

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

PAVEL COUFAL

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv použití pneumatiky s nižším indexem nosnosti u silničního vozidla

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel Coufal**
Osobní číslo: **D17237**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Téma práce: **Vliv použití pneumatiky s nižším indexem nosnosti u silničního vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Teoretický rozbor valení kola, konstrukce pneumatiky

1. Úvod, účel a historie pneumatiky.
2. Konstrukce, druhy, značení a normy pneumatik.
3. Síly působící na pneumatiku.
4. Možné druhy nejčastějších poškození v provozu.
5. Stanovení statické radiální tuhosti pro nominální a překračující povolené hodnoty tlaku.
6. Rozbor poškození pneumatiky.
7. Závěr.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího práce**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] ČSN 63 1502, ČSN 63 1511
- [2] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [3] KRMELA, Jan. *Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I: [System approach to computational modelling of tyres – I. part]*. Brno: Tribun EU, 2008. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-365-8.
- [4] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Jilek, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. února 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2021**

L.S.

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

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Vliv použití pneumatiky s nižším indexem nosnosti u silničního vozidla jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

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

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

V Pardubicích dne 18. 8. 2021

Pavel Coufal v.r

Poděkování

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi umožnili vypracovat tuto bakalářskou práci, a to jak za cenné rady, pomoc při měření, tak za odborné vedení a poskytnutí možnosti pracovat v laboratořích VVCD. Největší poděkování patří panu vedoucímu Ing. Petru Jílkovi, Ph.D. bez něhož by tato práce nemohla vzniknout. V neposlední řadě si cením také podpory mé rodiny, přátel a kolegů v práci, kteří mi umožnili studium na vysoké škole a byli mi oporou po dobu mého studia.

Anotace

Níže sepsaná bakalářská práce se zabývá vlivem použití pneumatiky s nižším indexem nosnosti u silničního vozidla a jejím měřením na statickém adhezoru. V úvodu práce je popsána stručná historie, konstrukce a síly působící na pneumatiky. Další část popisuje nejčastější druhy opotřebení a poškození pneumatik. Následuje samotný rozbor stavu zkoušené pneumatiky, která byla dlouhodobě provozována s vyšším zatížením, než na které byla konstruována. To mělo za následek její předčasné opotřebení. Měření na statickém adhezoru porovnáme, radiální tuhost opotřebené pneumatiky a pneumatiky vhodné pro typ provozovaného vozidla.

Klíčová slova

Pneumatika, opotřebení, poškození pneumatik, radiální tuhost, statický adhezor,

Title

Effect of use tire with lower load index for road vehicle

Annotation

This lower written thesis deals with the effect of use tires with a lower load index for road vehicles and experiments on a static adhesor test machine. In the introduction to my work, I describe the history, construction, and forces that act on tires. The next part describes the most typical of wear out and damage tires. The following is an analysis of the condition of the tested tire, which was a long time used above maximum load index and early wear out was the result. With help of the static adhesor we find out values of radial deformation at a specific pressure, which is described by the vehicle manufacturer.

Keywords

Tire, wear out, tire damage, radial toughness, static adhesor

Obsah

UNIVERZITA PARDUBICE.....	1
SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	11
ÚVOD.....	12
1. PNEUMATIKY.....	13
1.1. HISTORIE	13
1.2. DEFINICE PNEUMATIKY.....	16
1.3. ÚČEL.....	16
2. KONSTRUKCE PNEUMATIKY.....	18
2.1. DIAGONÁLNÍ PNEUMATIKA	18
2.2. RADIÁLNÍ PNEUMATIKA	18
2.3. SMÍŠENÁ PNEUMATIKA	19
2.4. STRUKTURA PNEUMATIKY	19
2.5. DRUHY PNEUMATIK	21
2.6. ZNAČENÍ PNEUMATIK.....	22
3. SÍLY PŮSOBÍCÍ NA PNEUMATIKU (KOLO).....	25
3.1. ODPORY	27
3.2. ÚČINKY SIL NA PNEUMATIKU	28
4. MOŽNÉ DRUHY NEJČASTĚJŠÍCH POŠKOZENÍ (PORUCHY) V PROVOZU.....	31
4.1. VNĚJŠÍ VLIVY.....	31
4.2. VNITŘNÍ VLIVY	32
4.3. PŘÍKLADY POŠKOZENÍ PNEUMATIK	33
5. STANOVENÍ RADIÁLNÍ TUHOSTI PNEUMATIK	35
5.1. METODIKA DLE NOREM.....	35
5.2. METODIKA MĚŘENÍ PRO ÚČELY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	36
5.3. PŘEDPOKLÁDANÉ HODNOTY	37
5.4. PRŮBĚH MĚŘENÍ.....	38
5.5. VÝSLEDKY SAMOTNÉHO MĚŘENÍ	40
6. ROZBOR POŠKOZENÍ PNEUMATIKY	42
6.1. VIZUÁLNÍ ROZBOR	42
6.2. HISTORIE PROVOZU PNEUMATIKY	42
7. ZÁVĚR.....	43
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
9. SEZNAM PŘÍLOH	47
PŘÍLOHA A	48
PŘÍLOHA B	54
PŘÍLOHA C	55

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1 - Kolo z Vrhniky (1)	13
Obrázek 2 - Michelin UPTIS (2)	13
Obrázek 3 - Patent 523,270 USA (5).....	15
Obrázek 4 - Typy plášťů podle kordové vrstvy (6).....	18
Obrázek 5 - Struktura pneu (20)	19
Obrázek 6 - RunFlat pneu Continental SSR (21)	20
Obrázek 7 - Vysvětlující zobrazení (22)	22
Obrázek 8 - Vlastní tvorba dle (10).....	22
Obrázek 9 - Vločka se symbolem hory (18).....	23
Obrázek 10 - Příklad označení pneumatiky (18).....	24
Obrázek 11 – Souřadný systém	25
Obrázek 12 - Síly v ZX směru, zdroj (11).....	25
Obrázek 13 - Síly v YZ směru, zdroj (11).....	26
Obrázek 14 - Deformace diagonální a) a radiální b) pneumatiky (11).....	27
Obrázek 15 - Valivý odpor (11)	28
Obrázek 16 - Radiální deformace charakteristika (11).....	29
Obrázek 17 - Torzní tuhost charakteristika (12).....	29
Obrázek 18 - Boční tuhost charakteristika (12).....	30
Obrázek 19 - Poškozená pneu č. 1 (19).....	33
Obrázek 20 - Poškozená pneu č. 2 (19).....	34
Obrázek 21 - Poškozená pneu č.3 (19).....	34
Obrázek 22 - Deformační charakteristiky z měření	40
Obrázek 23 - Fotografie pneumatiky Goodride Radial SP06 (19).....	42
Tabulka 1 - Výběr dat z Nehody v ČR (3)	14
Tabulka 2 - Příklady indexů únosnosti (10)	23
Tabulka 3 - Příklady rychlostních kategorií (10)	23

Úvod

Na pneumatiky jsou dnes kladeny velmi vysoké nároky například z hlediska bezpečnosti či ekologie. Pokud vybereme nevhodné pneumatiky na naše motorové vozidlo, byť se na první pohled může jevit, že rozměr je správný a jízdní vlastnosti subjektivně neutrpí, vystavujeme se možnému ohrožení a zkrácení životnosti pneumatiky.

Cílem této práce je vysvětlit základní pojmy, síly, možná poškození pneumatiky, ale hlavně provést vizuální rozbor a měření na nesprávně zvolené pneumatice a porovnat naměřené hodnoty s pneumatikou, která má identické rozměry s vhodně zvoleným indexem nosnosti pro dané vozidlo.

1. Pneumatiky

1.1.Historie

Myšlenka kola a jeho výhody v různých oblastech přepravy je velice stará a nejstarší kolo, které bylo do současnosti nalezeno a zachováno je cca 5.200 let staré dřevěné kolo, které pochází z archeologického naleziště Vrhniky několik desítek kilometrů od města Lublaň na Slovinsku. (1). Výhody použití kola jsou velice zjevné. Při předpokladu nízkého odporu valení a vysokého smykového tření je přeprava a pohyb kol velice efektivní.



Obrázek 1 - Kolo z Vrhniky (1)

Již desítky let je možné zaznamenat, v odborném tisku a médiích, zajímavou inovativní myšlenku, která si klade za cíl nahradit současnou vzduchem plněnou pneumatiku. Tyto zprávy se objevují stále, ovšem tato kola zůstávají jen ve fázích prototypů bez hromadné výroby pro běžné osobní automobily. Například současný koncept spolupráce automobilky GM a výrobce pneumatik Michelin kolo nazvané Michelin UPTIS. (2)



Obrázek 2 - Michelin UPTIS (2)

Na obrázku výše lze vidět, že na rozdíl od konvenční pneumatiky zde zcela chybí tzv. bočnice a dezén je podpírán soustavou paprsků proměnného průřezu. Nepopíratelná výhoda je nemožnost běžného defektu propíchnutí dezénu ostrým předmětem, kdy např. hřebík, vruty, nebo jiné menší předměty nemohou způsobit prudkou změnu jízdních vlastností s možným následkem nehody, jako u vzduchem plněné pneumatiky, které ročně způsobí několik desítek nehod v ČR. Byť většina z nich není s žádným zraněním nebo jen lehkým.

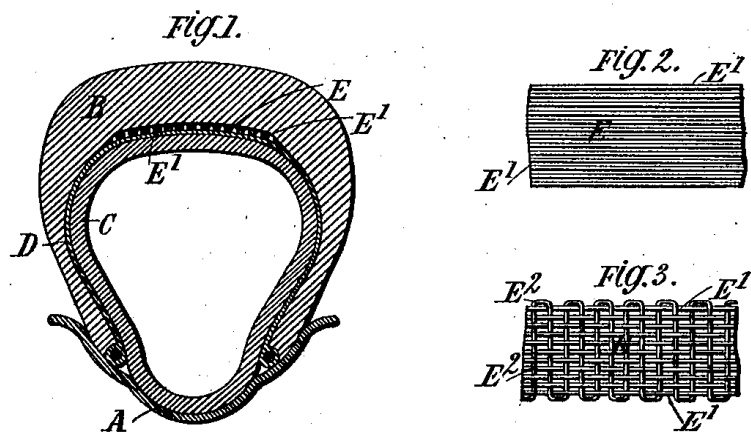
Zároveň je však zřejmé, že mezi paprsky kola se dostávají nečistoty, a hlavně větší kamínky, které mohou nepříznivě ovlivnit jízdní vlastnosti kola hlavně ve vyšších rychlostech (např. vibrace, hluk atd.). Momentálně je tak ještě minimálně několik let klasická koncepce pneumatiky nenahraditelná, především pro svojí příznivě jízdní vlastnosti a cenu.

