

UNIVERZITA PARDUBICE

FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Dominik Petrnoušek

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Oddělení syntetických polymerů, vláken a textilní chemie

Polymerní bezdušové tmely a jejich využití ve sportu a dopravě

Bakalářská práce

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Dominik Petrnoušek**
Osobní číslo: **C19469**
Studijní program: **B0531A130017 Polymerní materiály a kompozity**
Téma práce: **Polymerní bezdušové tmely a jejich využití ve sportu a dopravě**
Zadávající katedra: **Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek**

Zásady pro vypracování

1. Z dostupných literárních pramenů vypracujte rešerši zaměřenou na polymerní materiály využívané jako bezdušové tmely v dopravě a sportu. Popište a charakterizujte základní typy těchto materiálů z hlediska jejich chemické struktury, vlastností a využití.
2. V literární rešerši se zaměřte také na vysvětlení principu fungování bezdušového systému a jeho využití v cyklistice a automobilové dopravě. Detailně popište úlohu polymerní komponenty v tomto systému.
3. Získané informace přehledně zpracujte do jednotlivých kapitol.

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

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Machotová, Ph.D.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

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

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. července 2022**

L.S.

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

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

V Pardubicích dne 22. února 2022

Prohlašuji:

Práci s názvem „*Polymerní bezdušové tmely a jejich využití ve sportu a dopravě*“ 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 28. 6. 2022

Dominik Petrnoušek

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat paní Ing. Janě Machotové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a zpětnou vazbu při tvorbě této bakalářské práce.

Bakalářská 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.

ANOTACE

Cílem této bakalářské práce je popis problematiky bezdušových polymerních tmelů, které jsou využívány ve sportu a dopravě. Práce se zabývá se klasifikací bezdušových polymerních tmelů z hlediska chemické povahy, použití a technického charakteru. Taktéž se stručně zmíní o historii a vzniku tohoto vynálezu.

KLÍČOVÁ SLOVA

polymerní bezdušový tmel, latex, sport, doprava

TITLE

Polymer Tubeless Sealants and Their Application in Sports and Transport

ANNOTATION

The aim of this bachelor thesis is to describe the problems of tubeless polymer sealants that are used in sports and transport. The bachelor thesis deals with the classification of tubeless polymer sealants in terms of their chemical nature, application and technical character. It also briefly mentions the history and origin of this invention.

KEYWORDS

polymer tubeless sealant, latex, sport, transport

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
1 Úvod.....	11
2 Historie.....	12
2.1 Historie vývoje pneumatik.....	12
2.2 Historie bezdušových pneumatik.....	14
2.3 Moderní historie bezdušových systémů jízdních kol.....	16
3 Druhy systémů pneumatik pro jízdní kola.....	16
3.1 Dušový systém.....	16
3.2 Druhy duší dle materiálu.....	17
3.2.1 Butylkaučuk.....	17
3.2.2 Latex.....	19
3.2.3 TPU.....	19
3.3 Galuska.....	19
3.4 Bezdušový systém.....	21
3.4.1 Těsnící funkce.....	22
3.4.2 Funkce prevence a řešení defektů.....	22
4 Druhy bezdušových tmelů využívaných v cyklistice.....	24
4.1 Latexové bezdušové tmely.....	24
4.1.1 Amonná báze latexového tmelu.....	25
4.1.2 Aditiva latexových tmelů.....	26
4.2 Bezlatexové tmely.....	27
4.3 Speciální tmely.....	31
5 Využití těsnících tmelů v ostatních oblastech.....	31
5.1 Lodě.....	31
5.1.1 Silikonové tmely.....	32
5.1.2 Hybridní tmely.....	32
5.1.3 Polyuretanové tmely.....	33
5.1.4 Polysulfidové tmely.....	33
5.2 Nafukovací atrakce, paddleboardy, plavecké pomůcky.....	34
6 Bezdušové systémy na motorových vozidlech.....	34
6.1 Automobily.....	34

6.1.1 Výhody bezdušového systému u automobilů	35
6.1.2 Druhy tmelů pro bezdušové systémy na automobilech	37
6.2 Motocykly	37
7 Složení bezdušových tmelů	38
7.1 Patent EP1270188A1 [45]	38
7.2 Patent US6013697A [32]	40
7.3 Patent WO2016115560A1 [47]	41
7.4 Patent FR9415276A [48]	42
7.5 Patent WO1996005048A1 [49]	43
7.6 Patent US9862156B2 [50]	44
7.7 Patent US5338776A [52]	45
8 ZÁVĚR	47
9 POUŽITÁ LITERATURA	48

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: První kolo opatřené pneumatikou Johna Boyda Dunlopa – vystevené ve Skotském národním technickém muzeu [2].....	12
Obrázek 2: Airless pneumatika značky Michelin [3]	14
Obrázek 3: Historicky první patent bezdušové pneumatiky z roku 1928 [4]	15
Obrázek 4: Schéma dušového systému [7]	17
Obrázek 5: Butylkaučuk, stavebních jednotek isobutylenu (x) je vždy více než isoprenu (y). Množství isoprenu pro syntézu butylkaučuku bývá uváděno 0,7 – 3 mol. %	18
Obrázek 6: Porovnání všech třech základní druhů duší. Zleva: TPU Ultralight, TPU, latex, butylkaučuk [19]	19
Obrázek 7: Schéma galuskového systému [7]	20
Obrázek 8: Schéma bezdušového systému [7]	21
Obrázek 9: Knot vložený v defektu v plášti [22].....	23
Obrázek 10: Sprej s tmelom na instantní opravu defektu značky Effeto mariposa [23]	24
Obrázek 11: cis-1,4-polyisopren.....	25
Obrázek 12: Porovnání zacelení defektu produktem Silca s uhlíkovými vlákny a konkurenčním produktem ve formě běžného latexového tmelu [28]	27
Obrázek 13: Tmel Slime je viskózní zelená kapalina [30]	28
Obrázek 14: Druhy tmelů do pneumatik značky Slime. U této značky se ve všech případech nejedná doslovně o bezdušové tmely, jelikož je část jejich produktů navržena tak, aby fungovala i s duší. Všechny mají ale stejný cíl – zamezit defektu pneumatiky. [30].....	29
Obrázek 15: Kevlar.....	30
Obrázek 16: Čerstvý defekt pneumatiky. Na obrázku je patrné zacelení kevlarovými vlákny obsaženými v bezdušovém tmelu Finish Line [35]	30
Obrázek 17: Polysacharid xanthan	31
Obrázek 18: Obecný vzorec silikonu (polyorganosiloxanu)	32
Obrázek 19: Vznik polyuretanu polyadiční reakcí mezi isokyanátem a alkoholem.....	33
Obrázek 20: Urethanová skupina.....	33
Obrázek 21: Polysulfid sodný.....	34
Obrázek 22: Srovnání klasické pneumatiky a bezdušového systému u automobilu [42].....	35
Obrázek 23: Obrázek naznačující hysterezi [44].....	36
Obrázek 24: Solvitóza.....	39
Obrázek 25: První varianta poměru komponent v tmelu [45]	40
Obrázek 26: Druhá varianta poměru komponent v tmelu [45].....	40
Obrázek 27: Třetí varianta poměru komponent v tmelu [45]	40
Obrázek 28: Tabulka složek pro průmyslovou výrobu bezdušového tmelu dle patentu [48] ..	43
Obrázek 29: 1,3,3,3 - tetrafluorpropen	44
Obrázek 30: Složení tmelu pro aplikaci v podobě aerosolu [50].....	45
Obrázek 31: Složení bezdušového tmelu - varianta 1 [52]	46
Obrázek 32: Složení bezdušového tmelu - varianta 2 [52]	46
Obrázek 33: Složení bezdušového tmelu - varianta 3 [52]	46
Obrázek 34: Složení bezdušového tmelu - varianta 4 [52]	46
Obrázek 35: Složení bezdušového tmelu - varianta 5 [52]	46

1 Úvod

V dopravě a sportu (zejména cyklistice) udělal velký průlom John Boyd Dunlop, když v roce 1888 nechal patentovat svou pneumatiku plněnou vzduchem, kterou vynalezl o rok dříve. Do té doby se veškeré dopravní prostředky na kolech pohybovaly po pevných obručích, které nepřinášely cestujícím mnoho pohodlí. Údajně měl podobný nápad již v roce 1845 Robert William Thomson. Jeho patent bohužel předběhl dobu a zapadl, jelikož nenalezl vhodné využití. Od 19. století se toho v tomto oboru změnilo mnoho. Velice důležitým průlomem byl příchod bezdušových systémů a jejich využití v nejrůznějších odnožích dopravy a později i sportu. Pro funkčnost některých variant tohoto systému je zásadní využití také tzv. bezdušového tmelu, který zajistí těsnost systému a slouží také jako prevence různých mechanických závad, výrobních nedokonalostí a hlavně defektů.

Bezdušové tmely jsou klíčovou součástí bezdušového systému. Pro výrobce je tedy nesmírně důležité zajistit jejich maximální funkčnost a spolehlivost. Dnešní doba ovšem přináší výrobcům i další výzvy ve vývoji dokonalého bezdušového tmelu. Uživatelé čím dál více trvají na ekologičnosti, nízké ceně nebo také funkčnosti i za extrémních podmínek.

Cílem této bakalářské práce je popis problematiky bezdušových polymerních tmelů, které jsou využívány ve sportu a dopravě. V práci uvedena jejich klasifikace z pohledu chemické povahy, oblasti využití a technického charakteru. Součástí bakalářské práce je také patentová rešerše, která zabývá konkrétními vynálezy a způsoby uskutečnění technického řešení při zajištění specifických požadavků.

2 Historie

2.1 Historie vývoje pneumatik

První potřeba zpohodlnit jízdu na dopravním prostředku opatřeném koly, po kterých se pohybuje, přišel nedlouho po zrodu těchto dopravních prostředků samotných. První dopravní prostředky se pohybovaly po tuhých, kovových nebo dřevěných obručích. V případě dřevěných byly tyto obruče často opatřovány na svém vnějším obvodu kovovým pásem z důvodu zvýšení životnosti a pevnosti.

V roce 1845 podal Robert William Thompson návrh patentu na vzduchem plněnou pneumatiku, která měla za účel zpohodlnit a zefektivnit jízdu těchto dopravních prostředků. [1] Bohužel nebyla poptávka po takovém zařízení v té době dostatečně velká na to, aby se vynález uchytil. Jeho patent tedy zapadl a byl zapomenut.

O několik desítek let později se však již situace změnila. Ve velkém se začaly objevovat předchůdci dnešní bicyklů, kteří s sebou přinesli obrovský hlad po zpohodlnění jízdy. V roce 1888 tedy přichází veterinář John Boyd Dunlop se svou verzí pneumatiky (viz Obr. 1).



Obrázek 1: První kolo opatřené pneumatikou Johna Boyda Dunlopa – vystavené ve Skotském národním technickém muzeu [2]

Pneumatiku plněnou vzduchem vyrobil doma ze zahradní hadice, protože chtěl zpříjemnit jízdu na tříkolce svému synovi. V roce 1890 se ukázalo, že Dunlop není prvním, kdo s takovým vynálezem přišel. Prvenství tak bylo přiřčeno zpět Thompsonovi. Dunlopova varianta však přišla v lepší čas. V různých variantách ji známe dodnes. Jméno Dunlop se navíc proslavilo po celém světě.

Dalším zásadním bodem byl vynález první snímatelné pneumatiky pro jízdní kola. S tímto nápadem přišel v roce 1891 Édouard Michelin. Možnost vyměnit, nasadit nebo sundat pneumatiku z kola byla průlomová. Do té doby bylo nutné pneumatiku na kolo lepit. [1] Tato varianta však s příchodem Michelina nevytizela úplně. Lepená pneumatika známá též jako galuska se ve specifických situacích hojně využívá dodnes.

Důležité je také zmínit, že snahy o pohodlnější jízdu ne velocipedech byly již před Dunlopovým vynálezem. Různé varianty „polstrování“ tuhých obručí se objevovaly již kolem roku 1869. Nešlo však o verze systému plněného vzduchem. Principiálně se většinou jednalo o obalení kola měkčím materiálem. Lidé v té době zkoušeli téměř cokoliv, co by mohlo pomoci absorbovat alespoň část otřesů od povrchu, po kterém se pohybovali.

