VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

WEAR ON TIRES FOR PASSENGER CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE LADISLAV JURNEČKA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. EVA NOVOTNÁ, Ph.D.,Paed IGIP
SUPERVISOR

BRNO 2012

ABSTRAKT
Cílem této bakalářské práce je popsat konstrukce pneumatik a způsoby opotřebení pneumatik u osobních automobilů. Její součástí je také úvaha o možnostech následného zpracování a využití materiálu pneumatik.

Klíčová slova: pneumatika, opotřebení pneumatik, plášť pneumatiky, kaučukové směsi, recyklace pneumatik

ABSTRACT
The intention of this bachelor´s thesis is describing of the construction and tire wear for passenger cars. The part of this thesis includes consideration of the possibilities of subsequent processing and use of this material.

Key words: tire, tire wear, tire casing, India rubber compounds, tire recycling

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci Opotřebení pneumatik osobních vozů jsem vypracoval a napsal samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. EVY NOVOTNÉ, Ph.D.,Paed IGIP a uvedl všechny zdroje.

Ladislav Jurnečka V Brně dne 11. dubna 2012

PODĚKOVÁNÍ
Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. EVĚ NOVOTNÉ, Ph.D.,Paed IGIP. za poskytnuté rady a připomínky k této práci. Také děkuji svým rodičům za poskytnuté technické i finanční zázemí.

OBSAH

ÚVOD 9
1 PNEUMATIKA 10
1.1 Postupný vývoj pneumatiky 10
1.2 Definice pneumatiky 12
1.3 Definnování součástí pneumatiky 13
1.4 Rozdělení a konstrukce pneumatik 14
1.4.1 Typy plášťů pneumatiky 14
1.4.2 Strukturní prvky pneumatiky 16
1.4.3 Požadavky na funkci pneumatiky 18
1.4.4 Základní rozměry pneumatiky 19
1.4.5 Tvary dezénu 20
1.4.6 Značení pneumatik 22
1.5 Technologie výroby pneumatiky 23
1.5.1 Materiálové složení 23
1.5.2 Druhy kaučuků 24
1.5.3 Přísady do kaučukových směsí 25
1.5.4 Požadavky na směs 26
1.5.5 Výrobní postup 26
2 OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK 30
2.1 Typy opotřebení pneumatik 30
2.1.1 Jednostranné opotřebení 30
2.1.2 Středové opotřebení 32
2.1.3 Diagonální opotřebení běhounu (místní) 32
2.1.4 Pilovité opotřebení běhounu 33
2.1.5 Opotřebení způsobené blokováním kola (místní) 34
2.1.6 Opotřebení pneumatiky vlivem huštění 35
2.1.7 Opotřebení na podhuštěných pneumatikách 35
2.1.8 Snížení hustícího tlaku během jízdy 36
2.1.9 Poškození vnějším vlivem 36
2.1.10 Narušení patkového lana 37
2.1.11 Poškození vzniklé při montáži 38
2.2 Zvýšení životnosti pneumatiky 38
3 ZPRACOVÁNÍ OPOTŘBENÝCH PNEUMATIK 41
3.1 Protektorování 41
3.2 Úprava materiálu pro jiné využití 42
4 ZÁVĚR 45
5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 46
6 SEZNAM OBRÁZKŮ 47
7 SEZNAM TABULEK 48

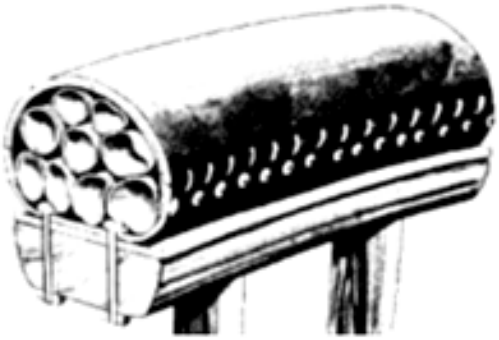
ÚVOD

Pneumatika je v dnešní době jeden z hlavních prvků v oblasti tlumení u automobilů. S rozvojem automobilového průmyslu, kdy se zvyšuje požadovaná rychlost a roste důraz na bezpečnost, je zapotřebí pečlivá a kvalitní konstrukce pneumatiky. V současnosti zatím nelze vytvořit takovou pneumatiku, která by se po čase neopotřebovala. V provozu se pneumatika vlivem mnoha činitelů opotřebovává a proto kromě jiných problémů je potřeba vyřešit i nakládání s poškozenými pneumatikami či jejich konečnou likvidaci

1 PNEUMATIKA

1.1 Postupný vývoj pneumatik

Kolo bylo vynalezeno před 5000 lety pravděpodobně Sumery a během dalších tisíců let bylo postupně vylepšováno. K nejdůležitějším změnám ve vývoji došlo v první polovině 19. století, kdy roku 1839 Charles Goodyear objevil způsob vulkanizace kaučuku [2]. O šest let později byl v Anglii udělen patent Robertu Williamu Thomsonovi na vzduchovou hadici omotanou kolem obruče (obr. 1 [23]), předchůdce moderní pneumatiky. Kolem roku 1867 se objevily plné pryžové obruče, které vytvořil Francouz Amédée Bollée [2].



Obr. 1 Vzduchová hadice R. W. Thomsona [23]

Pneumatiku podruhé vynalezl John Boyd Dunlop, který 23. června 1888 získal patent na výrobu pneumatik plněných vzduchem. Navzdory své náchylnosti k defektům byly rané pneumatiky o poznání lepší než obruče ze železa nebo plné pryže, které časem nahradily. Pláště v té době ještě nebyly opatřeny žádným vzorkem, což vedlo k prokluzování a nestabilitě vozidla na vozovce [2].

V dalších letech byla pneumatika velkým přínosem transportního systému. S postupným rozšiřováním aplikací byly kladeny stále vyšší nároky na pneumatiku a její vývoj se těmto nárokům přizpůsoboval. V roce 1892 patentoval J. F. Palmer kordovou tkaninu jako náhradu do té doby používaného kříženého výztužného materiálu. Vyloučením přímého vzájemného dotyku nosných nití v místě křížení se významně prodloužila životnost výztužného systému a tím i trvanlivost celé pneumatiky [2].

Postupem doby se změnil i základní materiál používaný pro kordové tkaniny. Jako první byl použit irský len, jenž byl později nahrazen bavlnou a roku 1923 byl vyvinut kord na bázi regenerované celulosy pod názvem rayon. Roku 1937 se poprvé jako výstužný materiál uplatnil ocelový kord. V období druhé světové války byl roku 1942 zaveden polyamidový kord u pneumatik nejdříve pro vojenskou techniku a posléze pro civilní sektor. V poválečném období došlo k prudkému rozvoji spotřeby polyamidového a ocelového kordu. V roce 1962 byl zaveden kord polyesterový, v roce 1967 pak kord ze skelných vláken a roku 1976 kord na bázi aromatických polyamidů, známý pod názvem kevlar [2].

Paralelně s rozvojem výztužných materiálů byly vyvíjeny i ostatní části pneumatik. Jedním z předpokladů pro další vývoj pneumatiky byl objev vulkanizace přírodního kaučuku sírou, k němuž došlo v roce 1839, začátkem 20.století pak byly do výroby zavedeny urychlovače vulkanizace. Do stejného období spadá zavedení gumárenských ztužujících sazí. Jako první ze syntetických kaučuků byl v roce 1931 vyroben neopren, po něm následoval

polybutadien. První plnohodnotné pneumatiky založené pouze na bázi syntetického kaučuku byly vyrobeny v roce 1943, byl použit butadien-styrenový kaučuk pro obecné použití [2].

Dramatický byl i vývoj konstrukce pneumatiky. Původní patentovaná pneumatika byla v podstatě nahuštěná hadice. V roce 1899 byla v Hannoveru zahájena výroba pneumatik pro osobní automobily, které byly v podstatě plášti pro jízdní kola bez dezénu, ale měly vhodné rozměry a vyšší nosnost [4].

V této podobě, na přelomu století, byla pneumatika poprvé použita u automobilů a letadel. Teprve v roce 1904 byl jako funkční strukturní součást pneumatiky zaveden plochý běhoun, který byl o rok později opatřen vzorkem zlepšujícím přenos sil mezi vozidlem a vozovkou (obr.2 [11]). Dezén běhounu byl v následujícím období dále vyvíjen s tím, jak se drážky dezénu rozšiřovaly, technici v pásech začali dělat kolmé zářezy. Tak se objevily první dezény, které zajišťovaly přilnavost při zatáčení. Kvůli tomu však byly pneumatiky hlučnější, a aby se tento problém překonal, byl na konci 20. let minulého století u balonové pneumatiky společnosti Continental použit první směrově orientovaný dezén.

Obr. 2 Pneumatika s plochým běhounem a vzorkem, počátek 20. století [11]

V roce 1935 se prosazují moderní rozměry pneumatik a zároveň byly zahájeny základní práce na přípravě výroby nízkoprofilových pneumatik [2].

První zimní pneumatiky byly vyvinuty v roce 1938 společností Semperit a nazvané Goliath (Goliáš); měly velmi výrazný dezén, který dobře zabíral na sněhu a umožňoval motoristům jezdit po zasněžené vozovce.

Velkým přínosem se stala pneumatika radiální, kterou na trh prosadila firma Michelin v poválečném období roku 1948. Radiální struktura pneumatiky znamenala, že kordová tkanina, která tvoří kostru pneumatiky, ubíhá od patky k patce kolmo na směr otáčení kola, cože vedlo ke splnění požadavků na funkčnost jednotlivých částí pneumatiky. O dva roky později byla do výroby zařazena bezdušová pneumatika. Roku 1963 přichází společnost Goodyear s pneumatikou využívající polyesterové tkaniny (obr. 3 [11]).

V roce 1969 společnost Uniroyal uvedla na trh první pneumatiku do deště, důležitější však byly pneumatiky na sníh. Stará struktura z roku 1938 byla opatřena hroty, které byly později z důvodu narušování povrchu vozovky staženy a nahrazeny systémem drobných

zářezů. Práce vývojářů pneumatik v této oblasti začaly být ovlivňovány změnami podmínek použití automobilů. Automobily zřídka musely v zimě jezdit po uježděném sněhu, proto pneumatiky musely mít více hran. Pro zlepšení byly na konci 20. století uvedeny první asymetrické pneumatiky s dezénem navrhovaným podle příslušné funkce. Pravá, levá a středová část dezénu běhounu byla vysoce specializována a navrhována s různými požadavky, které musely plnit letní a zimní pneumatiky [4].

Obr. 3 Pneumatika od společnosti Goodyear, rok 1963 [11]

Do 90. let se o inovativní prvky zasloužila zvláště firma Dunlop. Jako první roku 1964 zavádí pneumatiku Dunlop SP 41, která pomáhá předcházet aquaplaningu díky systému mikrodrážek, které nasávají vodu z povrchu jako houba a později ji vypouštějí do stran. O 10 let později Dunlop uvádí Denovo – první dojezdovou pneumatiku na světě, poskytující řidiči kontrolu řízení na dlouhých vzdálenostech a při vysokých rychlostech, dokonce i po defektu nebo prasknutí pneumatiky. Roku 1994 přichází Dunlop s ultralehkou konstrukci pneumatiky. Tím redukuje váhu automobilu asi o 12 kg. Vývojem prošly i ostatní části pneumatiky, jako je patka pláště, duše, ventil a ráfek. Velký podíl na vývoji má motoristický sport, který je výbornou příležitostí k vývoji nových materiálů, konstrukcí pneumatik a k prověření jejich kvality.

1.2 Definice pneumatiky

V obecném pojetí by se pneumatika dala formulovat jako celek vzniklý složením neoddělitelných materiálů, které se liší svými vlastnostmi, a tudíž jejich výroba vyžaduje značnou přesnost. Podle ČSN 640001 – Plastikářské a gumárenské názvosloví – je pod pojmem „pneumatika“ myšlen konstrukční celek tvořený pláštěm, popř. s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem [1].

