymerů, získáme podklady pro správnou výrobu, volbu stabilizátorů a modifikaci polymerů.

Stárnutí hodnotíme z hlediska prostředí a doby stárnutí, podle toho, za jakých podmínek probíhá. Z hlediska prostředí hovoříme nejčastěji o korozi, jako o znehodnocení polymeru působením vnějšího prostředí. Dalšími případy stárnutí je stárnutí v definovaném prostředí a stárnutí v proměnlivých podmínkách, nejčastěji přímé vystavení vlivu povětrnosti. Z hlediska doby stárnutí rozlišujeme přirozené a urychlené stárnutí. [9,12]

1.6.1 Faktory stárnutí

Povětrnost je velice komplexní pojem, pod který spadá velké množství faktorů. Příkladem lze uvést vlhkost, střídání teplot, sluneční svit, kyslík, ozon, vítr, déšť a atmosférické nečistoty. Tyto faktory povětrnosti mohou působit samostatně, tak i v různých kombinacích, podle konkrétní aplikace daného polymeru. [9,12]

1.6.1.1 Ultrafialové záření

V důsledku absorpce světelné energie záření, dojde u polymeru k fotochemické reakci, která může vést až k odbourávání polymeru. Na polymer má z dopadajícího ultrafialového záření největší vliv záření, které má vlnovou délku v rozsahu 290 až 400 nm, což odpovídá zhruba 5 % podílu z celkové sluneční radiace, která dopadá na povrch Země.

Znečištění atmosféry má také velmi významný podíl na množství prošlého záření, ve srovnání se neznečištěnou atmosférou projde k zemskému povrchu zhruba 50 % záření vlivem kouřových plynů a prachových částic, které jsou přítomny v atmosféře. Intenzita záření je závislá na nadmořské výšce, čím se nacházíme výše, tím je intenzita záření vyšší, u UV-radiace bereme v úvahu také roční období a denní dobu. Rozdíly v hmotnostním úbytku a mechanických vlastností polymerů závisí především na dopadající sluneční energii, ne na době, po kterou je zkušební těleso exponováno příslušné vlnové délce dopadajícího záření. V našich zeměpisných šířkách je rozlišeno teplé (duben-září) a studené (říjen-březen) pololetí, kdy u teplého jsou pozorované změny třikrát větší než ve studeném pololetí.

Působení UV-záření na polymery nejčastěji vyvolává chemické reakce, protože polymery obsahují chromoforní skupiny, které jsou schopné absorbovat UV-záření. Přítomnost těchto skupin je dána především strukturou polymeru a nečistotami, které mohou být v polymeru přítomny. Příkladem lze uvést například C=O skupinu, která absorbuje záření o vlnové délce 270-360 nm, izolované vazby C=C od 200 do 250 nm a aromatické kruhy až do 350 nm.

Dojde-li k absorpci UV-záření molekulou polymeru, která obsahuje chromoforní skupiny přechází molekula do nestabilního excitovaného stavu. Energie v excitovaném stavu se částice mohou zbavit několika způsoby: [9,13,14]

- Může podlehnout molekulárnímu přesmyku, přičemž přebytek energie uvolní ve formě tepla
- Může přenést energii po srážce na jinou molekulu, která se touto energií excituje
- Může vyvolat Ramanovy vibrace elektronů, atomů a molekul
- Může se postupně vrátit do své výchozí energetické hladiny reemitováním přebytku energie v oblasti delších vlnových délek s nižší energií, to se projeví fluorescencí, fosforescencí nebo tepelnou změnou
- Může dojít k roztržení vazby, a to tehdy, jestliže excitovaná molekula se nemůže zbavit přebytku energie jednou z možností, které jsou uvedeny výše

Energie, která je zapotřebí k roztržení vazby mezi dvěma atomy řetězce, je v závislosti na typu atomu velmi odlišná. Disociační energie vazeb A—B je uvedena na následujícím Obrázku 11, vlnová délka vyvolávající degradaci polymerů je na Obrázku 12.

A \ B	H	C	N	O	F	Cl	Br	I	S	Si
H	436	413	391	463	563	432	366	299	339	–
C	413	348	292	352	441	329	276	240	259	290
N	391	292	160	222	270	200	–	–	–	–
O	463	352	222	139	185	203	–	–	–	369
F	563	441	270	185	153	254	–	–	–	541
Cl	432	329	200	203	254	243	219	–	250	359
Br	366	276	–	–	–	219	193	178	–	289
I	299	240	–	–	–	–	178	151	–	–
S	339	259	–	–	–	250	–	–	213	–
Si	–	290	–	369	541	359	289	–	–	–

C=C	615	C=N	615	C=O	716	N=N	418
C≡C	812	C≡N	891	N=O	607	N≡N	946

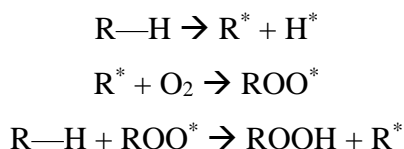
Obrázek 11: Disociační energie vazeb A—B [9]

Polymer	Vlnová délka
nitrocelulóza	310
acetobutyrát celulózy	297
polyethylen	300
polypropylen	(280), (310), 370
polyvinylchlorid	310, 370
polyvinylacetát	< 280
polystyren	318, 340
polymethylmethakrylát	290 až 315
polyestery	315, (325)
polykarbonáty	280 až 305, 330 až 360
polyoxymethylen	300 až 320
polyamidy	250 až 310

Obrázek 12: Přibližné hodnoty vlnových délek vyvolávajících degradaci u polymerů [14]

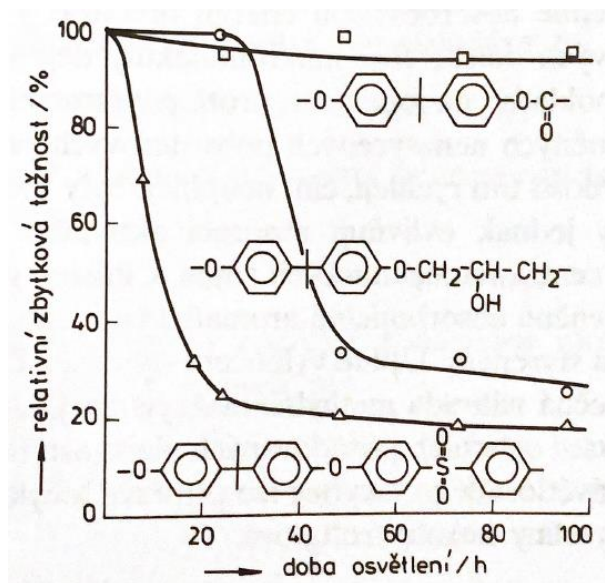
U polymerů dochází ke štěpení vazeb v makromolekulách na radikály, které iniciují další řetězové reakce při 300 nm, 350 nm a 400 nm což odpovídá 400, 350 a 300 kJ/mol. Absorbovaná energie záření nemusí působit přímo v místě, kde došlo k absorpci, ale může být vedena podél řetězce a tam napadat slabší místa, příkladem lze uvést štěpení etherové vazby, která sama o sobě UV-záření neabsorbuje. Kvantový výtěžek těchto reakcí je bez přítomnosti

kyslíku poměrně malý. Ke zvýšení dochází, je-li přítomen kyslík, popřípadě vlhkost. Kyslík spolu s vlhkostí způsobují snížení hladiny energie, která je zapotřebí k aktivizaci iniciace. Častým jevem v průběhu fotolytických reakcích je reakce vzniklých radikálů s kyslíkem za vzniku peroxyradikálů (ROO^*). Vznik těchto radikálů lze popsat podle následujících rovnic: [9,13,14]



Vytvářením degradačních produktů, kterými jsou především skupiny —OOH , —OH , C=C a C=O , dochází ke vzrůstu absorpce UV-záření a urychlení degradace. U silně absorbujících polymerů dochází k odbourávání hlavně na povrchu, u slabě absorbujících polymerů dochází k odbourávání i podpovrchových vrstev.

Zajímavostí je, že polymery jako PE, PP a PVC, které neobsahují struktury absorbující v aktivní oblasti záření, patří do skupiny materiálů, které jsou nejméně stálé na světle, zatímco polymery jako PC a PET, které absorbují silně, jsou světlostálé. V případě porovnání HDPE a LDPE dojdeme k závěru, že HDPE je méně stabilní než LDPE, protože obsahuje daleko méně citlivějších terciálních uhlíků. Rozpor tvrzení lze často vysvětlit přítomností cizích látek, které absorbují UV-záření. Odolnost u PET a PC, je taktéž velmi zajímavá, protože strukturální jednotkou těchto polymerů jsou právě absorbující chromofory. Vysvětlením dobré světlostálosti je především nízký kvantový výtěžek radikálového štěpení okolo 10^{-5} mol na 1 mol fotonu, eventuálně díky vysokým rychlostem rekombinace radikálů v polymerních sítích u tuhých struktur těchto polymerů. Polymery s identickými chromofory jako je například dianový segment s různou polohou v řetězci, má absorpční maximum při 280 nm pro různé polymery a zároveň má vliv na změnu mechanických vlastností, viz. Obrázek 13. [9,13,14]



Obrázek 13: Vliv fotolytických reakcí na tažnost u různých typů dianových polymerů [9]

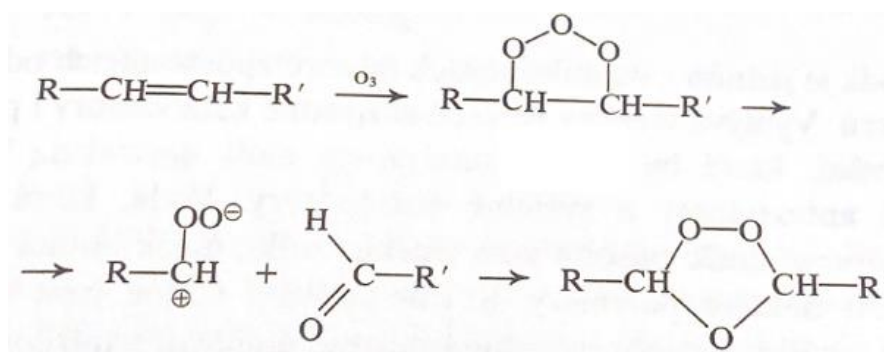
V případě nenasycených polyesterových pryskyřic dochází k absorpci UV-záření fumarátovými, maleinátovými, styrenovými a ftalátovými skupinami, to má za následek žloutnutí pryskyřice. Další možností ovlivňující degradaci je stupeň vytvrzení této pryskyřice, a to konkrétně neúplnost vytvrzení pryskyřice. Nevytvrzením zůstávají v řetězcích dvojně vazby, které způsobují absorpci UV-záření a vznik dalších fotochemicky citlivých center. V neposlední řadě je problémem obsah styrenu a kyseliny ftalové, díky kterým do struktury přibývají aromatické kruhy. Styren z pryskyřice nelze zcela odstranit, lze jej nahradit methylmethakrylátem, kyselinu ftalovou lze nahradit kyselinou hexahydroftalovou, u které dochází ke zvýšení světlostálosti nenasycených polyesterových pryskyřic.

Další zajímavostí je mimořádná odolnost na povětrnosti u polymerů na bázi methylmethakrylátu a akrylátu, u kterých se zatím tuto vlastnost nedaří objasnit, protože tyto polymery obsahují absorbující karbonylovou skupinu, která způsobuje nestabilitu na povětrnosti. Vysvětlení se nabízí takové, že sice k absorpci UV-záření dochází, ale mechanismus dezaktivace není destruktivní, tudíž nedojde k poškození řetězce. Další výhodou u methylmethakrylátu je stabilizace kopolymerů a směsí polymerů, protože jsou stabilní sami o sobě a zároveň stabilizují celý systém. [9,13,14]

1.6.1.2 Vliv ozonu

Koncentrace ozonu u zemského povrchu v atmosféře se pohybuje okolo $2 \cdot 10^{-6}$ až $4 \cdot 10^{-6}$ % v závislosti na ročním období, počasí a místu na zemské kouli. I když je koncentrace ozonu poměrně nízká, má významný vliv na stárnutí polymerů. K lokálnímu zvyšování koncentrace ozonu může docházet vlivem přítomnosti oxidů dusíku, kdy dojde k fotolýze a tím ke zvýšení koncentrace ozonu v atmosféře.

Nasycené polymery odolávají ozonu velmi dobře, naopak u nenasycených polymerů dochází k podobným reakcím (degradaci) jako v případě působení kyslíku na tyto polymery, bohužel v případě ozonu je průběh degradace mnohem rychlejší, a to hlavně u nenasycených elastomerů. Odolnost proti ozonu u pryží vzrůstá v pořadí $NR < SBR < CR < EPDM$. Štěpení může probíhat přes 1,2,3-trioxolan, které dále pokračuje, viz. Obrázek 14. [9,15]

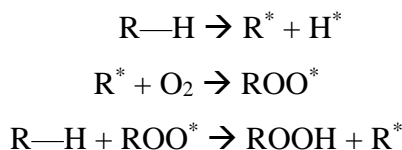


Obrázek 14: Štěpení nenasycených řetězců – obecné schéma [9]

1.6.1.3 Účinek kyslíku

Během působení molekulárního kyslíku na polymer se jeho struktura výrazně nemění a je poměrně stálá, problémem je okamžik kdy se začnou tvořit radikály, které velmi rychle reagují s kyslíkem. Mechanismů vzniku těchto radikálů je mnoho, a to konkrétně termolýza, radiolýza, fotolýza a mechanické síly. Autooxidaci lze mechanismem reakce přirovnat k radikálové řetězové reakci s autoakcelerací. Prvním krokem je iniciace, kdy z makromolekul pomocí účinku dodané energie dojde ke vzniku radikálů, proces dále pokračuje až do vzniku hydroperoxidu. Při dosažení určité koncentrace hydroperoxidu během autooxidace, nastává místo iniciace rozpad hydroperoxidu, a to jak fotolyticky nebo bimolekulárním rozpadem. Tyto děje lze popsat pomocí následujících rovnic: [9,16,17]

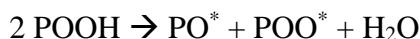
Vznik hydroperoxidu:



Fotolýza při vlnové délce pod 300 nm:

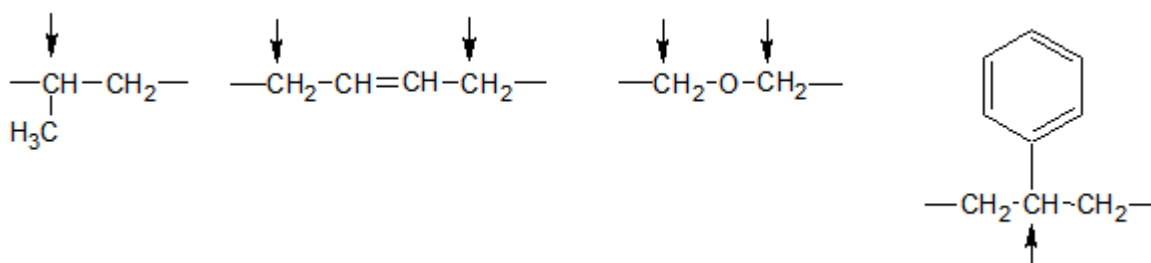


Bimolekulární rozpad:



Vytvořené nestabilní polymerní hydroperoxy reagují s dalšími polymerními řetězci, produktem reakcí je vznik aldehydů, ketonů, alkoholů a karboxylových skupin, které vznikají oxidací aldehydu, kdy meziproductem oxidace jsou peroxokyseliny.

Náchylnost polymerů k oxidaci je usuzována podle charakteru uhlíkatého řetězce, a to převážně podle toho, jak snadno peroxyradikály odtrhují atom vodíku za vzniku nového polymerního radikálu P^* . K autooxidaci jsou nejvíce citlivé terciární uhlíky, uhlík v poloze alfa vůči dvojné vazbě, heteroatomy a aromatické kruhy. (Obrázek 15) [9,16,17]

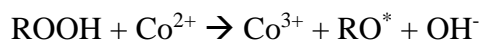


Obrázek 15: Místa citlivá na autooxidaci – různé typy uhlíkatých řetězců [9]

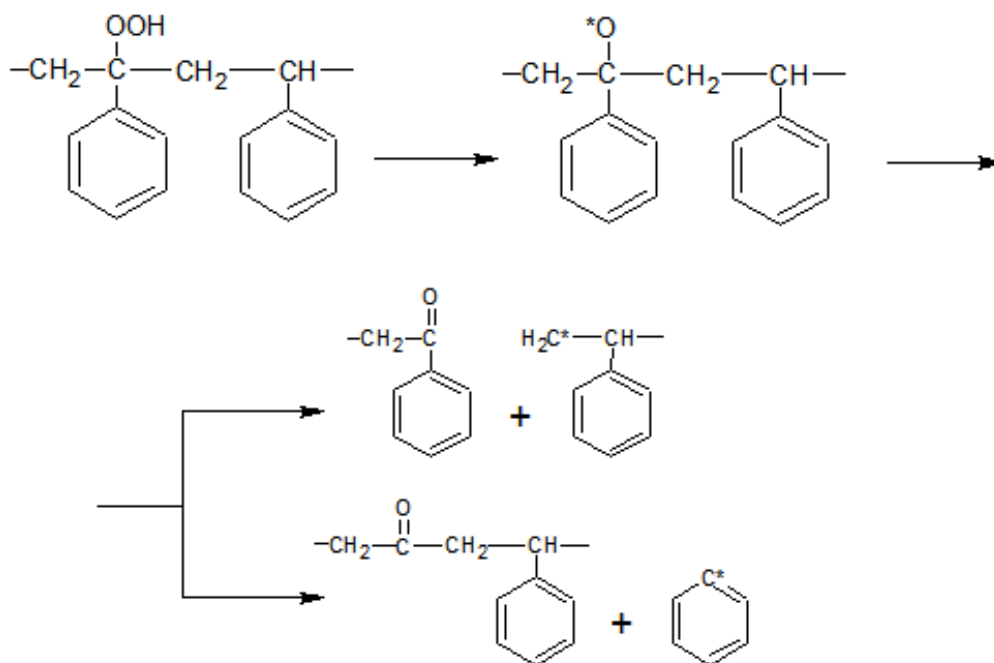
Mezi polymery s nejvyšší odolností vůči autooxidaci patří nenasycené polymery s nerozvětveným řetězcem. Oxidovatelnost se zvyšuje se stupněm rozvětvení v pořadí PE, kopolymer PE/PP, PP a PMP, který je nejvíce rozvětvený.

Oxidace za normální teploty probíhá velmi pomalu, ale i tento nepatrný rozsah vyvolá u polymerů pokles molekulové hmotnosti a změnu vlastností. Analýzou autooxidace u polyolefinů bylo zjištěno, že probíhá především v amorfní části, kde je rychlejší permeace kyslíku skrze polymer. Dalším faktorem, který ovlivňuje citlivost polymerů k autooxidaci je

poměr povrchu k objemu polymeru. Tím pádem větší citlivost na kyslík mají vlákna a nátěrové filmy než polymer v bloku. Dalšími faktory, kterými lze urychlit oxidaci je přítomnost zbytků monomerů, katalyzátorů, nečistot a defektů ve struktuře. Při zajištění konkrétního prostředí, typu a koncentrace iontu může docházet k urychlení rozkladu hydroperoxidů, příkladem lze uvést kobalt, který působí podle následujících rovnic: [9,16,17]



Oxidaci polyolefinů ovlivňuje hlavně teplo, světlo a vznik karbonylových skupin, které silně absorbují UV-zářením. U polystyrenu je situace podobná, působením světla se vytvoří hydroperoxid, který poskytne alkoxyradikál, který se dále rozpadá podle následujícího schématu na Obrázku 16.



Obrázek 16: Rozpad hydroperoxidů u polystyrenu

Velmi citlivé vůči autooxidaci jsou polydieny, kde dochází hlavně k napadení na methylové skupině v poloze alfa vzhledem ke dvojně vazbě. Výsledkem je štěpení řetězců a síťování. Reaktivitu s kyslíkem zvyšuje přítomnost dvojných vazeb na hlavním řetězci, proto je velmi

citlivý například polyisopren, který má vysokou nenasycenost v hlavním řetězci a neobsahuje postranní vinylové skupiny. [9,14,16,17]

1.6.1.4 Vliv vody

Voda má za následek odbourávání polymerů, a to poměrně zásadní. Dochází k vymývání antioxidantů, UV stabilizátorů, rozpustných katalyzátorů a produktů odbourávání, které by mohli katalyzovat následné reakce vedoucí k destrukci polymeru. Voda po vniknutí do polymeru může působit jako změkčovadlo, botnat, popřípadě úplně rozrušit daný polymer. Nejvíce náchylnými polymery jsou takové, které mají esterovou, amidovou a nitrilovou skupinu, které snadno podléhají hydrolyze. Přítomnost těchto skupin v hlavním řetězci po kontaktu s vodou vyvolává poměrně značný pokles molekulové hmotnosti a pevnosti polymeru, totéž platí v případě postranních skupin, zde ale není výsledný pokles vlastností tak velký. Hydrolyza je především urychlována teplotou, ale i hodnota pH prostředí má též vliv na rychlost hydrolyzy. V neposlední řadě se ve vodě mohou objevit mikroorganismy, které mohou odbourávat polymery. [9,18]

1.6.1.5 Vliv teploty

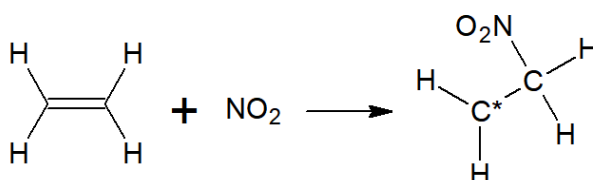
Do faktorů povětrnosti patří hydrolyza a oxidace, které jsou teplotou ovlivňovány i spolu s rychlostí chemické reakce. Sluneční záření zvyšuje povrchovou teplotu, která působí negativně na polymer. Dále také hraje roli odstín nátěru, tyto faktory mají za následek degradaci polymerů při expozici za různých teplot. Účinná teplota exponovaného materiálu souvisí s intenzitou slunečního záření, teplotou, větrem, absorpcí a reflexí záření a tepelnou vodivostí. Tyto teploty nezpůsobí přímo termickou degradaci, ale zvýší se rychlost hydrolyzy, oxidace a fotochemických procesů.

Výkyvy teplot, mohou mít za následek rozměrové změny, které zapříčiňují vnitřní pnutí, eventuálně vznik trhlinek v daném polymeru. Dále může docházet ke zvyšování krystalinity polymerů, to má za následek snížení permeace kyslíku a ozonu do polymeru. S větší změnou teploty dochází u polymerů k migraci aditiv, čímž může docházet k urychlování stárnutí. [14,18]

1.6.1.6 Vliv větru, atmosférických nečistot a plynných nečistot

Destruktivní účinky větru nejsou až tak zásadní, ovšem působením větru může docházet ke křídování (povrchovému odbourávání). Další možností je přenos prachu a písku, které mohou působit jako abrazivně, popřípadě zakrýt polymer a tím ho ochránit například před UV zářením.

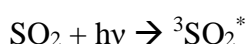
V průmyslové atmosféře hrají významnou roli plynné nečistoty, a to hlavně oxidy síry, dusíku a uhlíku. Na nenasycené polymery působí jak oxid dusičitý, tak siřičitý. U polyisoprenu dochází účinkem těchto oxidů k síťování přes adici na dvojnou vazbu, ovšem u butylkaučuku dochází převážně ke štěpení hlavního řetězce. (Obrázek 17). [9,13,14]



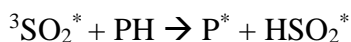
Obrázek 17: Působení oxidu dusičitého na nenasycené polymery [9]

Velká část reakcí s oxidem siřičitým s polymery je velmi silně aktivována UV-zářením, které oxid siřičitý absorbuje. Průběh reakcí je následující: [8]

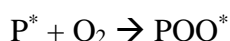
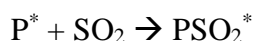
Absorpce záření oxidem siřičitým, vznik tripletu:



Odštěpení vodíku pomocí tripletu oxidu siřičitého:



Další reakce polymerního radikálu, které mohou nastat:



Atmosférickou korozi polymerů charakterizuje také působení mechanického pnutí na oxidační a chemické děje, které v polymerech probíhají. Dochází k mechanické iniciaci a aktivaci. Samotné mechanické namáhání má vliv na rychlost destrukčních jevů, které

probíhají souběžně, tyto procesy jsou pro každý polymer individuální, tím dochází ke změnám vlastností polymerů, ovšem musíme uvažovat i tvar a rozměr polymeru, který má též určitý vliv. U polymerních povlaků je nutné brát v úvahu spolu s mechanickým pnutím i vliv substrátu. Povlak musí odolat nejen povětrnosti, ale i kontaktu povlak-substrát. Příkladem lze uvést hliníkové plechy, které jsou lakovány, v tomto případě dochází ke značným rozměrovým změnám, když se mění teplota okolí. Dalším problémem je kondenzace vody, která se vysráží na studeném povrchu materiálu. Povlak musí být uzpůsobený pro takové prostředí, aby nedocházelo k popraskání povlaku, dále musí být pružný, aby se vyrovnaly rozměrové změny při změnách teploty a zároveň nedocházelo ke ztrátám adheze. Složitá je též aplikace nátěrových hmot na dřevo, protože dřevo mění svůj objem v závislosti na teplotě a na adsorbovaném množství vody. Podobná je i problematika u kovových zálisků v polymerech. [9,13,14]

1.7 Zkušebnictví

Za účelem zkušebnictví dělíme zkušební atmosféry takto: [9,13,14]

- Vlhké atmosféry znečištěné běžnými průmyslovými nečistotami
- Vlhké neznečištěné atmosféry – tropická a venkovská
- Suché neagresivní atmosféry
- Přímořské atmosféry – vlhké s obsahem solí
- Speciální atmosféry – znečišťované uměle (specificky)

Tropické podnebí, pro které je typická vysoká teplota a intenzita slunečního záření má poměrně značné destrukční účinky na polymery. Za účelem pozorování průběhu stárnutí u polymerů v krátké době, byly vypracovány metody urychleného stárnutí pomocí různých přístrojů: [9,13,14]

- Zkoušky v komorách se specifickou atmosférou
- Zkoušky v komorách, kde se mění teplota a vlhkost – tropické komory
- Zkoušky v „solné mlze“ – solné komory
- Zkoušky urychlené povětrnosti – wetherometry

U těchto měření je nutné naměřené výsledky porovnávat s výsledky přirozeného stárnutí, které není uměle urychlováno jako v případě urychleného stárnutí. Podmínky v komorách je velmi složité nasimulovat tak, abychom dosahovali podobných podmínek, které nám nabízí příroda sama. Snaha o nalezení převodních koeficientů odolnosti polymerů při přirozeném a urychleném stárnutí nebyla až tak úspěšná. Lze výsledné hodnoty použít k porovnání mezi sebou v případě, že porovnáváme vliv přísad, stabilizátorů a mechanické vlastnosti různých

typů polymerů. Nejvhodnější je používat k měření více metod, protože zatím neexistuje jedna komplexní metoda, proto je vhodné porovnávat výsledky z několika metod a tím získat představu o průběhu stárnutí pro konkrétní vzorky polymerů. Odolnost polymerů na povětrnosti je uvedena na Obrázku 18. [9,13,14]

Polymer	Stupeň odolnosti
propionát celulózy	1 až 2
acetát celulózy	2 až 3
nitrocelulóza	3
ethylcelulóza	3
polyolefiny	1 až 3
fluoroplasty	1
polyvinylchlorid	1 až 3
polyvinylacetát	1 až 3
polyvinylalkohol	3
polystyren	3
polymethylmethakrylát	1
polyakrylonitril	2
polyethylentereftalát	2
polykarbonáty	2
polyoxymethylen	3
polyfenylenoxid	3
polyamidy	3
polyurethany *	3
fenoplasty **	1 až 2
aminoplasty **	1 až 3
epoxidové pryskyřice *	2
polyesterové pryskyřice *	1 až 2
pryže z přírodního kaučuku	2 až 3
pryže z butadienstyrenového kaučuku	2 až 3
pryže z ethylenpropylenového kaučuku	1 až 2
pryže z butylkaučuku	2

* odolnost závisí na výchozích surovinách a tvrdidlech

** odolnost závisí na plnivech

Obrázek 18: Odolnost polymerů na povětrnosti – 1 – velká, 2 – střední a 3 – malá odolnost [14]

1.8 Barevné diference

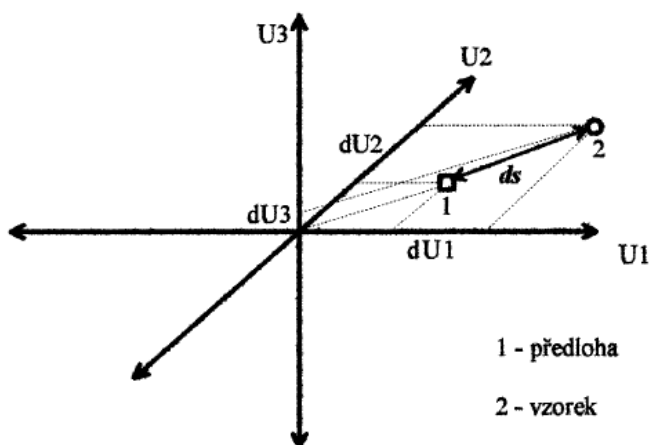
Hlavní nevýhodou CIE systému je jeho nerovnoměrnost odstupňování. Tím je myšleno, že vizuálně stejně vnímané barevné rozdíly, jsou v tomto systému znázorněny různě velkými vzdálenostmi. Pokud máme dvojici žlutých a modrých vybarvení, u kterých je vizuálně vnímaná odchylka stejná, pak bude vzdálenost mezi body, které znázorňují barvu v CIE

systemu, u žluté větší než u modré. V případě ideálně barevného prostoru bychom dostali pro dva různé barevné páry stejnou vzdálenost. [19,20,21]

Ideální barevný prostor představuje trojrozměrná množina bodů, v níž každý bod reprezentuje danou barvu. Body v souřadném systému jsou uspořádány tak, aby délka mezi body byla úměrná vizuálně vnímané diferencí mezi barvami, kterým body odpovídají. Tyto požadavky CIE barevný prostor XYZ nesplňuje. V ideálním barevném prostoru lze vzdálenost mezi body vypočítat pomocí Rovnice 1, která znázorňuje Pythagorovu větu v prostoru (kde U jsou souřadnice bodů v prostoru), protože ds představuje přeponu trojúhelníku (Obrázek 19): [19,20,21]

$$ds = \sqrt{(dU_1)^2 + (dU_2)^2 + (dU_3)^2}$$

Rovnice 1: Pythagorova věta v prostoru



Obrázek 19: Výpočet barevné diference – ideální barevný prostor [19]

K transformaci nerovnoměrného CIE barevného prostoru XYZ na vizuálně rovnoměrný barevný prostor, který dává možnost vyjadřování barevné odchylky podle Rovnice 1, existují dva přístupy:

První předpokládá, že odchylka barevného prostoru XYZ od Euklidovského není tak významná. A proto jsou souřadnice X, Y a Z pomocí transformačních funkcí transformovány na nové souřadnice.

