

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru

Martin Hušek

Diplomová práce

2018

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Hušek**
Osobní číslo: **D16355**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Zkoušení pneumatik
Popis aktuálního stavu dynamického adhezoru
Možnosti a požadavky na dovybavení a úpravy stroje
Návrh úprav částí stroje a jeho dovybavení
Zhodnocení zvoleného technického řešení

Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**

Rozsah pracovní zprávy: **50 - 60 stran textu a přílohy**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

DUKKIPATI, Rao V. Road vehicle dynamics: problems and solutions. Warrendale: SAE International, 2010. ISBN 978-0-7680-2051-9.

KRMELA, Jan. Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I.: [System approach to computational modelling of tyres - I. part]. Brno: Tribun EU, 2008. ISBN 978-80-7399-365-8.

VLK, František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzdné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, řiditelnost a ovladatelnost, životní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

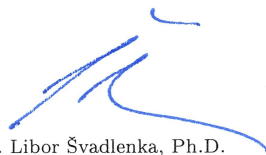
NĚMEC, Jindřich. Odporové tenzometry v praxi. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1967.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Pokorný, Ph.D.**

Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**



doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.



Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. února 2018

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne

Martin Hušek

Poděkování

Děkuji Ing. Janu Pokornému Ph.D. za odborné vedení a dalším vědeckým pracovníkům Dopravní fakulty Jana Pernera za spolupráci. Poděkování patří též celé mé rodině za trpělivost a podporu během studia.

Název práce: Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru

Autor: Martin Hušek

Anotace: Práce je zaměřena na vylepšení stávajícího dynamického adhezoru pro zkoušení pneumatik osobních automobilů. Obsahuje teoretickou část o vozidlovém kole, zkoušení pneumatik a historickém vývoji. V praktické části je popsáno vlastní měření na dynamickém adhezoru, postup při měření valivého odporu, dovybavení a úpravy stroje.

Klíčová slova: pneumatika, automobilové kolo, zkoušení pneumatik, dynamický adhezor, valivý odpor

Title: Proposal of modification and retrofitting of Drum Tire Testing Machine

Author: Martin Hušek

Annotation: This master thesis is focused on improvement of an existing drum tire testing machine for car tires testing. The paper includes a theoretical part which discusses car wheel, tire testing, and wheel evolution over the years. The practical part describes own measurements on the drum tire testing machine, the process of rolling resistance measurement, retrofitting and machine adjustment.

Keywords: tire, car wheel, tire testing, drum tire testing machine, rolling resistance

Obsah

Úvod	9
1 Pneumatiky, kola	10
1.1 Historie	10
1.2 Funkce	12
1.3 Konstrukce	14
1.3.1 Plášť pneumatiky	16
1.3.2 Dělení podle konstrukce	17
1.3.3 Značení plášťů	18
1.3.4 Vozidlová kola	21
1.3.5 Ráfky	22
2 Zkoušení pneumatik	23
2.1 Silniční zkoušky	24
2.2 Laboratorní zkoušky	25
2.2.1 Statické zkoušky	25
2.2.2 Dynamické zkoušky	26
2.3 Vyvažování	28
2.3.1 Druhy nevyváženosti	28
2.3.2 Stabilní vyvažovačka	29
2.3.3 Mobilní vyvažovačka	30
3 Popis aktuálního stavu dynamického adheзору	31
3.1 Popis zařízení	31
3.2 Vlastní měření	34
4 Možnosti a požadavky na dovybavení a úpravy stroje	39
4.1 Měření valivého odporu	39
4.1.1 Požadavky a postup zkoušky	40
5 Návrh úprav částí stroje a jeho dovybavení	45
5.1 Kontrola a údržba stroje	45
5.2 Úchylkoměr	45
5.3 Úprava rozsahu přítlačné síly	46
5.4 Manometr	46
5.5 Teploměr	47
5.6 Měření přítlačné síly	48

5.6.1	Snímač sil	48
5.6.2	Úprava stroje pro zástavbu snímače	49
5.7	Natočení měřícího ramene	51
5.7.1	Fixace základní polohy	51
5.7.2	Přesnost natočení	52
5.8	Měření rychlosti otáčení	52
5.9	Měření příkonu elektromotoru	53
5.10	Zpracování signálu	54
5.11	Kuličkový šroub	55
5.12	Překážky	56
5.12.1	Lichoběžníková překážka	56
5.12.2	Obdélníková překážka	57
6	Zhodnocení zvoleného technického řešení	58
	Závěr	60
	Seznam použité literatury	61
	Seznam obrázků a tabulek	63
	Seznam symbolů	65
	Příloha A. Výkresová dokumentace příruby snímače sil	66
	Příloha B. Výkresová dokumentace lichoběžníkové překážky	67
	Příloha C. Výkresová dokumentace obdélníkové překážky	68

Úvod

Pneumatiky jsou nedílnou součástí silničních vozidel stejně jako osobní automobily našeho života. Mnozí jezdí automobily každý den a jediné části, které spojují vozidlo s vozovkou, jsou právě pneumatiky. Jejich rozmanité vlastnosti, funkce a uplatnění jsou nenahraditelné.

Práce je věnována úpravám a dovybavení dynamického adhezoru pro zkoušení pneumatik osobních automobilů, který se nachází ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě. V teoretické části budou popsány jednotlivé části kol a pneumatik. Pneumatiky budou popsány z pohledu jejich historického vývoje, funkcí které plní, požadavků na ně kladených, popisu jednotlivých částí až po různé způsoby zkoušení pneumatik jako celku.

Ve třetí části bude popsáno vlastní měření, z kterého vyplyne řada poznatků a závěrů. Zjištěné poznatky budou přehledně znázorněny ve formě grafu a tabulek. Následuje část s požadavky na vylepšení a úpravy stroje, které zahrnují i možnost měření valivého odporu, včetně návodu jak jej měřit.

Výrazná část práce bude zaměřená na dovybavení a úpravy stroje. Bude postupováno od jednoduchých úkonů údržby až po zásahy do konstrukce adhezoru. Veškerá uvedená vylepšení budou zaměřena na co nejsnazší provedení s výrazným zkvalitněním měření. Vylepšení jsou věnována jak dynamickému adhezoru tak i stavu podmínek měřené pneumatiky jako je její tlak huštění, házivosti měřícího ráfku až po teploty běhounu či vzduchu.

Pro dynamický adhezor bude navrženo řešení se snímačem sil mezi posuvným ramenem a hydraulickým válcem a dva typy překážek vhodných pro životnostní zkoušky nebo porovnání se simulacemi. V poslední části práce dojde ke shrnutí doporučených úprav a vylepšení. Budou popsány výhody a důvody konkrétních řešení. Úplný konec doplní tři výkresy pro možnost uskutečnění daných úprav.

1. Pneumatiky, kola

Pneumatiky patří mezi základní součásti celého silničního vozidla. Nesou hmotnost vozidla, posádky a nákladu, podílí se na odpružení, přenáší silové a momentové působení mezi vozovkou a vozidlem. Zároveň při provozu silničního vozidla dochází k jejich opotřebování, degradaci materiálů a působení na okolí. Mnoho rozličných požadavků vede na nutnost komplexního vyhodnocování nejrůznějších parametrů pneumatik.

Každé vylepšení s sebou nese různé změny parametrů pneumatik a na odbornících je určovat správný směr vývoje. Proto je nutné pneumatiky důkladně testovat, porovnávat a vhodně aplikovat jednotlivé verze. V současnosti emisní normy neúprosně snižují limity pevných částic, které vypouští spalovací motory do ovzduší. Pneumatiky neemitují pouze hluk, ale i otěrové částice pryže a pohlcují značnou část motorem vynaložené energie na odvalování. Můžeme tedy předpokládat, že normy a směrnice v budoucnu jasně definují pravidla i v této oblasti.

1.1 Historie

S vývojem pneumatik je neoddělitelně spjat i vývoj celého kola. Kolo vynalezli Sumerové více než 3 tisíce let před Kristem. Tento objev umožnil snazší přepravu těžkého nákladu, protože vynaložená práce na valení kola a tření v čepu je mnohonásobně menší než u smykového tření. Vynález se rozšířil po celém světě a s postupem času byl vylepšován. Plné dřevěné kolo bylo nahrazené loukoťovým, povrch byl osazen ocelovou obručí, ale stále se odvalovalo tuhé kolo po tuhé vozovce.

Zásadní vylepšení přišlo až v roce 1845, kdy si Skot Robert William Thomson nechal patentovat Aerial Wheel (obrázek 1.1). Doslovný český překlad je vzdušné kolo. Skládalo se z tenké pryžové trubky naplněné vzduchem a na povrchu překryté kůží připevněnou k ráfku. Bylo určeno pro kočáry, ale z důvodu nákladné výroby a nedostatečné životnosti neuspělo.

Další skotský vynálezce John Boyd Dunlop s vylepšenou pneumatikou plněnou vzduchem prorazil. Výsledkem jeho bádání byla pneumatika pro jízdní kolo jako prevence před bolestmi na nerovných silnicích. V roce 1890 byla již hromadně vyráběna v továrně v Belfastu. Pět let poté Andre Michelin modifikoval pneumatiku pro použití na automobilech. S patentem na bezdušovou pneumatiku přišel v roce 1903 Paul Litchfield, její rozmach přišel až o padesát let později. Paradoxně klasickou pneumatiku s oddělenou duší a pláštěm

objevil Phillip Strauss o 8 let později. Více o počátcích pneumatik plněných vzduchem naleznete ve článku Kurta Ernsta [1].

U prvních automobilů byly používány celopryžové obruče umístěné na ocelovém kole. Celopryžovou pneumatiku si nechal patentovat Thomas Hancock v roce 1846. Postupně byla zpevňována výztužnými materiály, ale průlom znamenala až Straussova pneumatika. Díky vyztužujícím prvkům byl plášť dostatečně pevný pro použití u automobilů. Nejprve jednoduché výstužné materiály byly nahrazovány kordovými tkaninami z lnu. Len byl nahrazován bavlnou, regenerovanou celulosou až po dnes používané kordy z oceli a polyesteru. Zajímavostí jistě je, že pryžová kola byla poprvé opatřena vzorkem až v roce 1904. Při tom ocelové výstupky pro lepší záběr se vyskytovaly na parních oračkách.



Obrázek 1.1: Aerial Wheel (zdroj [1])

Další významný milník přišel po 2. světové válce, kdy firma Michelin přišla s radiální konstrukcí pláště a také se prosadilo bezdušové provedení. Radiální konstrukce přinesla značné vylepšení jízdních vlastností a životnosti. Vývoj stále pokračuje používáním lepších materiálů, nižších profilů, nanostruktur atd., ale stále se jedná o radiální bezdušovou pneumatiku. Některé snahy firem vedly směrem k odstranění vzduchu z pneumatiky, tedy nahrazení tlakové nádoby za pružnou konstrukci. S tímto řešením se můžeme zatím setkat výhradně ve vývoji a studiích. Podrobněji o historii v publikaci Pneumatiky [2].

1.2 Funkce

Pneumatiky jsou jedinými částmi spojující silniční vozidlo s vozovkou, jejich účelem je tedy plnit řadu funkcí po celou dobu užívání.

Hlavní funkce jsou:

Valivý pohyb Základní pohyb umožňující jízdu vozidla. Valivý pohyb se skládá z rotačního a posuvného. Pól pohybu není pevně daný, při ideálním valení leží v průsečíku svislé osy kola s vozovkou, při prokluzu se posouvá nad tento bod a při smýkání pod.

Nesení zátěže Pneumatika nese veškerá zatížení připadající na dané kolo, které jsou řádově větší než její vlastní hmotnost. Musí být dostatečnou oporou, jak při statickém zatížení stojícího vozidla, tak i při dynamických dějích během jízdy.

Vedení směru Protože vozidla nejezdí pouze rovně a působí na ně boční síly, je nezbytné, aby vozidlo drželo směr daný řízením za rozmanitých podmínek počasí a stavu vozovky. Úroveň, jakou jsou plněny tyto požadavky, se odráží ve schopnosti držet zvolenou stopu a stabilitě vozidla.

Tlumení Pneumatiky také slouží jako část odpružení vozidla. Částečně nebo i zcela pohltí náraz způsobený přejezdem nerovnosti. Zvyšují životnost celého vozidla a zlepšují komfort jízdy, proto není potřeba složitějšího dvojitého odpružení jako u kolejových vozidel. Vhodné tlumení je však podmíněno správným tlakem nahuštění všech kol vozidla.

Přenos sil Aby se vozidlo dalo vůbec do pohybu, je potřeba přenést řadu silových účinků z podvěsu vozidla na vozovku. Pneumatika tedy přenáší od základních trakčních a brzdných sil až po vratné momenty.

Požadavky, které by měla splňovat pneumatika, jsou tvořeny z pohledu funkce, legislativy, vozidla, uživatele, ostatních účastníků provozu, ekologie a ekonomických nákladů. Můžeme je shrnout do následujících bodů:

1. *schopnost nést určitou zátěž,*
2. *schopnost tlumit nárazy,*
3. *přenášet hnací a brzdné síly,*
4. *vyvíjet boční síly,*
5. *vyznačovat se dobrou adhezí k vozovce za různých podmínek,*

6. *být rozměrově stabilní,*
7. *umožňovat přiměřený tzv. kilometrový výkon,*
8. *reagovat na řízení,*
9. *klást minimální valivý odpor,*
10. *vyvíjet co nejméně hluku a vibrací,*
11. *mít celkově dlouhou životnost,*
12. *přispívat k bezpečnosti provozu,*
13. *mít minimální hmotnost.*

Výše uvedené body z publikace [2] bych dále doplnil o:

14. nízkou ekologickou zátěž,
15. vysokou spolehlivost,
16. snadnou montáž,
17. přiměřené ekonomické náklady.

Uvedené požadavky nejsou nijak systematicky seřazeny podle významnosti, ale jsou spolu úzce provázány. Některé body je vhodné blíže specifikovat a ujasnit jejich povahu.

Ad 1. Nosnost pneumatiky není konstantní hodnota daná pouze nosnostním indexem, závisí na tlaku huštění, odklonu kol a rychlosti vozidla. Pokud vozidlo provozujeme až do maximální rychlosti dané pneumatikami, jejich maximální nosnost klesá až na 85 % hodnoty dané indexem nosnosti. Naopak při provozu do 60 km/h lze nosnost překročit, více ve značení pláštů 1.3.3.

Ad 5. Adheze k jednotlivým druhům povrchu určuje použití pneumatik. Není vhodné rozlišovat pouze letní a zimní typ. Nelze vyrobit běhoun, který má výborné vlastnosti při vysokých teplotách na suché vozovce a zároveň i při nižších teplotách a silné vrstvě vody. Proto můžeme u vozů formule 1 vidět několik typů pneumatik do suchých a mokrých podmínek. Je vhodné vybírat pláště podle doporučení výrobce vozidla, nezávislých testů, s přihlédnutím na podmínky provozu a ekonomickou rentabilitu.

Ad 12. Pneumatiky mají výrazný vliv i na bezpečnost provozu. Většinu z nás napadne krátká brzdná vzdálenost, jenž závisí na adhezi běhounu s vozovkou, ale toto je až krajní situace. K bezpečné jízdě pneumatiky přispívají hlavně dobře čitelným a nezáhludným chováním v celém spektru provozu, tedy i v krajních situacích při překročení maximální adheze.

Ad 14. S ekologií je spjat celý život pneumatik. Na celý životní cyklus je potřeba velké množství energie, na výrobu, přepravu, provoz a likvidaci. Největší část připadá na provoz, proto „zelené“ automobily používají speciální pneumatiky se sníženým odporem valení. Zapomínat by se nemělo ani na obnovu pneumatik a tím opětovného zavedení do provozu. Mezi další vlivy působící na okolí patří při provozu vzniklý hluk a vibrace, uvolněné částice a teplo.

1.3 Konstrukce

Nejprve je potřebné zopakovat, co je pneumatika. Definic pneumatiky můžeme nalézt mnoho: v normách, odborných publikacích až po směrnice Evropského parlamentu. Jedná se o plášť namontovaný na ráfku a naplněný nejčastěji vzduchem. Tyto dvě části budou probrány dále. Výsledný tvar je toroid, tedy dutý uzavřený prstenec. Dříve byl průřez pneumatiky velmi blízký kružnici, ale s tím se v dnešní době setkáme už jen u pneumatik zemědělských strojů nebo jízdních kol. Z důvodu lepšího vedení, stability nebo konstrukce jsou pneumatiky výrazně zploštělé až do tvaru průřezu obdélníku, například pro závodní vozidla.

Plynná náplň pneumatiky je povětšinou vzduch, ale pro lepší stálost vnitřního tlaku se vzduch nahrazuje dusíkem. Nejčastěji se s tímto řešením setkáme u sportovních nebo závodních vozidel. Tlak plynu funguje jako v uzavřené tenkostěnné tlakové nádobě a výrazně zvyšuje její tuhost. Správný tlak má zásadní vliv na vlastnosti pneumatik, respektive celého vozidla.

Podhuštěné pneumatiky nedrží stopu danou řízením, opotřebovávají více krajní části běhounu a zvyšují spotřebu paliva. Přehuštěné odskakují na nerovnostech, snižují komfort jízdy, opotřebovávají střední část běhounu, mají výrazně horší vlastnosti na mokré nebo zasněžené vozovce, ale mírně snižují spotřebu paliva. Proto se u osobních automobilů setkáváme s rozdílnými tlaky huštění kol v řádu desetin baru na jednotlivých nápravách. Orientaci ve správném tlaku huštění zjednodušují štítky s vyobrazením vozu, doplněné tabulkou s piktogramy dle obsazení vozu. Tyto štítky povětšinou nalezneme na víčku nádrže nebo sloupku předních dveří, podobnou tabulku také jistě objevíme v uživatelské příručce.

Tekutý tmel může být doplňkovou náplní, která zaceluje drobné trhliny a netěsná místa. Hlavními výhodami jsou samovolné zacelení defektu s minimálním poklesem tlaku a varování řidiče ke kontrole výraznou barvou tmelu v defektním místě.

Ventil je další nezbytnou součástí, která zajišťuje udržení tlaku v pneumatice. Dále slouží k plnění nebo vypouštění vnitřního media. V případě bezdušového provedení je

kovové tělo ventilku obaleno těsnicí gumou, která zasedne do ráfku. U dušového provedení je ventil součástí duše. V současné době je ventil navíc vybaven čidlem ke kontrole tlaku. V případě poklesu tlaku pod dovolenou mez řídicí jednotka upozorní řidiče rozsvícením varovné kontrolky na přístrojové desce.

Duše je pryžový toroid schopný se přizpůsobit vnitřnímu tvaru ráfku a pláště. Vyrábí se z různých materiálů s rozdílnými tloušťkami stěny zesílené v oblasti ventilu. Nalezneme proto od silných butylových duší o tloušťce stěny až 4 mm u pracovních čtyřkolek až po vysoce pružné a tenké latexové u silničních jízdních kol. U osobních vozidel se s duší nesetkáme. Výjimku tvoří historická vozidla, která je z konstrukčních důvodů potřebují. Duše tedy nalezneme u obtížně utěsnitelných konstrukcí, například u dělených ráfků, drátových kol nebo netěsných typů pláštů.