Pneumatiku jako těleso můžeme hodnotit z několika hledisek [1]:

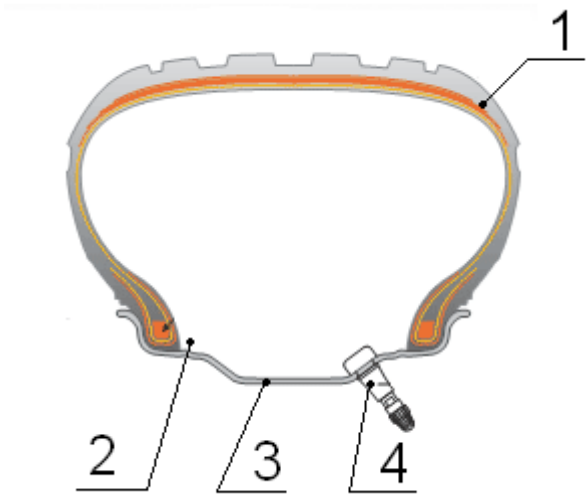
- z geometrického hlediska je pneumatika tvořena uzavřeným prstencem (toroid)
- z hlediska pevnosti a pružnosti je to tlaková nádoba, jejíž stěny jsou tvořeny pružnými membránami
- z hlediska složení jednotlivých částí vzhledem k jejich různým vlastnostem lze hodnotit pneumatiku jako těleso s anizotropními vlastnostmi.

1.3 Definování součástí pneumatiky

Popis součástí pneumatiky je uveden v tab. 1 [1] a na obr. 4 [15]

Tab. 1 Součásti pneumatiky [1]

Plášť pneumatiky	pružná vnější část pneumatiky, která zajišťuje styk s vozovkou a která svou patní částí dosedá na ráfek
Duše	tenkostěnný pryžový uzavřený prstenec sloužící k udržení potřebného tlaku vzduchu v pneumatice
Ventilek	slouží k nahuštění nebo vypuštění vzduchu nebo jiného média
Ochranná vložka	pryžový profilovaný prstenec, který chrání duši před poškozením ráfkem. Ta se převážně používá u nákladních aut nebo motocyklů



Obr. 4 Pneumatika pro osobní automobily [15]
1–plášť pneumatiky, 2–prostor pro duši, 3–ráfek, 4–ventil

Plášť pneumatiky je konkrétně tvořen kostrou, běhounem, patkou, lanky, která mohou být ocelová nebo polymerní (tzv. kevlar) a nárazníkem. Největší vliv na deformační vlastnosti pneumatiky má tvar, počet a uspořádání kordových vláken či vložek v běhounu.

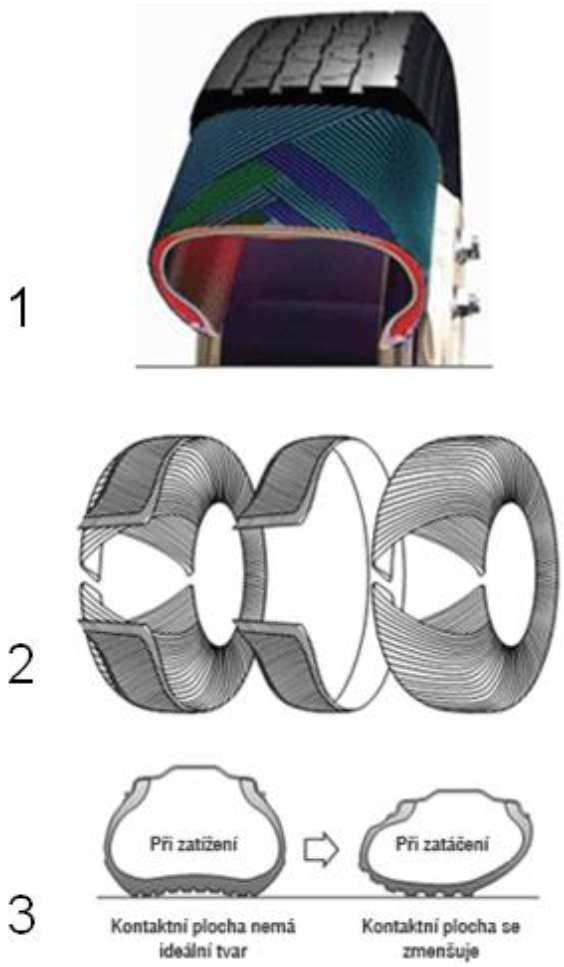
Podle toho rozdělujeme pláště pneumatiky na diagonální, radiální a smíšené.

1.4 Rozdělení a konstrukce pneumatik

1.4.1 Typy plášťů pneumatiky

Diagonální plášť (obr. 5 [15]) v kostře se kordy v jednotlivých vrstvách navzájem kříží s orientací vláken pod úhlem menším než 90° (zpravidla 30° až 40°)vzhledem k podélné ose běhounu. Kordová vlákna sousedních vložek pak zasahují pod patková lanka, kolem kterých jsou přehnuta. Lze si tedy představit, že každý bod kostry pláště je k patkám kotven dvěma vlákny se symetrickým stoupáním [1]. Samotný plášť je pak opatřen nárazníkem malé pevnosti, který nepřenáší žádné obvodové namáhání, pouze vyztužuje korunní část pláště.

U diagonálního pláště se při zatížení a následné deformaci kordová vlákna neprodlužují, ale posouvají a namáhají pryž mezi nimi na střih. Tím dochází k většímu vývinu tepla čemuž odpovídá známý fakt, že se diagonální pneumatika během provozu více zahřívá [28].



Obr. 5 Diagonální plášť pneumatiky [15]
1 – rozloženi kordových vláken křížením, 2 – zobrazeni do celku, 3 – tvar při změně zatížení

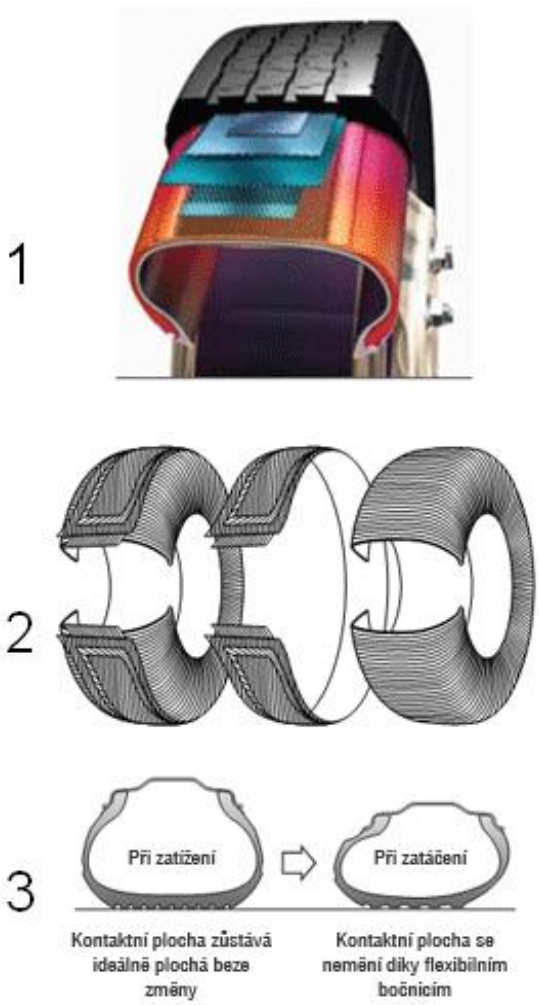
Radiální plášť (obr. 6 [15]) kostru tvoří jednotlivé nitě kordových vrstev, která nejsou křížena jak u diagonálního pláště, ale jsou uložena pod úhlem 90° vzhledem k podélné ose symetrie běhounu. Tato část kostry nepřenáší boční a radiální síly. Schopnost přenášet obvodové síly je tedy malá a proto je kostra stabilizována obvodově neroztažitelným pásem, tzv. nárazníkem, který rozkládá obvodové síly po celém obvodu ráfku. Ten je tvořen vložkami s vlákny kříženými pod úhlem 15° až 20° [1].

Obecně se radiální plášť od diagonálního díky své konstrukci liší ve dvou základních rysech, jejichž spolupůsobení má za následek lepší vlastnosti „radiálek“. Prvním je menší boční tuhost, která způsobuje, že při zatížení boční silou zůstává větší část radiálního pláště ve styku s vozovkou. Druhým z těchto rysů je pak, díky výše zmíněnému nárazníku, větší obvodová tuhost pláště. Z těchto důvodů se dnes již prakticky stoprocentně používají pláště radiální konstrukce [28].

Jistou nevýhodou je jejich vyšší cena, která je způsobena nákladnější výrobou, jelikož je z důvodu náročnosti na přesnost výroby potřeba více operací.

Výjimku tvoří pláště používané u zemědělské mechanizace a především pak u zemních strojů. Pro ně je charakteristické, že se pohybují malými rychlostmi a přenášejí velké boční síly, a proto je zde diagonální plášť vhodnější [28].

Mezi další výhody radiálních pneumatik oproti diagonálním patří například vyšší celková životnost, menší vnitřní deformace, menší valivý odpor a menší hmotnost.



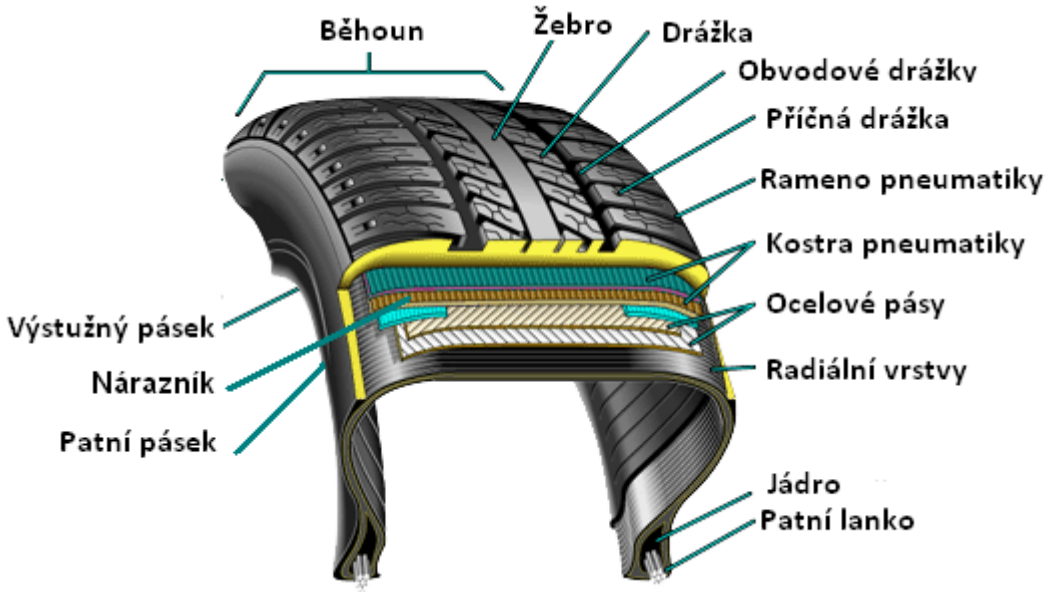
Obr. 6 Radiální plášť pneumatiky [15]

1– rozloženi kordových vláken, 2– zobrazeni do celku,3 – tvar při změně zatížení

Diagonální plášť s pásem, smíšená konstrukce (tzv. bias-belted) tvoří kompromis mezi vlastnostmi předchozích dvou typů. Samotná kostra je velmi podobná kostře diagonálního pláště, kdy jsou vlákna křížena pod úhlem větším než 60°. Kostra je zpevněna pomocí nárazníku, který zachycuje značnou část namáhání v obvodovém směru.

1.4.2 Strukturní prvky pneumatiky

Podrobný popis jednotlivých strukturních prvků pneumatiky je patrný na obr. 7 [16].



Obr. 7 Základní prvky struktury pláště pneumatiky [16]

Běhoun (obr. 8) je část pláště opatřená vzorkem a sloužící k zajištění styku kola s vozovkou. Jeho tloušťka má vliv na zahřívání pneumatiky, protože čím je větší valivý odpor pneumatiky, tím víc se zahřívá, z toho důvodu by měl být co nejtenčí. V praxi je tedy tloušťka běhounu volena tak, že hloubka drážky tvoří přibližně 80% výšky a hmota asi 20% výšky. To však neplatí u plášťů pro nákladní vozidla, u nichž je většinou běhoun konstruován pro možnost dalšího prořezání dezénu. U plášťů pro osobní vozy je prořezávání zakázáno [28].

Samotný vzorek je složený z mnoha drážek a segmentů s rozdílným tvarem, jejichž rozmístění na běhounu je výsledkem pečlivého zkoumání a dlouholetého vývoje a hraje důležitou roli.