Tabulka 1 - Výběr dat z Nehody v ČR (3)

Data z webu Dopravní nehody ČR

Období	Celkový počet nehod	Nehody z hl. příčiny opotřebení běhounu pláště pod stanovenou mez	Nehody z hl. příčiny defekt pneumatiky způsobený průrazem nebo náhlým únikem vzduchu
2017	104339	5	67
2018	105215	7	79
2019	108084	11	70
2020	95117	4	39

Koncept vzduchem plněného kola tak, jak ho známe dnes je starý cca 176let. Jeden z prvních vynálezců, který tuto myšlenku rozvinul a nechal si ji patentovat, byl Robert William Thomson (4). Nicméně v té době nebylo pro takové kolo masové využití. Až koncept patentu Johna Boyda Dunlopa byl využit k sériové výrobě v masovém měřítku a v podstatě s jistými odlišnosti až do dnes. Na obrázku číslo tři lze z patentu jasně rozpoznat plášť **B** s činnou částí dezénu, vyztužení patek, předchůdce kostry **D**, řešení nárazníku **E** a vzduchem plněnou duši **C** (5)



Obrázek 3 - Patent 523,270 USA (5)

Tuto myšlenku postupně rozvíjeli i ostatní, např. bratři Michelinové a Charles Goodyear, jejichž jména se nesou na jejich výrobcích dodnes.

Současný vývoj pneumatik pak dále směřuje k lepšímu využití materiálů a snaze o co nejlepší vlastnosti. Zejména ke snaze o snížení spotřeby a uhlíkové stopy, při co nejmenších výrobních nákladech a zátěži pro životní prostředí při výrobě. Také zde nelze opomenout současný vývoj elektromobility a s tím souvisejících zvýšených nárocích na dynamické zatížení pneumatik při působení brzdných a hnacích momentů, které jsou způsobeny charakteristickým průběhem výkonu elektromotorů v elektrovozidlech. Další hlediskem mohou být zvýšené nároky na hlučnost pneumatik, kdy elektro vozy zdaleka negenerují tak vysoké množství hluků v porovnání s konvenčním spalováním. Dalo by se shrnout, že vývoj pneumatiky byl a je vždy součástí vývoje silničního vozidla.

1.2. Definice pneumatiky

Základní myšlenkou kola je rotační válec, u něhož spojíme jeho konce dohromady, a vznikne geometrický útvar zvaný toroid. Pneumatika je tak, velice zjednodušeně, vlastně uzavřená prstencová toroidní nádoba na vzduch, nasazená na disk kola. Je tvořena převážně z kaučuku, oceli, kevlarových či jiných syntetických vláken.

Dále ji můžeme definovat z různých hledisek např.:

- **Materiálového**
 - Kompozit
- **Geometrie**
 - Toroid
- **Popisu vlastností**
 - Ortotropní
- **Pružnost a pevnost**
 - Tlaková nádoba
- **Silového působení**
 - Rozhraní automobil – vozovka (6)

1.2.1. Definice podle normy ČSN 63 1001

1.2.1.1. Pneumatika

Plášť, popř. s duší, vložkou, nebo s bezdušovým ventilkem namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem. (7)

1.2.1.2. Plášť pneumatiky

Pružná vnější část pneumatiky, která zajišťuje styk s vozovkou a která svou patkovou částí dosedá na ráfek. (7)

1.3. Účel

Pneumatika spolu s kolem je velmi důležitou součástí vozidla, na kterou jsou kladeny zcela po právu velmi vysoké nároky na přenos sil (tíha vozidla, tíha nákladu, boční síly) a také momentů hnacích a brzdných. Dále je také nedílnou součástí celkového odpružení vozidla, které ovlivňuje bezpečnost a také pohodlí za jízdy. Vždyť kontakt, který dvoustopé vozidlo udržuje s vozovkou a kde se veškeré síly soustředí, nemusí být, u některých typů osobních vozidel, větší

než 4 lidské dlaně (např. u menšího nesportovního silničního vozidla např. Renault Clio, Škoda Fabia atd.). Přenos těchto sil je silně závislý nejen na konstrukci a kvalitě tohoto prvku, ale neposlední řadě i jeho opotřebení dezénu a stáří. Tyto faktory jsou dodnes mnohými řidiči podceňovány, jak jsem se za svoji praxi nesčetněkrát setkal.

Požadavky na dnešní pneumatiky tedy vychází z funkcí, na které jsou konstruovány:

1. Hlavní požadavky

- a. Nízká hmotnost
- b. Vysoká pevnost
- c. Statická a dynamická vyváženost

2. Funkční požadavky

- a. Na parametry pneumatik, které ovlivňují dynamické chování vozidla

3. Provozní požadavky

- a. Vhodné deformační charakteristiky
- b. Dobré tlumení nerovností vozovky
- c. Nízký valivý odpor
- d. Nízká hlučnost
- e. Dobrá odolnost proti opotřebení
- f. Nahuštění na předepsaný tlak
- g. Dobrá hloubka drážek běhounu a jiné specifické požadavky

4. Požadavky na životnost

- a. Vysoká životnost

5. Požadavky po ukončení životnosti

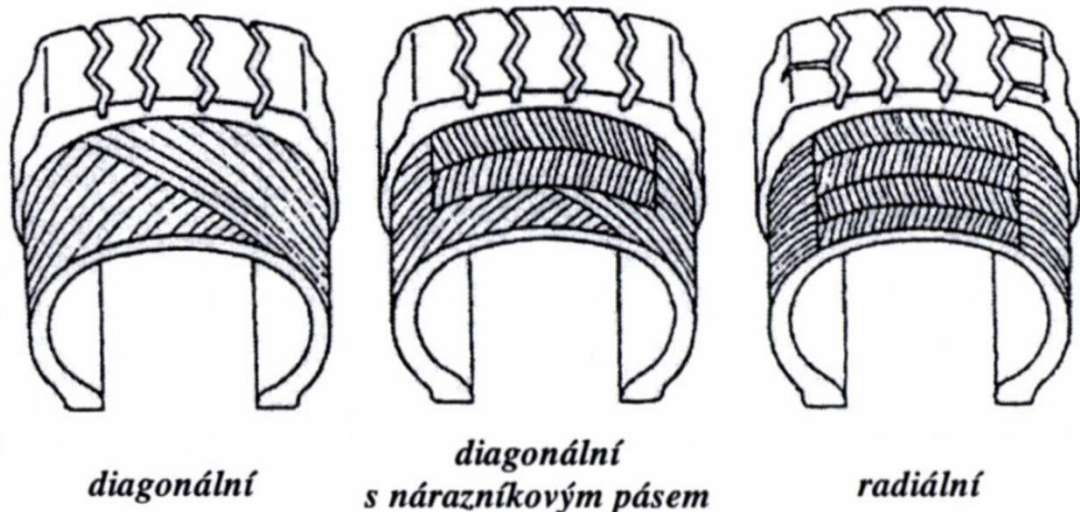
- a. Schopnost recyklace
- b. Schopnost obnovení (protektorování)

6. Ekonomické a jiné požadavky

- a. Nízká cena
- b. Jiné požadavky (6)

2. Konstrukce pneumatiky

Dnešní moderní pneumatika se skládá z většího množství součástí, které musí splňovat výše uvedené požadavky. Základní konstrukční provedení jsou tři a to: diagonální, radiální a diagonální s nárazníkovým pásem neboli smíšená konstrukce. Tyto provedení se liší provedením kordových vložek, které tvoří kostru pneumatiky.



Obrázek 4 - Typy pláštů podle kordové vrstvy (6)

2.1. Diagonální pneumatika

Diagonální pneumatika má páry kordových vložek tvořeny pod úhlem cca 30 až 40 stupňů k podélné rovině symetrie běhounu pneumatiky. Tyto vrstvy, ležící na sobě v protilehlých úhlech, tvoří kostru a při namáhání přenášejí obvodové a příčné síly přímo do patky pláště za vzniku tepla jako energetických ztrát. Nejčastěji tyto pneumatiky najdeme v užitkových vozidlech, protože snesou vyšší zatížení. (6)

2.2. Radiální pneumatika

Radiální pneumatika má kordová vlákna konstruována pod úhlem 90 stupňů vzhledem k rovině symetrie běhounu. Výborně přenáší boční a radiální síly v tažené části. S obvodovými silami je to významně horší, a proto je kostra pneumatiky posílena o neroztažitelný pás tzv. nárazníkem, který přenáší síly po celém obvodu ráfku. Tento nárazník je tvořen vložkami s vlákny kříženými pod úhlem 15 až 25 stupňů. Bočnice pneumatiky jsou měkčí a obvodový pás je v bočním směru ohybově relativně tuhý. Vývin tepla je způsoben hlavně podélným ohybem kordových vláken a pryže s nimi spojené v obvodovém pásu, je valivý odpor u radiální pneumatik nižší než u diagonálních. (6)

