

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Vojtěch Dytrych

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Stanovení metodiky pro měření na statickém a dynamickém adhezoru

Vojtěch Dytrych

Bakalářská práce

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vojtěch Dytrych**
Osobní číslo: **D15146**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Stanovení metodiky pro měření na statickém a dynamickém 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 :

Autor práce bude postupovat podle sestavené osnovy a to dle svých vědeckých možností. Současně bude získané výsledky konzultovat s vedoucím práce tak, aby byly splněny cíle práce.

1. Pneumatiky silničních vozidel.
2. Statický a dynamický adhezor Univerzity Pardubice.
3. Stanovení metodiky pro měření na statickém adhezoru.
4. Stanovení metodiky pro měření na dynamickém adhezoru.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] VLK, F.: Podvozky motorových vozidel: pneumatiky a kola, zavěšení kol, nápravy, odpružení, řídicí ústrojí, brzdové systémy. 3. přeprac., rozšíř. a aktualizované vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-X.

[2] MARCÍN, J., ZÍTEK, P.: Pneumatiky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.

[3] KRMELA, J.: Pláště pneumatik a jejich materiálové charakteristiky pro výpočtové modelování: Pláště pneumatik a ich materiálové charakteristiky pre výpočtové modelovanie : vědecká monografie. Zábřeh: Jan Krmela, 2017. ISBN 978-80-270-2893-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Jilek, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2019



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

L.S.



Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012 Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

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

V Pardubicích dne 14. 5. 2019

Vojtěch Dytrych

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli pomoc při tvorbě této bakalářské práce. Zejména pak panu Ing. Petru Jilkovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a poskytnutí materiálů, které mi pomáhaly při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Ivu Šefčíkovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady při práci na statickém adhezoru a také doc. Ing. Janu Krmelovi, Ph.D., který mi poskytl dílčí podklady pro tvorbu této práce. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině, která mi umožnila studium na vysoké škole a byla mi oporou po dobu celého studia.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá stanovením metodiky pro měření na statickém a dynamickém adhezoru, kterými disponuje Univerzita Pardubice. Teoretická část práce je věnována informacím o pneumatikách osobních automobilů, zkušebnictví pneumatik a popisu statického a dynamického adhezoru. V praktické části je stanovena metodika pro měření vybraných statických a dynamických laboratorních zkoušek.

Klíčová slova

pneumatiky, statický adhezor, dynamický adhezor, zkušebnictví pneumatik, radiální zatížení, valivý odpor

Title

The determination of methodology for measuring on static and dynamic adhesor

Annotation

This bachelor thesis deals with determination of methodology for measuring on the static and dynamic adhesors, which the University of Pardubice owns. The theoretical part of thesis is devoted to the information about passenger car tires, tire testing and description of static and dynamic adhesors. In the practical part, there is the methodology for measuring selected static and dynamic laboratory tests presented.

Keywords

tires, static adhesor, dynamic adhesor, tire testing, radial load, rolling resistance

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Úvod	12
1 Pneumatiky silničních vozidel.....	13
1.1 Definice.....	13
1.2 Funkce.....	13
1.3 Historický vývoj	14
1.4 Konstrukce a klasifikace	16
1.5 Rozdělení podle konstrukce.....	20
1.6 Označování	22
1.7 Deformační charakteristiky pneumatik.....	24
2 Statický a dynamický adhezor Univerzity Pardubice	28
2.1 Zkušebnictví pneumatik.....	28
2.2 Statický adhezor.....	30
2.3 Dynamický adhezor	33
3 Stanovení metodiky pro měření na statickém adhezoru	37
3.1 Bezpečnostní pokyny	37
3.2 Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek.....	37
3.3 Měření statické radiální tuhosti a statického poloměru	39
3.4 Měření statické obvodové tuhosti	43
3.5 Měření statické boční tuhosti.....	46
3.6 Stanovení tlaku ve stopě pneumatiky z otisku.....	48
4 Stanovení metodiky pro měření na dynamickém adhezoru	52
4.1 Bezpečnostní pokyny	52
4.2 Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek.....	52
4.3 Aktivace dynamického adhezoru.....	52

4.4	Měření valivého odporu pomocí výkonové metody	53
4.5	Zkouška při konstantním zatížení a stupňovitém zvyšování rychlosti	58
Závěr	63
Použitá literatura	65
Seznam příloh	68

Seznam obrázků

Obr. 1: Plné, dřevěné kolo	15
Obr. 2: Plášť pneumatiky	18
Obr. 3: Základní typy dezénů	19
Obr. 4: Konstrukční typy plášťů	21
Obr. 5: Označování pneumatik	22
Obr. 6: Radiální deformace pneumatiky	25
Obr. 7: Radiální tuhost pneumatiky	25
Obr. 8: Torzní deformace pneumatiky	26
Obr. 9: Torzní deformační charakteristika	26
Obr. 10: Boční deformace pneumatiky	27
Obr. 11: Statický adhezor SA-1	31
Obr. 12: Rameno statického adhezoru	32
Obr. 13: Zatěžovací válec dynamického adhezoru	35
Obr. 14: Rameno dynamického adhezoru	36
Obr. 15: Zkušební program AD client	40
Obr. 16: Otisk pneumatiky	49

Seznam tabulek

Tab. 1: Požadované přesnosti zkušebního zařízení	54
Tab. 2: Parametry zk. valivého odporu	55
Tab. 3: Parametry zk. při konstantním zatížení a stupňovitém zvyšování rychlosti.....	60

Úvod

V dnešní době se na osobní automobily kladou čím dál tím větší nároky. Jedná se nejen o zvyšování výkonu, rychlosti, komfortu a bezpečnosti, ale také o snižování emisí výfukových plynů, emisí hluku a mnoha dalších. Tyto nároky se přímo promítají do požadavků kladených na automobilové pneumatiky, které jako jediný prvek zajišťují styk automobilu s vozovkou. Vhodně zvolená konstrukce a materiál pneumatik pro určité podmínky provozu, má za následek správné vedení vozidla po zvolené trajektorii, nesení zátěže, tlumení nárazů, přenos brzdných a suvných sil, vykonávání valivého pohybu a mnoho dalších funkcí. Jestli je pneumatika schopna tyto požadavky plnit, je zjišťováno pomocí laboratorních, silničních a speciálních zkoušek.

Univerzita Pardubice disponuje v této době zařízeními, která slouží k provádění laboratorních zkoušek pneumatik. Jedná se o statický a dynamický adhezor. Cílem této práce je stanovení metodiky pro měření na těchto zařízeních. Jelikož je však problematika zkušebnictví pneumatik velice rozsáhlá a rozsah bakalářské práce omezen, bude z celkového výčtu statických a dynamických zkoušek, které lze provádět na zkušebních zařízeních Univerzity Pardubice, vybráno pouze několik základních zkoušek, pro které bude v práci metodika vypracována.

V úvodních kapitolách práce budou uvedeny obecné informace o pneumatikách osobních automobilů. Dále bude teoretická část práce obsahovat informace o zkušebnictví pneumatik a v neposlední řadě zde bude uveden popis zkušebních zařízení Univerzity Pardubice, která slouží k vykonávání laboratorních zkoušek pneumatik.

V úvodu praktické části práce bude zapotřebí se věnovat bezpečnostním pokynům, pro provoz zkušebních zařízení a také zde bude popsána příprava pneumatik k provádění laboratorních zkoušek. Následovat bude stanovení metodiky pro měření statických parametrů pneumatik, prováděných na statickém adhezoru a dále také stanovení metodiky pro měření na adhezoru dynamickém.

1 Pneumatiky silničních vozidel

1.1 Definice

Pojem pneumatika je definován dle normy ČSN 64 1001 „*pneumatikou rozumíme plášť, popř. s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem*“. [1] Jestliže se jedná o pneumatiku bezdušovou, skládá se pouze z pláště namontovaného na ráfek a je nahuštěna tlakovým médiem. [1]

Samotný plášť je pak definován normou ČSN 64 1001 „*plášť je pružná vnější část pneumatiky, která zajišťuje styk s vozovkou a svou patní částí dosedá na ráfek*“. [1]

Pneumatiku je možné dále posoudit podle několika hledisek. Jedná-li se o geometrické hledisko, tvoří pneumatiku uzavřený prstenec neboli toroid. Z hlediska pružnosti a pevnosti se jedná o tlakovou nádobu, v tomto případě se stěny dají nahradit pružnými membránami. Dle materiálového hlediska je plášť pneumatiky označován jako specifický příklad dlouhovláknového kompozitu, který je tvořený elastomerovou maticí a výztužnými textilními a ocelovými kordy. Mezi další hlediska, podle kterých lze pneumatiku definovat, patří: popis vlastností a silové působení. [1], [2]

1.2 Funkce

Jelikož jsou pneumatiky jediným prvkem automobilu, kde dochází ke styku vozidla s vozovkou, mají velké množství funkcí. [3]

Hlavní funkce pneumatiky [3]:

- vedení vozidla po zvolené trajektorii,
- nesení zátěže,
- tlumení nárazů vzniklých nerovnostmi vozovky,
- přenos brzdné a suvné síly na vozovku,
- vykonávání valivého pohybu.

Další důležité funkce pneumatiky [3]:

- vyvíjení bočních sil,
- vyvíjení co nejmenšího hluku a vibrací,
- vysoká životnost, bezpečnost a přijatelná cena,

- možnost recyklace nebo protektorování,
- vysoká pevnost, odolnost vůči opotřebení, dynamická a statická vyváženost.

Vedení vozidla po zvolené trajektorii

Jedna z nejdůležitějších funkcí pneumatiky je vedení vozidla po zvolené trajektorii. Toto vedení by mělo být přesné a stav povrchu vozovky nebo klimatické podmínky by na něj neměly mít vliv. Pneumatiky musí odolat příčným silám tak, aby vozidlo neopustilo svou trajektorii. Na tom, jak pneumatika dokáže držet stopu, závisí stabilita celého vozidla.

Nesení zátěže

Pneumatiky musí být schopné přenést zatížení při různých stavech. Jestliže se vozidlo nachází v klidovém stavu, pneumatiky přenáší zatížení vzniklé samotnou hmotností daného vozidla. Pokud je však vozidlo v pohybu, k tomuto klidovému zatížení se ještě přidává přesun zátěže vzniklý akcelerací, brzděním, průjezdem zatáčkou a dalšími vlivy.

Tlumení nárazů vzniklých nerovnostmi vozovky

Konstrukce a materiál pneumatik musí zajišťovat úplné nebo částečné tlumení nárazů, které vznikají při přejezdu přes překážku a jízdě po nerovnostech vozovky. K tlumení také značně přispívá elasticita vzduchu, jímž je pneumatika nahuštěna. Všechny tyto parametry a správný tlak v pneumatikách vedou ke zvýšení komfortu jízdy, dosažení vyšší životnosti vozidlových dílů a také ke stabilitě vozidla.

Přenos brzdné a suvné síly na vozovku

Jakožto jediný prvek automobilu, který plní interakci mezi vozovkou a vozidlem, musí pneumatiky co nejlépe přenášet suvné a brzdné síly. Vyvolaná akcelerace nebo decelerace by měla být na vozovku přenesena s co nejvyšší účinností.

Vykonávání valivého pohybu

Čím se pneumatiky odvalují rovnoměrněji, jistěji a s nižším valivým odporem, tím je zajištěn vyšší komfort jízdy, nižší spotřeba paliva, a tím pádem také menší produkce výfukových plynů.

1.3 Historický vývoj

Vozidlové kolo, tak jak ho známe dnes, si prošlo za řadu let velmi rozsáhlým vývojem. Prvopočátky vzniku kola jsou odhadovány na dobu více než před 5000 lety. Dlouho byli za vynálezce kola považováni Sumerové, až do roku 2002, kdy archeologové ve Slovinsku našli

nejstarší dochované kolo (*Obr. 1*). Dle nálezů z této doby byla kola vyráběna z dřevěných desek, které dohromady byly spojovány svlaky neboli dřevěnými díly, které příčně spojovaly jednotlivé desky (*Obr. 1*). Dalším důležitým milníkem ve vývoji bylo nepochybně nahrazení plného kola lehčím loukot'ovým kolem, jehož obvod byl osazený ocelovou obručí, která zaručovala vyšší odolnost vůči opotřebení a deformaci kola. [3], [4]



Obr. 1: Plné, dřevěné kolo (zdroj [4])

Lidé si díky vynálezu kola velmi zjednodušili život, ať už se jednalo o přepravu těžkých nákladů na delší vzdálenosti nebo o přepravu samotných osob. V té době již kolo splňovalo některé z požadovaných funkcí, vedení vozu po dané trajektorii a nesení zátěže. Ale nebylo schopné tlumit rázy od vozovky. S velmi důmyslným vylepšením přišel roku 1845 Robert William Thomson, který si nechal patentovat tzv. vzdušné kolo neboli „Aerial Wheel“. Bylo vyrobeno z pryžové trubky naplněné vzduchem a překryté kůží, která byla připevněna k ráfku. Z důvodu složité výroby a krátké životnosti byl tento návrh neúspěšný. [3], [5]

Na vynález pana Thomsona se téměř zapomnělo a automobily, jízdní kola a další kolové prostředky dále využívaly konstrukce tvořené ocelovým diskem s celopryžovou obručí. Zásadní zlom přišel až v roce 1888 a stál za ním J. B. Dunlop. Nevědomky okopíroval nápad R. W. Thomsona a na ocelový ráfek umístil hadici nahuštěnou vzduchem a utěsnil jí jednoduchým ventilkem. Obrat ve výrobě pneumatik nastal roku 1889, kdy cyklistický závod vyhrál závodník, který měl kolo osazené pneumatikami J. B. Dunlopa. O rok později již bylo vyráběno 1000 pneumatik týdně firmou „Pneumatic Tyre and Booth's cycle agency limited“, která odkoupila patent pana Dunlopa. Zdálo by se, že tímto vznikl jeden velký monopol na výrobu pneumatik. Ale po zjištění, že velmi podobný patent již existuje od zmíněného

J. R. Thomsona, mohl pneumatiky vyrábět kdokoliv a nemusel brát ohledy na producenta „dunlopek“. O několik let později se začal tento typ pneumatiky využívat i v oblasti automobilů, k čemuž nejvýznamněji přispěl Andre Michelin. [1], [3], [5], [6]

Pokud se zaměříme na historický vývoj pneumatik pro osobní a nákladní automobily, je zapotřebí se vrátit do roku 1846, kdy Thomas Hancock vyvinul celopryžovou obruč nasazenou na ocelovém ráfku. Tato konstrukce však nedokázala odolat vysoké zátěži a dlouhodobému provozu, proto bylo nutné ji vyztužit. K vyztužení sloužila kostra tvořena kříženým výztužným materiálem, který byl později nahrazen kordovou tkaninou. Kordová tkanina se postupem času zdokonalovala a prvotně využívaný materiál irský len, byl nahrazen bavlnou, regenerovanou celulózu, ocelovým kordem, polyamidovým kordem, polyesterovým kordem anebo kordem aramidovým. [1], [3], [6]

Paralelně s vývojem kordové tkaniny docházelo k vývoji i dalších částí pneumatiky, mezi důležité milníky patří rok 1904, kdy byl poprvé zaveden plochý běhoun a hned v následujícím roce byl běhoun opatřen vzorkem, který měl za důsledek zlepšení přenosu sil mezi vozovkou a vozidlem. Po druhé světové válce začala firma Michelin s vývojem radiálního pláště a také byla zavedena bezdušová konstrukce pneumatik. Vynalezení pneumatiky s diagonální kostrou opásanou výztužným pásem se datuje do roku 1967. [1], [3], [6]

Vývoj pneumatik není v dnešní době zdaleka u konce, kvůli zvyšujícímu se počtu automobilů a větším nárokům zákazníků na bezpečnost, komfort a jízdní vlastnosti. K tomu, aby bylo vyhověno těmto nárokům, je zapotřebí pneumatiky stále zlepšovat a být před samotným vývojem automobilů o krok napřed, aby bylo možné flexibilní přiřazení pneumatiky k automobilu. [1], [3], [5]

Podrobný vývoj pneumatik je možné najít v publikaci *Pneumatiky*. [3]

1.4 Konstrukce a klasifikace

V dnešní době se můžeme setkat s nepřeberným množstvím konstrukčních řešení pneumatik. Konstrukce se odvíjí od toho, na jakém zařízení je pneumatika používána, jeden typ konstrukce je používán pro osobní automobily, jiný pro nákladní, terénní a sportovní vozy. V určitém ohledu složitější typy pneumatik nalezneme např. u letadel, zemědělských strojů, důlních strojů a mnoha dalších. Pro potřeby mé bakalářské práce se zaměřím primárně

na pneumatiky osobních automobilů, které jsou na adhezorech Univerzity Pardubice zkoušeny nejčastěji.