U běhounu rozlišujeme několik zón: jako první je vnější zóna u okrajů pneumatiky, která je nejvíce namáhána při řízeni resp. manévrování. Tvoří ji maximálně tuhé a pevné bloky, které slouží pro co nejlepší jízdní stabilitu vozu a přesné ovládání. Pak následuje vnitřní zóna pneumatiky, která je charakterizována příčnými drážkami, jež slouží k posílení záběru na sněhu a je konstruována tak aby dokázala zajistit dostatečný odvod vody na mokré vozovce. Čtyři obvodové drážky slouží k dostatečnému držení směru, dalším jejich úkolem je pak odvod vody z plochy styku pneumatiky s vozovkou. Příčné drážky, kterou jsou pod určitým úhlem ke směru jízdy, slouží opět k odvádění vody při jízdě na mokré vozovce a dostačenému záběru na zasněžených cestách.

Obr. 8 Běhoun pneumatiky

1– vnější zóna, 2– vnitřní zóna, 3– široké obvodové drážky, 4– příčné drážky,5– široké bloky, 6– husté lamelování

Technologie nestejně širokých bloků ve vnitřní i vnější zóně částečně eliminuje hluk vznikající při odvalování pneumatiky. Husté lamelování zvyšuje záběrovou a brzdící schopnost pneumatik. Při akceleraci nebo brzdění dojde v místě styku s vozovkou k rozevření lamel a vznikne tak velké množství záběrových hran, které přispívají k lepším adhezním schopnostem pneumatiky hlavně na mokré a zledovatělé vozovce. Hlavní význam přítomnosti lamel při jízdě na mokré vozovce spočívá v tom, že při rozevření lamel se do vzniklých dutin může dostat voda. Vznikne tak blok s vyšší tuhostí, který je příčinou lepší boční stability a nižšího opotřebení. Množství, tvar a rozmístění lamel má významný vliv na vlastnosti pneumatiky [22].

Materiál: směs syntetického a přírodního kaučuku

Nárazník je část pláště mezi běhounem a kostrou, který slouží ke stabilizování běhounu v obvodovém směru a ke zvýšení odolnosti vůči opotřebení a průrazu. Konstrukce nárazníku má pak velký vliv na snížení valivého odporu.

Materiál: pogumovaný nylonový kord

Kostra představuje základní část pláště a je tvořena kordovými vlákny zakotvených kolem lan. Její stavba a složení určují základní vlastnosti pláště [28]. Kordová vlákna jsou pak během technologického procesu výroby pneumatiky pogumována. Hlavním úkolem kostry je nedovolit změnu tvaru pneumatiky a zabezpečit přenos točivého momentu kol na silnici. Zabraňuje také roztrženi pneumatiky při nahuštění na vysoký tlak.

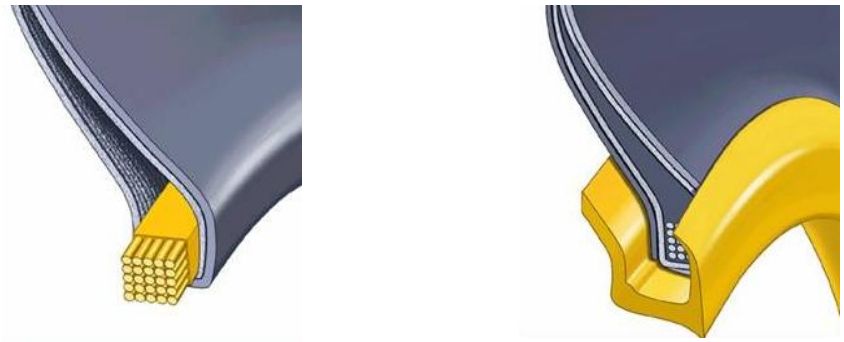
Během vývoje pneumatik se změnil nejen systém pokládání vláken, ale i používaný materiál. Prvním vývojově používaným materiálem byl irský len, který byl později nahrazen bavlnou u té se však projevovala nehomogenita a závislost vlastností na vlhkosti, proto se s příchodem ocelových kordů a polymerních vláken od tohoto materiálu upustilo.

Patka pláště je zesílená část pláště dosedající na ráfek, vytvořená ohnutím kostrových kordových vložek kolem ocelového patního lana [2].

Materiál: pogumovaný nylonový nebo aramidový kord tvoří pásek, samotná patka pak ze syntetického kaučuku

Patní lano je kruhový dílec z vysokopevnostního ocelového drátu, který slouží k zakotvení kordových vložek v patce pláště a mimo to vyztužuje patku v obvodovém směru, čímž zaručuje bezpečné usazení pláště na ráfku [2] (obr. 9 [28]).

Materiál: Pogumovaný svazek ocelových drátů



Obr. 9 Detailní pohled na patní lanko (vlevo) a patní pásek (vpravo) [28]

1.4.3 Požadavky na funkci pneumatiky

Za jednu z nejdůležitějších součástí vozidla bývá považována právě pneumatika, neboť právě na ní z velké míry záleží, jak bude pro řidiče jízda bezpečná a pohodlná.

Při stavbě pneumatik jsou v dnešní době používány nejpokrokovější technologie. Pneumatika teda musí splňovat celou řadu funkcí, jako jsou:

1. nesení určité zátěže
2. tlumení nárazů
3. přenášení brzdné a hnací síly
4. přenos bočních sil
5. vhodná adheze vůči vozovce za různých podmínek
6. stabilita
7. nízký valivý odpor
8. nízký hluk a vibrace
9. symetrie sil a momentů
10. dobrá životnost
11. bezpečnost při provozu na vozovce
12. co nejmenší hmotnost

Mezi šest hlavních požadavků na pneumatiku, které zaručují bezpečnost, komfort a hospodárnost, patří:

NESENÍ ZÁTĚŽE
Pneumatiky představují oporu pro celé vozidlo jak při jízdě, tak při stání v klidu na místě. Dále musejí být schopny vydržet zátěž během akcelerace a následném brzdění vozidla. Samotná hmotnost, kterou přenášejí, je asi padesátinásobek jejich vlastní hmotnosti.

TLUMENÍ
Pneumatiky pohlcují nárazy při přejezdu přes překážky a chrání vozidlo před dalšími nerovnostmi na silnici [25]. Prodlužují tak životnost vozidla a umožňují řidiči pohodlí. Mezi hlavní přednosti pneumatiky patří vertikální pružnost díky způsobu plnění vzduchem a jeho elastickým vlastnostem je pneumatika schopná se přizpůsobit tvaru vozovky.

VEDENÍ SMĚRU
Pneumatiky vedou vozidlo přesně bez ohledu na stav povrchu a klimatické podmínky [25]. Samotná stabilita je charakterizována tím jak pneumatika dokáže držet směr, resp. stopu. Pneumatika musí přenést boční síly, aniž by změnila svoji trajektorii. Z toho důvodu se liší tlaky v pneumatikách na přední a zadní nápravě. Vhodným rozdílem tlaků řidič dosáhne ideálních jízdních vlastností svého vozidla.

PŘENOS VÝKONU
Pneumatiky přenáší výkon motoru a brzdnou sílu [25]. O tom, kolik výkonu je přeneseno, rozhoduje plocha několika centimetrů čtverečných, která tvoří kontakt pneumatiky s vozovkou.

VALIVÝ POHYB
Nižší valivý odpor a rovnoměrné odvalovaní znamená pro řidiče lepší požitek z jízdy a nižší spotřebu paliva.

ŽIVOTNOST
Samotná pneumatika je konstruována tak, aby byla použitelná i po milionech otáček a zachovala si přitom dostatečný výkon. Samotné opotřebení je závislé na podmínkách a způsobu jejího používání.

1.4.4 Základní rozměry pneumatiky

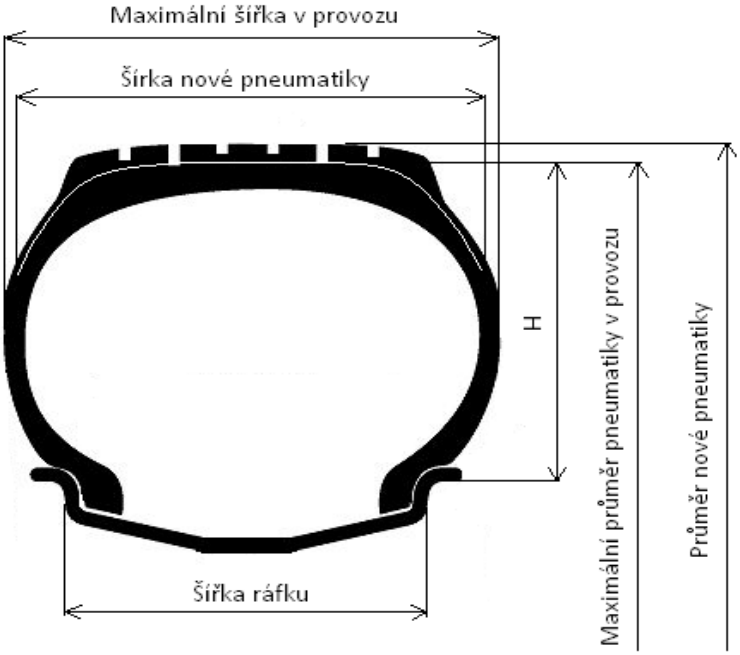
Maximální šířka v provozu je vzdálenost mezi dvěma rovinami, které se dotýkají vnější části zatížené pneumatiky a jsou kolmé na osu rotace.

Šířka nové pneumatiky je vzdálenost mezi dvěma rovinami, které se dotýkají vnější části nezatížené pneumatiky a jsou kolmé na osu rotace.

Výška profilu pneumatiky má označení H a je to polovina rozdílu mezi průměrem vnějším a celkovým průměrem pneumatiky.

Průměr nové pneumatiky je celkový průměr pneumatiky bez zatížení.

Maximální průměr pneumatiky v provozu je celkový průměr pneumatiky se zatížením.



Obr. 10 Základní rozměry pneumatiky

1.4.5 Tvary dezénu

Podle rozmístění drážek v dezénu rozlišujeme čtyři základní tvary dezénu:

- Symetrický dezén (obr. 11 [7]) mají zpravidla nejlevnější typy univerzálních pneumatik, v běhounu mají symetrické drážky a tudíž nezáleží na směru rotace pneumatiky, lze ji tedy otáčet a natáčet.

Obr. 11 Symetrický tvar dezénu [7]

- Směrový dezén (obr. 12 [7]) je používán místo symetrického dezénu, jelikož šípovitý dezén výborně odvádí vodu a zajišťuje snazší a bezpečnější vedení na zasněžené vozovce. Směr odvalování šípovitého dezénu je pak dán ukazatelem na boku pneumatiky - šipka s nápisem Rotation.

Obr. 12 Směrový tvar dezénu [7]

- Asymetrický dezén (obr. 13 [7]) bývá u dražších pneumatik. Běhoun je rozdělen na několik zón, kde každá zóna plní jinou funkci – podélné drážky a středové žebrování pro lepší trakci, středové lopatky na odvod vody a předcházení aquaplaningu, vnější část pak ke snížení hluku. Na boku je označení pro vnější a vnitřní část, aby byla pneumatika namontována ve správném směru odvalování.

Obr. 13 Asymetrický tvar dezénu [7]

- Asymetrický směrový typ dezénu (obr. 14 [7]) se v dnešní době pro běžný provoz už nedělá. Význam má pouze pro automobilové závody (např. Formule 1, rallye atd.). Podle dezénu pak dělíme pneumatiku na pravou a levou, neboť je určen směr otáčení.

Obr. 14 Asymetrický směrový tvar dezénu, vzorek Michelin rallye [7]

Podle hloubky dezénu a směsi použitého kaučuku, rozlišujeme pneumatiky pro letní a zimní období. Z důvodu opotřebení pneumatik je potřeba kontrolovat bezpečnou hloubku drážky. Minimální hloubku určuje tzv. indikátor opotřebení, což je výstupek na dně obvodových drážek, který má u letních pneumatik výšku 1,6 mm. Pokud dojde k opotřebení i těchto výstupků, je zapotřebí vyměnit pneumatiku. U zimních pneumatik je pak ze zákona dána minimální hloubka dezénu 4 mm.

1.4.6 Značení pneumatik

Každý výrobce uvádí na pneumatice značení, které přesně charakterizuje daný typ pneumatiky. Jako příklad je v dalším textu uvedeno značení jednotlivých údajů na pneumatice Pirelli (obr. 15 [22]).