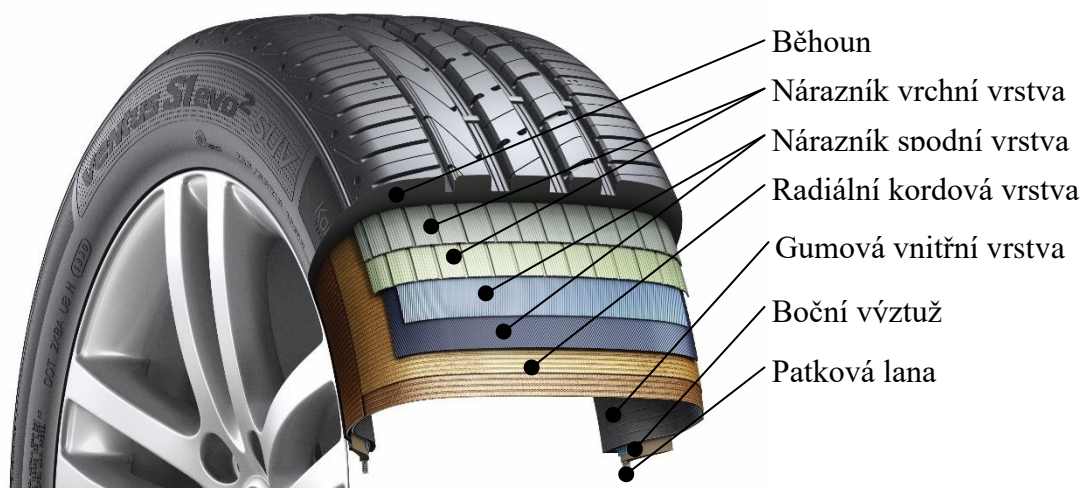
2.3. Smíšená pneumatika

Jedná se o spojení diagonální a radiální konstrukce kdy hlavní kostra je tvořena radiálně (vlákna s větším úhlem jak 60 stupňů) a zpevňující pás tvoří diagonální kostra obvykle kolem 25 a méně stupňů. (6)

2.4. Struktura pneumatiky

Vzhledem k tomu, že práce je zaměřená více na radiální pneumatiky, budu zde popisovat jenom tento typ pneumatiky, která je převážně zastoupena v osobních silničních vozidlech. Také to bude pneumatika bezdušová.

Základní prvky struktury pláště, které najdeme na pneumatice



Obrázek 5 - Struktura pneu (20)

2.4.1. Běhoun

První vrstva pryže, která je vidět část, která je v kontaktu s vozovkou a se nazývá dezén. Ta je opatřena různými drážkami a strukturami pro zlepšení adheze, odvodu vody a nečistot, a také indikátory opotřebení. Další jeho funkcí je také odvod tepla, která je ovlivněná jeho tloušťkou. Z toho důvodu by měl být co nejtenčí, ale zároveň musí být dostatečně silný kvůli drážkám, které jsou neméně důležité z výše uvedených důvodů. Skládá se zpravidla z kaučuku, a to buď syntetického nebo přírodního s hlavní přísadou sazemi, které kromě černé barvy také příznivě ovlivňují odolnost proti odírání a životnost.

2.4.2. Nárazník

Nárazník se zde skládá z více vrstev a tvoří vrstvu mezi běhounem a hl. kostrou pláště, tzv. kordové radiální vrstvě. Je důležitý pro vysokou odolnost proti průrazu a také jeho spodní vrstva

stabilizuje běhoun v obvodovém směru. Jako materiál se využívá převážně ocel, která je odolnější a lépe omezuje nežádoucí pohyb jednotlivých vrstev.

2.4.3. Kordová vrstva

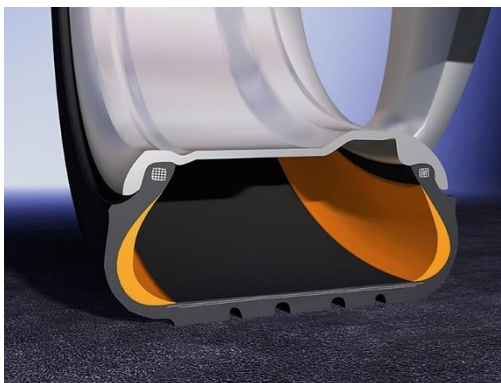
Základní a nejdůležitější vrstva pláště, která určuje stěžejní vlastnosti pneumatiky. Kordové pruty radiální pneumatiky jsou kladeny v úhlu 90 stupňů vůči ose směru běhounu. Mohou být z textilních kordů a ocelového nárazníku nebo tzv. ALL STEEL, kde ocel je využita na většině vláken.

2.4.4. Bočnice

Bočnice s boční výztuží tvoří ochranu proti mechanickým poškozením a klimatickými podmínkami v provozu.

2.4.4.1. RunFlat

Vyztužené bočnice RunFlat byly poprvé s spojovány automobilkou BMW, kde tyto druhy pneumatik dovolují i nouzový dojezd po ztrátě tlaku v pneu, a to bez použití náhradní pneumatiky. To je umožněno výrazným vyztužením a zesílením bočnic pneumatiky další nutná podmínka je vybavení silniční vozidlo systémem TPMS (monitorování tlaku v pneu) a systémem ESC (elektronická stabilizace) z důvodů bezpečnosti.



Obrázek 6 - RunFlat pneu Continental SSR (21)

2.4.5. Gumová vnitřní vrstva

U bezdušové pneumatiky kromě krycí vrstvy má ještě funkci duše a je zároveň spolu s plochou ráfku těsnící prvek zabraňující úniku vzduchu (médiu) z pneumatiky.

2.4.6. Patka

Patka pneumatiky s patkovými lany tvoří zesílenou část, která dosedá na ráfek pneumatiky. Jedná se o velmi tuhou část pláště ukotvenou na ráfek kola. Lana jsou převážně z kvalitního ocelového drátu, které jsou chráněná pogumováním. (8)

2.5.Druhy pneumatik

2.5.1. Rozdělení

2.5.1.1. Podle použití

- a) Pro motocykly
- b) Pro osobní automobily
- c) Pro autobusy
- d) Pro přípojná vozidla
- e) Pro traktory
- f) Pro pracovní stroje
- g) Pro speciální vozidla

2.5.1.2. Podle konstrukce a materiálu kostry

- h) Diagonální
- i) Radiální
- j) Semi radiální
- k) Speciální
 - i. Taktické*
 - ii. Široko profilové*
 - iii. Obloukové*
 - iv. Válcové*

2.5.1.3. Typ udržení tlaku v pneu

- l) S duší (Tube type)
- m) Bezdušové (Tubeless)

2.5.1.4. Materiál kostry

- n) S ocelovým výztužným páskem (steel)
- o) Ocelový pás i kostra (All steel)

2.5.1.5. Podle huštění

- p) Stále
- q) Proměnlivé

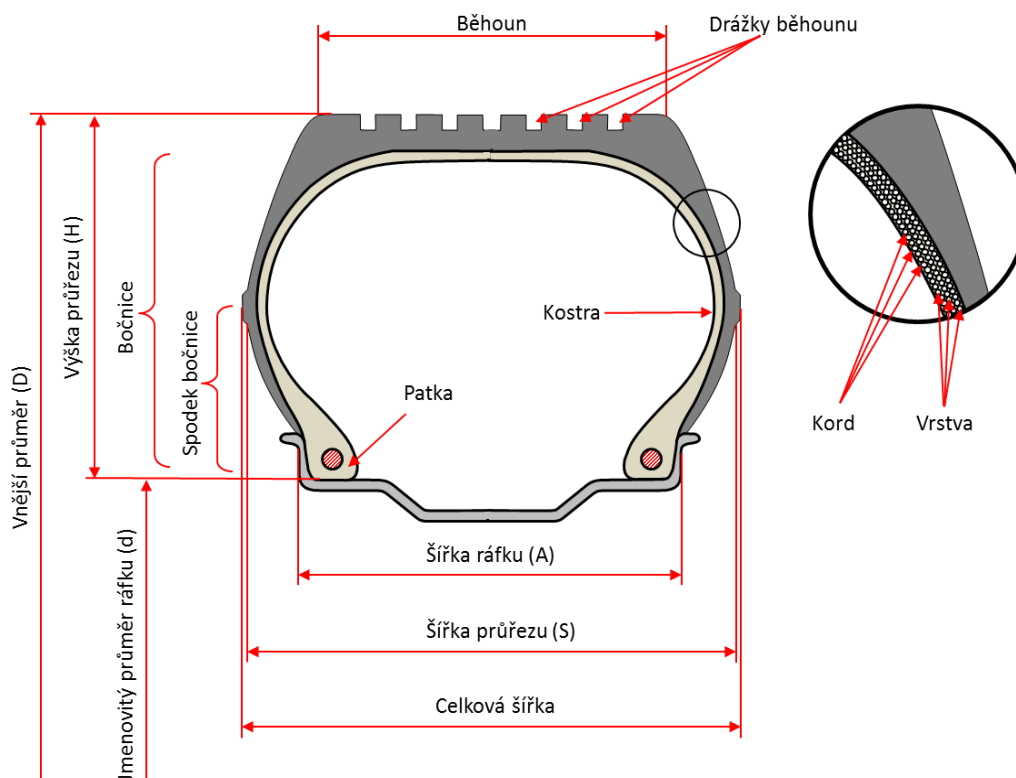
2.5.1.6. Podle vzorku dezénu

- r) Silniční
 - i. Letní*
 - ii. Zimní*
- s) Univerzální
- t) Terénní (9)

2.6.Značení pneumatik

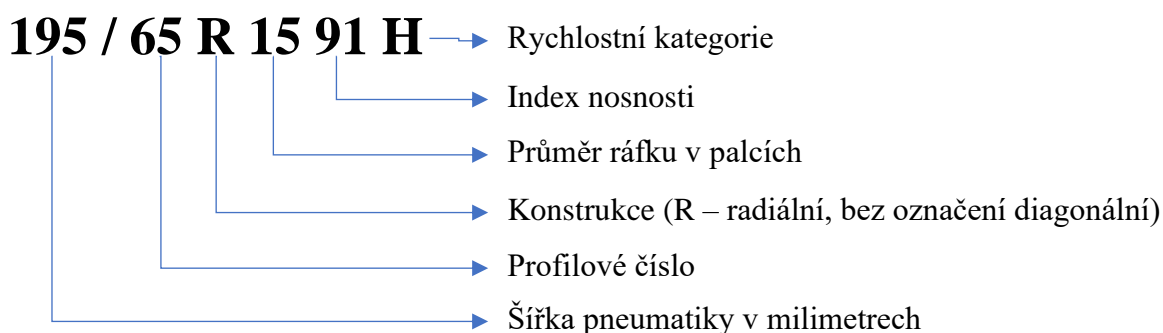
Značení pneumatik na evropském trhu tzn. včetně České republiky se řídí předpisem Evropské hospodářské komise: EHK/OSN č. 30 – Jednotná ustanovení pro schvalování pneumatik pro motorová vozidla a jejich přípojná vozidla. Rozsah tohoto předpisu upravuje většinu pneumatik pro vozidla kategorie M1, O1 a O2 mimo historická a soutěžní vozidla.