Ochranná vložka slouží k ochraně duše na ráfku, proto ji nalezneme vždy u pneumatik vybavených duší. Jedná se o pryžový prstenec, který zamezuje styku duše s hranami a výraznými tvarovými přechody. V těchto místech by mohlo dojít k protržení, tedy defektu celé pneumatiky. Ochrannou vložku nalezneme u drátových kol nebo dělených ráfků.

Těsnicí vložku můžeme považovat za modifikaci duše. Svým tvarem připomíná část ochranné vložky, ale nachází se pouze ve spoji. Je vyrobená z podobných materiálů jako duše, aby dobře utěsnila místa, kde by mohlo docházet k úniku tlaku. Význam těsnicí vložky je v odbourání nutnosti použít duši u dělených plochých nebo půlených ráfků.

Rozpěrný kruh nalezneme u pneumatik s nízkými provozními tlaky pro speciální využití. Při nízkém tlaku uvnitř běžné pneumatiky může docházet k protáčení nebo roztěsnění pláště na ráfku. Rozpěrný kruh tlačí patky pláště na ráfek a tím kompenzuje velikost přitlačné síly i při nižších provozních tlacích. Stejného efektu lze docílit použitím více stejných nebo silnějších patních lan.

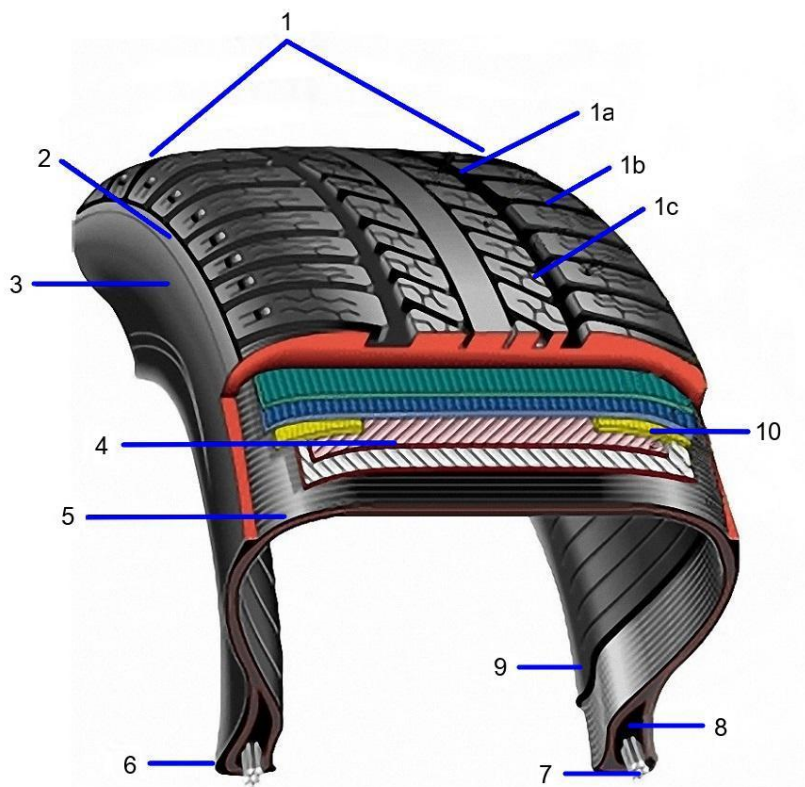
Podpůrný prstenec je méně známá a zřídka používaná součást. Jak již z názvu vyplývá, jedná se o prstenec, který zpevňuje pneumatiku při výrazné deformaci například po defektu se ztrátou tlaku pod 70 kPa. Umožňuje řidiči nouzové dojetí za snížené rychlosti. Výhodou je vyšší komfort jízdy na nekvalitním podkladu oproti pneumatikám se zesílenou bočnicí pro nouzové dojetí. Více o problematice dojezdových pneumatik najdete v publikaci prof. Vlka [3].

Vyvažovací závaží je nezbytnou součástí sloužící k statickému a dynamickému vyvážení kola. Parazitní síly způsobené nevyvážeností kola zvyšují zatížení podvěsu a snižují komfort jízdy a životnost namáhaných částí. Proto se snažíme kola vyvažovat co nejpřesněji, běžně se setkáme se závažím o hmotnosti pouhých 2,5 g. Vyvažování je vhodné několikrát za životnost pneumatiky opakovat.

Základní dva druhy jsou natloukáací a nalepovací závaží. Natloukáací závaží se montuje na okraj ráfku použitím pružného plechového držáku a lze ho použít opakovaně. Nalepovací závaží slouží pouze na jedno použití, lze jej s výhodou použít po celé ploše a tím nenarušit estetický ráz celého kola.

1.3.1 Plášť pneumatiky

U každého pláště můžeme rozlišovat čtyři hlavní části a to korunu, rameno, bok a patku. Koruna je vrchní část pláště, přechází ramenem na bok, který v nejnižší části přechází na patku. Tyto části vyznačují jednotlivé oblasti, ale o konstrukci nám mnoho neřeknou. Více o struktuře vypovídá obrázek 1.2, jeho části jsou dále popsány.



Obrázek 1.2: Konstrukce pláště pneumatiky (1 – běhoun, 1a – obvodová drážka, 1b – příčná drážka, 1c – lamely, 2 – boční klínek, 3 – bočnice, 4 – nárazníky, 5 – kostra, 6 – patní guma, 7 – patní lano, 8 – jádro, 9 – vnitřní guma, 10 – ramenní výplň; zdroj [4])

Běhoun pneumatiky je pryžová vnější část pneumatiky, která se dostává do kontaktu s vozovkou. Do běhounu je vytvarován dezén pro lepší přenos sil a lepší schopnost odvádět vodu. Rozdíl mezi letní a zimní pneumatikou je v chemickém složení běhounu a typu dezénu. Zimní dezén je opatřen množstvím lamel a pryží, která si udržuje své

specifické vlastnosti i za velmi nízkých teplot. Chemické složení běhounu má zásadní vliv na adhezi k různým povrchům, rychlosti opotřebení atd. Často se používá na běhoun více druhů směsí. V ideálním případě dochází k rovnoměrnému opotřebení po celé šířce, dobré adhezi při průjezdu zatáčkou atd.

Nárazník je velmi odolná pevná část pláště nacházející se pod běhounem. Kromě kostry je další částí, která zpevňuje pneumatiku, zlepšuje jízdní vlastnosti, přenos sil a rovnoměrnost opotřebení. Nárazníků se používá dva nebo více na sobě, vždy proložených pryží. Konkrétní provedení je dáno konstrukcí pláště a jeho určením. Na obrázku 1.2 nalezneme dva ocelové a dva polyamidové nárazníky.

Kostra je část pneumatiky skládající se z kordových vložek. Kordové vložky jsou pásy textilních vláken ovinuté přes patní lana, sloužící jako výztuhy pryže. Přenáší síly z běhounu na patku pláště a naopak. Vlastnosti kostry jsou dány umístěním jednotlivých vložek. Rozlišujeme základní tři druhy: diagonální, diagonální s nárazníkovým pásem a radiální.

Bočnice chrání kostru před poškozením. Musí odolávat povětrnostním vlivům, mechanickému působení a zároveň být dostatečně pružná. U pneumatik typu run-flat je zvýšená tuhost bočnice za účelem nouzového dojetí při defektu.

Boční klínek tvoří přechodovou část mezi běhounem a bočnicí. Spojuje dvě části s různými vlastnostmi a rozdílnou funkcí.

Ramenní výplň je vrstva pryže, která zlepšuje životnost a tuhost pneumatiky při působení bočních sil.

Patní guma slouží k přenášení silových účinků mezi pláštěm a ráfkem. Použitá pryž má vysokou houževnatost, aby vydržela působící tlak a neporušila se při montáži.

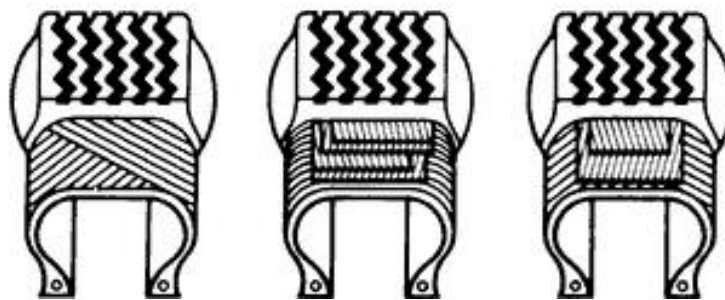
Patní lano je ocelové lano s vysokou pevností. Vyztužuje patku pláště a jsou k němu připevněny kordové vložky.

Jádro vyplňuje prostor nad patním lanem a mezi vložkami kostry. Přispívá k vyztužení patky.

Vnitřní guma je vrstva pryže nanesená na vnitřní stranu pláště. Má funkci utěsnit pneumatiku místo dříve používané duše.

1.3.2 Dělení podle konstrukce

Podle konstrukce kostry a nárazníku pláště rozlišujeme následující tři druhy pneumatik (obrázek 1.3).



Obrázek 1.3: Konstrukce kostry pláště (zleva diagonální, radiální a diagonální s nárazníkovým pásem; zdroj [5])

Diagonální plášť má kostru vyrobenou z párů kordových pásů se střídavým umístěním s úhlem 30° až 40° k podélné rovině symetrie. Sudý počet vložek respektive jednotlivé páry mají za účel, aby tuhost pneumatiky byla symetrická podle roviny souměrnosti. S diagonální konstrukcí se setkáme u užitkových silničních vozidel, viz [6].

Diagonální s nárazníkovým pásem tvoří mezistupeň mezi diagonální a radiální konstrukcí. Kordová vlákna se kříží pod úhlem větším než 60° a kostra je vyztužena nárazníkovým pásem z více vrstev střídavě umístěným pod úhlem menším než 25° . Pneumatika osazená takovýmto pláštěm má nižší valivý odpor, větší odolnost proti defektu a lepší kilometrový výkon. Tato konstrukce též nazývaná bias-belted byla vynalezena americkými výrobci v roce 1967 jako reakce na nenaplnitelnou poptávku po radiálních pneumatikách, viz [2].

Radiální plášť nemá kordová vlákna křížená a jsou přibližně kolmá na podélnou rovinu symetrie. Jako u plášťů bias-belted zde kostru překrývá nárazník s úhlem křížení 15° až 30° . Boční část pláště je měkčí a tím je nižší i valivý odpor. Radiální pneumatiky využívá naprostá většina osobních automobilů. Výroba radiálních plášťů klade vyšší nároky na přesnost a použité technologie. Můžeme se například setkat se špatně umístěnými nárazníky, které mají při jízdě podobný efekt jako špatně seřízená geometrie.

1.3.3 Značení plášťů

Po obvodu bočnice celého pláště je vyobrazeno mnoho písmen, čísel, značek a symbolů, od podstatných údajů až po interní kódy výrobce. Konkrétní požadavky na značení plášťů obsahuje směrnice EHK 030 [7]. Nejdůležitější údaje nalezneme v označení velikosti pneumatiky.

Například pro zvolenou pneumatiku **165/70 R 14 81 T**, obecně B/p R d LI SI. Uvedené označení udává postupně zleva: šířka pneumatiky v milimetrech B , profilové číslo

p , radiální konstrukce kostry R (diagonální – D, diagonální s nárazníkovým pásem – B), průměr ráfku v palcích d , index nosnosti LI (load index), kategorie rychlosti SI (speed index, případně SS – speed symbol).

Z označení velikosti si můžeme podle vzorce 1.1 spočítat jmenovitý poloměr pneumatiky v milimetrech.

$$r_j = 25,4 \cdot \frac{d}{2} + B \cdot \frac{p}{100} \quad (1.1)$$

V konstrukci se setkáme s několika poloměry pneumatiky, které je potřeba rozlišovat a správně chápat.

- **Jmenovitý poloměr** r_j je teoretická hodnota nezátížené nerotující a správně nahuštěné pneumatiky.
- **Volný poloměr** r_0 je opět u nezátížené, nerotující a správně nahuštěné pneumatiky, ale se zohledněním odchylek výroby a opotřebení.
- **Statický poloměr** r_s je u zatížené, nerotující pneumatiky se zohledněním odchylek výroby a opotřebení.
- **Dynamický poloměr** r_d je při odvalování zatížené pneumatiky se zohledněním odchylek výroby a opotřebení.

Profilové číslo udává poměr výšky a šířky pneumatiky, výsledná hodnota je v procentech. S postupem času se u osobních vozidel tento poměr stále snižuje. Nízkoprofilové pneumatiky lépe drží směr, mají vyšší přilnavost, ale snižují pohodlí a často i únosnost. V dnešní době ani jedna nevýhoda není problematická. Běžně se setkáme s vyztuženými pneumatikami a aktivními tlumiči nebo vzduchovým podvozkem, které komfort jízdy výrazně zvyšují bez snížení užitných vlastností.

Index nosnosti (LI)	50	60	70	80	90	100	110	120
Nosnost [kg]	190	250	335	450	600	800	1060	1400

Tabulka 1.4: Přehled nosnostních indexů

Nosnostní index udává maximální provozní nosnost pneumatiky do maximální rychlosti podle kategorie za předepsaného huštění. Pneumatiky jsou vyráběny v mnoha rozměrech a pro každý rozměr je určen jeden nebo více indexů nosnosti. Základní přehled nosností podle indexů nalezneme v tabulce 1.4. Kompletní tabulku nalezneme v předpisu EHK 030 [7]. Například velmi běžná pneumatika o rozměru 195/65 R15 se vyskytuje

s nosnostním indexem 91 a 94. Hodnotu danou výrobcem automobilu v technickém listu musíme dodržet, případně můžeme použít pneumatiky s indexem vyšším.

U kategorie V a vyšších není možné dosáhnout plné rychlosti při maximálním zatížení. V praxi vozidlo s pneumatikami kategorie W do 270 km/h může využít maximální nosnost do rychlosti 240 km/h, odpovídající o třídu nižší kategorii. Pro maximální dovolenou rychlost dle kategorie klesá nosnost až na 85 % maximální přípustné hodnoty LI, dle tabulek EHK 030 [7]. Ve směrnici je též dovolené překročení maximální přípustné nosnosti pro rychlosti do 60 km/h, opět dané dle tabulky. U pneumatik použitelných i ve dvojmontáži se setkáme s indexem ve tvaru například 101/94, kdy první údaj odpovídá jednoduché a druhý při dvojité montáži.

Kategorie (SI, SS)	Q	R	S	T	H	V	W	Y	ZR
Rychlost [km/h]	160	170	180	190	210	240	270	300	>300

Tabulka 1.5: Přehled rychlostních kategorií

Kategorie rychlosti udává maximální přípustnou provozní rychlost. Přehled používaných indexů u osobních automobilů nalezneme v tabulce 1.5.

Další značení:

- **Tubeless** – bezdušové provedení.
- **Tube type** – provedení s duší.
- Indikátor opotřebení TWI, kde nalezneme kontrolní náliček v běhounu pro rychlou kontrolu hloubky dezénu. Vyskytují se ve dvou velikostech pro minimální hloubku zimního dezénu 4 mm a letního 1,6 mm.
- Datum výroby udává týden a rok vyrobení.
- Homologační znak země E8 xx xxx (E8 pro Českou republiku) a číslo homologace.
- Reinforced RF nebo Extra load XL zesílená pneumatika.
- M+S – bláto a sníh z anglického mud and snow.

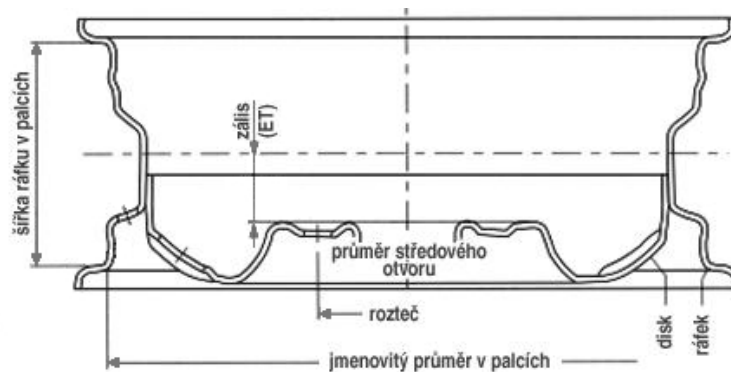
Další informace o značení, požadavcích na velikost písma a umístění naleznete ve směrnici EHK 030 [7] a publikaci prof. Vlka [3].

1.3.4 Vozidlová kola

Kolo tvoří celek pneumatiky, ráfku a střední nosné části. Na vozidle je připevněno k hlavě kola kolovými šrouby. Středění dosedacích ploch na náboji kola zajišťuje středový otvor kola nebo dosedací plochy šroubů, případně podložek. U osobních automobilů se setkáme s jedním kolem na jedné hlavě kola. U nákladních vozidel se často pro zvýšení únosnosti vyskytuje podvojný počet kol, lidově dvojmontáže.

Vozidlové kolo můžeme dělit na ráfek a střední nosnou část. Podle druhu střední nosné konstrukce rozdělujeme kola na disková, paprsková, hvězdicová a drátová. Nejpožívanější jsou ocelová disková kola, kde ráfek a disk tvoří nerozebíratelný celek, často překrytý ozdobnými kryty kol. Disk je část kola, která se připevňuje k hlavě kola. Dále se velmi často setkáváme s paprskovými litými koly, u kterých ráfek a disk spojují paprsky, odlišných z jednoho kusu tzv. monobloku.

Protože se nejčastěji setkáme s diskovým kolem, je vhodné na něm popsat několik hlavních rozměrů, viz obrázek 1.6.



Obrázek 1.6: Řez diskovým kolem (zdroj [8])

Počet, tvar, velikosti otvorů a roztečné kružnice spolu s průměrem středového otvoru tvoří nepřehlednou možnost kombinací. Z jedné strany musí plnit konstrukční požadavky. Z druhé se jedná o užitečný nástroj pro jednotlivé automobilky, z pohledu funkčního, ekonomického a estetického. Zamezí se tím používání kol určených pro jiný koncern, z levnějších modelů na dražší nebo používaných na předchozích modelech. Jedinou výhodou můžeme spatřit v poměrně dobře regulované obměně kol, omezení překračování technické a morální životnosti.

Další neméně důležitý je zális, což je vzdálenost dosedací plochy disku ke středové rovině kola. Rozlišujeme zális kladný a záporný, kde kladný posouvá dosedací plochu disku vůči ráfku vně.