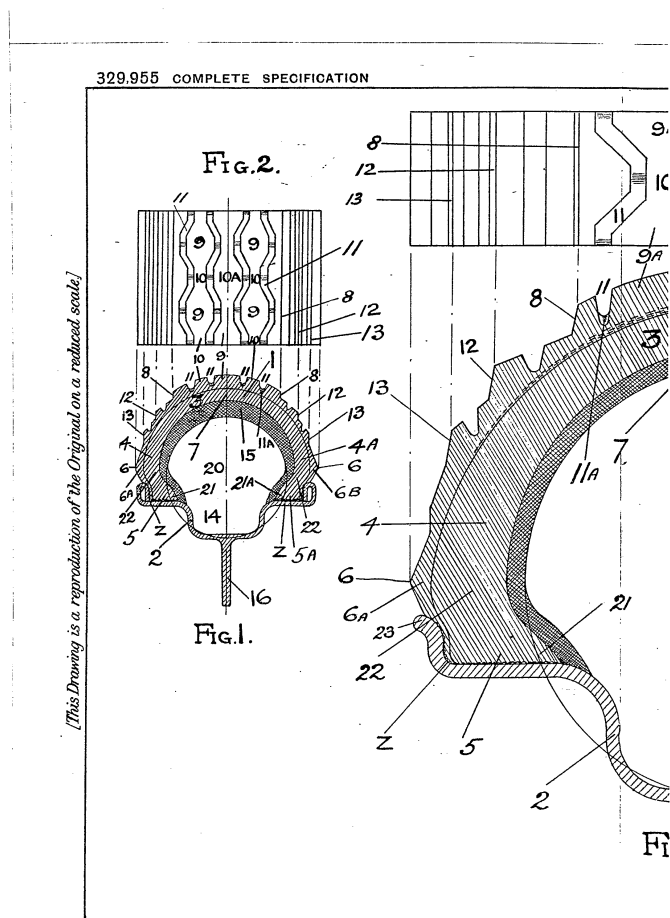
Tyto mechanické pneumatiky se ve velmi okrajových případech také stále využívají (viz Obr. 2). Zejména jde o situace, kde se nedbá na míru tlumení, pohodlí a efektivitu, ale jde především o odolnost. Vzhledem k absenci izolovaného systému naplněného vzduchem nemůže dojít k defektu v podobě úniku vzduchu. Toto s sebou ale pochopitelně nese řadu dalších rizik, které je nutné zvážit. V dnešní době jsou tyto mechanické pneumatiky využívány např. na vozidlech určených do válečných konfliktů, nebo v extrémně náročném terénu, ve kterém je riziko defektu při použití klasických pneumatik neúnosné.



Obrázek 2: Airless pneumatika značky Michelin [3]

2.2 Historie bezdušových pneumatik

Bezdušová pneumatika, jak již název napovídá, je pneumatika, která nevyžaduje využití duše, (viz kapitola 3.4). Její historie je o něco kratší než u jejího klasického protějšku. Pravděpodobně prvním, kdo podal patent na tento systém, byl Edward Brice Killen a to 27. října 1928 (viz Obr. 3). Ten mu byl uznán v roce 1930 pod označením GB 329955. [1;3] Odnož známé společnosti Goodyear, The Wingfoot Corporation zažádala o podobný patent v roce 1944. Většina těchto pokusů ale skončila nezdarem a upustilo se od nich.



Obrázek 3: Historicky první patent bezdušové pneumatiky z roku 1928 [4]

Dalším podaným patentem byl US 2587470 Franka Herzegha z roku 1952. [5] Pokusy o zavedení bezdušových systémů byly čím dál častější. Roku 1955 se již bezdušová pneumatika stala běžnou výbavou některých nově vyrobených automobilů. Herzegh pracující pro společnost BF Goodrich musel několikrát svůj vynález obhajovat před patentovým soudem, protože byl nařčen z podezřelých podobností s některými předchozími designy. Nakonec obstál, jelikož jeho verze se zásadně lišila v použití butylkaučuku na vnitřní straně pneumatiky, který zajišťoval výrazně lepší vlastnosti. Butylkaučuk se totiž ukázal jako mnohem méně propustný pro vzduch. Tím pádem nedocházelo k pomalému úniku vzduchu z pneumatiky. [6]

2.3 Moderní historie bezdušových systémů jízdních kol

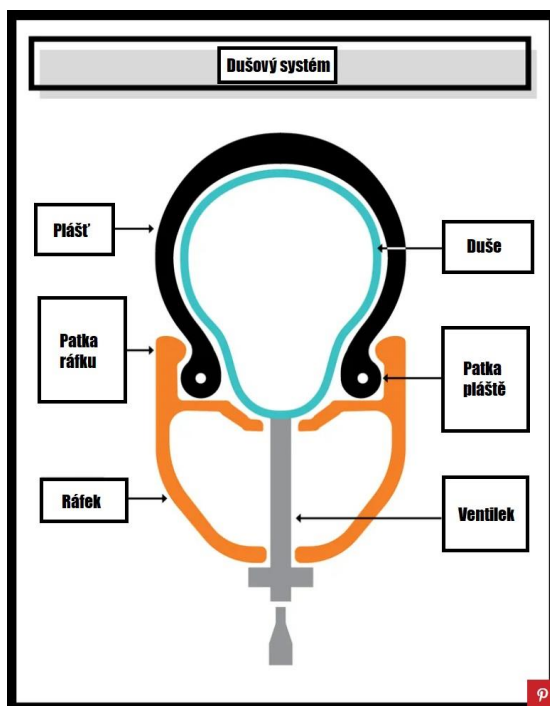
Zatímco se u motorových vozidel stal bezdušový systém standardem již kolem roku 1960, u jízdních kol se prosadily moderní bezdušové systémy až poměrně nedávno. Již od dob rozšíření jízdního kola (jakožto dopravního prostředku a sportovního náčiní) bylo kombinováno využití dušových pneumatik (viz kapitola 3.1) a tzv. galusek. Tedy pneumatik velice podobných těm Dunlopovým – lepeným na ráfek kola.

Moderní bezdušová varianta kombinuje výhody obou systémů. Byť Dunlopova verze také neobsahovala duši, nemá s moderní bezdušovou variantou mnoho společného. Originálnímu vynálezu z roku 1888 se nejvíc přibližuje spíše galuska. Po roce 2000 se začala objevovat nová varianta pneumatik pro jízdní kola, která kombinuje výhody dušového systému i galusky. Klasická verze s duší přináší výhodu v jednoduchosti, nižší ceně a rychlosti opravy. Galuska naopak slibuje vyšší odolnost proti defektům, bezpečnost v případě defektu a také možnost pokračovat relativně bezpečně i v případě defektu. Principům, variantám a podrobnému rozdělení druhů pneumatik pro jízdní kola se věnuje následující kapitola.

3 Druhy systémů pneumatik pro jízdní kola

3.1 Dušový systém

Pravděpodobně nejvíce rozšířeným a veřejnosti známým systémem je klasický „dušový“. Ač název nezní odborně, je v běžné mluvě rozšířený a ustálený. Dušový systém je složen ze třech zásadních částí: Ráfek (oranžově), duše (modře) a plášť (černě) (viz Obr. 4).



Obrázek 4: Schéma dušového systému [7]

Ráfek na dnešních bicyklech tvoří obruč (hliníková, ocelová nebo z kompozitu pryskyřice a vrstvené uhlíkové tkaniny, který se hovorově nazývá karbon [8]) se specifickým profilem, který zajišťuje správné a bezpečné usazení pláště. Pláště určené pro použití s duší nejsou dokonale nepropustné a nedokázaly by zajistit těsnost systému. Docházelo by pak k nechtěnému úniku vzduchu.

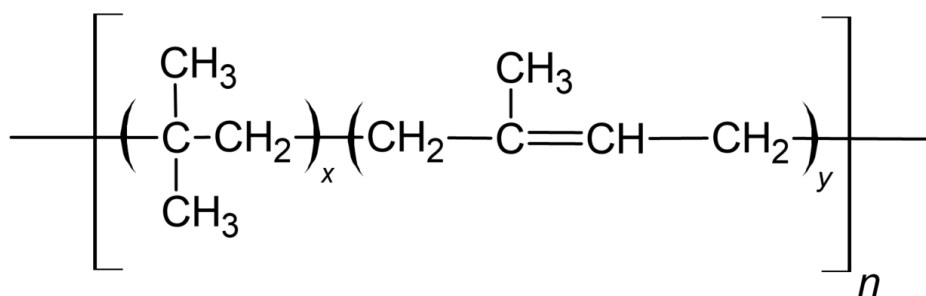
Právě z tohoto důvodu se v tomto případě mezi ráfek a plášť vkládá duše. Dokonale těsný dutý torus, zajišťující vzduchotěsnost celého systému. Většinou je duše vyrobena z materiálu náchylného na mechanické poškození, které je navíc podpořeno velkým namáháním způsobeným vysokým tlakem uvnitř duše. Má ale naopak velice nízkou propustnost plynů a zajišťuje tak izolaci celého systému. Ochranu proti mechanickému poškození, degradaci, působení okolních vlivů a tvarovou stálost zajišťuje třetí část systému – plášť.

3.2 Druhy duší dle materiálu

3.2.1 Butylkaučuk

Cyklistické duše bývaly historicky většinou vyrobeny z butylkaučuku, který má velice dobré izolační vlastnosti. Je-li duše z butylkaučuku vyrobena kvalitně, k úniku plynu (a tím pádem ztrátě tlaku) téměř nedochází. Butylkaučuk je kopolymer isobutylenu $C[CH_3]_2=CH_2$

a isoprenu (2-methylpropenu) $\text{CH}_2=\text{C}[\text{CH}_3]\text{CH}=\text{CH}_2$ (viz Obr. 5). Isobutylen a isopren se získávají krakováním zemního plynu, dehydratací 2-methylpropanolu za přítomnosti Al_2O_3 , při $300\text{ }^\circ\text{C}$. Výroba probíhá kationtovou polymerací. Syntetizuje se při nízké teplotě ($-90\text{ }^\circ\text{C}$). Jako katalyzátor se používá AlCl_3 rozpuštěný v methylchloridu. Polymerace probíhá okamžitě. Přídavkem isoprenu vzniknou dvojné vazby, které umožní zesílení. Vulkanizace probíhá sírou stejně jako u přírodního kaučuku. [9] Řetězce butylkaučuku se skládají z jednotek isobutylenu, mezi kterými jsou náhodně navázány izoprenové jednotky, které jsou převážně v poloze *trans*-1,4 (viz Obr. 5).



Obrázek 5: Butylkaučuk, stavebních jednotek isobutylenu (x) je vždy více než isoprenu (y). Množství isoprenu pro syntézu butylkaučuku bývá uváděno 0,7 – 3 mol. %

Ve většině případů se v duši nachází běžný vzduch. Difuze vzduchu skrz butylkaučuk je zanedbatelným faktorem. K drobnému úniku (pomineme-li samozřejmě velký mechanický defekt) může ale docházet z důvodu propustnosti polymeru pórovitým efektem. Tedy skrz mikroskopické trhliny a nedokonalosti způsobené degradací nebo nekvalitním výrobním postupem. Degradace může být způsobena např. dlouhým nevhodným skladováním, vystavením UV záření, oxidaci, rozpouštědlům nebo obecně chemicky agresivním látkám. [9;10]

Specifické případy nouzového dofouknutí mimo dosah servisní pomoci ale dost často řeší tzv. „bombička“ se stlačeným CO_2 . Ta umožní nouzové nahuštění kola a dojezd do cílového bodu. Nejedná se ale o konečné řešení. Oxid uhličitý se výrazně lépe rozpouští v polymeru a tím pádem velice snadno uniká skrz kaučukovou pryž do okolí. Propustnost materiálu lze vypočítat podle vzorce:

$$c = S \cdot p \quad (1)$$

Kde c je koncentrace difundující látky, p je vnější tlak a S je rozpustnost plynu. [11;12]

3.2.2 Latex

Od butylkaučkových duší se stále neupustilo. Po relativně dlouhé době se ale v posledních letech začaly objevovat duše latexové. Tedy duše z přírodního latexu, jehož hlavní složkou je polymerizovaný isopren – *cis*-1,4-polyisopren (2-methylbuta-1,3-dien). [13;14] Mají hned několik výhod a nevýhod. Zásadním kladem pro sportovní využití duše z latexu je její nižší hmotnost. Některá měření uvádí i značné snížení valivého odporu. Tím ale výčet výhod končí. Latexové duše jsou několikanásobně dražší než jejich butylkaučkové protějšky. Dochází u nich také k pomalému úniku plynu a tím pádem ztrátě tlaku. [15] U běžné silniční duše jde o znatelný pokles tlaku v rádech dnů.

3.2.3 TPU

Velice okrajovým, ale rozhodně ne zanedbatelným je asi nejvíce komerčně známý pokus značky Tubolito o proražení na trh se svou duší z termoplastického polyuretanu (TPU). [16–18] Firma deklaruje spojení výhod obou výše zmíněných materiálů s ještě nižší vahou. Kvůli své vysoké ceně, a hlavně dominanci kompletně bezdušových systémů se (podobně jako latexová duše) TPU duše nijak zásadně neprosadila (viz Obr. 6). [19]



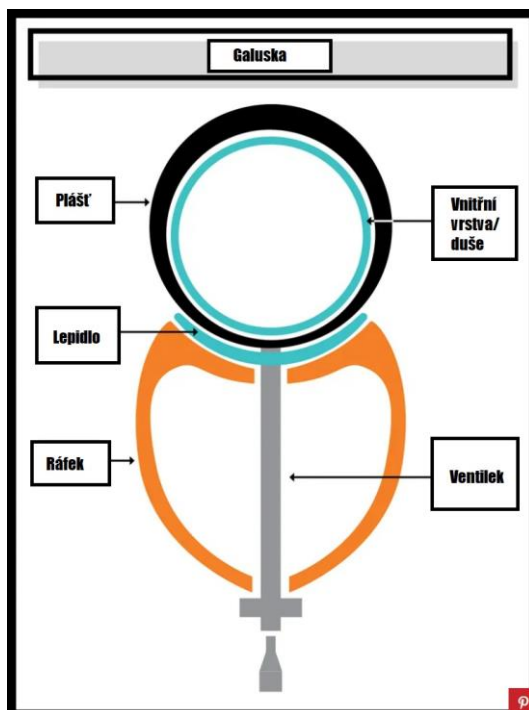
Obrázek 6: Porovnání všech třech základní druhů duší. Zleva: TPU Ultralight, TPU, latex, butylkaučuk [19]

3.3 Galuska

Druhým typem systémů pneumatik je tzv. galuska (anglicky „tubular“). Širokou veřejností je tak nazývána všeobecně úzká pneumatika pro silniční bicykly. Odborněji je však galuskou myšlen systém, který je víceméně dost podobný prvním Dunlopovým pneumatikám. Galuska se neskládá ze třech částí, jako je tomu u dušového systému. V tomto případě má pouze dvě

součásti, kterými je samotná galuska a ráfek (viz Obr. 7). Rozdíl je patrný z nákresu níže. Na rozdíl od dušového systému se v případě galusky nekládá duše do pláště. Oba tyto úkoly zastává galuska současně. Vnitřní těsnicí butylkaučukovou vrstvu bezprostředně pokrývá tužší a odolnější vrstva, která zastává funkci pláště.