2.6.1. Základní parametry



Obrázek 7 - Vysvětlující zobrazení (22)

2.6.2. Uspořádání značení příklad podle EHK



Obrázek 8 - Vlastní tvorba dle (10)

2.6.2.1. Šířka pneumatiky

Je vzdálenost mezi vnějšími stranami patek pneumatiky.

2.6.2.2. Profilové číslo

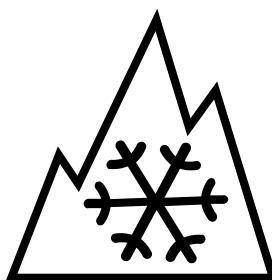
Je poměr mezi šířkou pneumatiky a její bočnicí udávaná v procentech.

2.6.2.3. Symbol typu konstrukce

Označuje typ konstrukce kordové vrstvy zpravidla R, jako radiální u diagonálních je označení vynecháno.

2.6.2.4. Další označení

Kromě těchto označení pneumatika obsahuje výrobní kód, který udává rok a týden výroby pneumatiky. Dále také označení bezdušové nebo typu z duší (**TUBELESS** nebo **TUBE TYPE**). Pak také značení homologace dané země **E** v kroužku s číslem, označení země výroby, informace o maximální míře hluku dle norem a pro jaké klimatické podmínky je pneumatika použitelná, kdy dnes je nutné v některých zemích Evropské unie nejen uvádět tzv. symbol **M+S** ale i označení jiné např. vločka se symbolem hory. (10)



Obrázek 9 - Vločka se symbolem hory (18)

2.6.2.5. Index únosnosti

Tabulka 2 - Příklady indexů únosnosti (10)

Index	Nosnost v kg	Index	Nosnost v kg	Index	Nosnost v kg
89	580	93	650	97	730
90	600	94	670	98	750
91	615	95	690	99	775
92	630	96	710	100	800

2.6.2.6. Rychlostní kategorie

Tabulka 3 - Příklady rychlostních kategorií (10)

Symbol	Max. rychlost	Symbol	Max. rychlost	Symbol	Max. rychlost
Q	160	T	190	V	240
R	170	U	200	W	270
S	180	H	210	Y	300

2.6.3. Reálný příklad označení pneumatiky

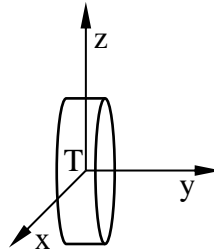


Obrázek 10 - Příklad označení pneumatiky (18)

Tato pneumatika značky Continental je šířky 195 mm při 65 % jejího bočního profilu. Je radiální a patří na ráfek o velikosti 15 palců s rychlostní indexem 210 km/h a únosností 615 kg. Dále pak byla vyrobena v 8 týdnu roku 2019, její homologace byla schválena v Nizozemsku pod číslem 0297596. Je bezdušová a do letních klimatických podmínek.

3. Síly působící na pneumatiku (Kolo)

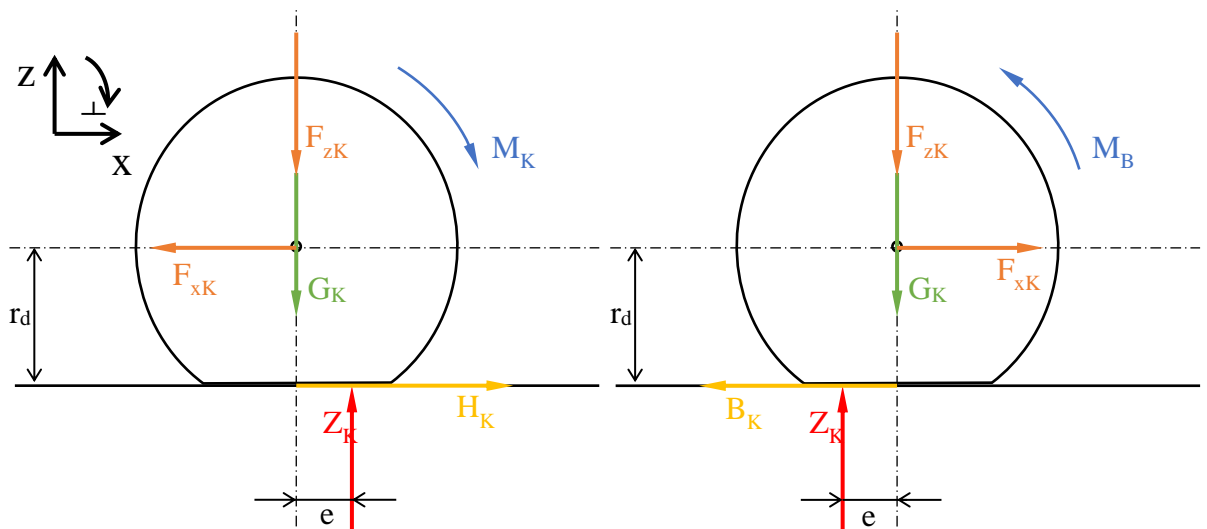
V první řadě je vhodné začít uvolněním kola a zavést souřadný systém. Jeho počáteční bod zavedeme do těžiště kola.



Obrázek 11 – Souřadný systém

Osa **X** směřuje ve směru přímého pohybu kola a zároveň je osou roviny symetrie. Osa **Y** je kolmá na osu rotace a poslední osa **Z** směřuje svisle neboli kolmo na směr rotace a zároveň kolmo na osu rotace. Takto můžeme snadněji vyšetřovat a přesněji rozdělit jednotlivé problémy, které na kolo, respektive na pneumatiku působí.

V rovně **XZ** pak na kolo působí převážně tyto síly, a to buď na kolo hnané nebo brzděné takto.



Obrázek 12 - Síly v ZX směru, zdroj (11)

$$\sum F_{iz} = 0; Z_K - F_{zK} - G_K = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0; H_K - F_{xK} = 0$$

$$\sum M_{iT} = 0; M_K - e \cdot Z_K - r_d \cdot H_K = 0$$

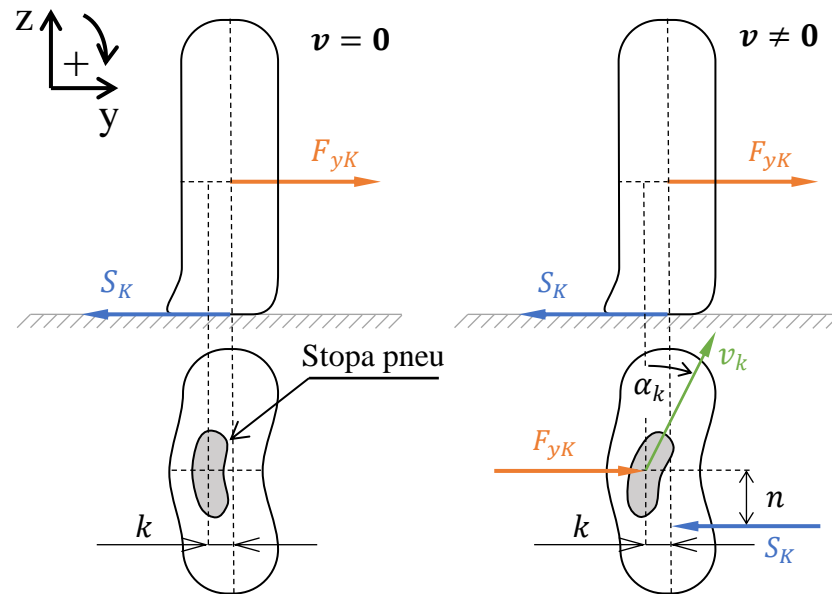
$$\sum F_{iz} = 0; Z_K - F_{zK} - G_K = 0$$

$$\sum F_{ix} = 0; F_{xK} - B_K = 0$$

$$\sum M_{iT} = 0; -M_B + e \cdot Z_K + r_d \cdot B_K = 0$$

Reakční síla Z_K je daná součtem sil tíhy kola a tíhy vozidla přenášené na kolo tohoto vozidla. Pak Hnacího momentu M_K nebo brzděného momentu M_B závislosti na nich bude působit reakce H_K nebo B_K , přičemž smysly těchto sil budou opačné a také e bude mít jiný směr a velikost.

V rovině **YZ** nám pak zbývá už jenom boční síly a reakce.



Obrázek 13 - Síly v YZ směru, zdroj (11)

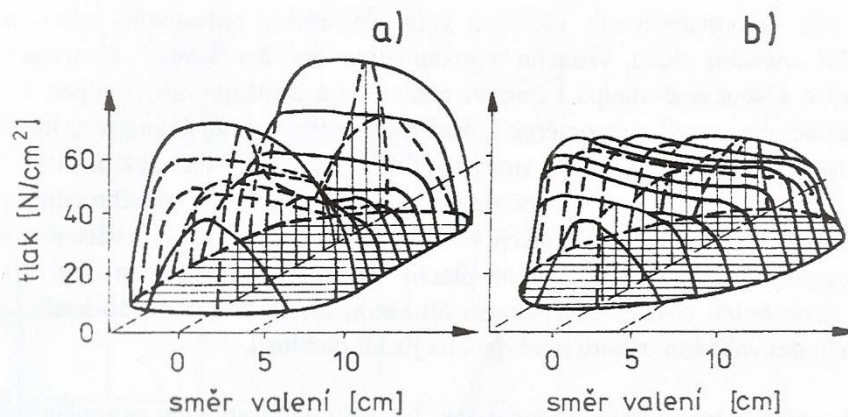
Při ideální přímé jízdě, bez vlivu jiných bočních sil např. Boční vítr, nepůsobí ani žádné reakce a stopa pneumatiky je na ose rotace. Pokud ale začne působit jakákoliv boční síla na kolo F_{yK} . Vznikne i reakce S_K tzv. boční reakce. Zároveň dojde ke vzniku pružné deformaci pneumatiky v jejím směru kolmém na osu rotace y a stopa pneumatiky se posune ve směru reakce S_K . Při rotaci kola se jednotlivé elementy, které jsou v kontaktu s vozovkou, vychýlí vůči zbývajícím elementům, začínajícím se dotýkat vozovky.