1.3.5 Ráfky

Ráfek tvoří základní součást každého vozidlového kola. Vyrábí se z ocelí nebo hliníkových slitin. Ráfek plní mnoho funkcí. Mezi hlavní patří upevnění pneumatiky, zamezení proti jejímu proklouznutí nebo sesmýknutí, přenos sil mezi pneumatikou a střední nosnou částí.

Ráfky můžeme různě dělit. Podle tvaru na symetrické a nesymetrické. Dále podle tvaru na ploché, prohloubené a půlené. Mezi další dělení patří na celistvé a vícedílné. Vícedílné lze rozdělit na příčné nebo podélně dělené.

Nejběžnější prohloubený ráfek se v příčném řezu dá rozdělit do tří částí a to opěrných, dosedacích a prohloubení. Opěrné plochy slouží jako boční dorazy pro pneumatiku a zakončuje je vhodně tvarovaný okraj pro snazší montáž pláště bez poškození. Skloněné dosedací plochy zajišťují dostatečně pevné spojení pneumatiky s ráfkem a prohloubení ráfku umožňuje montáž pláště na celistvý ráfek. Mezi dosedací plochou a prohloubením nalezneme ještě obvodový hrbolek, neboli hump, který je nedílnou součástí bezpečnostních bezdušových ráfků.

Pro lepší představu o tvaru běžných ocelových ráfků poslouží dříve uvedený obrázek 1.6. Vyobrazený disk má asymetrické prohloubení a dvojici bezpečnostních humpů. Sklon dosedacích ploch je u ráfků osobních automobilů přibližně 5° a u nákladních 15°. V prohloubení ráfku nalezneme otvor pro ventil, který je zde dobře chráněn před mechanickým poškozením.

Značení ráfků slouží k rychlé orientaci v základních rozměrech. Například označení ráfku pro osobní automobily **5 J x 14 H2** systematicky zleva označuje: 5 – šířka ráfku v palcích, J – tvar okraje ráfku, x – jednodílný ráfek, 14 – průměr ráfku v palcích, H2 – druh humpu (oboustranný hump), S – pro symetrické provedení. U plochých ráfků dělených na více částí se „x“ nahrazuje „-“, dále se setkáme s různými profily a tvary okrajů ráfků. Více o problematice naleznete v publikaci prof. Vlka [3].

2. Zkoušení pneumatik

V předcházející části 1 byla probrána historie a konstrukce celého vozidlového kola. Po bližším seznámení s vývojem a konstrukční složitostí jistě každý z nás pochopil význam a nutnost zkoušení pneumatik. Jsou vyrobeny z mnoha rozdílných materiálů, jen druhů použité pryže je celá řada. O kvalitě výsledného spojení materiálů a technologií nelze jinak objektivně rozhodnout než komplexním, důkladným a dlouhodobým testováním.

Zkoušení spojuje znalosti z mnoha oborů: matematiky, fyziky, mechaniky, elektrotechniky, chemie atd. S různými typy zkoušek se setkáme v celém životním cyklu výrobku.

Výzkumné zkoušení probíhá na pracovištích výzkumných ústavů a vysokých škol. Slouží především k ověřování teoretických poznatků v praxi, řešení vědeckých problémů a prohlubování znalostí problematiky. Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice pro tyto účely využívá Výukové a výzkumné centrum v dopravě.

Zkoušení v etapě vývoje zahrnuje testování mnoha variant s různými technologickými postupy. Aby se zkrátil čas vývoje nové nebo upravené pneumatiky, tak se ve velké míře využívá virtuální vývoj. Virtuální modelování ulehčuje úpravy, výběr mezi více variantami, různé testování atd. Je však nutné si uvědomit, že model vždy odpovídá jen kvalitě dat do něj vložených. Vyrobené kusy musí být podrobeny nejrůznějším zkouškám k ověření výsledků simulace.

Zkoušení v etapě výroby zajišťuje udržení kvality dodávaných materiálů, polotovarů až po hotový produkt. Výstupní kontrola u pneumatik zahrnuje kontroly těsnosti, rozměrů, nevyváženosti atd. Každá společnost si nastavuje kontroly sama pro splnění shody s udělenou homologací a vlastních požadavků na kvalitu výroby.

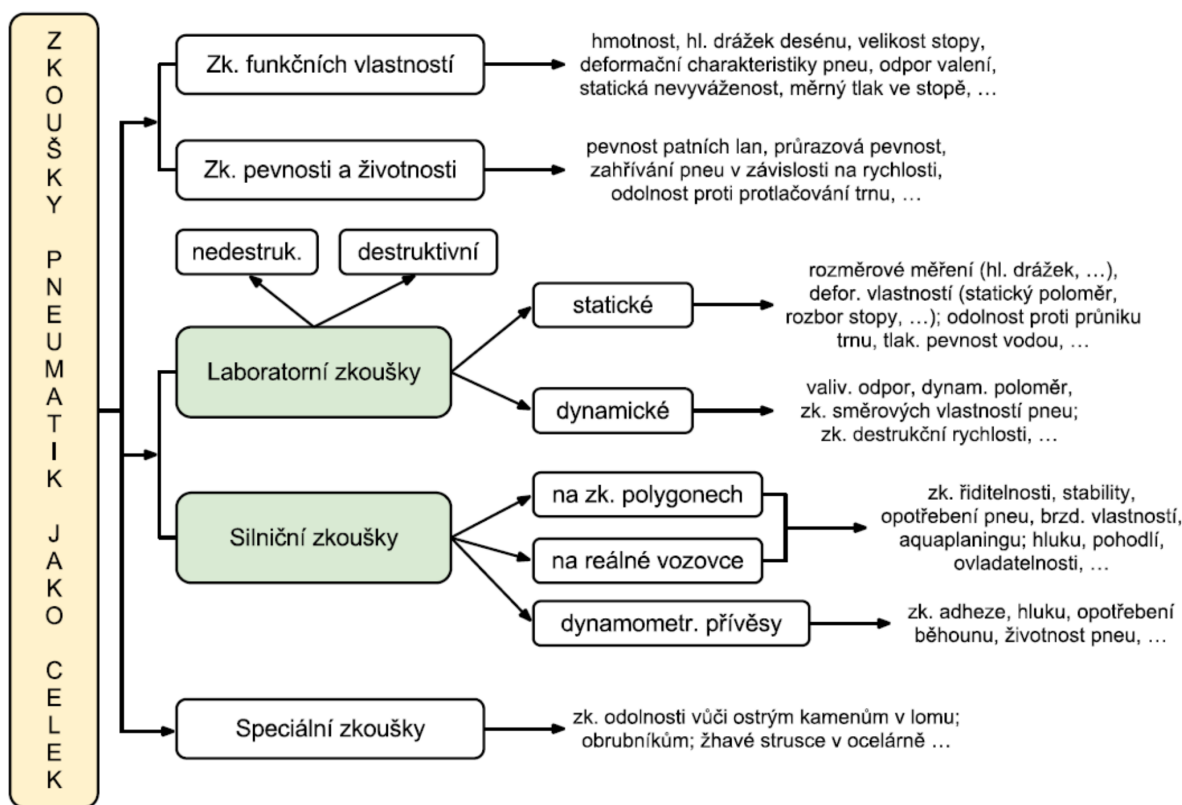
Zkoušení v etapě provozu souvisí s dozorovou činností státu a pravidelných kontrolách uživatele. Každý uživatel by měl alespoň jednou měsíčně vizuálně kontrolovat stav pneumatiky, hloubku dezénu a tlak huštění. Během každoročních výměn zimních kol za letní a naopak je vhodné opětovné vyvážení.

Zkoušení v etapě likvidace poskytuje zpětnou vazbu výrobcí o bezpečnosti, životnosti, stavu jednotlivých částí, možnostech obnovení nebo recyklace.

Legislativa ovlivňuje celý životní cyklus pneumatiky. Při vývoji probíhají povinné homologační zkoušky, ve výrobě kontroly shody a během provozu pravidelné kontroly STK nebo náhodné prováděné policií. Životní cyklus uzavírá ekologická likvidace státem pověřenými subjekty. Více o zkoušení silničních vozidel a legislativním rámci se dočtete v publikaci [9].

Zkoušení pneumatik můžeme rozdělit na dvě oblasti, zkoušky pneumatiky jako celku, viz dělení v obrázku 2.1, a vybraných částí. Vybrané části jsou buď účelově oddělené kusy pneumatiky nebo části, z kterých se vyrábí: kordy, pryže, patní lana atd.

Z vybraných částí se testují například pevnosti patních lan, nárazníků, pryží, kordových vložek nebo výřezů koruny pláště. Kromě pevnosti se části testují z pohledu životnosti, chemické odolnosti atd.



Obrázek 2.1: Zkoušky pneumatiky jako celek (zdroj [6])

Z hlavního dělení se nejprve budeme věnovat silničním zkouškám a poté laboratorním, na které je tato práce více zaměřena. Vždy je důležité si uvědomit, že pneumatika je namontována na vozidlovém kole. Ať se jedná o diskové nebo paprskové kolo, vždy má nějaké vlastnosti. Proto je nutné používat vozidlová kola se známými parametry.

2.1 Silniční zkoušky

Pneumatiky se zkouší jako celek objektivními i subjektivními metodami, například ovladatelnost automobilu s konkrétními pneumatikami. Silniční zkoušky provádí speciálně proškolení řidiči přímo na testovacích vozidlech nebo pomocí speciálních tzv. dynamometrických přívěsů. Dynamometrický přívěs je přípojné zařízení k měření směrových,

skluzových a dalších charakteristik, hluku atd. Výhodou jsou jasně definované působící síly na přívěs a zkoušenou pneumatiku.

Výraznou nevýhodou měření mimo laboratoře jsou klimatické podmínky. Změny teplot, rychlosti proudění vzduchu, vlhkosti, případně srážky. Dalším hůře popsatelem faktorem je vozovka. Na reálných vozovkách narazíme na různé povrchy, v rozdílném stavu, často s nerovnostmi, a na všech je nezbytné zkoušet. Naopak na polygonech jsou úseky s přesně definovaným povrchem vozovky pro reprodukovatelnost a porovnatelnost měření. Z výše uvedeného vyplývá, že pro vypovídající komplexní výsledky se pneumatiky musí testovat v celé škále podmínek po celém světě až za hranice provozuschopnosti.

Mezi silniční zkoušky můžeme zahrnout zkoušky životnosti, opotřebení běhounu, přílnavost, ovladatelnost, brzdných vlastností, hluku, pohodlí atd. Subjektivní zkoušky se hodnotí podle pocitů řidičů z vyplněných dotazníků, které například zohledňují podmínky, vozidlo a stav pneumatik.

2.2 Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky, jak z názvu vyplývá, probíhají v laboratořích za daných podmínek s vysokou reprodukovatelností a opakovatelností zkoušek. Jsou zde odbourány nechtěné klimatické vlivy, nečistoty a naopak s velkou přesností jde konkrétní podmínky zajistit. Laboratorní zkoušky můžeme dělit na statické a dynamické nebo na destruktivní a nedestruktivní. Mezi laboratorní zkoušky patří zkoušení vybraných částí pneumatiky.

2.2.1 Statické zkoušky

U statických zkoušek nedochází k pohybu nebo rychlé změně. Děj je statický nebo se velmi pomalu mění tzv. kvazistatické zkoušky. Zkouškami zjišťujeme: radiální, boční, obvodové a směrové tuhosti, tuhost patek, rozměry (vnější průměr, šířka), hloubka dezénu, hmotnost, otisk kontaktních ploch, měrný tlak ve stykové ploše, volný a statický poloměr, těsnost, chemická odolnost atd.

Všechny předchozí zkoušky jsou nedestruktivní, ale i u statických zkoušek nalezneme destruktivní. Jedná se o tlakovou zkoušku vodou a protlačování trnu. Podrobněji v publikaci Zkoušení a diagnostika motorových vozidel [10].

Ke statickému testování slouží statický adhezor. Toto zařízení umožňuje zatěžovat pneumatiky v různých směrech, bez možnosti otočení. Hlavní zatížení je v radiálním směru, posuvem dosedací desky vůči kolu můžeme působit boční nebo tečnou sílu. Měříme

radiální, boční a obvodové tuhosti pneumatik a statické poloměry kol. Při natření běhounu barvou a umístění papíru na dosedací desku získáme otisk běhounu. Takto snadno zjistíme velikost stykové plochy. Dále můžeme mezi plášť a desku vložit tlakocitlivou folii a podle probarvení určíme velikost tlaku ve stykové ploše.

Hlavní parametry, které u statického adhezoru ovlivníme, jsou působící síly, tlak huštění a tvar dosedací plochy na desce. Více se o statických adhezorech dozvíte v diplomové práci ing. Kuglera [11]. Konkrétní statický adhezor SA-1 od společnosti VÚB a.s. Ústí nad Orlicí zachycený na obrázku 2.2 nalezneme v laboratoři VVCD Univerzity Pardubice.



Obrázek 2.2: Statický adhezor v laboratoři VVCD

2.2.2 Dynamické zkoušky

Dynamické zkoušky jsou prováděny za pohybu pneumatiky. Mají zásadní význam a nabízí porovnání s pneumatikami v běžném provozu. Mezi tyto zkoušky řadíme: měření skluzových charakteristik, dynamického poloměru, házivosti, zahřívání pneumatiky, odpor valení, hluku, dynamické radiální tuhosti a útlumu, odolnost proti sesmeknutí patky, směrové charakteristiky, zkouška rychlosti, zkouška životnosti a opotřebení.

Pro měření skluzových charakteristik musí být možné pneumatiku brzdit. Některé zkoušky mohou být prováděny jako destruktivní. Například zkoušky rychlosti nebo životnosti a opotřebení, kdy zkouška končí až po vzniku poruchy.

Většinu zkoušek je možné provádět na tzv. dynamických adhezorech. Jedná se o zařízení, které má speciální plochu pro odvalování pneumatiky. Nejčastěji se setkáme s bubnovou zkušebnou, u které se pneumatika odvaluje po vnějším průměru bubnu. U bubnové zkušebny se pneumatika může odvalovat i po vnitřním průměru, tato zařízení jsou ale výrazně větší. Hlavní nevýhodou bubnu je zakřivení stykové plochy, proto se setkáme také s pásovými zkušebnami.

Společným konstrukčním prvkem zkušebních zařízení je posuvné rameno s nábojem, na který se připevní kolo. Posuvem ramene zatěžujeme pneumatiku. Celé rameno lze natočit a odklonit, abychom mohli vyvodit silové účinky jako na vozidle. Důležité je nezapomenout na povrch testovacího zařízení. Hladké ocelové válce mají výrazně nižší součinitel adheze než vozovka z asfaltu nebo betonu.

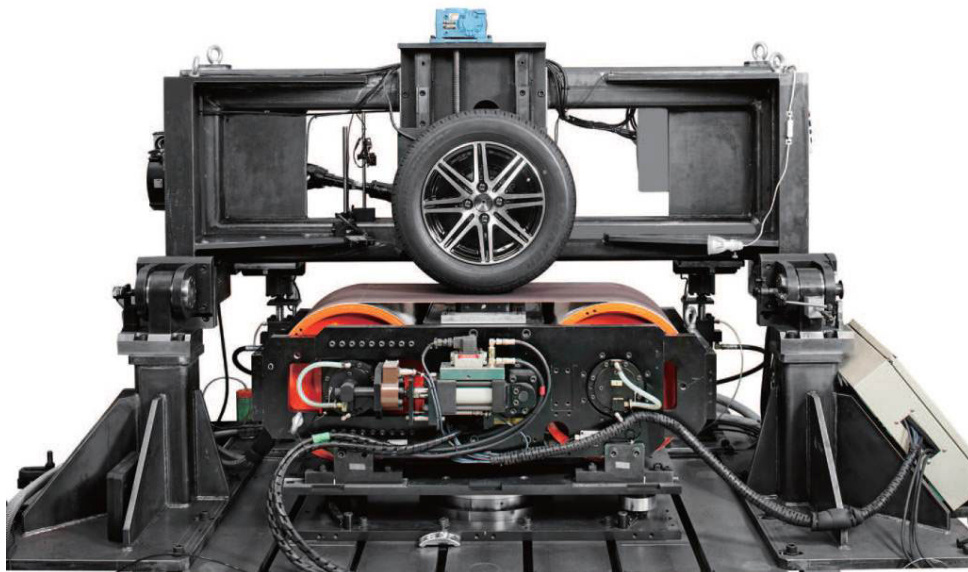
Základními měřeními veličinami jsou obvodová rychlost, posuv ramene (deformace pneumatiky) a přítlačná síla. Měření působících sil a momentů probíhá ve speciálně konstruovaném náboji kola nebo měřícím prvkem na rameni. Dále je možné měřit otáčky pneumatiky, tlak v pneumatice, teploty, hluk atd.

Dynamické adhezory vyrábí nespočet firem po celém světě. Tato zařízení jsou nezbytná při vývoji a homologaci nových pneumatik, pro vědecké účely, k ověřování současných konstrukcí a shody výroby. Mezi výrobce válcových zařízení patří Altracon, All Well Industry Co., Ltd, Tianjin Jiurong Wheel Tech Co., Ltd, Testing Service GmbH, A&D Technology atd. Pásové zkušebny vyrábí A&D Technology, Testing Service GmbH a další. Velké nadnárodní společnosti jako například Michelin používají řadu upravených nebo vlastních zkušebních strojů, výpočtových modelů a nadstaveb programů.

Válcová zkušebna bude popsána v následující části 3, proto zde bude uveden příklad pásového typu. K nalezení dalších informací poslouží dříve zmiňovaná učebnice prof. Vlka [10] nebo internetové stránky společností zmíněných v předchozím odstavci. Na obrázku 2.3 můžeme vidět Flat Belt Tire Test Machine od společnosti A&D Technology, v překladu plochý pásový stroj pro testování pneumatik.

Vybrané zařízení dokáže pneumatiku zatěžovat maximální silou F_x a $F_y \pm 6,6$ kN a F_z 12 kN, dále dokáže vyvodit momenty $M_x, M_y, M_z \pm 4$ kNm. Přesnost zatěžování je $\pm 0,1$ % z maximální hodnoty. Maximální rychlost pásu je omezena na 200 km/h. Přesnost měřené rychlosti je $\pm 0,18$ km/h bez zatížení až $\pm 0,5$ km/h při maximálním zatížení. Maximální rychlost je omezena maximálními otáčkami kola na 1 750 rpm.

Rychlost vertikálního posuvu je omezena na 300 mm s maximální frekvencí 30 Hz a výškou posuvu ± 50 mm. Zařízení umožňuje natáčet pneumatiku až o $\pm 20^\circ$ s maximální rychlostí změny $50^\circ/\text{s}$ a měnit úhel odklonu a příklonu až na $\pm 15^\circ$ s rychlostí změny $5^\circ/\text{s}$ a přesností $\pm 0,03^\circ$. Více o uvedeném zařízení lze naléznout na stránkách výrobce [12].