Obr. 15 Značení pneumatiky [22]

1. Název výrobce
2. Jmenovitá šířka v milimetrech
3. Profilové číslo – procentuální poměr mezi výškou a šířkou pláště
4. Označení pro radiální konstrukce pneumatiky
5. Průměr ráfku (v palcích)
6. Index nosnosti – je číslo určující maximální nosnost pneumatiky při určité rychlosti za určitých podmínek, označení LI
7. Index rychlosti – je číslo, které představuje maximální rychlost, při které dokáže Pneumatika unést index nosnosti za určitých podmínek
8. Označení dezénu
9. Údaje požadované pro USA
10. Číslo formy
11. Radiální pneumatika
12. Bezdušové provedení- TL pro bezdušové a TT pro pneumatiky s duší
13. Počet vložek (kordových vrstev) v běhounu a bočnici
14. DOT (označení pro USA)
15. Kód výrobce
16. Kódové označení rozměru pneumatiky
17. Kódové označení typu pneumatiky
18. Týden výroby
19. Rok výroby
20. Maximální zatížení a maximální tlak
21. Číslo výkresu dle předpisu USA
22. Označení rozměru pneumatiky pro USA
23. Údaje o zatížení
24. Mezinárodní homologace ECE

1.5 Technologie výroby pneumatiky

Samotnou výrobu plášťů pneumatiky lze popsat několika samostatnými operacemi, které probíhají ve stejný čas. Mezi operace jednotlivých částí patří například výroba kaučukové směsi, pogumování kordů, výroba bočnic, běhounů, patních lan a nárazníků. Skloubení těchto postupů v jeden celek se nazývá konfekce. Za produkt se považuje surový plášť, jeho následnou vulkanizací vznikne hotový produkt.

1.5.1 Materiálové složení

Suroviny a materiály používané pro výrobu plášťů výrazně ovlivňují kvalitu a jakost výsledného produktu, tudíž se musejí používat pouze kvalitní suroviny, s jejichž parametry lze docílit bezpečné a pohodlné jízdy s vyšší životnosti pneumatiky.

Materiálové složení směsí používané pro výrobu plášťů pneumatiky patří mezi přísně střežená tajemství výrobců. Obecně se dá říct, že z materiálového hlediska tvoří pneumatiku: 48% kaučuk, 36% přísady (27% technické saze a 9% chemická aditiva), 16% výstužné materiály (12% kord a 4% patní lana). Přesný podíl a druh jednotlivých složek, který bude tvořit gumárenskou směs, závisí v první řadě na tom, k jakému účelu, na jakých površích a za jakých podmínek bude budoucí pneumatika používána [22].

V praxi neexistuje pryž, která by měla ideální vlastnosti pro jakýkoliv povrch. Proto je takřka nemožné vyrobit univerzální směs. To, jakým způsobem ovlivní změna složení adhezní vlastnosti, závisí na mnoha faktorech, kterými jsou například druh materiálu, po kterém se pneumatika pohybuje, nebo druh a velikost zatížení.

Například zvětšování podílu sazí zvyšuje koeficient tření na abrazivním povrchu, ale na hladkém povrchu jej snižuje. Měkké směsi se na hladkých površích obvykle vyznačují vyšším koeficientem tření než směsi tvrdší, avšak pouze při malém zatížení. Minerální oleje, které se přidávají do směsí, změkčují pryž před vulkanizací, ale zvyšující se stupeň zesítění pryže vznikající při vulkanizaci dělá pryž tvrdší a způsobuje zhoršení jejich třecích vlastností [22].

Nejen pro různé typy, ale i pro výrobu jednoho pláště je zapotřebí několik druhů pryžové směsi. Na pracoviště výroby směsi je zadán požadavek na konkrétní vlastnosti a následně je v hnětacích strojích vytvořena určitá homogenní směs připraveného druhu kaučuku a vhodných aditiv.

1.5.2 Druhy kaučuků

Kaučuk je polymerní materiál přírodního nebo syntetického původu, jenž patři mezi elastomery. Elastomer je látka, která je při zatížení schopna velké elastické deformace a po odlehčení návratu do téměř původního stavu. Pro pneumatikárenský průmysl má význam jako základní složka při výrobě pryže.

Přírodní kaučuk se získává z tropického stromu zvaného kaučukovník, Hevea brasiliensis, z něhož se sklízí v surovém stavu tak, že se nechá odkapávat z tenkého řezu v kůře stromu. V surové podobě je to bílá, mlékovitá kapalina zvaná latex. Ta se následně vysráží např. kyselinou mravenčí (kyselina ethanová), v dalších fázích se promývá, suší a sráží zahříváním na vzduchu, zahřívání probíhá dvěma způsoby – buď teplým vzduchem nebo dýmem.

S rozvojem automobilového průmyslu výrazně vzrostla poptávka po přírodním kaučuku na výrobu pneumatik. Přírodní kaučuk však vykazoval ne zrovna ideální vlastnosti jako např. malou odolnost vůči působení benzínu, olejů a kyselin, výraznou lepivost, rychlé stárnutí a malou odolnost proti abrazi. To přimělo chemiky vytvořit vlastní umělý kaučuk, který by měl potřebné ideální vlastnosti, tzv. syntetický kaučuk.

Syntetický kaučuk tvoří nepostradatelný materiál při výrobě plášťů pneumatik, jeho hlavním úkolem je nahradit přírodní kaučuk. Výhodou je neomezenost jeho zdroje, ale i jeho mechanické a fyzikální vlastnosti, které jsou vhodnější pro jednotlivé části samotného pláště pneumatiky. Oproti přírodnímu kaučuku mnohem lépe odolává působení olejů a extrémním teplotám.

Pro využití v automobilovém průmyslu se ze třídy syntetických kaučuků využívá převážně butadienstyrenový, butadienový a izoprenový kaučuk.

1.5.3 Přísady do kaučukových směsí

Ke zefektivnění mechanických, chemických a fyzikálních vlastností ve směsi na výrobu plášťů pneumatik se do zpracovávaných směsí dodávají přísady, mezi něž patří vulkanizační činidla, urychlovače a retardéry vulkanizace, aktivátory vulkanizace, ztužovadla, antidegradanty, změkčovadla a ostatní přísady [22].

Saze mají příznivý vliv na fyzikální vlastnosti vulkanizátu, zejména na jeho pevnost a odolnost proti opotřebení. Saze se vyrábějí nedokonalým spalováním olejů a plynů ve speciálních zařízení [2].

Pozitivním efektem je, že částice sazí jsou jemné a během vulkanizace dochází k dobrému vázání s molekulami kaučuku. Po procesu vulkanizace má pryž větší tvrdost, pevnost a již zmíněnou odolnost proti opotřebení a zahřívání.

Silika je využívána v současnosti hlavně u plášťů určených pro zimní provoz, kde je snaha nahradit saze sloučeninou na bázi oxidu křemičitého. Tato sloučenina je známá pod názvem silika. Výhodou směsi s vysokým obsahem siliky je, že začíná tvrdnout až při výrazně nižších teplotách než směs obsahující jako plnivo výhradně saze. Nahrazením sazí silikou je zabezpečeno zachování požadovaných adhezních schopností pneumatiky v zimních obdobích. Obsah sazí a siliky je ve směsi použit v poměru od 3:2 do 1:9 [22].

Antidegradanty slouží ke zvýšení odolnosti pryže proti stárnutí, konkrétně velký vliv mají antioxidanty a antiozonanty. I po vulkanizaci zůstávají totiž v zesíťovaném polymeru ještě dvojné vazby, které jsou napadány kyslíkem a ozonem [22]. Přestože je ozonu ve vzduchu mnohem méně než jiných plynů, je mnohem agresivnější než kyslík. Reakcí kaučuku s kyslíkem dochází ke vzniku peroxidů a ozonidů, ty se štěpí na vysoce reaktivní částice, které narušují strukturu pryže a dochází k procesu stárnutí.

Mezi antidegradanty můžeme řadit také parafín. Je to ropný výrobek, který je tvořen směsí převážně tuhých parafinických uhlovodíků, získaných při odparafinování minerálních olejů. Parafín je tuhý, krystalického lomu a charakteristického zápachu. Vykvétá na povrch pryže a vytváří jemnou ochrannou vrstvičku chránící pryž proti ozonovému stárnuti [2].

Ochrannou funkci plní parafín pouze při skladování, jelikož při provozu dojde k setření povrchu a parafín se odstraní.

Změkčovadla zvyšují plasticitu směsi a usnadňují tak její mechanické zpracování, Po vulkanizaci ovlivňují tvrdost a tažnost vzniklé pryže. Jako změkčovadlo se používají různé druhy minerálních olejů [22].

Pryskyřice se přidávají do některých kaučukových směsí pro zlepšení lepivosti směsi. Nejčastěji se používá kumaronová pryskyřice a kalafuna [2].

Vulkanizačním činidlem nejčastěji používaným v pneumatikárenské výrobě je síra. Díky ní probíhá proces vulkanizace, který spočívá ve vytvoření příčných vazeb mezi řetězci pomocí sirných můstků. V omezeném rozsahu se na vulkanizaci dají použít i pryskyřice nebo jiné organické peroxidy.

Ztužovadla jsou látky, které slouží ke zvýšení tuhosti a pevnosti pryže. Patří sem výše zmíněné saze, siliky a síra.

Aktivátory vulkanizace mají významný vliv na tvorbu sítě při vulkanizaci. Nejčastěji užívaným aktivátorem je oxid zinečnatý (ZnO), známý jako zinková běloba, který zvyšuje síťovací účinnost např. v izoprenovém kaučuku až pětkrát [2].

Urychlovače a retardéry vulkanizace slouží ke zkrácení nebo prodloužení vulkanizační doby v souladu s výrobními požadavky [22].

1.5.4 Požadavky na směs

Běhounové směsi mají vynikající odolnost proti otěru, pevnost v tahu, odolnost proti stárnutí, dobrý koeficient tření s vozovkou [22].

Směsi pro potahování textilních kordů se vyznačují vysokou tažností, dobrým koeficientem tření s viskózovými a polyamidovými kordy, odolností proti tepelné únavě a proti stárnutí [22].

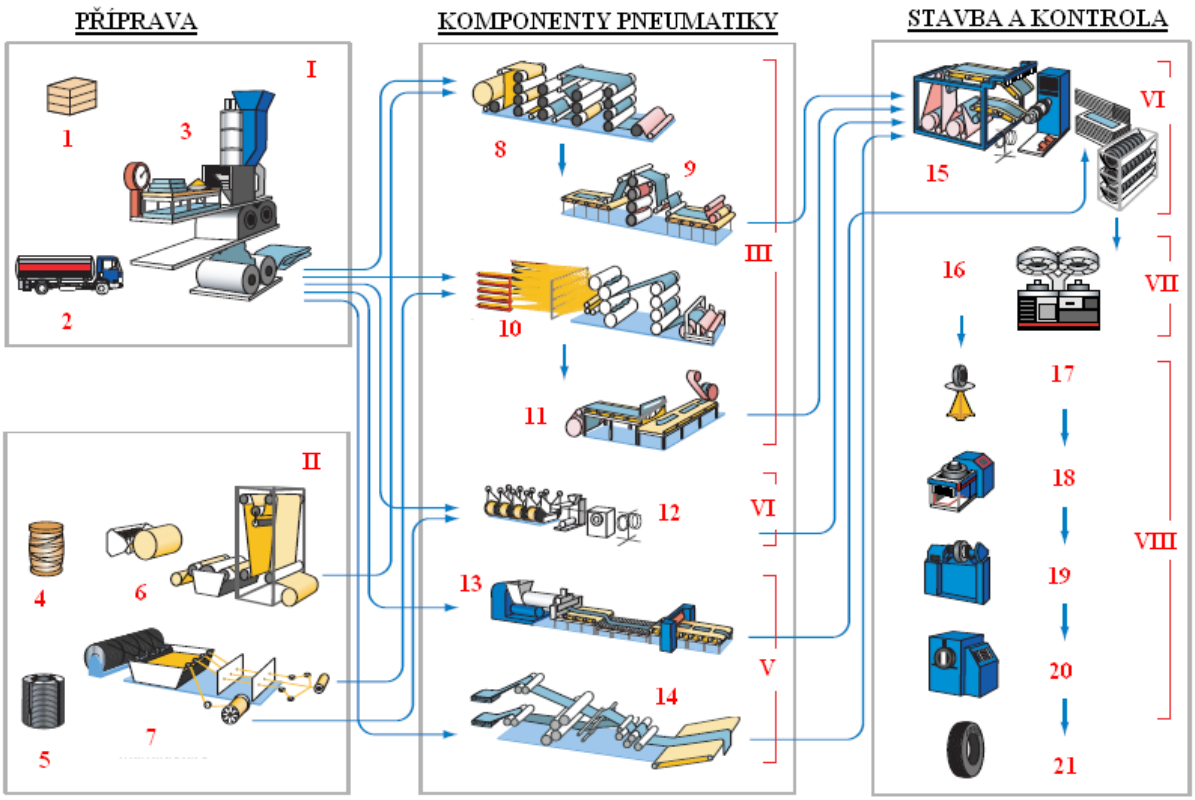
Směsi pro potahování ocelových kordů mají shodné vlastnosti jako směsi pro potahování textilních kordů. Nejčastěji je zde používána směs s velkým množstvím přírodního kaučuku, jehož schopnost pevného spojení s ocelovým kordem je vyšší než u syntetických kaučuků [22].