Pohyb pneumatiky zatížené bočními silami je tím pádem vychýlen o úhel α_k vůči vektoru rychlosti v_k , tento úhel nazýváme tzv. směrová odchylka. Při odvalování kola vznikají ve stopě elementární síly, které vzrůstají směrem k zadnímu konci stopy kola. Výslednice těchto sil nepůsobí tedy v ose otáčení kola, ale je posunutá o rameno n směrem proti pohybu kola. Vzniká tedy tzv. vratný moment kola $M_k = n \cdot S_K$. (11)

3.1.Odpory

3.1.1. Valivý odpor

Jedná se o odpor vzniklý deformací pneumatiky (předpokladem je, že vozovka má mnohonásobně větší tuhost než pneumatika). Tento odpor vzniká v ploše dotyku kola s vozovkou tzv. stopou. Přední část pneumatiky je stlačována, zatímco zadní se vrací do původního tvaru, a to způsobuje tepelné ztráty. Tyto hysterezní ztráty jsou způsobeny třením jednotlivých vrstev pneumatiky, a proto je zapotřebí pro stlačení pneumatik větších sil než pro její navrácení do původního tvaru.



Obrázek 14 - Deformace diagonální a) a radiální b) pneumatiky (11)

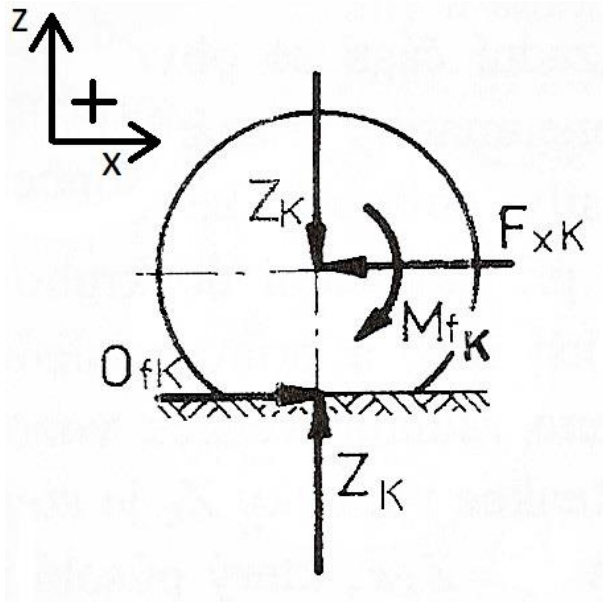
Radiální reakce je proto posunuta o rameno e a tak nám vzniká silová dvojice, neboli moment který působí proti pohybu kola. Zavedením momentu M_{fK} nám umožní posunutí reakce vozovky Z_K do středu otáčení a zároveň tento moment vyvolá vodorovnou reakci O_{jK} kterou nazýváme valivý odpor kola.

$$M_{fK} = Z_K \cdot e$$

$$F_{zK} = O_{fK}$$

$$O_{jK} = Z_K \cdot \frac{e}{r_d} = Z_K \cdot f_K$$

Součinitel f_K je závislý na povrchu na kterém se kolo odvaluje (asfalt, polní cesta, kamenná dlažba, mokro atd.). Statický poloměr je závislý na zatížení a tlaku vzduchu v pneumatice. Větší zatížení a nižší tlak způsobí menší statický a také dynamický poloměr a větší valivý odpor a nižší zatížení a vyšší tlak zase naopak menší valivý odpor. (11)



Obrázek 15 - Valivý odpor (11)

3.2. Účinky sil na pneumatiku

Účinky působících sil se projevují převážně jejich deformací, a to v radiálním, obvodovém (torzní) a axiálním (boční) směru.

3.2.1. Radiální tuhost

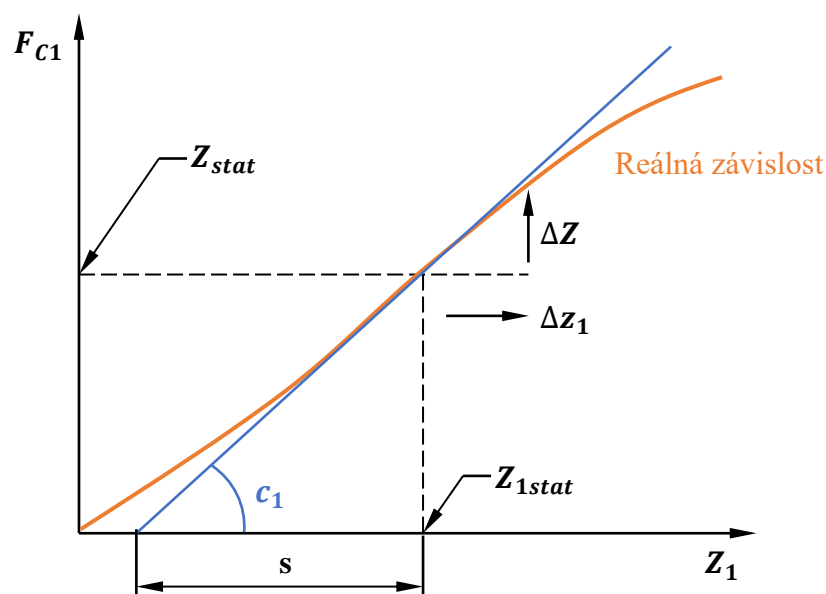
Přestože radiální tuhost pneumatiky není konstantní veličinou z důvodu nelineární závislosti mezi zatížením kola a jeho svislým stlačováním lze pro určitou úzkou oblast uvažovat konstantní hodnot c_1 .

$$c_1 = \left(\frac{\partial Z}{\partial z_1} \right)_{z_1 = z_{1stat}}$$

Kdy Z uvažujeme jako statické zatížení nápravy a z_1 stačení pneumatiky. To znamená, že Pružící síla se změní o hodnotu:

$$\Delta Z = c_1 * \Delta z_1$$

V případě dalších výpočtů pro účely diferenciálních rovnic kmitavého pohybu se využívá hodnoty tzv. subtangenty viz. obrázek.

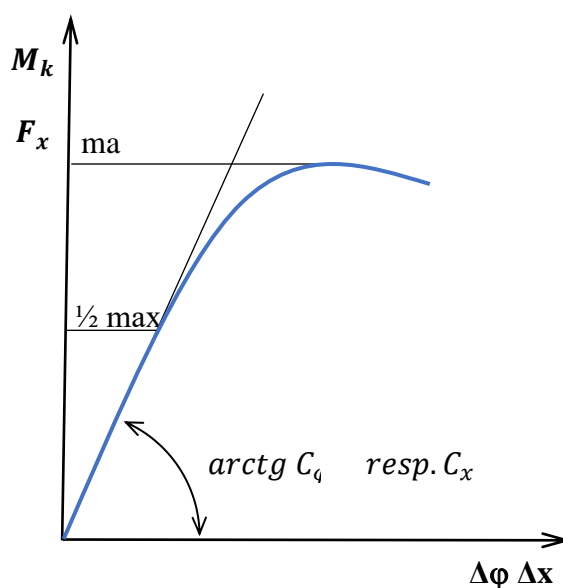


Obrázek 16 - Radiální deformace charakteristika (11)

Diagonální pneumatiky mají tento parametr zpravidla 15 až 28 mm a radiální 20 až 30 mm z toho plyne, že radiální pneumatiky mají ve svislém směru menší tuhost. (11)

3.2.2. Torzní tuhost

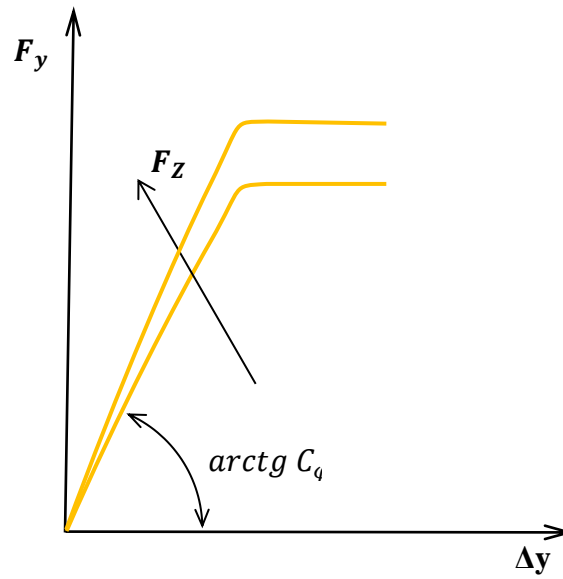
Působením momentu M_k na pneumatiku za předpokladu nepohyblivého uložení její osy vzniká deformace $\Delta\varphi$ tzv. torzní tuhost. (12)



Obrázek 17 - Torzní tuhost charakteristika (12)

3.2.3. Boční tuhost

Jedná se o deformaci pneumatiky Δy ve směru kolmém na osu rotace v závislosti na působení bočních sil F_y . Nutná podmínka je také působení radiální síly F_z (12)



Obrázek 18 - Boční tuhost charakteristika (12)

4. Možné druhy nejčastějších poškození (poruchy) v provozu.

4.1. Vnější vlivy

Vnější příčiny poškození, které nemají přímou souvislost s vozidlem při běžném používání. Vyznačují se nezávislostí, náhlostí, zpravidla s nízkou pravděpodobností vzniku a často dochází i k havarijnímu stavu (náhlé a úplné poruše).

4.1.1. Vyboulení pneumatiky

Toto vyboulení je způsobeno oddělením jednotlivých vrstev kordu a pryže jako následek vjetí pod ostrým úhlem proti překážce jako je obrubník. Takto poškozená pneumatika je neopravitelná a je nutné ji vyměnit z důvodů hrozícího defektu a náhlého úniku tlaku v pneumatice.