Předtím, než se budu zabývat konstrukcí pláště, což je pravděpodobně nejsložitější a nejdůležitější část pneumatiky, je důležité si definovat ostatní taktéž důležité prvky.

1.4.1 Duše

Duši pneumatiky je možné charakterizovat jako uzavřenou tlakovou nádobu, která je vyrobena z pryže a v určitém místě osazena ventilem. Je vytvořena tak, aby byla schopna po natlakování médiem kopírovat tvar pláště a ráfku. U nynějších osobních automobilů se s duší nesetkáváme, tato koncepce byla nahrazena bezdušovým provedením pneumatiky. Pneumatiky s duší je možné nalézt v této době spíše u historických automobilů, kde se tato koncepce využívala z důvodů netěsnosti mezi pláštěm pneumatiky a ráfkem, netěsnostmi mezi spoji dílů dělených ráfků nebo u drátových kol v místě spoje špice (drátu) s ráfkem.

1.4.2 Ochranná vložka

U dušového provedení pneumatik je nedílnou součástí ochranná vložka, která je vytvořena jako pryžový prstenec navinutý na ráfku kola. Jelikož je duše pneumatiky vyrobena z tenké pryže, je náchylná na proražení nebo propíchnutí. Ochranná vložka tedy zajišťuje ochranu duše před hranami a ostrými tvarovými přechody na ráfku kola. [5]

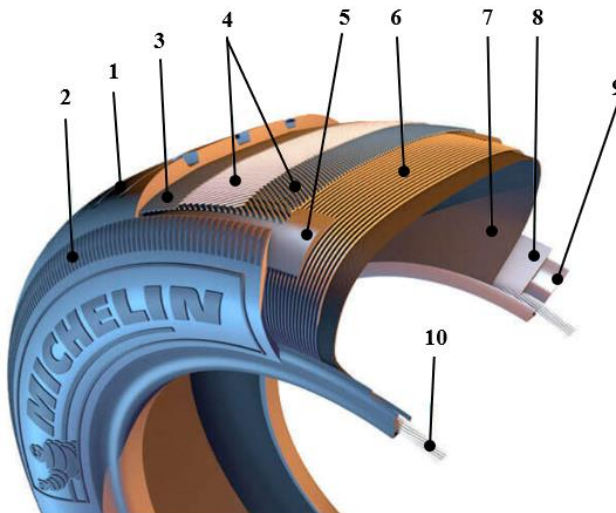
1.4.3 Ventil

Ventil je dalším velmi důležitým prvkem pneumatiky. Jeho význam spočívá v udržení tlakového média (plynu) v pneumatice, díky němu také můžeme pneumatiku nahušťovat nebo vypouštět. Nejjednodušší rozdělení ventilů je dle typu použití. U bezdušových pneumatik je kovové tělo ventilu obaleno těsněním a je připevněn na ráfek pneumatiky. U dušového typu, je ventil přímo součástí duše pneumatiky.

1.4.4 Plášť

Plášť lze jednoduše definovat jako pružnou vnější část pneumatiky, která slouží ke styku vozidla s vozovkou, svou patní částí je zasazena do ráfku a má hlavní podíl na vlastnostech celé sestavy vozidlového kola. [3]

Pláště osobních a nákladních automobilů se skládají ze čtyř základních oblastí: koruny, ramena, boku a patky. Toto rozdělení je však velmi obecné a je zapotřebí si plášť pneumatiky definovat podrobněji (viz. **Obr. 2**).



Obr. 2: Plášť pneumatiky (zdroj [7])

1- běhoun, 2- bočnice, 3- překrývací nárazník, 4- ocelokordové nárazníky, 5- ramenní výplň, 6- kostrová vložka, 7- vnitřní guma, 8- jádro, 9- patková guma, 10- patkové lano [1]

Běhoun

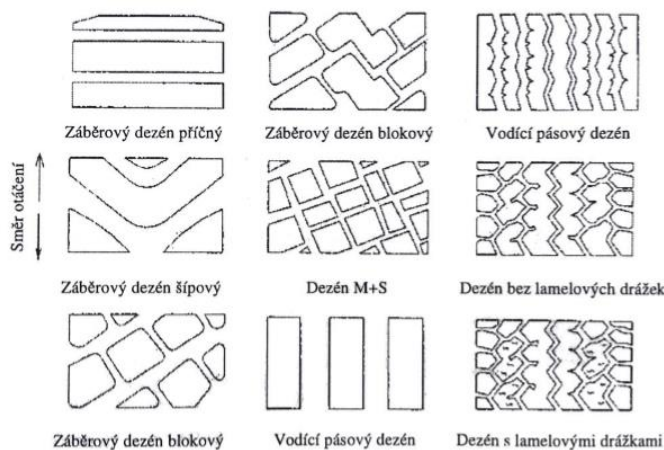
Za běhoun se považuje vnější obvodová část pláště pneumatiky, která zabezpečuje styk s vozovkou. Za jeho nejdůležitější funkci se považuje přenos trakčních a brzdných sil z kola vozidla na vozovku. Je také velmi důležité, aby běhoun zajišťoval co nejvyšší přilnavost k povrchu vozovky, odolával opotřebení a aby u něj nedocházelo k velkému zahřívání. Aby byly tyto požadavky splněny, je důležité zajistit správné chemické složení, vhodnou volbu dezénu, co možná nejnižší tloušťku běhounu, a to vše dle stávajících jízdních podmínek. [1], [8]

Povrch běhounu je obvykle opatřen vzorkem (dezénem), což je soustava příčných, podélných a šikmých drážek, které mají přesně stanovené rozložení na povrchu běhounu. Aby tyto drážky správně plnily svou funkci, musí mít dostatečnou hloubku. Minimální hodnota je pro provoz na pozemní komunikaci stanovena legislativou. [8]

Příčné drážky mají za úkol přenos trakčních sil hnacích kol na vozovku a dále také přenos sil brzdných. Další funkce je dostatečný odvod vody ze styčné plochy mezi pláštěm a vozovkou. Podélné drážky zajišťují vhodný přenos příčných sil, které působí při průjezdu vozidla zatáčkou. Podélné drážky tedy ovlivňují hodnotu součinitele adheze v příčném směru a mají

zásadní vliv na stabilitu vozidla. Posledním typem jsou drážky šikmé, které kombinují vlastnosti příčných a podélných drážek. Používají se u dezénů, které jsou směrově orientované. [8]

Několik základních typů dezénů je vyobrazeno na **Obr. 3**.



Obr. 3: Základní typy dezénů (zdroj [1])

Další možné dělení běhounu je pro letní a zimní použití. Není vhodné využívat letní pneumatiky v zimních měsících a naopak. Oba druhy mají rozdílné chemické složení a volí se u nich rozdílný vzorek (dezén). Chemické složení letních pneumatik způsobuje, že při teplotách nižších, než je bod mrazu začínají tvrdnout, a tím pádem při těchto podmínkách nemůžou správně plnit svou funkci. V druhé řadě je to vzorek, který zajišťuje správnou funkci pneumatiky za různých podmínek. U zimních pneumatik se volí dezén s hustším lamelováním, které dopomáhá k lepší akceleraci na zasněžené vozovce a také zvyšuje přilnavost pneumatik v příčném a podélném směru. [1]

Bočnice

Bočnice je část pneumatiky, která je svými vlastnostmi přizpůsobena pružení boku pneumatiky. Má za úkol ochranu kostry před mechanickým a povětrnostním poškozením. U pneumatik využívaných v těžkých podmínkách je bok navíc vyztužen zpevňujícími vrstvami. [1], [8]

Překrývací nárazník

Je vrstva pláště, která se nachází pod běhounem. Využívá se u pneumatik vyšších rychlostních kategorií a slouží k lepšímu rozložení tlumení nárazů v koruně pláště pneumatiky. [1]

Ocelokordový nárazník

Ocelokordovým nárazníkem se rozumí přechodová část mezi běhounem nebo překrývacím nárazníkem a nosnou kostrou pláště. Slouží k výraznému zlepšení pevnostní charakteristiky, při přenosu sil v podélném a příčném směru. [1]

Ramenní výplň

Je pryžová vrstva vylepšující tuhost pneumatiky při působení bočních sil a také zvyšuje životnost pneumatiky. [5]

Kostrová vložka

Kostra pneumatiky je tvořena z tenkých textilních vláken zalitých do pryže, které společně tvoří kordové vložky. Tato část pneumatiky nejvýznamněji ovlivňuje funkční vlastnosti: nosnost, tvar, jízdní vlastnosti, odolnost vůči tlaku. Podle kostry můžeme pneumatiky dělit na diagonální, radiální a diagonální s nárazníkovým pásem. [1]

Vnitřní guma

Tento pryžový prvek se nachází na celém vnitřním profilu pláště. Svou konstrukcí a materiálem zajišťuje vzduchotěsnost pneumatiky. [1]

Jádro

Jádro slouží jako výztuha a výplň patky pláště. Dále také svým vhodným složením dopomáhá ke zvýšení tuhosti patky. [1]

Patková guma

Zajišťuje vhodný styk patky pláště s ráfkem. Spolu s ostatními prvky patky pláště dotváří požadovanou tuhost, dále slouží k přenosu silových účinků z pláště na ráfek a u bezdušových pneumatik také zajišťuje dokonalou vzduchotěsnost. [1]

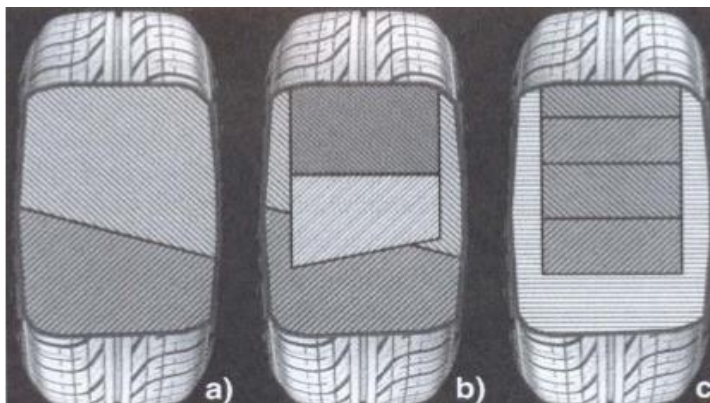
Patková lana

Patková lana jsou výztužnými prvky patky pláště. Tato lana jsou vyrobená z ocelového drátu, který musí mít vysokou pevnost. Patková lana musí spolehlivě nést zátěž až 1800 kg. Kolem lan jsou ovinuty kordové vložky. Patková lana nám tedy slouží k plynulému a bezpečnému ukotvení kordových vložek a ke správnému usazení pláště na ráfek. [1], [8]

1.5 Rozdělení podle konstrukce

Podle konstrukce je možné pláště pneumatik rozdělit na diagonální, radiální a diagonální s nárazníkovým pásem. Tyto tři typy plášťů se od sebe odlišují uspořádáním kordových vláken

v kostře pláště a také podle toho, jestli využívají přítomnosti nárazníků. Jednotlivé konstrukce jsou zobrazeny na **Obr. 4**. [1], [8]



Obr. 4: Konstrukční typy pláštů (zdroj [8])

a) diagonální, b) diagonální s nárazníkovým pásem, c) radiální

1.5.1 Diagonální

Jak je vidět na **Obr. 5**, diagonální plášť se skládá z několika dvojic kordových vložek, jejichž vlákna jsou vedena pod patková lana. Vlákna této dvojice kordových vložek se navzájem kříží a vůči podélné rovině kola svírají nejčastěji úhel 30 až 40°. Počet takto vrstvených vložek je dán rozměrem pneumatiky a požadovanou nosností. Důležité je, že počet vrstev musí být vždy sudý, jinak by nebyla zachována souměrná tuhost po celém obvodu pláště. [9]

U osobních automobilů se od diagonální koncepce téměř upustilo. Důvodem bylo zvýšené zahřívání pneumatik (vznik energetických ztrát), s tím spjatá vyšší spotřeba a také nižší životnost pneumatiky. Diagonální pláště však stále najdou uplatnění u některých nákladních, zemědělských a průmyslových vozidel. [9]

1.5.2 Diagonální s nárazníkovým pásem

Jinak také nazýván jako „bias belted“, je kompromisem mezi diagonální a radiální pneumatikou. Kostra se oproti diagonální konstrukci příliš neliší. Vlákna kordových vložek svírají vůči podélné rovině kola úhel, vyšší než 60° a nad kordovými vložkami je nově umístěno dva a více nárazníkových pásů. Vlákna nárazníkových pásů jsou vůči sobě uložena pod střídavým úhlem obvykle menším než 25°. [9]

1.5.3 Radiální

Stejně jako u předchozího typu pláště, se i radiální typ skládá z kordových vložek a nárazníkových pásů. Hlavním rozdílem oproti diagonálnímu plášti jsou v tomto případě kordová vlákna uložena vůči podélné rovině pláště pod úhlem cca 90° a jejich počet nemusí být sudý. Vlákna nárazníkových pásů jsou u tohoto typu křížena pod úhlem 15 až 20°. [9]

Díky tomuto uspořádání jsou bočnice pružné, ale koruna pláště zůstává tuhá. To má za následek menší zahřívání pneumatik, sníženou spotřebu, vyšší životnost a podstatně lepší kontakt pneumatiky s vozovkou. [9]

1.6 Označování

Plášť pneumatiky má vždy na své bočnici velké množství písmen, číslic, znaků a symbolů, které jí přesně definují. Mezi základní informace uvedené na bočnici patří šířka, profilové číslo, typ konstrukce, průměr ráfku a indexy nosnosti a rychlosti. Tyto informace jsou na pneumatikách nejčastěji vyobrazeny v podobě, která je naznačena na *Obr. 5*.



Obr. 5: Označování pneumatik (zdroj [10])

Šířka

První z uvedených čísel udává šířku pneumatiky v milimetrech.

Profilové číslo

Je dáno jako poměr mezi výškou pneumatiky a její šířkou. Bývá udáván v procentech a postupem času se výrobci snaží tento poměr snižovat. Důvodem snižování neboli výroba nízkoprofilových pneumatik je snížení těžiště vozu, lepší držení směru, získání většího prostoru v disku kola pro možnost montáže větší brzdy a lepší přenos sil při akceleraci

a deceleraci. Díky menšímu profilovému číslu se také zlepší ovladatelnost vozidla, přilnavost a životnost dané pneumatiky. [8], [11]

Nevýhody této konstrukce jsou zejména: horší odolnost vůči vzniku aquaplaningu, větší aerodynamický odpor, vyšší hlučnost, snížený komfort a také vyšší cena.