Směsi pro obstřik patních lan mají velmi dobré třecí vlastnosti s ocelovým lankem a s ostatními částmi patky pláště [22].

Směsi na výrobu bočnic se vyznačují dobrou odolností proti stárnutí a odolností proti vzniku a růstu trhlin. V oblasti ochranného patního pásku musí mít zvulkanizovaná směs vysoké adhezní schopnosti k materiálu ráfku kola [22].

1.5.5 Výrobní postup

Celkový technologický postup při výrobě pneumatiky je popsaný na obr. 16 [17].



Obr. 16 Proces výroby pneumatiky [17]

Technologický postup výroby pneumatiky

I. Příprava surového materiálu a jeho následné mixování
II. Výroba kordové textilie
III. Kalandrování a řezání pásů
IV. Montáž pásů
V. Vytlačování pásů
VI. Stavba pneumatiky
VII. Proces vulkanizace
VIII. Výstupní kontrola

Jednotlivé dílčí procesy při výrobě pneumatiky

1. Surový materiál
2. Chemikálie
3. Rozmixování materiálu
4. Textilie
5. Ocelová vlákna
6. Zpracování kordových vláken
7. Rozmotání a dělení kord. vláken
8. Kalandrování vláken
9. Strojové řezání vrstev
10. Kalandrování ocel. pásů
11. Řezání ocel. pásů
12. Montážní spojení
13. Protlačení běhounu a bočnice
14. Kalandrování vnitřní vložky
15. Sloučení komponentů
16. Proces vulkanizace
17. Vizuální kontrola
18. Kontrola stability
19. Kontrola momentů a sil
20. Kontrola rentgenem
21. Hotová pneumatika

Pneumatiky se vyrábějí ze směsí surovin, mezi které patří přírodní a syntetický kaučuk, saze, olej a další. Z celé pneumatiky tvoří gumové směsi více než 80%, do zbytku patří celá řada zpevňovacích materiálů. Skoro třetinu samotné gumové směsi tvoří plnidla. Mezi nejdůležitější plnidlo patří saze, které dodávají pneumatice její černou barvu. Samotná gumová směs je různá v rozdílných částech pneumatiky a odlišná i s ohledem na roční období.

Po rozhodnutí o složení gumové směsi, dochází k přesunu materiálu do mixovacího stroje (obr.16 Postup I). Následuje přidání přísad a smíchání, jenž vede k vytvoření gumového balíku. Důležitým faktorem při této operaci je teplota, jelikož při vysoké teplotě by mohlo dojít k poškození sloučeniny. Proto se raději zavádí dělení operace na dva cykly. V prvním dochází k pomalému míchání za normální teploty a ve druhém cyklu k rychlému míchání za zvýšené teploty, ta však nesmí přesáhnout hranici 100 až 110°C, aby nedošlo ke spálení směsi.

Jakmile je míchání dokončeno, je zahájen přesun směsi po přepravních zařízeních na lisovací stroj, který rozválcuje neforemnou gumu na dlouhé pláty. Současně na jiných pracovištích probíhá i montáž ocelových vláken a kalandrování vnitřních vložek (obr. 16 Postup II). Kalandrování je zušlechťovací proces, při kterém na tkaninu působí tlak otáčejících válců, výsledkem je pak souměrná tloušťka, požadovaný vzhled a vhodnější omak.

Následuje válcování, při kterém se slisuje vrstva tkaniny s vrstvou gumového pásu. Nově vyztužený pás je přesunut na střihačku, která ho nastříhá na jednotlivé dílce v určitém sklonu a namotá je na válec (obr. 16 Postup III).

Následuje sestavení již vzniklých komponent (obr. 16 Postup IV). Na speciální válec se umístí vnitřní butylová vrstva, která má za úkol chránit bezdušovou pneumatiku proti úniku vzduchu skrz pneumatiku, na ni se naválcuje radiální kostra tvořena textilními vlákny, jenž drží celou pneumatiku pohromadě a zabraňuje deformacím (obr. 16 Postup V). Tkanina jedné automobilové pneumatiky obsahuje asi 1400 vláken, z nichž každé může odolávat tažné síle 15 kg. V dalším kroku se na kostru připevní kordové vložky pro zakotvení patních lan, které mohou nést zátěž až 1800 kg bez rizika přetržení. Následně dojde k navalení ramen a ochrany patek, posléze se přidávají bočnice (obr. 16 Postup VI). Nyní dochází ke svlečení bočních částí a nafouknutí pneumatického válce a to tak, že vrstvy začnou dostávat podobu budoucí pneumatiky, zároveň jsou přidávány korunní prvky pneumatiky a běhounu. Boční části jsou vyrobené ze dvou druhů směsí, její vnější část – což je ta, která se blíže dezénu, je složená s pružnějších směsí a naopak část blíže k patce je složena z tužší směsi sloužící pro ochranu samotné patky pláště.

Výsledek se ještě nepodobá finální verzi pneumatiky, proto je nutné provést chemicko-fyzikální proces, tzv. vulkanizaci (obr. 16 Postup VII). Dochází při ní působením tepla, tlaku a přídavných činidel ke změně struktury kaučukové směsi. Lineární makromolekulová struktura se mění na prostorovou, neboť z jednoduchých lineárních řetězců se stávají složitě síťované struktury, která zpevní celkový tvar pneumatiky.

Vulkanizace se provádí pro vylepšení mechanických, chemických a fyzikálních vlastností pneumatiky. Z mechanických vlastností dosahuje směs po vulkanizaci například vyšší pevnosti v tahu, pevnosti samotné struktury a odolnosti proti mechanickému poškozeni.

Technologický proces vulkanizace spočívá ve vložení surového pláště pneumatiky do formy (obr. 17 [31]), která má tvar i dezén výsledné pneumatiky včetně označujících hodnot. Působením teplé páry a vulkanizačních činidel dojde k natvarování pláště do tvaru formy a k samotné vulkanizaci. Tváření a vulkanizace probíhají tedy zároveň jako jedna operace. Snadné vytažení a zamezení přilepení pneumatiky k formě zaručuje celá řada separačních činidel. Celkový čas vulkanizace je kolem 8 min, záleží však na velikosti pláště, protože s rostoucími rozměry se doba mnohonásobně prodlužuje.

Kontrola pneumatiky je posledním důležitým krokem v celkovém procesu výroby pneumatiky (obr. 16 Postup VIII). Samotná kontrola je vícestupňová, tzn., že plášť je nejdříve podroben vizuální kontrole, pak se pneumatika obuje na disk a probíhá zátěžový test, podobný normálním provozním podmínkám. Současně se provádí kontrola výskytu propadlin a boulí. V některých případech pak dochází i na rentgenovou zkoušku, která slouží k prokázání bodových závad ve vnitřní struktuře pneumatiky a na zkoušku řezu pláště, kdy se z rozřízlého vzorku studuje tloušťka jednotlivých vrstev.

Obr. 17 Forma pro vulkanizační proces [31]

2 OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK

Nesprávné používání pneumatiky může vést k jejímu předčasnému opotřebení nebo v horším případě k selhání a zničení. Samotné selhání může být velmi nebezpečné, neboť při něm může dojít k poranění osob nebo škodě na majetku.

Selhání pneumatiky je v dnešní době statisticky velmi řídké v průměru se řidič setká s vážným problémem zaviněným pneumatikou asi jednou za 10 let nebo po ujetí 150 000 kilometrů. Tento fakt svědčí o vysoké technologické úrovni standardů dosažené jak výrobci pneumatik, tak těmi, kteří se o ně starají v pneuservisech [5].

Během pohybu každé pneumatiky dochází k nepřetržitému tření pneumatiky o vozovku. To se samozřejmě projeví úbytkem materiálu na vzorku běhounu. Faktem ale je, že pomalé, nenásilné opotřebení je neodstranitelné a dokonce nezbytné, jelikož tření, které během tohoto procesu vzniká, je potřebné pro přenos sil na vozovku a to ať se jedná o síly podélné, které vznikají při zrychlení a brzdění, tak o síly bočné při zatáčení.

Stupeň opotřebení a tím kilometrový výkon pneumatiky pro osobní auto závisí, mimo jiného, na stupni prokluzu. Prokluz je relativní pohyb mezi pneumatikou a vozovkou při přenosu záběrových sil. Prokluz znamená, že rychlost vozidla je vyšší nebo nižší než obvodová rychlost kola, jinak řečeno, vozidlem ujetá vzdálenost je delší nebo kratší než je odvalený obvod pneumatiky [5].

Zatímco prokluz jako takový je nezbytnou podmínkou jízdy, stupeň prokluzu je závislý především na stylu řidičovy jízdy. Stupeň opotřebení je přímo úměrný stupni prokluzu. V případě nenásilného, ale energického zrychlení na suché vozovce, se hodnoty prokluzu pohybují okolo 2 %. Mohou však stoupnout až k 20 %, jestliže řidič svou jízdou kolísá mezi krajními mezemi výkonu svého vozu. V závislosti na plynulosti stylu jízdy tedy kolísá průměrné opotřebení okolo hodnoty 10 % [5].

2.1 Typy opotřebení pneumatik

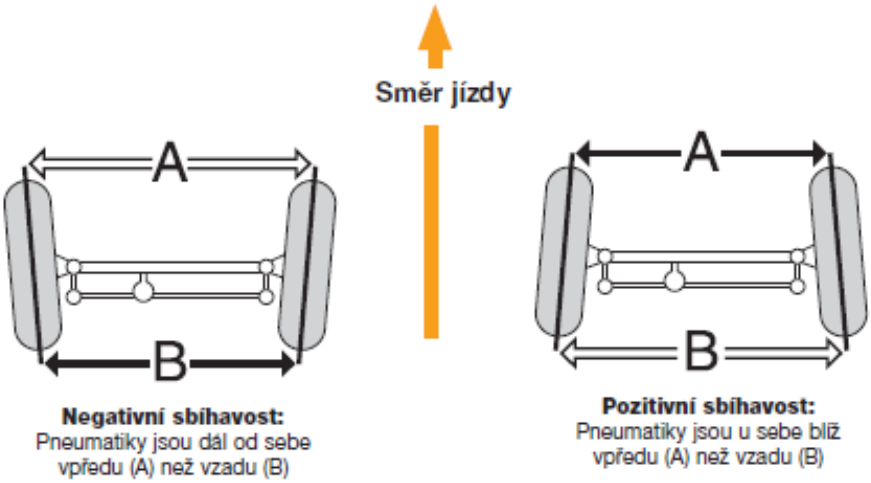
Vzniklá opotřebení pneumatik jsou doprovázena mnoha charakteristickými změnami, které jsou patrné především na běhounu pneumatiky. Podle místa nejdramatičtějšího úbytku materiálu rozlišujeme několik typů opotřebení.

2.1.1 Jednostranné opotřebení

Jednostranné opotřebení je jedno z nejběžnějších. Dochází k němu v situacích vyvolaných nesprávným seřízením sbíhavosti, kdy pneumatiky nerotují paralelně, jedno z ramen na běhounu má větší oděr a tím dojde k jednostrannému opotřebení. Špatné nastavení ve sbíhavosti se dá vyvodit již z faktu, že na blocích běhounu je patrné roztřepení a na hraně dezénu pak sedření.

Samotnou sbíhavost kol lze definovat jako průmět úhlu mezi podélnou osou vozidla a střední rovinou kola do roviny vozovky. Je-li přední část kola přikloněna k podélné ose vozidla, je kolo sbíhavé. Vlivem sbíhavosti předních kol vznikají na kolech malé boční síly, které vyvolávají silové momenty vzhledem k rejdovým osám. Působením např. sil valivého odporu se kolo snaží natáčet do přímého směru (do rozbíhavosti). U vozidel s předním náhonem se velikostně významnější, dopředu směřující hnací síla, snaží kola naopak stlačovat do sbíhavosti [10]. I u těchto vozidel se však často používá mírná sbíhavost, aby nedocházelo ke zhoršování jízdních vlastností při ubrání plynu.