4.1.2. Proříznutí pneumatiky ostrým předmětem

Poškození zpravidla způsobeným najetím ostrého předmětu na vozovce, které způsobí bezprostřední roztrhání pneumatiky za rychlého úniku vzduchu. Většinou způsobuje rozsáhlé neopravitelné poškození, které je vystupňováno v závislosti na rychlosti vozidla a může tak dojít i k poškození disku kola.

4.1.3. Propíchnutí

Velmi časté poškození způsobené např. hřebíky, vruty a jinými předměty na vozovce, které se nemusí za jízdy nutně projevit. K úniku vzduchu dochází postupně menší netěsnostmi. Je opravitelné, pokud je propíchnuta v nárazníkové části běhounu, tzv. knotem nebo opravným hříbkem. S podmínkou nepoškození kordových vláken.

4.1.4. Poškození při montáži

Poškození zpravidla patky pneumatiky, která dosedá na disk kola způsobeným neodbornou montáží pneumatiky.

4.1.5. Nesprávná geometrie podvozku

Při špatné geometrii kola vůči vozovce (sbíhavost, odklony atd..) dochází zpravidla jednostrannému nadměrnému opotřebení dezénu.

4.1.6. Plošky od brzdění

Při prudkém brzdění a zablokování kol, kdy nedochází k odvalování, ale ke tření vůči vozovce. (Pokud vozidlo nemá antiblokovací systém brzd tak vnitřní vliv, v případě závady brzd.)

4.1.7. Pilové poškození pneumatiky

Poškození, které se projevuje specifickým opotřebením kontaktních ploch bloků dezénu, nejčastěji na nehnané nápravě. Pneumatika byla provozována v nevhodných provozních podmínkách způsobených nesprávnou geometrií, huštěním a jízdou.

4.1.8. Středové poškození dezénu

Nadměrné opotřebenění střední plochy na hnané ose vozidla s vysokým výkonem, při jízdách na delších vzdálenostech většinou u nízko profilových pneumatik. Při vysoké rychlosti se střední část dezénu více vydouvá než okraje. Předcházet se dá jedině rotací pneumatik, pokud je to možné.

4.2. Vnitřní vlivy

Vnitřní vlivy naopak jsou důsledkem nesprávného provozu vozidla. Jsou většinou závislé, postupné, částečné a degradační s tím, že poškození jimi způsobené lze často předejít nebo vyřešit ještě před dosažením havarijního či úplného stavu poruchy.

4.2.1. Nesprávný tlak v pneumatikách

4.2.1.1. Nízký tlak pneumatiky

Takto provozovaná pneumatika nemá ideální rozložení styčné plochy a tlaku dezénu vůči vozovce. Dochází k nadměrnému namáhání, opotřebenění okrajů běhounu, zhoršení jízdního komfortu a bezpečnosti jízdy z důvodů zhoršené adheze pneumatiky.

4.2.1.2. Vysoký tlak pneumatiky

Stejně zhoršení jízdních vlastností jako nízký tlak, ale nadměrné namáhání a opotřebenění probíhá ve střední části dezénu pneumatiky.

4.2.2. Prudké rozjíždění

Výrazné opotřebenění středové části velmi podobné jako vysoký tlak v pneumatice, ale z jiných příčin.

(8) (13)

4.3. Příklady poškození pneumatik

4.3.1. Poškozená pneumatika č. 1

Tento dezén nese kombinaci opotřebení na konci jeho životnosti, a hlavně středového opotřebení. Vozidlo, na kterém byla provozována bylo výkonné s náhonem na zadní část vozidla, kde byla i tato pneumatika. Středová část dezénu nese jasné známky vyššího namáhání oproti krajních pásech dezénu a opotřebení běhounu pláště je viditelně pod indikátor opotřebení.



Obrázek 19 - Poškozená pneu č. 1 (19)

4.3.2. Poškozená pneumatika č. 2

Tato pneumatika byla provozována při nižším tlaku (podhuštění), než je doporučen výrobcem a docházelo zde k výraznému opotřebení okrajových částí dezénu. Bloky na běhounu pláště už jsou na okrajích zcela opotřebené.



Obrázek 20 - Poškozená pneu č. 2 (19)

4.3.3. Poškozená pneumatika č.3

Poslední pneumatika je tzv. RunFlat. Jedná se o pneumatiky se zesílenými bočnicemi dovolující i nouzovou jízdu bez tlaku vzduch. K takové události zde došlo a delší jízda s takovými koly způsobila toto poškození. Viditelně zde došlo k poškození pláště mezi běhounem a bočnicí, až na kostru pneumatiky.



Obrázek 21 - Poškozená pneu č.3 (19)

5. Stanovení radiální tuhosti pneumatik

Jedná se statickou zkoušku v laboratoři, s jasně danými podmínkami, snadnou reprodukovatelností a možností opakování.

5.1. Metodika dle norem

5.1.1. Radiální tuhost a statický poloměr

Stanovení radiální tuhosti se věnuje norma ČSN 63 1511 a „podstata této metody spočívá v měření deformace nahuštěné pneumatiky v závislosti na velikosti radiálního zatížení pneumatiky“ (14)

Pneumatika se zkušebním ráfkem by měla být upevněna na hřídeli nosné části měřicího zařízení, které musí obsahovat také podložku rovnoběžnou s osou rotace kola. Měřicí přístroje pro měření radiální síly působící na kolo musí mít toleranci přesnosti $\pm 2\%$, rychlost deformace pneumatiky musí být od 0,8 do 2,5 mm · s⁻¹ a deformace má být měřena přístrojem s dělením 1 mm a přesností 0,5 mm. Dále tlakoměr pro test by měl být třídy přesnosti 1.0.

Po změření volného obvodu pneumatiky se přitlačí bez otáčení k opěrné podložce. Hodnoty deformace se zaznamenají od doteku pneumatiky do zatížení odpovídající 1,5krát hodnoty zatížení dovoleného pro danou pneumatiku na nejméně čtyřech různých průřezech rovnoměrně rozložených po obvodu pneumatiky. Tlak v pneumatice se při měření neupravuje. (14)

5.1.2. Příprava pneumatiky pro měření podle ČSN 63 1502

Před samotnou zkouškou by měla pneumatika být kondicionována v místnosti při teplotě mezi 5 až 30 °C, nejméně 120 h a následně 12 h před započítáním měření ve zkušební místnosti na teplotu 25 ± 5 °C. Dále má být provedena vizuální kontrola na poškození, které by mohly vést k ovlivnění zkoušky, následně stanovíme její hmotnost. Montáž na ráfek by měla být bez poškození pláště a všech jeho částí a poté musí dojít ke kontrole vzduchotěsnosti. K měření tlaku v pneumatice by mělo probíhat s časovým odstupem 12 min, 2 h, 12 h a za tuto dobu by neměl poklesnout tlak více 5 % a zároveň 0,2 bar. Je zde možnost kontroly těsnosti ponořením pneumatiky do nádoby s vodou, pro kontrolu úniku vzduchových bublin. (15)

5.1.2.1. Zázpis ze zkoušky by měl obsahovat následné položky:

- a) Obecnou charakteristiku pneumatiky
- b) Označení měřícího ráfku
- c) Charakteristiku zkušebního zařízení
- d) Výsledky zkoušek ve formě tabulek naměřených hodnot nebo grafu
- e) Hodnoty radiálního zatížení a deformace nutné pro výpočet statické radiální tuhosti pneumatiky a vypočtenou radiální tuhost
- f) Hodnotu volného obvodu pneumatiky
- g) Hodnoty nutné pro výpočet statického poloměru
- h) Číslo normy, podle které se testuje
- i) Datum zkoušky

(15)

5.1.3. Vyhodnocení měření

5.1.3.1. Radiální tuhost

Výpočet vychází z aritmetického průměru hodnot radiální deformace, které odpovídá 75,100 a 125% nejvyšší dovolené nosnosti podle vzorce:

$$c_r = \frac{9.81 \cdot (F_{r125} - F_{r75})}{s_{r125} - s_{r75}}$$

F_{r75} – radiální zatížení při 75 % max nosnosti.

F_{r125} – radiální zatížení při 125 % max nosnosti.

s_{r75} – aritmetický průměr hodnot radiálních deformací při zatížení 75 % max nosnosti

s_{r125} – aritmetický průměr hodnot radiálních deformací při zatížení 125 % max nosnosti (14)

5.1.3.2. Statický poloměr

$$r_s = \frac{l_o}{2\pi} - s_r [mm]$$

s_r – aritmetický průměr hodnot radiálních deformací nejvyšší dovolené nosnosti pneumatiky

l_o – volný obvod pneumatiky, mm (14)

5.2. Metodika měření pro účely bakalářské práce

Pro účely měření byl využit statický adhezor umístění na VVCD DFJP typ SA-1 s ručním hydraulickým válcem. Jako měřící podložky jsem použil měřící nájezdovou váhu DFWKR

s měřicími snímači WWSE6TM, tyto snímače musely být zapojeny a zkalibrovány všechny najednou, ale k samotnému měření zatížení byl využit jen jeden z nich. Měření tlaku v pneumatice probíhalo pomocí vzduchové pistole s manometrem o rozsahu 0 kPa až 1600 kPa s dělením po 10 kPa, dostupného v prostorách laboratoře. Měření bylo prováděno v laboratoři silničních vozidel při zaznamenání aktuální teploty a tlaku. Vzhledem k tomu, že měřená pneumatika byla dlouhodobě uskladněná ve stejné laboratoři, od temperování bylo upuštěno a také nebylo možné, vzhledem k možnostem a vybavenostem laboratoře, dodržet deformačních rychlostí při zkoušce.

Dále jsem využil možnosti porovnání hodnot opotřebené pneumatiky s pneumatikou zcela novou o stejných rozměrech, ale vyšší nosností, která by mohla být použita na provozovaném vozidle jako příklad vhodně zvolené pneumatiky pro dané vozidlo. A to pneumatiku Fortuna 195/65 R15 95 V M+S Celoroční.