Typ konstrukce

Následuje písmeno, kterým je označován typ konstrukce. V dnešní době se ve většině případů setkáváme s písmenem R, neboli s radiální pneumatikou. Dříve hojně vyskytovaná, avšak v dnešní době na ústupu, je konstrukce diagonální, označovaná písmenem D. V krajních případech může být na pneumatice písmeno B označující „bias belted“ neboli diagonální pneumatika s nárazníkovým pásem. [8], [11]

Průměr ráfku

Další dvojčíslí udává vnitřní průměr pneumatiky a zároveň vnější průměr ráfku v palcích.

Index nosnosti (LI)

Load index neboli index nosnosti určuje maximální zatížení, které je pneumatika schopna přenést při dané kategorii rychlosti. Nejčastěji tento index nabývá hodnot v rozmezí 50 až 120, přičemž každému číslu náleží určitá hodnota nosnosti. Např. index 50 označuje maximální hodnotu zatížení 190 kg a číslo 120 hodnotu zatížení 1400 kg.

Celou tabulku indexů nosnosti je možné najít v *Příloze A* (str. 69).

Index rychlosti (SI/SS)

Poslední ze základních údajů je kategorie rychlosti, která udává nejvyšší provozní rychlost pneumatiky. Index rychlosti je na pneumatice označen velkým písmenem, kde každému odpovídá daná maximální provozní rychlost. Např. pneumatiky označené písmenem C mohou dosahovat maximální rychlosti 60 km/h, oproti tomu pneumatiky označené Y mohou dosahovat maximální provozní rychlosti až 300 km/h.

Celou tabulku indexů rychlosti je možné najít v *Příloze B* (str. 70)

Další důležitá značení [9], [11]

- All Steel Radial – konstrukce pláště v tzv. celoocelovém provedení,
- Tubless (TL) – bezdušová pneumatika,
- Tubletype (TT) – provedení s duší,

- Max. Load – maximální nosnost pneumatiky v kilogramech při maximálním nahuštění v kPa,
- Reinforced (RF) – zesílená kostra,
- All Season (A/S) – celoroční pneumatika,
- High Performance (HP) – výkonné pneumatiky,
- Mud and Snow (M+S) – pneumatiky pro zimní provoz,
- Rotation – směr rotace pneumatiky zobrazen šipkou,
- TWI proužek – indikátor opotřebení.

Existuje celá řada značení, která se uvádí na pneumatikách dle jejich parametrů. Toto je pouze základní výčet nejpoužívanějších znaků. Kompletní výčet znaků a jejich přesné umístění lze nalézt ve směrnici *EHK 030* [12].

1.7 Deformační charakteristiky pneumatik

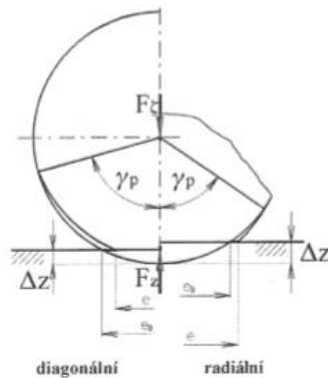
Deformační charakteristiky vyjadřují závislost mezi deformacemi pneumatiky a silami, které tyto deformace způsobily. Tyto charakteristiky se dělí na:

- radiální deformační charakteristika,
- torzní (obvodová) deformační charakteristika,
- boční deformační charakteristika.

[1], [2], [13]

1.7.1 Radiální deformační charakteristika

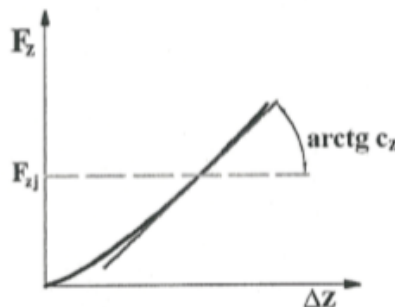
Udává závislost mezi radiální deformací Δz a radiálním zatížením kola F_{ζ} . Při této zkoušce radiální síla F_{ζ} přitlačuje pneumatiky k rovné a tuhé podložce, která je kolmá ke směru zatěžující síly. Tato síla vyvozená zkušebním zařízením způsobí deformaci pneumatiky v jejím radiálním směru Δz , jak je patrné z **Obr. 6**. Velikost zatěžující síly je stanovena z maximální nosnosti pneumatiky, která je vyobrazena na bočnici pláště (viz. kapitola 1.6). [1], [2], [13]



- Kde: F_z [N].....zatěžující síla
 F_z [N].....reakční síla
 γ_p [°].....tzv. pracovní sektor
 e [m].....délka dotyku
 e_0 [m].....délka dotyku teoretická
 Δz [m].....maximální stlačení pneumatiky

Obr. 6: Radiální deformace pneumatiky (zdroj [1])

Pneumatika je postupně zatěžována až do hodnoty 125 % její maximální nosnosti. Výsledkem je progresivní deformační charakteristika, která má obecně nelineární průběh. Na **Obr. 7** je znázorněna tato charakteristika, kterou je možné v blízkosti jmenovitého zatížení F_{zj} linearizovat. Následná směrnice tečny c_z vyjadřuje radiální tuhost pneumatiky. [1], [2], [13]



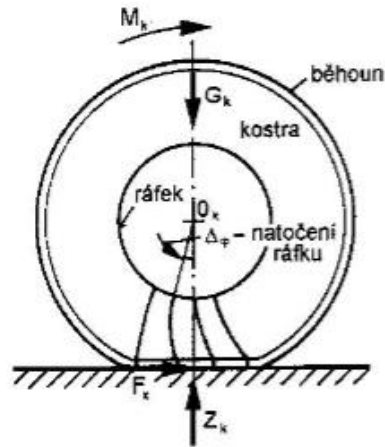
Obr. 7: Radiální tuhost pneumatiky (zdroj [1])

Radiální tuhost pneumatiky se významně podílí na odpružení vozidla. Tato tuhost vzrůstá s rostoucím tlakem vzduchu v pneumatice. Dalším parametrem, který ji ovlivňuje, je konstrukce pláště pneumatiky a také její složení. Čím více je snižován profil pneumatiky, tím vyšší je radiální tuhost a obecně platí, že u osobních automobilů nabývá hodnot v rozmezí 200 až 300 N/mm. [1], [2], [13]

1.7.2 Torzní (obvodová) deformační charakteristika

Při zjišťování torzní deformační charakteristiky je vozidlové kolo přitlačeno silou G_k k tuhé a nepohyblivé podložce. Rameno zkušebního zařízení následně vyvolá kroutící moment

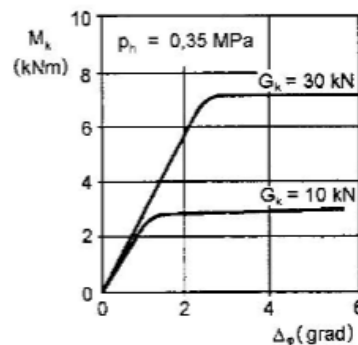
M_k , který způsobí pootočení ráfku o úhel $\Delta\varphi$ vůči výchozí poloze. Tento postup je znázorněn na **Obr. 8**. [1], [2], [13]



Obr. 8: Torzní deformace pneumatiky (zdroj [1])

Pokud se jedná o obvodovou deformační charakteristiku, je postup měření oproti torzní charakteristice rozdílný. Vozidlové kolo je taktěž přitlačováno k tuhé podložce přitlačnou silou G_k . V tomto případě není však deformace pneumatiky vyvolána působícím momentem, ale vzniká posunutím podložky v ose X. Při tomto měření se vyhodnocuje velikost tečné síly F_x , která způsobí posuv styčného bodu pneumatiky s podložkou vůči svislé ose kola Δx . [1], [2], [13]

Na **Obr. 9** je znázorněna torzní charakteristika, jejíž šikmá část vyznačuje deformaci kordové vrstvy a běhounu. Vodorovný úsek nastává tehdy, kdy se působící moment zvýší natolik, že se pneumatika po podložce začne smýkat.



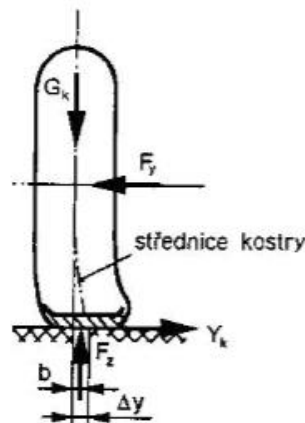
Obr. 9: Torzní deformační charakteristika (zdroj [1])

Stejně jako z radiální, tak i z torzní deformační charakteristiky je možné dopočítat torzní tuhost pneumatiky. Tato tuhost je zdatelně vyšší u diagonální pneumatiky, oproti pneumatice radiální. Je to způsobeno konstrukcí kordové vrstvy. Nejen konstrukce, ale i složení pneumatiky a tlak huštění se významně podílí na velikosti torzní tuhosti. [1], [2], [13]

Výhodou torzní (obvodové) pružnosti pneumatiky je zmírnění torzních rázů v převodovém ústrojí. Naopak nevýhodou je, že z důvodu torzní tuhosti dochází k prokluzu, čímž se zvyšuje opotřebenění pneumatiky. [1], [2], [13]

1.7.3 Boční deformační charakteristika

Boční deformační charakteristika udává závislost mezi boční zatěžující silou F_y , která působí na vozidlové kolo, a bočním posunutím středu kola Δy . Pneumatika je při tomto měření upnuta k rameni zkušebního zařízení a silou G_k je přitlačována k tuhé podložce. Následný pohyb podložky v ose Y vyvolá posunutí středu kola vůči středu stykové plochy pneumatiky a podložky. Toto zatěžování je vidět na **Obr. 10**. Vyhodnocuje se velikost deformace Δy a velikost síly F_y , kterou je nutno působit k vyvození této deformace pneumatiky. Vybočování středu kola je zde způsobeno deformací kostry a běhounu pláště pneumatiky. [1], [2], [13]



Obr. 10: Boční deformace pneumatiky (zdroj [13])

Deformační charakteristika je zde podobně jako v předchozím případě téměř lineární, až do chvíle, kdy se boční síla působící na vozidlové kolo zvýší natolik, že se pneumatika začne po podložce smýkat. Z boční deformační charakteristiky můžeme pomocí vzorce dopočítat boční tuhost pneumatiky, která je primárně ovlivněna tlakem vzduchu v pneumatice, ale také konstrukcí a složením pneumatiky. Pružnost pneumatiky v bočním směru je nežádoucí, protože zhoršuje směrovou stabilitu a říditelnost vozidla. [1], [2], [13]

2 Statický a dynamický adhezor Univerzity Pardubice

2.1 Zkušebnictví pneumatik

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2, je pneumatika jediným prvkem vozidla, který přichází do přímého styku s vozovkou. Z toho důvodu musí být pneumatika schopna plnit řadu funkcí. Zda je pneumatika schopna plnit tyto funkce, je zjišťováno řadou zkušebních metod. Tyto zkušební metody se aplikují na:

- pneumatiku jako celek,
- účelově oddělené části pneumatiky a kompozitní prvky,
- elastomery (matrice),
- textilní a ocelové kordy (výztuže).

[1]

Na statickém a dynamickém adhezoru, které jsou předmětem této práce, se zkouší pouze pneumatika jako celek v podobě vozidlového kola, a to v laboratorních podmínkách. Kromě laboratorních zkoušek lze dále pneumatiku jako celek podrobit zkouškám silničním a speciálním. [1]

Pro potřeby této práce je zde podrobněji pojednáno o zkouškách laboratorních. Zkoušky silniční a speciální jsou podrobněji popsány v knize *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I* [1].

2.1.1 Laboratorní zkoušky

Obecně je možné dělit laboratorní zkoušky na statické a dynamické. Dále je možné dělit tyto zkoušky na destruktivní, po jejichž provedení není pneumatika schopna další činnosti, a na nedestruktivní, při kterých není pneumatika poškozena a je schopna dále plnit požadované funkce.

Statické zkoušky [1], [9]

Statické zkoušky podávají informace o rozměrových parametrech pneumatiky, dále jsou zjišťovány deformační vlastnosti a v neposlední řadě také pevnosti a životnostní vlastnosti pneumatiky.

Do této skupiny patří zkoušky statické, při kterých je pneumatika v klidu neboli nevykonává pohyb, a také zkoušky kvazistatické, při kterých se pneumatika velmi pomalu pohybuje. Většina statických zkoušek spadá do kategorie nedestruktivních, až na výjimku, kterou je zkouška průniku trnu.

Do skupiny statických zkoušek spadá:

- zkouška rozměrů,
- zkouška hmotnosti,
- zkouška vnitřního objemu,
- zkouška otisku,
- zkouška radiální, obvodové (torzní) a boční tuhosti,
- zkouška průniku trnu,
- zkouška absolutní pevnosti vodním tlakem,
- zkouška rozložení měrného tlaku v ploše otisku,
- zkouška radiální tuhosti patek.

Zařízení, na kterém je možné provádět statické zkoušky se nazývá statický adhezor, o kterém bude podrobně pojednáno v kapitole 2.2, *Statický adhezor* (str. 30).

Dynamické zkoušky [1], [9]

Na rozdíl od statických zkoušek je u zkoušek dynamických pneumatika v pohybu, přesněji rotuje. Dynamické zkoušky lze jako v předchozím případě rozdělit na destruktivní a nedestruktivní a podávají informace o chování a vlastnostech pneumatiky za podmínek, které lze srovnávat s běžným provozem.

Do skupiny dynamických zkoušek patří:

- zkouška únavové pevnosti,
- měření valivého odporu,
- měření dynamického poloměru,
- měření dynamické radiální tuhosti a útlumu,
- měření skluzových charakteristik,
- zkouška destrukční rychlosti,
- zkouška hlučnosti,
- zkouška vývinu teplot,
- zkouška životnosti a opotřebení.

Tyto zkoušky je možné provádět na dynamickém adhezoru, který je podrobně popsán v kapitole 2.3, *Dynamický adhezor* (str. 33).

2.2 Statický adhezor

Univerzita Pardubice v této době vlastní statický adhezor model SA-1, který byl vyroben firmou VÚB a.s. Ústí nad Orlicí. Tato firma se zabývá zakázkovou výrobou jednoúčelových strojů pro strojírenský a textilní průmysl. [14]

Toto zkušební zařízení bylo nejprve využíváno pouze k vizuální demonstraci jednotlivých zkoušek bez možnosti přesného vyhodnocování jednotlivých veličin. Důvodem byla absence snímačů posuvů a sil. Na téma dovybavení statického adhezoru byla napsána diplomová práce autorem Lukášem Kuglerem, který v práci mimo jiné podrobně popisuje vhodnou volbu snímačů, jejich funkci a parametry. Takto navrženými snímači byl statický adhezor postupně dovybaven. [15]

V současné době je možné na tomto zařízení měřit a vyhodnocovat jednotlivé deformační charakteristiky, velikost a tvar kontaktní plochy pneumatiky a velikost tlaku v dotykové ploše. Tyto zkoušky budou podrobně popsány v kapitole 3, která se zabývá stanovením metodiky pro měření na statickém adhezoru.

2.2.1 Technické parametry modelu SA-1

- rozměry š/v/h [mm] 890/1995/1290,
- hmotnost [kg] 1130,
- maximální přitlačná síla [kg] 1200,
- odklon pláště [°] ± 15,
- natočení pláště [°] ± 30,
- posun stolu v ose X, Y [mm] ± 120,
- posun stolu v ose Z [mm] 0–240,
- rozsah použití pneumatiky R13–R17.

[14]

2.2.2 Konstrukce

Statický adhezor SA-1 se skládá z několika základních částí: rám, stůl, rameno, hydraulický okruh, redukční podložka a snímače. Na **Obr. 11** je zobrazen statický adhezor Univerzity Pardubice.



Obr. 11: Statický adhezor SA-1

Rám

Základním nosným prvkem statického adhezoru je rám, který je svou konstrukcí dimenzován tak, aby síly a momenty vznikající při zatěžování pneumatiky nezpůsobovaly jeho deformaci. Tato deformace by měla za následek vznik nepřesností při měření.