Obrázek 2.3: Flat Belt Tire Test Machine (zdroj [12])

2.3 Vyvažování

Vyvažování kol je nezbytný proces, jak před laboratorním měřením, tak před provozem vozidla. Na celkovém nevyvážení kola se podílí pneumatika, vozidlové kolo, náboj, brzdový kotouč nebo buben a kolové šrouby. Všechny tyto části jsou k sobě pevně namontované a již vhodným natočením při montáži můžeme výrazně ovlivnit velikost a polohy nevyvážek. Některé součásti jsou často vyvážené již z výroby nebo vliv nevyvážení je velmi malý jako náboj, brzdový buben nebo kotouč a kolové šrouby.

U pláštů a vozidlových kol se během výroby nevyváženost kontroluje spolu s dalšími parametry. Při překročení určité hranice nevyváženosti dochází k vytrídění daných kusů. Některé kusy mohou být repasovány a v případech podezření na vážnější materiálovou nebo technologickou vadu jdou k likvidaci.

2.3.1 Druhy nevyváženosti

Důsledkem nevyvážek je nerovnoměrné působení odstředivých sil při rotaci kola. Vliv těchto sil roste s druhou mocninou úhlové rychlosti, tedy v závislosti na rychlosti otáčení kol. Rozlišujeme statickou a dynamickou nevyváženost. Nevyvážení se projevuje vibracemi, které můžeme rozdělit na kmitání a třepání kol.

Statické nevyvážení je následkem nevyvážek v rovině souměrnosti kola. Při uvolnění takto nevyváženého kola na ose dojde k natočení, kdy nejtěžší místo je v nejnižším bodě. Vlivem nerovnoměrné odstředivé síly pulzují radiální reakce a síly přenášené do zavěšení, kde dochází ke střídavému odlehčování a přitěžování. Projevuje se na vozidle

svislým kmitáním, protože v podélném směru je kolo na vozidle uloženo výrazně pevněji než ve svislém. Výsledkem je cyklické propuzování zavěšení, které připomíná jízdu po nerovné vozovce s frekvencí otáčení daného kola.

Dynamické nevyvážení je následkem nevyvážků, které leží mimo rovinu souměrnosti kola. Nerovnoměrná odstředivá síla působí na rameni k rovině souměrnosti a vyvoluje tak moment. Projevuje se třepetáním kol. Třepetání je pohyb, při kterém se celé kolo natáčí okolo středu. Na vozidle se tento pohyb, respektive silové účinky, projeví na řídicí nápravě jako vibrace do řízení. Ve svislém směru je projev špatně zjistitelný, z důvodů konstrukce zavěšení kol.

Statická a dynamická nevyváženost poškozuje vozidlo, ačkoli nemusí být vždy citelná pro řidiče a posádku snížením komfortu jízdy. Silové účinky především snižují bezpečnost, životnost podvěsu i celého vozidla a způsobují rychlejší nerovnoměrné opotřebení běhounů pneumatik.

Vyvážení se provádí na speciálních zařízeních zvaných vyvažovačky. Na kolo se pak přesně umístí závaží o vypočítaných hodnotách, která eliminují nevyvážky. Více o vyvažovacích závažích bylo zmíněno v části 1.3.

2.3.2 Stabilní vyvažovačka

Stabilní vyvažovačky slouží k vyvážení kola demontovaného z vozidla, se kterými se setkáme v každém pneuservisu. Kolo se umístí na horizontální hřídel, kde je vystředěno na kužel přes středový otvor. Zařízení kolo roztočí a měří síly v závislosti na natočení kola. Poté proběhne výpočet a na monitoru se ukáží pozice a hmotnosti závaží. Pro přesnější umístění vyvažovacího závaží může být zařízení vybaveno směrovaným světlem. Podle prof. Vlka [10] je možné při otočení a opětovném upnutí kola na kužel vyvažovačky naměřit nevyvážek 15 gramů.

Některé vyvažovačky jsou vybaveny samokalibrací, aby byla minimalizovaná hmotnost závaží. Princip je založen na dvou měřeních, u druhého se natočí pneumatika vůči ráfku. Nakonec se natočí plášť o úhel, kdy je nejnižší nevyvážek a proběhne běžné vyvážení. Nevýhodou je pracnost vypuštění vzduchu a huštění a natáčení pneumatiky na ráfku. Proces je tedy zdlouhavější. V důsledku zvyšování přesnosti výroby se metoda nevyplácí, protože i bez jejího použití je hmotnost závaží nízká.

2.3.3 Mobilní vyvažovačka

Mobilní vyvažovačky, nebo-li finishbalancer, slouží k přesnému dovyvážení kola na vozidle. Kolo musí být nejprve vyváženo na stabilní vyvažovačce. Nevýváženost namontovaného kola vychází z přesnosti stabilní vyvažovačky, montáže kola na náboj a vyváženosti dalších rotačních částí. Zařízení dovyváží kolo podle aktuálního upevnění spolu s kolovými šrouby, rotačními částmi brzdy, náboje, případně hnacích hřídelů a kloubů.

Dovyvážení kola mobilní vyvažovačkou je náročnější a zdlouhavější než klasické vyvážení. Je nutné nadzvednout kolo a pod rameno zavěšení kola umístit snímač síly, který bude měřit průběh zatížení. Dále se na bočnici pláště umístí značka pro definování polohy. Samotné zařízení je vybaveno hnacím kotoučem pro roztočení kola, a snímačem referenční značky pro měření natočení kola. Pro dynamické dovyvážení je nezbytný snímač síly v konstrukci zařízení nebo další snímač například pod kulovým nebo rejdrovým čepem.

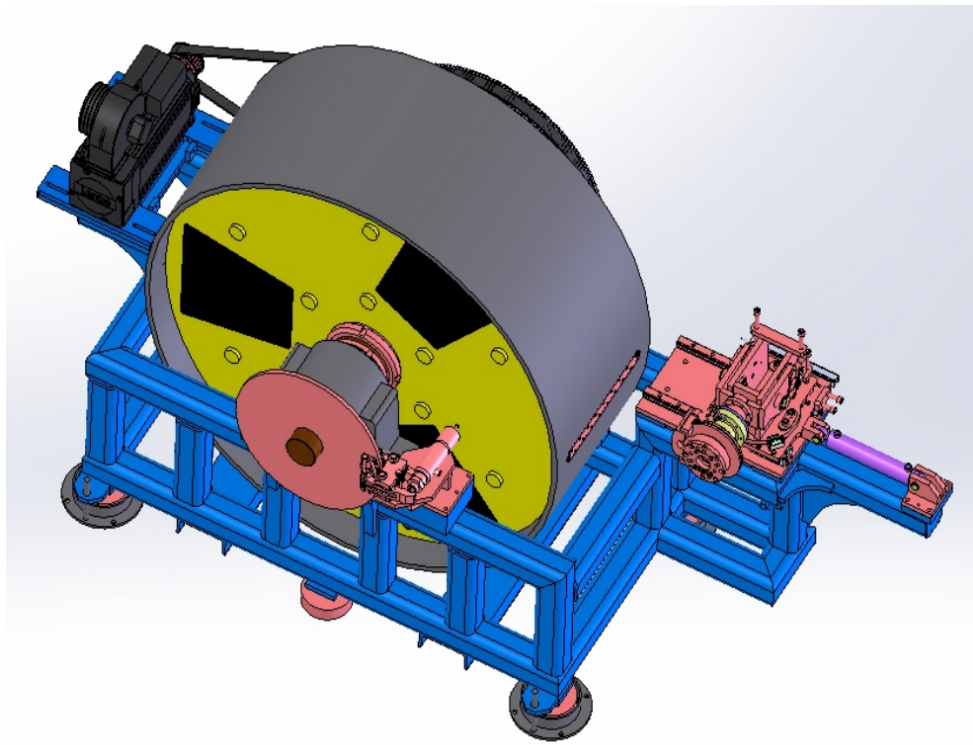
Zařízení ze vstupních veličin samo vypočítá velikost a umístění závaží. Konkrétní provedení od společnosti Hofmann je na obrázku 2.4, jedná se o typ finishbalancer sd-10 pro osobní a lehké nákladní automobily. Výpočty provádí mikroprocesory, poloha značky se snímá infračerveným světlem a led světlo zaměřuje pozice závaží. Zařízení je vybaveno dvěma měřícími zvedacími podporami pro zrychlení procesu. Více informací o konkrétním zařízení a další vyvažovací technice naleznete na stránce výrobce Hofmann [13].



Obrázek 2.4: Hofmann finishbalancer sd-10 (zdroj [14])

3. Popis aktuálního stavu dynamického adhezoru

Dynamický adhezor je zařízení pro dynamické zkoušky pneumatik, podrobněji popsané v předchozí části 2.2.2. Zařízení se nachází v laboratoři budovy Výukového a výzkumného centra dopravy Univerzity Pardubice. Adhezor DA-1 (obrázek 3.1) vyrobila společnost VÚB a.s. Ústí nad Orlicí a je určen pro zkoušky pneumatik osobních automobilů. Dynamický adhezor umožňuje měřit valení vlečeného nebo krátkodobě brzděného kola, pro simulaci hnacího kola je potřebný pohon. Následující popis vychází z poznatků během měření, možnosti nastavení a dokumentace stroje [15].



Obrázek 3.1: Dynamický adhezor DA-1 (zdroj [15])

3.1 Popis zařízení

Dynamický adhezor se skládá z několika hlavních částí: bubnu (válce), ramene pro upevnění kola, základního rámu, pohonného ústrojí, brzdy bubnu, hydraulického okruhu, elektrického zapojení, ochranného krytu a ovládacího panelu.

Ocelový buben o průměru 1 705 mm je po obvodu osazen dvěma příčnými drážkami pro umístění překážek, nyní jsou zakryty záslepkami. Buben je poháněn elektromotorem přes ozubený řemen a brzdí jej speciální kotoučová brzda. Zkušební rychlost obvodu bubnu je volitelná od 0 km/h po 180 km/h s přesností 0,1 km/h.

Z důvodu velkého momentu setrvačnosti bubnu je brzdění z maximální obvodové rychlosti 180 km/h dovoleno jednou za 20 minut. Při nižších rychlostech je doba zkrácena na 5 minut. Směr otáčení bubnu je možné nastavit na ovládacím panelu, ve směru otáčení hodinových ručiček CW a protisměru CCW.

Rameno stroje slouží k přichycení zkoušeného kola, viz obrázek 3.2. Protože různá kola mají rozdílný počet otvorů a průměr jejich roztečné kružnice, jsou součástí tři redukce pro základní rozměry disků. Průměr použitého ráfku musí být alespoň 13 palců, aby nedošlo ke kontaktu ráfku se třmenem kolové brzdy. Rameno je podélně posuvné vůči základnímu rámu hydraulickým válcem a jeho polohu měří lineární snímač.



Obrázek 3.2: Posuvné rameno DA-1

Část ramene lze vůči základně ramene natáčet a měnit tak příklon a natočení kola. Natočení je možné nastavit v rozmezí $\pm 10^\circ$ a odklon kola $\pm 8^\circ$. Nastavení se provádí manuálně, po uvolnění šroubů v třecím spoji se povolují a utahují dorazové šrouby až do požadovaného úhlu na stupnici. Následně se utáhnou šrouby svěrného spoje na předepsaný utahovací moment. Nastavení není příliš přesné a vyžaduje odstávku stroje.

Rameno přitlačuje zkoušené kolo na ocelový odvalovací buben. Reguluje se buď pozice ramene, nebo síla přitlaku kola pomocí hydraulického válce napojeného na hydraulický okruh. Přítlačnou sílu je možné zadat od 0,2 kN až po 5 kN s přesností až na desítky newtonů. Přítlačná síla je vypočítána z tlaku oleje v okruhu hydrauliky a plochy pístu. Dalším ovlivnitelným parametrem je rychlost posuvu ramene k bubnu volitelná po

0,1 mm/s. Maximální hodnota rychlosti posuvu činí 30 mm/s, ale většinou se při zkouškách volí hodnota 1 mm/s. Rychlost směrem od bubnu je pevně stanovena na maximální hodnotu.

Magnetický lineární snímač měří absolutní polohu ramene k nulové počáteční poloze. Snímač patří do řady TMLS-05A-02 s rozlišením 0,005 mm. Polohu kontaktu zkoušené pneumatiky s bubnem lze přibližně určit během měření z okamžiku, kdy se buben dotkne běhounu. Druhý způsob vyhodnocování dat z průsečíku přímky nulového přitlaku a přímky se směrnicí závislosti přitlaku na poloze ramene.

Ochranný kryt slouží ke zvýšení bezpečnosti při provozu stroje, patrný je na obrázku 3.4. Při běžném zatěžování je šance defektu pneumatiky minimální, ale stroj je určen i pro ztížené a životnostní zkoušky. Pneumatika je v podstatě tlaková nádoba a při větším poškození by mohlo dojít k odtrhávání částí i explozi a ohrožení obsluhy na zdraví. Pro spuštění zkoušky je nutné uzavření vstupních dveří krytu, jinak stroj hlásí chybu. Samozřejmě během zkoušky nikdo nesmí být uvnitř ochranného krytu.

Ovládací panel (obrázek 3.3) slouží k ovládání stroje. Pro zvýšení komfortu během zkoušky se nachází v oddělené kanceláři, protože při vyšších rychlostech stroj emituje výrazný hluk. Přes síťovou přípojku je zařízení připojeno k počítači a je tak možné online sledovat měřené hodnoty a ukládat měření. V případě nutnosti, požadavku na konec nebo pozastavení zkoušky jsou na panelu tlačítka „stop“ a „přerušit zkoušku“. Jako poslední možnost v nebezpečí jsou na panelu a vnější straně ochranného krytu červená nouzová tlačítka.



Obrázek 3.3: Ovládací panel adhezoru DA-1

Měření na adhezoru lze využít k životnostním zkouškám a zkouškám rychlosti u pneumatik s kategorií rychlosti S, tedy do 180 km/h. Ze závislosti přítláčné síly a polohy ramene lze aktuálně přibližně určit dynamický poloměr pneumatiky v závislosti na rychlosti otáčení. Dynamický poloměr se s rostoucí rychlostí zvětšuje, důvodem je hlavně působení odstředivé síly. Jako další lze měřit změnu tuhosti pneumatiky při daném zatížení a různých rychlostech. Zařízení snímá přítláčnou sílu a pozici ramene s volitelnou snímkovací frekvencí a to 1, 5, 10, 20 nebo 50 Hz.

Provozní brzda slouží pro přibrzdování kola během zkoušky pomocí kotoučové brzdy původně určené pro osobní automobil Opel Corsa druhé generace. Brzdu je možné použít při rychlostech do 25 km/h a nejdéle 20 s. Poté následuje 30 sekundový interval, během kterého se brzda chladí a není možné ji použít. Pro zlepšení chlazení kotoučové brzdy je na kotouč přiveden vývod tlakového vzduchu. Při nižších velikostech přítláčné síly do 0,5 kN a plném brzděném tlaku dojde k blokaci otáčení kola. Brzda se uvádí v činnost tlačítkem „provozní brzda“ na ovládacím panelu.

3.2 Vlastní měření

V této části je popsán postup vlastního měření na dynamickém adhezoru provedeného 5. dubna 2018 (fotka 3.4 pořízená přes ochranný kryt stroje během měření). Před provedením zkoušky proběhla zběžná vizuální kontrola stavu stroje a demontáž levého předního kola z vozidla Škoda Octavia RS v provedení kombi. Vozidlo pobývalo dostatečný čas v laboratoři, aby pneumatika byla natemperována na teplotu laboratoře.



Obrázek 3.4: Dynamický adhezor DA-1 během provozu

Vozidlové kolo bylo obuto pláštěm Dunlop SP Sport Maxx XL 225/40 ZR18 92Y. Běhoun pneumatiky byl zjevně opotřebený s hloubkou dezénu 4 až 5 mm. Z označení pláště je patrné, že se jedná o nízkoprofilové provedení s provozní rychlostí do 300 km/h. Maximální dovolený tlak huštění za studena je 340 kPa, maximální nosnost 630 kg a rok výroby 2008.

Pneumatiku jsem zvolil z důvodu nízkého profilu a vysokého tlaku huštění, což má za následek vysokou radiální tuhost. Mým záměrem bylo provést měření na nejtuzší pneumatice, na které je možné běžně provádět měření. Pneumatika byla nahuštěna přibližně na maximální dovolenou hodnotu 340 kPa. K přesnému určení tlaku by bylo potřebné přesné měřidlo. Poté jsem pneumatiku namontoval na měřící rameno adhezoru.

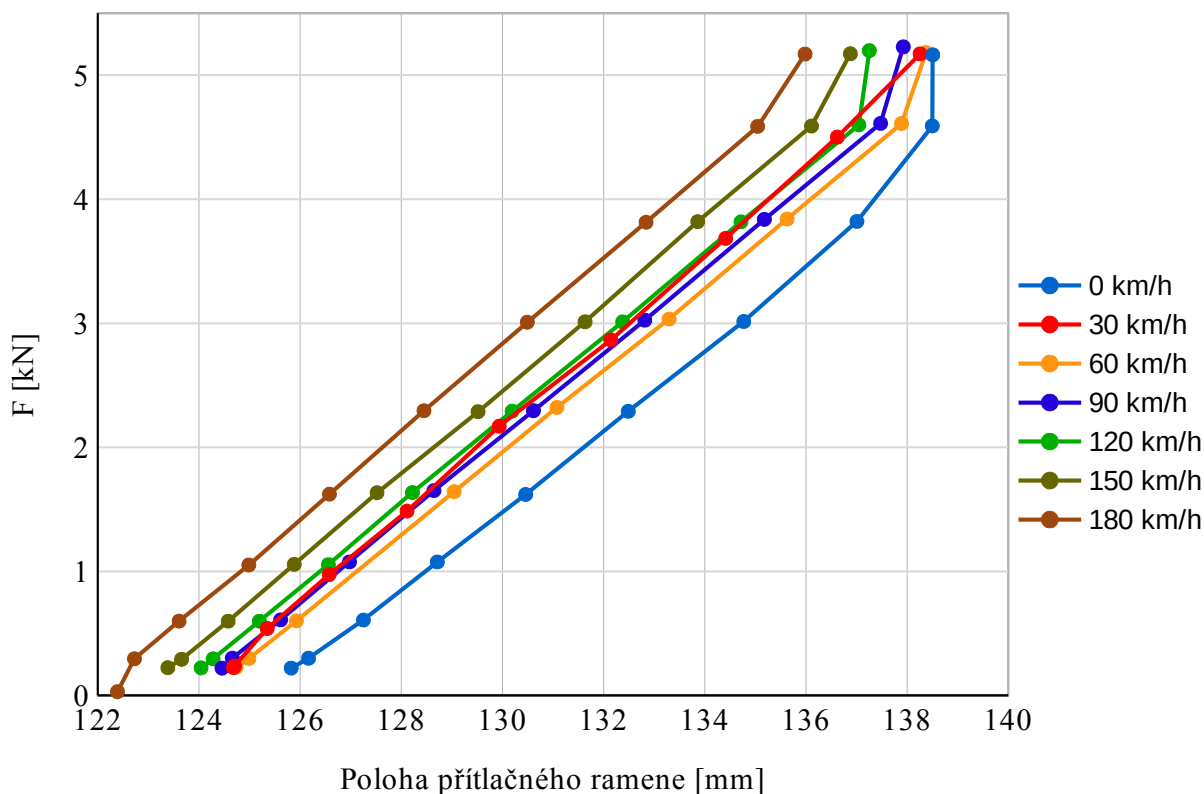
Na začátku měření byla odhadnuta poloha běhounu od povrchu válce, aby nedošlo ke kontaktu. Z této polohy se následně začínala pneumatika přitlačovat k bubnu nastavenou rychlostí 1 mm/s. Následně proběhla vizuální kontrola házivosti, zda bylo kolo správně namontováno při přítlaku 0,5 kN a rychlosti 10 km/h. Disk kola je připevněn přes kolové šrouby, proto není zajištěna vysoká přesnost montáže. Dále bylo ověřeno správné otáčení bubnu, aby se pneumatika otáčela ve správném směru.