Zkoušku jsem tedy rozšířil mimo normu také o část, kdy tlak nastavený v pneumatice je:

- a) nominální pro dané vozidlo, na kterém bylo provozováno
- b) překračující hodnoty tlaku

Postup pro samotnou zkoušku je mimo výše uvedené zcela shodný, jak je uvedeno v normě ČSN 63 1511, včetně vyhodnocení zkoušky, přičemž hodnoty jsem vizuálně odečítal a zaznamenával do předem připravené tabulky v programu MS Excel, které byly následně vyneseny ve formě grafu pro lepší a jednodušší vyhodnocení zkoušky.

5.3. Předpokládané hodnoty

Předpokládaná hodnoty, které vychází z daného měření, by nám měly ukázat rozdíly v tuhosti pneumatiky, včetně jeho průběhu, podle jejich tlaku. Výsledkem zkoušky by tedy měly být celkem tři závislosti a statické poloměry pro rozdílné tlaky v pneumatice. S předpokladem, kdy pro nominální tlak by měla vycházet tuhost nižší a pro maximální a překročený tlak vyšší tuhost, kde i závislosti grafů by měly vykazovat strmější charakteristiku při vyšších tlacích pneumatik.

Rozsah působící síly se bude pohybovat podle normy v závislosti na indexu nosnosti od 0 do 9050 N, které odpovídá 1,5násobku dovolené nosnosti pneumatiky a deformace by neměla být o moc vyšší, jak dvojnásobek subtangenty pro radiální pneumatiku cca 60 mm, která odpovídá zhruba něco pod polovinou šířky bočnice pneumatiky.

5.4.Průběh měření

Měření probíhalo dne 30. dubna 2021 a 1. května 2021. Další podrobnosti viz. protokol z měření. Samotné měření v důsledku konstrukce a vlastností statického adhezoru vyžaduje velmi zručnou obsluhu. Důvodem je to, že prvotní zatížení na podložku jde na vrub jen samotné hmotnosti pneumatiky, disku, a hlavně ramene samotného adhezoru, a jako celek má cca 275 kg. Toto rameno nelze bohužel jednoduše a samostatně, např. dalším ventilem, zajistit, vše se tak ovládá jedním třicestným ventilem. To má za důsledek komplikace pro nastavení tzv. nulové polohy, která probíhala za pomoci listu papíru a pak při samotném dávkování zatížení do cca 300 kg. Kdy samotný třicestný ventil není schopen přesně dávkovat tlak v hydraulice adhezoru. To mělo za následek, že hodnoty do cca 300 kg zatížení vykazují poměrně velkou míru rozptylu a tím pádem i nejistot, které lze vidět i v protokolu z měření. Hodnoty důležité pro výpočty statické radiální tuhosti nicméně vykazují přijatelnou míru nejistot a lze je tak využít k porovnání. Pokud by ale mělo být měření průkazné a v rámci norem použitelné pro úřední účely a další výpočty, je nutné do budoucna adhezor dovybavit a upravit. To může být předmětem další např. navazující diplomové práce.

Pro co nejlepší využití výsledků z měření jsem využil statistických funkcí programu MS EXCEL, a to konkrétně spojnicí trendu druhého polynomu kdy jeho hodnoty spolehlivosti R dosahují 0,999. (16)

5.4.1. Nepřesnosti měření.

Každé měření má určitou přesnost, resp. chybovost. K nejlepšímu odhadu jeho přesnosti slouží tzv. nejistoty. Tyto nejistoty jsou nejen závislé na měřící technice, ale také na uspořádání měření a na náhodných jevech.

5.4.1.1. Nejistoty typu A

Jsou nejistoty založené čistě na statistickém vyhodnocení měření za stejných podmínek při jeho opakování. Počet opakování je důležitým faktorem ovlivňující důvěru ve výsledek, a pokud je počet opakování malý je nutné rozšířit o korigovanou nejistotu.

Aritmetický průměr jako nejlepší odhad správné hodnoty

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Nejistota A určená jako směrodatná odchylka

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Korigovaná nejistota A se vypočítá jako rozšířená nejistota o koeficient k , který určíme jako poloviční korekční koeficient ze Studentovo t-rozdělení pravděpodobnosti. Stupeň volnosti určíme podle vzorce:

$$v = n - 1$$

Kdy n je počet měření. A pro účely této práce vychází hodnota pro počet měření koeficient 1,7. (17)

5.4.1.2. Nejistota typu B

Tato nejistota je založená na znalostech experimentu, měřících přístrojích a informací z kalibračních certifikátů, katalogových listů atd... Pokud je nejistota známa z těchto dat, můžeme jí použít k výpočtu anebo v případě uvedení přesnosti odhadnout podle:

$$u = \frac{\Delta}{k}$$

Pro účely práce jsem stanovil koeficient pro normální rozdělení $k = 2$ který odpovídá pokrytí 95 %. (17)

5.4.1.3. Nejistota typu C

Jedná se o kombinovanou nejistotu **A** a **B** podle vzorce:

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

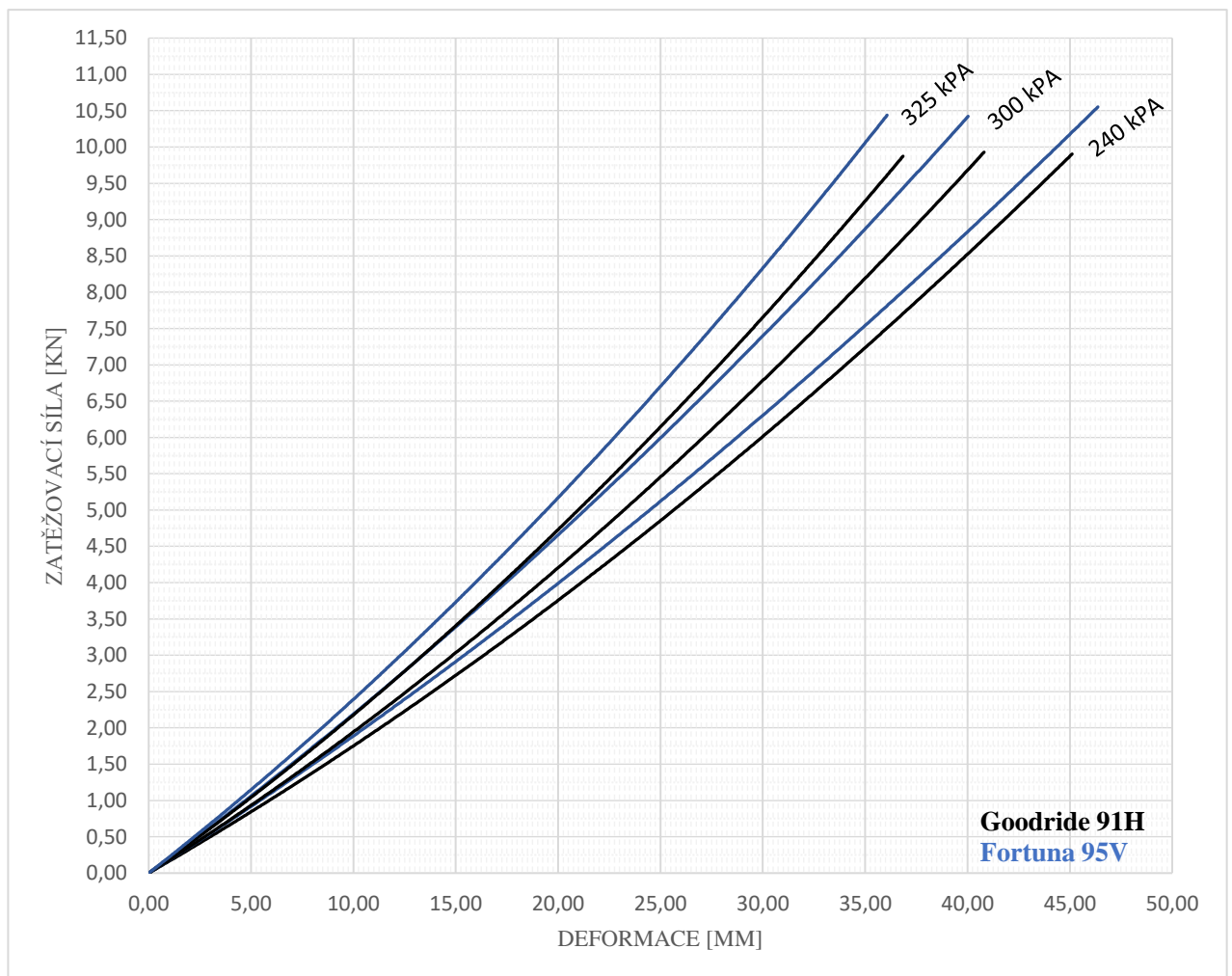
5.5. Výsledky samotného měření

Výsledky měření vesměs potvrdily, předpokládaný rozdíl mezi novou a starou pneumatikou s tím, že rozdíl v tuhostech byl největší při maximální nahuštění pneumatiky a nejmenší při provozním nahuštění při hodnotě tlaku pro minimální zatížení vozidla.

Dále jsem byl na základě dat schopný vytvořit deformační charakteristiky, hodnoty radiálních tuhostí a statického poloměru pro jednotlivé tlaky v pneumatikách.

5.5.1. Deformační charakteristika pro jednotlivé tlaky

Černá křivka ukazuje deformaci opotřebované pneumatiky s nižším indexem nosnosti a modrá novou pneumatiku se správným indexem hmotnosti pro dané vozidlo. Z grafu je zřejmé, že nová pneumatika má jasně větší tuhost převážně v oblastech vysokého zatížení, při kterém byla pneumatika provozována. Dále je zajímavé, že nová pneumatika při 300 kPa má ve střední části grafu velmi shodnou charakteristiku jako stará pneumatika při tlaku 325 kPa.