Stůl

Dalším prvkem je stůl, který se skládá z desky a konzole. Konzole zajišťuje pomocí lineárního vedení pohyb stolu v osách X a Y v rozmezí ± 120 mm. Hodnoty posuvů v těchto osách jsou nastavovány ručně ovládanými šroubovými mechanismy.

Deska je částí stolu, se kterou přichází pneumatika do kontaktu neboli se o ní deformuje. Deska je díky své tloušťce, materiálu a výztuhám na spodní straně dostatečně tuhá. Mezi konzolí a deskou stolu jsou umístěny 4 tenzometrické snímače síly Utilcell M350, které snímají velikost zatížení pneumatiky.

Rameno

Jedná se o část adhezoru, ke které je přes redukční podložku připevněno vozidlové kolo. Rameno je spojeno s rámem pomocí svislého vedení, které umožňuje pohyb ramena v ose Z v rozmezí 0–240 mm, bráno od desky stolu. Pomocí ramena se přenáší přitlačná síla, vyvolaná hydraulickým systémem, na pneumatiku. Rameno je možné úhlově polohovat ve svislém

a vodorovném směru. Ve svislém směru se jedná o simulaci odklonu a příklonu kola v rozmezí $\pm 15^\circ$. Ve směru vodorovném se poté jedná o simulaci sbíhavosti a rozbíhavosti v rozmezí $\pm 30^\circ$. Rameno statického adhezoru je zobrazeno na **Obr. 12**.



Obr. 12: Rameno statického adhezoru

Hydraulický okruh

Hydraulický okruh zajišťuje pohyb ramena v ose Z a dále vyvozuje přitlačnou sílu, kterou je kolo přitlačováno k podložce. Skládá se z dvojčinného hydraulického válce HM-40/22-500-R a ruční hydraulické pumpy P157D. Tyto dva prvky jsou mezi sebou propojeny potrubím. Smysl pohybu hydraulického pístu je měněn pomocí ručně ovládaného čtyřcestného ventilu, který je součástí pumpy. Pracovní rozsah hydraulického válce je 240 mm a tento hydraulický systém dokáže vyvodit přitlačnou sílu až 1200 kg.

Redukční podložka

Rameno statického adhezoru je na svém konci osazeno redukční podložkou, která slouží k uchycení zkoušeného vozidlového kola. Podložka je k rameni přichycena 5 šrouby M12x40 s vnitřním šestihranem. Pro možnost upnutí ráfků s rozdílnou roztečí a počtem šroubů existuje několik variant těchto podložek.

Snímače

V této době se na zkušebním zařízení využívají tyto typy snímačů: lankový snímač vzdálenosti MICRO-EPSILON WDS-500-P60-CR5-P, membránový tenzometrický snímač síly EMS40 a tenzometrický snímač síly Utilcell M350.

Podrobné informace o těchto snímačích jsou uvedeny v diplomové práci *Návrh úprav a dovybavení statického adhezoru*. [15]

2.3 Dynamický adhezor

Stejně jako statický adhezor, tak i adhezor dynamický byl vyroben firmou VÚB a.s. Ústí nad Orlicí v roce 2013. Jedná se model DA-1, neboli bubnovou dynamickou zkušebnu. Toto zařízení je určeno k testování automobilových pneumatik. Jedná se o zjišťování dynamických vlastností hnaných vozidlových kol, která je možné částečně brzdit. K simulaci kol hnacích není zařízení uzpůsobeno. [16]

Na tomto zkušebním zařízení by v optimálním stavu mohla být realizována většina laboratorních dynamických zkoušek. Výčet těchto zkoušek je uveden v kapitole 2.1, *Zkušebnictví pneumatik* (str. 28). V této době však není dynamický adhezor Univerzity Pardubice zcela dovybaven. Adhezor postrádá snímač přítláčné síly, snímač otáček automobilového kola, překážky pro simulaci nerovností vozovky a kamery, které by pořizovaly záznam z měření. Z tohoto důvodu je možné většinu zkoušek provádět pouze orientačně, bez možnosti získání přesných výsledků.

Na téma dovybavení dynamického adhezoru vznikly v minulosti dvě závěrečné práce studentů Univerzity Pardubice. Jedná se o práce: *Návrh vstupních parametrů snímače pro dynamický adhezor* [17], *Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru* [5].

2.3.1 Technické parametry modelu DA-1

- rozměry š/v/h [mm] 3716/2090/2090,
- průměr válce [mm]..... 1705,
- hmotnost [kg] 4848,
- maximální přítláčná síla [kN] 5,
- odklon pláště [°] ± 8,
- natočení pláště [°] ± 10,

- posun ramena v ose X [mm] 0–633,
- rychlostní rozsah [km/h] 0–50–180,
- příkon [V/A] 400/63,
- rozsah použití pneumatiky R13–R17.

[16], [18]

2.3.2 Konstrukce

Dynamický adhezor Univerzity Pardubice, model DA-1 se skládá z těchto základních částí: ochranný kryt, nosný rám, zatěžovací válec, rameno, hydraulický okruh, řídicí panel a rozvaděč. [16]

Ochranný kryt

Rotující části dynamického adhezoru jsou z důvodu bezpečnosti uzavřeny za ochrannou konstrukcí. Vstup do tohoto prostoru je povolen pouze při zajištěném a nehybném stavu zařízení. Dveře ochranného krytu jsou při provozu zajištěny elektronickým zámekem.

Nosný rám

Stejně jako u jiných takto fungujících zkušebních zařízení je celé rotační ústrojí ustaveno na dostatečně tuhém a pevném rámu. Tento rám je z důvodu přenosu velkých dynamických sil odpružen a ukotven do podlahy. Svou konstrukcí zajišťuje přesnou polohu zkušebního stroje, snížení vibrací a hluku, dostatečnou přesnost měření a bezpečnost provozu.

Zatěžovací válec

Válec adhezoru, který je vyobrazen na *Obr. 13*, představuje nekonečnou vozovku a přichází do přímého kontaktu s pneumatikou. Jedná se o ocelový válec s průměrem 1705 mm, který je schopen simulovat rychlost v rozsahu 0–180 km/h. Hřídel válce je připevněna k nosnému rámu pomocí 2 ložiskových domků. Na jedné straně hřídele je připevněna kotoučová brzda a z druhé strany je hřídel osazena řemenovým kolem, na které se pomocí ozubeného řemenu přenáší otáčky elektromotoru, čímž je zajištěn pohon válce.



Obr. 13: Zatěžovací válec dynamického adhezoru

Dále jsou na obvodu válce vytvořeny dvě příčné drážky, do kterých je možné umístit výměnné segmenty, které představují nerovnosti na vozovce a slouží ke zkouškám životnosti a opotřebení pneumatiky.

Rameno

Tato část dynamického adhezoru, která je zobrazena na *Obr. 14*, slouží k upevnění zkoušeného automobilového kola, k přitlačování kola na zatěžující válce a v neposlední řadě také k částečnému přibrzdění kola. Celá tato konzole je umístěna na lineárním vedení, které umožňuje pohyb v ose X v rozmezí 0–633 mm. Pohyb ramene je vyvolán hydraulickým válcem a velikost posuvu je měřena pomocí magnetického lineárního snímače vzdálenosti TMLS-05A-02 s rozlišením 0,005 mm.

Uchycení automobilového kola je uskutečněno pomocí náboje, který je na svém konci osazen výměnnou redukční podložkou. Dále je na rotační části ramene upevněna kotoučová brzda, která je nezbytná při zkoumání skluzových charakteristik, ale také k rychlejšímu zastavení kola po ukončení libovolné zkoušky.



Obr. 14: Rameno dynamického adhezoru

Rameno dynamického adhezoru lze polohovat ve 2 osách. Pokud se jedná o vertikální pohyb, lze rameno natáčet v rozmezí $\pm 10^\circ$. Tímto natočením automobilového kola můžeme simulovat sbíhavost a rozbíhavost. Dále je možné změnit polohu ramene ve směru horizontálním v rozmezí $\pm 8^\circ$. Změna polohy slouží k simulaci odklonu a příklonu vozidlového kola. [16]

Hydraulický okruh

Tento hydraulický okruh se skládá z hydroagregátu, dvojčinného hydraulického válce a potrubí. Pomocí této hydraulické sestavy je vozidlové kolo přitlačováno k válci maximální přitlačnou silou 5 kN. Dále je možné regulovat rychlost přitlačování pneumatiky k válci. Tato rychlost se volí v rozmezí 0–30 mm/s, s velikostí kroku 0,1 mm/s. Běžně se používá rychlost přitlačování 1 mm/s. [16], [18]

Řídicí panel

Oproti statickému adhezoru, u kterého byly veškeré úkony při zkoušce prováděny manuálně, u dynamického adhezoru se zkouška řídí pomocí řídicího panelu, který je umístěn ve velíně. Tento řídicí panel se skládá z tlačítek, dotykového displeje a tlačítka pro nouzové zastavení. Na displeji panelu je možné nastavit zkušební režim, při kterém jsou jednotlivé parametry zkoušky (přítlačná síla, přítlačná rychlost, směr otáčení atd.) obsluhou předem nastaveny a po spuštění je možné průběh zkoušky na displeji sledovat. Dále je možné nastavení ručního ovládání, kde lze jednotlivé parametry měnit ručně v průběhu zkoušky.

3 Stanovení metodiky pro měření na statickém adhezoru

Metodika na statickém adhezoru je v této práci stanovena pro měření statické radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky, statické obvodové a boční tuhosti pneumatiky a pro stanovení tlaku ve stopě pneumatiky z otisku.

3.1 Bezpečnostní pokyny

Statický adhezor je umístěn ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě (VVCD), které je součástí Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice. Při provozu tohoto zařízení je nutné se řídit provozním řádem Výukového a výzkumného centra v dopravě, a to zejména provozním řádem místnosti DD 01044 (laboratoř DP-SV). [19] Dále musí být obsluha seznámena s bezpečnostními pokyny pro provoz statického adhezoru, které jsou uvedeny v *Návod k použití Statický adhezor SA-I*. [14]

3.2 Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek

Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek se obecně skládá z 5 základních kroků: prohlídka, kondicionování, montáž pneumatiky na zkušební ráfek, kontrola vzduchotěsnosti a stabilizace pneumatiky zajížděním. Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek je stanovena v souladu s normou *ČSN 63 1502*. [20]

Prohlídka pneumatiky

Prvním krokem přípravy je vizuální kontrola pneumatiky. Tato kontrola by měla odhalit vady pneumatiky, trhliny, cizí tělesa v dezénu pláště nebo nadměrné opotřebení pláště. Při odhalení vady, je nutné pneumatiku opravit, pokud to není možné, pneumatika nesmí být podrobena statickým zkouškám.

Kondicionování (přizpůsobování) pneumatiky

Dle normy *ČSN 63 1502* by měla být nově vyrobená pneumatika (plášť, duše, ochranná vložka) dodána do zkušební laboratoře nejméně 120 hodin před zahájením zkoušky. Po dobu 108 hodin se pneumatika nechává kondicionovat v místnosti s teplotou v rozmezí (5 – 30) °C. V posledních 12 hodinách se pneumatika kondicionuje ve zkušebně při teplotě (25 ± 5) °C. Pokud se nejedná o pneumatiku nově vyrobenou, postačí kondicionování ve zkušebně po dobu 12 hodin při teplotě (25 ± 5) °C.

Montáž pneumatiky na zkušební ráfek

Pneumatiku je dále nutné namontovat na zkušební ráfek, který odpovídá rozměrům pneumatiky a redukční podložce statického adhezoru. Montáž je nutno provést tak, aby se vyloučila možnost poškození pláště a ráfku. Pro zajištění dokonalého dosednutí patky pláště na ramínko ráfku je během montáže dovoleno hustit pneumatiku až na dvojnásobek jejího maximálního dovoleného huštění, maximálně však na 1200 kPa.

Kontrola vzduchotěsnosti

Po správné montáži pneumatiky na ráfek je na tomto celku nutno zkontrolovat vzduchotěsnost. Pneumatika je nejprve nahuštěna na hodnotu maximálního dovoleného huštění, která odpovídá nejvyšší dovolené nosnosti.

Tlak v pneumatice je vhodné měřit tlakoměrem, dle normy ČSN 25 720, který má třídu přesnosti 1, a hodnoty tlaku by se měly pohybovat v druhé třetině rozsahu přístroje.

Měří se ve 3 časových krocích. První měření se provádí po 15 minutách, druhé po 2 hodinách a třetí měření nejméně po 12 hodinách od nahuštění pneumatiky. Po 12 hodinách nesmí být pokles tlaku v pneumatice vyšší než 5 % z původní hodnoty. Zároveň nesmí být úbytek tlaku vyšší než 20 kPa.

Jestliže byl naměřen úbytek tlaku v pneumatice vyšší, než je dovolená mez, je potřeba stanovit příčinu úniku a následně vadu odstranit.

Stabilizace pneumatiky zajížděním

Stabilizace pneumatiky zajížděním je uskutečňována na bubnovém zkušebním zařízení (např. dynamický adhezor DA-1). Tímto zajížděním se odstraňuje vnitřní pnutí v částech pneumatiky. [9]

Podmínky stabilizace:

- hodnota zatížení odpovídá 80 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky,
- hodnota tlaku v pneumatice odpovídá nejvyšší dovolené hodnotě huštění při maximální dovolené nosnosti,
- pneumatiky osobních automobilů jsou odvalovány rychlostí 80 km/h,
- doba stabilizace pneumatiky zajížděním je 2 hodiny.

3.3 Měření statické radiální tuhosti a statického poloměru

Zkouška statické radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky je prováděna na statickém adhezoru SA-1. Obecné informace jsou uvedeny v kapitole 1.7.1, *Radiální deformační charakteristika* (str. 24).

Před zahájením zkoušky byla pneumatika podrobena přípravě, která je popsána v kapitole 3.2 (str. 37).

Teplota

Zkouška probíhá ve zkušební laboratoři při teplotě $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$. U pneumatiky je v průběhu zkoušky zakázáno provádět umělé ohřívání a ochlazování. [21]

Nejen pneumatika, ale také zkušební zařízení musí být při teplotě $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ kondicionováno po dobu minimálně 24 hodin, aby nedocházelo k chybám měření vlivem teplotní dilatace.