Druhá je založena na MacAdamově experimentálním vyšetřování citlivosti lidského oka, metod v průběhu času vznikalo více, dnes používanou je metoda CIELAB, která je popsána v další podkapitole 1.8.1. [19,20,21]

1.8.1 Metoda CIELAB

Základní transformační rovnice tohoto systému pro pravoúhlé souřadnice jsou dány těmito vztahy na Obrázku 20. Pro cylindrické souřadnice platí rovnice na Obrázku 21. [19,20,21]

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3} \right]$$

Obrázek 20: Transformační rovnice pro pravoúhlé souřadnice metoda CIELAB

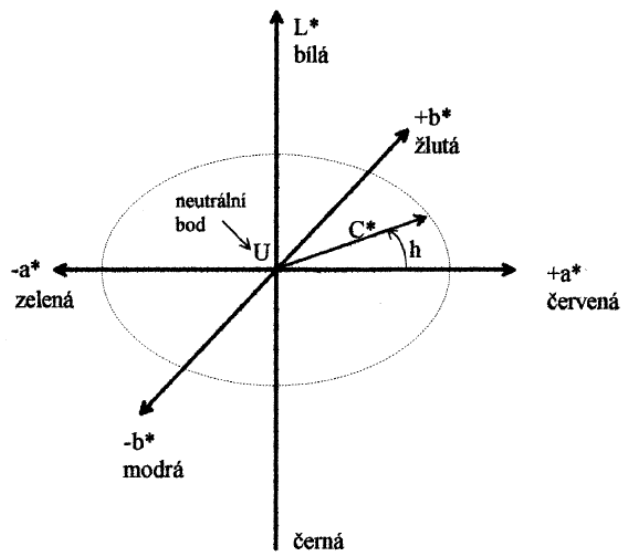
$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$h = \arctan(b^*/a^*), \text{ nabývá hodnot } 0-360^\circ$$

Obrázek 21: Transformační rovnice pro cylindrické souřadnice metoda CIELAB

Zobrazení souřadnic v prostoru metoda CIELAB: (Obrázek 22)



Obrázek 22: Souřadnice CIELAB v prostoru [19]

X, Y, Z představují trichromatické hodnoty vzorku, X₀, Y₀, Z₀ jsou trichromatické hodnoty normalizovaného světla upravená na konkrétní zdroj záření. [19,20,21]

Celková barevná diference, někdy také totální barevná diference ΔE^* , se vypočte pomocí Rovnice 2: [19,20,21]

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

Rovnice 2: Výpočet celkové barevné diference

1.8.2 Index žloutnutí

Žlutost materiálu lze vyjádřit za pomoci indexu žloutnutí, popřípadě stupně zažloutnutí, popřípadě lze sledovat její změnu v průběhu výrobních procesů. Žloutnutí postihuje nejen přírodní vlákna, ale i syntetická vlákna a samotné polymery. Tepelné úpravy, které upevní polohu makromolekulárních řetězců ve vláknech či polymerech, mohou zlepšit jejich užité vlastnosti. U této úpravy musíme uvažovat možnou degradaci, která se může projevit žloutnutím nebo změnou odstínu u textilií. Index žloutnutí se počítá podle normy ASTM E 313 dle Rovnice 3: [19,20,21]

$$YI_{E313} = \frac{100 \cdot (C_x \cdot X - C_z \cdot Z)}{Y}$$

Rovnice 3: Výpočet indexu žloutnutí podle normy ASTM E-313

C_x, C_z jsou koeficienty, u kterých záleží na zdroji světla a pozorovateli.

Za pomoci indexu žloutnutí lze vypočítat stupeň zažloutnutí podle Rovnice 4:

$$Y = YI - YI_0$$

Rovnice 4: Výpočet stupně zažloutnutí

YI₀ je index žloutnutí standardu.

2 Experimentální část

2.1 Použité suroviny

2.1.1 Použítá lepidla

K experimentu bylo použito šest lepidel na bázi MS Polymerů, a to celkem čtyři lepidla, která se využívají v průmyslu a zbylá dvě z oblasti „hobby“ lepidel.

2.1.1.1 Bison Grizzly Montage Extreme White

Bison Grizzly Montage Extreme White (Obrázek 23) je jednosložkové lepidlo na bázi MS Polymerů, vyniká vysokou počáteční přilnavostí, konečnou pevností a extrémní odolností při extrémních teplotách. Zvláště je vhodné pro lepení plastů jako je ABS, PMMA, PVC a PC, dále také pro lepení dřeva, korku, železa, hliníku, keramiky, betonu a skla. Není však vhodné pro lepení PP, PE, PTFE a bitumenů. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 1. [22]

Tabulka 1: Vlastnosti – Bison Grizzly Montage Extreme White

Výrobce	Bison Nizozemsko
Barva (vzhled)	Bílá pasta
Konečná pevnost	35 kg/cm ²
Teplotní odolnost	-40 °C až 100 °C
Tvrdość Shore A	73
Počáteční pevnost	600 kg/m ²



Obrázek 23: Bison Grizzly Montage Extreme White

2.1.1.2 Den Braven Mamut Glue High Tack

Den Braven Mamut Glue High Tack (Obrázek 24) je moderní jednosložkové lepidlo na bázi MS Polymerů. Vyniká velkou počáteční a konečnou pevností, okamžitou fixací bez nutné fixace spojů a vysokou přilnavostí k podkladu. Lepidlo je vhodné k lepení konstrukčních vodotěsných spojů ve stavebním a strojním průmyslu, v interiérech či exteriérech budov a v automobilovém průmyslu spojů kov na kov, kde lepený spoj pohlcuje vibrace. Konkrétními materiály, které lze lepit jsou plasty jako PS a PVC, hliník, ocel, měď, beton, dřevo a sklo. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 2. [23]

Tabulka 2: Vlastnosti – Den Braven Mamut Glue High Tack

Výrobce	Den Braven Česká republika
Barva (vzhled)	Bílá tixotropní pasta
Teplotní stálost	-40 °C až 95 °C
Počáteční pevnost	500 kg/m ²
Konečná pevnost	22 kg/cm ²
Hustota	1,57 g/cm ³
Tvrdość Shore A	60 ± 3



Obrázek 24: Den Braven Mamut Glue High Tack

2.1.1.3 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

3M SMP Adhesive Sealant 760UV (Obrázek 25) je jednosložkové lepidlo založené na bázi MS Polymerů, vytvrzované vzdušnou vlhkostí, které vytvoří permanentně pružné vazby. Podobně se chovají a lze je přirovnat k jednosložkovým polyuretanovým lepidlům, které však obsahují isokyanát. Používá se pro lepení většiny stavebních materiálů jako je dřevo, kov, plasty a sklolaminát. Další výhodou je dobrá UV stabilita a velice široké aplikační možnosti. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 3. [24]

Tabulka 3: Vlastnosti – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

Výrobce	3M
Barva	Bílá
Tvrdość Shore A	55
Aplikační rozsah teplot	-40 °C až 100 °C
Mez pevnosti v tahu	1,8 MPa
Hustota	1,61 g/cm ³



Obrázek 25: 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

2.1.1.4 Kömmerling Körapop 225

Kömmerling Körapop 225 (Obrázek 26) je jednosložkové lepidlo na bázi MS Polymerů používané v automobilovém a stavebním průmyslu. Jeho výhodou je vysoká odolnost vůči

chladu a teple a zároveň výborná odolnost vůči vlhkosti a povětrnosti. Slouží k lepení dřeva, cihel, betonu, kovů, skla, kompozitních materiálů a termoplastů mimo PE, PP a PTFE. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 4. [25]

Tabulka 4: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 225

Výrobce	Kömmerling
Barva	Bílá
Vytvrzení	Vlhkostí
Teplota skelného přechodu	-55 °C
Tvrdość Shore A	42
Mez pevnosti v tahu	2,8 MPa
Hustota	1,4 g/cm ³



Obrázek 26: Kömmerling Körapop 225

2.1.1.5 Kömmerling Körapop 225-2 K

Kömmerling Körapop 225-2 K (Obrázek 27) je dvousložkové elastické lepidlo na bázi MS Polymerů, které má velmi dobrou odolnost proti vlhkosti a povětrnosti. Používá se k lepení karoserií aut, kontejnerů, klimatizačních a topných rozvodů. Lepidlo je vhodné k lepení skla, oceli, hliníku, zinku a termoplastů mimo PP, PE a PTFE. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 5. [26]

Tabulka 5: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 225-2 K

Výrobce	Kömmerling	
Barva	Bílá	
Mísící poměr	1:10	
Tvrдост Shore A	36	
Složka	Složka A	Složka B
Hustota	1,44 g/cm ³	1,49 g/cm ³



Obrázek 27: Kömmerling Körapop 225-2 K

2.1.1.6 Kömmerling Körapop 330

Kömmerling Körapop 330 (Obrázek 28) je rychle vytvrzující jednosložkové lepidlo na bázi MS Polymerů, s vysokou počáteční lepivostí. Lepidlo má dobrou odolnost proti vlhkosti, povětrnosti a teplotám, krátce až do 120 °C. Je vhodné k lepení dřeva, skla, stavebních materiálů, povrchů, které jsou ošetřeny pomocí primeru a termoplastů mimo PP, PE a PTFE. Vlastnosti lepidla jsou uvedeny v Tabulce 6. [27]

Tabulka 6: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 330

Výrobce	Kömmerling
Barva	Bílá
Hustota	1,6 g/cm ³
Tvrдост Shore A	55



Obrázek 28: Kömmerling KÖrapop 330

2.1.2 Použité adhérendy

Pro jednotlivé testy byly zhotoveny lepené spoje z následujících adhérendů:

- Hliník
- Uhlíkatá ocel

2.1.3 Použité chemikálie

Pro odstranění mastnoty z adhérendů byly použity následující chemikálie:

- Isopropylalkohol k odmaštění ocelových a hliníkových adhérendů

2.2 Příprava vzorků

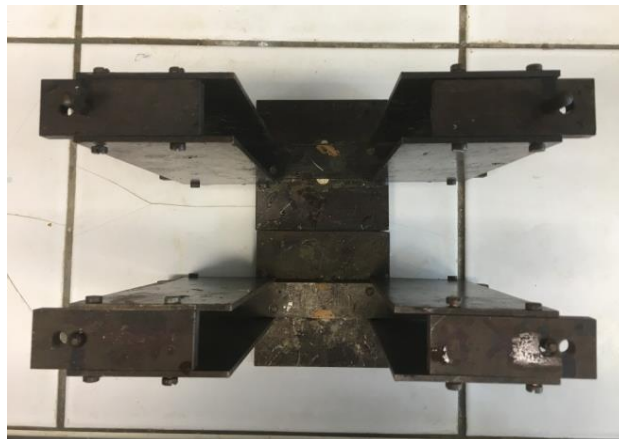
2.2.1 Příprava vzorků pro měření pevnosti lepených spojů ve smyku

Před samotným lepením a následným měřením bylo nutno nejprve upravit povrchy jednotlivých adhérendů. Postup, kterým byla práce řízena, vycházel z normy ČSN EN 1465. Z této normy bylo vycházeno jen z části, protože jsme se snažili přiblížit k povrchové úpravě, která je prováděna v běžné praxi, popřípadě v domácích podmínkách. V případě dodržování přesného normovaného postupu je celá příprava poměrně časově a technologicky velmi náročná a v domácích podmínkách neproveditelná při použití „hobby“ lepidel. Tím pádem jsme proces zjednodušili na 3 kroky, odmaštění isopropylalkoholem, mechanické zdrsňení pomocí brusky s brusným papírem o zrnitosti 120 a opětovné odmaštění konkrétního povrchu

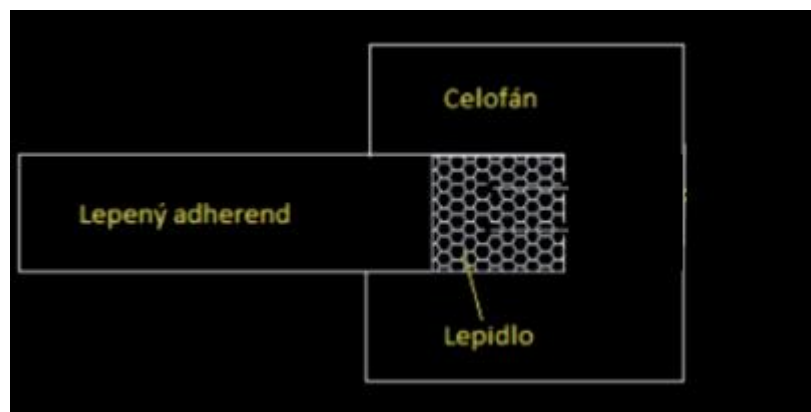
isopropylalkoholem. Průmyslová lepidla od firmy 3M a Kömmerling byla poskytnuta firmou Matrix a.s., zbylá „hobby“ lepidla byla zakoupena v hobby marketu.

Takto předupravený adherend o rozměrech 110×25×1,5 mm byl vložen do lepicí formy (Obrázek 29). Na předupravenou stranu bylo nanášeno takové množství lepidla, aby došlo k rozptýlení lepidla po celé ploše styčných ploch. Pro zajištění konstantní tloušťky lepeného spoje byly do lepicí formy umístěny distanční podložky z hliníku a polykarbonátu, aby spoje zůstaly v rovině, a aby byla výsledná a požadovaná tloušťka spoje 4 mm. Jednotlivé lepené spoje je nutné oddělit pomocí čtverečků z celofánu, aby nedošlo k jejich vzájemnému slepení. Slepěné adherendy se v lepicí formě zatížily 1 kg závaží na dobu 24 hodin, abychom zajistili dostatečné vytvrzení lepidla. Postup lepení je znázorněn na Obrázcích 30 a 31. Pro každý adherend a každé lepidlo bylo vždy připraveno 5 lepených spojů, protože bylo připravováno přeplátování spoje o rozměrech 25 x 25 mm a 12 x 25 mm. Dvě velikosti přeplátování byly použity z důvodu nevytvrzení lepidla pro 25 x 25 mm od firmy 3M.

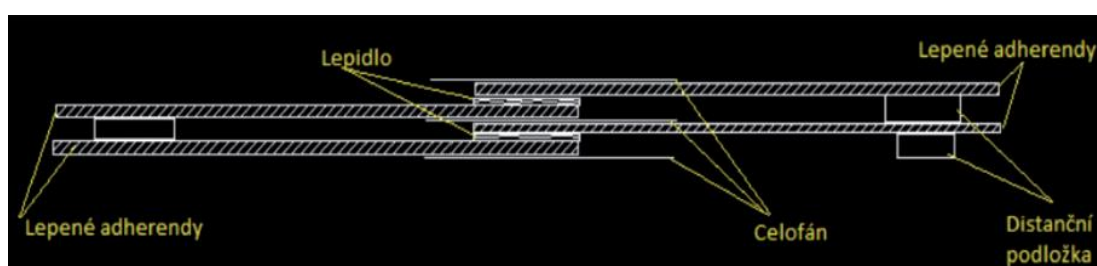
Po 24 hodinách byly adherendy vyjmuty z lepicí formy a ponechány k dotvrzení vždy po dobu jednoho týdnu. Po jednom týdnu byly odstraněny přetoky lepidla pomocí nože. Nakonec byly přilepeny lepicí páskou distanční podložky tak, aby po upnutí do čelistí byl lepený spoj v rovině.



Obrázek 29: Lepicí forma



Obrázek 30: Postup lepení 1 [28]



Obrázek 31: Postup lepení 2 [28]

2.2.2 Příprava vzorků jednotlivých MS lepidel pro měření pevnosti v tahu

Pro měření pevnosti v tahu bylo nutné připravit zkušební tělíska ve tvaru psí kosti v rozměrech 50 x 5 x 4 mm, to se ovšem ze začátku zcela nedařilo, a bylo nutné najít vhodnou technologii k přípravě těchto tělísek.

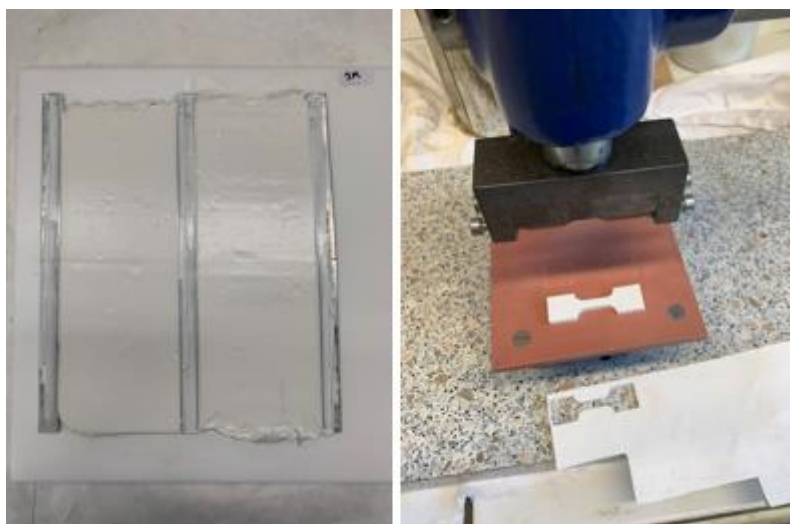
Prvním pokusem bylo odlít zkušebních tělísek do forem ze silikonu. Silikonové formy se bohužel ukázali jako nevhodné pro tento typ lepidel, protože se vytvořil velmi pevný adhezni můstek, který znemožnil vyndání tělísek ze silikonové formy. (Obrázek 32)



Obrázek 32: Silikonová forma po odlití tělísek

Druhým pokusem bylo odlít testiček mezi alobal, celofán, potravinářskou fólii a teflonový papír, výška byla určena pomocí distančních podložek, které byly vysoké 4 mm. To vše mezi dvěma teflonovými deskami, které byly nakonec zatíženy závažím. Bohužel i tento pokus nebyl úspěšný, protože nedošlo k vytvrzení lepidel z důvodu nepřístupu vzdušné vlhkosti.

Třetím a zároveň posledním pokusem bylo odlít desky z lepidla na teflonovou desku za použití distančních podložek o tloušťce 4 mm, které sloužili zároveň jako vodítko pro špachtly, kterou se roztíralo lepidlo, aby vznikla deska. Tento pokus byl již úspěšný, a tím bylo umožněno vyseknout pomocí raznice zkušební tělíska z předem připravených desek, které se nechaly týden vytvrzovat. Připravené desky a raznice na tělíska jsou na Obrázku 33.



Obrázek 33: Postup výroby desek, raznice na zkušební tělíska

2.2.3 Příprava vzorků pro přirozené a urychlené stárnutí

Urychlené stárnutí vzorků probíhalo v přístroji QUV – Accelerated Weathering Tester (QUV/Spray) od výrobce Q-LAB, typ lamp: UVA-340. Měření probíhalo cyklickým korozním / povětrnostním testem s UV zářením následovně:

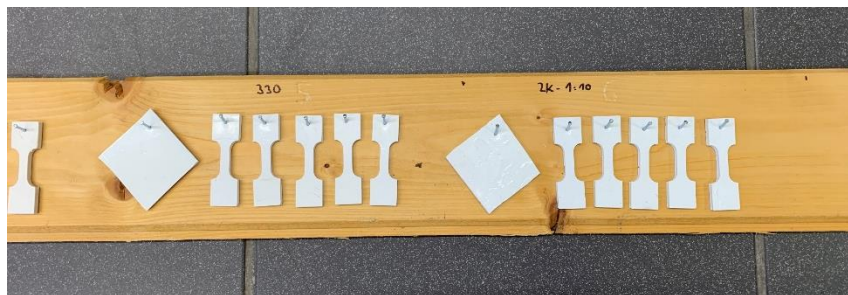
Při tomto cyklickém testu jsou organické povlaky/plasty vystavěny střídavě účinkům umělého UV záření, které simuluje přirozené sluneční záření, a atmosféře s obsahem 100 % vlhkosti. V QUV komoře jsou vzorky během expozice střídavě ozařovány UV zářením při ozáření $0,89 \text{ W/m}^2$ při teplotě $60 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 8 hodin a následně jsou vzorky vystavovány kondenzací vodní páry (bez osvitů) při teplotě $50 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 4 hodin. Byly využity lampy, tvořeny

fluorescenčními trubicemi, s maximem při vlnové délce 340 nm, což odpovídá venkovním podmínkám. Zkouška byla provedena dle normy ASTM G 154 Cycle 1.

Připravená zkušební tělíska, byla umístěna do přípravků pro urychlené UV stárnutí (Obrázek 34) a přípravky byly umístěny do QUV panelu na 1 měsíc. Pro přirozené UV stárnutí byly zkušební tělíska připevněna hřebíčky na dřevěné prkno, které bylo i se vzorky připevněno na venkovní parapet na dobu 5 měsíců (od listopadu 2021 do dubna 2022), zároveň byly vyříznuty čtverečky z desek o rozměrech 4 x 4 cm, které sloužily pro měření tvrdosti a indexu žloutnutí (Obrázek 35).



Obrázek 34: Vzorky pro urychlené UV stárnutí



Obrázek 35: Vzorky pro přirozené UV stárnutí

2.2.4 Příprava vzorků pro TMA a DMA

Pro tyto analýzy byly z předem připravených desek uříznuty obdélníčky, ze kterých se vyřezávaly následující vzorky. Pro TMA byly vyříznuty čtverečky o rozměrech zhruba 5×5×2 mm a pro DMA hranoly o rozměrech zhruba 50×5×2 mm.

2.3 Metody měření

2.3.1 Měření doby želatinace

Želatinace je čas, za který dojde ke zgelování systému. Tuto dobu, kdy je možné s lepidlem stále pracovat nazýváme pracovní čas. Do plastového kelímku bylo naváženo přibližně 30 g lepidla. Pomocí skleněné tyčinky se vytahovalo z lepidla vlákno, u kterého se zjišťovalo, zda se přetrhne. Při prvním přetržení vlákna se odečetl čas doby želatinace, měření se provedlo jednou pro každé lepidlo.

2.3.2 Měření pevnosti ve smyku

Měření pevnosti ve smyku bylo prováděno na trhacím stroji MTS – 4/M (Obrázek 36) na lepených spojích u hliníkových a ocelových adherendů pro dvě velikosti přeplátování. Každý vzorek byl upevněn do čelistí trhacího stroje (Obrázek 36). Adherendy byly vyrovnány nalepením distančních podložek do roviny, aby nedocházelo k lámání spoje mimo rovinu. Po přetržení lepeného spoje následovalo vyhodnocení. Výsledkem vyhodnocení byl modul pružnosti v [MPa], maximální síla v [N], mez pevnosti ve smyku v [MPa] a tažnost v [%]. Upínací délka na čelistech byla 112,5 mm a rychlost posunu byla nastavena na 5 mm/min.



Obrázek 36: Trhací stroj MTS - 4/M a jeho čelisti (vlevo)

2.3.3 Měření pevnosti v tahu

Měření pevnosti v tahu bylo prováděno na trhacím stroji MTS – 4/M a INSTRON 5500R u zkušebních tělísek ve tvaru psí kosti pro jednotlivá lepidla. Měření podle normy ASTM D1708-18 probíhalo za různých podmínek, a to konkrétně při 23 °C, při 70 °C v tepelné komoře CHAIXMECA, po urychleném a přirozeném UV stárnutí vždy pro pět zkušebních tělísek. Tělísko bylo upevněno do čelistí trhacího stroje, měření probíhalo rychlostí posunu 5 mm/min s upínací délkou na čelistech 30 mm. Výsledkem vyhodnocení byl modul pružnosti v [MPa], maximální síla v [N], mez pevnosti v tahu v [MPa] a tažnost v [%].

2.3.4 Měření tvrdosti Shore A

Podstatou měření bylo měření odporu proti vtlačování hrotu předepsaného tvaru v tomto případě Shore A do zkoušeného materiálu. Odpor, který klade materiál je zjišťován pomocí pružiny. Tvrdost je nepřímo úměrná vniku ocelového hrotu do zkoušeného materiálu a závisí na modulu pružnosti materiálu. Vyjadřuje se v jednotkách Shore A, bylo provedeno celkem 10 měření za různých podmínek, kdy různou dobu působilo UV záření. Měření bylo prováděno na tvrdoměru na Obrázku 37.

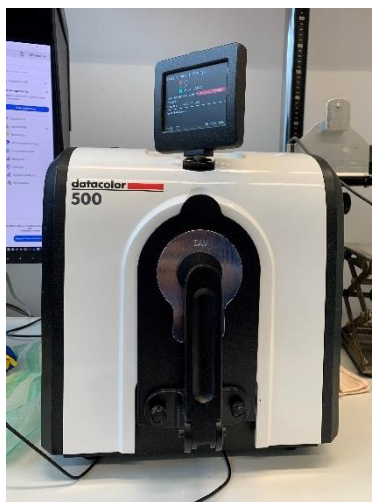


Obrázek 37: Přístroj pro měření tvrdosti Shore A

2.3.5 Měření barevnosti

Měření barevnosti bylo prováděno na spektrofotometru Datacolor 500 (Obrázek 38). Měření zpětně odraženého záření od vzorku byly pomocí normy ASTM E 313 vyhodnoceny

hodnoty indexu žloutnutí, CIE L, CIE a, CIE b a CMS DE. Měření vzorků probíhalo vždy po určitém časovém úseku. Pro urychlené stárnutí byly hodnoty barevnosti měřeny nejprve po 14 dnech a následně po jednom měsíci, u přirozeného stárnutí byly hodnoty barevnosti měřeny nejprve po 2,5 měsících a následně po 5 měsících. Pro porovnání byl jako první vzorek měřen standard, který nebyl vystaven na povětrnosti. Pro všechny vzorky jednotlivých MS lepidel byly provedeny celkem tři měření, ze kterých byly získány výsledné hodnoty.