Jako další krok proběhlo zahřívání pneumatiky, jelikož její teplota a vnitřní tlak výrazně ovlivňují její vlastnosti. Pomineme-li vnějších vlivů atmosférické teploty a tepla od slunečního záření, tak teplo vzniká uvnitř pneumatiky při odvalování hlavně vlivem hysterezních ztrát. V důsledku kombinace různých materiálů trvá zahřátí pneumatik pro osobní automobily přibližně 30 minut. Až po této době se ustálí teploty v celém průřezu pneumatiky. Podle EHK 117 [16] je například pro určení valivého odporu pneumatiky tato doba určena pro pneumatiky třídy C1 na 30 minut při rychlosti 80 km/h a zatížení 80 % podle nosnostního indexu.

Zahřívání proběhlo tedy podle této normy, aby déletrvajícím měřením nedošlo k výraznější změně tlaku a teplot. Při měření jsem postupoval po požadovaných rychlostech s krokem 30 km/h, kdy se zkoušely různé přítlačné síly. Pro dostatečně přesné průběhy jsem zde použil přírůstek 0,5 kN až do maximální hodnoty 5 kN, krom hodnoty 0,2 kN.

Jako podstatné bych zmínil, že pro přítlačnou sílu 0,2 kN je nutné nejprve nastavit vyšší hodnotu například 0,5 kN, aby skutečně došlo ke kontaktu kola s bubnem. Zařízení vždy potřebuje určitý časový úsek pro ustálení požadovaných a měřených hodnot, až poté je vhodné měřit. Provádět měření pro určitý přítlak s kroky v rychlostech není příliš vhodné. Při vyšších hodnotách přítlaku dochází k dalšímu zahřívání pneumatiky a růstu vnitřního tlaku. Tomuto jevu nepředěje ani správně zahřátá pneumatika a měření ztrácí na přesnosti.

Z naměřených dat jsem vytvořil graf 3.5. Jednotlivé křivky jsou tvořeny z bodů, kde pro naměřený přítlak a polohu kola byly oříznuty přechodové úseky a ze zbylých hodnot byly vypočítány aritmetické průměry. Požadované hodnoty přítláčné síly odpovídají tabulce 3.6. Poloha přítláčné ramene odpovídá deformaci pneumatiky a nulovou hodnotu lze odhadnout z průběhu křivky.



Obrázek 3.5: Graf průběhu deformace pneumatiky v závislosti na zatížení

V grafu 3.5 si povšimněme průběhu při rychlosti 30 km/h, který byl zatěžován od nejnižší hodnoty po nejvyšší. Při ostatních průbězích byla pneumatika nejprve zatížena na požadovanou hodnotu 5 kN a následně odlehčována. Očekávaný průběh při 30 km/h by se měl nacházet mezi křivkami pro 0 km/h a 60 km/h. Zde je jasně patrný vliv pasivních odporů uložení ramene a hydraulického válce.

Dalším výrazným jevem je progresivita křivek okolo hodnoty 5 kN. Vzhledem k tomu, že zlom se nenachází u křivky pro rychlost 30 km/h, očekával bych opět významný vliv pasivních odporů než progresivitu tuhosti. To dokazuje i průběh křivky při nulové rychlosti. Při odlehčování z maximální hodnoty přítláčné síly přibližně o 0,6 kN nedošlo k posunu ramene.

Důležité je poznamenat, že požadovaná síla zadaná do ovládací konzole přesně neodpovídá aktuální hodnotě. Z uskutečněného měření vychází následná tabulka 3.6. Z průměrných hodnot naměřené přítláčné síly při jednotlivých rychlostech byl vypočítán arit-

metický průměr. Velikost naměřené přitlačné síly se napříč rychlostmi lišily v řádech desítek newtonů. Jedinou výjimku tvořilo měření při rychlosti 180 km/h a zatížení 0,2 kN, kdy naměřená síla byla 30 N.

Zadaná síla [kN]	0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Měřená síla [kN]	0,20	0,29	0,59	1,13	1,61	2,28	3,00	3,81	4,58	5,18	5,22

Tabulka 3.6: Porovnání požadovaných a naměřených zatížení

Naměřená síla neodpovídá skutečné síle přitlaku kola na buben. Vychází z průměru pístu hydraulického válce a tlaku hydraulického oleje. Tlak oleje v tlakovém zásobníku kolísá mezi hodnotami 100 až 120 bar, proto tlak přivedený na válec je regulován ventily. Jaká je ovšem rychlost regulace tlaku a pasivní odpor v hydraulickém válci, není známo.

Dalším zdrojem nepřesností je vzdálenost roviny symetrie kola od osy působení hydraulického válce. Na rameni vzniká ohybový moment, který se přenáší přes posuvné uložení ramene do základního rámu. Tření v posuvném uložení je samozřejmě závislé na součiniteli tření a velikosti normálové síly závisí na velikosti momentu. V každém rohu posuvného uložení se nachází lineární ložisko a síla nutná k překonání pasivních odporů ani u nezatíženého ramene není změřena.

Zadaná síla [kN]		0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	
Rychlost [km/h]	0	σ [N]	26,13	23,80	19,01	15,93	53,45	39,49	51,16	39,17	35,97	16,85	27,69
		σ [mm]	0,018	0,019	0,016	0,014	0,013	0,013	0,020	0,017	0,003	0,016	0,007
	30	σ [N]	21,74	26,97	19,56	37,71	25,82	46,72	47,31	30,89	39,42	21,96	16,69
		σ [mm]	0,012	0,007	0,012	0,012	0,011	0,018	0,020	0,019	0,020	0,030	0,021
	60	σ [N]	22,84	17,52	11,58	22,00	23,80	18,25	37,82	33,77	38,84	27,37	25,16
		σ [mm]	0,010	0,012	0,009	0,016	0,012	0,012	0,014	0,014	0,025	0,005	0,017
	90	σ [N]	17,06	18,98	35,66	47,20	29,62	30,65	45,57	27,70	26,00	9,86	8,43
		σ [mm]	0,021	0,010	0,012	0,013	0,013	0,013	0,010	0,013	0,020	0,005	0,010
	120	σ [N]	18,34	15,91	32,76	40,14	17,46	30,76	38,31	31,04	31,21	29,56	5,40
		σ [mm]	0,016	0,012	0,010	0,011	0,012	0,014	0,014	0,015	0,016	0,006	0,025
	150	σ [N]	19,64	13,19	24,61	36,63	23,82	29,34	40,62	33,63	37,59	25,70	8,34
		σ [mm]	0,014	0,011	0,011	0,012	0,012	0,013	0,014	0,014	0,019	0,006	0,006
	180	σ [N]	24,97	13,01	18,09	36,18	41,81	37,55	36,53	36,36	39,10	22,35	24,91
		σ [mm]	0,057	0,021	0,017	0,015	0,013	0,014	0,012	0,013	0,019	0,010	0,011

Tabulka 3.7: Směrodatné odchyly přitlačné síly a polohy ramene

V tabulce 3.7 jsou zobrazeny směrodatné odchyly σ z jednotlivých měření. Směrodatné odchyly pro přitlačnou sílu se pohybují od 5 do 53 N a pro polohu ramene v rozmezí 0,003 až 0,057 mm. Směrodatná odchylna vypočítaná z měření odpovídá nejistotě typu A. Pro výpočet standardní nebo kombinované nejistoty je nezbytné určit nejistotu typu B. Vzhledem k velkým pasivním odporům a nemožnosti získat podklady o přesnosti snímačů

a měřících řetězců není možné nejistoty vypočítat. U měření rychlosti budou též uvedeny pouze nejistoty typu A, více o určení nejistot měření je zmíněno v kapitole 5.10.

Jako další bych uvedl nepřesnost měření rychlosti. Tabulka 3.8 obsahuje zadanou hodnotu, směrodatnou odchylku, průměr, minimum a maximum z naměřených hodnot rychlosti.

Zadaná rychlost [km/h]	30	60	90	120	150	180
Průměrná rychlost [km/h]	30,2	60,2	90,2	120,4	150,5	180,5
Minimální rychlost [km/h]	29,7	59,8	89,5	119,5	149,5	179,4
Maximální rychlost [km/h]	30,7	60,6	90,8	121,4	151,2	181,3
Směrodatná odchylka [km/h]	0,118	0,115	0,326	0,329	0,352	0,365

Tabulka 3.8: Přehled požadovaných a naměřených rychlostí

Z tabulky 3.8 vyplývá nepřesnost měřené rychlosti. Například při rychlosti 180 km/h vykazovalo měření během 0,2s hodnoty od 179,6 km/h po 181,1 km/h. Při této rychlosti došlo k sepnutí snímače otáček každých 0,018 s, což odpovídá při šesti měřících výstupcích snímané frekvenci 56 Hz. Pro představu, při zrychlování stroje na 100% výkonu zabere zrychlení o 1 km/h přibližně sekundu. Buben v podobě setrvačníku o hmotnosti dvou tun jistě nebude měnit tak výrazně svoji rychlost.

Výsledky a poznatky z měření jsou vhodné jako podklady pro další měření, vylepšení a úpravy dynamického adhezoru. Výše popsané vlivy uložení a hydraulického válce způsobují nepřesnost působící síly vůči zadané. V následujících částech 4 a 5 budou také popsány vylepšení a úpravy ke zpřesnění a zvýšení opakovatelnosti měření.

4. Možnosti a požadavky na dovybavení a úpravy stroje

Mezi největší aktuální nedostatky patří přesnost měření přítláčné síly a nemožnost získání skluzových charakteristik pneumatiky. Dále není zajištěno snímání otáček na měřeném kole, které je nezbytné pro měření skluzových charakteristik. Jako další způsoby vylepšení spatřuji překážky pro možnost životnostních zkoušek za ztížených podmínek a měření sil během jejich přejezdu porovnatelné se simulacemi. Dále jako názorná ukázka laboratorních testů poslouží měření valivého odporu, dnes již nutnou součástí homologace pneumatik pro osobní automobily.

Vylepšení nebo dovybavení nemusí mít pouze hmotný charakter. Změny softwaru, digitálního řízení nebo návodu měření jsou často více přínosné. Nejprve popíši postup měření valivého odporu u pneumatik pro osobní automobily, protože nastíní nutné vybavení a jeho přesnost.

4.1 Měření valivého odporu

Při homologaci pneumatiky je již nutné určení součinitele valivého odporu pro třídu palivové účinnosti. Pro běžného uživatele je rozřazena na úrovně A až G uvedené na štítku pneumatiky se symbolem výdejního stojanu paliva, kde A je nejlepší. Podle EHK 117 [16] jsou možné čtyři způsoby měření valivého odporu na bubnovém zařízení a to: silová metoda, metoda kroutícího momentu, výkonová metoda a metoda zpomalení.

Některé z metod by se daly využít k demonstraci homologačních zkoušek na dynamickém adhezoru VVCD. Požadavky na přesnost a postup zkoušky pro pneumatiky osobních automobilů typu C1 budou popsány dále. Mou snahou bude i vybrat metody, které jsou nebo nejsou vhodné pro měření na zařízení DA-1, případně jaké vyžadují dovybavení stroje.

Valivý odpor pneumatik má zásadní vliv na spotřebu paliva, tedy na ekonomičnost provozu motorového silničního vozidla a ekologickou zátěž okolí. Pro lepší názornost významu odporu valení pneumatiky při konstantní rychlosti jízdy je uvedeno porovnání vycházející z trakčních diagramů pro osobní automobily. U běžných osobních automobilů převažuje velikost odporu vzduchu až při rychlostech nad 100 km/h, zatímco při rychlostech pod 50 km/h je vliv odporu vzduchu řádově menší než valivý odpor. Důvodem je růst

odporu vzduchu s druhou mocninou rychlosti. Valivý odpor je téměř konstantní a pomalu roste až při vyšších rychlostech.

Energetické ztráty při odvalování pneumatik jsou způsobeny hlavně hysterezními ztrátami materiálů pneumatiky až z 95 % a relativním pohybem pneumatiky k vozovce až 10 %. Dále do cca 3 % z celkových ztrát se uvažuje vliv aerodynamiky. V případě odvalování pneumatiky mimo tuhou vozovku je nutné počítat se ztrátami při deformaci podkladu ve stopě. Podrobný rozbor naleznete v publikaci Pneumatiky [2].

4.1.1 Požadavky a postup zkoušky

Vzhledem k tomu, že při měření valivého odporu je zatížení 80 % celkové nosnosti pneumatiky a adhezor VVCD umožňuje maximální přítláčnou sílu 5 kN, je možné měřit pneumatiky s maximálním nosnostním indexem 92, tedy nosností 630 kg. Dále proto budou popsány metody zjednodušené pro pneumatiky třídy C1. Popis zkoušky vychází z EHK 117 [16], respektive nařízení Komise (EU) č. 523/2012 a nařízení (ES) 661/2009: Jednotná ustanovení pro schvalování pneumatik z hlediska emisí hluku odvalování a přilnavosti na mokřích površích a/nebo valivého odporu.

Zkušební zařízení musí mít průměr bubnu větší jak 1,7 m a vždy se výsledky přepočítávají na průměr bubnu 2 m. Přepočet hodnot F_r a C_r na buben o jiném průměru, například na univerzální o průměru 2 m, se násobí následovně.

$$F_{r2} = K \cdot F_{rm} \quad (4.1)$$

$$C_{r2} = K \cdot C_{rm} \quad (4.2)$$

Kde F_{r2} je odpor valení převedený na druhý buben, K je koeficient přepočtu, F_{rm} je odpor valení na měřícím bubnu, C_{r2} je koeficient odporu valení převedený na druhý buben, C_{rm} je koeficient odporu valení na měřícím bubnu.

$$K = \sqrt{\frac{(R_m/R_2) \cdot (R_2 + r_j)}{(R_m + r_j)}} \quad (4.3)$$

Kde R_m je poloměr měřícího bubnu v metrech, R_2 poloměr druhého bubnu v metrech, r_j jmenovitý poloměr pneumatiky v metrech. Korekce K je pro buben DA-1 o průměru 1,705 m na buben o průměru 2 m následovná.

$$K = \sqrt{\frac{(0,8525) \cdot (2 + r_j)}{(1,705 + r_j)}} \quad (4.4)$$

Povrch měřicího bubnu musí být čistý z hladké oceli případně zdrsňený, ale při jeho použití je nutné splnit další podmínky. Buben adhezoru DA-1 má hladký ocelový povrch a dvě záslepky pro nerovnosti nemají zásadní vliv.

Dle normy EHK 117 [16] musí být směr působení zatížení pneumatiky kolmý na povrch bubnu se směrovými odchylkami 1 mrad u metody zpomalení a silové a 5 mrad u zbylých dvou. Úhel odklonu musí být do 2 mrad a rovina kola byla rovnoběžná s rovinou bubnu do 1 mrad. Přesnost zatížení pneumatiky je ± 20 N nebo $\pm 0,5\%$ podle toho, která hodnota je vyšší. Rychlost povrchu musí být s přesností $\pm 0,5$ km/h u silové metody a u ostatních $\pm 0,2$ km/h. Přesnost měření času musí být $\pm 0,02$ s.

Zkoušená pneumatika musí být namontována na měřící ráfek, který splňuje požadavky na jeho šíři k šířce pneumatiky, maximální příčnou a radiální házivost 0,5 mm a přesnost huštění je ± 3 kPa. Přesná šířka měřicího ráfku se vypočítá podle EHK 117 příloha 6 doplněk 2 [16].

Před samotným provedením zkoušky je nutné pneumatiku temperovat v prostředí laboratoře minimálně 3 hodiny. Poté se nahustí pneumatika na předepsaný tlak a po 10 minutách se provede jeho ověření.

Teplota povrchu bubnu musí být před zkouškou shodná s teplotou okolí. Zdrojem neshod může být změna teploty, kdy se povrch nestihl natemperovat na teplotu okolí, přímé sluneční záření v laboratoři nebo krátký časový odstup od předchozí zkoušky. Teplota okolí se měří 0,15 – 1 m od pneumatiky a měla by být 25 °C, v případě jiné se provádí korekce, ale pouze v rozmezí 20 °C až 30 °C. Přepočítání odporu valení pro teplotu 25 °C je následovný:

$$F_{r25} = F_r \cdot [1 + 0,008 \cdot (t_m - 25)] \quad (4.5)$$

Kde F_{r25} je odpor valení při 25 °C v newtonech, F_r je naměřený odpor při jiné teplotě v newtonech, t_m je naměřená teplota ve stupních celsia.

Měřicí i zahřívací rychlost je 80 km/h a délka zahřívání trvá 30 minut s tlakem huštění 210 kPa, případně 250 kPa u zesílených pneumatik. Směrová pneumatika se musí otáčet v daném směru. V případě změny směru otáčení je nutné opětovné zahřívání. Pokud proběhlo celé zahřívání v opačném směru než bude měřeno, je nutné provést zahřívání v tomto směru alespoň 10 minut. Pokud došlo k přerušení zkoušky kratšímu než 10 minut, postačuje zahřívání po dobu 10 minut, jinak je nutné plné trvání zahřívání.

Přesnost použitých přístrojů je souhrně uvedena v následující tabulce 4.1 a je logicky vyšší než přesnost jednotlivých měřených veličin, které byly dříve popsány i s korekcemi.

Měření parazitních sil F_p je možné dvěma způsoby. **Metodou snižováním přítláčné síly** do úrovně, kdy nedochází k prokluzu a snižování rychlosti otáčení měřené

Zatížení	$\pm 10 \text{ N}$ nebo $\pm 0,5 \%$
Tlak huštění	$\pm 1 \text{ kPa}$
Síla na ose	$\pm 0,5 \text{ Nm}$ nebo $\pm 0,5 \%$
Vstupní krouticí moment	$\pm 0,5 \text{ Nm}$ nebo $\pm 0,5 \%$
Vzdálenost	$\pm 1 \text{ mm}$
Elektrický příkon	$\pm 10 \text{ W}$
Teplota	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Rychlost povrchu	$\pm 0,1 \text{ km/h}$
Čas	$\pm 0,01 \text{ s}$
Úhlová rychlost	$\pm 0,1 \%$

Tabulka 4.1: Požadované přesnosti použitých přístrojů (v případě dvou hodnot se volí vyšší)

pneumatiky. Hodnota nesmí přesáhnout 200 N. Zaznamená se přitlační síla L_m a síla na hřídeli F_t , vstupní krouticí moment T_t nebo výkon podle použité metody měření.