Huštění

Pneumatika se hustí na hodnotu maximálního dovoleného huštění, které odpovídá nejvyšší dovolené nosnosti. Hodnota maximálního huštění je na bočnici pneumatiky vyznačena jako „MAX PRESS“ a je udávána v kPa. Tlak v pneumatice je nutné měřit tlakoměrem, který je popsán v kapitole 3.2, v části *Kontrola vzduchotěsnosti* (str. 38). Hodnota huštění se po dobu celé zkoušky neupravuje a zkouška je zahájena nejdříve po 15 minutách od nahuštění pneumatiky. [21]

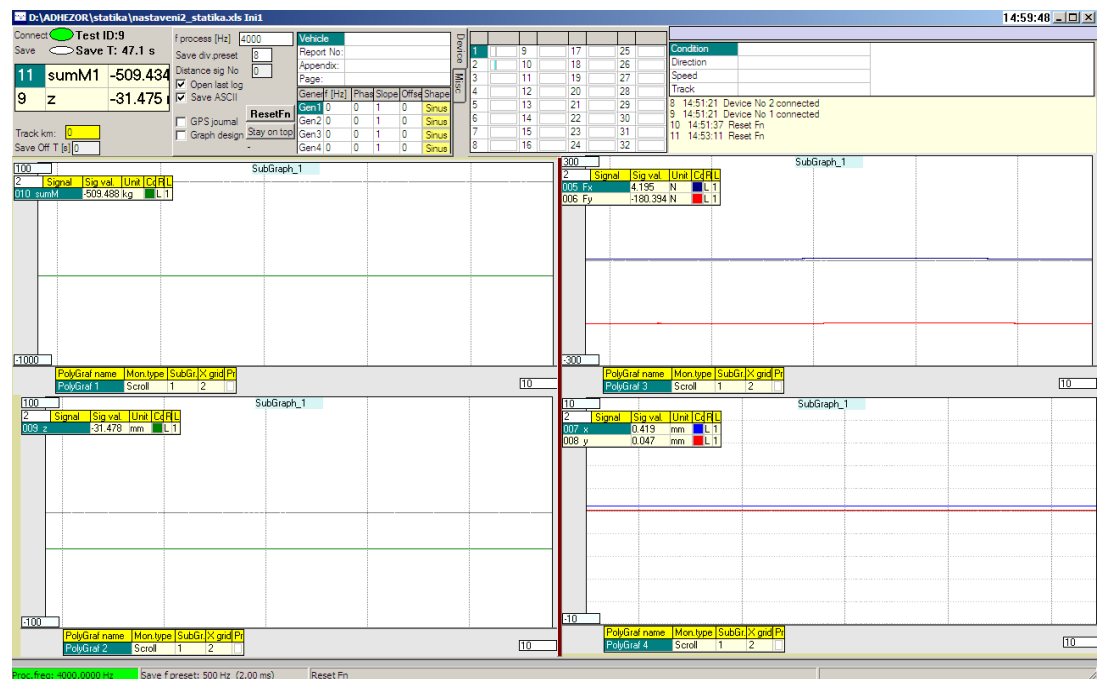
Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení

Při montáži je nejprve zapotřebí zvolit vhodnou redukční podložku podle počtu, velikosti a roztečí kolových šroubů. Vhodně zvolená podložka je následně připevněna k rameni statického adhezoru pomocí 5 šroubů M12x40 s vnitřním šestíhranem. Tyto šrouby se pomocí momentového klíče utáhnou utahovacím momentem $110 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Následuje připevnění vozidlového kola pomocí kolových šroubů. Hodnota utahovacího momentu kolových šroubů je uvedena v osvědčení k ráfku. Pokud není tento dokument k dispozici, kolové šrouby se utáhnou na hodnotu $110 \text{ N}\cdot\text{m}$.

3.3.1 Postup zkoušky

- a) Prvním krokem zkoušky je nastavení měřicího programu, určeného k záznamu průběhu zkoušek na statickém adhezoru. Tento program nese název *AD client* a je nainstalován na počítači určeném pro práci na statickém adhezoru. Po otevření programu je zapotřebí stisknout tlačítko „Connect“, aby došlo k připojení měřicí ústředny s počítačem. Následným stisknutím kombinace kláves „CTRL + TAB“ se zobrazí grafy jednotlivých parametrů zkoušky. Tyto grafy jsou vyobrazeny na *Obr. 15*.



Obr. 15: Zkušební program AD client

- Při měření statické radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky jsou využívány pouze grafy radiálního zatížení (*010 sum M*) a posuvu ramene v ose *Z* (*009 z*), které jsou umístěny v levé části programového okna. U grafu *010 sum M* je dále zapotřebí nastavit rozsah (+100, -1000) kg a u grafu *009 z* rozsah ± 50 mm.
- b) V druhém kroku je nutné změřit volný obvod pneumatiky (l_0). K tomuto měření je nutné použít měřicí pásmo s dělením po 1 mm. Tato hodnota se zaznamená pro pozdější vyhodnocení statického poloměru.
- c) Ve třetím kroku se pneumatika umístí do polohy s nulovou radiální reakcí. Nulová poloha je nastavena tak, že se mezi pneumatiku a stůl statického adhezoru umístí papír formátu A4, na který je pneumatika následně spuštěna. Poté se pneumatika začne postupně odlehčovat, až do chvíle, kdy lze papír z pod pneumatiky volně vytáhnout.

- d) Po ustavení pneumatiky do výchozí polohy se stiskne tlačítko „ResetFn“, pomocí kterého se vynulují hodnoty jednotlivých grafů. Následným stisknutím tlačítka „Save“ dojde k zaznamenávání průběhu zkoušky.
- e) Poslední krok měření spočívá v postupném stlačování pneumatiky pomocí hydraulické pumpy až na hodnotu 125 % maximální dovolené nosnosti pneumatiky. Tato koncová zatěžovací hodnota je pro jednotlivé indexy nosnosti uvedena v *Příloze C* (str. 71). Rychlost stlačování se musí nacházet v rozmezí $(0,8 - 2,5) \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, jak je stanoveno normou ČSN 63 1511. [21]
- Po dosažení 125 % zatížení se opětovným stisknutím tlačítka „Save“ záznamy ze zkoušky uloží do zvolené složky ve formátu *txt*.

Měření je zapotřebí provést nejméně na čtyřech různých místech, rovnoměrně rozložených po obvodu pneumatiky. [21]

3.3.2 Vyhodnocení zkoušky

Po dokončení jednotlivých měření jsou k dispozici 4 složky, každá obsahující záznamy z měření na různém místě obvodu pneumatiky. Každá složka obsahuje 12 *txt* souborů. V případě měření statické radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky se bude dále pracovat pouze se soubory *sum M* a *z*. Hodnoty z těchto dvou souborů je vhodné převést do tabulkového procesoru *Microsoft Excel*.

Po převedení dat do *Microsoft Excel* je nutné vypočítat aritmetický průměr hodnot radiálních deformací, pro 75, 100 a 125 % radiálního zatížení, které se vypočítá z maximální dovolené nosnosti pneumatiky. Tyto hodnoty 75, 100 a 125 % radiálního zatížení jsou pro jednotlivé indexy nosnosti uvedeny v *Příloze C* (str. 71).

Pro zjednodušení vyhledávání požadované hodnoty radiálního zatížení lze v programu *Microsoft Excel* využít funkce „POZVYHLEDAT“, která vypíše číslo buňky obsahující hledanou hodnotu nebo nejbližší vyšší.

Výpočet radiální tuhosti pneumatiky (c_r) v $\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}$ podle vzorce:

$$c_r = \frac{9,81 \cdot (F_{r125} - F_{r75})}{S_{r125} - S_{r75}} \quad (1)$$

F_{r125} [kg]	radiální zatížení, které odpovídá 125 % maximální dovolené nosnosti zkoušené pneumatiky
F_{r75} [kg]	radiální zatížení, které odpovídá 75 % maximální dovolené nosnosti zkoušené pneumatiky
s_{r125} [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací vzniklých při radiálním zatížení, které odpovídá 125 % maximální dovolené nosnosti zkoušené pneumatiky
s_{r75} [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací vzniklých při radiálním zatížení, které odpovídá 125 % maximální dovolené nosnosti zkoušené pneumatiky
9,81 [m·s ⁻²]	tíhové zrychlení

Výpočet statické radiální tuhosti je stanoven normou *ČSN 63 1511*. [21]

Výpočet statického poloměru pneumatiky (r_s) v [mm] podle vzorce:

$$r_s = \frac{l_0}{2 \cdot \pi} - s_r \quad (2)$$

l_0 [mm]	volný obvod pneumatiky
s_r [mm]	aritmetický průměr hodnot radiálních deformací vzniklých při radiálním zatížení, které odpovídá 100 % maximální dovolené nosnosti zkoušené pneumatiky

Výpočet statického poloměru pneumatiky je stanoven normou *ČSN 63 1511*. [21]

3.3.3 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [21]:

- a) Obecné informace
 - datum a místo provedení zkoušky,
 - označení pneumatiky,
 - hmotnost pneumatiky,
 - označení zkušebního ráfku,
 - informace o zkušebním zařízení a pomůckách.

- b) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
- výsledek prohlídky pneumatiky,
 - parametry kondicionování pneumatiky,
 - výsledek kontroly vzduchotěsnosti,
 - parametry stabilizace pneumatiky.
- c) Informace o vyhodnocení zkoušky
- výsledek zkoušky ve formě grafu závislosti radiální deformace na velikosti radiálního zatížení a tabulky naměřených hodnot,
 - hodnoty radiálních deformací a radiálního zatížení potřebné k výpočtu radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky, zapsány ve formě tabulky,
 - hodnotu volného obvodu pneumatiky,
 - vypočtené hodnoty radiální tuhosti a statického poloměru pneumatiky.

3.4 Měření statické obvodové tuhosti

Zkouška statické obvodové tuhosti pneumatiky je prováděna na statickém adhezoru SA- 1. Obecné informace o obvodové deformaci pneumatiky jsou uvedeny v kapitole 1.7.2, *Torzni (obvodová) deformační charakteristika* (str. 25).

Před zahájením zkoušky byla pneumatika podrobena přípravě, která je popsána v kapitole 3.2 (str. 37). Dále pro měření statické obvodové tuhosti pneumatiky platí stejné podmínky, které jsou uvedeny v kapitole 3.3 v bodech: *Teplota, Huštění, Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení* (str. 39).

Měřicí stůl

Oproti měření statické radiální tuhosti a statického obvodu pneumatiky, musí při měření statické obvodové tuhosti a statické boční tuhosti být deska stolu statického adhezoru vybavena drsným povrchem, který zabraňuje předčasnému smýkání pláště pneumatiky po podložce. Pro potřeby této zkoušky byl statický adhezor Univerzity Pardubice dovybaven přípravkem, pomocí kterého lze ke stolu připevnit betonovou desku s drsným povrchem. Tento přípravek je umístěn do předpokládaného místa styku pneumatiky s podložkou a ke stolu statického adhezoru je připevněn pomocí 4 šroubů M12x1,5.

3.4.1 Postup zkoušky

- a) Aktivace programu *AD client* je popsána v kapitole 3.3.1, v části *Postup měření* v bodě *a*) (str. 40). Při měření statické obvodové tuhosti pneumatiky jsou využívány grafy radiálního zatížení (*010 sum M*), posuvu stolu v ose X (*007 x*) a graf působící síly v ose X (*005 F_x*). U grafu *010 sum M* je zapotřebí nastavit rozsah (+100, -1000) kg, u grafu *007 x* rozsah ± 100 mm a u grafu *005 F_x* rozsah ± 5000 N. Poté, co jsou rozsahy nastaveny stiskne se tlačítko „ResetFn“, pomocí kterého se vynulují hodnoty jednotlivých grafů. Následným stisknutím tlačítka „Save“ dojde k zaznamenávání průběhu zkoušky.
- b) V druhém kroku je pneumatika přitlačena k podložce v radiálním směru pomocí hydraulické pumpy až na hodnotu 100 % maximální dovolené nosnosti. Koncová zatěžovací hodnota je pro jednotlivé indexy nosnosti pneumatik uvedena v *Příloze C* (str. 71).
- c) V posledním kroku se uvede měřicí stůl do pohybu v ose X pomocí šroubového mechanismu. Otáčení je uskutečňováno ve směru hodinových ručiček. Rychlost posuvu se musí nacházet v rozmezí $(0,8 - 2,5) \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Posuvem stolu dochází k postupnému narůstání obvodového zatížení F_x . Jakmile hodnota obvodového zatížení přestane růst, bylo dosaženo maximální hodnoty obvodové síly. Průběh zatěžování a hodnoty obvodové síly jsou patrné z grafu *005 F_x* v programu *Ad client*. Po dosažení maximální obvodové síly se opětovným stisknutím tlačítka „Save“ záznamy ze zkoušky uloží do zvolené složky ve formátu *txt*.

Měření je potřeba provést nejméně na čtyřech různých místech rovnoměrně rozložených po obvodu pneumatiky. [22]

3.4.2 Vyhodnocení zkoušky

Po dokončení jednotlivých měření jsou k dispozici 4 složky, každá obsahující záznamy z měření na různém místě obvodu pneumatiky. Každá složka obsahuje 12 *txt* souborů. V případě měření statické obvodové tuhosti pneumatiky se bude dále pracovat pouze se soubory F_x a x . Hodnoty ze souborů F_x a x ze všech 4 měření je vhodné převést do tabulkového procesoru *Microsoft Excel*.

Po převedení dat do *Microsoft Excel* je nutné pomocí funkce „MAX“ vyhledat nejvyšší hodnotu obvodové síly F_x a následně dopočítat její 10 a 60 % hodnotu.

Dále se provede výpočet aritmetického průměru hodnot obvodových deformací pro 10 a 60 % z maximální naměřené hodnoty obvodové síly F_x . Pro zjednodušení vyhledávání požadované hodnoty obvodové síly lze v programu *Microsoft Excel* využít funkce „POZVYHLEDAT“, která vypíše číslo buňky obsahující hledanou hodnotu nebo nejbližší vyšší.

Výpočet obvodové tuhosti pneumatiky (c_o) v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ podle vzorce:

$$c_o = \frac{F_{x60} - F_{x10}}{s_{x60} - s_{x10}} \quad (3)$$

F_{x60} [N]	obvodová síla, která odpovídá 60 % maximální naměřené hodnoty obvodové síly
F_{x10} [N]	obvodová síla, která odpovídá 10 % maximální naměřené hodnoty obvodové síly
s_{x60} [mm]	aritmetický průměr hodnot obvodových deformací vzniklých při působení obvodových sil, které odpovídají 60 % maximální naměřené hodnoty obvodové síly
s_{x10} [mm]	aritmetický průměr hodnot obvodových deformací vzniklých při působení obvodových sil, které odpovídají 10 % maximální naměřené hodnoty obvodové síly

Výpočet statické obvodové tuhosti je v této práci stanoven dle literatury: *Gumárská technológia II.* [22]

3.4.3 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [23]:

- a) Obecné informace
 - obecné informace jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- b) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
 - informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- c) Informace o vyhodnocení zkoušky

- výsledky zkoušky ve formě grafu závislosti obvodové deformace na velikosti obvodové síly a tabulky naměřených hodnot,
- hodnoty obvodových deformací a obvodových sil potřebných k výpočtu obvodové tuhosti pneumatiky, zapsány ve formě tabulky,
- vypočtené hodnoty obvodové tuhosti pneumatiky.

3.5 Měření statické boční tuhosti

Zkouška statické boční tuhosti pneumatiky je prováděna na statickém adhezoru SA-1. Obecné informace jsou uvedeny v kapitole 1.7.3, *Boční deformační charakteristika* (str. 27).

Před zahájením zkoušky byla pneumatika podrobena přípravě, která je popsána v kapitole 3.2 (str. 37). Pro měření statické boční tuhosti pneumatiky platí stejné podmínky, které jsou uvedeny v kapitole 3.3, v bodech: *Teplota*, *Huštění*, *Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení* (str. 39). Dále také platí stejná podmínka ohledně povrchu stolu statického adhezoru, která je uvedena v kapitole 3.4, v části *Měřicí stůl* (str. 43).

3.5.1 Postup zkoušky

- a) Aktivace programu *AD client* je popsána v kapitole 3.3.1, v části *Postup měření*, v bodě *a*) (str. 40). Při měření statické boční tuhosti pneumatiky jsou využívány grafy radiálního zatížení (*010 sum M*), posuvu stolu v ose Y (*008 y*) a graf působící síly v ose Y (*006 F_y*). U grafu *010 sum M* je dále zapotřebí nastavit rozsah (+100, -1000) kg, u grafu *008 y* rozsah ± 100 mm a u grafu *006 F_y* rozsah ± 5000 N. Poté co jsou rozsahy nastaveny, stiskne se tlačítko „ResetFn“, pomocí kterého se vynulují hodnoty jednotlivých grafů. Následným stisknutím tlačítka „Save“ dojde k zaznamenávání průběhu zkoušky.
- b) V druhém kroku je pneumatika přitlačena k podložce v radiálním směru pomocí hydraulické pumpy až na hodnotu 100 % maximální dovolené nosnosti. Tato hodnota nesmí být překročena. Koncová zatěžovací hodnota je pro jednotlivé indexy nosnosti pneumatik uvedena v *Příloze C* (str. 71).
- d) V posledním kroku se uvede měřicí stůl do pohybu v ose Y pomocí šroubového mechanismu. Otáčení je uskutečňováno ve směru hodinových ručiček. Rychlost posuvu se musí nacházet v rozmezí (0,8 – 2,5) mm·s⁻¹. Posuvem stolu dochází k postupnému narůstání bočního zatížení *F_y*. Jakmile hodnota bočního zatížení

přestane růst, bylo dosaženo maximální hodnoty boční síly. Průběh zatěžování a hodnoty boční síly jsou patrné z grafu 006 F_y v programu *Ad client*.