Obrázek 38: Spektrofotometr Datacolor 500

2.3.6 Měření TMA

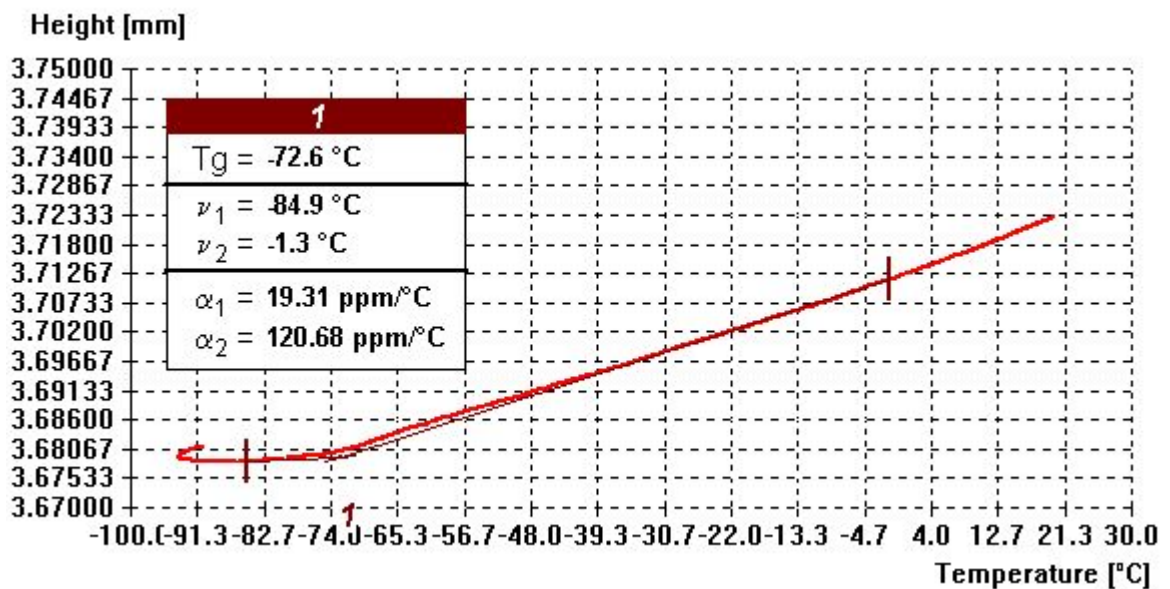
Termomechanická analýza je založena na měření změn výšky vzorku v závislosti na čase, teplotě a vložené síle. Touto metodou stanovujeme teplotu skelného přechodu T_g , koeficient tepelné roztažnosti α v daném teplotním intervalu nebo jeho závislost na teplotě a body měknutí a tání analyzovaných materiálů.

Vzorky byly proměřovány za definovaného teplotního režimu na přístroji TMA CX04R firmy R.M.I (Obrázek 39). Na vzorek bylo působeno silou 50 mN. Teplota skelného přechodu byla zjištěna ze závislosti výšky vzorku na teplotě (Obrázek 40), odečtení teploty z druhého kroku. Zvolený teplotní režim byl následující:

- Krok č. 1: Ochlazení na -90 °C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 2: Ohřev na 20 °C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 3: Ochlazení na -90 °C rychlostí 3 °C/min
- Krok č. 4: Ohřev na 20 °C rychlostí 3 °C/min



Obrázek 39: Přístroj TMA CX04R



Obrázek 40: Ukázka vyhodnocení TMA pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White

2.3.7 Měření DMA

Dynamická termomechanická analýza je založena na principu mechanického namáhání vzorku definovanou silou (neboli napětím) a na měření deformační odezvy vzorku za různých podmínek. Kupříkladu s měnící se teplotou. Pokud namáhání vykazuje sinusový průběh, jedná se o klasickou dynamickou analýzu. Vyhodnocením získaných průběhů napětí a deformace, získáme závislost modulu pružnosti a ztrátového úhlu na teplotě a dále i na čase, frekvenci působící síly a velikosti deformace. Stanovené průběhy slouží k určení

charakteristických vlastností materiálu, kterým je teplota skelného přechodu, stupeň krystalizace, gel point, míra orientace, ztráty v materiálu (jeho tlumící schopnosti) a měření tečení metodou creepu.

Jako měřicí mód bylo v našem případě použito uspořádání v tahu. Měření bylo prováděno na přístroji DMA DX04T firmy R.M.I (Obrázek 41). Vzorky lepidel byly proměřovány za daných podmínek. Stanovení teplot T_1 , T_2 blízkých teplotě T_g bylo provedeno z grafické závislosti modulu pružnosti a ztrátového faktoru na teplotě (Obrázek 42):

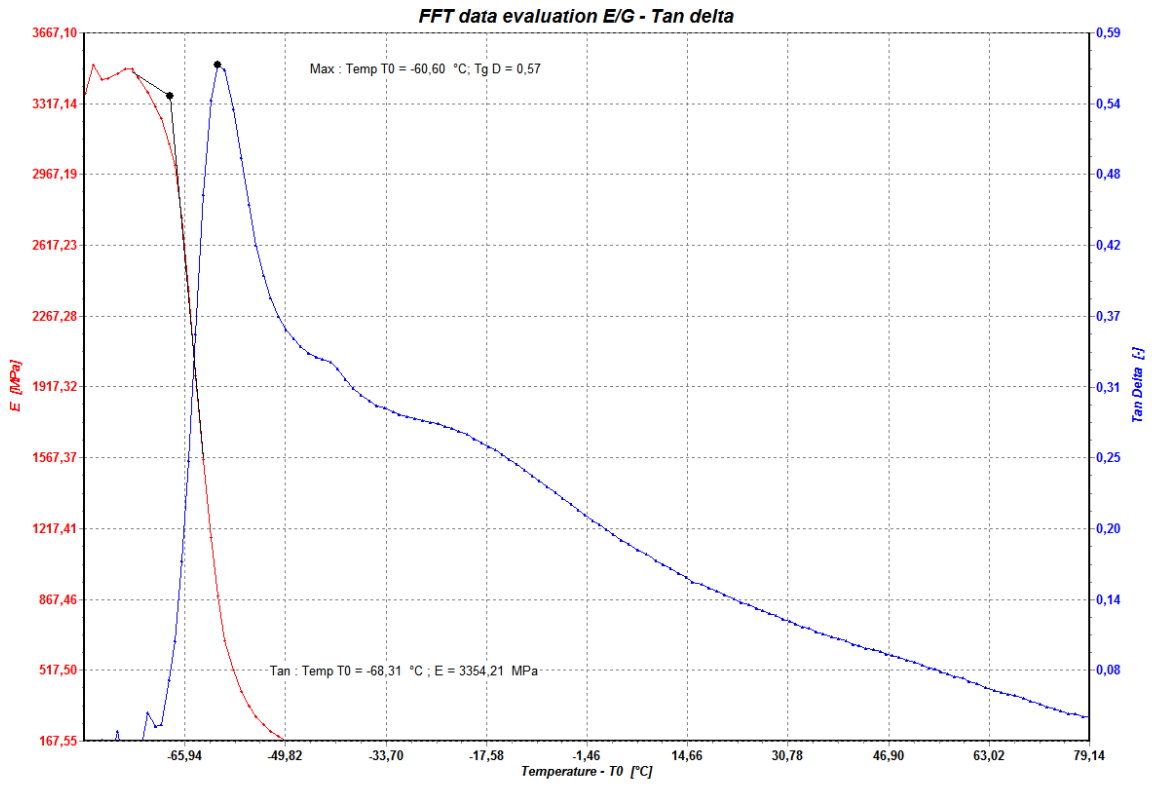
Teplota T_1 [°C] jako tangenta ze závislosti modulu pružnosti, teplota T_2 [°C] jako maximum ze ztrátového faktoru a modul pružnosti E [MPa] při -30, 23 a 70 °C.

Podmínky měření:

- Měřicí mód: Tah
- Frekvence: 1 Hz
- Teplotní režim:
 - Ochlazení na teplotu -90 °C rychlostí 10 °C/min
 - Setrvání na teplotě -90 °C po dobu 10 minut
 - Ohřev na teplotu 80 °C rychlostí 3 °C/min



Obrázek 41: Přístroj DMA DX04T



Obrázek 42: Ukázka vyhodnocení DMA pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White

3 Výsledky a diskuze

V této diplomové práci byly připraveny lepené spoje pro celkem 6 lepidel pro 2 typy adherendů a 2 velikosti přeplátování. Na zhotovených spojích byly sledovány mechanické vlastnosti, a to konkrétně mez pevnosti ve smyku, tažnost a modul pružnosti v závislosti na typu adherendu. Dále byla u vzorků z jednotlivých lepidel měřena pevnost v tahu a mechanické vlastnosti jako maximální síla, mez pevnosti, tažnost a modul pružnosti za teploty 23 °C a 70 °C a po působení povětrnosti na jednotlivé vzorky. U připravených desek z jednotlivých lepidel byla měřena tvrdost Shore A, změna barevnosti a zároveň pro každé lepidlo byla stanovena doba želatinace. Nakonec byly pomocí TMA měřeny teploty skelného přechodu a koeficient teplotní roztažnosti a pomocí DMA modul pružnosti za teploty -30 °C, 23 °C a 70 °C a teploty blízké teplotě skelného přechodu T_1 a T_2 .

3.1 Výsledky měření doby želatinace

Souhrnné výsledky z měření doby želatinace jsou uvedeny v Tabulce 7.

Tabulka 7: Výsledky měření doby želatinace pro jednotlivá lepidla

Lepidlo	Doba želatinace
Bison Grizzly Montage Extreme White	4 min 22 s
Den Braven Mamut Glue High Tack	4 min 34 s
3M SMP Adhesive Sealant 760UV	1 h 8 min 35 s
Kömmerling Körapop 225	1 h 18 min 27 s
Kömmerling Körapop 225-2 K	53 min 8 s
Kömmerling Körapop 330	1 h 6 min 40 s

Z tabulky výsledných časů vyplývá, že nejdelší čas byl u lepidla Kömmerling Körapop 225 a nejnižší u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White. Lepidla značky Bison a Den Braven patří do kategorie „hobby“ lepidel a jejich doba želatinace nedosahuje ani 5 minut. U zbylých lepidel, které se používají primárně v průmyslových aplikacích se doba želatinace pohybuje kolem jedné hodiny.

3.2 Výsledky měření pevnosti ve smyku

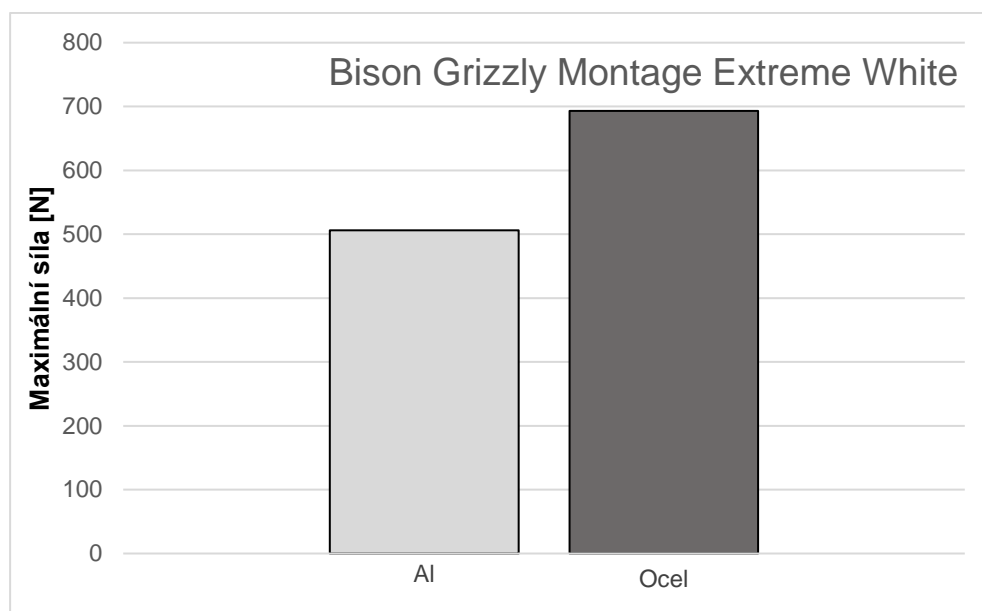
V následující části jsou rozebrány a souhrnně uvedeny výsledky mechanických vlastností při měření pevnosti ve smyku pro jednotlivá lepidla.

3.2.1 Bison Grizzly Montage Extreme White

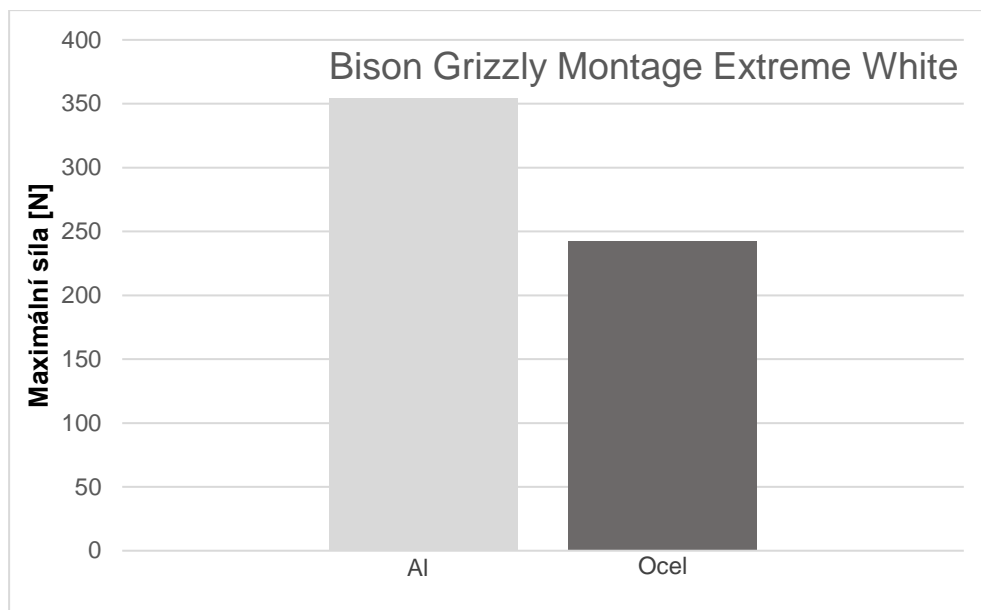
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White jsou uvedeny v Tabulce 8 a Grafu 1 a 2.

Tabulka 8: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Přepřátování spoje 25x25 mm				
Hliník	506,1 ± 57,96	0,86 ± 0,09	1,79 ± 0,24	82,97 ± 15,48
Ocel	693,32 ± 60,35	1,08 ± 0,1	2,1 ± 0,19	90,83 ± 9,77
Přepřátování spoje 12x25 mm				
Hliník	354,44 ± 34,81	1,37 ± 0,16	2,56 ± 0,49	77,34 ± 5,05
Ocel	242,1 ± 17,1	0,94 ± 0,07	2,07 ± 0,31	66,21 ± 9,26



Graf 1: Mez pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White přepřátování 25 x 25 mm



Graf 2: Mez pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White překlátování 12 x 25 mm

Z tabulky a grafu je zřejmé, že lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White tvořilo pevnější spoj na oceli v případě většího překlátování, kde docházelo k adhezně-koheznímu porušení lepeného spoje. Ocelové spoje s menším překlátováním vykazovali daleko menší hodnoty maximální síly, to může být způsobeno chybnou přípravou lepených spojů a chybou při měření. U lepených spojů na hliníku byla pevnost ve smyku též velmi dobrá, nebyl zde takový rozdíl hodnot jako u ocelových adherendů i zde se jednalo o adhezně-kohezní porušení lepeného spoje. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na Obrázku 43.



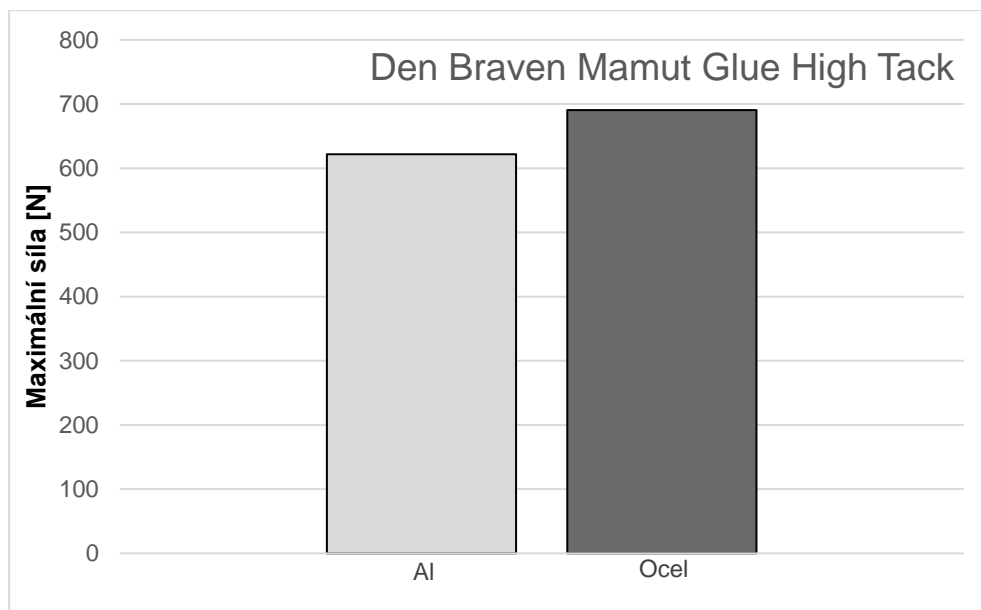
Obrázek 43: Porušení lepených spojů u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White

3.2.2 Den Braven Mamut Glue High Tack

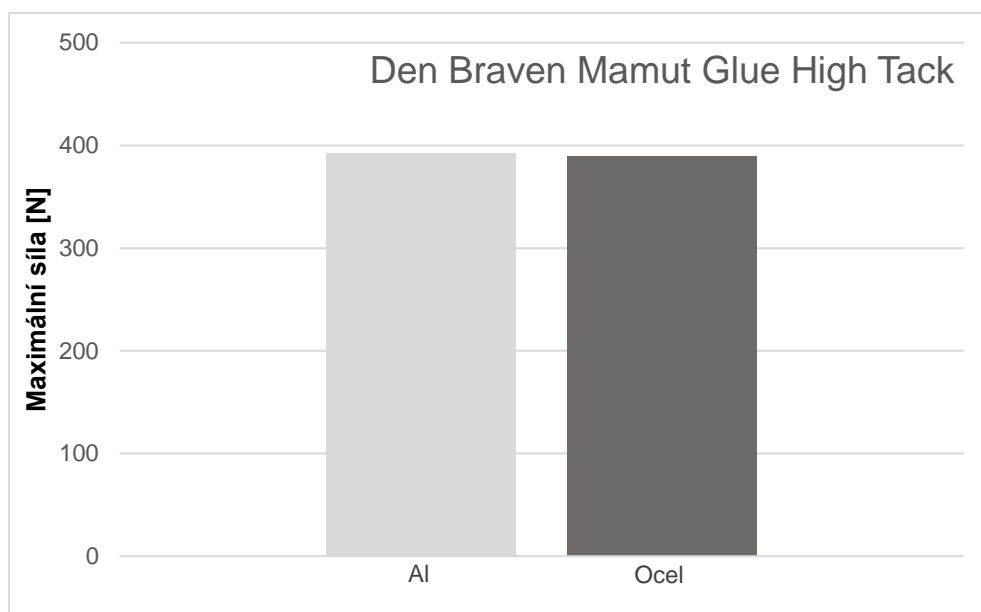
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Den Braven Mamut Glue High Tack jsou uvedeny v Tabulce 9 a Grafu 3 a 4.

Tabulka 9: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Překlátování spoje 25x25 mm				
Hliník	622,04 ± 80,75	1,02 ± 0,13	6,5 ± 0,78	33,35 ± 4,46
Ocel	690,48 ± 47,98	1,08 ± 0,05	6,67 ± 0,83	34,21 ± 2,36
Překlátování spoje 12x25 mm				
Hliník	392,88 ± 33,78	1,47 ± 0,1	7,15 ± 1,15	38,16 ± 3,99
Ocel	388,96 ± 17,12	1,4 ± 0,11	7,46 ± 0,89	35,39 ± 2,97



Graf 3: Mez pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack přeplátování 25 x 25 mm



Graf 4: Mez pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack přeplátování 12 x 25 mm

Lepidlo Den Braven Mamut Glue High Tack je v našem případě do jisté míry univerzální, jak je uvedeno v tabulce a grafu hodnoty pevnosti ve smyku, modulu pružnosti a tažnosti jsou téměř shodné pro hliníkové a ocelové adherendy. U tohoto lepidla docházelo primárně ke koheznímu porušení lepeného spoje. Jednotlivá porušení lepeného spoje pro daný adherend jsou na Obrázku 44.



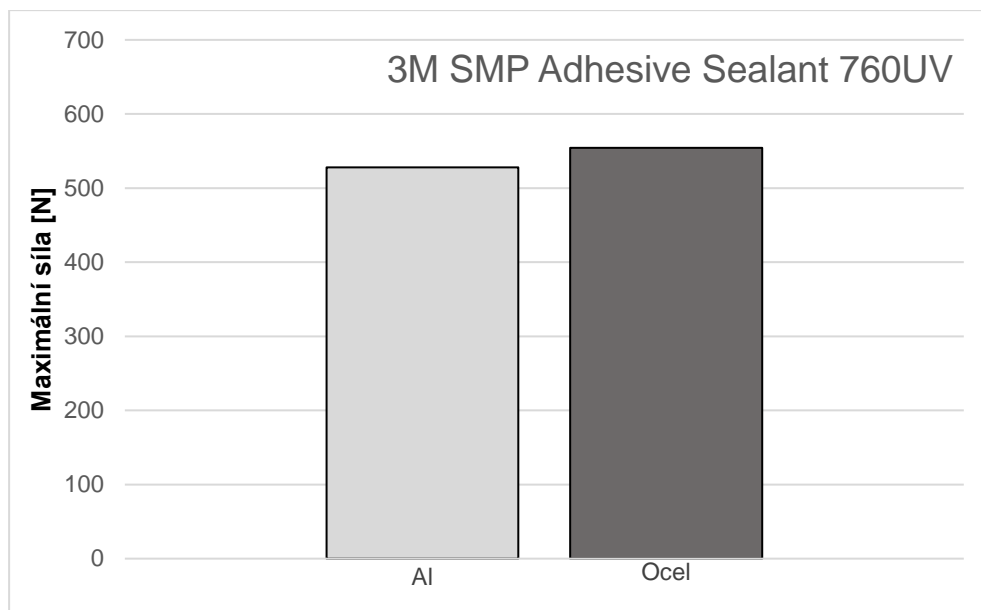
Obrázek 44: Porušení lepených spojů u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack

3.2.3 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

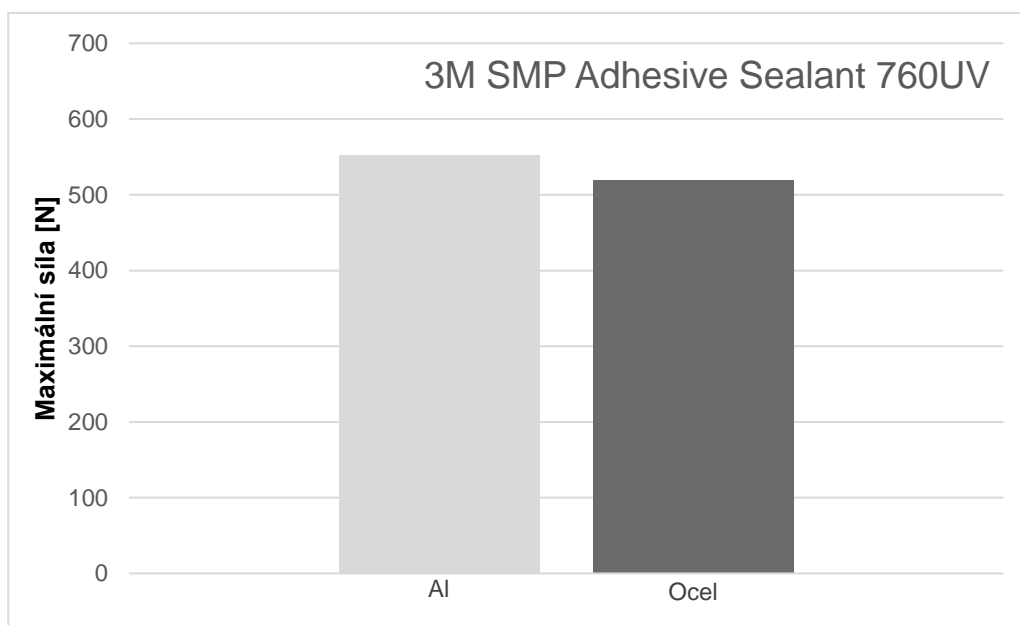
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV jsou uvedeny v Tabulce 10 a Grafu 5 a 6.

Tabulka 10: Výsledky měření pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Přeplátování spoje 25x25 mm				
Hliník	528,12 ± 22,03	0,88 ± 0,02	4,31 ± 0,94	24,42 ± 4,45
Ocel	554,52 ± 52,03	0,89 ± 0,08	3,9 ± 0,37	26,49 ± 1,84
Přeplátování spoje 12x25 mm				
Hliník	552,52 ± 41,49	2,15 ± 0,11	5,08 ± 0,41	52,21 ± 3,73
Ocel	519,5 ± 48,52	1,98 ± 0,19	4,55 ± 0,66	52,37 ± 4,21



Graf 5: Mez pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV přeplátování 25 x 25 mm



Graf 6: Mez pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV přeplátování 12 x 25 mm

Lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV lze řadit mezi univerzální v případě hliníkových a ocelových adherendů, hodnoty pevnosti ve smyku byly velmi podobné stejně jako u hodnot modulu pružnosti a tažnosti. Takto lze porovnávat v případě přeplátování 12 x 25 mm, protože u 25 x 25 mm nedošlo k vytvrzení lepidla. Na Obrázku 45 je vidět nevytvrzené lepidlo pro přeplátování 25 x 25 mm a zároveň kohezní porušení lepeného spoje v případě přeplátování 12 x 25 mm.



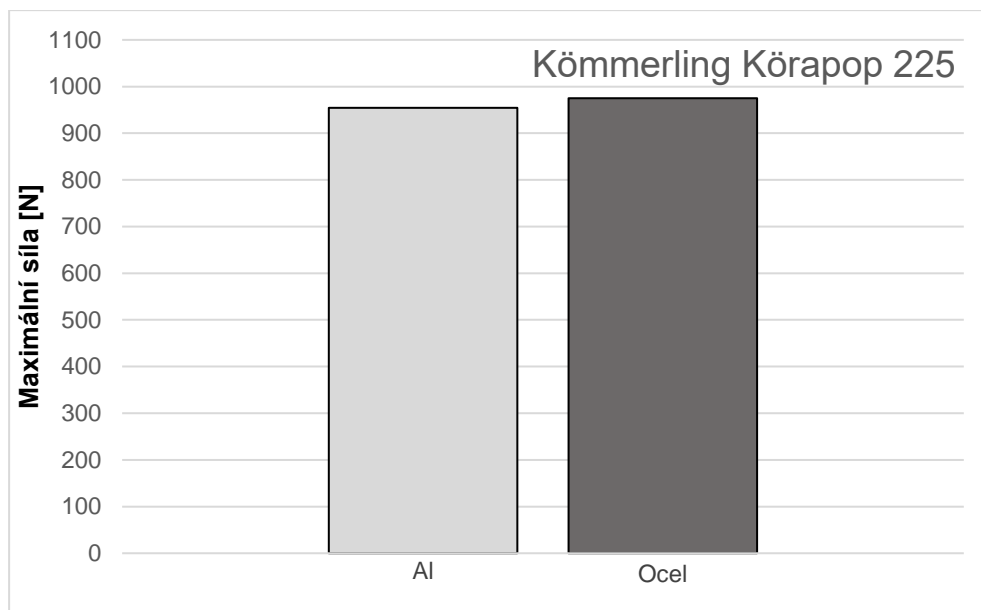
Obrázek 45: Porušení lepených spojů u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

3.2.4 Kömmerling Körapop 225

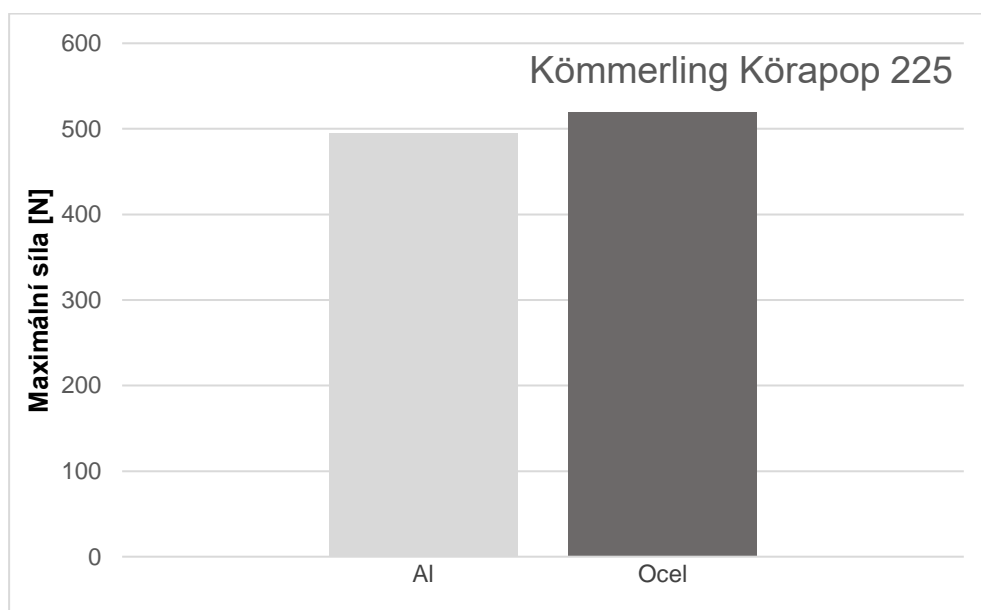
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Kömmerling Körapop 225 jsou uvedeny v Tabulce 11 a Grafu 7 a 8.