Metodou zpomalení, kdy se roztočená pneumatika s bubnem vzdálí z kontaktu a změří se zpomalení bubnu $\Delta\omega_{D0}/\Delta t$ a pneumatiky $\Delta\omega_{T0}/\Delta t$. V případě této metody se zjednodušuje přesné vyjádření $d\omega/dt$ na přibližné $\Delta\omega/\Delta t$, kde ω je úhlová rychlost v radiánech za sekundu, t je čas v sekundách. Přírůstek času Δt nesmí překročit 0,5 s a změna rychlosti zkušebního bubnu nesmí být větší jak 1 km/h v jednom přírůstku času.

Z naměřených hodnot se vypočítají parazitní síly F_p podle příslušné metody. Směrodatná odchylka σ_m u obou typů měření nesmí přesáhnout 0,075 N/kN, v případě překročení je nutné provedení alespoň 3 zkoušek. Počet zkoušek se určí podle následujícího vzorce se zaokrouhlením na nejbližší vyšší číslo:

$$n = (\sigma_m/0.075)^2 \quad (4.6)$$

Silová metoda na hřídeli (ose) pneumatiky je založena na měření reakční síly na ose pneumatiky. Aby nedošlo k chybě, F_r se měří při zatížení 80 % nosnosti pneumatiky a F_p podle metody určení parazitních sil, tedy F_t má rozdílnou hodnotu ve vzorcích. Stanovení parazitních sil F_p a odporu valení F_r v newtonech je následovné.

$$F_p = F_t \cdot (1 + r_s/R_m) \quad (4.7)$$

$$F_r = F_t \cdot [1 + (r_s/R_m)] - F_p \quad (4.8)$$

Kde: F_t je síla na ose kola v newtonech; r_s je statický poloměr pneumatiky v metrech.

Metoda kroutícího momentu v ose zkušebního bubnu spočívá v měření, které již sám název popsal.

$$F_p = \frac{T_t}{R_m} \quad (4.9)$$

$$F_r = \frac{T_t}{R_m} - F_p \quad (4.10)$$

Kde T_t je vstupní kroutící moment v newtonmetrech.

Výkonová metoda v ose zkušebního bubnu je založena v měření příkonu elektrického pohonu měřícího bubnu.

$$F_p = \frac{3,6 \cdot U \cdot A}{V} \quad (4.11)$$

$$F_r = \frac{3,6 \cdot U \cdot A}{V} - F_p \quad (4.12)$$

Kde U je elektrické napětí pohonu válce ve voltech, A je elektrický proud odebíraný pohonem v ampérech, V je rychlost povrchu bubnu v kilometrech za hodinu.

Metoda zpomalení je založena na měření zpomalení soustavy měřícího bubnu a pneumatiky.

$$F_p = \frac{I_D}{R_m} \cdot \frac{\Delta\omega_{D0}}{\Delta t_0} + \frac{I_T}{r_0} \cdot \frac{\Delta\omega_{T0}}{\Delta t_0} \quad (4.13)$$

$$F_r = \frac{I_D}{R_m} \cdot \frac{\Delta\omega_v}{\Delta t_v} + \frac{R \cdot I_T}{r_d^2} \cdot \frac{\Delta\omega_v}{\Delta t_v} - F_p \quad (4.14)$$

Kde I_D je moment setrvačnosti bubnu v kilogram metrech na druhou, ω_{D0} je úhlová rychlost bubnu bez pneumatiky v radiánech za sekundu, Δt_0 je přírůstek času v sekundách, I_T je moment setrvačnosti pneumatiky, kola a uložení v kilogram metrech na druhou, r_0 je volný poloměr pneumatiky v metrech, ω_{T0} je úhlová rychlost nezatížené pneumatiky v radiánech za sekundu, r_0 je volný poloměr pneumatiky v metrech, $\Delta\omega_v$ je přírůstek úhlové rychlosti zkušebního bubnu bez pneumatiky, Δt_v je přírůstek času v sekundách, r_d dynamický poloměr pneumatiky v metrech.

Pro porovnatelnost výsledků odporu valení u pneumatik s různým nosnostním indexem, tlakem huštění atd. slouží koeficient odporu valení C_r .

$$C_r = \frac{F_r}{L_m} \quad (4.15)$$

Kde L_m je zkušební zatížení v kilonewtonech.

Měření a zaznamenané údaje jsou: a) zkušební rychlost V ; b) kolmé zatížení kola na buben L_m ; c) tlak huštění za studena; d) naměřený koeficient valivého odporu C_r korigovaný na teplotu $25\text{ }^\circ\text{C}$ a buben o průměru 2 m ; e) statický poloměr kola r_s ; f) teplota okolo t_m ; g) poloměr zkušební bubnu R_m ; h) zvolená zkušební metoda; i) rozměr a materiál zkušební ráfku; j) rozměr pneumatiky, DOT, výrobce, typ, nosnostní index, kategorie rychlosti a identifikační číslo.

Z popisu měření jsou patrné vysoké nároky na přesnost a tuhost konstrukce stroje i na použitá měřidla. Proto mi přijde vhodné z daných požadavků vycházet a co nejvíce jich splnit pro laboratorní stroj DA-1.

Měření součinitele valivého odporu metodou zpomalení vyžaduje znalost momentů setrvačnosti rotačních součástí bubnu a kola. Určení momentu setrvačnosti kola je problematické. Přibližně lze určit experimentálně s ukotvením kola mimo osu rotace, což je vhodné provádět například v rámci pokusů.

Metoda kroutícího momentu na ose bubnu by s sebou nesla velké nároky na úpravy stroje. Podle prof. Culka je minimální délka pro umístění tenzometrů na hřídeli přibližně 50 mm s konstantním průměrem. U snímačů kroutícího momentu v podobě vloženého členu jsou zástavbové nároky ještě vyšší. Jak je patrné z obrázku 4.2, není zde dostatek prostoru pro úpravy.



Obrázek 4.2: Detail pohonu bubnu

5. Návrh úprav částí stroje a jeho dovybavení

Jak je patrné z tabulky 4.1 a nároků na zařízení dynamický adhezor DA-1 nespĺňuje většinu uvedených požadavků. Aktuálně vyhovuje materiálem povrchu a průměrem bubnu, měřením vzdálenosti a dobou provozu bez odstávky. Aby bylo možné alespoň přibližně měřit odpor valení je nutné dovybavit stroj podle některé z metod. Dále bude zmíněno vylepšení pro zkoušky životnosti s bubnem opatřeným nerovnostmi a další úpravy a dovybavení stroje.

5.1 Kontrola a údržba stroje

Vzhledem k uvedení stroje do provozu v roce 2013 by bylo vhodné s následujícími úpravami provést i důkladnou údržbu a kontrolu vybraných parametrů. Během odvalování pneumatik dochází k oddělování drobných částic běhounu, které se prouděním vzduchu vzniklým při rotaci bubnu a kola, mohly dostat i do špatně přístupných míst. Proto by bylo vhodné provést důkladnou údržbu, od vyčistění, promazání až po kontrolu stavu kritických míst.

Kontrolou parametrů beru v potaz hlavně vůle uložení ramene stroje a náboje kola. Například velikost vůle v náboji kola lze změnit velikosti předpětí podle dotažení závěrné matice. Z parametrů bubnu bych doporučil zkontrolovat házivost a stav jeho povrchu, zda splňuje předepsanou drsnost $6,3 \mu\text{m}$ k ose kola a jestli se nevyskytují na obvodu zoxidovaná místa.

5.2 Úchylkoměr

Pro každou z metod je podstatná přesnost ráfku, konkrétně radiální a příčná házivost. Pro měření je možné použít digitální úchylkoměr Mitutoyo 543-781B (obrázek 5.1). Vybrané zařízení má rozlišení $0,01 \text{ mm}$, přesnost $0,02 \text{ mm}$ a rozsah měření $12,7 \text{ mm}$. Pro měření by bylo vhodné vytvořit stojan s přítlačnou podložkou a kuželem, na který by soustředně dosedl středový otvor disku. Samotný úchylkoměr je možné připevnit pomocí magnetického měřicího stojanu ke každé magnetické konstrukci. Bylo by možné využít úchylkoměr k přesnému umístění kola k náboji ramene DA-1, více o zařízení na stránkách prodejce [17].



Obrázek 5.1: Úchylkoměr Mitutoyo 543-781B (zdroj [17])

5.3 Úprava rozsahu přítlačné síly

Metoda zpomalení není vhodná, jak již bylo popsáno v bodu 4, ani není možná pro určení parazitních sil pro měření valivého odporu metodou kroutícího momentu, silovou a výkonovou. Je nutné měřit parazitní síly metodou snižování přítlačné síly. Přítlačná síla nesmí přesáhnout 200 N a zároveň 200 N je minimální síla, kterou lze ve stroji nastavit.

Z výše uvedených důvodů doporučuji zásah do řídicího softwaru, aby bylo možné zadávat hodnoty pod 200 N. Pro zajištění kontaktu pneumatiky s bubnem, je možné provést najíždění stroje na tyto hodnoty například přes počáteční hodnotu 0,5 kN, jako bylo již zmíněno v bodě 3.2.

5.4 Manometr

Pneumatika je ve své podstatě tlakovou nádobou, kterou tlak plynu výrazně vyztužuje. Tlak je nutné správně nastavovat a měřit. Pro přesné měření tlaku poslouží například digitální manometr Hi.Pre.Ma 3 Evo od italské společnosti Prisma Electronics viditelný na obrázku 5.2. Primárně je určen pro měření na závodních vozidlech.

Vybraný manometr je vybaven mikroprocesorem, který při každém spuštění provede kontrolu pro dosažení vysoké přesnosti měření. Je vybaven ventilem pro citlivé snižování tlaku a vnitřní objem je minimalizován pro minimální ovlivnění vnitřního tlaku měřením. Rozlišení na displeji je 0,01 bar nebo 0,1 psi, maximální chyba v celém rozsahu je 0,1 % a rozsah hodnot 0–101 psi/0–7 bar. Je možné provádět druhé měření tlaku např. na zahřáté pneumatice, kdy přístroj umožňuje zároveň i zobrazení původního tlaku z vnitřní paměti, viz [18].



Obrázek 5.2: Manometr Hi.Pre.Ma 3 Evo (zdroj [18])

5.5 Teploměr

Vzhledem k vlivu teploty na tlak plynu uvnitř pneumatiky a velikost valivého odporu je nutné její přesné měření. K měření poslouží například přesný digitální teploměr s platinovým čidlem PT1000 Thermometr DT-2 (obrázek 5.3). Teploměr umožňuje rozlišení $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, přesnost od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ je $\pm 0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$, mimo tento interval přesnost klesá na $\pm 0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Měřicí rozsah je od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ a obnova hodnot probíhá každých 15 sekund. Dále je možné zjistit maximální a minimální teplotu od zapnutí přístroje, více o zařízení naleznete na stránkách výrobce [19].



Obrázek 5.3: Teploměr Thermometr DT-2 (zdroj [19])

5.6 Měření přitlačné síly

Nyní snímání přitlačné síly DA-1 vychází z výpočtu tlaku hydraulického oleje a plochy pístu, jak bylo zjištěno v části vlastní měření 3.2. Hydraulické válce mají nezanedbatelný vnitřní odpor, aby spolehlivě utěsnily obě komory dvoučinného pístu. Proto by bylo vhodné měřit sílu přímo mezi posuvným ramenem stroje a hydraulickým válcem. Takto umístěný snímač sil však nedosahuje požadovanou přesnost měření přitlačné síly pro měření valivého odporu podle EHK 117 [16].

Vhodnější řešení bylo použití přesného měřícího náboje zmiňovaného v bakalářské práci Víchy [20]. Takové řešení je výrazně nákladnější, ale umožňuje měření valivého odporu silovou metodou na ose pneumatiky a dostatečně přesné měření přitlačné síly splňující EHK 117 [16]. Celé rameno je uloženo na čtyřech lineárních ložiscích s předpětím, takže vliv ohybového momentu od zatížení by měl být minimální. Navíc z průběhu sil na snímači při zatěžování a odlehčování kola, je možné přibližně určit pasivní odpory vedení.

5.6.1 Snímač sil

Jako vhodný snímač je možné použít přesný snímač tahové a tlakové síly s omezeným vlivem bočních sil burster 85075-10 (obrázek 5.4). Záměrně jsem vybral snímač pro vysoce dynamické děje s měřícím rozsahem do 10 kN, protože jako další úpravu zařízení uvažuji dva typy překážek po obvodě bubnu adhezoru. Také není příliš vhodné využívat celý měřící rozsah při dynamických dějích a citlivější verze jsou do 5 kN, což je nedostačující.



Model 85041 / Model 85075

Obrázek 5.4: Přesný snímač tahové a tlakové síly s omezeným vlivem bočních sil burster 85075-10 (zdroj [21])

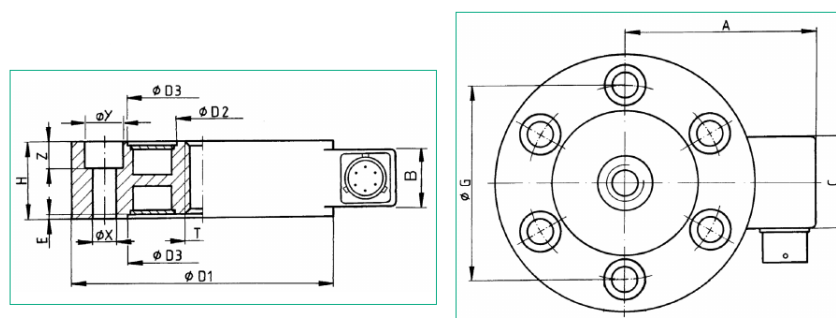
Uvedený snímač je vybaven čtyřmi foliovými tenzometry v zapojení plného mostu. Snímač je vysoký 25,4 mm s vnějším průměrem 88,9 mm. Pro upevnění slouží 6 otvorů

o průměru 9 mm na roztečné kružnici 66,7 mm a centrální otvor se závitem M12x1.5. Pro přesnější popis rozměru a vlastností poslouží následující tabulka 5.5 a obrázek 5.6.

typ snímače	85075-10	rozměry [mm]					
měřící rozsah	0–10 kN	øD1	88,9	A	65,3	øG	66,7
vlastní frekvence	9,3 kHz	øD2	17,5	B	19	øX	9
závit T	M12x1,5	øD3	52,3	C	31,8	øY	15
počet otvorů øG	6	H	25,4	E	2,3	Z	9

Tabulka 5.5: Základní údaje snímače sil (zdroj [21])

Snímač je vhodný z důvodu malé citlivosti na boční, torzní a ohybové silové účinky. Tyto účinky vznikají nepřesností montáže, výroby a od zatížení snímače hmotností příruby a části hydraulického válce. U snímače do 10 kN je vliv těchto parazitních silových účinků maximálně 1 %, pokud se pohybují boční síly do 30 %, ohybové do 25 % a torzní do 25 % celkového měřícího rozsahu. Snímač je vhodný až pro 100% dynamické zatížení z měřícího rozsahu. Podle prodejce MEATEST [21] je kombinovaná nejistota snímače 0,21 % a z uvedeného zdroje lze také získat katalogové listy s dalšími potřebnými údaji.

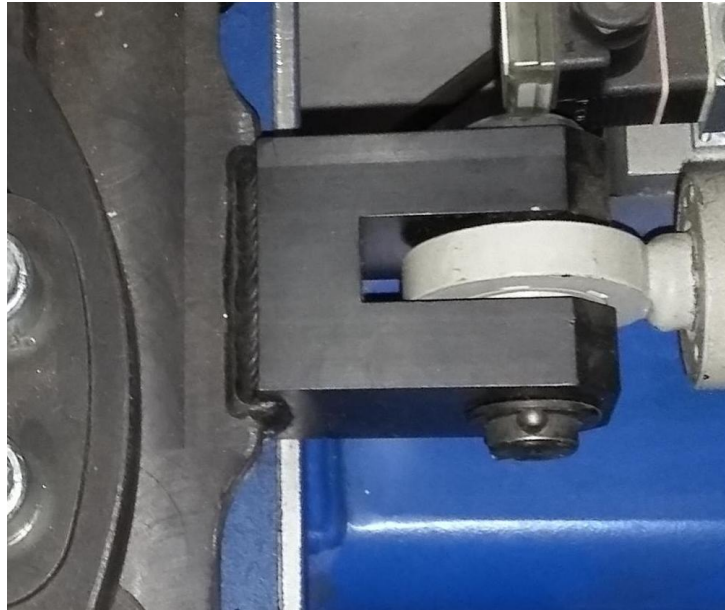


Obrázek 5.6: Schéma rozměrů snímače burster 85075-10 (zdroj [21])

5.6.2 Úprava stroje pro zástavbu snímače

Snímač sil je nutné umístit mezi hydraulický válec a posuvné rameno stroje. Protože aktuálně jsou tyto části přímo spojeny, je nezbytné upravit tuto část pro montáž snímače. Na obrázku 5.7 je patrné současné uchycení. Celé přivaření vidlice pro přichycení hydraulického válce musí být uříznuto a ocelová deska zabroušena.

Vložení snímače posune celé posuvní rameno blíže k bubnu přibližně o 18 mm. Pro zmenšení posunu je vhodné odříznout 10mm výčnělek na ocelové desce, který sloužil pro původní uchycení. V každém případě je nutná kolmost této plochy k ose posuvu. Jakákoliv změna koncové polohy ramene se sebou nese nutnost posunout polohu koncového bodu



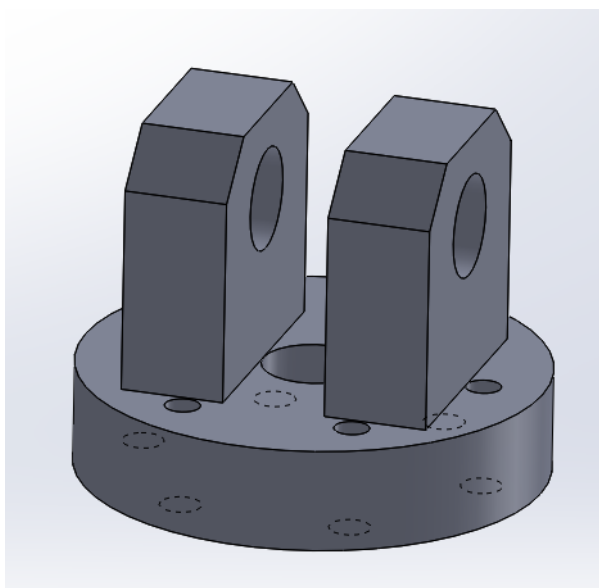
Obrázek 5.7: Detail uchycení hydraulického válce

měřící lišty. Posuv ramene k bubnu má nepříznivý vliv na maximální velikost zkoušeného kola a není vhodné tuto vzdálenost zmenšovat.