Vzhledem k absenci patek ráfku a pláště (které zabraňují u dušového systému posunu pláště po ráfku) je v tomto případě nutné využít k fixaci speciálního lepidla. Výrobci si složení chrání. Je však možné dohledat, že se používá zejména lepidlo z butylkaučuku rozpuštěného hexanem. [20]

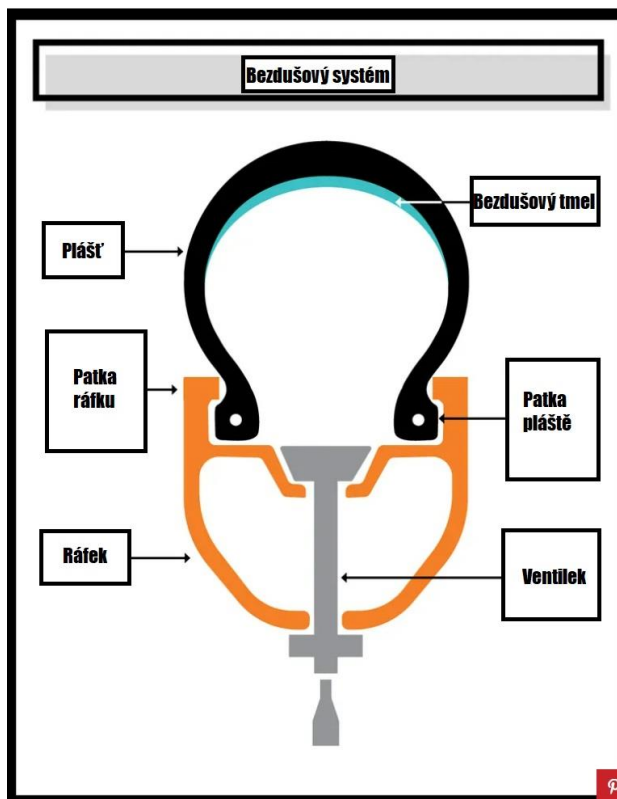


Obrázek 7: Schéma galuskového systému [7]

Výhody galuskového systému byly využívány ve sportovním nasazení až do nedávné historie. Dnes je již galuskový systém pomalu nahrazován systémem bezdušovým. A to jak na horských, tak silničních kolech. Hlavní výhoda galuskového systému spočívá v odolnosti proti defektům způsobeným proražením izolační vrstvy skřípnutím mezi ráfek a ostrou hranu podkladu při nízkém tlaku. V závodním nasazení se těšily velké oblibě z důvodu ochrany ráfku v případě nutnosti dojetí krátké vzdálenosti při defektu. Galuska fixovaná lepidlem na ráfek na rozdíl od klasického pláště nemá tendenci při ztrátě tlaku ráfek úplně opustit.

3.4 Bezdušový systém

Bezdušový systém (anglicky „tubeless“) se dostal do povědomí široké veřejnosti až posledních několika letech. Od svého nástupu však naprosto dominuje na bicyklech většiny závodních disciplín. Svou oblibu si ale získává i v čistě rekreačním prostředí. Je nutné v tomto případě rozlišovat tyto dva světy. Pro naprosto nenáročného uživatele, pro kterého je prioritou minimální údržba bicyklu (většinou jako dopravního prostředku), nebude bezdušový systém nejspíš přinášet žádné výhody. Naopak by ho mohl zaskočit v případě zanedbané údržby. Na druhou stranu pro ty, kteří využívají kolo jako prostředek na dlouhé cesty, rekreaci či jako sportovní nebo závodní náčiní, je ale bezdušový systém nejspíš lepší volbou. A to i za cenu lehce vyšší servisní náročnosti.



Obrázek 8: Schéma bezdušového systému [7]

Bezdušový systém se opět skládá ze tří zásadních částí (viz Obr. 8). Ovšem funguje na citelně jiném principu než systém dušový. Jak je patrné z nákresu, ráfek a plášť zůstávají stejné. Místo duše je však do lehce upraveného pláště odměrkou nebo hadičkou vnesen vhodný objem tekutého těsnícího „bezdušového“ tmelu. Ten v tomto případě zastává dvě naprosto zásadní funkce – těsnící a preventivní.

3.4.1 Těsnící funkce

Tmel má v tomto případě za úkol částečně suplovat funkci duše. Vytvořením tenké vrstvy na vnitřních stěnách pláště zajistí těsnost proti úniku plynu, kterým je pneumatika nahuštěna. V případě tubeless (na rozdíl od dušového systému) je mírně upraven i plášť. Ten by měl být schopen udržet tlak i sám o sobě. Jeho vnitřní stěny jsou proto oproti klasickému plášti upraveny tak, aby bránily úniku plynu i bez použití duše nebo tmelu. Ne vždy ale výrobní proces a přirozené vlastnosti materiálu pláště dovolí naprosto dokonale tuto úlohu splnit. Tmel se proto také používá pro prvotní opravu mikroskopických trhlin, děr a nedokonalostí bezdušového pláště.

3.4.2 Funkce prevence a řešení defektů

Druhá a pravděpodobně výrazně důležitější funkce, kterou se odlišuje od ostatních systémů, je možnost prevence a okamžitého řešení defektů. Pokud na dušovém nebo galuskovém systému dojde k porušení struktury duše nebo pláště, jedná se o zásadní problém. V případě duše je nutná kompletní výměna duše, která může být bez vhodného náradí a prostředí problematická. V případě galusky je mimo civilizaci defekt téměř neřešitelný.

Bezdušový systém toto ale ve velké části případů řeší. Tmel totiž zastává funkci prevence defektů. Dojde-li k drobné penetraci bezdušového pláště např. trnem rostliny nebo jiným drobným ostrým předmětem, tmel se tlakem přítomným uvnitř pláště nahromadí do díry, kterým plyn ze systému uniká a defekt zacelí. Ve většině případů výrobci své produkty vymýšlí tak, aby tento drobný defekt byl zacelen do několika málo vteřin. Jezdec by tak ideálně neměl ani zaznamenat ztrátu tlaku. Defekty, které systém dokáže zacelit sám, mají zpravidla rozsah v řádech milimetrů. Větší trhliny nebo průřezy se řeší tzv. „knotem“, což je speciální adhezní materiál, který se do vzniklého většího defektu vloží a pokryje tak svým objemem značnou část vzniklého defektu. [21]

O finální dokonale zatěsnění se postará opět bezdušový tmel, který zacelí drobné mezery mezi okrajem defektu v plášti a knotem vloženým do díry. Výrobci uvádí, že knoty jsou samovulkanizační butylkaučukové válečky pro opravu defektů v rozsahu 3–7 mm (viz Obr. 9).



Obrázek 9: Knot vložený v defektu v plášti [22]

V obou případech se jedná o výrazně časově i materiálově méně náročné řešení než je výměna duše, kterou je nutné kompletně nahradit i v případě naprosto miniaturního defektu. Nesporné výhody bezdušového systému spočívají v rychlosti opravy defektu v závodním nasazení. Dojde-li k drobnému defektu, který tmel zacelí sám a pouze drobné ztrátě tlaku, přichází na řadu dofouknutí bombičkou se stlačeným CO₂. Ta dovolí téměř okamžité dohuštění pneumatiky a pokračování v závodě. Pokud se defekt tmelem zacelí dokonale, je taková oprava otázkou několika sekund. V případě opravy většího defektu a opravy knotem pak několika desítek sekund. K opravě je navíc nutná pouze již zmíněná bombička a speciální nástroj pro aplikaci knotu. Ty však nezabírají téměř žádný prostor a jsou relativně lehké.

S dušovým systémem taková oprava zabere minimálně několik minut. Navíc je nutné mít k dispozici alespoň jednu duši a pumpu. Speciální možností opravy defektu v závodním nasazení jsou kombinované spreje. V případě, že dojde k vyschnutí tmelu uvnitř pláště, úniku velké části tmelu defektem před zacelením, nebo je defekt moc velký na již přítomný tmel, přichází na řadu kombinovaný sprej. Jedná se upravený bezdušový tmel (zejména latexového typu – viz kapitola 4.1), který se nachází v tlakové nádobě s hadičkou, která se nasadí na ventilek (viz Obr. 10).

Některé tyto tmely ve spreji mají schopnost pěnit. Tím je zajištěna rychlejší distribuce celým prostorem uvnitř pláště a tím pádem rychlejší zacílení a řešení defektu. Je nutné podotknout, že řešení defektu na cestě nebo při závodě není definitivní.



Obrázek 10: Sprej s tmelem na instantní opravu defektu značky Effeto mariposa [23]

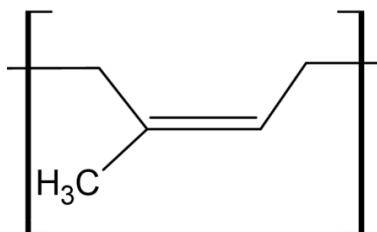
4 Druhy bezdušových tmelů využívaných v cyklistice

Existuje několik hlavních směrů, kterými se výrobci vydávají při volbě materiálu pro výrobu bezdušového tmelu. Nejprve by však nejspíš bylo vhodné ujasnit si, co vlastně bezdušový tmel (anglicky „tubeless sealant“) je. Za nejpřesnější definici považuji tuto: Bezdušová těsnicí hmota je kapalina určená k ucpání malých otvorů v plášti pneumatiky, čímž zabraňuje úniku tlaku. Funguje podobně jako srážení krve, které zabraňuje krvácení. Existují dva hlavní typy bezdušových tmelů: latexové a tzv. „latex-free“, tedy bezlatexové.

4.1 Latexové bezdušové tmely

Výrobci si pochopitelně své přesné složení a komponenty, ze kterých jsou jejich produkty složeny, chrání. Z dostupných zdrojů lze však mnoho odvodit a mnoho informací lze z dostupných zdrojů získat. Nejprve se tedy zaměříme na to, co vlastně takový latexový tmel

obecně je. Většina latexových tmelů využívá k ucpání vpichů, průřezů, průrazů a natržení pláště koagulační vlastnosti přírodního latexu, tedy vodné disperze přírodního kaučuku. Přírodní kaučuk je *cis*-1,4-polyisopren, který se získává z kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis*) (viz Obr. 11). [24]



Obrázek 11: *cis*-1,4-polyisopren

Latex je disperze polymerních částic ve vodě. V případě bezdušových tmelů se také hojně využívá disperze kaučuku ve vodném roztoku amoniaku (NH₃). Skrz díru v pneumatice klesá tlak vzduchu a dochází k jeho proudění. To způsobí, že se roztok vody a čpavku odpaří a polymerní částice se dostanou do blízkého kontaktu, slinou (koagulují) a ucpou tak díru. Při koagulaci dochází k inter-penetraci polymerních řetězců mezi jednotlivými polymerními částicemi, která zajistí fyzikální zesílení latexového tmelu.

Jedním z nejzásadnějších problémů latexových tmelů je ale jejich živostnost. Po vnesení tmelu do pláště se sice celý systém utěsní a izoluje, ale při běžném používání však dochází k drobným ztrátám tlaku a je nutné vzduch dofouknout. Tím se ale vodná nebo vodno-amonná báze odpařuje a dochází k vysychání tmelu. Po sejmutí pláště pak v takovém případě nenalezneme tekutý tmel, ale vyschlý koagulát, který pochopitelně již neplní funkci prevence a řešení defektů. Latexový tmel je tedy nutné po čase kontrolovat a doplnit či vyměnit. Tím se dostáváme zpět k nevhodnosti pro nenáročného uživatele. Ti by mohli být nepříjemně zaskočení těmito okolnostmi v případě zanedbaného servisu svého bicyklu.

4.1.1 Amonná báze latexového tmelu

Amonná báze má také bohužel korozivní vlastnosti pro některé druhy materiálů ráfků a dalších součástí a komponent kola, které přichází do styku s tmelem na takové bázi. Někteří výrobci proto od amonných bází latexových disperzí upouštějí. Případně tuto skutečnost dokonce využívají jako marketingový prvek.