K vyššímu opotřebení také dochází vlivem nerovnosti vozovky, což přispívá k opotřebení na vnější straně pneumatiky, tedy k jednostrannému opotřebení. Dalším vlivem, který přispívá k tomuto druhu opotřebení je nastavení vyšší sbíhavosti u jednotlivých náprav, což je způsob, kterým někteří výrobci zlepšují ovládací schopnosti vozu. Nadměrné hodnoty zlepší jízdní vlastnosti na úkor životnosti pneumatik, což vede nejen k opotřebení jednostrannému, ale i k mnoha dalším. Pozitivní a negativní nastavení sbíhavosti je patrné na obr. 18 [5].



Obr. 18 Druhy sbíhavosti kol u osobního auta [5]

V extremních případech může dojít k opotřebení pneumatiky až do takové míry, že na boční straně jsou patrná kordová vlákna a jednotlivé vrstvy pneumatiky (obr. 19).

Obr. 19 Jednostranné opotřebení pneumatiky

Veliké odchylky od souososti jsou nejčastější příčinou jednostranného opotřebení. Takové odchylky se časem vyvíjejí a jsou cenou, kterou platí řidič za své špatné návyky při řízení, jakým je například narážení nebo přejíždění přes obrubníky chodníků, čímž dochází k porušení správného nastavení geometrie kol. Snižování světlé výšky vozidla a jeho vybavení koly z lehké slitiny může rovněž mít negativní vliv na správné seřízení sbíhavosti.

Změna polohy vodící páky kol (při vybavení koly s menším zálisem) může způsobit vychýlení kol od jejich správného nastavení a výsledkem je opět nerovnoměrné opotřebení [5].

2.1.2 Středové opotřebení

Středové opotřebení je charakteristické pro vozidla s vyšším výkonem, které jezdí na dlouhé vzdálenosti při značně vysokých rychlostech. Vlivem působení veliké odstředivé síly se středová část vypoukne směrem dolů a části ramen zůstávají ve stejné poloze (obr. 20), pohonná síla se přenáší na vozovku hlavně v již zmíněné středové části, což se znatelně projeví na vzorku běhounu. Výraznější opotřebení se projevuje u tzv. nízkoprofilových pneumatik, u nichž je předepsána hodnota profilového čísla 30 až 60% [5].

Další věcí, jež znatelně přispívá k nadměrnému opotřebení ve středu běhounu, je tlak v pneumatice. Příliš vysoký tlak v pneumatice způsobí podobný efekt jako u nízkoprofilových pneumatik. Proto je nutná pravidelná údržba a kontrola hustoty vzduchu v pneumatice.

Obr. 20 Opotřebení běhounu ve středové části, při použití na vysoce výkonná osobní auta

2.1.3 Diagonální opotřebení běhounu (místní)

Diagonální opotřebení běhounu se projevuje pod úhlem 45° k obvodu pláště, zpravidla se objevuje jen na jednom místě (obr. 21), ale může se vyskytnout i na více místech [5].

U 90 % opotřebení pneumatik dochází k odběru materiálu zvláště u předních kol. Místní diagonální opotřebení se více či méně omezuje na kola na nehnané nápravě, zvláště na pneumatiku na levé zadní pozici. Náchylnost k postižení zvyšují vysoké hodnoty sbíhavosti. Je tomu tak proto, že pneumatika s velikou sbíhavostí se odvaluje a tím drhne pod úhlem i v případě, že auto jede rovně vpřed. Výsledkem je diagonální deformace v místě kontaktu pneumatiky s vozovkou. Jsou-li zpozorovány známky takového opotřebení, je nejlepším řešením nastavení hodnot sbíhavosti na spodní hranici rozmezí stanoveného výrobcem. Diagonální místní opotřebení se také často vyskytuje tam, kde se stýkají různé konstrukční části pneumatiky [5].

K výraznému zhoršení napomáhá jízda na podhuštěných pneumatikách. Opět je nutná pravidelná kontrola tlaku vzduchu. Jestliže jsou patrné známky výše zmíněného opotřebení je nutné změnit nastavení parametrů sbíhavosti a to na spodní hranici udávanou výrobcem.

Obr. 21 Diagonální opotřebení běhounu na podhuštěné pneumatice

2.1.4 Pilovité opotřebení běhounu

Pilovité opotřebení běhounu pneumatiky je doprovázené nepříjemným hlukem během jízdy. Je viditelným i slyšitelným jevem způsobeným účinkem mnoha rozdílných deformačních sil působících na běhoun. Zdrojem hluku jsou drážky a lamely, jež slouží k zajištění bezpečnosti na mokrých vozovkách. Zvláště pak u pneumatik nízkoprofilových je zapotřebí větší volný prostor v dezénu pro proudění vody na stopě, zatímco hydrodynamický tvar dezénu způsobí plynulý odvod vody ze stopy. Výsledkem jsou pak v rameni pneumatiky tzv. osamocené bloky. Dochází-li k odvalování pneumatiky po vozovce, může právě dojít k pilovitému opotřebení (obr. 22).

Při odvalování pneumatiky se jednotlivé bloky dezénu deformují. V kontaktu se odírají o vozovku a při opouštění kontaktní plochy se vrací zpět do původní velikosti s tím, že dochází k většímu oděru v místech konců bloků dezénu. Tento typ opotřebení se vyskytuje častěji na nehnané nápravě. Má-li být pneumatika i nadále používána za stejných podmínek, nesmí být zřetelné žádné zhoršení kvality vlastností pneumatiky, rozdíl výšky předních a zadních hran bloku nesmí tedy být větší než 0,8 mm [5].

Pneumatiky, které využívají hrubé bloky dezénu nebo drážky v rameni otevřené do stran, jsou obzvlášť náchylné k tomuto stupňovitému opotřebení a to pak převážně na nehnané nápravě. U bloků dezénu pak dochází ke znatelnějšímu opotřebení na zadní hraně než na přední (uvažováno vzhledem ke směru pohybu) což se při pohledu ze strany projeví jako pilovité opotřebení.

Výraznější znaky tohoto opotřebení pak poukazují na špatné provozní podmínky jako je nesprávné huštění pneumatik, špatné nastavení tlumičů či jejich stáří nebo příliš vysoké hodnoty sbíhavosti.

Obr. 22 Pilovité opotřebení běhounu pneumatiky

2.1.5 Opotřebení způsobené blokováním kola (místní)

Opotřebení způsobené blokováním kola je způsobené jízdou se zablokovanými koly, kdy pneumatika dře o vozovku a „gumuje“ či „driftuje“ (obr. 23 [13]). Při smýkání dochází k značnému vzniku třecího tepla, které snižuje odolnost materiálu proti oděru. Zvýšení odolnosti materiálu lze dosáhnout několika fázemi, nelze ale vytvořit směs běhounu zaručující plnou odolnost proti opotřebení vznikající během jízdy se zablokovanými koly [5].

Ke krátkodobému zablokování kol navíc dochází i u vozidel vybavených systémem ABS (protiblokový systém kol při brzděni) a i zde může dojít k menším oděrům pneumatiky. Stupeň úbytku materiálu závisí na typu a kvalitě vozovky, na hmotnosti samotnému vozu a přepravovaného nákladu a především na rychlosti, jakou se vozidlo pohybuje.

Obr. 23 Opotřebené pneumatiky po driftování [13]

Vliv rychlosti na opotřebení pneumatiky je patrný z tab. 2 [5], kde jsou uvedeny předpokládané hodnoty otěru kontaktní plochy pneumatiky v závislosti na rychlosti vozidla a jeho brzdné dráze, když je prudce zastaveno na suché vozovce se zablokovanými předními koly [5].

Tab. 2 Vliv rychlosti vozidla na hodnoty otěru pneumatiky [5]

Rychlost /km.hod/	Brzdná dráha /m/	Otěr pneumatiky /mm/
57	23,8	2,0
75	41,8	3,3
92	71,6	4,8

2.1.6 Opotřebení pneumatiky vlivem huštění

Správné huštění hraje jednu z nejdůležitějších rolí, neboť má vliv na hospodárnost provozu automobilu, životnost vozu, ovládání vozu a především na bezpečnost pasažérů. Proto výrobce stanovuje pro každý typ auta, v závislosti na podmínkách během jízdy a na zátěži, optimální hodnoty huštění pneumatiky.

Optimální doporučené hodnoty hustícího tlaku jsou pak uvedeny v manuálu nebo vyznačeny někde na vozidle, např. na středovém sloupku, popřípadě na víčku nádrže.

Nedostatečné huštění pneumatiky je jednou z nejběžnější příčinnou automobilových nehod, jelikož asi polovina řidičů jezdí na podhuštěných pneumatikách.

Jízda na podhuštěných pneumatikách má negativní vliv na [5]:

- jízdní vlastnosti
- směrovou stabilitu
- bezpečnost jízdy
- hospodárnost
- trvanlivost pneumatiky

Hustící tlak rovněž ovlivňuje sílu, kterou pneumatika přenáší na vozovku při zatáčení např. rychlé přejíždění mezi jízdními pruhy na podhuštěných pneumatikách může mít za následek ztrátu kontroly nad vozidlem. Neodpovídá-li huštění vezené zátěži, pneumatika se nadměrně prohýbá, stoupá její teplota a následně se zvyšuje její opotřebení i spotřeba paliva. Nadměrné teploty pak mohou vyústit do strukturálních poškození pneumatiky a výsledně do jejího selhání [5].

2.1.7 Opotřebení na podhuštěných pneumatikách

Opotřebení vzniká z důvodu nedostatečného huštění pro zátěž, kterou pneumatiky nesou. Charakteristickým znakem je pak změna barvy, zvrásnění a podélné trhliny v oblasti patky pláště, kde dochází ke tření pneumatiky s ramenem ráfku (obr. 24 [5]).

Během odvalovaní pneumatiky dochází mezi jednotlivými vrstvami materiálu ke vzniku smykového napětí, které při nadměrné zátěži nebo nedostatečném nahuštění způsobí odseparování jednotlivých vrstev. Poškození tohoto typu se projeví až v průběhu delší doby.

Obr. 24 Deformace penumatiky způsobené nízkým tlakem, boční a čelní pohled [5]

2.1.8 Snížení hustícího tlaku během jízdy

Snížení hustícího tlaku je velmi nepříjemný jev, jelikož snadno unikne pozornosti řidiče, zvláště pak při vysokých rychlostech, kdy působení odstředivých sil a zbytkového hustícího tlaku navozuje dojem dostatečně nahuštěné pneumatiky.

Následkem postupně se snižujícího hustícího tlaku se pneumatika více prohýbá a zahřívá. Zahřívání materiálu může dosáhnou takové míry, že je možná separace jednotlivých konstrukčních částí a navíc dochází k degradaci pryžových směsí [5]. Výsledkem je pak úplná deformace pneumatiky, při které jsou jednotlivé konstrukční prvky natolik narušeny, že nelze najít přesnou příčinu úniku hustícího tlaku.

Nejčastější příčinou, jenž má za následek tento typ opotřebení pneumatiky, je poškozený ventilek či zkorodovaný nebo netěsnící ráfek kola. Z hlediska bezpečnosti, zvláště u vysokorychlostních pneumatik, se nedoporučuje tyto poškozené pneumatiky opravovat a znovu zavádět do provozu.

2.1.9 Poškození vnějším vlivem

Poškození vnějším vlivem patří mezi další způsoby opotřebení pneumatik. Dochází k němu v důsledku agresivní nebo rychlé jízdy přes ostré a hranaté překážky, jako jsou např. propadliny na vozovce, hrany krajnice vozovky, zpomalovací prahy nebo obrubníky. Poškození tohoto typu se nejčastěji projevuje vyboulením na vnější části bočnice (obr. 25), kdy dojde vlivem nadměrného napínání k narušení kordových vláken a kord se pak na některých místech může i natrhnout. Celkový rozsah poškození je pak závislý na rozměru překážky a na úhlu nárazu. Pro omezení či vyloučení tohoto poškození pneumatiky je zapotřebí, aby řidič najížděl na podobné překážky v tupém úhlu a především nízkou rychlostí.

Obr. 25 Nevratné vyboulení při nájezdu na překážku

Mezi další charakteristická poškození vnějším vlivem patří:

Praskliny a trhliny vznikající při prudkém najetí na cizí předmět, např. trám (obr. 26 [10]).

Průpichy do bočnice způsobené silnými hřeby nebo ostrými železnými tyčemi.

Roztržení bočnice pneumatiky o cizí předmět, např. plech nebo kámen.