Tabulka 11: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Přeplátování spoje 25x25 mm				
Hliník	954,64 ± 122,8	1,62 ± 0,18	6,97 ± 0,7	26,1 ± 1,96
Ocel	975,04 ± 56,18	1,53 ± 0,08	6,86 ± 0,48	27,34 ± 1,86
Přeplátování spoje 12x25 mm				
Hliník	494,76 ± 33,57	1,9 ± 0,1	5,43 ± 0,42	40,12 ± 1,42
Ocel	519,68 ± 41,04	1,85 ± 0,15	5,7 ± 0,66	40 ± 5,74



Graf 7: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225 přeplátování 25 x 25 mm



Graf 8: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225 přeplátování 12 x 25 mm

Ze vzájemného porovnání naměřených hodnot pro lepidlo Kömmerling Körapop 225 je zřejmé, že hodnoty pevnosti ve smyku, modulu pružnosti a tažnosti se lišily jen nepatrně pro obě velikosti přeplátování lepeného spoje a oba typy adherendů. V případě hliníkových adherendů se jednalo o adhezně-kohezní porušení lepeného spoje, u ocelových adherendů bylo porušení lepeného spoje adhezní. Jednotlivá porušení lepených spojů jsou znázorněny na Obrázku 46.



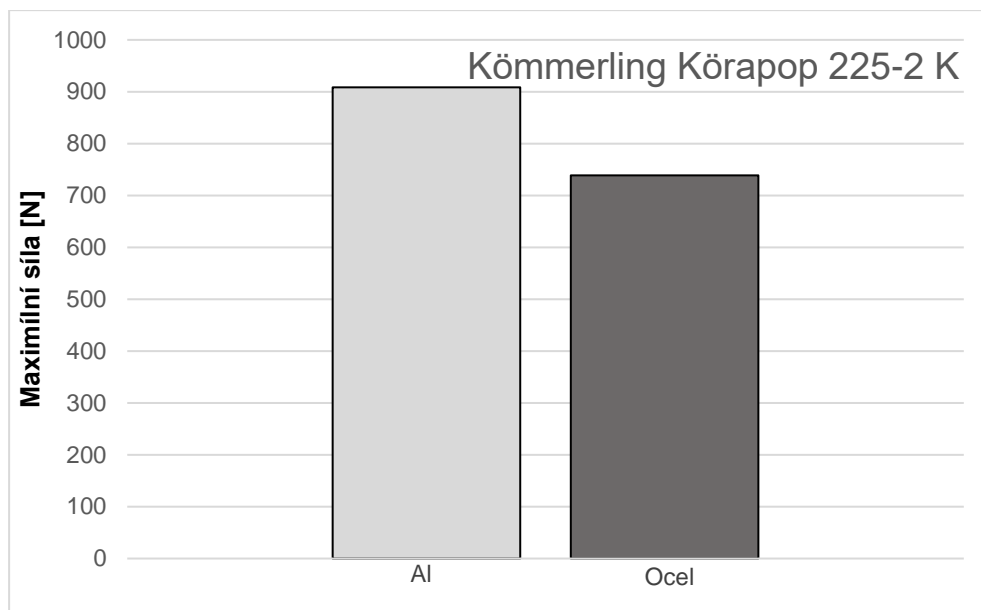
Obrázek 46: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 225

3.2.5 Kömmerling Körapop 225-2 K

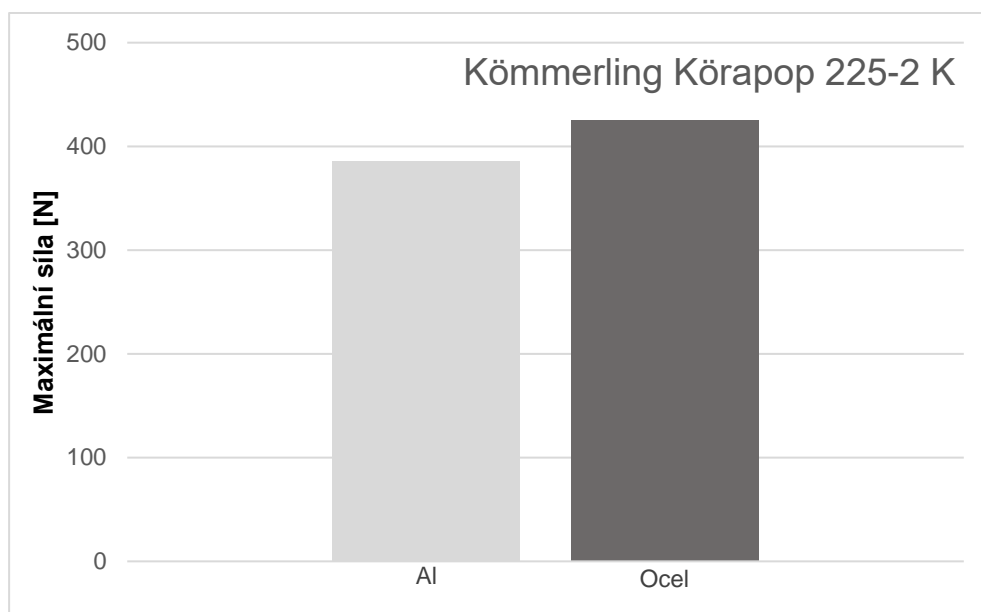
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K jsou uvedeny v Tabulce 12 a Grafu 9 a 10.

Tabulka 12: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Překlátování spoje 25x25 mm				
Hliník	908,7 ± 61,8	1,48 ± 0,09	7,71 ± 0,88	22,25 ± 3,36
Ocel	738,68 ± 80,79	1,16 ± 0,16	7,2 ± 0,35	19,17 ± 2,87
Překlátování spoje 12x25 mm				
Hliník	385,84 ± 29,69	1,84 ± 0,12	6,77 ± 0,66	32,87 ± 2,44
Ocel	425,08 ± 34,17	1,75 ± 0,17	7,12 ± 0,93	27,87 ± 4,99



Graf 9: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K přeplátování 25 x 25 mm



Graf 10: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K přeplátování 12 x 25 mm

Lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K v případě přeplátování 25 x 25 mm vykazuje vyšší hodnoty pevnosti ve smyku, modulu pružnosti a tažnosti na hliníkových adherendech, u ocelových adherendů je nižší pevnost ve smyku, hodnoty tažnosti a modulu pružnosti byly podobné jako v případě hliníkových adherendů. U přeplátování 12 x 25 mm jsou hodnoty pevnosti ve smyku, tažnosti a modulu pružnosti téměř shodné pro oba typy adherendů. U tohoto lepidla docházelo převážně k adhezně-koheznímu porušení lepeného spoje, porušení lepených spojů jsou znázorněna na Obrázku 47.



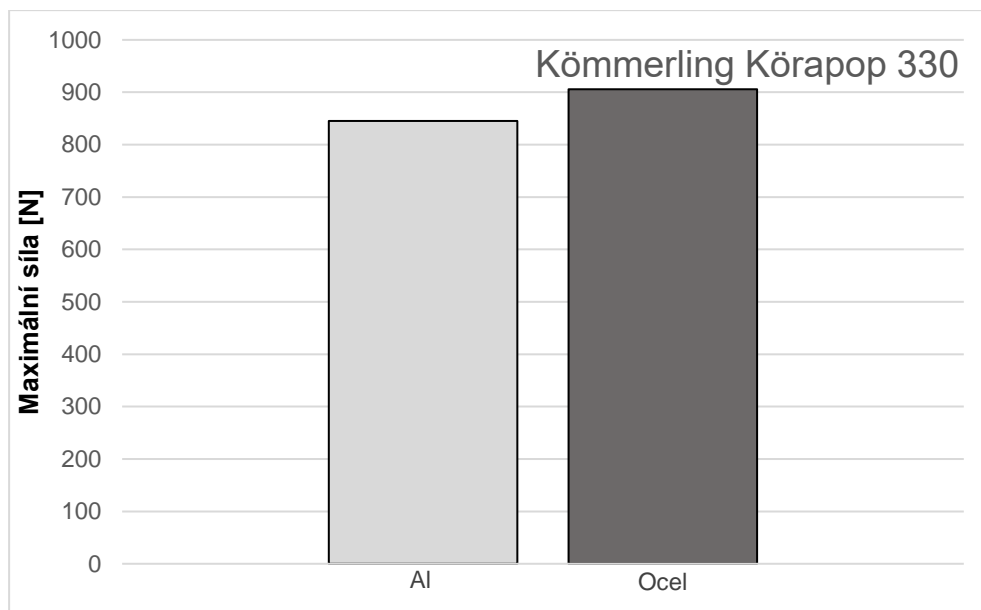
Obrázek 47: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K

3.2.6 Kömmerling Körapop 330

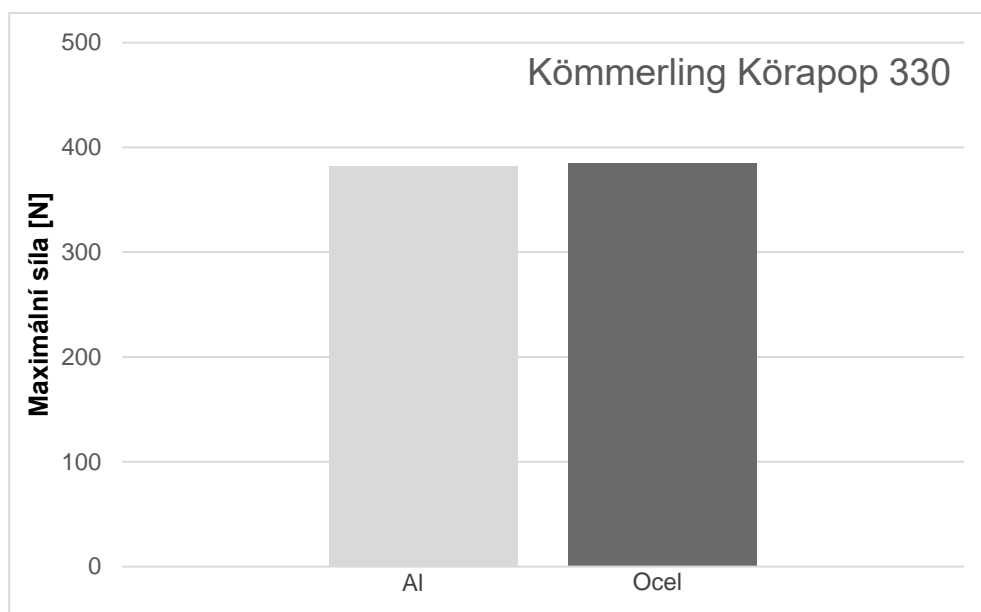
Naměřené hodnoty pevnosti ve smyku pro lepidlo Kömmerling Körapop 330 jsou uvedeny v Tabulce 13 a Grafu 11 a 12.

Tabulka 13: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330

Adherend	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Překlátování spoje 25x25 mm				
Hliník	845 ± 65,84	1,34 ± 0,06	4,05 ± 0,46	41,94 ± 4,5
Ocel	906 ± 107,72	1,43 ± 0,14	3,55 ± 0,54	52,24 ± 4,68
Překlátování spoje 12x25 mm				
Hliník	382,2 ± 34,16	1,54 ± 0,07	3,66 ± 0,29	49,98 ± 3,74
Ocel	385,28 ± 20,33	1,57 ± 0,08	3,69 ± 0,11	54,07 ± 6,64



Graf 11: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330 přeplátování 25 x 25 mm



Graf 12: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330 přeplátování 12 x 25 mm

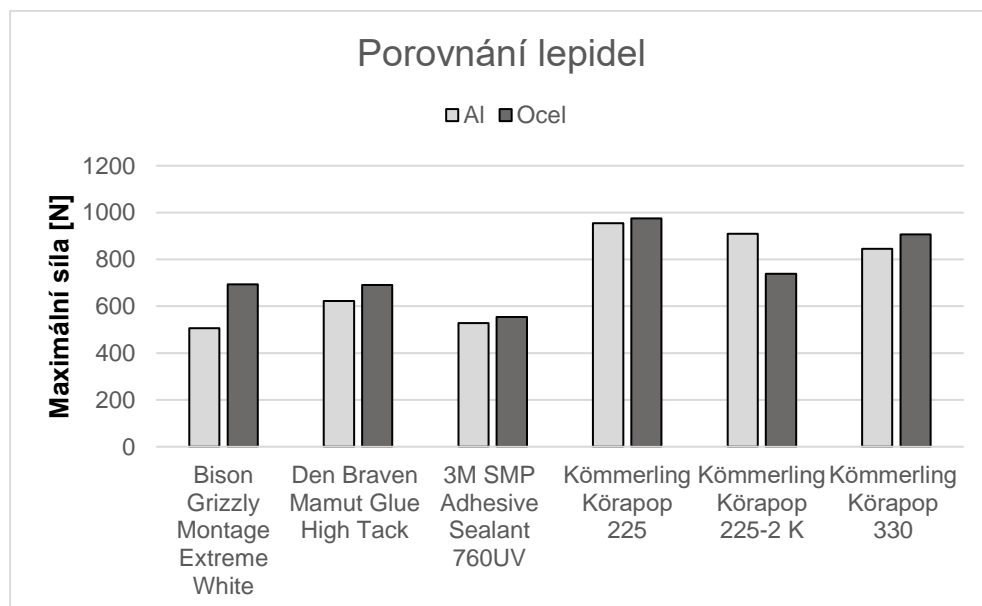
Lepidlo Kömmerling Körapop 330 lze řadit mezi univerzální, hodnoty meze pevnosti ve smyku, modulu pružnosti a tažnosti se lišily jen nepatrně, a to jak v případě velikosti přeplátování, tak i pro hliníkové a ocelové adherendy. Pro toto lepidlo převažovalo kohezní porušení lepeného spoje, a to jak u hliníkových i ocelových adherendů, tato porušení jsou znázorněna na Obrázku 48.



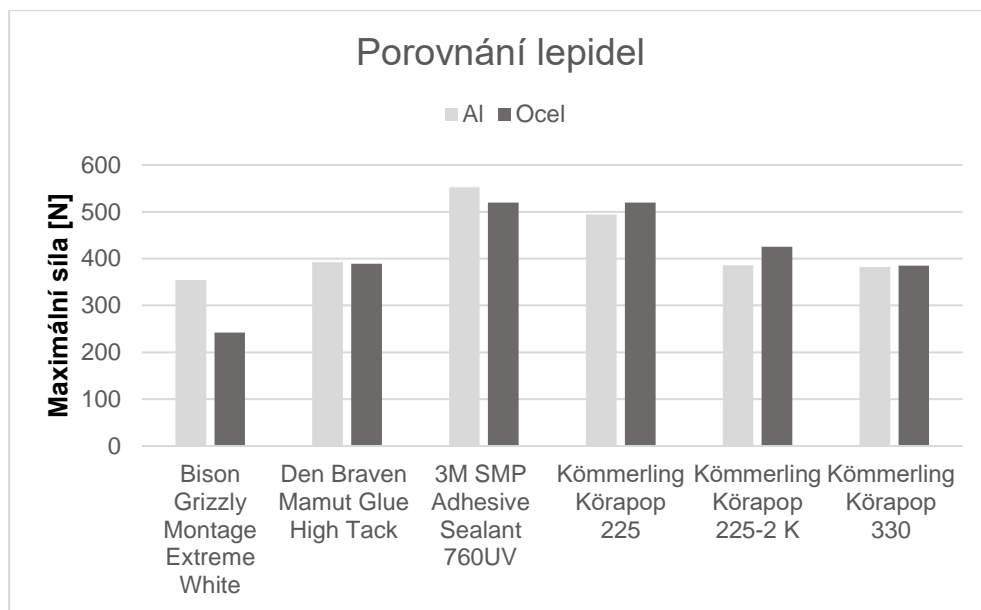
Obrázek 48: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 330

3.2.7 Celkové porovnání pevnosti ve smyku u zkoumaných lepidel

V Grafu 13 a 14 jsou uvedeny souhrnně pevnosti ve smyku u všech zkoumaných lepidel v rámci této práce pro dvě velikosti překlátování.



Graf 13: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel – překlátování 25 x 25 mm



Graf 14: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel – přelátování 12 x 25 mm

V celkovém grafickém porovnání je patrné, že pro přelátování lepeného spoje 25 x 25 mm pro hliníkové a ocelové adherendy dosahovalo nejvyšších hodnot maximální síly lepidlo Kömmerling Körapop 225. O trochu menších hodnot maximální síly dosahovala lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K a Kömmerling Körapop 330, zbylá lepidla od firmy Bison a Den Braven dosahovala podobných hodnot v celkovém porovnání, jak je znázorněno na Grafu 13. Lepidlo od firmy 3M není možné do tohoto porovnání začlenit, protože lepený spoj nebyl vytvrzen.

Při porovnání hodnot maximálních sil u hliníkových a ocelových adherendů pro přelátování lepeného spoje 12 x 25 mm dosahuje nejvyšších hodnot lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV a Kömmerling Körapop 225, nejnižší hodnoty dosahovalo lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White. Zbylá lepidla od firmy Kömmerling a Den Braven dosahovala velmi podobných hodnot maximální síly.

Hodnoty tažnosti pro jednotlivá lepidla byly poměrně nízké, a to v řádu jednotek procent. Nejvyšší tažnost vykazovalo lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K, naopak nejnižší tažnost byla u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White.

Modul pružnosti se v celkovém porovnání v závislosti na typu adherendu a velikosti přelátování příliš neměnil. V tomto případě se rozdíly projevily kvalitou lepidla. Nejvyšší hodnoty modulu pružnosti dosahovalo lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White a nejnižší hodnoty lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K.

3.3 Výsledky měření pevnosti v tahu

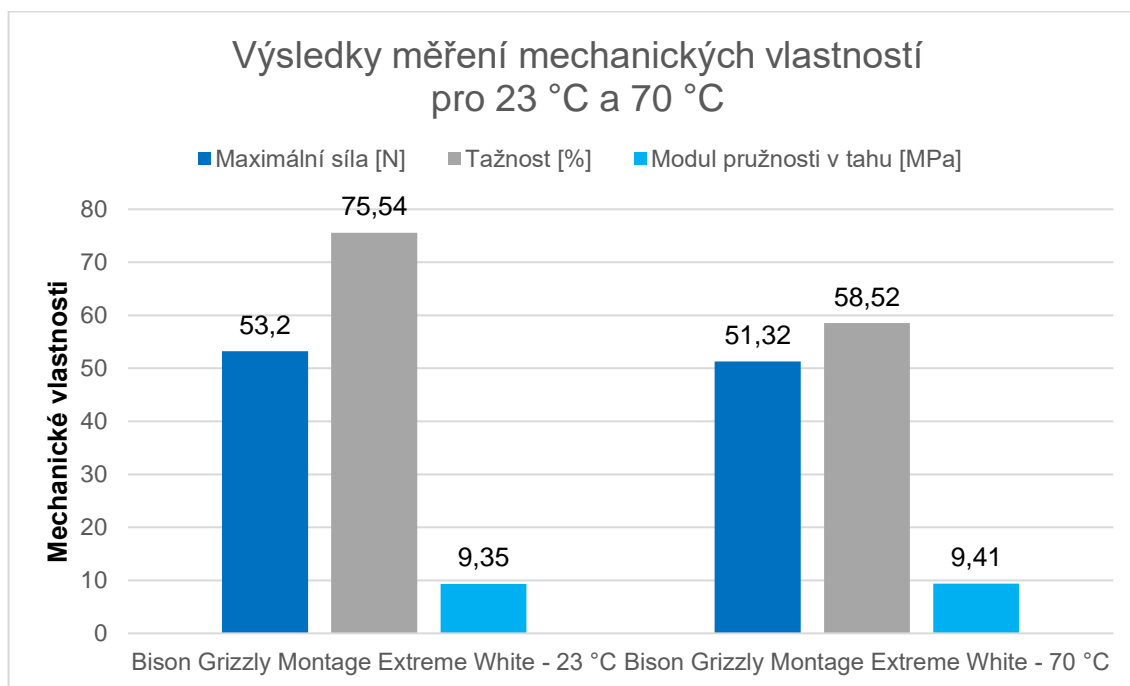
V následující části jsou rozebrány a souhrnně uvedeny výsledky mechanických vlastností při měření pevnosti v tahu při 23 °C a 70 °C pro jednotlivá lepidla.

3.3.1 Bison Grizzly Montage Extreme White

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White jsou uvedeny v Tabulce 14 a Grafu 15.

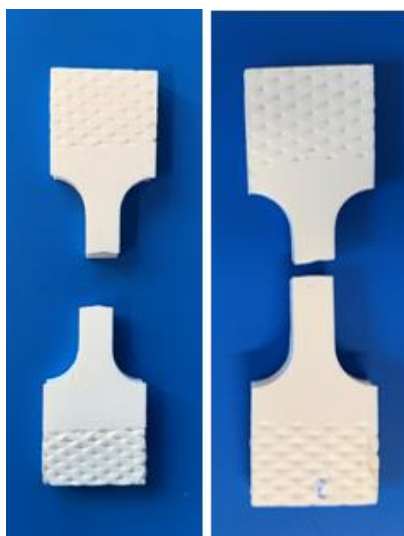
Tabulka 14: Výsledky měření pevnosti v tahu – Bison Grizzly Montage Extreme White

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	53,2 ± 2,46	3,07 ± 0,15	75,54 ± 13,55	9,35 ± 0,79
70 °C	51,32 ± 6,79	2,87 ± 0,39	58,57 ± 11,6	9,41 ± 0,59



Graf 15: Porovnání mechanických vlastností – Bison Grizzly Montage Extreme White

Z tabulky a grafu vyplývá, že při zvýšení teploty se hodnota maximální síly a modulu pružnosti téměř nezměnila. Hodnota tažnosti při zvýšené teplotě byla nižší než při 23 °C. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 49.



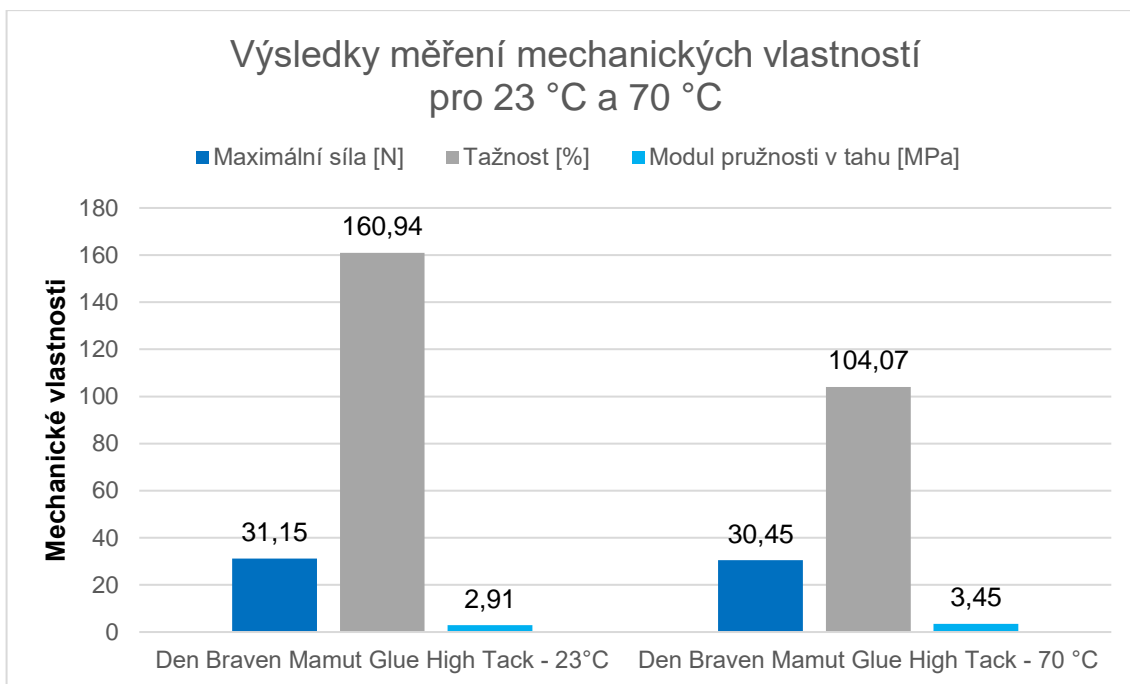
Obrázek 49: Přetržená tělíška při měření v tahu u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White

3.3.2 Den Braven Mamut Glue High Tack

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo Den Braven Mamut Glue High Tack jsou uvedeny v Tabulce 15 a Grafu 16.

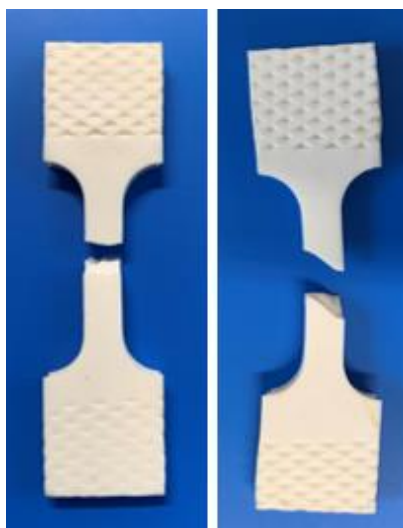
Tabulka 15: Výsledky měření pevnosti v tahu – Den Braven Mamut Glue High Tack

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	31,15 ± 2,96	2,1 ± 0,1	160,94 ± 33,02	2,91 ± 0,59
70 °C	30,45 ± 1,89	2,01 ± 0,15	104,07 ± 15,34	3,45 ± 0,4



Graf 16: Porovnání mechanických vlastností – Den Braven Mamut Glue High Tack

U tohoto lepidla jsou změny mechanických vlastností shodné jako u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White. Zvýšení teploty zapříčinilo snížení tažnosti, hodnota maximální síly a modulu pružnosti se působením teploty nezměnila. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 50.



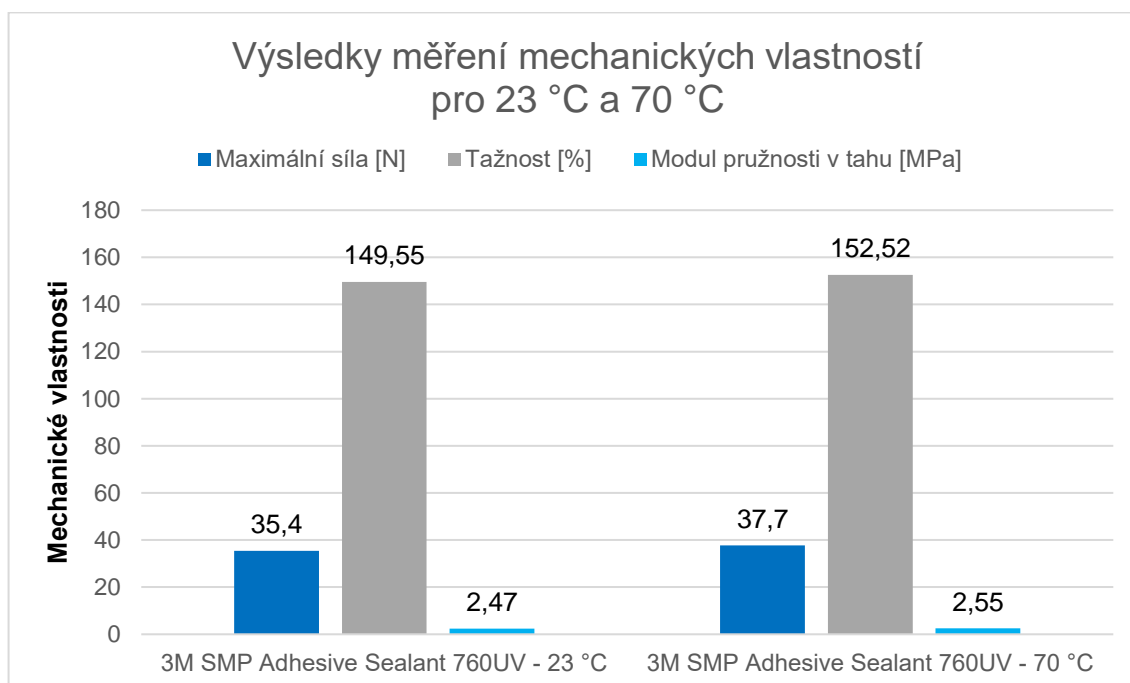
Obrázek 50: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack

3.3.3 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV jsou uvedeny v Tabulce 16 a Grafu 17.