Amonná báze polymerní disperze vyrovnává pH latexového tmelu. Důležité je zmínit, že jako konkrétní sloučenina pro úpravu pH se používá vodný roztok čpavku kvůli ceně. Lze ale také

využít sekundární a terciální aminy pro zlepšení stability a zabránění korozi, jejíž nebezpečí s sebou zásaditý vodný roztok čpavku nese. [25;26]

4.1.2 Aditiva latexových tmelů

Téměř každý výrobce také přichází s novými aditivou (plnivou), která mají zlepšit některou z vlastností. Pro bezdušové tmely jsou pak důležité zejména tyto vlastnosti:

Latexové tmely musí dobře utěsnit celý systém, v případě defektu koagulovat rychle a spolehlivě, nevysychat, nemít agresivní účinky vůči ostatním komponentům kola a pneumatiky, ideálně být levné na výrobu, ekologické a bezpečné pro použití a manipulaci a také by neměly zamrzat (zajištěno přidávkou propylenglykolu nebo etylenglykolu) a podléhat jiným fyzikálním a chemickým vlivům. Některé z těchto vlastností se dají ovlivnit aditivou, či úpravou složení. [27]

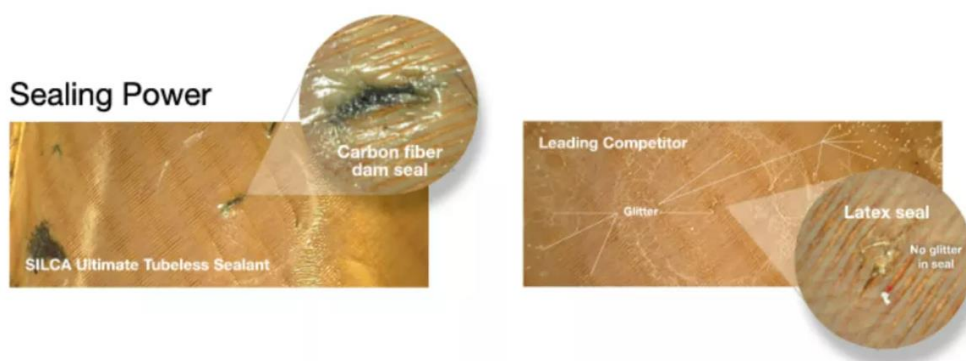
Pravděpodobně nejdůležitější vlastností je pochopitelně to, aby rychle a spolehlivě vyřešil defekt v podobě vpichu nebo trhliny v plášti. Právě z tohoto důvodu velká část bezdušových tmelů nespočívá pouze na koagulační schopnosti samotné disperze kaučuku, ale je doplněna o různé objemnější částice, které slouží jako plnivo a ucpávající díru rychleji.

Takové částice mají dle daného výrobce a patentu různé podoby. Jde ale většinou o vločky nebo vlákna suspendované v kapalině. Ty svým velkým objemem a povrchem urychlují srážení a fyzikální zesílení latexu v otvoru defektu a tím pádem dochází k rychlejšímu řešení problému. Zajímavé je, že jako objemné částice se využívá téměř cokoliv, např. skleněná, syntetická, přírodní vlákna, drť z mikroplastů, laminátů nebo třeba ořechových skořápek. [28]

Stinnou stranou je však to, že zároveň také urychlují degradaci a vysychání tmelu v pneumatice. I samotná efektivita různých aditiv je spekulativní. Mnoho uživatelů se neshodne na tom, jestli pozorují zlepšené vlastnosti tmelů s takovými aditivou. Mnoho laboratorních měření nebo porovnání neexistuje. Každý komerční produkt se snaží řešit problémy, které přináší konkurenční řešení. Bohužel se nedá říct, že by někdo vymyslel naprosto dokonalý produkt, který by neměl nějaký kompromis. Výrobci se tak často snaží najít balanc mezi všemi výše zmíněnými požadovanými vlastnostmi, které si ale dost často odporují a jdou proti sobě. Je tedy důležité si pro každého uživatele ujasnit, co je pro něj nejdůležitější a jaký produkt zvolit.

Takovým příkladem může být např. komerční latexový tmel Ultimate Tubeless Sealant (Silca,USA). Webové stránky výrobce (<https://silca.cc/pages/ultimate-sealant>) se zmiňují

zejména o tom, že drtivá většina konkurence opomíjí možnost pohybu objemných částic uvnitř pláště. Když je kolo roztočené, chová se jako centrifuga. Odstředivá síla tedy přitlačí částice k vnějšímu obvodu pláště, a ty poté mají omezenou možnost přesunout se tam, kde budou potřeba. Tedy k defektu, kterým uniká z pneumatiky vzduch. Jejich řešení tohoto problému se skládá ze dvou částí. Svůj tmel vytvořili tak, aby pěníl, podobně jako sprej od Effeto mariposa (Effeto Mariposa, Švýcarsko) zmíněný v kapitole 3.4.2. Pěňivé vlastnosti by měly tmelu ulehčit jeho transport na požadované místo. Druhou částí řešení je využití extrémně lehkých částic, které disperzí putují snáze a tím pádem se opět dostanou k defektu rychleji. Pro tyto potřeby byla zvolena uhlíková vlákna s nehomogenním rozměrem. Dle jejich tvrzení by různé rozměry těchto vláken měly zajistit optimální funkčnost pro různé rozměry defektu a zároveň efektivnější a jistější ucpání otvoru (viz Obr. 12). Kratší vlákna vyplní mezery mezi delšími vlákny. Tím pádem je možné tmel využít i pro silniční bezdušové systémy, ve kterých se vyskytují výrazně vyšší tlaky (až do 120 psi). Na podobném principu funguje většina ostatních komerčních produktů. Každý má excelentní jednu nebo dvě vlastnosti. Ostatní jsou tím pádem ovšem výrazně potlačeny. [25]



Obrázek 12: Porovnání zacelení defektu produktem Silca s uhlíkovými vlákny a konkurenčním produktem ve formě běžného latexového tmelu [28]

4.2 Bezlatexové tmely

Druhým základním typem bezdušových tmelů využívaných v cyklistice jsou tmely bez latexu. Ty neobsahují latex a uvnitř pneumatiky nedochází k žádným chemickým změnám. Místo toho se spoléhají na viskóznější kapalinu – většinou na vodné bázi, která obsahuje větší množství „těsnicích“ částic určených k fyzickému ucpání průřazů. Tím pádem mají mnohem delší životnost. Naopak ale za latexovými zaostávají v pohotovosti a spolehlivosti řešení



defektů. Obecně nejsou v poslední době bezlatexové bezdušové tmely v soutěžním a rekreačním sportu využívány tak hojně, jako jejich latexové protějšky.

Příkladem takového bezlatexového tmelu může být např. produkt značky Slime (Slime, USA) (viz Obr. 13). Ten se do sportovního odvětví propracoval skrze všemožné kutilské aplikace. Originální verze tmelu Slime byla spojena se sloganem „Tmel pro každého“. Směřovala na rozličné domácí aplikace – od pneumatik na sekačce až po automobily. [29] Novější verze přímo určená a upravená pro využití na bicyklech se však liší. Z webu výrobce: „Slime je kapalina. Jasně zelená, hustá tekutina. Kapalina se po aplikaci do pneumatiky nerozpíná (jako pěna). Místo toho, jak se vaše pneumatika otáčí, kapalina pokrývá vnitřek pneumatiky.“ [30] Slime opravuje defekty mechanickým utěsněním, což znamená, že částice skutečně fyzicky ucpou díru. V místě propíchnutí nedochází k žádné chemické reakci. Tyto fyzikální částice jsou kombinací dlouhých a krátkých vláken a také částic gummy. [31]



Obrázek 13: Tmel Slime je viskózní zelená kapalina [30]

Výrobce také dodává, že jeho produkt funguje v extrémní škále teplot. Bod mrazu je udáván na hodnotu $-35\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-37,22\text{ }^{\circ}\text{C}$) a funkčnost by si měl zachovat až do teploty $182\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($83,33\text{ }^{\circ}\text{C}$). Receptura Slime je na vodné bázi. Slime se také pyšní portfoliem několika konkrétních druhů bezdušových tmelů. Jejich princip je totožný, receptura se ale drobně liší dle zamýšlené aplikace. Od běžného využití na bicyklech, kočárcích, tříkolkách, sekačkách, přes čtyřkolky, motorky, traktory a další těžkou techniku, až po dopravní prostředky pohybující se dálniční rychlostí (viz Obr. 14).

 WHICH SLIME SEALANT DO I NEED?			
<p align="center">HIGHWAY VEHICLES</p> <ul style="list-style-type: none"> Instantly seals punctures up to 1/4" No jack required Safe and easy to use Emergency use only 	<p align="center">OFF-HIGHWAY TIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> Instantly seals punctures up to 1/4" Seals continuously for 2 years Stops slow leaks Safe and easy to use 	<p align="center">OFF-HIGHWAY TUBES</p> <ul style="list-style-type: none"> Instantly seals punctures up to 1/8" Seals continuously for 2 years Stops slow leaks Safe and easy to use 	<p align="center">OFF-HIGHWAY 2-in-1 TIRES & TUBES</p> <ul style="list-style-type: none"> Instantly seals up to 1/4" punctures in tires and 1/8" punctures in tubes Seals continuously for 2 years Stops slow leaks Safe and easy to use 
<p>Ideal for all highway tires, including:</p> 	<p>Ideal for non-highway tires, including:</p> 	<p>Ideal for all tires with tubes, including:</p> 	<p>Ideal for off-highway tires and tubes, including:</p> 
<p>BEST TO USE WHEN: You are stuck on the side of the road with an emergency flat tire -- and it is raining. Or really hot. And you are stuck on a super busy highway. Or in the middle of nowhere with no cell service.</p>	<p>BEST TO USE WHEN: You don't want your ATV to be stuck on the sand dunes. Or your boat trailer to never make it to the dock. Or your tractor to get stuck out in the middle of your field.</p>	<p>BEST TO USE WHEN: You are tired of replacing bicycle tubes. To stop your wheelbarrow's slow leak. When goatheds, thorns, nails and other road debris continuously ruin your rides.</p>	<p>BEST TO USE WHEN: You have a flat in any off-highway tire or tube. Get all the benefits of Slime's red and blue label sealants in one bottle. It just works!</p>
<p>AVAILABLE IN:</p>  <p align="center">14oz. 16oz. 18oz. 20oz.</p>	<p>AVAILABLE IN:</p>  <p align="center">8oz. 16oz. 24oz. 32oz. 1 Gal. 2.5 Gal. 5 Gal. 5.5 Gal.</p>	<p>AVAILABLE IN:</p>  <p align="center">8oz. 16oz. 1 Gal. 5 Gal.</p>	<p>AVAILABLE IN:</p>  <p align="center">16oz. 32oz. 1 Gal.</p>

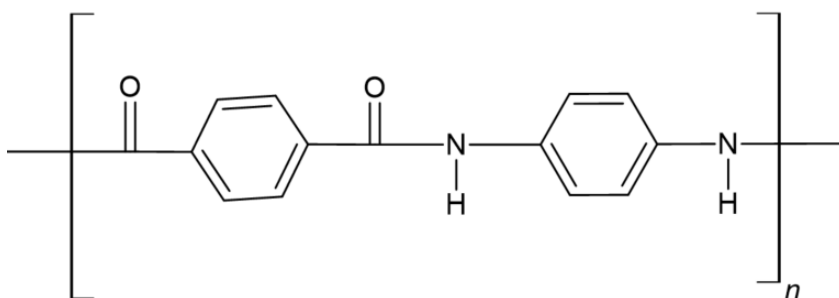
Obrázek 14: Druhy tmelů do pneumatik značky Slime. U této značky se ve všech případech nejedná doslovně o bezdušové tmelů, jelikož je část jejich produktů navržena tak, aby fungovala i s duší. Všechny mají ale stejný cíl – zamezit defektu pneumatiky. [30]

Konkrétní složení veškerých produktů je výrobcí úzkostlivě střeženo. Z dostupných zdrojů lze dohledat pouze obecné složky. Ty jsou dle patentu US6013697A z roku 1995 propylenglykol, umělá vlákna, inhibitor koroze a biocid. [32] Tato informace je zajímavá, jelikož žádný jiný výrobce se nezmiňuje o tom, že by se ve svém produktu snažil potlačit růst škodlivých organismů.

Druhým příkladem bezlatexového bezdušového tmelu může být produkt Finish Line Tubeless Tire Sealant (Finish Line, USA). [33] Ten se spoléhá na obdobný princip jako Slime, ovšem s rozdílným složením. Těsnicí hmota se v případě tohoto výrobce komerčně nazývá FiberLink a obsahuje malé kousky kevlarových vláken společnosti DuPont, která se při netěsnosti vtačí do otvorů. Když se do otvoru dostane dostatečné množství těchto vláken, vytvoří se fyzikální „sít“, která opět zacpe otvor. Vzhledem k tomu, že kapalný nosič nemá (obdobně jako u všech bezlatexových tmelů, jak bylo již výše vysvětleno) za úkol být zároveň těsnicí hmotou, mohla společnost Finish Line použít kapalinu, která v průběhu životnosti pneumatiky nevysychá. Toto prohlášení je ovšem nutné brát s rezervou. Společnost se odvolává, že „doživotní“ nevysychavost tmelu je testována za laboratorních podmínek a na méně

porézním typu pneumatik. V běžném využití samozřejmě k vysychání dochází, byť může být méně znatelné než u konkurence. Od konce roku 2018 již společnost Finish Line nepropaguje tento produkt jako „nikdy nevysychající“.