Po dosažení maximální boční síly, se opětovným stisknutím tlačítka „Save“ záznamy ze zkoušky uloží do zvolené složky ve formátu *txt*.

Měření se musí provést nejméně na čtyřech různých místech, rovnoměrně rozložených po obvodu pneumatiky. [23]

3.5.2 Vyhodnocení zkoušky

Po dokončení jednotlivých měření jsou k dispozici 4 složky, každá obsahující záznamy z měření na různém místě obvodu pneumatiky. Každá složka obsahuje 12 *txt* souborů. V případě měření statické boční tuhosti pneumatiky se bude dále pracovat pouze se soubory F_y a y . Hodnoty ze souborů F_y a y všech 4 měření je vhodné převést do tabulkového procesoru *Microsoft Excel*.

Po převedení dat do *Microsoft Excel* je zapotřebí pomocí funkce „MAX“ vyhledat nejvyšší hodnotu boční síly F_y , a následně dopočítat její 10 a 60 % hodnotu.

Dále se provede výpočet aritmetického průměru hodnot bočních deformací pro 10 a 60 % z maximální naměřené hodnoty boční síly F_y . Pro zjednodušení vyhledávání požadované hodnoty lze v programu *Microsoft Excel* využít funkce „POZVYHLEDAT“, která vypíše číslo buňky obsahující hledanou hodnotu nebo nejbližší vyšší.

Výpočet boční tuhosti pneumatiky (c_b) v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ podle vzorce:

$$c_b = \frac{F_{y60} - F_{y10}}{s_{y60} - s_{y10}} \quad (4)$$

F_{y60} [N]	boční síla, která odpovídá 60 % maximální naměřené hodnoty boční síly
F_{y10} [N]	boční síla, která odpovídá 10 % maximální naměřené hodnoty boční síly
s_{y60} [mm]	aritmetický průměr hodnot bočních deformací vzniklých při působení bočních sil, které odpovídají 60 % maximální naměřené hodnoty boční síly
s_{y10} [mm]	aritmetický průměr hodnot bočních deformací vzniklých při působení bočních sil, které odpovídají 10 % maximální naměřené hodnoty boční síly

Výpočet statické boční tuhosti je v této práci stanoven dle normy, *Stanovenie statickej bočnej tuhosti*. [23]

3.5.3 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [23]:

- a) Obecné informace
 - obecné informace jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- b) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
 - informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- c) Informace o vyhodnocení zkoušky
 - výsledky zkoušky ve formě grafu závislosti boční deformace na velikosti boční síly a tabulky naměřených hodnot,
 - hodnoty bočních deformací a bočních sil potřebné k výpočtu boční tuhosti pneumatiky, zapsány ve formě tabulky,
 - vypočtené hodnoty boční tuhosti pneumatiky.

3.6 Stanovení tlaku ve stopě pneumatiky z otisku

Podstatou této zkoušky je určení tlaku ve stopě pneumatiky z jejího otisku na rovné a tuhé podložce, která je kolmá ke směru radiálního zatížení pneumatiky. Dále se v této zkoušce určí rozměry otisku stopy.

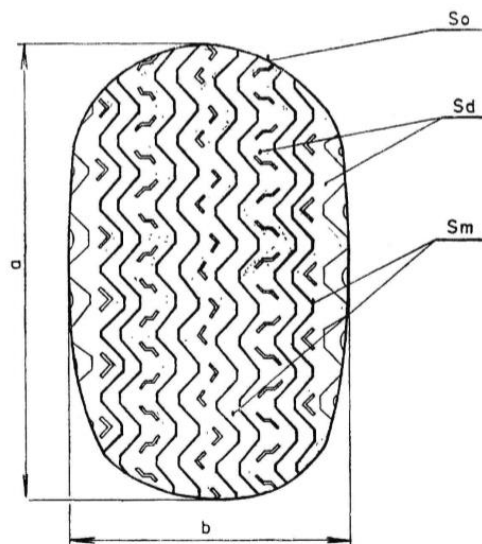
Před zahájením zkoušky musí být pneumatika podrobena přípravě, která je popsána v kapitole 3.2 (str. 37). Dále pro stanovení tlaku ve stopě pneumatiky platí stejné podmínky, které jsou uvedeny v bodech: *Teplota, Huštění, Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení* z kapitoly 3.3 (str. 39).

3.6.1 Postup zkoušky

- a) Aktivace programu *AD client* je popsána v kapitole 3.3.1, v části *Postup měření*, v bodě *a*) (str. 40). Při tomto měření se bude pracovat pouze s grafem radiálního zatížení (*010 sum M*), s nastaveným rozsahem (+100, -1000) kg, podle kterého se určí koncová hodnota radiálního zatížení.

- b) Před zahájením zatěžování pneumatiky se předpokládána plocha otisku pneumatiky lehce natře razítkovou barvou (tiskařská čern) a na stůl statického adhezoru se pod předpokládanou plochu otisku umístí tužší, bílý, kreslicí kartón ve formátu přiměřeném velikosti otisku. [24]
- c) Poslední krok měření spočívá v postupném stlačování pneumatiky pomocí hydraulické pumpy až na hodnotu 100 % maximální dovolené nosnosti pneumatiky. Tato hodnota nesmí být překročena. Koncová zatěžovací hodnota je pro jednotlivé indexy nosnosti pneumatik uvedena v *Příloze C* (str. 71). Rychlost stlačování by se měla nacházet v rozmezí $(0,8 - 2,5) \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. [24]

3.6.2 Vyhodnocení zkoušky



Obr. 16: Otisk pneumatiky (zdroj [24])

Po vytvoření otisku a následném zaschnutí razítkové barvy se ručně dokreslí vnější obrys otisku a doplní se nevýrazné obrysy figur dezénu pneumatiky. Schématicky zobrazený otisk pneumatiky je vidět na *Obr. 16*.

Parametry otisku

- **délka otisku** (a) v cm je vzdálenost dvou rovnoběžných tečen, které jsou kolmé na podélnou osu otisku pneumatiky a dotýkají se obrysu otisku,
- **šířka otisku** (b) v cm je vzdálenost dvou rovnoběžných tečen, které jsou rovnoběžné s podélnou osou otisku pneumatiky a dotýkají se obrysu otisku,
- **plocha otisku** (S_o) v cm^2 je plocha ohraničená obrysem otisku pneumatiky, skládá se ze součtu ploch styku (S_d) a mezer (S_m),

- **plocha styku** (S_d) v cm^2 je plocha styku dezénu s podložkou nacházející se v obrysu otisku,
- **plocha mezer** (S_m) v cm^2 je volná plocha mezi otisky figur dezénu,

Pro měření délkových rozměrů bude využito posuvné měřítko s dostatečným rozsahem. Pro měření ploch lze využít milimetrový papír nebo planimetr, avšak v dnešní době jsou častěji využívány programy *AutoCAD*, *SolidWorks*, *Inventor* a další, které dokáží provést výpočet zabarvené plochy. [24]

Výpočet plnosti otisku dezénu (γ) v % podle vzorce:

$$\gamma = \frac{S_d}{S_o} \cdot 100 \quad (5)$$

S_d [cm^2] plocha styku dezénu pneumatiky s podložkou

S_o [cm^2] plocha otisku pneumatiky

Výpočet tlaku v ploše styku dezénu pneumatiky (p_s) v kPa podle vzorce:

$$p_s = 10 \cdot \frac{F_r \cdot 9,81}{S_d} \quad (6)$$

F_r [kg] radiální zatížení pneumatiky

S_d [cm^2] plocha styku dezénu pneumatiky s podložkou

9,81 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] tíhové zrychlení

Výpočet tlaku v ploše styku dezénu pneumatiky (p_s) v kPa podle vzorce:

$$p_s = 10 \cdot \frac{F_r \cdot 9,81}{S_o} \quad (7)$$

F_r [kg] radiální zatížení pneumatiky

S_o [cm^2] plocha otisku pneumatiky

9,81 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] tíhové zrychlení

Výpočtové vztahy pro stanovení tlaku ve stopě pneumatiky jsou stanoveny podle normy *ČSN 63 1554*. [24]

3.6.3 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [24]:

- d) Obecné informace
 - obecné informace jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- e) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
 - informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek jsou uvedeny v kapitole 3.3.3, *Protokol o zkoušce* (str. 42),
- f) Informace o vyhodnocení zkoušky
 - naměřené hodnoty délky a šířky otisku pneumatiky,
 - získané hodnoty jednotlivých ploch otisku,
 - procentuální hodnotu plnosti otisku dezénu,
 - velikost tlaku v ploše styku dezénu pneumatiky,
 - velikost tlaku v ploše otisku pneumatiky.

3.6.4 Stanovení tlaku ve stopě pneumatiky pomocí tlakocitlivé fólie

Pro stanovení tlaku ve stopě pneumatiky se v dnešní době inkoustové metody vyhodnocení čím dál častěji nahrazují vyhodnocením pomocí tlakocitlivé fólie. Tyto fólie pracují na principu mikro kapslí, ve kterých je uložena barvicí látka. Pokud je tlakocitlivá fólie vystavena působení tlaku, dochází k destrukci mikro kapslí, a tím k zabarvení vrstvy fólie. Intenzita zbarvení následně vychází z velikosti působícího tlaku. Jako vhodná fólie se jeví *Fujifilm PRESCALE LLLW R270*, jejíž parametry jsou dostačující pro měření tlaku ve stopě většiny pneumatik pro osobní automobily. [15]

Tato tlakocitlivá fólie je při zkoušce umístěna pod předpokládanou plochu otisku pneumatiky. Pneumatika je následně stlačována po dobu 120 sekund až na hodnotu 100 % maximální dovolené nosnosti pneumatiky. Tato hodnota nesmí být překročena. Po dosažení této maximální hodnoty zůstane fólie vystavena tomuto tlaku po dobu 120 sekund. [25]

Vyhodnocení intenzity barvy tlakocitlivé fólie se provede porovnáním s barevnou škálou hodnot zatížení a výsledný působící tlak je odečten z grafu závislosti na zabarvení a okolních podmínkách měření. Vyhodnocení velikosti otisku lze provést obdobně jako v kapitole 3.6.2 nebo pomocí programu *FPD-8010E* od společnosti *FUJIFILM*. [25]

Protokol o zkoušce bude obdobný jako v kapitole 3.6.3, *Protokol o zkoušce*.

4 Stanovení metodiky pro měření na dynamickém adhezoru

Metodika na dynamickém adhezoru je v této práci stanovena pro měření valivého odporu a dále pro zkoušku pneumatik při konstantním zatížení a stupňovitým zvyšování rychlosti.

4.1 Bezpečnostní pokyny

Dynamický adhezor je umístěn ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě (VVCD), které je součástí Dopravní fakulty Jana Pernera, Univerzity Pardubice. Při provozování tohoto zařízení je zapotřebí se řídit provozním řádem Výukového a výzkumného centra v dopravě, a to zejména provozním řádem místnosti DD 01044 (laboratoř DP-SV). [19] Dále musí být obsluha seznámena s bezpečnostními pokyny pro provoz dynamického adhezoru, které jsou uvedeny v *Návod k použití Dynamický adhezoru DA-1*. [16]

4.2 Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek

Příprava pneumatiky k provádění dynamických laboratorních zkoušek je shodná s přípravou pro zkoušky statické až na výjimku stabilizace pneumatiky zajížděním, kterou je nutno provést až při samotném měření. Příprava je podrobně popsána v kapitole 3.2 (str. 37).

Příprava pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek je stanovena v souladu s normou ČSN 63 1502. [20]

4.3 Aktivace dynamického adhezoru

Při aktivaci dynamického adhezoru je zapotřebí postupovat dle následujících kroků, a to ve stanoveném pořadí.

- a) V prvním kroku se zapne stroj hlavním vypínačem (červená páka) umístěným na boku rozvaděče. Zapnutý stav je signalizován bílou kontrolkou umístěnou nad hlavním vypínačem.
- b) Následuje uvolnění přívodu vzduchu do chlazení automobilové brzdy pomocí ventilu (červená páka), umístěným v kleci za ramenem adhezoru.
- c) Pokud je stlačené některé z tlačítek nouzového zastavení, je potřeba ho uvolnit pootočením vpravo. Tlačítka jsou umístěna na rozvaděči, v kleci a ve velíně.

- d) Dále se ve velíně do otočného spínače, umístěného na ovládacím panelu, zasune klíček a otočí se do polohy „ZAP“.
- e) V dalším kroku je nutné provést aktivaci stroje pomocí stisknutí tlačítka „AKTIVACE STROJE“.
- f) Po aktivaci stroje se nastaví ruční ovládání pomocí otočného spínače „RUČNÍ ŘÍZENÍ“ do polohy „ZAP“.
- g) Po zapnutí tlačítka „RUČNÍ ŘÍZENÍ“ se displej automatiky přepne do menu ručního řízení. V tomto menu je zapotřebí v poli „Motor hydrauliky“ stisknout zelené tlačítko „START“ a v poli „Brzda setrvačnicku“ stisknout tlačítko „ODBRZDIT“.
- h) V posledním kroku je potřeba propojit měřicí ústřednu s počítačem. To je provedeno přihlášením ve webovém prohlížeči na IP adresu 10.0.1.100, tím se otevře aplikace, ve které je možné sledovat průběh zkoušky a stahovat pořízené záznamy ze zkoušky.

4.4 Měření valivého odporu pomocí výkonové metody

Měření valivého odporu na dynamickém adhezoru je možné provést pomocí 4 metod, které jsou stanoveny předpisem (EHK/OSN) č. 117. [26] Jedná se o metodu silovou, metodu točivého momentu, metodu zpomalení a metodu výkonovou. V této práci je stanovena metodika pro měření valivého odporu pneumatiky pomocí výkonové metody. Toto rozhodnutí plyne z poznatků uvedených v diplomové práci studenta Martina Huška, *Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru* [5], který se mimo jiné ve své práci zabývá zvolením nejvhodnější metody měření valivého odporu na dynamickém adhezoru Univerzity Pardubice.

Měření je stanoveno pro pneumatiky typu C1 neboli pneumatiky pro osobní a lehké nákladní vozy tříd M1, M2, O1 a O2. Podrobné informace jsou uvedeny v (EHK/OSN) č. 030. [12] Z důvodu maximální přitlačné síly 5 kN dynamického adhezoru Univerzity Pardubice, je možné podrobit zkoušce pouze pneumatiky s maximální indexem nosnosti 92.