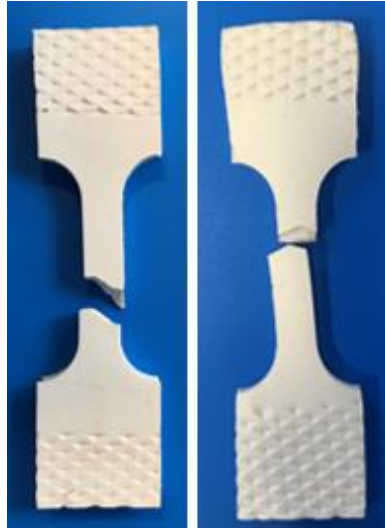
Tabulka 16: Výsledky měření pevnosti v tahu – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	35,4 ± 3,42	2,42 ± 0,22	149,55 ± 15,4	2,47 ± 0,31
70 °C	37,7 ± 1,09	2,79 ± 0,2	152,52 ± 13,9	2,55 ± 0,08



Graf 17: Porovnání mechanických vlastností – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

U lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV nemělo zvýšení teploty žádný vliv na změnu hodnot maximální síly, tažnosti ani modulu pružnosti. Vzorčky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 51.



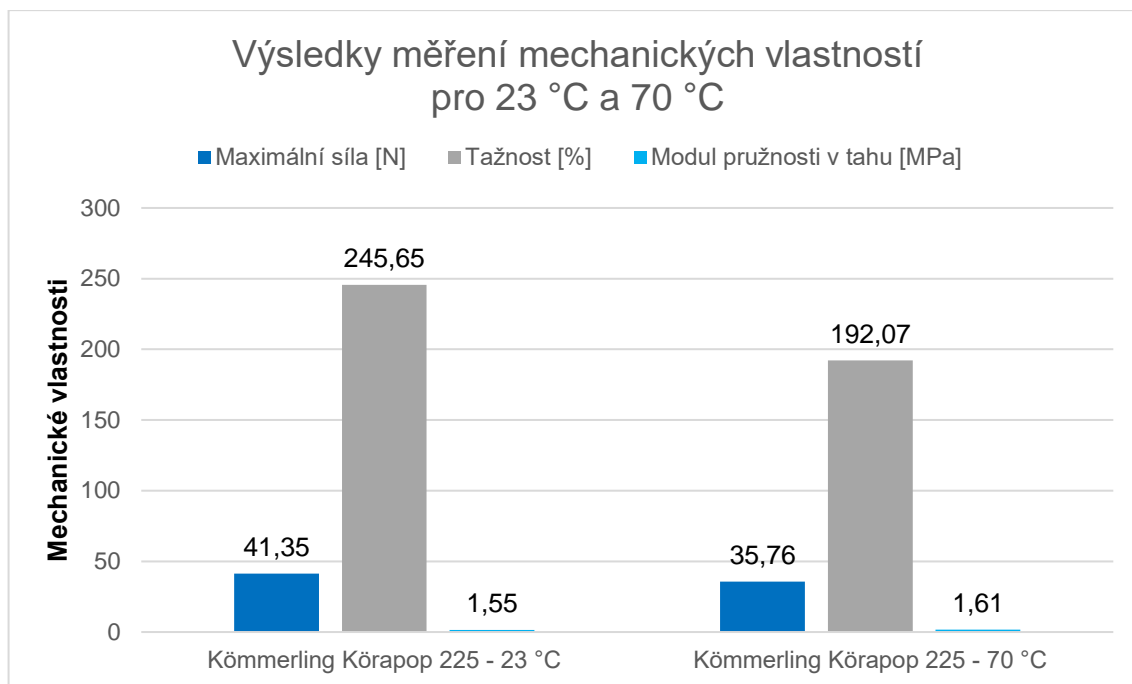
Obrázek 51: Přetržená tělíška při měření v tahu u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

3.3.4 Kömmerling Körapop 225

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 225 jsou uvedeny v Tabulce 17 a Grafu 18.

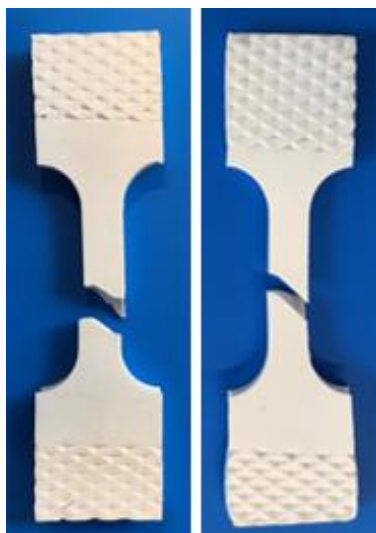
Tabulka 17: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 225

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	41,35 ± 3,33	3,02 ± 0,12	245,65 ± 18,71	1,55 ± 0,06
70 °C	35,76 ± 2,75	2,63 ± 0,32	192,07 ± 22,83	1,61 ± 0,1



Graf 18: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 225

U lepidla Kömmerling Körapop 225 došlo se zvýšením teploty jen k malému snížení hodnoty maximální síly, modul pružnosti se prakticky nezměnil a tažnost opět se zvýšením teploty poklesla. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 52.



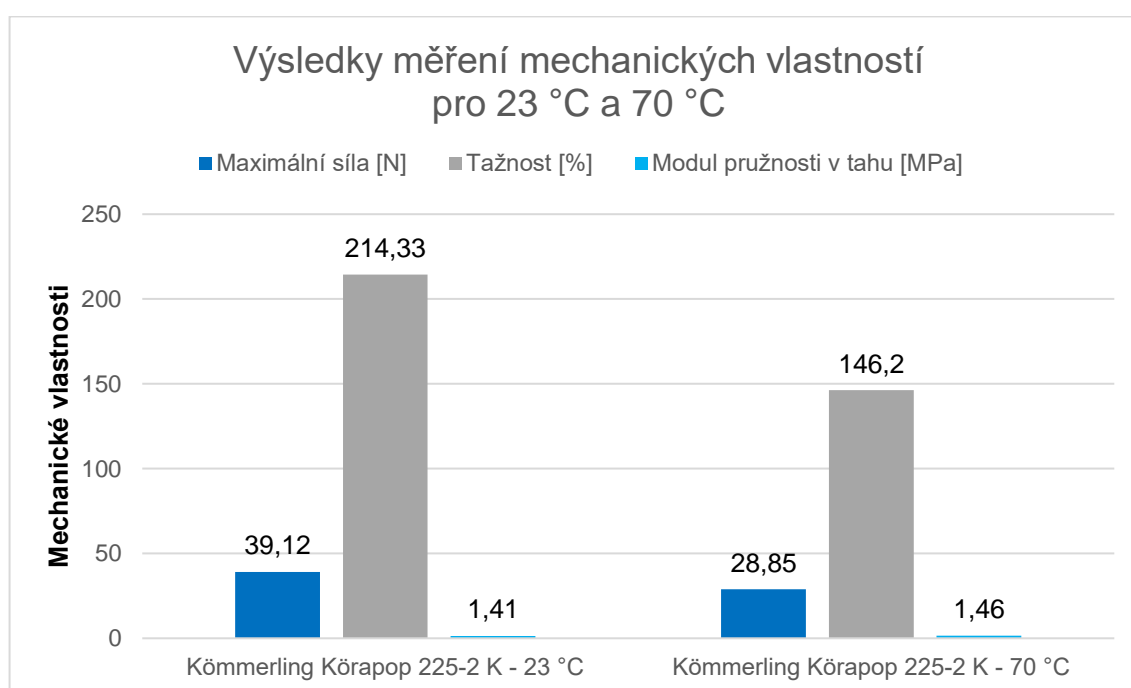
Obrázek 52: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225

3.3.5 Kömmerling Körapop 225-2 K

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K jsou uvedeny v Tabulce 18 a Grafu 19.

Tabulka 18: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 225-2 K

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	39,12 ± 8,9	2,44 ± 0,58	214,33 ± 40,9	1,41 ± 0,21
70 °C	28,85 ± 3,38	1,84 ± 0,17	146,2 ± 14,99	1,46 ± 0,14



Graf 19: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 225-2 K

Z tabulky a grafu vyplývá, že při zvýšení teploty nastalo snížení hodnoty maximální síly a tažnosti, modul pružnosti se s teplotou u tohoto lepidla neměnil. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 53.



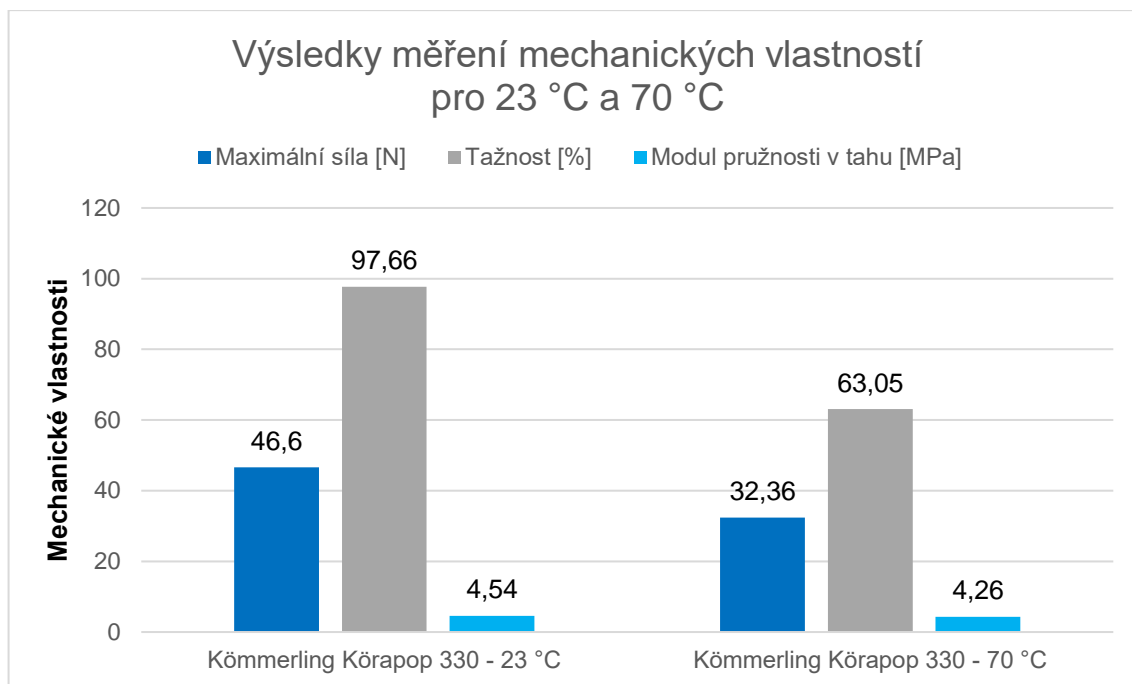
Obrázek 53: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K

3.3.6 Kömmerling Körapop 330

Naměřené hodnoty pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 330 jsou uvedeny v Tabulce 19 a Grafu 20.

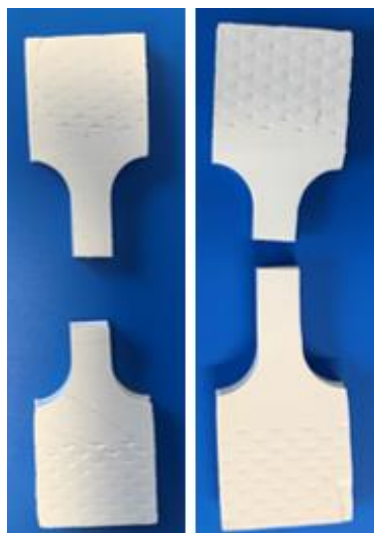
Tabulka 19: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 330

	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Teplota při měření				
23 °C	46,6 ± 3,91	3,09 ± 0,3	97,66 ± 13,21	4,54 ± 0,16
70 °C	32,36 ± 2,43	2,06 ± 0,22	63,05 ± 8,04	4,26 ± 0,17



Graf 20: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 330

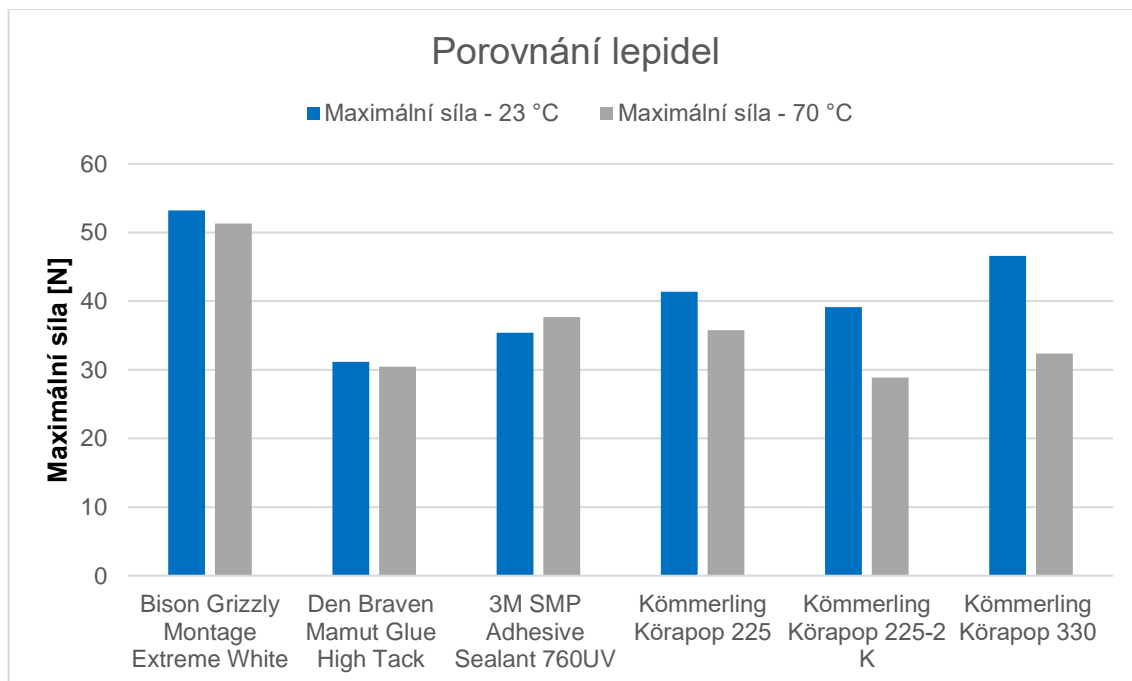
U tohoto lepidla byla situace obdobná jako u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K. Se zvýšením teploty poklesly hodnoty maximální síly a tažnosti, modul pružnosti se nezměnil. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 54.



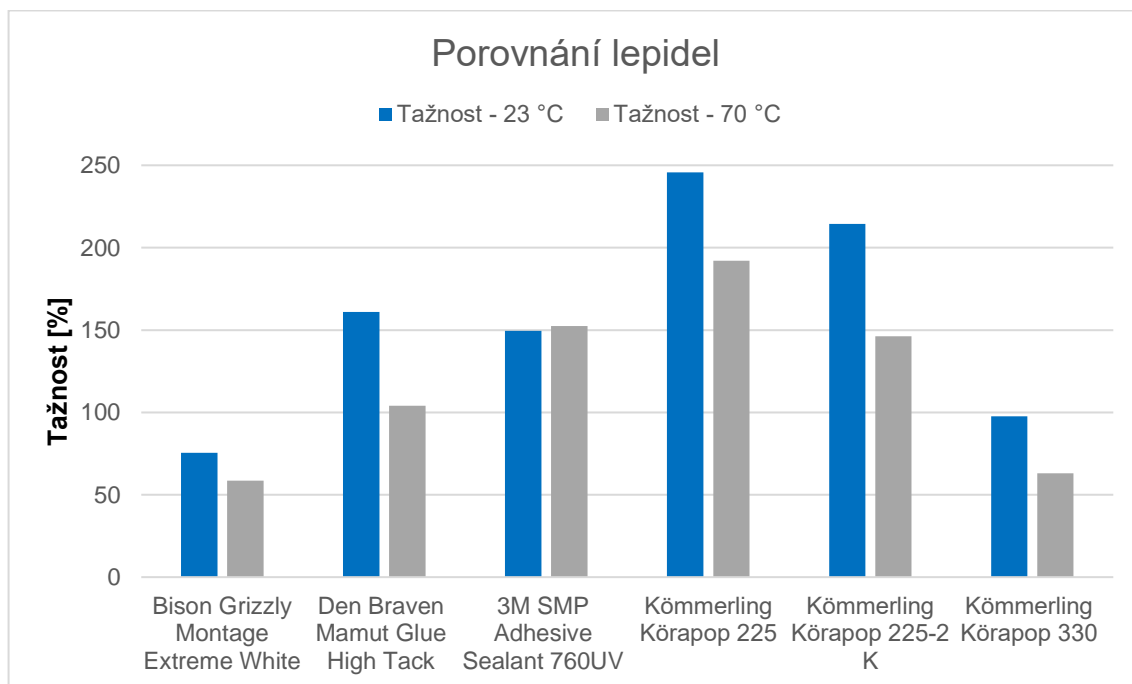
Obrázek 54: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 330

3.3.7 Celkové porovnání pevnosti v tahu u zkoumaných lepidel

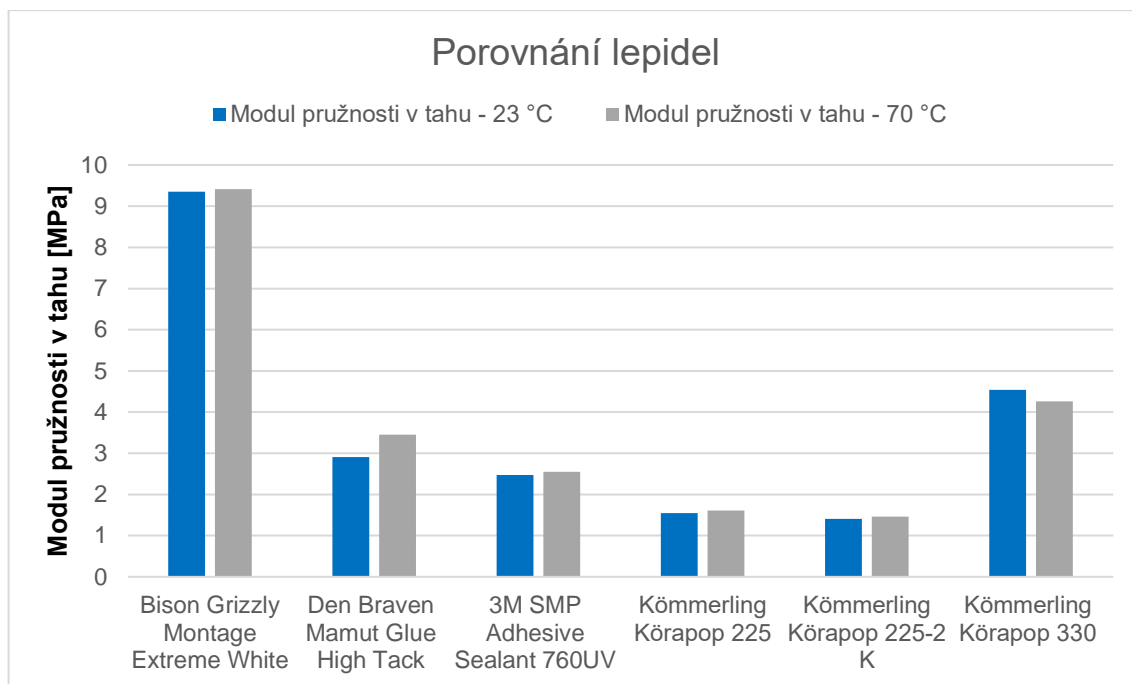
V Grafech 21, 22 a 23 jsou souhrnně porovnány naměřené hodnoty maximálních sil, tažnosti a modulu pružnosti pro jednotlivá lepidla.



Graf 21: Celkové porovnání hodnot maximální síly pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 22: Celkové porovnání hodnot tažnosti pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 23: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti pro analyzovanou skupinu lepidel

Při 23 °C dosahovalo nejvyšší hodnoty maximální síly lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White, stejně tomu bylo i u 70 °C. U lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV, Den Braven Mamut Glue High Tack a Kömmerling Körapop 225 se projevila velmi nepatrná změna hodnot maximální síly při změnách teploty. Tato čtyři lepidla mají výbornou teplotní stálost a nedochází u nich k výrazným změnám mechanických vlastností při změnách okolní teploty. U lepidel Kömmerling Körapop 225-2 K a Kömmerling Körapop 330 byl pokles hodnoty maximální síly nejvýraznější z celé skupiny lepidel, to platilo při zvýšení teploty na 70 °C.

Hodnoty tažnosti byly pro 23 °C nejvyšší u lepidla Kömmerling Körapop 225 a zároveň i pro 70 °C. Nejnižší hodnoty tažnosti vykazovalo pro obě teploty lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White. Tažnost se u většiny lepidel se zvyšující teplotou snižovala až na lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV, kde tažnost zůstala stejná pro obě teploty.

Modul pružnosti měl pro obě teploty nejvyšší hodnotu u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White, a to poměrně s výrazným rozdílem oproti ostatním lepidlům. Obecně lze říci, že se hodnoty modulu pružnosti měnily jen nepatrně v porovnání pro teplotu 23 °C a 70 °C.

3.4 Výsledky měření DMA a TMA

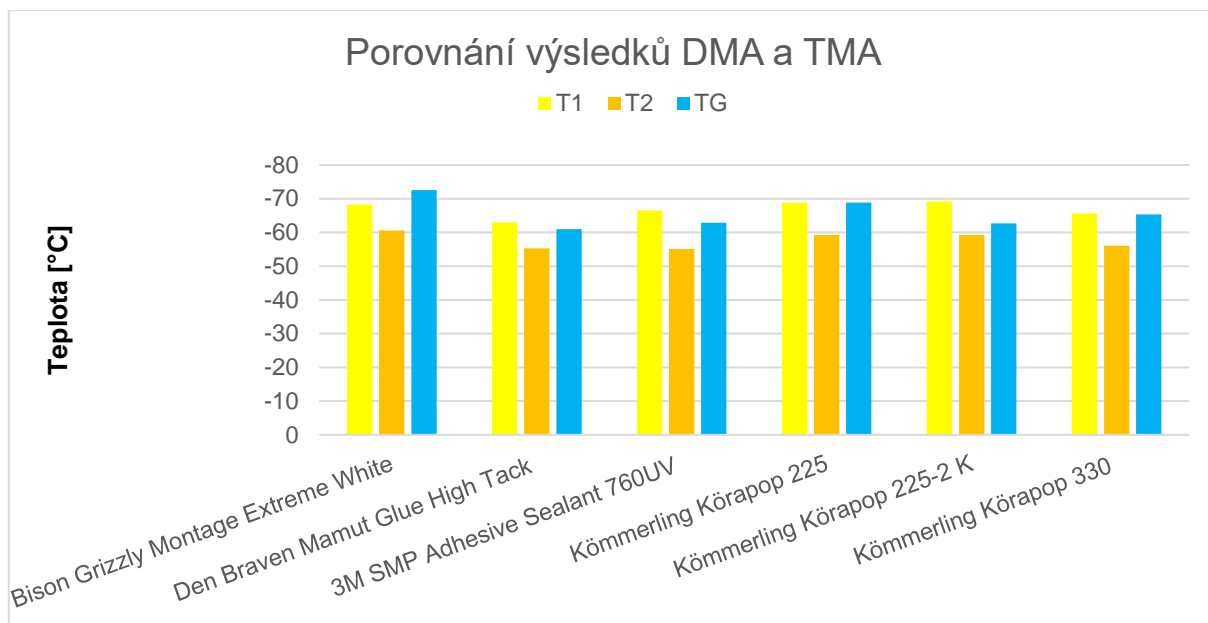
Naměřené hodnoty teplot T_1 , T_2 , T_g a modulu pružnosti E při různých teplotách jsou souhrnně uvedeny v Tabulkách 20 a 21 a Grafu 24 a 25.

Tabulka 20: Naměřené hodnoty z DMA a TMA – T_1 , T_2 , T_g , α_1 a α_2

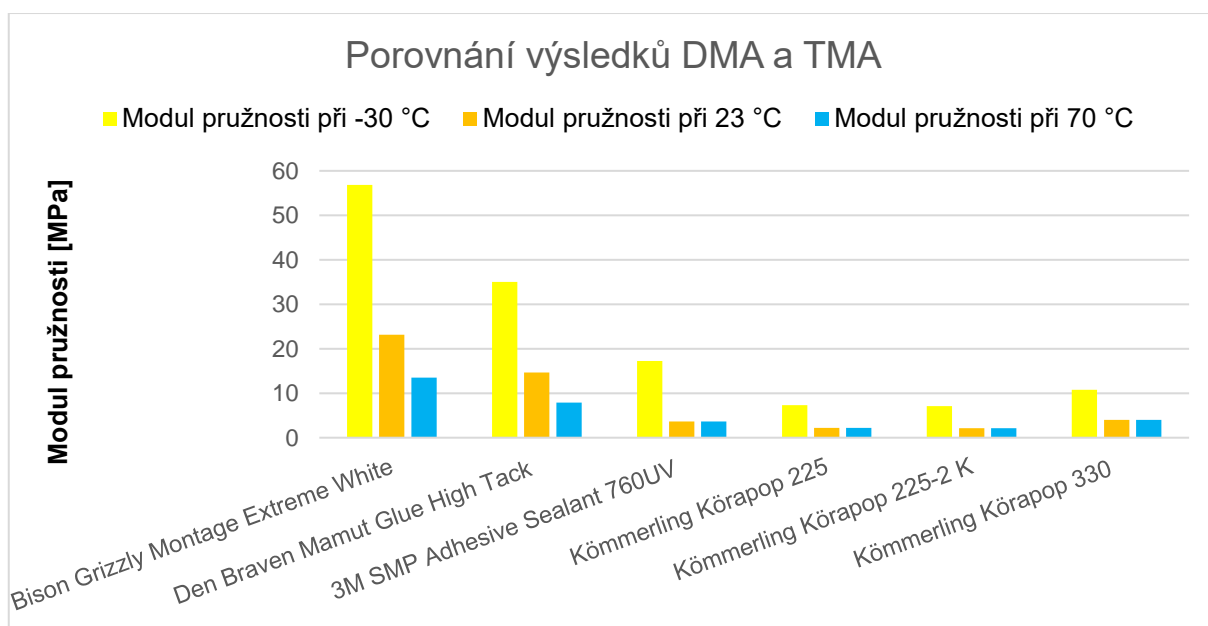
Lepidlo	DMA		TMA		
	T_1 [°C]	T_2 [°C]	T_g [°C]	α_1 [ppm/°C]	α_2 [ppm/°C]
Bison Grizzly Montage Extreme White	-68,31	-60,6	-72,6	19,31	120,68
Den Braven Mamut Glue High Tack	-62,96	-55,3	-61	23,43	172,15
3M SMP Adhesive Sealant 760UV	-66,52	-55,1	-62,9	7,41	186,84
Kömmerling Körapop 225	-68,84	-59,3	-68,9	12,45	218,02
Kömmerling Körapop 225-2 K	-69,23	-59,3	-62,7	17,82	95,98
Kömmerling Körapop 330	-65,63	-56	-65,3	9,49	135,38

Tabulka 21: Naměřené hodnoty modulu pružnosti E při různých teplot pomocí DMA

Lepidlo	Modul pružnosti při -30 °C [MPa]	Modul pružnosti při 23 °C [MPa]	Modul pružnosti při 70 °C [MPa]
Bison Grizzly Montage Extreme White	56,83	23,14	13,51
Den Braven Mamut Glue High Tack	35,02	14,68	7,89
3M SMP Adhesive Sealant 760UV	17,28	3,68	3,68
Kömmerling Körapop 225	7,33	2,21	2,21
Kömmerling Körapop 225-2 K	7,13	2,15	2,15
Kömmerling Körapop 330	10,79	4,01	4,01



Graf 24: Celkové porovnání hodnot T_1 , T_2 a T_g pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 25: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti za různých teplot pro analyzovanou skupinu lepidel

Nejnižší teplotu skleného přechodu mělo lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White a nejvyšší hodnoty dosáhlo lepidlo Den Braven Mamut Glue High Tack. U zbytku lepidel byla teplota skelného přechodu velmi podobná a lišila se jen velmi drobně.

U hodnot T_1 a T_2 , které jsou blízké T_g , mělo nejnižší hodnoty těchto teplot lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White, Kömmerling Körapop 225 a Kömmerling Körapop 225-

2 K. Nejvyšší hodnoty byly znovu u lepidla od výrobce Den Braven. Zbylá lepidla vycházela opět velmi podobně s nepatrnými rozdíly jako u teploty skelného přechodu.

Při porovnání hodnot modulu pružnosti je patrné, že se jeho hodnota snižovala s rostoucí teplotou, tento pokles byl velmi výrazný u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White, které mělo nejvyšší hodnoty modulu pružnosti při daných teplotách. U lepidel značky Den Braven a 3M se pokles modulu pružnosti projevil také poměrně značným skokem, jak je patrné v tabulce a grafu. Zbylá lepidla od značky Kömmerling vykazovala jen velmi malý pokles hodnot modulu pružnosti, a to v řádu jednotek. Obecně lze říci, že lepidla mají širokou aplikační použitelnost v širokém teplotním rozsahu, jak je patrné z předchozích měření.

3.5 Stárnutí polymerů

V následující části jsou rozebrány a souhrnně uvedeny výsledky měření tvrdosti Shore A, změny barevnosti a mechanických vlastností při měření pevnosti v tahu pro jednotlivá lepidla z pohledu přirozeného a urychleného stárnutí lepidel.