Houževnatá a tepelně odolná vlákna DuPont Kevlar pomáhají dle webu výrobce „lépe kontrolovat viskozitu a zvyšují její hodnotu při výrobě lepidel, tmelů a nátěrů“ (viz Obr. 15). [34] V aplikacích lepidel, tmelů, nátěrů a plastů vyztužených vlákny pomáhá Kevlar zajistit lepší kontrolu viskozity a snížit náklady. Stručný popis na webu výrobce také udává, že Kevlar je vláknitý thixotrop, který zahušťuje nebo zvyšuje viskozitu díky náhodné orientaci a fyzikálnímu propletení vláken a drobných fibril (viz Obr. 16). Tento zabudovaný thixotropní mechanismus pomáhá zajistit kontrolu viskozity, která není ovlivněna zpracováním ani stárnutím. [25; 34]



Obrázek 15: Kevlar

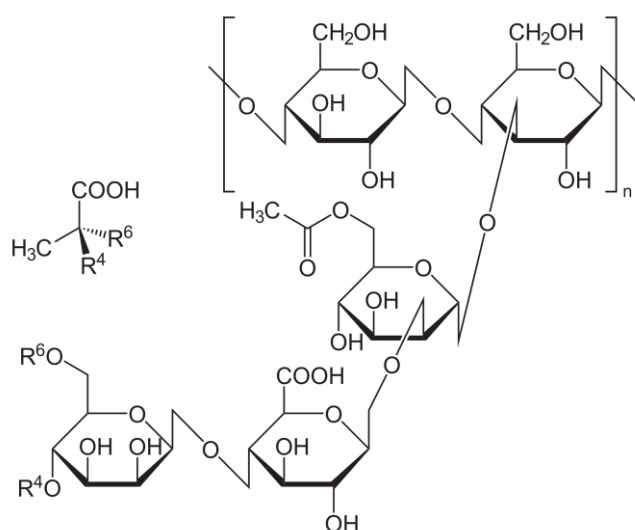


Obrázek 16: Čerstvý defekt pneumatiky. Na obrázku je patrné zacelení kevlarovými vlákny obsaženými v bezdušovém tmelu Finish Line [35]

4.3 Speciální tmely

Výrobci se v drtivé většině případů zaměřují na efektivitu řešení defektu a životnost tmelu. Někteří ale zvolili opačnou cestu a svůj produkt budují kolem ekologie, šetrnosti a bezpečnosti. Jedná se např. o produkt Vegétalex od Effeto Mariposa (Švýcarsko). [36]

Dle webu výrobce (<https://www.effetomariposa.eu/collections/sealants/products/vegetalex-bicycle-tyre-sealant>) se snaží snížit dopady na životní prostředí, a proto místo pomalu odbouratelných přírodních nebo syntetických latexů zvolili kompletně přírodní složení. Jako objemné částice slouží jemně mleté olivové pecky a celulózová vlákna. Směs drží pohromadě xanthanovou gumou, což je polysacharid vyráběný pomocí fermentace sacharidů bakterií *Xanthomonas campestris*, vyrobenou z jednoduchých cukrů (viz Obr. 17). Výrobce uvádí, že kromě kompletně ekologického a přírodního složení netrpí ani žádné jiné vlastnosti. Tmel prý nevysychá a spolehlivě zaceluje defekty až do 5 mm.



Obrázek 17: Polysacharid xanthan

5 Využití těsnících tmelů v ostatních oblastech

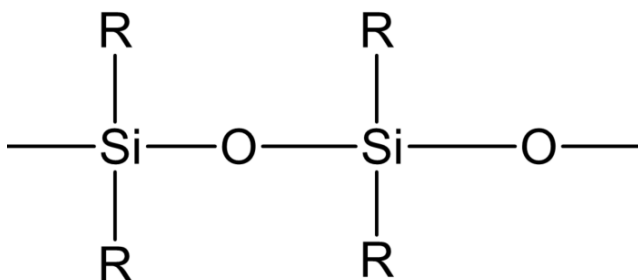
5.1 Lodě

Dalším důležitým odvětvím, ve kterém se uživatelé spoléhají na protidefektové vlastnosti těsnících tmelů, jsou vodní sporty a námořní aplikace. V této oblasti je využíváno několik dalších druhů polymerních tmelů, které jsou také odlišně členěny. Důležité je však

podotknout, že v tomto případě se většinou nehovoří o tmelech, které jsou popsány v předcházejících kapitolách. Většina těchto tmelů neslouží jako prevence, ale jako následné řešení již vzniklého defektu. Kvůli formě, velikosti a nátuře defektů na lodích je nutná výrazně větší mechanická, chemická a fyzikální odolnost. Také je často nutné otvor mechanicky vyplnit zátkou nebo záplatou, která je doplněna a konečně utěsněna níže zmíněnými tmely. Ty jsou většinou podobné těm, které známe z běžného využití domácnosti nebo průmyslu – těsnění oken, sanitárního vybavení, zednických prací atd. [37]

5.1.1 Silikonové tmely

Silikon je inertní syntetická polymerní sloučenina a technicky patří do skupiny kaučuků (viz Obr. 18). Jeho výhody pro aplikaci na nafukovacích lodích jsou značné. Je odolný vůči UV záření, teplu, skvěle izoluje a těsní. Jeho nevýhodou je, že není tak dobře adhezivní jako konkurenti, a proto je někdy nepraktický pro použití pod čarou ponoru.



Obrázek 18: Obecný vzorec silikonu (polyorganosiloxanu)

Silikony jsou obecně anorganicko-organické sloučeniny. Základní řetězec je tvořen řetězcem střídajících se atomů kyslíku a křemíku, na který se dále vážou organické substituenty (R). Dle druhu organické skupiny se pak odvíjí druh silikonu. Typicky jde o hydroxylové (–OH) nebo methylové (–CH₃) skupiny. Organické substituenty se vždy vážou pouze na křemíku.

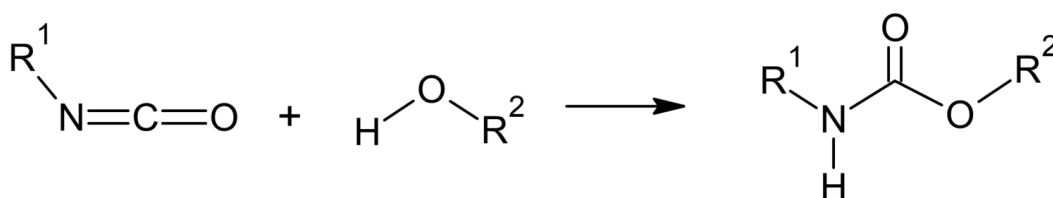
5.1.2 Hybridní tmely

Hybridy jsou kombinací nejlepších prvků ostatních tmelů. Myšlenka je taková, že každý typ tmelu má své klady a zápory, takže se jednoduše vyberou klady z nejlepších typů. Například pevnost polyuretanu s tepelnou odolností a odolností proti UV záření silikonu.

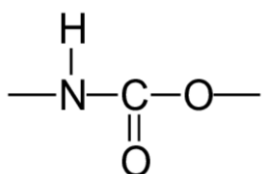
5.1.3 Polyuretanové tmely

Polyuretanové tmely vytvářejí při použití na správném povrchu mimořádně pevný mechanický spoj. Jsou odolné vůči UV záření a lze je použít i pod čarou ponoru.

Polyuretan je polymer, který se syntetizuje polyadící. Při této reakci dojde k přesmyku atomu vodíku z jednoho monomeru na monomer druhý (viz Obr. 19). Nevzniká vedlejší produkt. V případě polyuretanu jde o reakci diisokyanátů s alkoholy (polyoly). Isokyanáty obsahují isokyanátovou funkční skupinu $-N=C=O$. [38;39] Základem každého polyuretanu je uretanová skupina, která propojuje ostatní jednotky (viz Obr. 20).



Obrázek 19: Vznik polyuretanu polyadící reakcí mezi isokyanátem a alkoholem

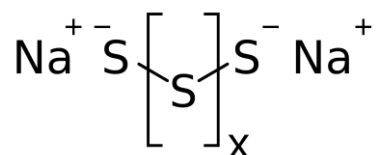


Obrázek 20: Urethanová skupina

5.1.4 Polysulfidové tmely

Polysulfid je syntetický kaučuk, který vytváří silnou kohezní vazbu a má vynikající odolnost vůči UV záření, chemikáliím (jako jsou např. paliva nebo oleje) a dobrou všeobecnou ochranu proti korozi. Polysulfid je také skvělým elektrickým izolantem a je odolný vůči vibracím, nárazům, rázům a teplotním změnám. Lze jej snadno natírat.

Polysulfidy se dělí na dvě základní skupiny – organické a anorganické. Anorganické polysulfidy obsahují anionty s obecným vzorcem S^{2-} , v tom případě jde o soli polysulfanových kyselin (viz Obr. 21). Organické polysulfidy mají obecný vzorec $\text{R}^1\text{S}_n\text{R}^2$, kde R je alkyl nebo aryl. Typickým příkladem polysulfidu může být např. polysulfid sodný. Jde o směs molekul o různém počtu atomů síry (disulfid, trisulfid, tetrasulfid). [40]



Obrázek 21: Polysulfid sodný

5.2 Nafukovací atrakce, paddleboardy, plavecké pomůcky

Naprosto okrajovým využitím těsnících tmelů může být jejich aplikace do vodních atrakcí, paddleboardů a nejrůznějších nafukovacích předmětů (kruhy, zvířata, lehátka atd.). Zde ovšem narážíme na zásadní problém, protože většina těchto předmětů nerotuje, nebo nemá možnost rozprostřít tmel rovnoměrně po celé vnitřní ploše. Tudíž dochází ke shromáždění tmelu gravitací na dně tohoto předmětu. V lepším případě není pouze tmel rozprostřen rovnoměrně. Řešení pro defekty paddleboardů má např. značka ZeroFlats (ZeroFlats, Španělsko), která se ve velkém zabývá právě bezdušovými tmely pro bicykly. Dost možná právě proto je tento tmel principiálně velice podobný těm, které jsou popsány v kapitole 4.1.

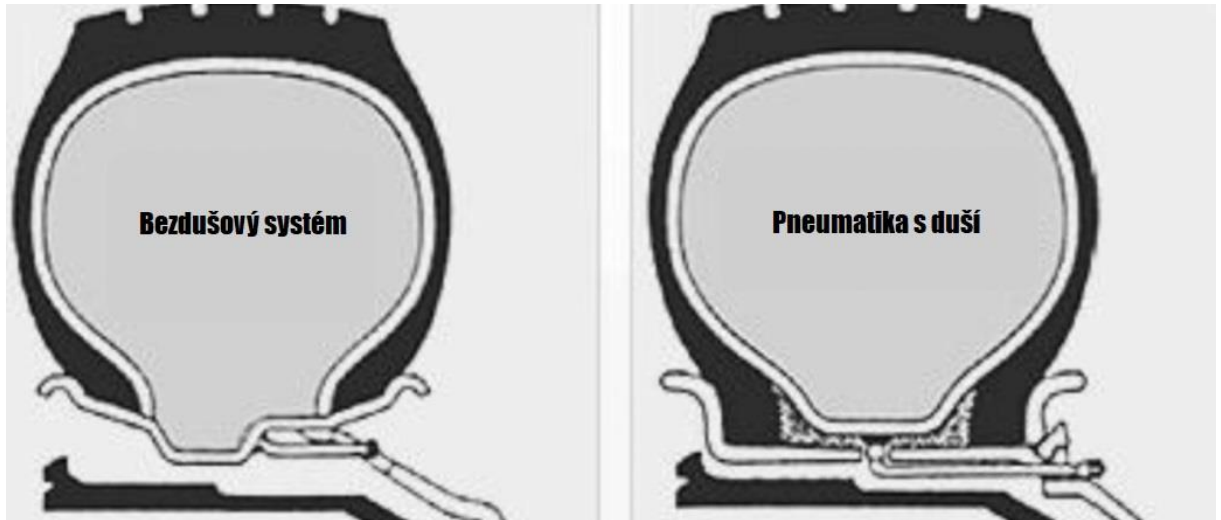
6 Bezdušové systémy na motorových vozidlech

6.1 Automobily

V automobilovém průmyslu se také pomalu přechází na bezdušové systémy. Podle dat z roku 2017 se již pouze 9 % nově prodaných automobilů prodává s běžným, plnohodnotným kolem. Zbytek patří rozličným částečným řešením. A nezanedbatelná část (zhruba 15 %) z nich jsou i právě opravné sady na bezdušové systémy, které dovolí dokončit cestu, nebo alespoň dojet k nejbližší servisní pomoci.