V této době není dynamický adhezor dostatečně vybaven, aby bylo možné provádět tuto zkoušku. Metodika je stanovena pro dovybavené zařízení, dle návrhu studenta Martina Huška. [5]

Měření příkonu elektromotoru

Aby bylo možné provádět měření valivého odporu pomocí výkonové metody, musí být rozvaděč dynamického adhezoru vybaven elektroměrem. Tento elektroměr je schopen při provozu stroje podávat informace o aktuální velikosti příkonu elektromotoru dynamického

adhezoru. Podrobné informace o tomto elektroměru jsou uvedeny v diplomové práci *Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru*. [5]

Požadované přesnosti zkušebního zařízení

Tab. 1: Požadované přesnosti zkušebního zařízení (zdroj [26])

Zatížení pneumatiky	$\pm 10 \text{ N}$ nebo $\pm 0,5 \%$
Husticí tlak	$\pm 1 \text{ kPa}$
Vzdálenost	$\pm 1 \text{ mm}$
Elektrický výkon	$\pm 10 \text{ W}$
Teplota	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$
Rychlost na povrchu	$\pm 0,1 \text{ km/h}$
Čas	$\pm 0,01 \text{ s}$

Teplota

Zkouška je prováděna v laboratoři při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Pokud není možné dosáhnout přesné teploty, je dovoleno provádět zkoušku při teplotě v rozmezí $(20 - 30) \text{ }^\circ\text{C}$, následně však musí být vypočítána teplotní korekce, která je uvedena v kapitole 4.4.2 (str. 56). [26]

Huštění

Pneumatika pro běžné zatížení je huštěna na hodnotu 210 kPa , a pneumatika zesílená nebo pro velká zatížení na hodnotu 250 kPa . Zkouška se provádí při uzavřeném ventilu neboli tlak v pneumatice vlivem teploty dále narůstá – „uzavřené přiřušťování“. [26]

Tlak v pneumatice je nutné měřit tlakoměrem, dle normy ČSN 25 720, který má třídu přesnosti 1, a hodnoty tlaku by se měly pohybovat v druhé třetině rozsahu přístroje. [20]

Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení

Montáž vozidlového kola k rameni dynamického adhezoru je obdobná s montáží na statický adhezor. Tento postup je popsán v kapitole 3.3, v bodě *Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení* (str. 39).

Poloha pro zahájení zkoušky a koncová poloha MAX

„Poloha pro zahájení zk.“ je změřena pomocí délkového měřidla s dělením po 1 mm tak, že se změří nejkratší vzdálenost mezi běhounem pneumatiky a bubnem. Od takto naměřené hodnoty se následně odečte 10 mm . Tuto naměřenou vzdálenost urazí rameno dynamického adhezoru rychloposuvem (30 mm/s). Po uražení této vzdálenosti se rameno dále pohybuje rychlostí přítlaku, která se nastaví v parametrech zkoušky.

„Koncová poloha MAX“ je maximální vzdálenost, na kterou se při zkoušce vysune rameno dynamického adhezoru. Tato koncová poloha má zabránit dotyku ráfku kola s bubnem adhezoru při destrukci pneumatiky. Tato hodnota je stanovena dle zkušeností obsluhy dynamického adhezoru.

4.4.1 Postup zkoušky

- a) V prvním kroku zkoušky je nutné provést zahřívání. Při nastavování parametrů se na dotykovém displeji stiskne tlačítko „PARAMETRY“. V tomto okně se nastaví hodnoty podle následující tabulky (**Tab. 2**).

Tab. 2: Parametry zk. valivého odporu

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rychlost	80	km/h
Směr otáčení	CW	–
Síla přitlaku	<i>Příloha D (str.73) – F_{80}</i>	kN
Rychlost přitlaku	1	mm/s
Doba trvání	50	min
Brzdný tlak	10	Mpa
Frekvence měření	10	vz/s
Poloha pro zahájení zk.	<i>viz. kapitola 4.4 (str.54)</i>	mm
Koncová poloha MAX	<i>viz. kapitola 4.4 (str.54)</i>	mm

Jakmile jsou nastaveny jednotlivé parametry, stiskne se zeleného tlačítka „START“ a zahřívání se spustí.

- b) Po 30 minutách zahřívání zůstane adhezor v chodu. V okně „PARAMETRY“ na ovládacím panelu stroje se přepíše hodnota síly přitlaku na 0,1 kN, ostatní hodnoty zůstávají nezměněny. V okně „STROJ“ je vidět postupná změna přitlačné síly. Jakmile se přitlačná síla ustálí na 0,1 kN, zaznamená se hodnota příkonu elektromotoru z elektroměru. Tato hodnota příkonu bude sloužit k výpočtu parazitních ztrát dynamického adhezoru. Po tomto měření zůstává adhezor stále v chodu a může se přejít na poslední krok zkoušky.
- c) V posledním kroku se provede samotná zkouška valivého odporu. Parametry zkoušky jsou nastaveny totožně, jako tomu bylo v bodě a). Na displeji ovládacího panelu v okně „STROJ“ je vidět průběh zkoušky. Jakmile bude hodnota síly přitlaku odpovídat 80 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky, viz *Příloha D (str.73) – F_{80}* ,

zaznamená se hodnota příkonu elektromotoru z elektroměru. Po zaznamenání této hodnoty může být zkouška ukončena tlačítkem „STOP“.

4.4.2 Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zkoušky je stanoveno dle následujícího předpisu: *Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 117 – Jednotná ustanovení pro schvalování pneumatik z hlediska akustického tlaku odvalování a/nebo přilnavosti na mokřích površích a/nebo valivého odporu [2016/1350]. [26]*

Výpočet parazitních ztrát (F_{pl}) v N podle vzorce:

$$F_{pl} = \frac{3,6 \cdot P_m}{V} \quad (8)$$

P_m [W] příkon elektromotoru při minimálním zatížení

V [km/h] rychlost povrchu bubnu

Výpočet valivého odporu (F_r) v N podle vzorce:

$$F_r = \frac{3,6 \cdot P_z}{V} - F_{pl} \quad (9)$$

P_z [W] příkon elektromotoru při zatížení, které odpovídá 80 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

V [km/h] rychlost povrchu bubnu

F_{pl} [N] parazitní ztráty

Přepočet valivého odporu na teplotu 25 °C (F_{r25}) v N podle vzorce:

$$F_{r25} = F_r \cdot [1 + 0,008 \cdot (t_{amb} - 25)] \quad (10)$$

F_r [N] valivý odpor

t_{amb} [°C] okolní teplota při měření

Tento výpočet se provádí, pokud nebyla teplota v laboratoři při měření rovna 25 °C.

Výpočet koeficientu valivého odporu (C_r) podle vzorce:

$$C_r = \frac{F_{r25}}{L_m} \quad (11)$$

F_{r25} [N] valivý odpor korigovaný na teplotu 25 °C

L_m [N] radiální zatížení pneumatiky při zkoušce, které odpovídá 80 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

Výpočet koeficientu korekce na průměru zkušebního bubnu (K) podle vzorce:

$$K = \sqrt{\frac{(R_1/R_2) \cdot (R_2 + r_T)}{(R_2 + r_T)}} \quad (12)$$

R_1 [m] poloměr měřicího bubnu (průměr 1,705 m)

R_2 [m] poloměr referenčního bubnu (průměr 2 m)

r_T [m] statický poloměr pneumatiky

Výpočet korekce hodnot (F_{r2}) v N a (C_{r2}) podle vzorců:

$$F_{r2} = F_{r25} \cdot K \quad (13)$$

$$C_{r2} = C_r \cdot K \quad (14)$$

F_{r25} [N] valivý odpor korigovaný na teplotu 25 °C

C_r koeficient valivého odporu

K koeficient korekce na průměr zkušebního bubnu

Při měření valivého odporu musí být průměr bubnu větší než 1,7 m a hodnoty valivého odporu a koeficientu valivého odporu se vždy přepočítávají na referenční buben o průměru 2 m.

4.4.3 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [26]:

- a) Obecné informace
 - datum a místo provedení zkoušky,
 - označení pneumatiky,
 - hmotnost pneumatiky,
 - označení zkušebního ráfku,
 - informace o zkušebním zařízení včetně průměru a povrchu bubnu.
- b) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
 - výsledek prohlídky pneumatiky,
 - parametry kondicionování pneumatiky,

- výsledek kontroly vzduchotěsnosti.
- c) Parametry zkoušky
- metoda měření valivého odporu,
 - zkušební rychlost a zatížení,
 - zatížení při určování parazitních ztrát,
 - husticí tlak při zkoušce,
 - teplota při zkoušce.
- d) Informace o vyhodnocení zkoušky
- hodnota valivého odporu,
 - korigovaná hodnota valivého odporu na teplotu a průměr bubnu,
 - hodnota koeficientu valivého odporu,
 - korigovaná hodnota koeficientu valivého odporu na teplotu a průměr bubnu.

4.5 Zkouška při konstantním zatížení a stupňovitým zvyšování rychlosti

U této metody se pneumatika zkouší na bubnovém zkušebním zařízení při definovaném zatížení, huštění a při stupňovitým zvyšování rychlosti odvalování v průběhu přesně stanovených časových intervalů. Tato zkouška je prováděna za účelem zjištění odolnosti a životnosti pneumatiky. Zkouška je stanovena v souladu s normou ČSN 63 1536. [27]

Měření je stanoveno pro pneumatiky typu C1 neboli pneumatiky pro osobní a lehké nákladní vozy tříd M1, M2, O1 a O2. Podrobné informace jsou uvedeny v (EHK/OSN) č. 030. [12] Z důvodu maximální přítláčné síly 5 kN a maximální rychlosti povrchu bubnu 180 km/h, dynamického adhezoru Univerzity Pardubice je možné podrobit zkoušce pouze pneumatiky s maximálním indexem nosnosti 92 a s maximálním indexem rychlosti T.

Před zahájením zkoušky byla pneumatika podrobena přípravě, která je popsána v kapitole 4.2 (str. 52) a byl aktivován dynamický adhezor podle kapitoly 4.3 (str. 58). Dále pro tuto zkoušku platí stejné podmínky, které jsou uvedeny v kapitole 4.4 (str. 53), v bodech: *Teplota, Montáž vozidlového kola na zkušební zařízení, Poloha pro zahájení zkoušky a koncová poloha MAX.*

Huštění

Pneumatika se hustí na hodnotu, která odpovídá 80 % maximální dovolené hodnoty huštění. Hodnota maximálního huštění je na bočnici pneumatiky vyznačena jako

„MAX PRESS,, a je udávána v kPa. Tlak v pneumatice je nutné měřit tlakoměrem, který je popsán v kapitole 3.2, v části *Kontrola vzduchotěsnosti* (str. 38). Hodnota huštění se po dobu celé zkoušky neupravuje a zkouška je zahájena nejdříve po 15 minutách od nahuštění pneumatiky.

4.5.1 Postup zkoušky

Během zkoušky je pneumatika zatížena konstantní radiální silou, která odpovídá 80 % nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky. Hodnoty radiálního zatížení pro jednotlivé indexy nosnosti jsou uvedeny v *Příloze D* (str. 73). V průběhu zkoušky se mění zkušební rychlost bubnu. Při prvním stupni je rychlost bubnu o 40 km/h nižší, než je maximální dovolená rychlost pneumatiky. Od počáteční zkušební rychlosti se následné rychlosti zvyšují vždy po 10 km/h, až do dosažení konečné zkušební rychlosti, která musí být od 10 km/h nižší, než je maximální dovolená rychlost pneumatiky. Rychlostní stupně pro jednotlivé třídy rychlostí pneumatik jsou uvedeny v *Příloze E* (str. 75). Odvalování v každém rychlostním stupni je prováděno po dobu 10 minut kromě posledního stupně, při kterém je pneumatika odvalována po dobu 20 minut. Celá zkouška musí být provedena bez přerušení. [27]

- a) V prvním kroku je nutné změřit volný obvod pneumatiky (O_V). K tomuto měření je zapotřebí měřícího pásma s dělením po 1 mm. Tato hodnota se zaznamená pro pozdější vyhodnocení změny obvodu pneumatiky v %.
- b) V druhém kroku je potřeba nastavit parametry zkoušky. Na dotykovém displeji se stiskne tlačítko „PARAMETRY“. V tomto okně se nastaví jednotlivé hodnoty dle následující tabulky (**Tab. 3**).

Tab. 3: Parametry zk. při konstantním zatížení a stupňovitém zvyšování rychlosti

Parametr	Hodnota	Jednotka
Rychlost	<i>Příloha E (str. 75) – 1. Stupeň</i>	km/h
Směr otáčení	CW	–
Síla přitlaku	<i>Příloha D (str.73) – F₈₀</i>	kN
Rychlost přitlaku	1	mm/s
Doba trvání	60	min
Brzdný tlak	10	Mpa
Frekvence měření	10	vz/s
Poloha pro zahájení zk.	<i>viz. kapitola 4.4 (str.54)</i>	mm
Koncová poloha MAX	<i>viz. kapitola 4.4 (str.54)</i>	mm

Jakmile jsou nastaveny jednotlivé parametry, stiskne se zeleného tlačítka „START“ a zkouška se spustí.

- c) Po uplynutí 10 minut zůstane adhezor v chodu. V okně „PARAMETRY“ na ovládacím panelu stroje se přepíše parametr rychlosti na hodnotu, která odpovídá 2. stupni v Příloze E (str. 75). Ostatní hodnoty zůstávají nezměněny a zkouška pokračuje.
- d) Po uplynutí další 10 minut zkoušky se opět zvýší rychlost odvalování na hodnotu, která odpovídá 3. stupni v Příloze E (str. 75). Ostatní hodnoty zůstávají nezměněny a zkouška pokračuje.
- e) Po uplynutí 10 minut se nastaví poslední změna rychlosti, a to na hodnotu, která odpovídá 4. stupni v Příloze E (str. 75). Při této koncové rychlosti dochází k odvalování pneumatiky po dobu 20 minut a po uplynutí tohoto časového intervalu se zkouška ukončí tlačítkem „STOP“.

4.5.2 Vyhodnocení zkoušky

Před vyhodnocením zkoušky je nutné nechat pneumatiku odležet po dobu 6 hodin. Po odležení se nastaví hodnota huštění v pneumatice podle kapitoly 4.5, bodu *Huštění* (str. 58).

V prvním kroku vyhodnocení zkoušky se pomocí měřicího pásma změří obvod pneumatiky po zkoušce. Procentuální hodnota změny obvodu pneumatiky po zkoušce se vypočítá pomocí vzorce:

$$K = \frac{O_V - O_K}{O_V} \cdot 100 \quad (15)$$

K [%]	procentuální změna obvodu pneumatiky
O_V [mm]	obvod pneumatiky před zkouškou
O_K [mm]	obvod pneumatiky po zkoušce

V druhém kroku se pomocí vizuálního hodnocení nebo použitím defektoskopických metod zjišťují separace jednotlivých konstrukčních prvků pneumatiky (jako např. separace běhounu, separace mezi vložkami a další) a poruchy (jako např. vytrhávání běhounu, vydrolování dezénu, porušení kordových vložek atd.).

4.5.3 Prodloužení zkoušky

Pokud nedošlo k porušení pneumatiky při předchozí zkoušce, je pro zjištění životnosti pneumatiky možné prodloužit zkoušku až do vzniku poruchy. Prodloužení zkoušky dle ČSN 63 1536 je prováděno od počáteční rychlosti, která odpovídá 4. Stupni v Příloze E (str. 75). Rychlost je postupně zvyšována o hodnotu 10 km/h. Doba odvalování při každém rychlostním stupni je 30 minut. Takto se postupuje až do porušení pneumatiky.

V případě dynamického adhezoru Univerzity Pardubice je možné zvyšovat rychlost pouze do hodnoty 180 km/h. Jakmile je dosaženo hodnoty rychlosti 180 km/h, pneumatika se nechá odvalovat až do vzniku poruchy.

4.5.4 Protokol o zkoušce

Protokol o provedené zkoušce by měl obsahovat tyto informace [27]:

- a) Obecné informace
 - obecné informace jsou uvedeny v kapitole 4.4.3, *Protokol o zkoušce* (str. 57),
- b) Informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek
 - informace o přípravě pneumatiky k provádění laboratorních zkoušek jsou uvedeny v kapitole 4.4.3, *Protokol o zkoušce* (str. 57),
- c) Parametry zkoušky
 - hodnoty rychlostí při jednotlivých rychlostních stupních a doby odvalování,
 - hodnota radiálního zatížení pneumatiky,

- celková doba trvání zkoušky,
- husticí tlak při zkoušce,
- teplota při zkoušce,

d) Informace o vyhodnocení zkoušky

- maximální dosažená rychlost odvalování a doba odvalování při této rychlosti,
- obvod pneumatiky – před zkouškou a po ní,
- procentuální změna obvodu pneumatiky,
- stav pneumatiky po zkoušce – popis separací a poruch,

e) Informace o prodloužení zkoušky

- maximální dosažená rychlost odvalování a doba odvalování při této rychlosti.