Konkrétní provedení příruby pro upevnění ke snímači a hydraulickému válci je zobrazeno na obrázku 5.8. Příruba by měla být vyrobena z oceli 11 523 a technický výkres se nachází v přílohách. Středový otvor je zde pro možnost dotažení šroubu a kontroly jeho pozice. Přesné nastavení polohy vidlice příruby a konektoru snímače je sice složité, ale stačí ho provést pouze jednou. Varianta s přírubou připevněnou k desce by se sebou nesla větší zástavbové nároky. Nebylo by možné odstranit 10mm výčnělek pro svary a navíc by přibyla tloušťka příruby.

Ocelová deska, kterou jde brát jako základ posuvného ramene o tloušťce 19,5 mm bude ve svém středu opatřena závitem M12x1,5 s hloubkou minimálně 30 mm. Závít je totožný s vnitřním závitem snímače. K připevnění poslouží stavěcí šroub M12x1,5 o délce 50 mm s vnitřním šestihranem, vybraný šroub není opatřen hlavou.

Postup montáže je následovný. Nejprve připevnit přírubu ke snímači pomocí 6 šroubů M8 s válcovanou hlavou a vnitřním šestihranem o délce 30 mm. Mezi desku a snímač na šroub M12x1,5 je potřebné umístit tenkou podložku například o tloušťce 1 mm. Podložka zabezpečí, aby nedošlo ke kontaktu snímače s deskou, a tloušťka podložky určuje výsledné natočení konektoru snímače. Následně je vhodné šroub v místě připevnění snímače opatřit nízkopevnostním závitovým lepidlem a našroubovat. Po vytvrdnutí lepidla následuje dotažení středového šroubu do kolmé polohy vidlice.



Obrázek 5.8: Příruba snímače sil

5.7 Natočení měřícího ramene

Pro měření valivého odporu je nutná přesná poloha zkoušené pneumatiky vůči bubnu zařízení. Aktuálně je odklon a natočení posuvného ramene vybaveno stupnicí po 1° patrné na obrázku 5.9. Taková to přesnost není dostatečná a pro měření valivého odporu je nutné dodržení kolmosti 1–5 mrad podle metody. Vzhledem k tomu, že většinou probíhá měření s kolmo umístěnou pneumatikou a přesnost pro ostatní úhly nemusí být natolik vysoká, navrhuji dvě možnosti řešení, popsané v následujících podkapitolách.



Obrázek 5.9: Detail stupnice odklonu ramene

5.7.1 Fixace základní polohy

Provést přesné zaměření ramene po celé délce posuvu nastavit polohu ramene, aby vyhovovala podle EHK 117 [16]. Úhel odklonu musí být do 2 mrad a rovina kola s rovinou

bubnu může svírat maximálně úhel 1 mrad. Po ustavení této polohy rameno zafixujeme svěrnými spoji. Následně vyvrtáme přesné otvory na přístupných místech skrz otočnou část do neotočné základní. Jak pro natočení ramene, tak i pro odklon doporučuji vyvrtat dva otvory a následně do nich umístit přesné kolíky s minimální vůlí podle lícovací soustavy.

Dva kolíky pro každé natočení jasně určí přesnou pozici ramene i v případě větší vůle v hlavních čepech. Výhodou je také rychlé a přesné nastavením základní polohy po předešlém měření s natočením. Po stažení svěrných spojů je vhodné kolíky vyndat, aby nedošlo k jejich poškození nebo uvolnění během provozu.

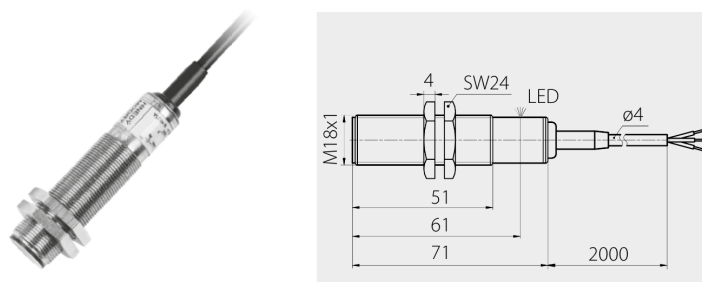
5.7.2 Přesnost natočení

V předchozím bodě jsem popsal přesné nastavení do základní polohy. Druhý problém je přesnost natočení, kde rozlišení po 1° není dostatečné. Navrhuji náhradu ocelové destičky s šipkou patrnou na obrázku 5.9 za destičkou s noniovou stupnicí pro odpovídající poloměr. V případě stupnice natočení ramene by se destička umístila na místo koncovky se šipkou. Noniusová stupnice výrazně zvýší přesnost odečtu, například desetkrát či dvacetkrát, podobně jako u posuvného měřidla.

5.8 Měření rychlosti otáčení

Pro snímání otáček kola je nutné dovybavit rameno stroje o indukční snímač otáček a ocelový kotouč s výstupky. Vhodný je například zabudovatelný indukční snímač otáček M18 od společnosti Sensit (obrázku 5.10). Vybral jsem jej pro velikost spínacího rozsahu 4–6 mm a maximální snímanou frekvenci. Počet výstupků na kotouči by měl být 6, aby nebyla překročena maximální snímaná frekvence 200 Hz. Při nejvyšší obvodové rychlosti 180 km/h a 6 spínacích výstupcích vychází minimální dynamický poloměr kola na hodnotu 239 mm. Například pneumatika o rozměrech 165/70 R14 měla při zatížení 5 kN statický poloměr 263 mm.

Snímač je vybaven žlutou LED diodou označující sepnutí a zelenou pro signalizaci zaclonění, podobně jako již namontované snímače na dynamické adhezoru. Tělo snímače je opatřeno závitem M18x1 o délce 51 mm pro snadnou montáž. Maximální snímaná frekvence je 200 Hz a spínací frekvence je 0,5 Hz, což odpovídá při 6 výstupcích úhlové rychlosti 30° za sekundu. Více informací o snímači naleznete na stránkách výrobce [22] a v katalogovém listu.



Obrázek 5.10: Snímač otáček Sensit ([22])

V důsledku stísněného manipulačního prostoru z vnitřní strany kotouče doporučuji vyhotovit přesné provedení až po získání snímače. Vhodná poloha pro montáž snímače se nachází vedle kulové mazací hlavice viditelné na obrázku 3.2. Snímač ani výstupky nemusí být kolmé ke kotouči brzdy. Skoro celý náboj a kolová brzda jsou ocelové, což by mohlo ovlivnit správné spínání snímače. Další omezení je dovolený ohyb přívodních vodičů. Doporučuji odzkoušet před konkrétním návrhem citlivost snímače přímo na náboji a určit jeho přibližnou polohu pro správnou funkčnost.

V části 3 z tabulky 3.8 vyplynulo nepřesné měření rychlosti, i aritmetický průměr se odlišuje od požadované rychlosti až o 0,5 km/h. Z výpočtu vychází, že snímač rychlosti otáčení bubnu má maximální snímanou frekvenci 100 Hz. Jako první bych doporučil kontrolu řízení rychlosti otáček, aby se aritmetický průměr nelišil od požadované hodnoty. Druhou úpravou by bylo použití stejného snímače i pro měření rychlosti otáčení bubnu. Vyšší snímaná frekvence až 200 Hz by umožnila navýšení spínacích výstupků na dvojnásobek, tedy vyšší přesnost měření.

5.9 Měření příkonu elektromotoru

Měření příkonu je důležité pro měření součinitele valivého odporu. Norma EHK 117 [16] udává přesnost měření příkonu ± 10 W, ale ta by byla nutná v případě použití měřícího náboje pro přesné měření přítláčné síly, zmíněného v bodu 5.6, a elektromotoru, který by přímo poháněl hřídel bubnu. Nezbytné je uvažovat vliv řemenového převodu, který snižuje účinnost přenosu výkonu. Měření příkonu je možné různými způsoby, od použití jednotlivých snímačů proudu a napětí až po elektroměry.

Já jsem zvolil jednodušší variantu s použitím elektroměru, který se umístí do rozvodné skříně zařízení a zapojí se na přívodní vodiče k elektromotoru. Vybral jsem elektroměr SE1-PM1 s odečtem přes internet od společnosti Mikromarz (obrázek 5.11). Jedná se o třífázový elektroměr s dálkovým odečtem energie a příkonu.



Obrázek 5.11: Elektroměr SE1-PM1 ([23])

Rozlišení přístroje je 1 W a příkon až 12,5 kW pro každou fázi. Uvedená přesnost je $\pm(1\% + 2\text{ W})$, ovšem technická podpora [23] mi uvedla možnost kalibrovaného přístroje s přesností 0,3%. Elektroměr by byl vybrán podle výstupních testů výroby a následně zkalibrován za příplatek 1 840 Kč. Podle technické podpory [23] probíhá odečet až 10 krát za sekundu v ethernetové síti. Zařízení lze připojit do lokální ethernetovou měřicí bránou NT3-DN4, více informací o zařízení a technickou podporu naleznete na stránce [23].

5.10 Zpracování signálu

Z důvodu návrhu dovybavení dalšími snímači je nutné uvažovat i o jejich zapojení, aby mohly plnit určenou funkci. Na pracovišti VVCD nalezneme měřící ústřednu pro převod analogového signálu ze snímačů na digitální. Vzhledem k potřebě průběžně měřit přidaný snímač sil a rychlosti otáčení kola, není nutné využívat zařízení pro více než 10 signálů.

Běžně se k vyhodnocování signálu používají externí měřící moduly pro zpracování elektrického signálu, které umožňují nastavení podle potřeb uživatele. Zařízení může snímače napájet, simulovat použití filtrů a převádí analogový signál na digitální.

Mezi výrobcem externích měřících modulu se řadí i společnost JanasCard. Zařízení od této společnosti jsou ověřená provozem při měření v laboratořích VVCD, například na testovacím zařízení železničních kol. Externí moduly této značky je možné připojit k počítači přes rozhraní USB nebo do libovolné ethernetové sítě a jejich vzorkovací frekvence výrazně převyšuje maximální požadované frekvence a vzorkovací frekvence snímačů. Na stránkách JanasCard [24] nalezneme tři základní modely. Verze AD24USB/AD24ETH diff je vhodná pro měření tenzometrických můstků, tedy i pro vybraný snímač sil burster

v bodě 5.6.1. Na uvedené internetové stránce nalezneme ještě dva jednodušší měřící moduly, které by dostačovaly pro měření otáček kola snímačem z bodu 5.8. Je vhodné zvážit všechny požadavky, protože s cenou klesá i přesnost měření.

Variantou možného zapojení je vložený snímač sil zapojit místo snímače tlaku, přes který se aktuálně dopočítává přítláčná síla. Regulaci tlaku je žádoucí monitorovat pouze pro udržení konstantního tlaku, dle přítláčné síly na vloženém snímači. Došlo by tak k přesnější regulaci přítláčné síly.

Do oblasti zpracování patří i vzorkovací frekvence jednotlivých snímaných signálů. Maximální nastavitelná vzorkovací frekvence je 50 Hz. Jak jsem již popisoval, měřená rychlost měla nezanedbatelnou nepřesnost. Zvýšení vzorkovací frekvence na 100 Hz případně 200 Hz spolu s navýšením počtu výstupků by mělo snížit rozptýl hodnot měřené rychlosti. Zvýšení frekvence je však podmíněno maximální snímkovací frekvencí daného snímače.

Snímač otáček kola jsem vybral s maximální snímkovací frekvencí 200 Hz, aby bylo možná zaznamenat změny rychlosti otáčení při přejezdu překážky. U snímače přítláčné síly je možné vzorkovat ještě vyšší frekvencí, protože se jedná pouze o foliové tenzometry zapojené do Wheatstonova můstku.

U zpracování signálu je vhodné uvažovat i nejistoty měření. Nejistoty typu A odpovídají směrodatné odchylce σ , například vyhodnocené v měření rychlosti v tabulce 3.8. Nejistoty typu B nelze určit statistickými metodami. Odhadují se ze spolehlivostních informací (specifikace výrobků, kalibračních listů aj.) a jejich vlivu. Z nejistot typu A a B se spočítá kombinovaná standardní nejistota. Kombinovaná nejistota se dále násobí součinitelem k získání rozšířené nejistoty, která při součiniteli 2 pokrývá 95 % měřitelných hodnot.

5.11 Kuličkový šroub

V případě, že vnitřní odpor hydraulického válce by ovlivňoval soustavu natolik, že by nebylo možné docílit požadované přesnosti přítláčné síly, je postup následovný. Použité posuvné uložení ramene je převzaté z CNC obráběcích strojů, které k přesnému posuvu využívají kuličkové šrouby. Běžně tyto CNC stroje dosahují přesnosti 0,005 mm, která je více než dostatečná. Tato varianta ale nezamezí ovlivnění měření pasivním odporem posuvného uložení ramene.

K přesnému řízení kuličkového šroubu je možné použít stávající měření polohy ramene nebo hodnotu přítláčné síly ze snímače sil. U varianty řízení přítláčnou silou je nutné

zabezpečit pohyb ramene v případě defektu pneumatiky, aby nedošlo ke kontaktu ráfku s povrchem bubnu. Výhodou kuličkového šroubu je stálost polohy při zvýšení přítláčné síly během přejezdu překážky.

Uvedené řešení, ale připadá v úvahu až po zabudování snímače síly do stávající konstrukce. Neuvádím zde proto žádné konkrétní provedení, pouze ukazuji postup, pokud by hydraulický válec způsoboval překračování přesnosti měření.

5.12 Překážky

Jak již jsem dříve zmínil, po obvodu bubnu adhezoru jsou dvě drážky pro umístění překážek. Aktuálně jsou překryté záslepkami, aby povrch bubnu byl hladký. V publikaci docenta Krmely [6] jsou popsány čtyři typy překážek pro dynamické výpočty kontaktu pneumatiky s vozovkou. Jedná se o překážku ve tvaru sinusovky, skoku, lichoběžníku a obdélníku. Jejich umístěním na povrch bubnu by bylo možné porovnávat simulace se skutečností nebo je využít pro zkoušky životnosti pneumatik.

Překážka ve tvaru sinusovky nebo skok jsou pro použití na povrchu bubnu nevhodné. Sinusovka vyžaduje nulovou osu s rovinou a velikost drážek není dostatečná. Nejnižší bod sinusovky se nachází 10 mm pod úrovní, zatímco hloubka drážky je pouhých 5 mm. Skok o 10 mm nahoru by vytvořitelný byl, ale po obvodu bubnu by došlo k velkému přidání hmoty. Tím by vznikl výrazný nevývažek a obvod bubnu není dostatečně velký, aby před opětovným nájezdem na skok byla pneumatika utlumena i při vyšších rychlostech.

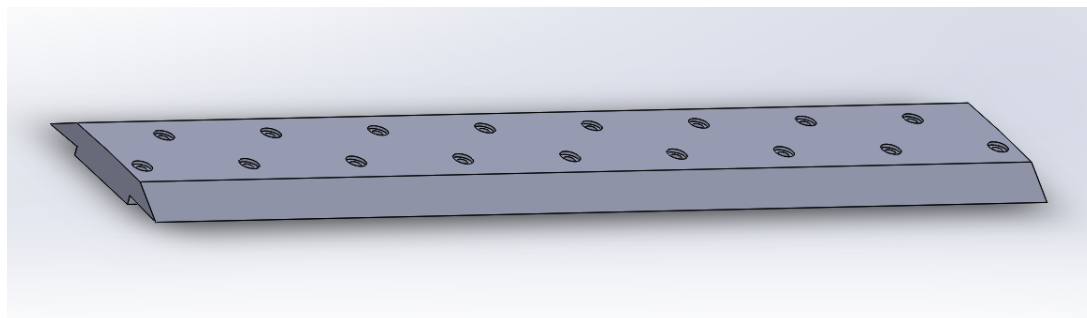
Podobný efekt jako dva skoky za sebou v kratším intervalu nabízí následující varianty. Překážka ve tvaru lichoběžníku a obdélníku jsou velikostně vhodné, a proto budou dále popsány. Podle publikace [6] jsem překážky přizpůsobil průměru bubnu a následně namodeloval podle tvaru a rozměrů drážek.

Důležité je provést měření s překážkami až po zabudování snímače sil. Měření by mělo postupovat od nízkého přítlaku po vyšší (přibližně 3 kN) při nižších rychlostech, aby výkmity nepřesáhly hodnotu 5 kN. Podle průběhu je potřebné přibližně určit maximální hodnotu přítláčné síly. Následně zatěžování prokonzultovat s dodavatelem stroje společností VÚB a.s. aby nedošlo k jeho poškození.

5.12.1 Lichoběžníková překážka

Jako první popíši nerovnost ve tvaru rovnoramenného lichoběžníku, tvar je brán z bočního pohledu bez spodní části. Délka základy je 100 mm, protilehlé rovnoběžky

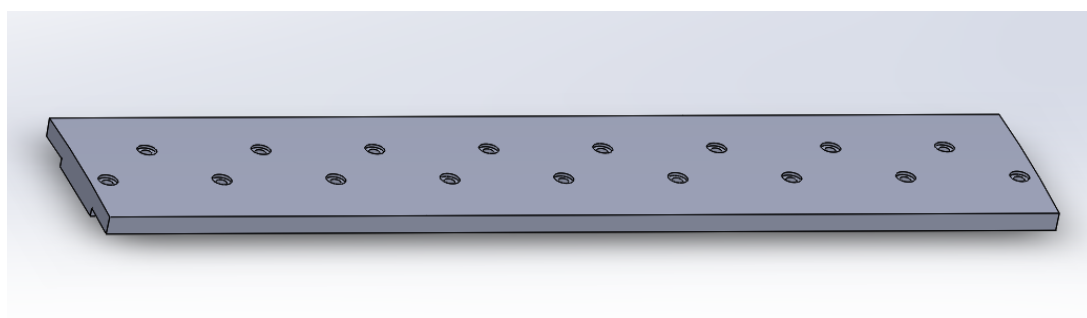
60 mm s výškou 10 mm. Obě rovnoběžky jsou přeneseny na rádius bubnu, aby rozvinutý tvar odpovídal překážce na rovině. Určitým zjednodušením je přímá přechodová část, ale na dané délce a poloměru je rádius zanedbatelný. Konkrétní provedení nalezneme na obrázku 5.12, překážka by měla být z oceli 11 523 a technický výkres se nachází v příloze. Na připevnění překážky slouží otvory shodně rozmístěné a velké jako u záslepek. Šrouby jsem uvažoval stejného tvaru, pouze s o 10 mm delším dřikem než u záslepek.