Opět, obdobně jako u bicyklu, je bezdušový systém od klasického značně odlišný (viz Obr. 22). Bezdušový systém (na obrázku vlevo) funguje tak, že patky pláště a patky ráfku kola do sebe pevně zapadnou a vytvoří tak vzduchotěsný systém, který nedovolí únik vzduchu. Tlak uvnitř pneumatiky navíc tlačí zevnitř na patky ráfku, čímž dále zvyšuje těsnost a bezpečné usazení. Zesílená a upravená konstrukce bezdušového pláště navíc simuluje použití duše, jelikož v teoretické rovině nedovoluje únik vzduchu. V praktickém využití je to ovšem složitější. Butylkaučukové vrstvy pláště jsou náchylné k mikroskopickým

trhlinám, pórům a nedokonalostem, které by mohly zapříčinit pomalou ztrátu tlaku. V takovém případě je opět vhodné použít bezdušový těsnicí tmel jakožto prevenci tohoto úniku. Stále častěji se však v automobilovém průmyslu spoléhá na dokonalou těsnost těchto pneumatik a bezdušové tmely a opravné sady přichází na scénu až jako řešení problému, ne jako prevence. [41]



Obrázek 22: Srovnání klasické pneumatiky a bezdušového systému u automobilu [42]

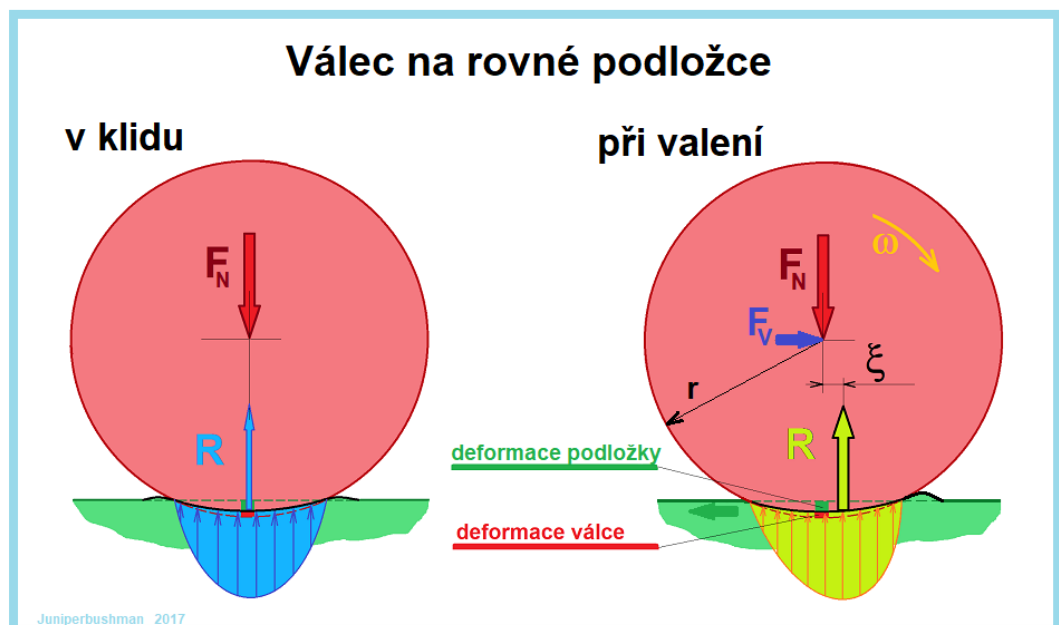
6.1.1 Výhody bezdušového systému u automobilů

Jak již bylo několikrát zmíněno, bezdušové systémy mají výraznou výhodu ve své odolnosti. Úzce s tím však souvisí i bezpečnost. V případě defektu duše může dojít rychlým únikem vzduchu skrz malý otvor k rychlému zvětšení otvoru, případně k úplnému roztržení. To pochopitelně zapříčiní okamžitou a totální ztrátu tlaku, což při mimořádně vysokých rychlostech může vést ke kompletní ztrátě kontroly nad vozidlem.

V případě bezdušového systému nedochází při drobném průrazu pneumatiky k dalšímu zvětšení otvoru nebo šíření trhliny. Ochranná i těsnicí vrstva pneumatiky jsou k sobě pevně spojeny a tím je zajištěna výrazně vyšší odolnost. Ztráta tlaku je tedy výrazně pomalejší, čímž se stává kontrolovatelnější a předvídatelnější.

Další výhodou bezdušového systému je nižší váha. Ta se (zejména na rotujících součástech vozidla) výrazně podepíše na ekonomice vozidla nižší spotřebou. Nižší spotřeba je také ovlivněna nižším valivým odporem, který je bezdušovému systému vlastní. Nižší valivý odpor je velice důležitou vlastností hned z několika důvodů. Energie vytvořená motorem je přenesena na kola. Ta se roztočí a vytvoří dostatečnou hybnost, aby se vůz pohyboval

vpřed. Aby se tento úkon uskutečnil, musí vozidlo překonat několik faktorů, které mohou bránit pohybu vpřed. Jedním z těchto faktorů je valivý odpor pneumatik (viz Obr. 23). Zjednodušeně lze říci, že valivý odpor je úsilí, které je nutné vynaložit na to, aby se pneumatiky odvalovaly. Jedná se o energii, kterou musí pohon přenášet do pneumatik, aby se vozidlo udrželo v pohybu konstantní rychlostí. Nižší valivý odpor tedy znamená nižší nároky na pohonné ústrojí a tím pádem na spotřebu paliva. Pneumatiky při otáčení na povrchu mění svůj tvar. Část pneumatiky, která je v kontaktu s povrchem, se deformuje a poté se vrací zpět do klidového stavu. Energie potřebná k deformaci pneumatiky je větší než energie potřebná k návratu do původního tvaru. Tento jev se nazývá hystereze a je hlavním faktorem valivého odporu. Jde vlastně o míru zploštění pneumatiky při kontaktu s podkladem. [43]



Obrázek 23: Obrázek naznačující hysterezi [44]

Jedná se v podstatě o ztrátu energie, ke které dochází při odvalování pneumatiky po povrchu. Tato energie se rozptyluje ve formě tepla. Motor vozidla musí tuto ztrátu energie překonávat, což vede k plýtvání palivem. [43] Vzhledem ke svojí konstrukci a absenci další vrstvy uvnitř systému (duše) také nedochází ke tření těchto vrstev o sebe, které by způsobily další nadbytečnou deformaci a ztrátu v podobě tepla.

Valivý odpor lze vypočítat pomocí rovnice:

$$F_t = \xi \cdot F_n/R \quad (2)$$

Kde F_t je valivý odpor, ξ je rameno valivého odporu (součinitel valivého tření), F_n je kolmá tlaková síla mezi tělesy a R je poloměr průřezu valeného tělesa.

6.1.2 Druhy tmelů pro bezdušové systémy na automobilech

Na rozdíl od tmelů využívaných v cyklistice se zde nehledí na složení a princip, ale spíš na druh aplikace. Takové dělení je pak na dva základní druhy – aerosol a gel.

Aerosolové tmely jsou výrobky na jedno použití, které umožňují ujet s prasklou pneumatikou omezenou vzdálenost. Jak název napovídá, jsou mnohem lehčí na aplikaci. Dodávají se v lahvičce s rozprašovačem, což umožňuje jednoduchou aplikaci. Propíchnutá Pneumatika se po nastříkání přípravku do ventilku nafoukne. Směs pokryje vnitřek pneumatiky, čímž zabrání únikům a díram tak jako běžný tmel.

Hustý gelový tmel je druhým typem tmelu pro propíchnutou pneumatiku. Protože gelový tmel na pneumatiky se nanáší obtížněji než aerosol, může být jeho použití obtížnější. K použití gelového tmelu je také obvykle potřeba větší vybavení. V obou případech se však většinou jedná pouze o dočasné nouzové řešení, které dovolí dokončení cesty. U automobilů nelze na rozdíl od bicyklů ani drobné defekty opravené tmelem považovat za bezpečné. Profesionální oprava, nebo kompletní výměna pneumatiky je na místě.

6.2 Motocykly

Využití bezdušového systému na motocyklech je zásadním způsobem ovlivněno zamýšleným využitím a okolnostmi. Pro některá využití nese jasné výhody, pro jiné odvětví spojených s motocykly je naopak tento systém nevhodný. Princip je stále stejný jako u bicyklu a automobilu. Bezdušové tmely se opět diametrálně liší u každého výrobce. U motocyklu ovšem opět převažuje zejména dvojice latexových a bezlatexových tmelů, které nesou částice fyzicky blokující vzniklý otvor.

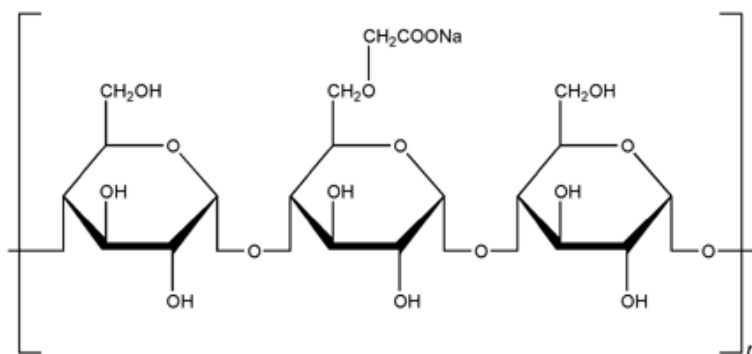
7 Složení bezdušových tmelů

Vzhledem k tomu, že se jedná o komerčně velice kompetitivní prostředí, je většina konkrétních receptur a složení tmelů výrobci úzkostlivě střežena. I přesto lze z veřejných patentů dohledat řadu informací, avšak většinou bez spojení s konkrétním produktem či názvem.

7.1 Patent EP1270188A1 [45]

Patent z roku 2001 podaný společností SUPERSEAL International Ltd. popisuje postup přípravy bezdušového tmelu, který zajistí rovnoměrné rozprostření tmelu na vnitřním povrchu pneumatiky. Složení se v tomto případě skládá z adheziva, které obsahuje polyvinylacetát (PVA), částic fyzicky blokujících vzniklý otvor (v tomto případě povrchově aktivovaných pryžových částic), vody a disperzního činidla, kterým je elektrostaticky nabitá látka. Disperzní činidlo je klíčovou složkou zajišťující rovnoměrné rozprostření tmelu na vnitřním povrchu pneumatiky.

Pokud není rozprostření tmelu rovnoměrné, dochází ke špatnému řešení defektu v místě, kde není dostatek tmelu nebo výplňových částic, které nosičem samovolně migrovaly jinam. Disperzní činidla by tedy v tomto případě měla pomoci. Z patentu vyplývá, že se jedná o tmel na vodné bázi s příměsí PVA. Unikající vzduch s sebou otvorem nese i tmel, z kterého se začne odpařovat voda, čímž vytvoří prvotní těsnicí film. Použitým adhezivem je pak solvitóza (Solvitose®, Avebe, Nizozemsko) ve formě vloček, která je před použitím smíchána s vodou. Solvitóza je z chemického hlediska škrob ve formě glykolátu sodného (viz Obr. 24). [46] Na 5 litrů adheziva je přidán 1 litr PVA. Fyzikálně blokujícími částicemi je v tomto případě jakýkoliv kaučukový, pryžový nebo plastový materiál.



Obrázek 24: Solvitóza

Nejlépe funkční varianta vynálezu obsahuje kombinaci pryže a plastu. Dle autora lze použít jakýkoli vhodný plastový materiál, jehož základem je nylon nebo polystyren a může být o něco tužší než pryžový materiál. Plastový materiál může být ve formě kuliček. Ideálně je však alespoň 50 % blokačních částic tvořeno pryžovým materiálem. V ideálním případě blokační prostředek obsahuje 70 až 80 % pryžového materiálu. Pryžové blokační částice mohou být tvořeny pryžovou drtí (vlákna a prach). Pryžový materiál použitý pro blokaci lze vhodně získat z recyklovaných pneumatik. Gumová drť může být povrchově aktivována kontaktem s manganistanem draselným a peroxidem vodíku. Tím se leptá povrch pryže a zvyšují se její "lepivé" vlastnosti. Pokud dojde k propíchnutí pneumatiky, pryžový materiál se přenesse do propíchnutého otvoru a tlakem uvnitř pneumatiky se vytlačí směrem ven, aby vyplnil otvor, ve kterém se tmel usadí a účinně vytvoří zátku utěsňující propíchnutí.

Složení dále obsahuje konzervační prostředek pryže, v tomto případě uhličitan vápenatý (CaCO_3). Tmel dále obsahuje inhibitor koroze, kterým je křemičitan sodný (Na_2SiO_3), ethylenglykol jakožto prostředek proti zamrznutí a vodnou bázi. Zejména zajímavý je vliv disperzního činidla na chování a funkčnost tmelu. Disperzní činidlo je dle patentu roztok high density polyethylenu (HDPE) v práškové podobě ve vodě. Ten díky vnitřnímu tření způsobenému pohybem tmelu v pneumatice způsobuje vznik kladně nabitých iontů, které poté zajistí rovnoměrné rozptřeni tmelu.

Vynález představuje různá provedení, kterými lze tmel připravit (viz Obr. 25–27).

Složka	hmotn. %
Fyzicky blokující částice (pryžové částice)	6
Fyzicky blokující částice (nylonové částice)	2
Adhezivum (včetně PVA)	12
Ethylenglykol	30
Disperzní činidlo	1
Inhibitor koroze (křemičitan sodný)	0,5
Konzervant pryže (uhličitan vápenatý)	0,5
Voda	48

Obrázek 25: První varianta poměru komponent v tmelu [45]

Složka	hmotn. %
Fyzicky blokující částice (pryžové částice)	4
Fyzicky blokující částice (nylonové částice)	4
Adhezivum (včetně PVA)	12
Ethylenglykol	30
Disperzní činidlo	1
Inhibitor koroze (křemičitan sodný)	0,5
Konzervant pryže (uhličitan vápenatý)	0,5
Voda	48

Obrázek 26: Druhá varianta poměru komponent v tmelu [45]

Složka	hmotn. %
Fyzicky blokující částice (pryžové částice)	8
Adhezivum (včetně PVA)	12
Ethylenglykol	30
Disperzní činidlo	1
Inhibitor koroze (křemičitan sodný)	0,5
Konzervant pryže (uhličitan vápenatý)	0,5
Voda	48

Obrázek 27: Třetí varianta poměru komponent v tmelu [45]

7.2 Patent US6013697A [32]

Druhý dostupný patent byl přihlášen společností Glaser-True Bike Route Ltd. v roce 1996, zmíněný již v kapitole 4.2. V tomto případě se výrazně víc dbá na ekologičnost a odbouratelnost tmelu při zachování excelentních těsnících vlastností. I složení je značně odlišné než v předchozím případě. Vynález využívá hydratovaný jííl, minerální vločky

a polyol mísitelný s vodou. Jako zásadní nedostatek patent uvádí, že je pro správnou funkčnost směsi udržovat její homogenitu. Když dojde v klidu k usazení, není směs funkční. Pro nejlepší výsledky by měl být využit polyol s délkou uhlíkového řetězce mezi 2 a 7 atomy uhlíku. Ideálním polyolem je propylenglykol. Ethylenglykol se je také možné využít. Problém však nastává v kolizi s ekologičností produktu vzhledem k jeho toxicitě. Dle patentu je ideální využít slídové vločky o průměru přibližně 1 mm. Hydratovaný jíl je nejvýhodnější vytvořit využitím suchého bentonitového prášku (hornina vznikající zvětráváním mateční horniny z čediče) – ideálně pokud obsahuje většinový podíl montmorillonitu $((\text{Na,Ca})_{0.33}(\text{Al,Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$.