3.5.1 Bison Grizzly Montage Extreme White

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White jsou uvedeny v Tabulkách 22, 23 a 24 a v Grafu 26, 27 a 28.

Tabulka 22: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White

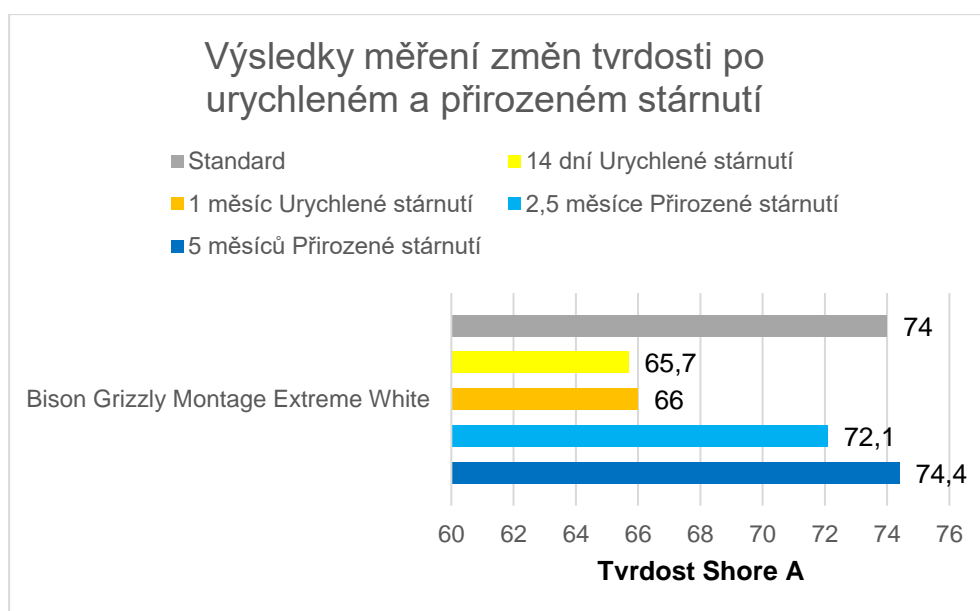
	Shore A
Standard	$74 \pm 2,05$
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	$65,7 \pm 1,64$
1 měsíc expozice	$66 \pm 2,2$
Přirozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	$72,1 \pm 1,37$
5 měsíců expozice	$74,4 \pm 1,71$

Tabulka 23: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White

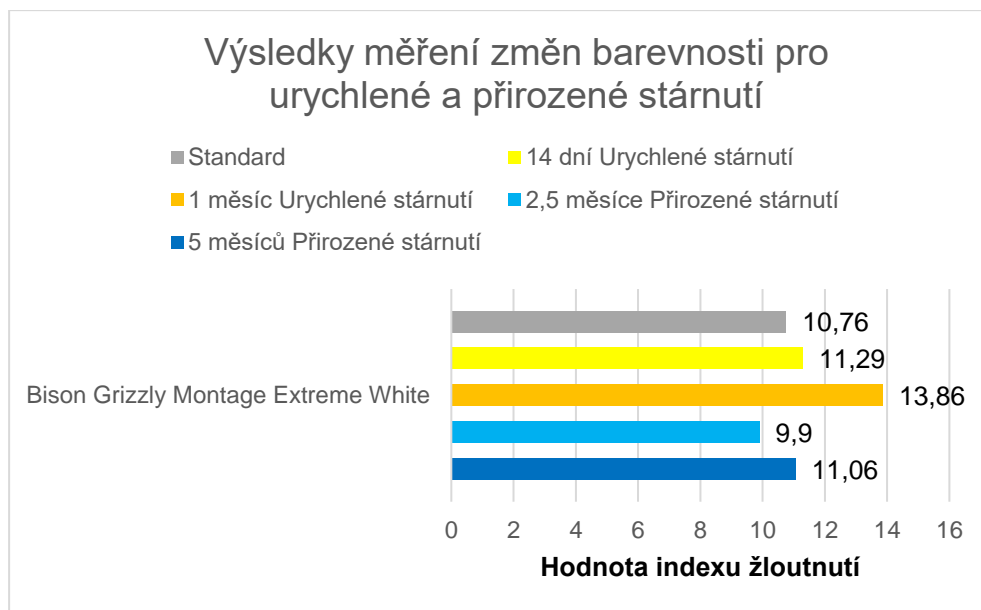
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	95,72	-0,56	6,01	---	10,76
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	94,84	0,65	5,74	1,66	11,29
1 měsíc expozice	94,57	0,22	7,33	1,75	13,86
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	94,88	-0,34	5,4	0,73	9,9
5 měsíců expozice	94,29	-0,37	6,02	0,56	11,06

Tabulka 24: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White

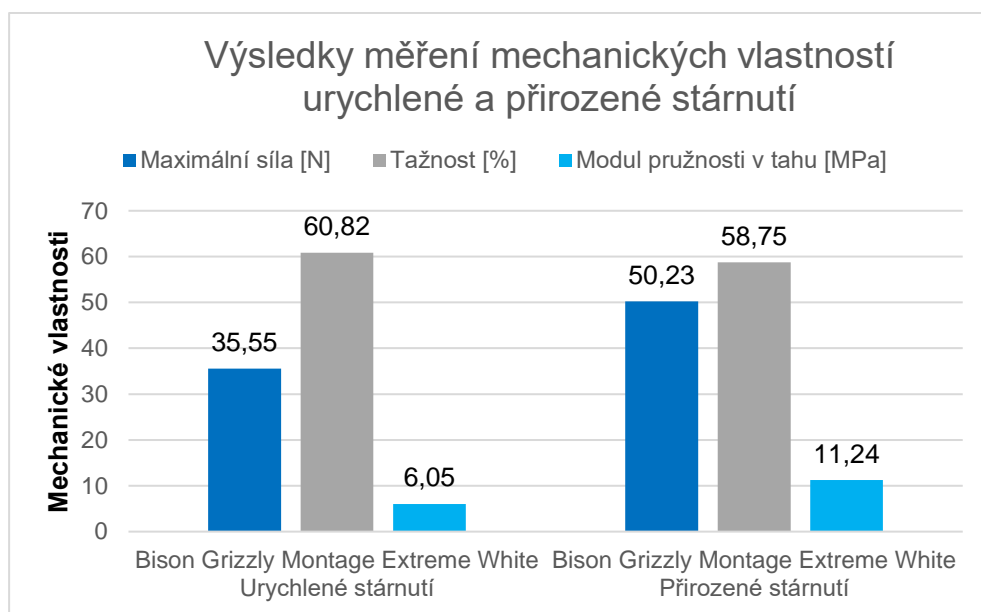
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	53,2 ± 2,46	3,07 ± 0,15	75,54 ± 13,55	9,35 ± 0,79
Druh UV stárnutí				
Urychlené	35,55 ± 1,59	2,11 ± 0,05	60,82 ± 4,58	6,05 ± 0,45
Přirozené	50,23 ± 5	2,85 ± 0,24	58,75 ± 9,7	11,24 ± 0,8



Graf 26: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White



Graf 27: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White



Graf 28: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White

U lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White docházelo ke snížení hodnot tvrdosti Shore A oproti standardu. Výraznější pokles byl naměřen v případě urychleného stárnutí, v případě přirozeného stárnutí byla změna hodnot tvrdosti jen minimální.

Hodnoty indexu žloutnutí byly v případě urychleného a přirozeného stárnutí nepatrně vyšší než u standardu, tudíž se na lepidle projevila degradace, která se projeví žloutnutím povrchu.

Při porovnání mechanických vlastností je patrné, že hodnoty maximální síly, tažnosti a modulu pružnosti měnily velmi málo v porovnání přirozeného stárnutí ve srovnání se standardem. V rámci porovnání hodnot z urychleného stárnutí se standardem došlo k výraznějšímu poklesu hodnoty maximální síly a modulu pružnosti, tažnost se snížila jen mírně. Vzorčky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 55.



Obrázek 55: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White

3.5.2 Den Braven Mamut Glue High Tack

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo Den Braven Mamut Glue High Tack jsou uvedeny v Tabulkách 25, 26 a 27 a v Grafu 29, 30 a 31.

Tabulka 25: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack

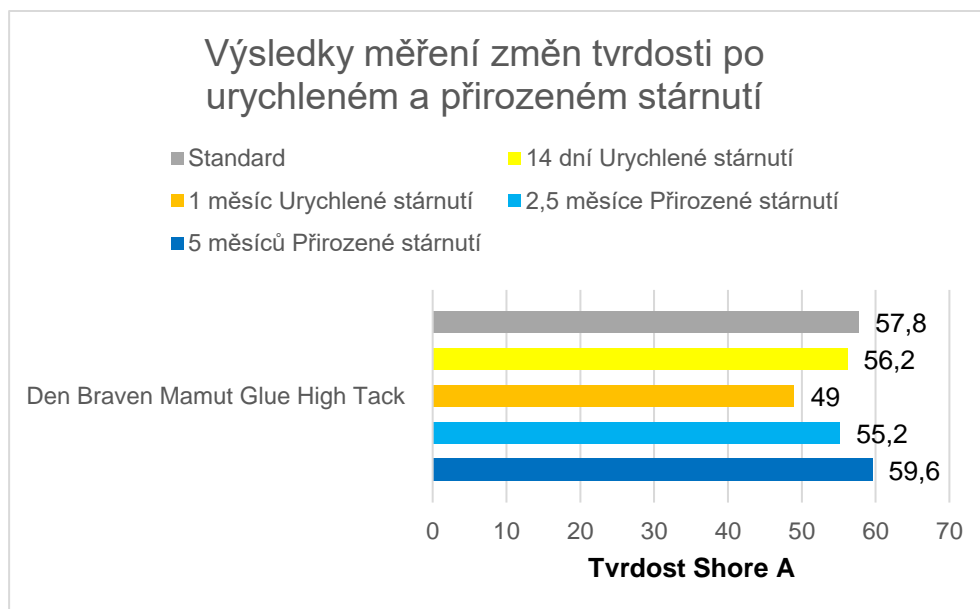
	Shore A
Standard	57,8 ± 1,03
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	56,2 ± 1,81
1 měsíc expozice	49 ± 7,3
Přirozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	55,2 ± 1,14
5 měsíců expozice	59,6 ± 0,52

Tabulka 26: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack

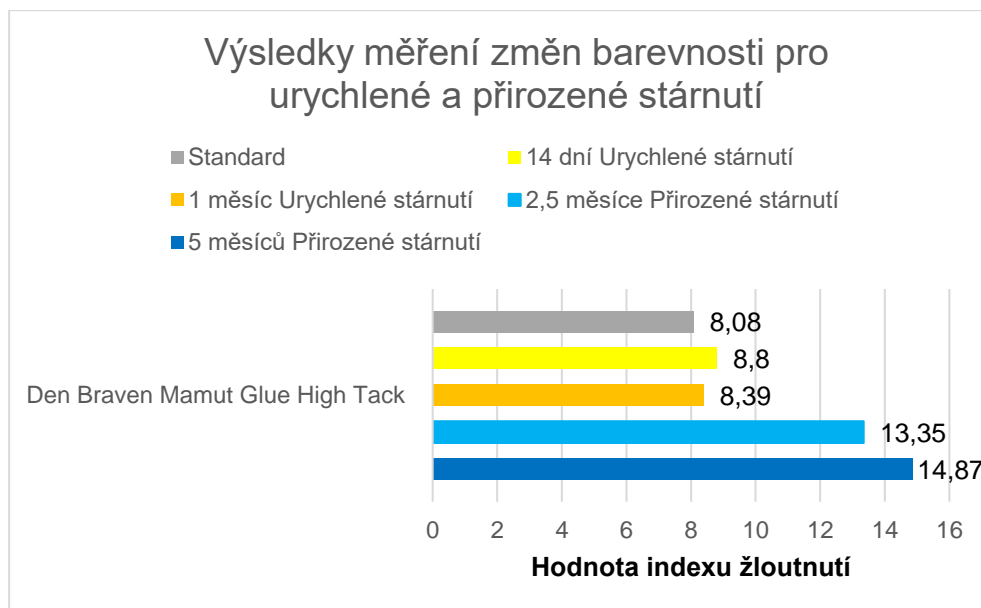
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	92,49	-0,56	4,41	---	8,08
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	90,69	1,1	4,02	2,31	8,8
1 měsíc expozice	90,34	0,5	4,04	1,62	8,39
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	91,8	-1,06	7,42	3,37	13,35
5 měsíců expozice	91,35	-0,8	8,1	4,1	14,87

Tabulka 27: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack

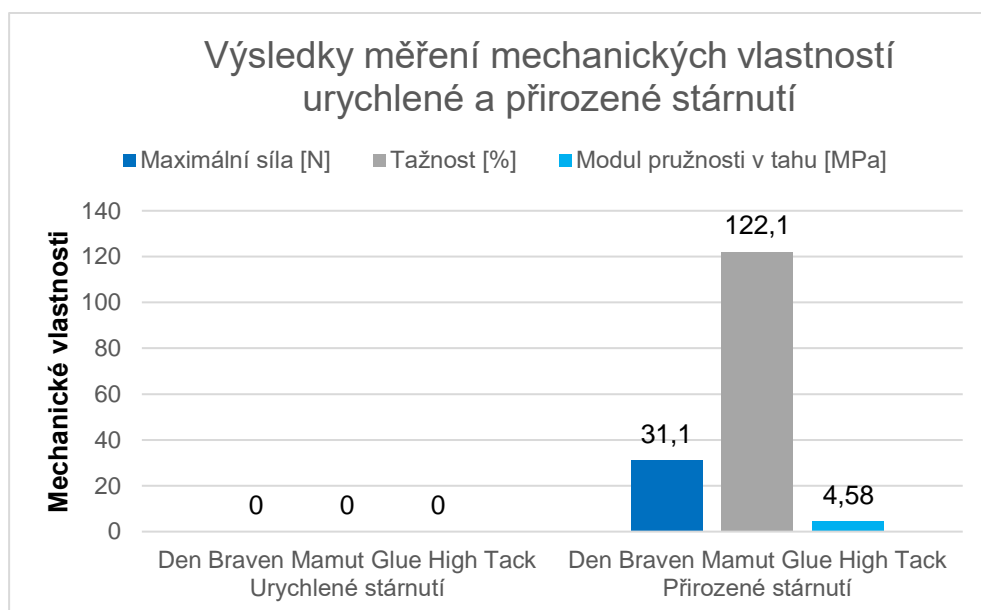
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	31,15 ± 2,96	2,1 ± 0,1	160,94 ± 33,02	2,91 ± 0,59
Druh UV stárnutí				
Urychlené	---	---	---	---
Přirozené	31,1 ± 4,41	2,1 ± 0,12	122,1 ± 27,31	4,58 ± 0,56



Graf 29: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack



Graf 30: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack

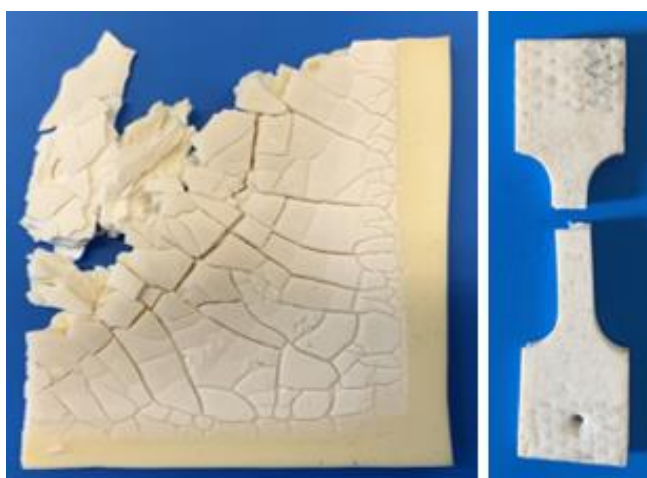


Graf 31: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack

U tohoto lepidla docházelo k mírnému snížení hodnot tvrdosti oproti standardu jak u urychleného, tak přirozeného stárnutí. Výjimkou byla hodnota po pěti měsících expozice, která byla nepatrně vyšší než u standardu.

Hodnoty indexu žloutnutí se v případě urychleného stárnutí zvýšily oproti standardu jen velmi málo, to je způsobeno dvojitou úrovní degradace lepidla, prvním krokem je žloutnutí povrchu (pravý okraj vzorku) a druhý krok je křídování povrchu (střed vzorku), které je vidět na

Obrázku 56. Měření probíhalo vždy na straně vzorku, která byla zkřídovatělá, protože tento druhý stupeň degradace se projevil zhruba po týdnu působení UV záření. Hodnoty pro přirozené stárnutí vzrostly více oproti standardu, protože nedošlo na zkřídovatění povrchu. U mechanických zkoušek nebylo, možné měřit vzorky z urychleného stárnutí, protože zkušební tělíska nebylo možné vyjmout z držáků, které se dávají do QUV panelu, protože došlo k rozpadnutí vzorků. Tudíž vzájemné porovnání není u tohoto lepidla možné. Porovnat lze pouze přirozené stárnutí se standardem, kde se projevil pokles hodnot u tažnosti a mírné zvýšení hodnoty modulu pružnosti, zbylé hodnoty se nezměnily.



Obrázek 56: Degradace lepidla a přetržené tělíska při měření v tahu u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack

3.5.3 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo 3M SMP Adhesive Sealant 760UV jsou uvedeny v Tabulkách 28, 29 a 30 a v Grafu 32, 33 a 34.

Tabulka 28: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

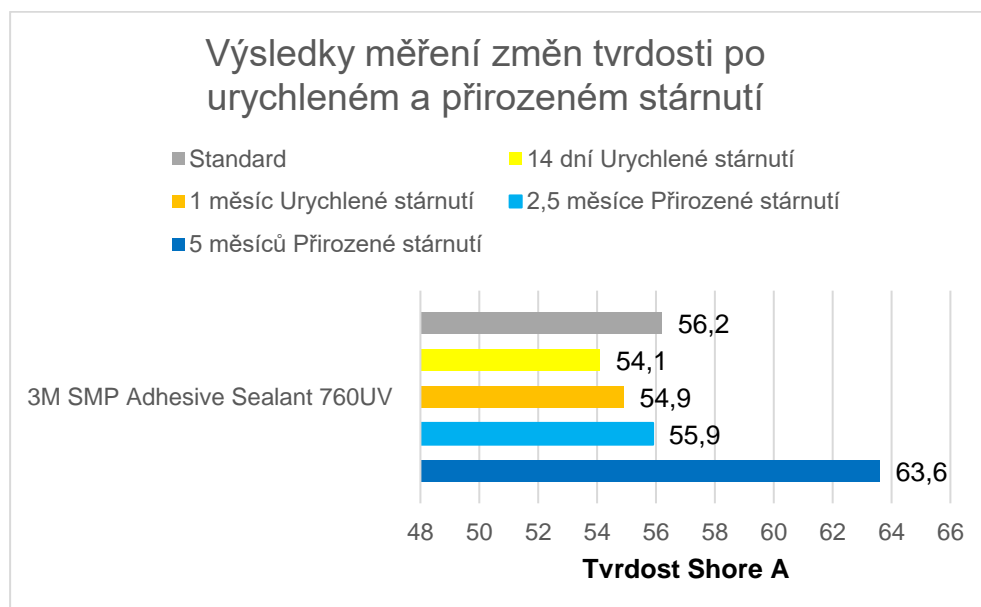
	Shore A
Standard	56,2 ± 2,9
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	54,1 ± 3,25
1 měsíc expozice	54,9 ± 2,38
Přirozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	55,9 ± 2,02
5 měsíců expozice	63,6 ± 1,89

Tabulka 29: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

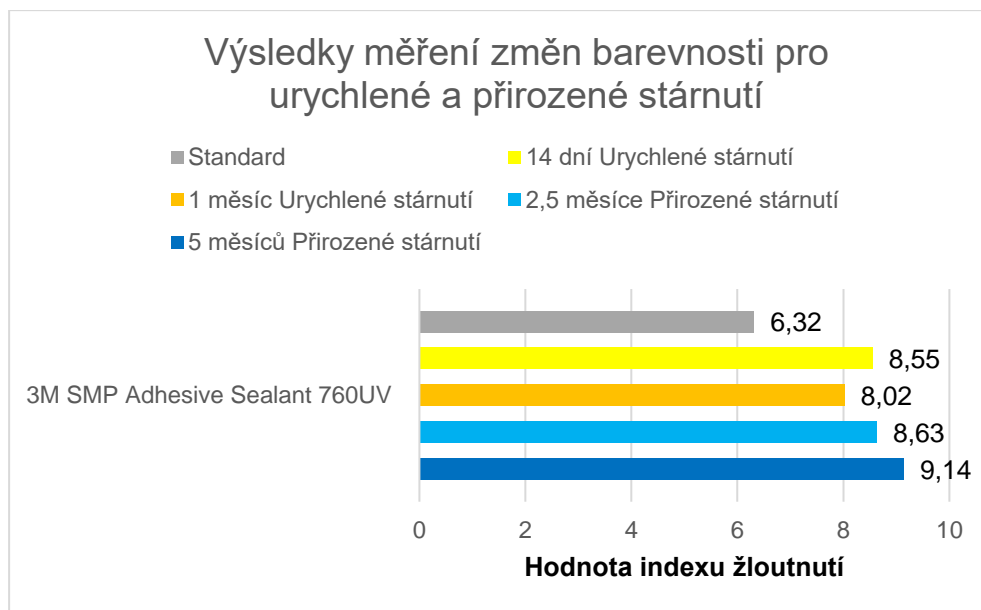
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	94,37	-0,01	3,31	---	6,32
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	93,4	0,07	4,43	1,38	8,55
1 měsíc expozice	93,39	0,11	4,13	1,05	8,02
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	94,13	-0,03	4,55	1,47	8,63
5 měsíců expozice	93,15	0,07	4,73	1,75	9,14

Tabulka 30: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

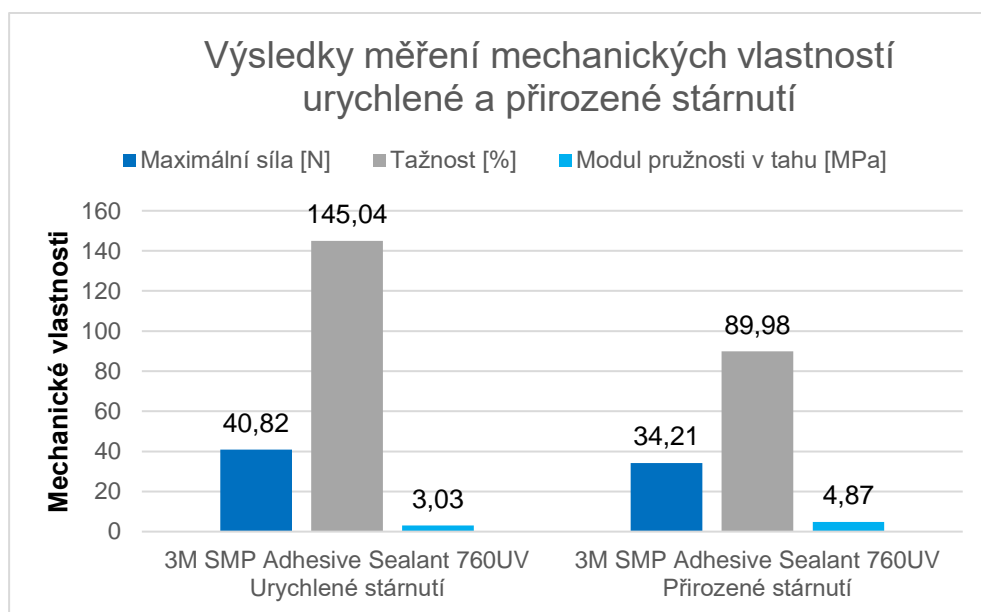
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	35,4 ± 3,42	2,42 ± 0,22	149,55 ± 15,4	2,47 ± 0,31
Druh UV stárnutí				
Urychlené	40,80 ± 4,39	3 ± 0,42	145,04 ± 7,92	3,03 ± 0,64
Přirozené	34,21 ± 2,49	2,34 ± 0,12	89,98 ± 7,52	4,87 ± 0,66



Graf 32: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV



Graf 33: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

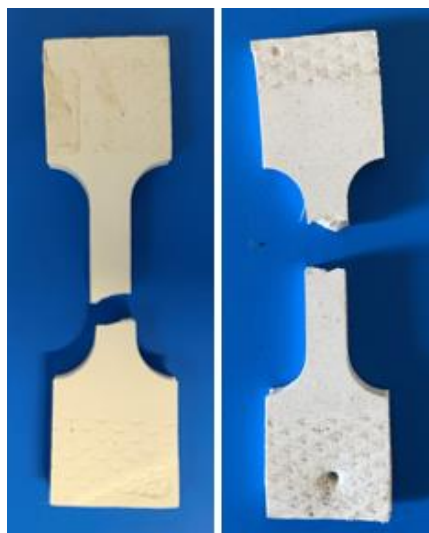


Graf 34: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

I v tomto případě docházelo u lepidla od společnosti 3M, k mírnému snížení hodnot tvrdosti oproti standardu, výjimkou jako v předchozím případě byly hodnoty po pěti měsících expozice, kde hodnota tvrdosti vzrostla, zřejmě vlivem strukturních změn.

Hodnoty indexu žloutnutí se zvýšily oproti standardu více u vzorků při venkovní expozici než u vzorků při urychleném stárnutí.

Při porovnání mechanických vlastností je zřejmé, že nedošlo ke změně hodnoty maximální síly, došlo k poklesu hodnoty u tažnosti a zvýšení hodnoty modulu pružnosti v rámci srovnání přirozeného stárnutí se standardem. V rámci srovnání hodnot z urychleného stárnutí se standardem došlo pouze k nepatrnému zvýšení hodnoty maximální síly, u tažnosti a modulu pružnosti nebyla změna hodnot téměř žádná. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 57.



Obrázek 57: Přetržená tělíška při měření v tahu u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV

3.5.4 Kömmerling Körapop 225

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 225 jsou uvedeny v Tabulkách 31, 32 a 33 a v Grafu 35, 36 a 37.