Obrázek 5.12: Lichoběžníková překážka

5.12.2 Obdélníková překážka

Překážka ve tvaru obdélníku nemá žádnou přechodovou část a nárůst je skokový o 10 mm. Délka překážky je 100 mm a tvar je opět přizpůsoben poloměru bubnu. K připevnění poslouží stejné šrouby jako v případě předchozí překážky 5.12.1. Výrazný vliv u této překážky má tvar sražení vrchní hrany, jak jsem uvedl ve výkresové dokumentaci, doporučuji stejné sražení jako u všech nekótovaných hran $0,5 \times 45^\circ$, aby došlo pouze k odstranění otřepů z výroby. Konkrétní provedení nalezneme na obrázku 5.13, překážka by měla být vyrobena z oceli 11 523 a technický výkres se nachází v přílohách.



Obrázek 5.13: Obdélníková překážka

6. Zhodnocení zvoleného technického řešení

Zásadním nedostatkem aktuálního stavu dynamického adhezoru je způsob měření přítláčné síly. Vložení snímače sil mezi hydraulický válec a posuvné rameno výrazně zlepší přesnost. Vliv pasivních odporů posuvného uložení ramene bude možné změřit a tím i určit jejich významnost. Konstrukční řešení uložení snímače je zvoleno tak, aby minimálně snižovalo vzdálenost ramene od povrchu bubnu a zároveň neznamenovalo výraznější zásah do konstrukce stroje. Nutnou úpravou je výměna uložení hydraulického válce za díl s přírubou, zabroušení desky, případně odříznutí výčnělku, a vytvoření závitů.

Pro zpřesnění měření na dynamickém adhezoru je důležité přesné měření házivosti ráfku a následné precizní umístění na náboj ramene. Oboje zaručí digitální úchytkoměr. Mezi jednodušší způsoby dovybavení patří pořízení kontaktního teploměru a manometru, které určí tlak huštění, teplotu povrchu bubnu, pneumatiky a vzduchu.

Mezi další jednoduché úpravy patří fixace základní polohy a použití štítků s noniovou stupnicí pro natáčení ramene. Přesné otvory s kolíky zjednoduší a zároveň zpřesní nastavení kolmé polohy.

Dovybavení náboje snímačem rychlosti otáčení umožní měřit skluzové charakteristiky pneumatik při brzdění kolovou brzdou. Snímač je nezbytnou podmínkou pro měření valivého odporu metodou zpomalení. Nevýhodou je nezbytné rozebrání náboje ramene během návrhu a montáže, z důvodu nedostatečného přístupu.

Ze čtyř metod pro měření valivého odporu dvě vyžadují výraznou investici nebo zásah do konstrukce stroje. Z návrhu měřícího náboje v bakalářské práci [20], na kterou navazují, sešlo z důvodů vysoké nákladnosti řešení. Proto jsem se ani nesnažil měření krouťícího momentu na hřídeli bubnu navrhovat. V úvahu tedy přicházejí dvě zbylé metody, metoda zpomalení a výkonová metoda.

Metoda zpomalení přichází v úvahu pouze jako ukázka. Pro měření není vhodná, vyžaduje znalost momentů setrvačnosti rotačních součástí bubnu a měřeného kola. Momenty setrvačnosti rotačních částí zařízení by bylo možné získat od výrobce [15], protože podle obrázků v dokumentaci byly vytvořeny 3D modely. Ovšem přesnost oproti skutečným momentům setrvačnosti se liší podle použitých technologií, vyvážení atd. Určení momentu setrvačnosti kola je možné pouze přibližně, experimentální metodou otáčení okolo osy rovnoběžnou s osou rotace, ale umístěnou co nejdál.

Výkonová metoda vychází z měření příkonu elektromotoru, který pohání buben přes řemenový převod. Bohužel tento převod snižuje účinnost a tak znepřesňuje výsledky měření. Účinnost řemenového přenosu pro příčně drážkovaný řemen závisí na mnoha faktorech: teploty řemene, úhlu opásání, síly předeprnutí aj. Proto uvedené řešení v bodě 5.9 v podobě elektroměru lze považovat za dostatečně přesné.

Poslední a velmi výrazné vylepšení je montáž dvou překážek po obvodu bubnu. Při návrhu bubnu s nimi bylo počítáno, proto jsou na bubnu dvě drážky se záslepkami. Uvedl jsem dvě konkrétní varianty překážek včetně technické dokumentace. Jedna varianta je obdélníková překážka s ostrými rohy a druhá je lichoběžníková. Překážky jsou uzpůsobeny průměru bubnu, aby po rozvinutí odpovídaly nerovnostem při simulacích. Kromě porovnávání výsledků měření se simulacemi jsou překážky vhodné pro zkoušky životnosti pneumatik.

Závěr

Práci jsem zaměřil na vylepšení stávajícího dynamického adhezoru pro zkoušení pneumatik osobních automobilů, které se nachází v prostorách VVCD. První část jsem věnoval vývoji pneumatik, jejich funkcím, konstrukci a popisu včetně vozidlových kol. Obsahem je shrnutí podstatných informací, které jsou nezbytné pro zkoušení pneumatik. V druhé části popisuji zkoušení pneumatik od základních oblastí zkoušení po konkrétní příklady zkušebních zařízení. Část zahrnuje i vyvažování kol a popis méně známé mobilní vyvažovačky.

Třetí část jsem zaměřil na popis konkrétního dynamického adhezoru DA-1, který se nachází ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě. Podrobně jsem popsal hlavní části zařízení včetně jejich možností nastavení, funkce a obsluhy. Dále jsem se věnoval vlastnímu měření na dynamickém adhezoru. Měření jsem záměrně prováděl na nízkoprofilové pneumatice se zvýšenou nosností, aby se projevil nedostatky stroje. Následně jsem zhodnotil výsledky měření a nedostatky dynamického adhezoru.

Ve čtvrté části jsem popsal jaké veličiny a charakteristiky by bylo možné na stroji měřit. Nastíhují zde možné metody měření valivého odporu podle normy a proč je žádoucí jej měřit. Z popisu metod měření také vyplynula řada požadavků na vybavení a přesnost použitých zařízení, kterou jsem využil v dalších kapitolách.

Celou pátou část soustřeďuji na dovybavení a úpravy stroje. Nejprve doporučuji údržbu, dále jednodušší a méně nákladná vylepšení v podobě dovybavení přesným úchylkoměrem, manometrem a teploměrem. Následně navrhuji konstrukční úpravu pro pevné určení základní polohy ramene stroje a navrhuji snímání rychlosti otáčení měřené pneumatiky. Doporučuji zapojení elektroměru pro měření příkonu motoru nezbytného pro určení valivého odporu pneumatik.

Vytvořil jsem speciální přírubu pro připevnění snímače sil mezi hydraulický válec a posuvné rameno, na kterém navrhuji několik úprav. Snímač sil je nezbytný pro přesné měření přítláčné síly. Navrhl jsem dva typy překážek přizpůsobených na povrch bubnu, které vychází z překážek používaných v simulacích. Uplatnění překážky naleznou v porovnání měření se simulací i při zkouškách životnosti pneumatik.

Na závěr jsem zhodnotil navrhované úpravy a dovybavení. Vysvětlil jsem výběr jednotlivých zvolených řešení. V čem jsou jednotlivé úpravy a vylepšení podstatné a proč je vhodné je realizovat.

Seznam použité literatury

- [1] Ernst, K.: This Day in History, 1845: Robert William Thomson patents the pneumatic tire. *Hemmings Daily*, 2013, [online], [cit. 2018-03-02] <https://www.hemmings.com/blog/2013/12/10/this-day-in-history-1845-robert-william-thomson-patents-the-pneumatic-tire/>.
- [2] Marcín, J.; Zítek, P.: *Pneumatiky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- [3] Vlk, F.: *Podvozky motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006, ISBN 80-239-6464-X, 3. přepracované, rozšířené a aktualizované vydání.
- [4] Pneu poradna: Konstrukce pneumatiky. 2015, [online], [cit. 2018-03-02] <http://www.pneu-poradna.cz/vse-o-pneu/konstrukce-pneumatiky>.
- [5] ProCarCare: Tires. 1998, [online], [cit. 2018-03-03] http://www.procarcare.com/icarumba/resourcecenter/encyclopedia/icar_resourcecenter_encyclopedia_tires1.asp.
- [6] Krmela, J.: *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I*. Brno: Tribun EU, 2008, ISBN 978-80-7399-365-8.
- [7] EHK 030: *Jednotná ustanovení pro schválení pneumatik motorových vozidel a jejich přípojných vozidel*. Ženeva, 2007, revize 3.
- [8] ipneu.cz: Značení ocelových disků. 2018, [online], [cit. 2018-03-05] <https://www.ipneu.cz/dokumenty/znaceni-ocelovych-disku>.
- [9] Zikmund, T.: *Zkoušení silničních vozidel*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013, ISBN 978-80-7395-618-9.
- [10] Vlk, F.: *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2001, ISBN 80-238-6573-0, 1. vydání.
- [11] Kugler, L.: *Návrh úprav a dovybavení statického adhezoru*. Diplomová práce, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2017.
- [12] A&D Technology: Flat Belt Tire Test Machine. 2017, [online], [cit. 2018-03-18] <https://www.aanddtech.com/FlatBelt.html>.
- [13] HOFMANN: Balancers Products. 2018, [online], [cit. 2018-03-26] http://hofmann-sh.com/en/product.asp?content_type=2006052400371102035498.
- [14] NOVAX: Dowazanie kół na pojezdzie. 2015, [online], [cit. 2018-03-26] <http://novax.pl/s/39-dowazanie-kol-na-pojezdzie>.

- [15] VÚB a.s. Ústí nad Orlicí: Programová a dokumentová podpora pro dynamický adhezor DA-1. 2013, dostupné na pracovišti VVCD.
- [16] EHK 117: *Jednotná ustanovení pro schvalování pneumatik z hlediska akustického tlaku odvalování a/nebo přilnavosti na mokrých površích a/nebo valivého odporu*. Ženeva, 2014, revize 3.
- [17] KLZ: 543-781B - Digitální úchylkoměr. 2017, [online], [cit. 2018-04-26] <http://www.klz.inshop.cz/543-781b-digitalni-uchylkomer-id-sx-127001-mm-ip42>.
- [18] Prisma electronics: Digital tire pressure gauge HIPREMA 3. 2018, [online], [cit. 2018-04-27] <http://www.prismaelectronics.com/en/products/digital-tire-pressure-gauge-hiprema-3>.
- [19] Termoprodukt: Přesný digitální teplomer s čidlem PT1000 DT-2. 2018, [online], [cit. 2018-04-26] <http://www.termoprodukt.cz/category/laboratorni-teplomery/teplomer-s-cidlem-pt1000-dt2>.
- [20] Vícha, O.: *Návrh vstupních parametrů snímače pro dynamický adhezor*. Bakalářská práce, Univerzita Pardubice, Doprávní fakulta Jana Pernera, 2017.
- [21] MEATEST: 85041/85075 Přesné snímače tahové a tlakové síly s omezeným vlivem bočních sil. 2018, [online], [cit. 2018-04-29] <https://www.meatest.com/cs/produkty-85041-85075-presne-snimace-tahove-a-tlakove-sily-s-omezenym-vlivem-bocnich-sil-detail-76>.
- [22] SENSIT: Zabudovatelný indukční snímač otáček M18. 2018, [online], [cit. 2018-05-02] <http://www.sensit.cz/shop/zabudovatelny-indukcni-snimac-otacek-m18/indotm18/5c23b207.html>.
- [23] MIKROMARZ.com: Elektroměr SE1-PM1 s odečtem přes internet. 2018, [online], [cit. 2018-05-07] <https://www.mikromarz.com/www-mikromarz-cz/eshop/51-1-Elektromery/0/5/766-Elektromer-SE1-PM1-s-odectem-pres-internet>.
- [24] JanasCard: Externí měřicí moduly. 2016, [online], [cit. 2018-05-07] http://www.janascard.cz/cj_Vyroby.html.

Seznam obrázků a tabulek

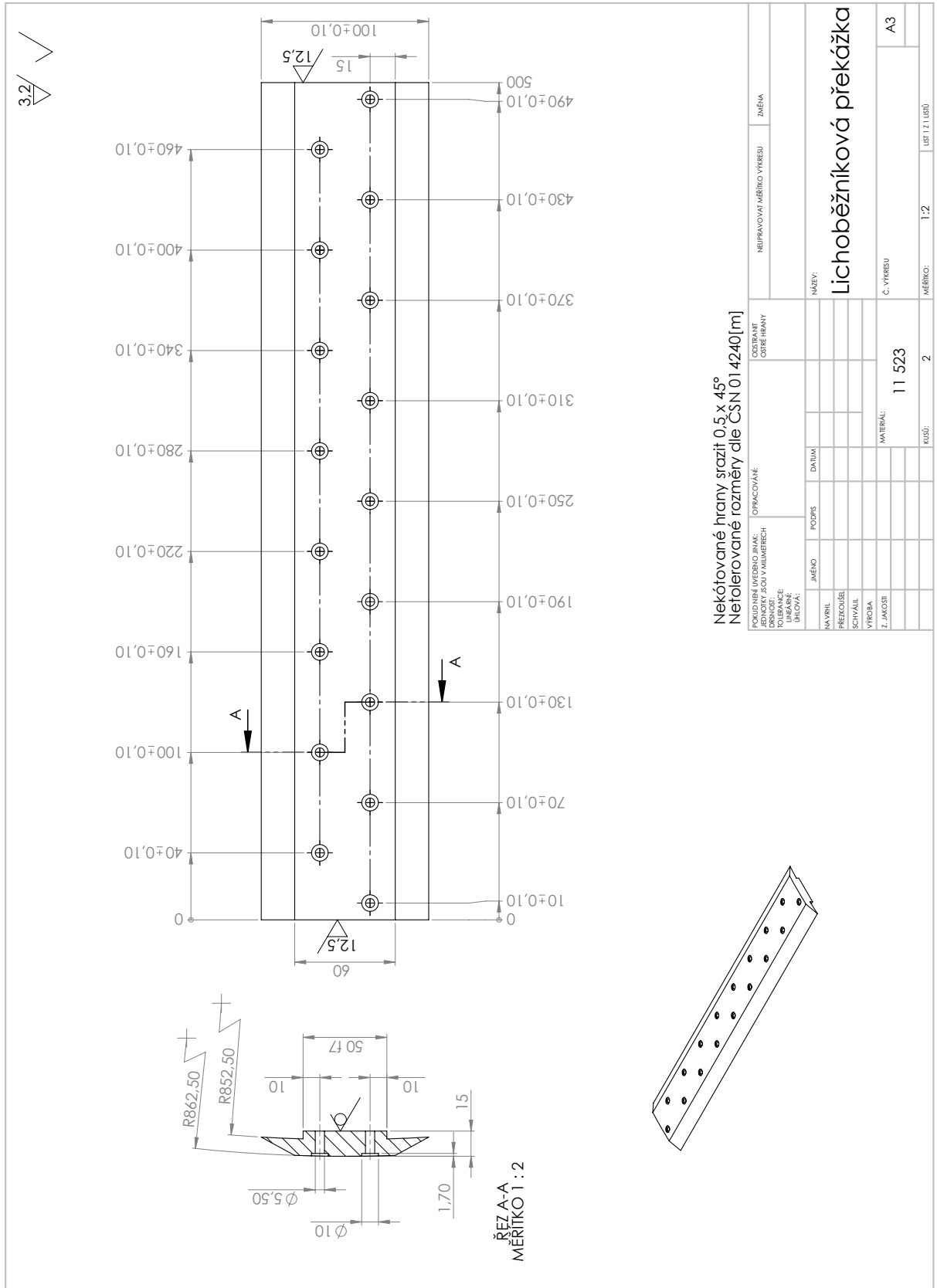
1 Pneumatiky, kola	
1.1 Aerial Wheel	11
1.2 Konstrukce pláště pneumatiky	16
1.3 Konstrukce kostry pláště	18
1.4 Přehled nosnostních indexů	19
1.5 Přehled rychlostních kategorií	20
1.6 Řez diskovým kolem	21
2 Zkoušení pneumatik	
2.1 Zkoušky pneumatiky jako celek	24
2.2 Statický adhezor	26
2.3 Flat Belt Tire Test Machine	28
2.4 Hofmann finishbalancer sd-10	30
3 Popis aktuálního stavu dynamického adhezeru	
3.1 Dynamický adhezor DA-1	31
3.2 Posuvné rameno DA-1	32
3.3 Ovládací panel adhezeru DA-1	33
3.4 Dynamický adhezor DA-1 během provozu	34
3.5 Graf průběhu deformace pneumatiky	36
3.6 Porovnání požadovaných a naměřených zatížení	37
3.7 Směrodatné odchylky přítláčné síly a polohy ramene	37
3.8 Přehled požadovaných a naměřených rychlostí	38
4 Možnosti a požadavky na dovybavení a úpravy stroje	
4.1 Požadované přesnosti použitých přístrojů	42
4.2 Detail pohonu bubnu	44
5 Návrh úprav částí stroje a jeho dovybavení	
5.1 Úchylkoměr Mitutoyo 543-781B	46
5.2 Manometr Hi.Pre.Ma 3 Evo	47
5.3 Teploměr Thermometr DT-2	47
5.4 Snímač burster 85075-10	48
5.5 Základní údaje snímače sil	49
5.6 Schéma rozměrů snímače burster 85075-10	49

5.7	Detail uchycení hydraulického válce	50
5.8	Příruba snímače sil	51
5.9	Detail stupnice odklonu ramene	51
5.10	Snímač otáček Sensit	53
5.11	Elektroměr SE1-PM1	54
5.12	Lichoběžníková překážka	57
5.13	Obdélníková překážka	57

Seznam symbolů

ω	úhlová rychlost
σ	směrodatná odchylka
A	elektrický proud odebíraný pohonem
C_r	koeficient odporu valení
F_p	parazitní síly odporu valení
F_r	odpor valení
F_t	síla na ose kola
I	moment setrvačnosti
K	součinitel pro přepočítání valivého odporu na buben o jiném průměru
P	elektrický příkon elektromotoru
r_0	volný poloměr pneumatiky
r_d	dynamický poloměr pneumatiky
r_j	jmenovitý poloměr pneumatiky
R_m	poloměr bubnu
r_s	statický poloměr pneumatiky
t	čas
t_m	teplota
T_t	vstupní kroučící moment
U	elektrické napětí pohonu válce
V	rychlost povrchu bubnu v kilometrech za hodinu
ET	zális ráfku
LI	nosnostní index pneumatiky
SS(SI)	kategorie rychlosti pneumatiky
XL	zesílená konstrukce pneumatiky

Příloha B. Výkresová dokumentace lichoběžníkové překážky



Příloha C. Výkresová dokumentace obdélníkové překážky