7.3 Patent WO2016115560A1 [47]

Jedním z novějších příkladů je patent z roku 2016 podaný společností Illinois Tool Works Inc. Zabývá se tzv. „high performance“ tmelem. Tedy je jasné, že v tomto případě se dbá zejména na maximální funkčnost tmelu.

Konkrétní složení tmelu v tomto patentu by pak mělo být následovné: základ tvoří přírodní latex bez koalescenčních činidel, extrémně jemné anorganické částice (velikost částic kolem 150 nm), činidlo zamezující usazování a nemrzoucí činidlo.

Velikost částic latexu je kontrolována vhodným sítem. Využity jsou pouze částice do velikosti zhruba 400 μm . To zajišťuje jejich následný bezproblémový průchod ventilkem bez nebezpečí jeho zanesení a ucpání. Vynález zmiňuje konkrétní latex s vysokým obsahem amoniaku, který se ukázal jako vhodný na využití. Jde o latex prodávaný společností Centro trade Rubber, Inc (Centro Trade Rubber, USA) pod názvem CENTEX HF. Udává, že tento latex obsahuje 59–61 hmotn. % sušiny. Obsah amoniaku je zhruba 0,07 hmotn. %. Anorganické částice by pak dle patentu měly mít maximálně 150 nm, ideálně 50–60 nm. Jako vhodné anorganické látky jsou představeny uhličitan vápenatý, uhličitan barnatý, oxid křemičitý, oxid titaničitý, oxid hlinitý, nebo síran vápenatý. Anorganické částice by pak v tmelu měly tvořit 0,25–10 hmotn. %, dle použitého materiálu.

Jako látka proti usazování je zde uveden DISPARLON® AQH-800, dostupný u společnosti King Industries (USA), což je suspenze polyamidu v rozpouštědle, které tvoří voda a propylenglykolmethylether. Tohoto činidla by měl tmel obsahovat ideálně 0,2–1,2 hmotn. %. Jako činidlo proti zamrznání je obvykle použit etylenglykol nebo propylenglykol. Škála množství obsaženého činidla je velice široká. Odvíjí se od zamýšlených podmínek využití, ceny a ostatních vlastností.

7.4 Patent FR9415276A [48]

Dalším z patentů, který se výrazně liší svým složením, je FR9415276A Joela Daffose z roku 1995. Výraznou změnou je zde množství nemrznoucího prostředku. Vynález řeší nedostatečné vlastnosti konkurence v oblastech extrémních teplot (konkrétně $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$), kterým mohou být pneumatiky a tmel v nich přítomný v určitých případech vystaveny. Zároveň se pochopitelně snaží zachovat všechny ostatní potřebné vlastnosti. Zejména tedy dokonalou a rychlou opravu defektu. Složení tmelu je dle vynálezu ideálně 50–60 hmotn. % demineralizované vody, 3–5 hmotn. % těsnících částic, 1–1,5 hmotn. % koloidního filmotvorného činidla, 0,1–0,5 hmotn. % zahušťovadla, 1–5 hmotn. % organického rozpouštědla a 30–40 hmotn. % nemrznoucího prostředku. Obdobně jako u předchozích patentů tvoří fyzikálně těsnící částice směs pryžové a celulózové drti o velikosti částic mezi 0,05 a 0,8 mm. Největší částice mají v tomto případě sloužit pro zacelení nadstandardně velkých defektů až do průměru 8 mm. Organickým rozpouštědlem je v tomto případě směs toluenu, xylenu a terpenů. Dle patentu jsou ve směsi přítomna také aditiva – cca 0,1 hmotn. % inhibitoru koroze, 0,5–2 hmotn. % katalyzátoru a 0,1–0,5 hmotn. % biocidu.

Druhá část patentu obsahuje i konkrétní postupy a informace pro průmyslovou výrobu daného tmelu. Taková průmyslová výroba tmelu trvá dle patentu víc než 3 dny. Do 200 litrové rotační nádoby (Röhnovo kolo) uzpůsobené pro míchání (opatřené pH metrem, vahou a kompresorem) je vneseno 18,5 kg pryžových těsnících částic v podobě drti. K nim je přidáno 3 kg směsi terpenů a 15,7 kg toluenu nebo xylenu (organických rozpouštědel). Tato směs se nechá míchat 1–2 h. Tato směs se nechá do druhého dne v uzavřené nádobě. Stále uzavřená nádoba se druhý den opět třikrát zapne kvůli promíchání na 1–2 h. Obdobný postup se opakuje i třetí den. Čtvrtý den se do Buchiho reaktoru vnese 33 kg destilované vody o teplotě $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při rychlosti míchání 300 ot/min je přidáno 0,36 kg hydroxidu sodného a 3,5 kg dusitanu sodného. Takto je reakční směs ponechána k míchání po dobu 10 min. pH je hlídáno a upraveno dle potřeby. V této fázi by se mělo pohybovat kolem hodnot 10–11. Upraveno by mělo být na 7 pomocí kyseliny chlorovodíkové. Část úpravy pH trvá přibližně 1 h.

V reaktoru, jehož plášť je připojen k ohřevu, je přítomno 135 kg demineralizované vody. Ta je míchána a ohřívána na cca $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poté je po dobu pěti minut přimícháváno 3,8 kg xanthanu (zahušťovadla). V míchání se pokračuje až do úplné homogenizace při 120 ot/min

a teplotě 60–70 °C. Současně s touto operací se začne připravovat druhý reaktor. Do něj je vneseno 200 kg demineralizované vody a 14 kg filmotvorného činidla (křemičitan hořečnatohlinitý). V průběhu jedné hodiny homogenizace v reaktoru s xanthanem a v reaktoru s činidlem je připravena nerezová nádoba s 290 kg demineralizované vody. Do ní je za pomoci kompresoru přenesen obsah Buchiho reaktoru. K němu je poté přidáno 1,75 kg baktericidu Parmetolu (chloromethyl-/methylisothiazolon). K této směsi je přidáno 440 kg ethylenglykolu (nemrznoucí složka). Dále je přidáno 40 kg celulózy (těsnicí částice). Směs je míchána do doby, než vznikne homogenní produkt o teplotě 23 °C. Ihned potom jsou rychle přidány zbylé terpeny (4,4 kg). Obsah reaktoru s xanthanem je ochlazen a udržován pod inertním plynem. Poté převeden do ocelové nádoby. To samé je provedeno s reaktorem s koloidním filmotvorným činidlem. Pátý den je přidán obsah nádoby s několikrát promíchanou směsí pryže a rozpouštědla. Teoreticky by při dokonalém provedení mělo při takovémto postupu vzniknout 1182,4 kg produktu (viz Obr. 28). [48]

Složka	Hmotnost (kg)
Pryžová drť	18,5
Směs terpenů	7,4
Voda	658
Hydroxid sodný	0,36
Dusitan sodný	3,5
Kyselina chlorovodíková	Dle potřeby
Xanthan	3,8
Koloidní filmotvorné činidlo	14
Parmetol	1,75
Ethylenglykol	440
Celulózová drť	40

Obrázek 28: Tabulka složek pro průmyslovou výrobu bezdušového tmelu dle patentu [48]

7.5 Patent WO1996005048A1 [49]

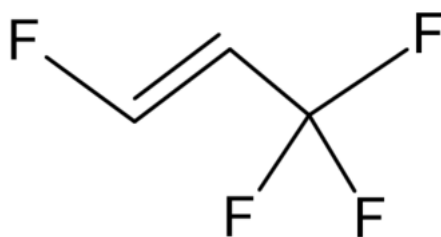
U patentu WO1996005048A1 z roku 1995 je zajímavé zejména testování jeho účinnosti. Tmel byl v tomto případě aplikován do pneumatiky pro osobní automobil, do které bylo vytvořeno 10 testovacích mechanických průrazů. Pneumatika byla po zacelení defektu tmelem znova dofouknuta a na testovacím zařízení podrobena zkoušce, která je ekvivalentem jízdy 100 km/h po dobu 48 h. Při tomto testu nedošlo k žádnému výraznému poklesu tlaku. Vynález opět ukazuje několik možných variant složení. Konkrétně tomuto testu byla podrobena varianta, která se skládá z 1 hmotn. % těsnicích částic (směs rostlinného vlákna,

viskóзовého vlákna a diatomitové zeminy), 6 hmotn. % hexylenglykolu, 0,3 hmotn. % surfaktantu (pod komerčním názvem Teric LA8), 1 hmotn. % 60% vodného roztoku latexu, 0,2 hmotn. % stabilizátoru latexu (0,06 hmotn. % amoniaku, 0,06 hmotn. % xanthanové gumy a 0,08 hmotn. % MgAlSiO_2), 20 hmotn. % ethanolu, 0,12 hmotn. % benzoátu sodného a 0,03 hmotn. % lecithinu. Zbytek hmotnosti je do 100% doplněn vodou. Tato směs je dle patentu před testováním zhruba po dobu 30 s protřepána. V případě nutnosti je otestována viskozita na Brookfieldově viskozimetru.

7.6 Patent US9862156B2 [50]

Patent z roku 2016 podaný společností Illinois Tool Works Inc. je zajímavý zejména v tom, že se zabývá funkčností latexového bezdušového tmelu s ohledem na jeho aplikaci v podobě aerosolu. Jak již bylo naznačeno v první části této práce, bezdušový tmel je možné aplikovat také jako sprej z tlakové nádoby. To s sebou nese hned několik faktorů, které je nutné zvážit. Jednak dostatečně nízkou viskozitu, která dovolí dostatečně rychlý prostup tmelu ventilkem. Při nevhodných vlastnostech (moc vysoká viskozita, příliš rychlá reakce na vzduchu) by došlo k zablokování ventilku a znemožnění aplikace dostatečného množství tmelu do systému. Za druhé je také nutné zajistit, aby spolu tmel a hnací plyn nereagovaly a obsah nádoby se tak neznehodnotil ještě před zamýšlenou aplikací při skladování.

Patent uvádí, že obsah tlakové nádoby by měl být ideálně 72 hmotn. % samotného tmelu a 28 hmotn. % 1,3,3,3-tetrafluoropropenu (komerčně dostupný jako HFO-1234ze) (viz Obr. 29).



Obrázek 29: 1,3,3,3 - tetrafluorpropen

Složení samotného tmelu se potom výrazně neliší od předchozích vynálezů. Spoléhá zejména na kombinaci přírodního a syntetického latexu (viz Obr. 30). Patent uvádí i konkrétní komerční produkty jako složky technického řešení. Přírodní latex CENTEX (Inpol S.A.,

Španělsko) je dle webu výrobce (<https://inpolsa.com/rubber-and-latex?lang=en>) homogenizovaný latex s vysokým obsahem amoniaku, který má zajistit nižší obsah mikrokoagulátu a vyšší uniformitu částic. Syntetický latex byl zvolen styren-butadienového typu. Emulgátor je v tomto případě EMULSOGEN® EPN 118 (Clariant, Švýcarsko). Výrobce uvádí, že jde o neionogenní emulgátor používaný na nejrůznější druhy polymerací. Měl by redukovat koagulaci, snižovat viskozitu, vylepšovat stabilitu a prodlužovat životnost pro skladování. Tedy vše, co bylo v úvodu uvedeno jako záměr vynálezu. [50;51]

Složka	hmotn. %
Glycerin	5
Deionizovaná voda	65
Přírodní latex (CENTEX® HF)	17
Syntetický latex (Styren - butadienový latex)	12,5
Emulgátor (EMULSOGEN® EPN 118)	0,5

Obrázek 30: Složení tmelu pro aplikaci v podobě aerosolu [50]

7.7 Patent US5338776A [52]

Patent podaný v roce 1993 společností Aerosol Systems Inc. je zvláštní v tom, že volí pro zacelení defektu kombinaci akrylové pryskyřice AC209-13 prodávané pod názvem Doresco® (Dock Resin Corporation, USA). Tato pryskyřice je polymer vyrobený výhradně z akrylových a methakrylových monomerů. Vykazuje vysokou tepelnou stabilitu, čímž si zachovává svou integritu i při vysokých provozních teplotách, a dále má nízkou teplotu skleného přechodu, takže nekřehne při nízkých provozních teplotách. Přesněji řečeno, AC209-13 je kopolymer obsahující alkylester kyseliny akrylové a alkylester kyseliny methakrylové. Tato pryskyřice, tak jak je dodávána, se rozpouští ve vhodném rozpouštědle, jako je perchlorethylen, ačkoli přicházejí v úvahu i jiná rozpouštědla – nejlépe nehořlavá, včetně 1,1,1-trichlorethanu. [53] Výsledná funkčnost tmelu v závislosti na volbě rozpouštědla je dle údajů uvedených v patentu dost podobná. Patent uvádí několik možných kombinací rozpouštědel (viz Obr. 31–35). Všechny navržené tmely byly testovány pro průraz pneumatiky hřebíkem o průměru několika mm. Všechny varianty defekt zacelily, lišila se pouze doba nutná pro úplné zastavení úniku vzduchu. Tmel byl ve všech případech zkombinován s chlordifluormethanem, jakožto hnacím plynem, a aplikován v podobě aerosolu. [52;54]