Obr. 26 Praskliny na bočnice pneumatiky [10]

2.1.10 Narušení patkového lana

Narušení patkového lana vzniká při huštění pneumatiky během montáže (obr. 27 [5]). Dojde přitom k situaci, že se patka vlivem přehuštění příliš natáhne a může pak dojít k natržení nebo přetržení některých nebo všech patkových lan. Hustící tlak potřebný k překonání okraje ráfku nesmí být proto vyšší než 300 kPa. Není-li možná montáž ani při tomto tlaku, musí se tlak snížit a musí se najít a odstranit příčina závady. Zpravidla není vnější poškození patkových lan patrné. Takové „skryté“ poškození pak brání pneumatice v pevném usazení na ráfku a mimořádně snižuje bezpečnost jízdy. Je rovněž nebezpečí, že poškozené lanko patky praskne během jízdy a vytvoří se tak trhlina v bočnici pneumatiky. Kostra pneumatiky je pak zničená [5].

Obr. 27 Přetržení patkového lanka [5]

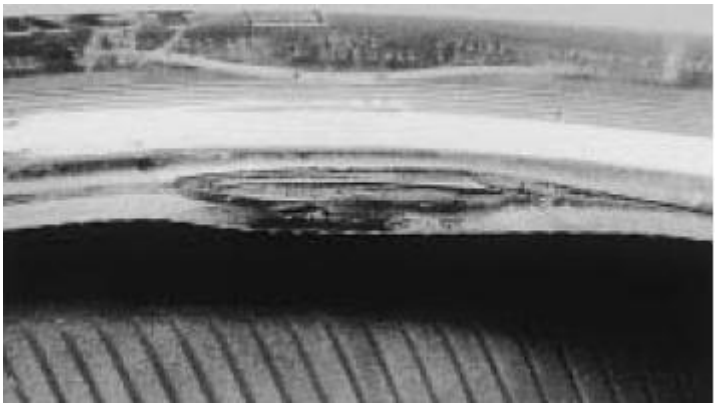
2.1.11 Poškození vzniklé při montáži

Poškození vzniklé montážním přístrojem (obr. 28 [5]). Obzvláště poškozená může být patka základny a to naříznutím nebo promáčknutím k patkovému lanku.

K takovému poškození může dojít v průběhu montáže horní patky v následujících případech[5]:

- protější patka není úplně nasazena do prohloubení ráfku
- montážní hlava stroje není správně nastavena nebo montážní hlava je opotřebovaná
- hrana montážních válečků vybíhá z dosedací plochy patky.

Známkou poškození je, že v místě poškození vodící válečky pravidelně sjíždí z pneumatiky. Pravděpodobnost poškození se zvyšuje, jsou-li používány opotřebované válečky s ostrými hranami. Obě patky i ramena ráfku musí být vždy natřeny montážní pastou [5].



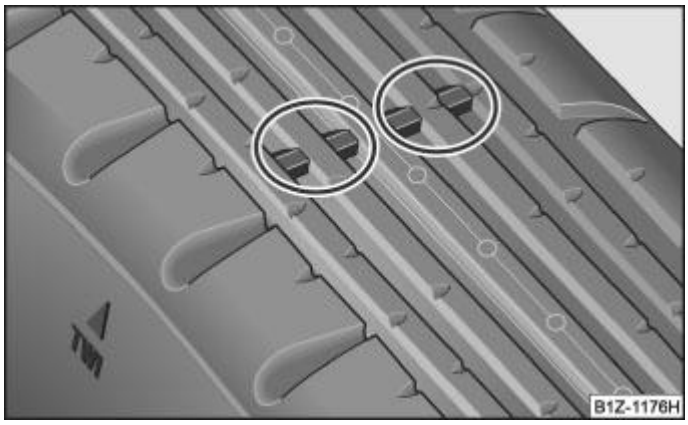
Obr. 28 Poškození patky během montáže [5]

2.2 Zvýšení životnosti pneumatiky

Zvýšení životnosti pneumatiky je možné pravidelnou kontrolou všech důležitých parametrů, jako jsou:

Hloubka dezénu je pro bezpečnou přilnavost nezbytná, je pěvně stanovená minimální hodnota hloubky dezénu, která podle zákona pro Českou republiku činí 1,6 mm v letním období a 4 mm pro zimní období. V ostatních zemích platí jiné hodnoty. Kontrola hloubky dezénu se provádí pomocí speciálních měřidel. Podmínkou je měření na všech čtyřech pneumatikách v každé hlavní drážce a to v nejméně dvou bodech podél samotné drážky. U novějších pneumatik se pro lepší měření využívají ukazatele opotřebení (obr. 29 [19]), jež jsou patrné pouhým okem, bez pomoci přídavných měřidel.

V dezénu pneumatik je napříč směru jejich otáčení rozmístěno v pravidelných odstupech 6 - 8 ukazatelů opotřebení pneumatik vysokých 1,6 mm. Poloha ukazatelů je na bocích pneumatiky označena písmeny “TWI”a trojúhelníkovým symbolem [19]. Jakmile má vzorek dezénu stejnou výšku jako ukazatel, pneumatika je sjetá.



Obr. 29 Drážky pneumatiky s ukazateli opotřebení [19]

Tlak v pneumatikách je další důležitá charakteristika nutná pro bezpečnou jízdu a pro hospodárnost provozu. Hodnoty správného tlaku jsou uvedeny v manuálu vozidla, případně na víčku nádrže paliva nebo na středovém sloupku. Správné hodnoty tlaku jsou pak jiné pro zadní a přední pneumatiky.

V současné době se pro huštění pneumatik kromě vzduchu využívají i jiné plyny, jako je například dusík. Výhodou je, že nezvětšuje při rostoucí teplotě svůj objem, tzn., že jsou pneumatiky nahuštěny na stejný tlak jak za studena, tak po zahřátí. Během jízdy pak nedochází k tak velkému úniku plynu jako v případě vzduchu. Tento faktor má příznivý vliv i na opotřebení a výdrž pneumatik. V případě potřeby lze dusíkem nahuštěné pneumatiky dohustit i vzduchem, nevýhodou je určité znehodnocení směsi

Kontrola tlaku se provádí:

- na všech pneumatikách
- na studených pneumatikách
- minimálně jednou do měsíce
- před dlouhými cestami
- při převážení nadměrného nákladu

Poškození způsobená špatnou geometrií, dlouhodobým podhuštěním nebo přehuštěním pneumatiky a špatným stavem silnic mohou výrazně zkrátit životnost pneumatik [6]. Podle doporučení firem je nutné pneumatiku starší víc jak 10 let, i bez vážnějšího poškození, vyměnit.

Při provozování pneumatik se pravidelně kontroluje:

- nerovnoměrnost opotřebení
- trhliny, zářezy nebo vyboulení
- poškození nárazem po drsném povrchu
- zachycené kamínky a jiné ostré předměty v pneumatice
- poškození ráfků
- stárnutí pneumatik vlivem vzdušného ozónu (obr. 30)

Obr. 30 Trhliny vzniklé dlouhodobým působením ozónu

Uskladnění pneumatik

Zahrnuje několik důležitých požadavků [6]:

- místnost pro skladování by měla být chladná, suchá a mírně větraná
- měla by být chráněna před slunečním zářením a silným umělým osvětlením
- teplota skladování by měla být nižší než 35 °C
- ve skladovacích prostorách by neměla být žádná zařízení produkující ozón
- ve skladovacích prostorách by neměla být žádná rozpouštědla, paliva, chemikálie, kyseliny, dezinfekční prostředky a podobné látky
- pneumatiky by měly být skladovány volně bez pnutí, tlaku nebo jiných zatížení, způsobujících deformace
- pro krátkodobé uložení mohou být pneumatiky skladovány vodorovně jedna na druhé. Pro dlouhodobé skladování by měly být pneumatiky uloženy svisle v jedné vrstvě v policích.

3 ZPRACOVÁNÍ OPOTŘEBENÝCH PNEUMATIK

Každá pneumatika má svoji životnost, a jelikož není možné neustále vytvářet další skladiště (obr. 31 [18]), je nutné řešit problém co s opotřebovanými pneumatikami. S použitým materiálem lze nakládat různými způsoby.

Podle stupně poškození rozdělujeme pneumatiky na opravitelné a neopravitelné. Ve většině případů se ale jedná o pneumatiky neopravitelné, které jsou natolik poškozené, že jediným řeším je jejich recyklování a následné využití materiálu pro jiné účely. Jediným způsobem jak obnovit pneumatiku je protektorování.

Obr. 31 Klasická ukázka skladiště opotřebovaných pneumatik [18]

3.1 Protektorování

Protektorování je proces, který umožňuje prodloužení životnosti pneumatiky. Protektor je tedy pneumatika obnovená. Aby mohla být pneumatika protektorována, musí splňovat patřičná kritéria.

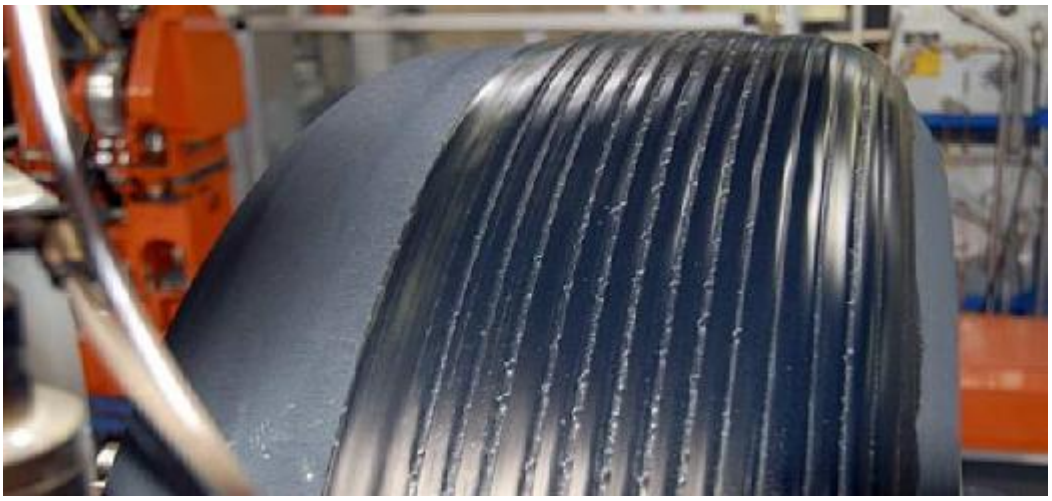
Základem je nepoškozená pneumatika, která je rovnoměrně opotřebená, neprotektorovaná a její minimální zůstatek vzorku je 1 mm. Stáří nesmí přesáhnout 5 let (záleží na požadavcích od výrobce).

Prvním krokem je důkladná kontrola poškození, stáří a celkového stavu. Následuje odstranění starého dezénu a bočnic s popisky. Pneumatika se obrousí na hladkou plochu, nanese se lepivý roztok na spojení a přilepí se nový nezvulkanizovaný materiál z kaučuku (obr. 32 [21]). Dalším krokem je opětovná vulkanizace. Materiál se protlačí do formy, odstraní se přetok a poté následuje opětovná kontrola.

Protektorování se provádí za tepla nebo za studena v lisu:

- za tepla probíhá vulkanizace nově naneseného materiálu (běhounová směs a u osobních pneumatik i bočnicová páska) v protektorovacím lisu při tlaku 1,3 - 1,7 MPa a teplotě cca 140 -145° C [24].

- za studena se na zdrásaný plášť pokládá již předvulkanizovaný běhoun a jeho spojení s pláštěm probíhá v autoklávu (přístroj, jenž je konstruovaný pro reakce probíhající za vysoké teploty a tlaku) při tlaku cca 0,450 – 0,500 MPa a teplotě cca 110 -115° C [24].



Obr. 32 Prstenec dezénu při protektorování pneumatiky [21]

Podle toho zda během protektorování dochází k opravě celého pláště nebo jen jeho části, rozlišujeme:

Protektor je plášť obnovený od ramene k rameni (pouze nový běhoun). Postup se využívá zejména při protektorování pneumatik pro nákladní automobily technologiemi "za studena" i "za tepla" [24].

Výhody a nevýhody protektorů [8]
+ cena protektoru je nižší, než cena nové pneumatiky,
+ nabízí přitom stejný kilometrový průběh jako pneumatika nová,
+ některé firmy nabízejí záruku až do úplného ojetí pneu,
+ v posledních letech prošlo protektorování značným technologickým pokrokem (výrazně se zlepšila kvalita vč. nabídky moderních dezénů),
+ jednoznačně se jedná o ekologické a ekonomické hledisko,
- nízká kvalita způsobená zastaralou výrobní technologií některých výrobců.