Tabulka 31: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225

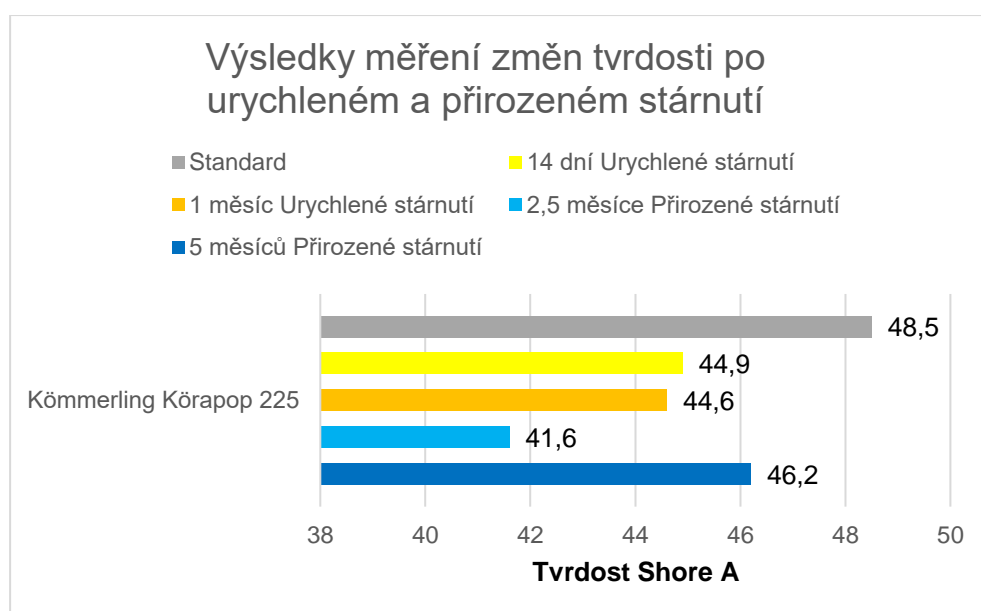
	Shore A
Standard	48,5 ± 3,47
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	44,9 ± 0,57
1 měsíc expozice	44,6 ± 1,26
Přirozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	41,6 ± 0,7
5 měsíců expozice	46,2 ± 0,92

Tabulka 32: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225

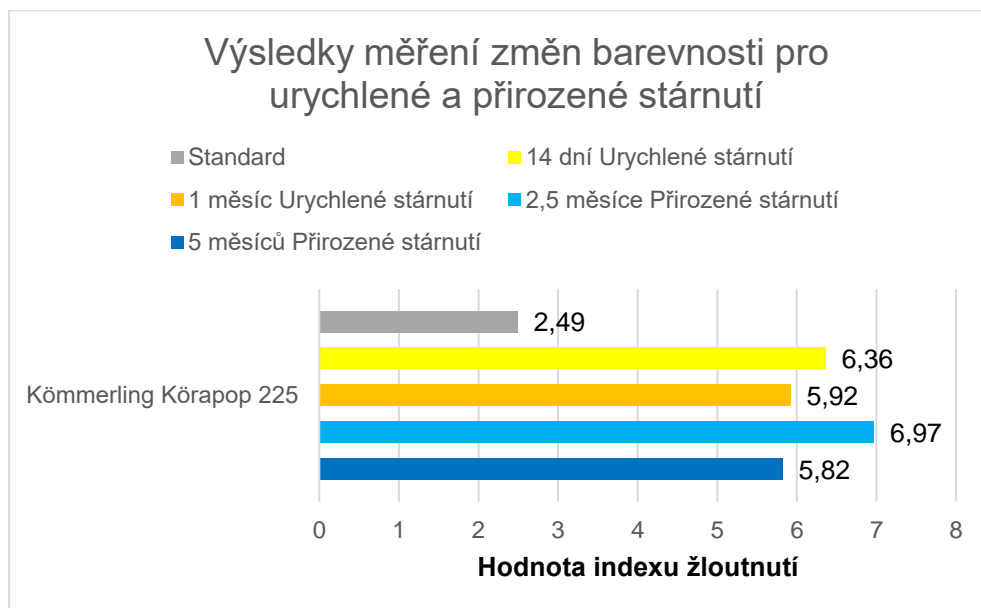
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	94,42	-1,49	1,89	---	2,49
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	93,81	-1,15	3,78	2,48	6,36
1 měsíc expozice	93,71	-1,05	3,51	2,17	5,92
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	94,42	-1,85	4,43	3,27	6,97
5 měsíců expozice	94,05	-1,57	3,68	2,29	5,82

Tabulka 33: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225

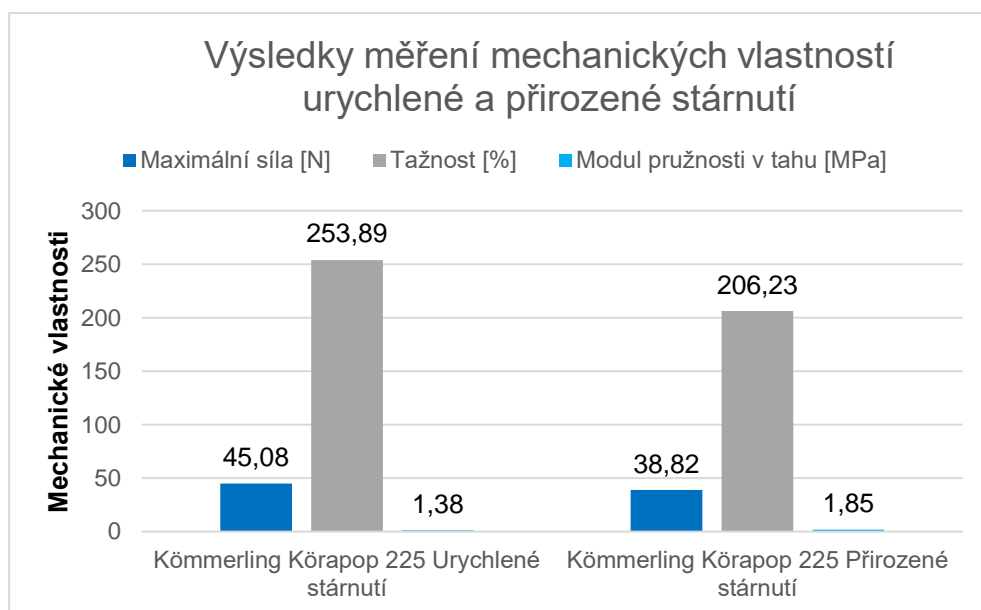
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	41,35 ± 3,33	3,02 ± 0,12	245,65 ± 18,71	1,55 ± 0,06
Druh UV stárnutí				
Urychlené	45,08 ± 4,39	2,99 ± 0,23	253,89 ± 13,58	1,38 ± 0,06
Přirozené	38,82 ± 4,03	2,59 ± 0,26	206,23 ± 17,99	1,85 ± 0,07



Graf 35: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225



Graf 36: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225



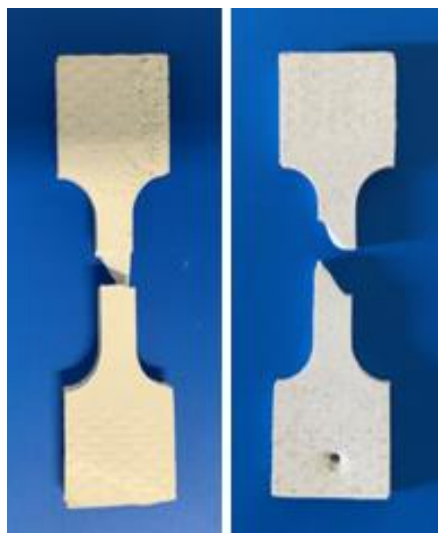
Graf 37: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225

U lepidla Kömmerling Körapop 225 docházelo opět k poklesu hodnot tvrdosti oproti standardu u obou způsobů stárnutí.

Hodnoty indexu žloutnutí se zvyšovaly pro oba způsoby stárnutí také poměrně výrazně, pravděpodobně změnou struktury, která je způsobena působením povětrnosti.

Při srovnání mechanických vlastností je zřejmé, že docházelo k poklesu hodnot maximální síly a tažnosti, u modulu pružnosti se projevilo mírné zvýšení v rámci srovnání hodnot z

přirozeného stárnutí se standardem. V rámci srovnání hodnot z urychleného stárnutí se standardem, vyplývá jen mírné zvýšení hodnot maximální síly a tažnosti, u modulu pružnosti tomu bylo naopak, jeho hodnota mírně klesla. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 58.



Obrázek 58: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225

3.5.5 Kömmerling Körapop 225-2 K

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 225-2 K jsou uvedeny v Tabulkách 34, 35 a 36 a v Grafu 38, 39 a 40.

Tabulka 34: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K

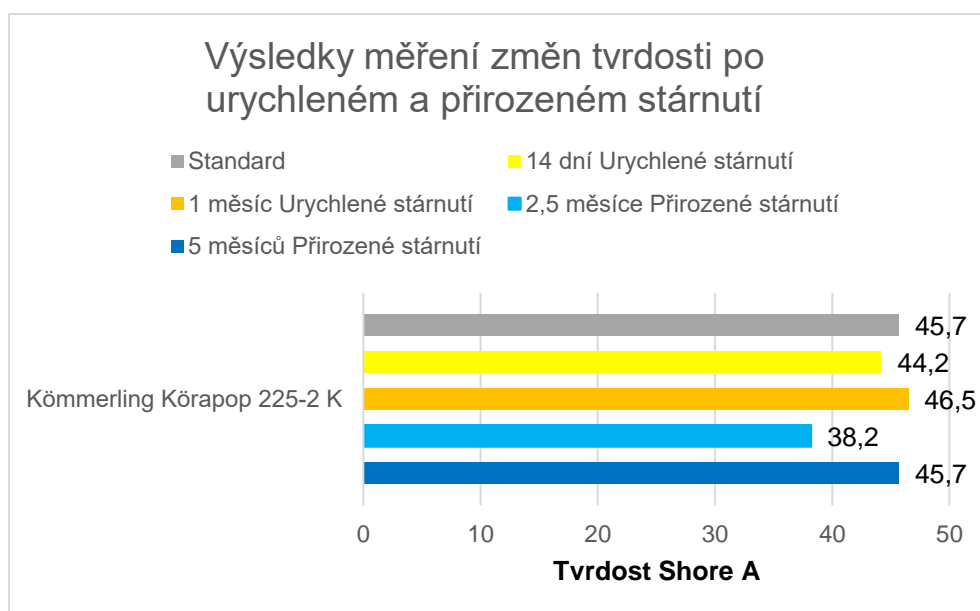
	Shore A
Standard	$45,7 \pm 0,82$
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	$44,2 \pm 1,4$
1 měsíc expozice	$46,5 \pm 1,58$
Přirozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	$38,2 \pm 3,61$
5 měsíců expozice	$45,7 \pm 1,16$

Tabulka 35: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 225-2 K

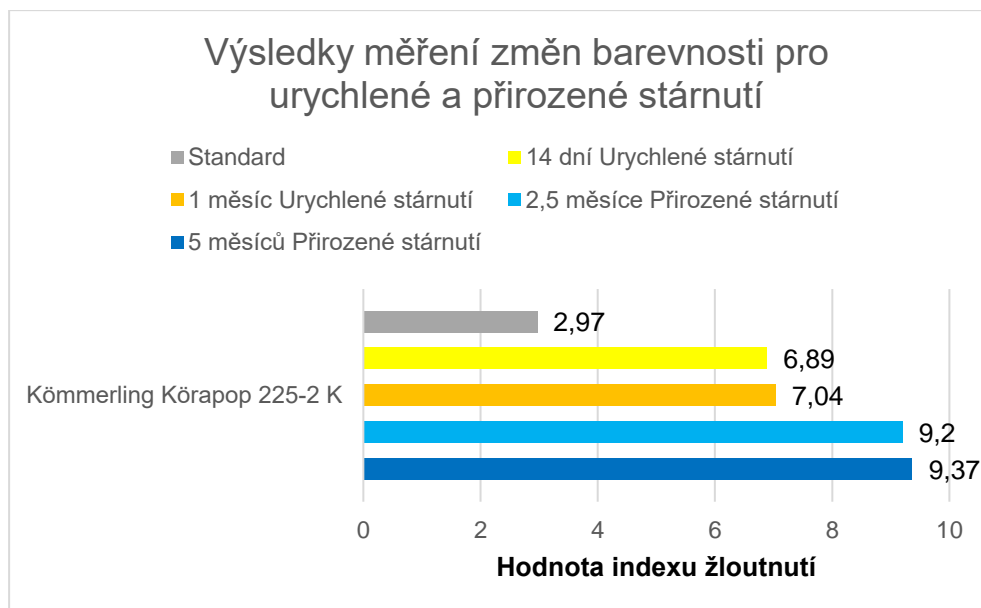
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	94,67	-1,52	2,16	---	2,97
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	93,56	-1,32	4,13	2,53	6,89
1 měsíc expozice	93,04	-1,04	4,08	2,57	7,04
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	92,55	-1,59	5,44	4,18	9,2
5 měsíců expozice	91,35	-1,12	5,28	4,13	9,37

Tabulka 36: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 225-2 K

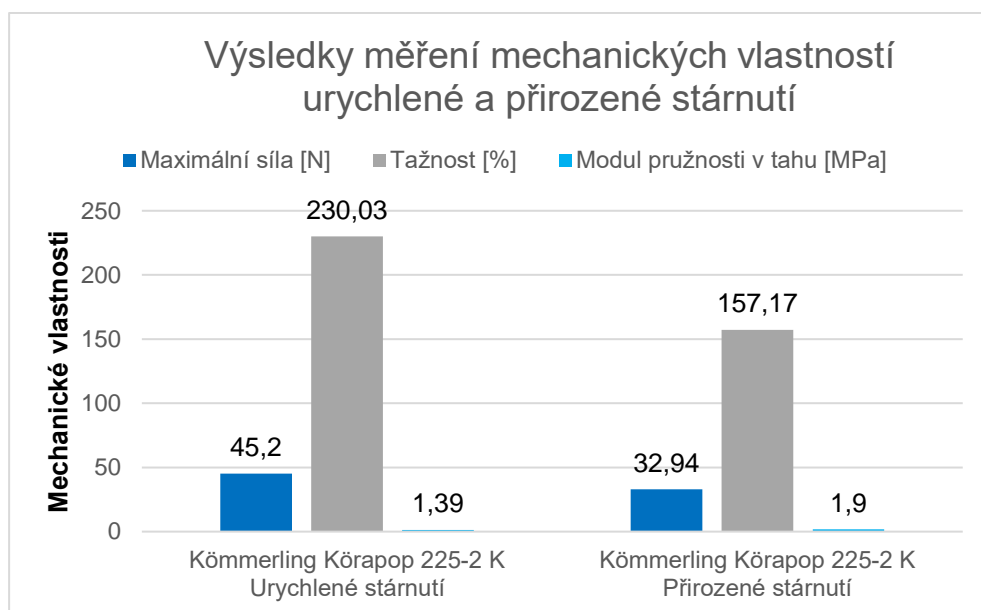
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	39,12 ± 8,9	2,44 ± 0,58	214,33 ± 40,9	1,41 ± 0,21
Druh UV stárnutí				
Urychlené	45,2 ± 3,23	2,66 ± 0,1	230,06 ± 12,66	1,39 ± 0,11
Přirozené	32,94 ± 9,08	2,08 ± 0,64	157,17 ± 38,78	1,9 ± 0,31



Graf 38: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 225-2 K



Graf 39: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 225-2 K



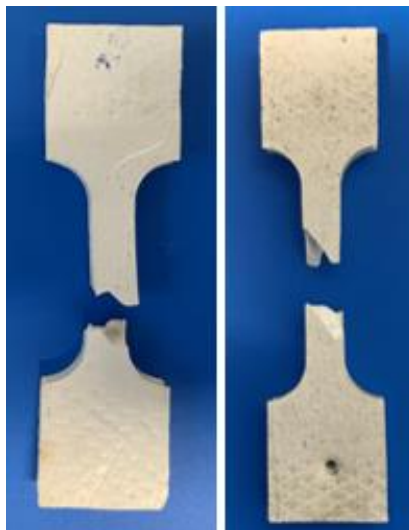
Graf 40: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 225-2 K

U tohoto lepidla, nedocházelo k výrazným změnám tvrdosti oproti standardu, a to u obou způsobů stárnutí. Můžeme tedy usuzovat, že lepidlo je stále na povětrnosti.

Hodnoty indexu žloutnutí se opět zvyšovali, výraznější změny jsou patrné v případě přirozeného stárnutí, kde jsou hodnoty vyšší než u urychleného stárnutí.

Při srovnání mechanických vlastností je zřejmé že, docházelo k poklesu hodnot maximální síly a tažnosti, modul pružnosti vzrostl jen minimálně v rámci porovnání přirozeného stárnutí

se standardem. V rámci srovnání hodnot z urychleného stárnutí se standardem, je patrné zvýšení hodnot u maximální síly a tažnosti, u modulu pružnosti jsou hodnoty téměř shodné. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 59.



Obrázek 59: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K

3.5.6 Kömmerling Körapop 330

Naměřené hodnoty tvrdosti Shore A, změn barevnosti a pevnosti v tahu pro lepidlo Kömmerling Körapop 330 jsou uvedeny v Tabulkách 37, 38 a 39 a v Grafu 41, 42 a 43.

Tabulka 37: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330

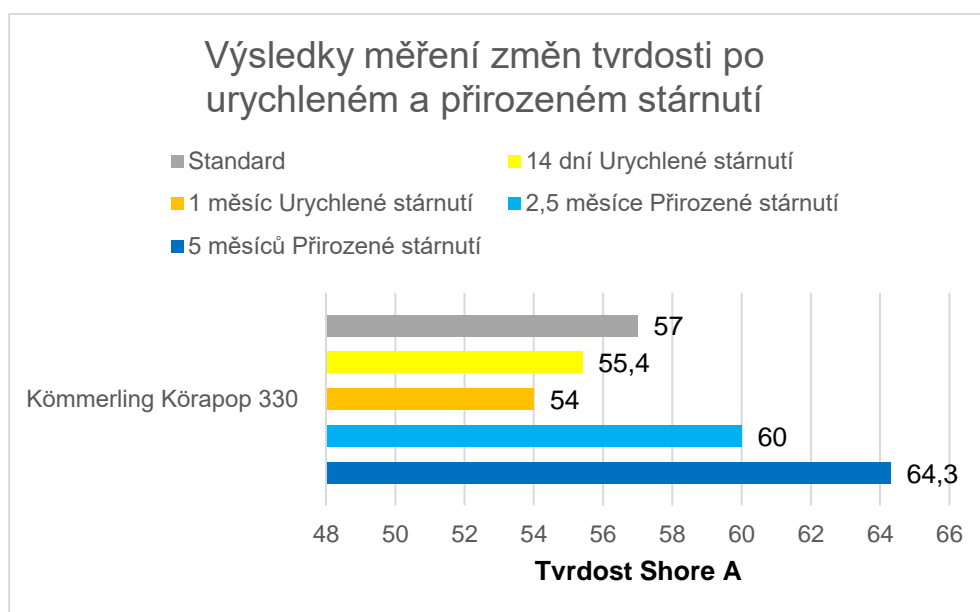
	Shore A
Standard	$57 \pm 3,2$
Urychlené stárnutí – UV panel	
14 dní expozice	$55,4 \pm 2,67$
1 měsíc expozice	54 ± 2
Přírozené stárnutí	
2,5 měsíce expozice	$60 \pm 0,66$
5 měsíců expozice	$64,3 \pm 1,06$

Tabulka 38: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330

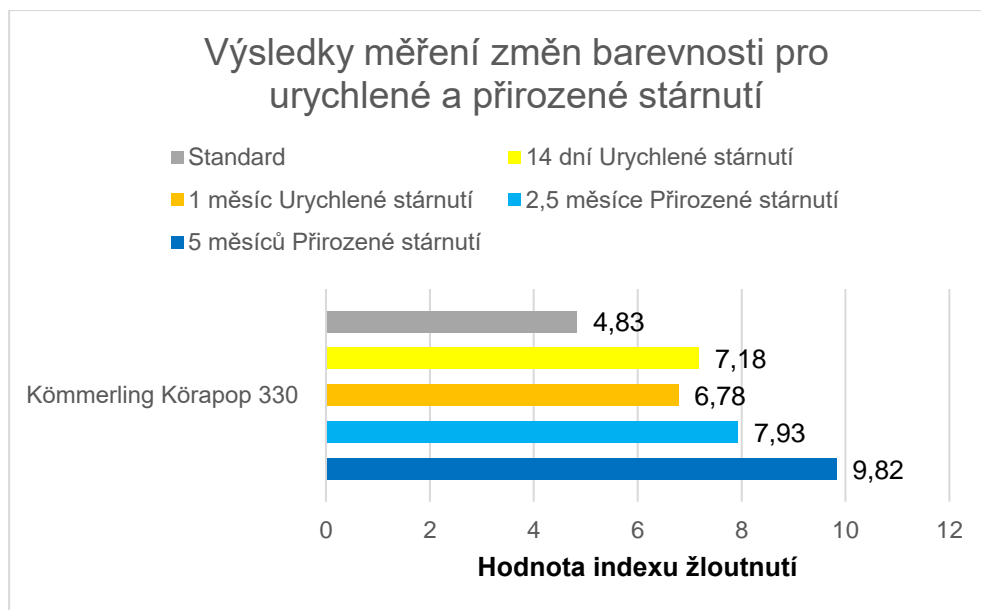
	CIE L	CIE a	CIE b	CMC DE	Index žloutnutí
Standard	94,58	-0,89	2,89	---	4,83
Urychlené stárnutí – UV panel					
14 dní expozice	94,17	-0,92	4,14	1,53	7,18
1 měsíc expozice	94,44	-0,77	3,87	1,22	6,78
Přirozené stárnutí					
2,5 měsíce expozice	94,46	-1,25	4,69	2,23	7,93
5 měsíců expozice	92,25	-0,87	5,46	3,23	9,82

Tabulka 39: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330

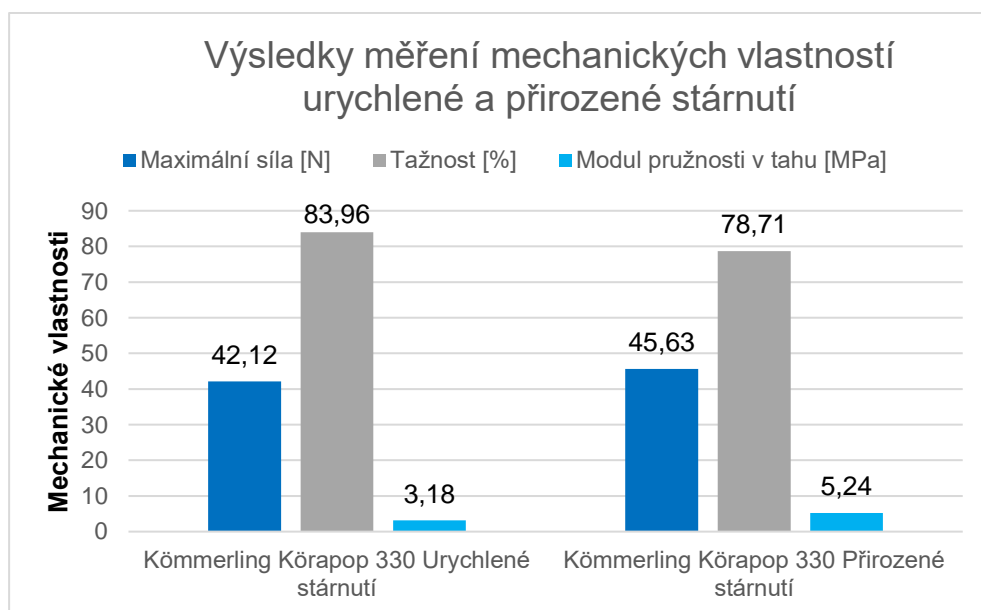
	Maximální síla [N]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Modul pružnosti [MPa]
Standard	46,6 ± 3,91	3,09 ± 0,3	97,66 ± 13,21	4,54 ± 0,16
Druh UV stárnutí				
Urychlené	42,12 ± 2,95	2,61 ± 0,15	83,96 ± 5,62	3,18 ± 0,05
Přirozené	45,63 ± 6,47	2,88 ± 0,37	78,71 ± 12,69	5,24 ± 0,15



Graf 41: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330



Graf 42: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 330



Graf 43: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Kōrapop 330

Hodnoty tvrdosti u tohoto lepidla, klesly nepatrně v případě urychleného stárnutí, mírné zvýšení hodnot oproti standardu nastalo u přirozeného stárnutí.

Index žloutnutí se zvyšoval oproti standardu, kdy výraznější zvýšení nastalo opět v případě přirozeného stárnutí ve srovnání s QUV panelem, kde zvýšení bylo menší.

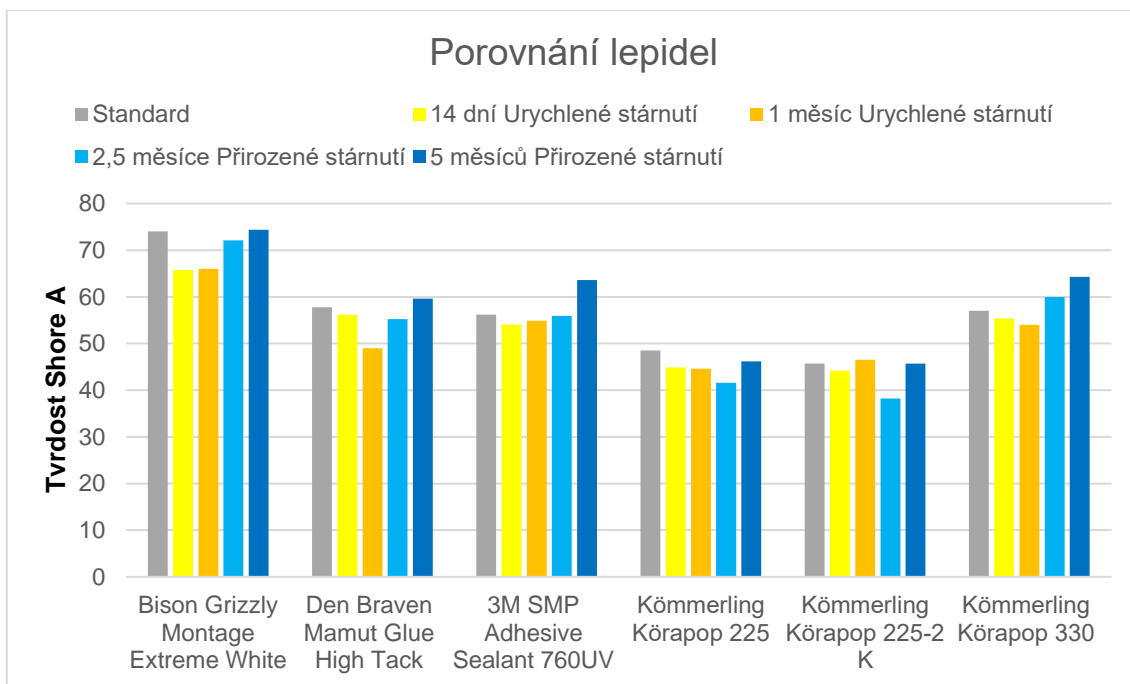
U porovnání mechanických vlastností je patrné že, se naměřené výsledky z urychleného a přirozeného stárnutí měnily jen velmi nepatrně ve srovnání se standardem. Vzorky po přetržení jsou znázorněny na Obrázku 60.



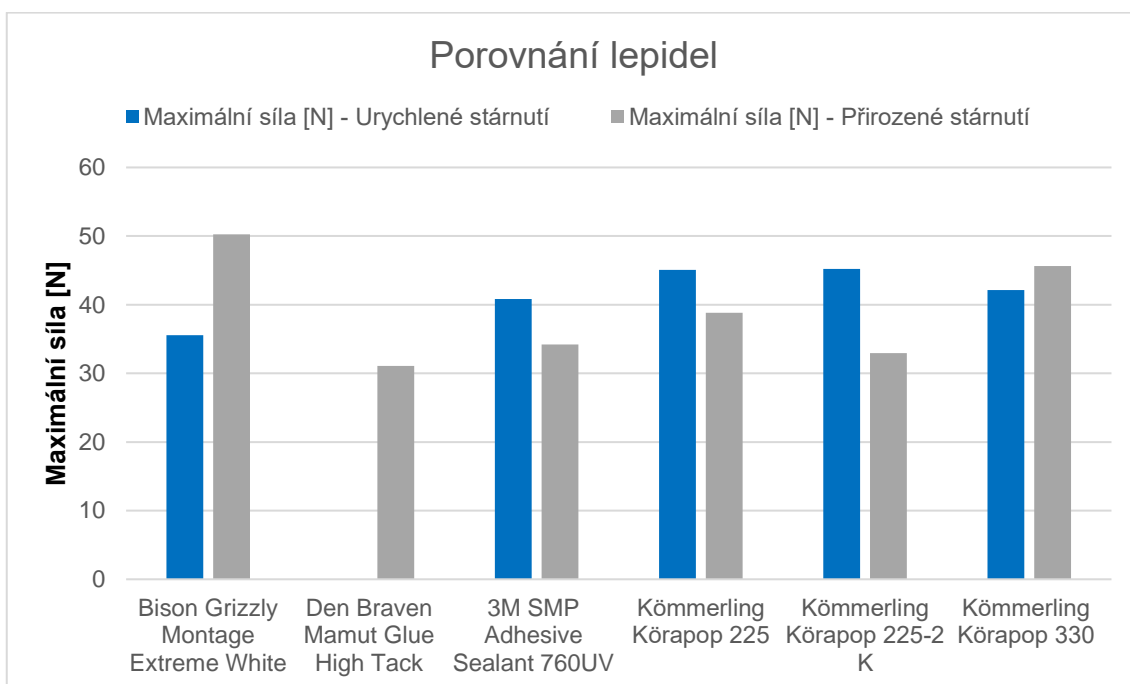
Obrázek 60: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 330

3.5.7 Celkové porovnání naměřených výsledků u stárnutí polymerů

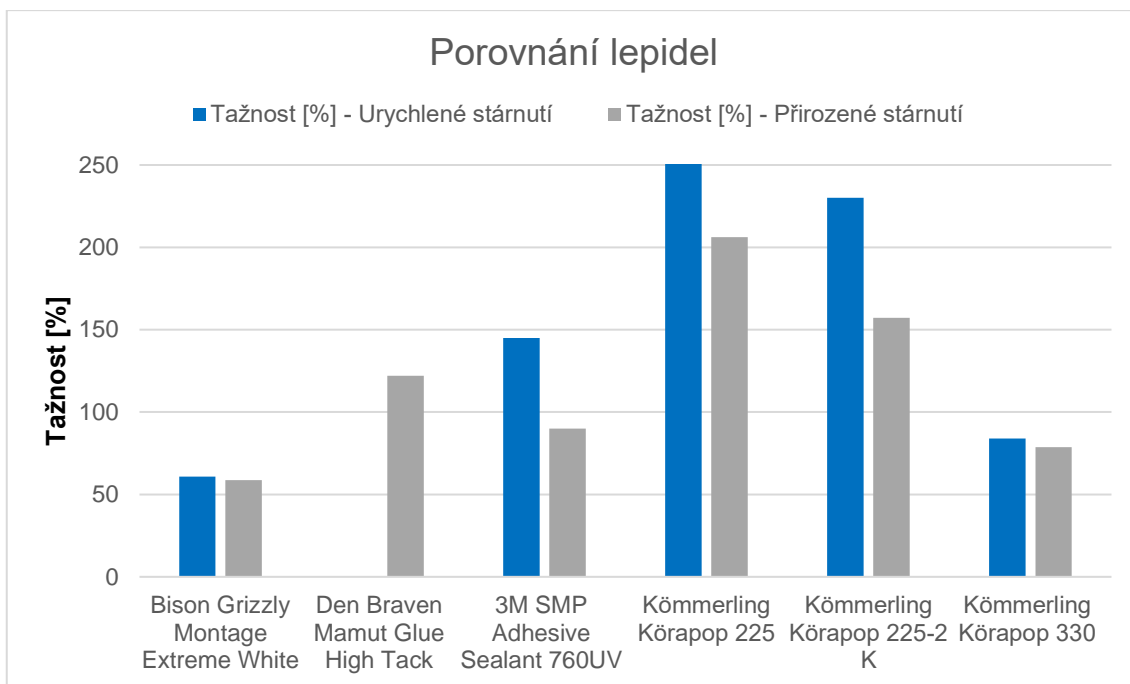
V Grafech 44, 45, 46, 47 a 48 jsou uvedeny souhrnně hodnoty tvrdosti Shore A, maximálních sil, tažnosti, modulu pružnosti a indexu žloutnutí pro přirozené a urychlené stárnutí pro celou skupinu analyzovaných lepidel.