Varianta 1	
Složka	hmotn. %
Akrylová pryskyřice Doresco®	21,2
Perchlorethylenové rozpouštědlo	65,8
Dichlorfluorethan	13

Obrázek 31: Složení bezdušového tmelu - varianta 1 [52]

Varianta 2	
Složka	hmotn. %
Akrylová pryskyřice Doresco®	26
Perchlorethylenové rozpouštědlo	74

Obrázek 32: Složení bezdušového tmelu - varianta 2 [52]

Varianta 3	
Složka	hmotn. %
Akrylová pryskyřice Doresco®	21,4
Perchlorethylenové rozpouštědlo	60,6
Dichlorfluorethan	13
Aceton	5

Obrázek 33: Složení bezdušového tmelu - varianta 3 [52]

Varianta 4	
Složka	hmotn. %
Akrylová pryskyřice Doresco®	32
Perchlorethylenové rozpouštědlo	55
Dichlorfluorethan	13

Obrázek 34: Složení bezdušového tmelu - varianta 4 [52]

Varianta 5	
Složka	hmotn. %
Akrylová pryskyřice Doresco®	31,7
1,1,1 - trichlorethylen	56,4
Dichlorfluorethan	11,9

Obrázek 35: Složení bezdušového tmelu - varianta 5 [52]

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problematikou polymerních bezdušových tmelů. Nejprve stručně pojednává o historii vývoje pneumatik pro nejrůznější dopravní prostředky. Také je zmíněno fungování jednotlivých druhů pneumatik a jejich systémů, které jsou demonstrovány na bicyklech. Největší důraz je kladen na popis, funkci a úlohu bezdušových tmelů, které jsou zásadní pro správné fungování tzv. bezdušového systému, jehož vysvětlení, komponentám a principu je věnováno několik kapitol. V práci jsou důkladně popsány a systematicky rozděleny všechny zásadní druhy a typy bezdušových tmelů – ať už podle chemického složení nebo oblasti použití. Významnou částí je také patentová rešerše, která se zabývá složením konkrétních komerčních produktů, principem jejich funkce, způsobem aplikace a oblastmi použití. Rešerše představuje několik patentů, na kterých je demonstrována různorodost a široká paleta možných technických a chemických realizací bezdušového tmelu. Bylo zjištěno, že princip fungování všech komerčních bezdušových tmelů je obdobný. Komponenty, které tyto produkty obsahují, se ale diametrálně liší.

Trend bezdušových tmelů se však nehledě na jejich konkrétní chemické a technické provedení ubírá jedním zásadním směrem – čím dál větší ekologickou šetrností. Výrobci se snaží víc adresovat konkrétně tento problém a volí proto environmentálně neškodné a přírodní složení, nebo alespoň méně závadné ekvivalenty osvědčených složek tmelů. Jde však o obtížný úkol, protože zkombinovat ideální funkčnost, spolehlivost a zároveň ekologickou nezávadnost je nesmírně obtížný úkol. Zdá se však, že výrobci jsou na dobré cestě tento problém vyřešit.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Gent, A. N., & Walter, J. D. (2006). *Pneumatic tire*.
- [2] Dunlop first pneumatic bicycle tyre.JPG – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Soubor:Dunlop_first_pneumatic_bicycle_tyre.JPG
- [3] MICHELIN [online]. Dostupné z: <https://www.michelin.com/en/innovation/vision-concept/airless/>
- [4] Espacenet – search results. *Espacenet – patent search* [online]. Dostupné z: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/010371365/publication/GB329955A?q=pn%3DGB329955>
- [5] Herzegh F. Pneumatic tire. Patent US2587470A Feb 2, 1952.
- [6] Flory, P. J. (1946). Effects of molecular structure on physical properties of butyl rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 19(3), 552-598.
- [7] Tubeless Tires | Guide to Using Tubeless Bike Tires. *Bicycling* [online]. Copyright ©2022 Hearst Magazine Media, Inc. All Rights Reserved. [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.bicycling.com/skills-tips/a27628336/tubeless-tires-guide/>
- [8] Manders, P. W., & Bader, M. G. (1981). The strength of hybrid glass/carbon fibre composites. *Journal of Materials Science*, 16(8), 2246-2256.
- [9] Blackley, D. C. (2012). *V knize: Synthetic Rubbers: Their Chemistry and Technology: Their chemistry and technology*. Springer Science & Business Media.
- [10] Muslumova, S., Yetiskin, B., & Okay, O. (2019). Highly stretchable and rapid self-recoverable cryogels based on butyl rubber as reusable sorbent. *Gels*, 5(1), 1.
- [11] Ke, Y. C., Yao, X. F., Yang, H., & Ma, Y. J. (2017). Gas leakage prediction of contact interface in fabric rubber seal based on a rectangle channel model. *Tribology Transactions*, 60(1), 146-153.
- [12] De Masi, A., Merola, I., & Presutti, E. (2021). Reservoirs, Fick law, and the Darken effect. *Journal of Mathematical Physics*, 62(7), 073301.

- [13] Perrella, F. W., & Gaspari, A. A. (2002). Natural rubber latex protein reduction with an emphasis on enzyme treatment. *Methods*, 27(1), 77-86.
- [14] Kohjiya, S. (2015). V knize: *Natural rubber*. Smithers Rapra.
- [15] Marx, T., Froeba, G., Bäder, S., Villwock, J., & Georgieff, M. (1996). Diffusion of anaesthetic gases through different polymers. *Acta anaesthesiologica scandinavica*, 40(2), 275-281.
- [16] Lu, Q. W., & Macosko, C. W. (2004). Comparing the compatibility of various functionalized polypropylenes with thermoplastic polyurethane (TPU). *Polymer*, 45(6), 1981-1991.
- [17] Datta, J., & Kasprzyk, P. (2018). Thermoplastic polyurethanes derived from petrochemical or renewable resources: *A comprehensive review*. *Polymer Engineering & Science*, 58(S1), E14-E35.
- [18] Boubakri, A., Haddar, N., Elleuch, K., & Bienvenu, Y. (2010). Impact of aging conditions on mechanical properties of thermoplastic polyurethane. *Materials & Design*, 31(9), 4194-4201.
- [19] Which type of inner tube holds air the best? - CyclingTips. *Home - CyclingTips* [online]. Copyright © 2022 Outside Interactive, Inc Dostupné z: <https://cyclingtips.com/2021/07/which-type-of-inner-tube-holds-air-the-best/>
- [20] Lepidlo na galusky VITTORIA Mastik ONE 30g - Bikeclinic - cyklo *eshop Bikeclinic - kola Trek Praha - horská kola, silniční kola, servis* [online]. Copyright © Bikeclinic s.r.o., K Vrtilce 317 [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.bikeclinic.cz/catalog/lepidlo-na-galusky-vittoria-mastik-one-30g-3930987--lepidlo-na-galusky-vittoria-mastik-one-30g/>
- [21] Opravné knoty na defekty Black 20cm 3-5mm 50ks - Profigaraz.cz. *Profigaráž.cz - nářadí, lisy, příslušenství* [online]. Copyright © [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.profigaraz.cz/opravne-knoty-a-hribky/opravne-knoty-na-defekty-black-20cm-3-5mm-50ks/>
- [22] What's The Deal With Tire Plugs? - Mountain Bike Action Magazine. *Mountain Bike Action Magazine - Mountain Bike Action Magazine* [online]. Copyright © 2022 [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://mbaction.com/whats-the-deal-with-tire-plugs/>

- [23] Espresso Doppio Inflate and Repair Cartridge - Review - Pinkbike. *Mountain bike news, photos, videos and events - Pinkbike* [online]. Copyright © 2000 [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.pinkbike.com/news/espresso-doppio-inflate-and-repair-cartridge-review.html>
- [24] D'Auzac, J., Jacob, J. L., Prévôt, J. C., Clément, A., Gallois, R., Crestin, H., ... & Gohet, E. (1997). *The regulation of cis-polyisoprene production (natural rubber) from Hevea brasiliensis*.
- [25] Best tubeless sealant 2022 | 5 popular options put to the test - BikeRadar. *Bikes, Bike Reviews and Bike News - BikeRadar* [online]. Copyright © [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/which-tubeless-sealant-works-the-best/>
- [26] Do all tire sealants have ammonia in them? | Mountain Bike Reviews Forum. *Mountain Bike Reviews Forum* [online]. Copyright © 2010 [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.mtbr.com/threads/do-all-tire-sealants-have-ammonia-in-them.1084882/>
- [27] Rebsdatt, S., & Mayer, D. (2000). Ethylene glycol. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 495.
- [28] Silca launches its 'Ultimate Tubeless Sealant', powered by carbon fibre | *Cycling Weekly*. *Cycling Weekly | Cycling News, Bike Reviews and Buying Advice* [online]. Copyright © Future Publishing Limited Quay House, The Ambury, Bath BA1 1UA. All rights reserved. England and Wales company registration number 2008885. [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.cyclingweekly.com/products/silca-launches-its-ultimate-tubeless-sealant-powered-by-carbon-fibre>
- [29] Slime Sealant | *Slime.com* [online]. Dostupné z: <https://slime.com/>
- [30] *The Science Behind Slime* | Slime.com [online]. Dostupné z: <https://slime.com/pages/the-science-behind-slime-tire-sealant>
- [31] Segre, N., & Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and concrete research*, 30(9), 1421-1425.
- [32] C.G. True,; J.T. Glaser, Tire sealant composition. Patent US6013697A, Jan 11, 2000.
- [33] Finish Line Tmel: New Finish Line Tubeless Tire Sealant will never dry out* - Bikerumor. *Home Main - Bikerumor* [online]. Copyright © Copyright 2022 Bikerumor, All Rights Reserved [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/new-finish-line-tubeless-tire-sealant-will-never-dry-out/>

- [34] DuPont Kevlar vlastnosti - Adhesives, Sealants, & Coatings . *Home / DuPont* [online]. Copyright © 2020 DuPont. DuPont [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.dupont.com/fabrics-fibers-and-nonwovens/adhesives-sealants-coatings.html>
- [35] *Home Main - Bikerumor* [online]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/wp-content/uploads/2018/02/Finish-Line-Tubless-Sealant-dupont-kevlar-doesnt-dry-out-7.jpg>
- [36] EffetoMariposa Vegetalex [online]. Dostupné z: <https://www.effetomariposa.eu/products/vegetalex-bicycle-tyre-sealant>
- [37] Marine Sealants - All You Need To Know - Boat Renovation People. About Us - *Boat Renovation People* [online]. Copyright © 2022 Boat Renovation People [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: https://www.boat-renovation.com/marine-sealants/#Types_Of_Sealant
- [38] Das, A., & Mahanwar, P. (2020). A brief discussion on advances in polyurethane applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(3), 93-101.
- [39] Hepburn, C. (2012). *Polyurethane elastomers*. Springer Science & Business Media.
- [40] Rahman, R., Safe, S., & Taylor, A. (1970). The stereochemistry of polysulphides. *Quarterly Reviews, Chemical Society*, 24(2), 208-237.
- [41] Tubeless Tyres - Everything You Need To Know | Spinny Blog. *Spinny / Buy and Sell Used Cars with Guaranteed Love* [online]. Copyright © [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <https://www.spinny.com/blog/index.php/tubeless-tyres-everything-you-need-to-know/>
- [42] *ResearchGate / Find and share research* [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Section-view-of-tubeless-and-tube-type-tire-construction-and-mounting-on-wheel_fig10_283844286
- [43] Valivé tření (valivý odpor) a rameno valivého odporu | Fyzikální tabulky. *conVERTER - převody jednotek* [online]. Copyright © 2000 Jiří Bureš [cit. 23.06.2022]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [44] LaClair, T. J. (2006). Rolling resistance. *The pneumatic tire*, 475.
- [45] Lavery, J. Tyre puncture sealant composition. Patent EP1270188A1, Jan 02, 2003.
- [46] Gohel, M. C., Parikh, R. K., Brahmhatt, B. K., & Shah, A. R. (2007). Preparation and assessment of novel coprocessed superdisintegrant consisting of crospovidone and sodium starch glycolate: A technical note. *AAPS PharmSciTech*, 8(1), E63.

- [47] Spindler, M. P.; Sulemanji, S. N.; Klemm, H. F. F.; Haener, B. A.; Smith, B. D.; Chetosky, G. High performance sealant composition for tire repair. Patent WO2016115560A1, Jan 18, 2016.
- [47] Bove, K. E. (1966). Ethylene glycol toxicity. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(1), 46-50.
- [48] Daffos J. Pneumatic tyre puncture sealing compositions. Patent FR9415276A Dec 13, 1995.
- [49] Dowel T. Tyre puncture sealant compositions. Patent WO1996005048A1 Jul 14, 1995.
- [50] Sulemanji S. N. Enviromentaly friendly aerosolized latex tire sealant. Patent US9862156B2 Mar 3, 2016.
- [51] Emulsogen EPN 118 [online]. Dostupné z: <https://www.clariant.com/en/Solutions/Products/2013/12/09/18/26/Emulsogen-EPN-118>
- [52] Peelor P. L., Moran J., Flanner L. T. Tire sealer and inflator. Patent US5338776A Oct 11, 1993.
- [53] Crowley, R. C., Ford, C. B., & Stern, A. C. (1945). A Study of Perchloroethylene Degreasers. *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, 27(5), 140-44.
- [54] Hartop, P. J., & Adams, M. G. (1989). Simulated consumer exposure to propellant HCFC 22 (chlorodifluoromethane) in aerosol personal products. *International journal of cosmetic science*, 11(1), 27-34.