Celoprotektor - plášť obnovený od patky k patce (nový běhoun + nové bočnice). Postup se využívá zejména při protektorování pneumatik pro osobní automobily a pouze u technologie "za tepla"[24].

3.2 Úprava materiálu pro jiné využití

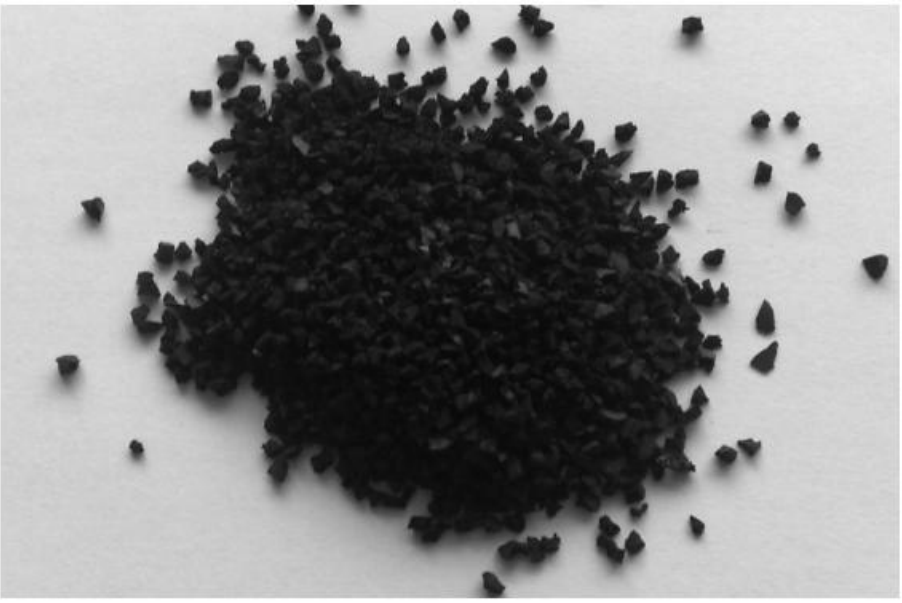
Aby bylo možné využít materiál neopravitelných pneumatik je nutná recyklace - proces, při kterém se znovu zpracovává již jednou použitý materiál, čímž se šetří obnovitelné i neobnovitelné zdroje. Obecně platí, že recyklace je podmíněna energetickou náročností. Cílem je tedy znovuzískání materiálu, ze kterého se pneumatika skládá, především pryžové směsi a kovového podílu. Mezi jednotlivé technologické procesy patří granulace, pyrolýza či rozklad pomocí ozonu.

Granulace je proces, při kterém dochází k rozsekání pneumatik. Výsledkem drcení a různé intenzity granulace je granulát (obr. 33) různých frakcí, textil a železný šrot. Jedná se o bezodpadovou technologii – všechny složky vzniklé touto činností jsou využitelné a stávají se cennou surovinou. Ocelové nárazníky běhounů plášťů pneumatik jsou postupnou granulací ve formě šrotu odděleny od ostatních částí pláště a spolu s ocelovými patními dráty nebo lany odebírány k dalšímu zpracování firmami, které se sběrem a recyklací železného šrotu zabývají. Separovaný textil se využívá do směsí se základním palivem, kterým je uhlí [29].

Systém pro rozsekání pneumatik se může rozčleňovat do několika stupňů podle toho, zda jsou potřeba kousky, odřezky, granulát nebo prach:

- předběžné rozsekání v sekacím stroji na menší neforemné kousky (obr. 34)
- granulace ve víceúčelovém drtícím zařízení
- jemná granulace (obr. 33)
- separování textilu a oceli

Počet a typy jednotlivých zařízení závisejí na požadované velikosti výstupní drti. Obvyklá kapacita celé technologie je 1 - 2 tuny výstupní drti za hodinu [27].



Obr. 33 Granulovaná směs

Gumový granulát se vyrábí v různých frakcích podle potřeb technologií, ve kterých se používá a ve kterých je gumový granulát nezastupitelnou složkou. Spektrum použití gumového granulátu je velmi široké a neustále se rozšiřuje sortiment výrobků z tohoto materiálu [29]. Příkladem využití mohou být povrchy sportovních hřišť v halách i venku, pružící materiál pro uměle zatravněná hřiště, různé podlahové povrchy, konstrukční prvky pro snížení hluku v dopravě nebo omezovače vibrací v průmyslových halách. Největší rozvoj je v oblasti silničního stavitelství, kdy se směs granulátu přidává do asfaltobetonových vrstev vozovky.

Obr. 34 Předběžné rozsekání v sekacím stroji

Pyrolýza je dalším způsobem recyklace, který pracuje na bázi štěpení makromolekul na malé molekuly, aniž by došlo k narušení vazeb mezi uhlíkem a vodíkem. Samotnou pyrolýzu je možno provádět několika metodami, které se liší transportem tepelné energie. Podle rychlosti předávání tepelné energie rozlišujeme pyrolýzu na krátkodobou a dlouhodobou.

Pro pyrolýzu ojetých pneumatik se využívá tzv. rotační bubnová pec. Při zvyšování teploty dochází k růstu plynných produktů a naopak klesá podíl uhlíkového zbytku a olejů.

Postup probíhá tak, že do vsázky se sesype rozdrcený plášť pneumatik o velikosti kousků do 10 cm. Následuje ohřátí na teplotu 600°C, při níž dojde k pyrolýze a rozdělení na složku kapalnou a složku pevnou, kterou tvoří saze. Dalším krokem je štěpení organických látek na stabilní plyny v oblasti teplot kolem 600-1200°C. Výsledným produktem je pyrolytický olej, pyrolytický koks a pyrolytický plyn, který vznikne kondenzací par organických látek.

Rozklad pomocí ozonu na jednotlivé druhy materiálů, je nejnovější metoda recyklace pneumatik. Z běžného provozu je známé, že ponechání pneumatiky na venkovním prostoru přispívá k rozkladu pneumatiky vlivem působení atmosférického ozonu. Z toho důvodu se k rozpadu pneumatik využívá vysoce koncentrovaný ozon.

Postup je takový, že se pneumatika vloží do ozonové komory, kde po působení vysoké koncentrace toho plynu, dojde k destrukci gumy. Na konečný produkt ve formě drtě či drobných kousků se opět aplikuje stejná metoda, po které zůstane už jen kovová kostra.

Velkou výhodou této metody, kterou využívá Jindřich Kysilka v Lanškrounu, je její nízká provozní cena. Zatímco mechanická technologie potřebuje příkon kolem 300 kW za hodinu příkonu, tato linka jen 40 kW. Pneumatiky se však musí před recyklací důsledně třídit na letní a zimní, na protektory či pneu po prvním použití, podle šířky a průměru. Jde o to, aby doba zdržení v ozónové atmosféře bylo u všech stejná. Plánovaná kapacita linky je 300 kg pneu za hodinu, což odpovídá rychlosti vsázky zhruba jedna pneumatika za minutu. Ozon pro linku se pak vyrábí z kapalného kyslíku [20].

Drť odpadávající z pneumatik se dále třídí na sítech. Lze ji použít do výrobků z recyklované gumy, jako jsou dlaždice, bazénové rohože nebo protihlukové stěny [20].

4 ZÁVĚR

Práce popisuje druhy opotřebení pneumatik, ke kterým dochází nesprávnou jízdou a špatně nastaveným vozidlem. V provozu se opotřebení pneumatik projeví několika způsoby, které výrazně snižují její životnost.

V důsledku stále větší produkce automobilů je zapotřebí řešit využití materiálu z pneumatik, jelikož pneumatika nemá pro dnešní dobu vhodnou alternativu v oblasti tlumení vibrací. Nelze ji tedy nahradit žádným zařízením nebo mechanismem, který by splňoval podobné požadavky. Vhodným řešením je protektorování, které se neustále zdokonaluje a granulace pro využití ve stavebních podnicích.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] DOČKAL, KOVANDA, HRUBEC: Pneumatiky, Vydavatelství ČVUT, Praha 1998. 71 s. ISBN: 80-01-01882-2.

[2] MARCÍN, ZÍTEK: Pneumatiky, Nakladatelství technické literatury, Praha 1985. 492 s.

[3] McMURRY JOHN: Organická chemie, VUTIUM, Brno 2007 a Vysoká škola chemicko-technologická, Praha 2007

[4] Časopis Plasty a Kaučuk ročník 2010 číslo 1-2, Fakulta technologická, UTB ve Zlíně

[5] Příručka Continental Poškození penuamtik a jejich příčiny,Continental AG Büttnerstraße, 25D-30165 Hannover

[6] www.1stop.cz [26.3.2011]

[7] www.aukro.cz [1.4.2011]

[8] www.auto2.lidovky.cz [5.2.2011]

[9] www.barum-pneu.cz [6.3.2011]

[10] www.bmw-sg.com [16.3.2011]

[11] www.cgi.ebay.com [10.4.2011]

[12] www.cs.autolexicon.ne [8.3.2011]

[13] www.files.driftinjapan.com [6.4.2011]

[14] www.ford-focus.cz [15.3.2011]

[15] www.hankookpneu.cz [15.3.2011]

[16] www.infobarrel.com [9.2.2011]

[17] www.maxxis.com [15.3.2011]

[18] www.moderniobec.ihned.cz [20.2.2011]

[19] www.new.skoda-auto.com [18.2.2011]

[20] www.odpady.ihned.cz [6.4.2011]

[21] www.pah.sk [11.3.2011]

[22] www.pneu-asistent.cz [6.3.2011]

[23] www.pneu-jenda.cz [11.3.2011]

[24] www.pneu-komplex.cz [11.3.2011]

[25] www.pneucentrum.cz [19.2.2011]

[26] www.pneurevue.cz [11.3.2011]

[27] www.poziadavka.sk [24.2.2011]

[28] www.vossost.cz [28.3.2011]

[29] www.vscht.cz [5.4.2011]

[30] www.web.ft.utb.cz [7.4.2011]

[31] www.youtube.com [22.3.2011]

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vzduchová hadice [23]
Obr. 2 Pneumatika s plochým běhounem a vzorkem, počátek 20.století [11]
Obr. 3 Pneumatika od společnosti Goodyear, rok 1963 [11]
Obr. 4 Pneumatika pro osobní automobily [15] (upravený)
Obr. 5 Diagonální plášť pneumatiky [15]
Obr. 6 Radiální plášť pneumatiky [15]
Obr. 7 Základní prvky struktury pláště pneumatiky [16] (upravený)
Obr. 8 Běhoun pneumatiky
Obr. 9 Detailní pohled na patní lanko (nalevo) a patní pásek (napravo) [28]
Obr. 10 Základní rozměry pneumatiky
Obr. 11 Symetrický tvar dezénu [7]
Obr. 12 Směrový tvar dezénu [7]
Obr. 13 Asymetrický tvar dezénu [7]
Obr. 14 Asymetrický směrový tvar dezénu, vzorek Michelin rallye [7]
Obr. 15 Značení pneumatiky [22] (upravený)
Obr. 16 Proces výroby pneumatiky [17] (upravený)
Obr. 17 Forma pro vulkanizační proces [31]
Obr. 18 Druhy sbíhavosti kol u osobního auta [5]
Obr. 19 Jednostranné opotřebení pneumatiky
Obr. 20 Opotřebení běhounu ve středové části, při použití na vysoce výkonná osobní auta
Obr. 21 Diagonální opotřebení běhounu na podhuštěné pneumatice
Obr. 22 Pilovité opotřebení běhounu pneumatiky
Obr. 23 Opotřebené pneumatiky po driftování [13]
Obr. 24 Deformace penumatiky způsobené nízkým tlakem, boční a čelní pohled [5]
Obr. 25 Nevratné vyboulení při nájezdu na překážku
Obr. 26 Praskliny na bočnice pneumatiky [10]
Obr.27 Přetržení patkového lanka [5]
Obr. 28 Poškození patky během montáže [5]
Obr. 29 Drážky pneumatiky s ukazateli opotřebení [19]
Obr. 30 Trhliny vzniklé dlouhodobým působením ozónu
Obr. 31 Klasická ukázka skladiště opotřebovaných pneumatik [18]
Obr. 32 Prstenec dezénu při protektorování pneumatiky [21]
Obr. 33 Granulovaná směs
Obr. 34 Předběžné rozsekání v sekacím stroji

7 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Součásti pneumatiky [1].

Tab. 2 Vliv rychlosti vozidla na hodnoty otěru pneumatiky [5]