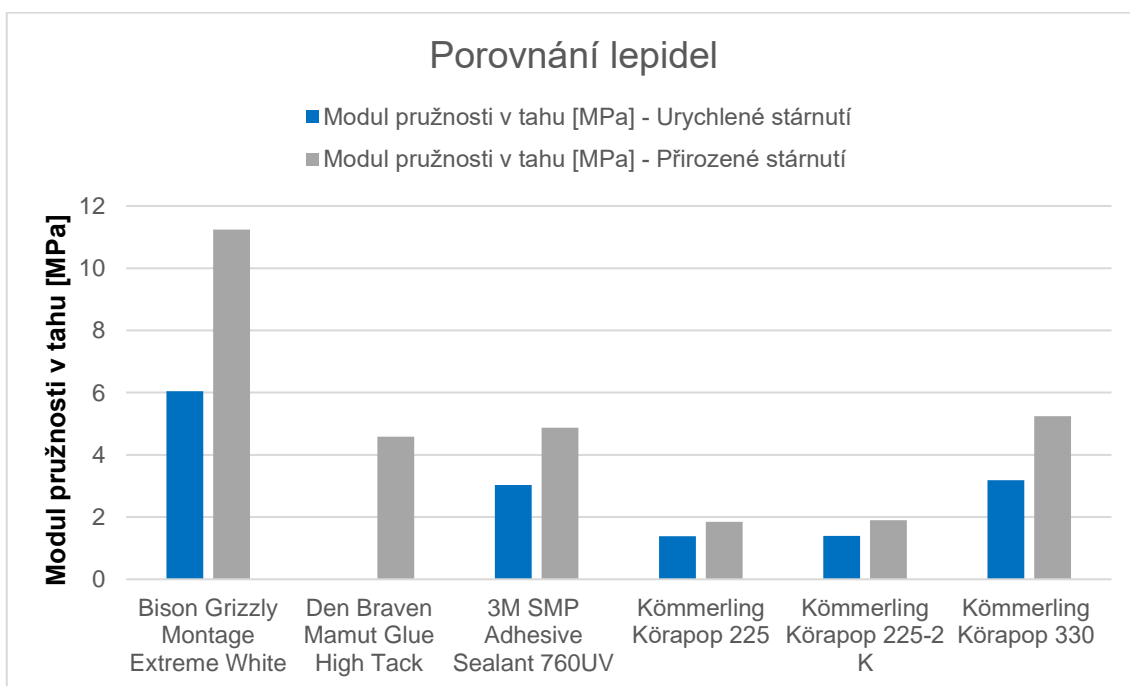
Graf 44: Celkové porovnání hodnot tvrdosti Shore A pro analyzovanou skupinu lepidel



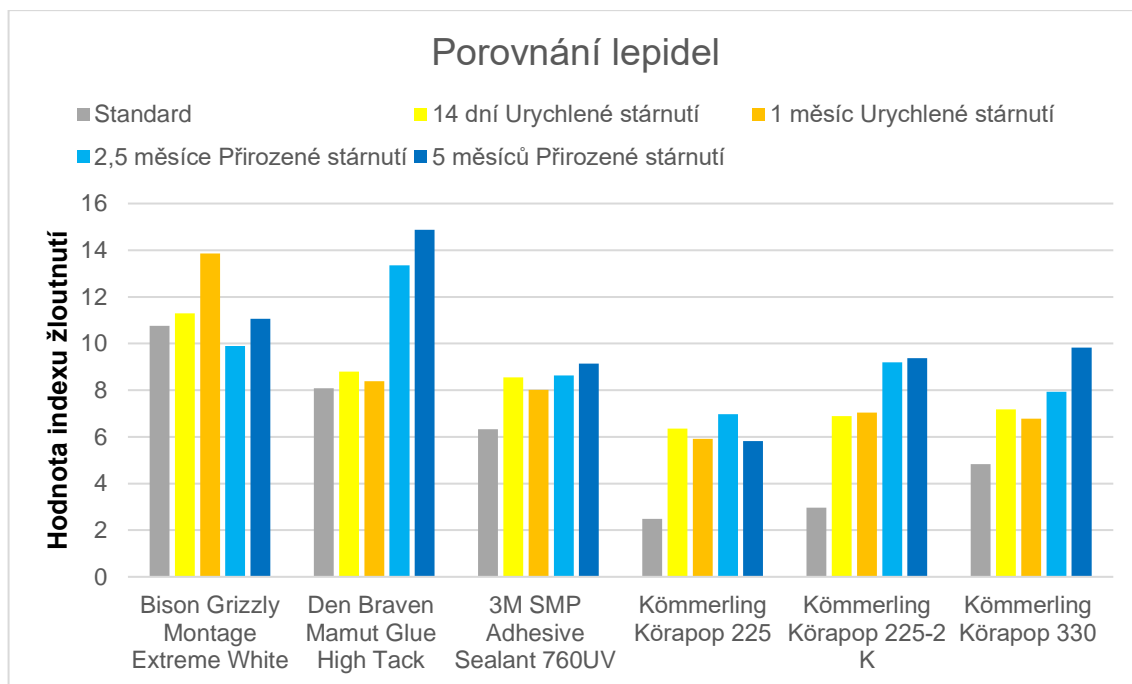
Graf 45: Celkové porovnání hodnot maximální síly pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 46: Celkové porovnání hodnot tažnosti pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 47: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti pro analyzovanou skupinu lepidel



Graf 48: Celkové porovnání hodnot indexu žloutnutí pro analyzovanou skupinu lepidel

V celkovém porovnání tvrdosti Shore A, je patrný mírný pokles hodnot oproti standardu v případě urychleného stárnutí, u přirozeného stárnutí došlo k mírnému poklesu též. Toto platilo pro většinu lepidel, výjimkou byla lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV a Kömmerling Körapop 330, kde hodnota tvrdosti mírně vzrostla v případě srovnání standardu s přirozeným stárnutím.

Hodnoty maximální síly se zvýšily při srovnání urychleného a přirozeného stárnutí u lepidel Bison Grizzly Montage Extreme White a Kömmerling Körapop 330. U zbylých lepidel byla situace opačná, hodnoty maximální síly klesaly. Hodnoty tažnosti se nezměnily u lepidel Bison Grizzly Montage Extreme White a Kömmerling Körapop 330. U zbytku opět tažnost klesala, jako v případě maximální síly. Hodnoty modulu pružnosti se zvyšovaly při srovnání urychleného a přirozeného stárnutí, to platilo u celé skupiny lepidel. Výjimkou bylo lepidlo od společnosti Den Braven, kde nebylo možné provést porovnání mechanických vlastností při urychleném a přirozeném stárnutí, protože vzorky z QUV panelu byly neměřitelné. Obecně lze očekávat, lepší mechanické vlastnosti u vzorků z přirozeného stárnutí oproti urychlenému, kde by měl být pokles mechanických vlastností daleko výraznější. V našem případě, došlo u některých lepidel k opačné situaci, pravděpodobně z důvodu, že dané lepidlo, odolává lépe konstantním podmínkám, které simuluje QUV panel, oproti případu, kdy je lepidlo vystaveno vlivu počasí, kde jsou výraznější změny podmínek.

Při celkovém srovnání hodnot indexu žloutnutí je patrné, že u lepidel od společnosti 3M a Kömmerling docházelo oproti standardu, ke zvýšení těchto hodnot, tudíž lze říci, že u těchto lepidel docházelo k postupné degradaci, jak je patrné i z grafu. U lepidla od společnosti Bison došlo k výraznému zvýšení hodnoty indexu žloutnutí po 1 měsíci expozice v QUV panelu, zbylé hodnoty, vykazovaly malou odchylkou ve srovnání se standardem. U lepidla od společnosti Den Braven došlo ke zvýšení hodnot ve srovnání se standardem jen v případě přirozeného stárnutí. V rámci hodnot získaných z urychleného stárnutí, lze říci že, se hodnoty téměř nezměnily ve srovnání se standardem, protože docházelo k degradaci lepidla ve dvou fázích, první fází bylo žloutnutí povrchu, po kterém následovalo zkřídovnění povrchu a výrazný rozpad vzorku (fáze 2), u kterého byl povrch opět podobný povrchu standardu.

Závěr

Cílem diplomové práce byla rešerše se zaměřením na MS polymery a problematiku stárnutí polymerů. V rešerši byly popsány základní vlastnosti MS polymerů, jejich výroba, mechanismy vytvrzení a aplikační využití ve srovnání s polyuretanovými a silikonovými tmely. Další část je věnována problematice stárnutí polymerů, kde jsou podrobně rozebrány jednotlivé faktory stárnutí polymerů, jako je vlhkost, střídání teplot, sluneční svit, kyslík, ozon, vítr, déšť a atmosférické nečistoty. V poslední části je zmíněno zkušebnictví při sledování stárnutí polymerů a problematika barevných diferencí, v průběhu stárnutí polymerů.

V experimentální části bylo použito celkem šest lepidel a tmelů na bázi MS polymerů. Pomocí těchto lepidel a tmelů byly vytvořeny lepené spoje pro dva druhy adherendů, u kterých byly zkoumány mechanické vlastnosti ve smyku. Dále byly vytvořeny vzorky samotných lepidel pro měření mechanických vlastností v tahu, teploty skelného přechodu T_g pomocí metody TMA a teplot blízkých teplotě skelného přechodu T_1 , T_2 a modulu pružnosti pomocí metody DMA a vzorky pro měření tvrdosti Shore A a změn barevnosti. U celé skupiny byla orientačně změřena doba želatinace.

Doba želatinace byla nejvyšší u lepidla Kömmerling Körapop 225, naopak nejnižší hodnota byla u lepidla od společnosti Bison a Den Braven, tyto dva tmely patří mezi komerční lepidla a jejich doba želatinace je výrazně nižší než u průmyslových lepidel od společnosti Kömmerling a 3M, které mají výrazně delší dobu želatinace.

Z měření mechanických vlastností ve smyku vyplývá, že celá skupina analyzovaných lepidel je vhodná k lepení hliníku a oceli, protože hodnoty maximálních sil vycházely velmi podobně pro oba dva druhy adherendů a obě velikosti přeplátování. Hodnoty tažnosti byly poměrně nízké pro celou skupinu lepidel. Modul pružnosti nevykazoval závislost na typu adherendu a velikosti přeplátování, měnil se tedy v závislosti na kvalitě jednotlivého lepidla či tmelu.

Měření mechanických vlastností v tahu bylo prováděno při 23 °C a 70 °C, se zaměřením na změnu mechanických vlastností se změnou teploty. Zvýšení teploty mělo vliv na nepatrné snížení hodnot maximální síly u celé skupiny lepidel, u hodnot tažnosti se znovu projevil pokles ovšem daleko výraznější než v případě maximální síly. Modul pružnosti se při zvyšování teploty neměnil a byl téměř shodný pro obě teploty u celé skupiny lepidel.

Z měření TMA, je patrné, že se veškerá lepidla nacházejí v kaučukovitém stavu při laboratorní teplotě, protože se jejich teploty skelného přechodu nachází hluboko pod laboratorní teplotou. Teploty skelného přechodu se pohybovaly v rozmezí $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pomocí DMA byly studovány teploty T_1 a T_2 blízké teplotě skelného přechodu a změny modulu pružnosti v závislosti na teplotě, a to konkrétně při $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. U modulu pružnosti došlo k výraznému poklesu mezi teplotou $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $23\text{ }^{\circ}\text{C}$, po zvýšení teploty na $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebylo snížení modulu už tak výrazné jako v předchozím případě. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti dosáhlo lepidlo Bison a nejnižší hodnoty měla lepidla od společnosti Kömmerling. Z výsledků TMA a DMA je patrná aplikace těchto lepicích systému v rámci širokého teplotního rozsahu a to od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

V poslední kapitole stárnutí byl patrný mírný pokles u hodnot tvrdosti v rámci přirozeného stárnutí, v případě urychleného stárnutí byl pokles hodnot výraznější ve srovnání se vzorky standardů. Při studiu mechanických vlastností docházelo u lepidel Bison Grizzly Montage Extreme White a Kömmerling Körapop 330 ke zvýšení hodnot v rámci porovnání urychleného a přirozeného stárnutí, u těchto lepidel nedocházelo ani ke změnám hodnot tažnosti. U zbylých lepidel byla situace opačná, hodnoty maximální síly klesaly společně s hodnotami tažnosti. U modulu pružnosti docházelo v rámci porovnání urychleného a přirozeného stárnutí k poklesu hodnot u celé skupiny vzorků. Při studiu indexu žloutnutí je patrná výraznější degradace u lepidel od společnosti 3M, Kömmerling a Bison, u kterého byla výraznější degradace vzorku patrná po jednom měsíci expozice v QUV panelu, ve zbylých případech vykazovalo toto lepidlo dobrou odolnost vůči povětrnosti.

Obecně nelze určit z této skupiny lepidel a tmelů nejlepší lepicí systém, protože do výběru vstupuje mnoho faktorů jako je typ lepeného adherendu a aplikace lepicího systému, ze které jsou patrné požadavky na mechanické vlastnosti, které by měl lepicí systém vykazovat.

Zdroje použité literatury

1 Štefánek, P., Srovnání pevnostních charakteristik polyuretanových a akrylátových lepidel na různých typech adherendů, 2020, 78 s., Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická.

2 Metylan, Vše o tapetování – Lepidla [Online], [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <http://www.metylan.cz/vse-o-tapetovani/lepidla/teorie-lepeni.php>

3 BÜHNEN Polska – Tavné lepicí systémy, Oblasti použití [Online], [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://www.buehnen.de/cs/oblasti-pouziti>

4 ELUC elektronická učebnice, Řemesla – Lepidla [Online], [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1946>

5 Edward M. Petrie, MS polymers in „Hybrid“ Sealants [Online], EMP Solutions Adhesives.org, 2010. [cit. 2022-10-02].

Dostupné z: [https://www.adhesives.org/docs/defaultdocumentlibrary/hybridsealantsmay2010-final-\(1\).pdf](https://www.adhesives.org/docs/defaultdocumentlibrary/hybridsealantsmay2010-final-(1).pdf)

6 FixALL, O MS Polymerech Soudal [Online], 2009, [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <http://www.fixall.eu/fixall/index.php?option=comcontent&task=view&id=14&Itemid=33&lang=cz>

7 Edward M. Petrie, MS Polymer™ Formulations Extend Versatility and Value Proposition of One-Component Sealants [Online], 30. 3. 2021, [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://adhesives.specialchem.com/tech-library/article/ms-polymer-sealants>

8 Afera, MS Polymer™-Based PSA technology [Online], [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://www.atera.com/technical-centre/technical-and-product-research/ms-polymer%E2%84%A2-based-psa-technology.html>

9 Šňupárek, J., Mleziva, J., Polymery výroba, struktura, vlastnosti a použití, 2. vydání, Praha, SOBOTÁLES, 2000.

10 CHENSO INC. CHEMICAL ENGINEERING SOLUTIONS, MS polymer Applications [Online], [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://chenso.com/index.php/ms-polymer-applications/>

11 CELO Fixings technology, MS Polymer StickFX CL [Online], [cit. 2022-20-02].

Dostupné z: <https://www.celofixings.com/adhesive-and-sealants/2208-professional-ms-polymer-adh.html>

12 SGS Polymer Solutions Incorporated, Aging Plastics [Online], 27. 2. 2014, [cit. 2022-20-02].

Dostupné z: <https://www.polymersolutions.com/blog/aging-plastics/>

13 Běhálek, L., Polymery – Stárnutí polymerů [Online], Svitavy, Code Creator, 2016, ISBN 978-80-88058-68-7, [cit. 2022-10-01].

Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/16.html>

14 Ducháček, V., Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, 2. vydání, VŠCHT Praha, 2006, ISBN 80-7080-617-6.

15 Ducháček, V., Hrdlička, Z., Gumárenské suroviny a jejich zpracování, VŠCHT Praha, 2009, ISBN 978-80-7080-713-2.

16 Basil H. Abu-Ragheef, Polymer Aging Mechanics – An investigation on a Thermoset Polymer used in the Exterior Structure of Heavy-duty Vehicle, 2019, 106 s., Diplomová práce, Linnaeus University, Faculty of Technology.

Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1347327/FULLTEXT02.pdf>

17 Stoklasa, K., Makromolekulární chemie I., Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická, 2005.

Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/45533/urb%c3%a1sek_2019_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- 18 Urbásek, T., Simulace přirozeného stárnutí polymerů versus skutečnost, 2019, 53 s.,
Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická.
Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/45533/urb%c3%a1sek_2019_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 19 Vik, M., Colorimetry in Textile Industry, 1. vydání, VÚTS Liberec, 2017, ISBN 978-80-87184-65-3
- 20 Ebner, M., Color constancy, Chichester, Wiley, 2007, ISBN 978-0-470-05829-9.
- 21 Hunt, R. W. G. a M. Pointer, Measuring colour, 4. vydání, Wiley, 2011, ISBN 978-1-119-97537-3.
- 22 Aplikační list: Bison Grizzly Montage Extreme White
- 23 Aplikační list: Den Braven Mamut Glue High Tack
- 24 Aplikační list: 3M SMP Adhesive Sealant 760UV
- 25 Aplikační list: Kömmerling Körapop 225
- 26 Aplikační list: Kömmerling Körapop 225-2 K
- 27 Aplikační list: Kömmerling Körapop 330
- 28 Kouba, D., Polyurethanová lepidla. Pardubice, 2016. Středoškolská odborná činnost.
Střední průmyslová škola chemická Pardubice.

Seznam grafů

Graf 1: Mez pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White přeplátování 25 x 25 mm	50
Graf 2: Mez pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White přeplátování 12 x 25 mm	51
Graf 3: Mez pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack přeplátování 25 x 25 mm	53
Graf 4: Mez pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack přeplátování 12 x 25 mm	53
Graf 5: Mez pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV přeplátování 25 x 25 mm	55
Graf 6: Mez pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV přeplátování 12 x 25 mm	55
Graf 7: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225 přeplátování 25 x 25 mm	57
Graf 8: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225 přeplátování 12 x 25 mm	57
Graf 9: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K přeplátování 25 x 25 mm	59
Graf 10: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K přeplátování 12 x 25 mm	59
Graf 11: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330 přeplátování 25 x 25 mm	61
Graf 12: Mez pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330 přeplátování 12 x 25 mm	61
Graf 13: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel – přeplátování 25 x 25 mm	62
Graf 14: Celkové porovnání mechanických vlastností u analyzované skupiny lepidel – přeplátování 12 x 25 mm	63
Graf 15: Porovnání mechanických vlastností – Bison Grizzly Montage Extreme White	64
Graf 16: Porovnání mechanických vlastností – Den Braven Mamut Glue High Tack.....	66
Graf 17: Porovnání mechanických vlastností – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	67
Graf 18: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 225.....	69
Graf 19: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 225-2 K	70
Graf 20: Porovnání mechanických vlastností – Kömmerling Körapop 330.....	72
Graf 21: Celkové porovnání hodnot maximální síly pro analyzovanou skupinu lepidel	73
Graf 22: Celkové porovnání hodnot tažnosti pro analyzovanou skupinu lepidel.....	73
Graf 23: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti pro analyzovanou skupinu lepidel	74

Graf 24: Celkové porovnání hodnot T_1 , T_2 a T_g pro analyzovanou skupinu lepidel	76
Graf 25: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti za různých teplot pro analyzovanou skupinu lepidel	76
Graf 26: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	78
Graf 27: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	79
Graf 28: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	79
Graf 29: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack	81
Graf 30: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack	82
Graf 31: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack.....	82
Graf 32: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	84
Graf 33: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	85
Graf 34: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	85
Graf 35: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	87
Graf 36: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	88
Graf 37: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	88
Graf 38: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K	90
Graf 39: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K	91
Graf 40: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K	91

Graf 41: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	93
Graf 42: Výsledky měření indexu žloutnutí za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	94
Graf 43: Porovnání mechanických vlastností za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	94
Graf 44: Celkové porovnání hodnot tvrdosti Shore A pro analyzovanou skupinu lepidel.....	96
Graf 45: Celkové porovnání hodnot maximální síly pro analyzovanou skupinu lepidel	96
Graf 46: Celkové porovnání hodnot tažnosti pro analyzovanou skupinu lepidel.....	97
Graf 47: Celkové porovnání hodnot modulu pružnosti pro analyzovanou skupinu lepidel	97
Graf 48: Celkové porovnání hodnot indexu žloutnutí pro analyzovanou skupinu lepidel	98

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení přírodních lepidel [1]	12
Obrázek 2: Rozdělení syntetických lepidel [1].....	13
Obrázek 3: Obecná struktura MS Polymerů	14
Obrázek 4: Vytvrzovací reakce MS Polymeru	15
Obrázek 5: Vytvrzovací reakce MS Polymeru	15
Obrázek 6: Vytvrzení jednosložkového silikonového tmelu.....	15
Obrázek 7 Vytvrzovací reakce u polyuretanových tmelů [9].....	16
Obrázek 8: Porovnání vlastností v aplikacích SR, PU a MS tmelů [10]	16
Obrázek 9: Obecné příklady aplikací MS polymerů – stavebnictví, průmysl, doprava, podlahářství a kutilství [5]	17
Obrázek 10: Aplikace tmelů na bázi MS polymerů [11].....	17
Obrázek 11: Disociační energie vazeb A—B [9]	20
Obrázek 12: Přibližné hodnoty vlnových délek vyvolávajících degradaci u polymerů [14]....	20
Obrázek 13: Vliv fotolytických reakcí na tažnost u různých typů dianových polymerů [9]....	22
Obrázek 14: Štěpení nenasycených řetězců – obecné schéma [9].....	23
Obrázek 15: Místa citlivá na autooxidaci – různé typy uhlíkatých řetězců [9]	24
Obrázek 16: Rozpad hydroperoxidů u polystyrenu	25
Obrázek 17: Působení oxidu dusičitého na nenasycené polymery [9]	27
Obrázek 18: Odolnost polymerů na povětrnosti – 1 – velká, 2 – střední a 3 – malá odolnost [14].....	29
Obrázek 19: Výpočet barevné diference – ideální barevný prostor [19].....	30
Obrázek 20: Transformační rovnice pro pravoúhlé souřadnice metoda CIELAB	31
Obrázek 21: Transformační rovnice pro cylindrické souřadnice metoda CIELAB	31
Obrázek 22: Souřadnice CIELAB v prostoru [19]	31
Obrázek 23: Bison Grizzly Montage Extreme White	33
Obrázek 24: Den Braven Mamut Glue High Tack	34
Obrázek 25: 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	35
Obrázek 26: Kömmerling Körapop 225	36
Obrázek 27: Kömmerling Körapop 225-2 K	37
Obrázek 28: Kömmerling Körapop 330	38
Obrázek 29: Lepicí forma	39
Obrázek 30: Postup lepení 1 [28]	40

Obrázek 31:Postup lepení 2 [28]	40
Obrázek 32: Silikonová forma po odlití tělísek	40
Obrázek 33: Postup výroby desek, raznice na zkušební tělíska	41
Obrázek 34: Vzorky pro urychlené UV stárnutí	42
Obrázek 35: Vzorky pro přirozené UV stárnutí.....	42
Obrázek 36: Trhací stroj MTS - 4/M a jeho čelisti (vlevo)	43
Obrázek 37: Přístroj pro měření tvrdosti Shore A	44
Obrázek 38: Spektrofotometr Datacolor 500.....	45
Obrázek 39:Přístroj TMA CX04R.....	46
Obrázek 40: Ukázka vyhodnocení TMA pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White	46
Obrázek 41: Přístroj DMA DX04T	47
Obrázek 42: Ukázka vyhodnocení DMA pro lepidlo Bison Grizzly Montage Extreme White	48
Obrázek 43: Porušení lepených spojů u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White	52
Obrázek 44: Porušení lepených spojů u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack	54
Obrázek 45: Porušení lepených spojů u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	56
Obrázek 46: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 225	58
Obrázek 47: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K.....	60
Obrázek 48: Porušení lepených spojů u lepidla Kömmerling Körapop 330	62
Obrázek 49: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White.....	65
Obrázek 50: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack	66
Obrázek 51: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	68
Obrázek 52: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225	69
Obrázek 53: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K	71
Obrázek 54: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 330	72
Obrázek 55: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Bison Grizzly Montage Extreme White.....	80
Obrázek 56: Degradace lepidla a přetržené tělísko při měření v tahu u lepidla Den Braven Mamut Glue High Tack	83

Obrázek 57: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	86
Obrázek 58: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225	89
Obrázek 59: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 225-2 K	92
Obrázek 60: Přetržená tělíska při měření v tahu u lepidla Kömmerling Körapop 330	95

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti – Bison Grizzly Montage Extreme White	33
Tabulka 2: Vlastnosti – Den Braven Mamut Glue High Tack	34
Tabulka 3: Vlastnosti – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	35
Tabulka 4: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 225.....	36
Tabulka 5: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 225-2 K	37
Tabulka 6: Vlastnosti – Kömmerling Körapop 330.....	37
Tabulka 7: Výsledky měření doby želatinace pro jednotlivá lepidla.....	49
Tabulka 8: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Bison Grizzly Montage Extreme White ...	50
Tabulka 9: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Den Braven Mamut Glue High Tack	52
Tabulka 10: Výsledky měření pevnosti ve smyku – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	54
Tabulka 11: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225	56
Tabulka 12: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 225-2 K	58
Tabulka 13: Výsledky měření pevnosti ve smyku – Kömmerling Körapop 330	60
Tabulka 14: Výsledky měření pevnosti v tahu – Bison Grizzly Montage Extreme White	64
Tabulka 15: Výsledky měření pevnosti v tahu – Den Braven Mamut Glue High Tack.....	65
Tabulka 16: Výsledky měření pevnosti v tahu – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV	67
Tabulka 17: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 225	68
Tabulka 18: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 225-2 K.....	70
Tabulka 19: Výsledky měření pevnosti v tahu – Kömmerling Körapop 330.....	71
Tabulka 20: Naměřené hodnoty z DMA a TMA – T_1 , T_2 , T_g , α_1 a α_2	75
Tabulka 21: Naměřené hodnoty modulu pružnosti ta různých teplot pomocí DMA	75
Tabulka 22: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	77
Tabulka 23: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	78
Tabulka 24: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Bison Grizzly Montage Extreme White	78
Tabulka 25: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack.....	80
Tabulka 26: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack	81

Tabulka 27: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Den Braven Mamut Glue High Tack.....	81
Tabulka 28: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	83
Tabulka 29: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	84
Tabulka 30: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – 3M SMP Adhesive Sealant 760UV.....	84
Tabulka 31: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	86
Tabulka 32: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	87
Tabulka 33: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225	87
Tabulka 34: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K	89
Tabulka 35: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K.....	90
Tabulka 36: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Körapop 225-2 K	90
Tabulka 37: Výsledky měření tvrdosti Shore A za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	92
Tabulka 38: Výsledky měření barevnosti za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	93
Tabulka 39: Výsledky měření pevnosti v tahu za různých podmínek – Kömmerling Körapop 330	93

Seznam rovnic

Rovnice 1: Pythagorova věta v prostoru	30
Rovnice 2: Výpočet celkové barevné diference	32
Rovnice 3: Výpočet indexu žloutnutí podle normy ASTM E-313	32
Rovnice 4: Výpočet stupně zažloutnutí	32

Seznam zkratek

ABS	akrylonitrilbutadienstyren
DMA	dynamická termomechanická analýza
OSB deska	deska lisovaná z orientovaných rozprostřených třísek
PA	polyamid
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET	polyethylentereftalát
PIB	polyisobutylem
PMP	polymethylpenten
MMA	methylmethakrylát
PMMA	polymethylmethakrylát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PTFE	polytetrafluoretylen
PVC	polyvinylchlorid
T ₁	teplota blízká teplotě skelného přechodu
T ₂	teplota blízká teplotě skelného přechodu
T _g	teplota skelného přechodu
TMA	termomechanická analýza
α	koeficient délkové teplotní roztažnosti