Závěr

V teoretické i praktické části práce byly vypracovány veškeré předem stanovené cíle. Jedná-li se o teoretickou část bakalářské práce, byly zde uvedeny obecné informace o problematice pneumatik, mezi které patří definice, funkce, historický vývoj, konstrukce, označování a deformační charakteristiky. Dále byl vytvořen stručný přehled, týkající se zkušebnictví pneumatik, kde byl důraz kladen převážně na zkoušky laboratorní, kterými se tato práce dále zabývá. V závěru teoretické části byl podrobně popsán statický adhezor SA-1 a dynamický adhezor DA-1. Těmito zkušebními zařízeními disponuje Univerzita Pardubice a jsou umístěny ve Výukovém a výzkumném centru v dopravě.

Praktická část bakalářské práce byla rozdělena do dvou celků, a to na stanovení metodiky pro měření na statickém adhezoru a stanovení metodiky pro měření na adhezoru dynamickém. V obou případech bylo nejprve pojednáno o bezpečnostních pokynech pro provoz zkušebních zařízení a následně byla vypracována příprava pneumatik k provádění laboratorních zkoušek v souladu s normou ČSN 63 1502.

Samotná metodika pro měření na statickém adhezoru byla stanovena pro zkoušky radiální, obvodové a boční tuhosti pneumatik a také pro zjišťování tlaku ve stopě z otisku pneumatiky. Jednotlivé metodiky pro tyto zkoušky byly stanoveny v souladu s českými technickými normami a normami společnosti Matador Púchov. Metodika pro měření na dynamickém adhezoru byla v práci stanovena pro zkoušky valivého odporu pneumatik a pro zkoušku pneumatik při konstantním zatížení a stupňovitým zvyšování rychlosti. Metodika pro tyto zkoušky byla stanovena v souladu s českými technickými normami a v souladu s předpisem Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 117.

Metodika pro měření byla pro oba dva stroje vypracována s logickou posloupností a v práci jsou uvedeny veškeré informace, které by měly i nezkušené obsluze zařízení pomoci provést měření adekvátně a bez potřeby použití jiných zdrojů. Dále by při postupování dle uvedených kroků měla být obsluha schopna naměřené veličiny vyhodnotit a v závěru vypracovat protokol, obsahující veškeré potřebné informace o provedené zkoušce. Jelikož je metodika vypracována v souladu s českými technickými normami, normami společnosti Matador Púchov a s předpisy Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů, je možné výsledky zkoušek porovnávat s výsledky z jiných zkušebních laboratoří, které se zabývají zkušebnictvím pneumatik a těmito zákonitostmi se řídí.

Z důvodu omezeného rozsahu bakalářské práce nebylo možné vypracovat metodiku pro měření všech zkoušek, které lze provádět na statickém a dynamickém adhezoru Univerzity Pardubice. V průběhu následujících let by bylo vhodné navázat na tuto bakalářskou práci a vypracovat metodiku pro měření dalších důležitých zkoušek.

Použitá literatura

- [1] KRMELA, Jan. *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I.: [System approach to computational modelling of tyres - I. part]*. 1. vyd. Brno: Tribun EU, 2008. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-365-8.
- [2] KRMELA, Jan. *Pláště pneumatik a jejich materiálové charakteristiky pro výpočtové modelování: Pláště pneumatik a ich materiálové charakteristiky pre výpočtové modelovanie : vědecká monografie*. Vydání: první. Zábřeh: Jan Krmela, 2017. ISBN isbn978-80-270-2893-1.
- [3] MARCÍN, Jiří a Petr ZÍTEK. *Pneumatiky*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Gumárenské výroby.
- [4] Největší a nejstarší kolo na světě ukazuje, že jeho vynálezci možná nebyli Sumerové. *Nevěda.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://neveda.cz/nejvetsi-a-nejstarsi-kolo-na-svete-ukazuje-ze-jeho-vynalezci-mozna-nebyli-sumerove>
- [5] HUŠEK, Martin. *Návrh úpravy a dovybavení dynamického adhezoru* [online]. Pardubice, 2018 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/71160>. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Jan Pokorný.
- [6] VACEK, Zdeněk. Zrození pneumatiky 1/2 (Robert William Thomson, John Boyd Dunlop). In: *Veterán auto* [online]. 2009 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://veteran.auto.cz/clanek/89/zrozeni-pneumatiky-1-2-robert-william-thomson-john-boyd-dunlop>
- [7] What is the structure of a tire?. In: *Michelinman* [online]. b.r. [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.michelinman.com/US/en/help/how-is-a-tire-made.html>
- [8] KOLEČEK, Petr a Bronislav RŮŽIČKA. *Pneumatiky pro váš automobil*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005. Rady a tipy pro řidiče (CP Books). ISBN isbn80-251-0561-x.
- [9] DOČKAL, Vladimír, Jan KOVANDA a František HRUBEC. *Pneumatiky*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01882-2.

- [10] Značení pneumatik. In: *AUTOKOFI* [online]. 2017 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://www.autokofi.cz/magazin-znaceni-pneumatik-detail-8>
- [11] Další značení pneumatik. In: *PNEUMATIKY.cz* [online]. 2009 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://www.pneumatiky.cz/znaceni-pneumatik-t4>
- [12] EHK 030. *Jednotná ustanovení pro schválení pneumatik motorových vozidel a jejich přípojných vozidel*. Revize 3. Ženeva, 2007.
- [13] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-x.
- [14] *Návod k použití Statický adhezor SA-1*. VÚB a.s. Ústí nad Orlicí, 2013.
- [15] KUGLER, Lukáš. *Návrh úprav a dovybavení statického adhezoru* [online]. Pardubice, 2018 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <https://hdl.handle.net/10195/70456>. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Jan Pokorný.
- [16] *Návod k používání Dynamický adhezor DA - 1*. VÚB a.s. Ústí nad Orlicí, 2013.
- [17] VÍCHA, Ondřej. *Návrh vstupních parametrů snímače pro dynamický adhezor* [online]. Pardubice, 2017 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10195/68693>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Ondřej Voltr.
- [18] LÁSKO, Josef a Michal MUSIL. *Zápis z jednání o schválení výkresové sestavy dynamického adhezoru pro výrobu*. VÚB a.s. Ústí nad Orlicí, 2013.
- [19] POKORNÝ, Jan. *Provozní řád Výukového a výzkumného centra v dopravě (VVCD), Doubravice 41*. Univerzita Pardubice, 2015.
- [20] ČSN 63 1502. *Směrnice pro přípravu pneumatik k provádění zkoušek na laboratorních zařízeních: Zkoušení pneumatik*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1998.
- [21] ČSN 63 1511. *Stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru: Zkoušení pneumatik*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1983.

- [22] PREKOP, Štefan. *Gumárska technológia II*. Prvé. Trenčín: Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 2003. ISBN 80-88914-85-X.
- [23] *Stanovenie statickej bočnej tuhosti*. Matador. Púchov, 2007.
- [24] ČSN 63 1554. *Stanovení tlaku ve stopě pneumatiky na tuhé podložce*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1983.
- [25] *Pressure measuring film: FUJI PRESSCALE FILM* [online]. b.r. [cit. 2019-04-02].
- [26] EHK 117. *Jednotná ustanovení pro schvalování pneumatik z hlediska emisí hluku valení a/nebo adheze na vlhkém povrchu a nebo valivého odporu*. Revize 4. Ženeva, 2016.
- [27] ČSN 63 1536. *Zkouška pneumatik pro osobní automobily na bubnovém zkušebním stroji při konstantním zatížení a stupňovitém zvyšování rychlosti*. Praha: Vydavatelství norem, 1989.

Seznam příloh

Příloha A – <i>Indexy nosností pneumatik</i>	69
Příloha B – <i>Indexy rychlostí pneumatik</i>	70
Příloha C – <i>Radiální zatížení pro statický adhezor</i>	71
Příloha D – <i>Radiální zatížení pro dynamický adhezor</i>	73
Příloha E – <i>Stupně rychlosti</i>	75

Příloha A – Indexy nosností pneumatik

Tab. 1 A: Indexy nosností pneumatik (zdroj [28])

<i>Index nosnosti</i>	<i>Dovolená nosnost [kg]</i>	<i>Index nosnosti</i>	<i>Dovolená nosnost [kg]</i>
50	190	86	530
51	195	87	545
52	200	88	560
53	206	89	580
54	212	90	600
55	218	91	615
56	224	92	630
57	230	93	650
58	236	94	670
59	243	95	690
60	250	96	710
61	257	97	730
62	265	98	750
63	272	99	775
64	280	100	800
65	290	101	825
66	300	102	850
67	307	103	875
68	315	104	900
69	325	105	925
70	335	106	950
71	345	107	975
72	355	108	1000
73	365	109	1030
74	375	110	1060
75	387	111	1090
76	400	112	1120
77	412	113	1150
78	425	114	1180
79	437	115	1215
80	450	116	1250
81	462	117	1285
82	475	118	1320
83	487	119	1360
84	500	120	1400
85	515		

Příloha B – Indexy rychlostí pneumatik

Tab. 1 B: Indexy rychlostí pneumatik (zdroj [28])

Index rychlosti	Dovolená rychlost [km/h]
A1	5
A2	10
A3	15
A4	20
A5	25
A6	30
A7	35
A8	40
B	50
C	60
D	65
E	70
F	80
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
O	150
P	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240
W	270
Y	300

Příloha C – Radiální zatížení pro statický adhezor

Tab. 1 C: Radiální zatížení pro statický adhezor (1/2)

<i>Index nosnosti</i>	<i>Dovolená nosnost [kg]</i>	<i>F₁₀₀ [kg]</i>	<i>F₇₅ [kg]</i>	<i>F₁₂₅ [kg]</i>
50	190	190,00	142,50	237,50
51	195	195,00	146,25	243,75
52	200	200,00	150,00	250,00
53	206	206,00	154,50	257,50
54	212	212,00	159,00	265,00
55	218	218,00	163,50	272,50
56	224	224,00	168,00	280,00
57	230	230,00	172,50	287,50
58	236	236,00	177,00	295,00
59	243	243,00	182,25	303,75
60	250	250,00	187,50	312,50
61	257	257,00	192,75	321,25
62	265	265,00	198,75	331,25
63	272	272,00	204,00	340,00
64	280	280,00	210,00	350,00
65	290	290,00	217,50	362,50
66	300	300,00	225,00	375,00
67	307	307,00	230,25	383,75
68	315	315,00	236,25	393,75
69	325	325,00	243,75	406,25
70	335	335,00	251,25	418,75
71	345	345,00	258,75	431,25
72	355	355,00	266,25	443,75
73	365	365,00	273,75	456,25
74	375	375,00	281,25	468,75
75	387	387,00	290,25	483,75
76	400	400,00	300,00	500,00
77	412	412,00	309,00	515,00
78	425	425,00	318,75	531,25
79	437	437,00	327,75	546,25
80	450	450,00	337,50	562,50
81	462	462,00	346,50	577,50
82	475	475,00	356,25	593,75
83	487	487,00	365,25	608,75
84	500	500,00	375,00	625,00
85	515	515,00	386,25	643,75

Tab. 1 C: Radiální zatížení pro statický adhezor (2/2)

<i>Index nosnosti</i>	<i>Dovolená nosnost [kg]</i>	<i>F₁₀₀ [kg]</i>	<i>F₇₅ [kg]</i>	<i>F₁₂₅ [kg]</i>
86	530	530,00	397,50	662,50
87	545	545,00	408,75	681,25
88	560	560,00	420,00	700,00
89	580	580,00	435,00	725,00
90	600	600,00	450,00	750,00
91	615	615,00	461,25	768,75
92	630	630,00	472,50	787,50
93	650	650,00	487,50	812,50
94	670	670,00	502,50	837,50
95	690	690,00	517,50	862,50
96	710	710,00	532,50	887,50
97	730	730,00	547,50	912,50
98	750	750,00	562,50	937,50
99	775	775,00	581,25	968,75
100	800	800,00	600,00	1000,00
101	825	825,00	618,75	1031,25
102	850	850,00	637,50	1062,50
103	875	875,00	656,25	1093,75
104	900	900,00	675,00	1125,00
105	925	925,00	693,75	1156,25
106	950	950,00	712,50	1187,50
107	975	975,00	731,25	1218,75
108	1000	1000,00	750,00	1250,00
109	1030	1030,00	772,50	1287,50
110	1060	1060,00	795,00	1325,00
111	1090	1090,00	817,50	1362,50
112	1120	1120,00	840,00	1400,00
113	1150	1150,00	862,50	1437,50
114	1180	1180,00	885,00	1475,00
115	1215	1215,00	911,25	1518,75
116	1250	1250,00	937,50	1562,50
117	1285	1285,00	963,75	1606,25
118	1320	1320,00	990,00	1650,00
119	1360	1360,00	1020,00	1700,00
120	1400	1400,00	1050,00	1750,00

Příloha D – Radiální zatížení pro dynamický adhezor

Tab. 1 D: Radiální zatížení pro dynamický adhezor (1/2)

Index nosnosti	Dovolená nosnost [kg]	F_{100} [kN]	F_{80} [kN]
50	190	1,86	1,49
51	195	1,91	1,53
52	200	1,96	1,57
53	206	2,02	1,62
54	212	2,08	1,66
55	218	2,14	1,71
56	224	2,20	1,76
57	230	2,26	1,81
58	236	2,32	1,85
59	243	2,38	1,91
60	250	2,45	1,96
61	257	2,52	2,02
62	265	2,60	2,08
63	272	2,67	2,13
64	280	2,75	2,20
65	290	2,84	2,28
66	300	2,94	2,35
67	307	3,01	2,41
68	315	3,09	2,47
69	325	3,19	2,55
70	335	3,29	2,63
71	345	3,38	2,71
72	355	3,48	2,79
73	365	3,58	2,86
74	375	3,68	2,94
75	387	3,80	3,04
76	400	3,92	3,14
77	412	4,04	3,23
78	425	4,17	3,34
79	437	4,29	3,43
80	450	4,41	3,53
81	462	4,53	3,63
82	475	4,66	3,73
83	487	4,78	3,82
84	500	4,91	3,92
85	515	5,05	4,04

Tab. 1 D: Radiální zatížení pro dynamický adhezor (2/2)

<i>Index nosnosti</i>	<i>Dovolená nosnost [kg]</i>	F_{100} [kN]	F_{80} [kN]
86	530	5,20	4,16
87	545	5,35	4,28
88	560	5,49	4,39
89	580	5,69	4,55
90	600	5,89	4,71
91	615	6,03	4,83
92	630	6,18	4,94

Příloha E – Stupně rychlosti

Tab. 1 E: Stupně rychlosti

Index rychlosti	Dovolená rychlost [km/h]	Stupně rychlosti [km/h]			
		1. Stupeň	2. Stupeň	3. Stupeň	4. Stupeň
B	50	10	20	30	40
C	60	20	30	40	50
D	65	25	35	45	55
E	70	30	40	50	60
F	80	40	50	60	70
G	90	50	60	70	80
J	100	60	70	80	90
K	110	70	80	90	100
L	120	80	90	100	110
M	130	90	100	110	120
N	140	100	110	120	130
O	150	110	120	130	140
P	160	120	130	140	150
R	170	130	140	150	160
S	180	140	150	160	170
T	190	150	160	170	180