Obrázek 22 - Deformační charakteristiky z měření

5.5.2. Radiální tuhost

5.5.2.1. Radiální tuhosti pro pneumatiku Goodride

$$C_r = 236,27 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 240 kPa}$$

$$C_r = 263,14 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 300 kPa}$$

$$C_r = 290,49 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 325 kPa}$$

5.5.2.2. Radiální tuhosti pro pneumatiku Fortuna

$$C_r = 239,93 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 240 kPa}$$

$$C_r = 274,79 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 300 kPa}$$

$$C_r = 310,28 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \text{ pro tlak 325 kPa}$$

5.5.3. Statický poloměr

5.5.3.1. poloměr pneumatiky GOODRIDE

$$r_s = 276,95 \text{ mm pro tlak 240 kPa}$$

$$r_s = 279,76 \text{ mm pro tlak 300 kPa}$$

$$r_s = 282,29 \text{ mm pro tlak 325 kPa}$$

5.5.3.2. poloměr pneumatiky Fortuna

$$r_s = 284,98 \text{ mm pro tlak 240 kPa}$$

$$r_s = 289,10 \text{ mm pro tlak 300 kPa}$$

$$r_s = 291,75 \text{ mm pro tlak 325 kPa}$$

5.5.4. Hodnoty nejistot z měření.

Jak jde vidět, u měření dochází nejistotám. Kromě běžných nejistot způsobených přesností měřicí techniky, také dochází k vlivu obsluhy měření z důvodů problematické konstrukce adhezoru jak je vysvětleno výše v práci, dále viz. protokol z měření. Nicméně výsledky jsou zde použity hlavně na porovnání dvou pneumatik a veškeré vlivy, které ovlivňují měření tak působí stejně na obě měřené pneumatiky.

6. Rozbor poškození pneumatiky

GOODRIDE RADIAL SP06 195/65 R15 91 H

6.1. Vizuální rozbor

První vizuální pohled na použitou pneumatiku Goodride odhalil výrazné a rovnoměrné opotřebení okrajů dezénu, až na hranici prohlubní příčných drážek oproti její střední části. Hloubka dezénu ve střední částech pneumatiky se pohybuje od 3.66 mm až do 4.35 mm viz. protokol z měření. Další průzkum neodhalil žádné poškození pláště, bočnic nebo patek pneumatiky. Pneumatika je podle označení vyrobena v prvním týdnu roku 2015 a určena pro maximálního zatížení 615 kg při maximální tlaku 300 kPa za studena. Homologovaná je pro evropský trh a určena do zimního i letního období tzv. celoroční pláště.

Jinak pneumatika neměla žádné poškození, které by znemožňovalo bezpečné a bezproblémové měření na statickém adhezoru.



Obrázek 23 - Fotografie pneumatiky Goodride Radial SP06 (19)

6.2. Historie provozu pneumatiky

Podle historie byla pneumatika provozována na vozidle Seat Alhambra. Vozidlo sloužilo převážně k převozu dělníků a náradí s denním nájezdem kolem 200 km z větší části absolvované po dálnicích a rychlostních komunikacích. Lze předpokládat, že vozidlo bylo plně vytíženo, a to pravděpodobně i nad rámec maximálního zatížení stanoveného výrobcem vozidla. Pneumatiky proto byly zatěžované nad maximální dovolené zatížení pneu, přičemž i výrobce vozidla stanovuje vyšší index zatížení. Provozovatel po počátečním příznacích opotřebení pneumatiky zvolil vyšší tlak pneumatik a to 300 kPa. Vozidlo na těchto pneumatikách najelo celkem necelých 20 000 km v jarním a letním období až do současného stavu.

7. Závěr

Tato bakalářská práce se zaměřovala hlavně na samotné testování a měření pneumatiky, kdy v úvodních částech se věnovala vysvětlení důležitých pojmů spojených s pneumatikami. Další části byly více zaměřené na druhy poškození a opotřebení pneumatik s několika příklady z praxe, s kterými jsem se setkal. Hlavní část práce se věnovala metodice a samotnému testování pneumatiky na statickém adhezoru v laboratoři Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice na pracovišti Výukového a výzkumného centra v dopravě.

Výsledky jasně prokázaly rozdíly mezi správně zvolenou a nesprávně zvolenou i provozovanou pneumatikou.

Použití pneumatiky s nižším indexem nosnosti u silničního vozidla, tak nese značná rizika. Tyto rizika nese provozovatel takto využívaného vozidla. Kromě úměrně vyššího opotřebení, které se velmi podobá opotřebení způsobené jízdou na podhuštěných pneumatikách. Spočívá hlavní riziko v možné vysoké pravděpodobnosti defektu pneumatiky a nebezpečí následné nehody.

Vliv takto provozované pneumatiky lze určitě subjektivně zaznamenat i v komfortu, kdy tuhost soustavy se liší od pneumatiky s vhodnou nosností pro toto vozidlo. To nepříznivě ovlivňuje i únavu řidiče a ostatních cestujících.

V rámci prvotních ušetření nákladů na pořízení levnějších pneumatik bohužel nedošlo k celkové úspornosti provozu. Současný rozdíl v ceně pneumatik Např. pneu Dunlop ve stejném rozměru, zimní a s indexem nosnosti 95 a 91 je cca 100 Kč (18), to vzhledem ke zkrácení životnosti a vyššího bezpečnostního rizika vlastně negeneruje žádnou úsporu, ale zvyšuje náklady a dobu po kterou musí vozidlo být odstaveno v servisu.

Z hlediska dalších zkoušek by mohlo být možné dovybavit adhezor lepší snímací a vyhodnocovací technikou spolu s možností snímání průběhu tlaku ve stopě. Popřípadě by zde byla možnost provést na pneumatikách destruktivní experimenty s možností posouzení bezpečnostních rizik. A to může být předmětem další např. navazující práce.

8. Seznam použité literatury

1. Ivan Cankar Institute. The Wheel - 5,200 years. visitvrhnika.si. [Online] 2021. [Citace: 10. Březen 2021.]
<https://www.visitvrhnika.si/en/vrhnika/worthy-of-attention/the-wheel-5-200-years>.
2. Mička, Jan. GM a Michelin testují pneumatiky bez vzduchu. Vypadají hrozně, ale mají pozitiva. autorevue.cz. [Online] 15. 6 2019. [Citace: 10. 3 2021.]
<https://www.autorevue.cz/gm-a-michelin-testuji-pneumatiky-bez-vzduchu-vypadaji-hrozne-ale-maji-pozitiva>.
3. Nehody v ČR | Statistika. [online]. Copyright © Centrum dopravního výzkumu, v. v. i. [cit. 17.08.2021]. Dostupné z: <https://nehody.cdv.cz/statistics.php>.
4. Robert William Thomson, Scotland's forgotten inventor. Historic UK - The History Magazine & Heritage Accommodation Guide [online]. Copyright © Historic UK Ltd. Company Registered in England No. 5621230. [cit. 17.08.2021].
Dostupné z: <https://www.historic-uk.com>. [Online]
5. US523270A - John boyd dunlop - Google Patents. Google Patents [online].
Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US523270A/en>.
6. KRMELA, Jan. Systémový přístup k výpočtovému modelování pneumatik I.: [System approach to computational modelling of tyres - I. part]. Brno: Tribun EU, 2008. Knihovnicka.cz. ISBN 978-80-7399-365-8.
7. ČSN 63 1001. Pneumatiky - Termíny a definice. 5. revize. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1981.
8. VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0026-9.
9. prof. Ing. Miroslav VALA, CSc., doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc. Kola a pneumatiky. Pardubice 2019 : Katedra dopravních prostředků a diagnostiky – Dopravní fakulta Jana Pernera – Univerzita Pardubice, 2009.
Prezentace k předmětu Konstrukce silničních vozidel I.

10. Předpis č. 30 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů. In: .
Luxembourg: EHK/OSN, 2007, Revize 3, číslo 30. ISSN 1725-5074.
Dostupné také z: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:42008X0730\(01\)#d1e34-87-1](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:42008X0730(01)#d1e34-87-1).
11. VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003.
ISBN 8023900242.
12. DOČKAL, Vladimír, Jan KOVANDA a František HRUBEC. Pneumatiky. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01882-2.
13. Poškození pneumatik a jejich příčiny. Continental Tires - The fastest way to the perfect tire.. [online]. Dostupné z: <https://www.continental-tires.com/car>.
14. ČSN 63 1511. Zkoušení pneumatik.: Stanovení statické radiální tuhosti a statického poloměru. 1. Praha:
Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1984.
15. ČSN 63 1502. Zkoušení pneumatik: Směrnice pro přípravu pneumatik k provádění zkoušek na laboratorních zařízeních. 1. Praha:
Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1989.
16. Microsoft. Volba nejlepší spojnice trendu pro vaše data - Access. Microsoft Support [online]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/volba-nejlep%C5%A1%C3%AD-spojnice-trendu-pro-va%C5%A1e-data-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>. [Online]
17. NOVÁK, Martin. Technická měření. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2018.
ISBN 978-80-01-06388-0.
18. [online]. Copyright © Pneumatiky.cz 2007 [cit. 17.08.2021]. Dostupné z:
<https://www.pneumatiky.cz/>.
19. Coufal, Pavel. Vlastní fotografie. Jihlava, 2021.
20. Domů / Hankook Tire Media Center & Press Room - Europe & CIS. 302 Found [online].
Copyright © Hankook Tire. All rights reserved. [cit. 17.08.2021].
Dostupné z: <https://www.hankooktire-mediacyter.com/cs/?flt=1>.

21. SSR Runflat. [online]. Dostupné z: <https://www.continental-pneumatiky.cz/osobni/technologie/reseni-defektu-continental/ssr-runflat-pneumatiky>.
22. Ministerstvo dopravy ČR - Domovská stránka [online]. Copyright © 2021 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 17.08.2021]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Dokumenty/Silnicni-doprava/STK/Methodiky-pro-provadeni-technickyh-prohlidek-vozid>. Kontrola a hodnocení opotřebení dezénových drážek běhounu pneumatik vozidel.

9. Seznam příloh

Příloha A	Záznam o měření radiální tuhosti pneumatik	48-53
Příloha B	Datasheet k výškoměru.....	54
Příloha C	Certifikát k snímačům WWSE6TM pro nájezdovou váhu DFWKR	55

Příloha A

Záznam o měření radiální tuhosti pneumatik

1. Datum a čas: 1.5.2021 od 10:00 do 18:00, 2.5.2021 od 8:00 až 11:00.

2. Meteorologické údaje

Synoptické údaje stanice Pardubice

11, °C tlak 984,1hPA Oblačno 5/8 vlhkost vzduchu 64%

Laboratoř: 18 °C tlak: 984,1hPA

3. Metodika měření dle bakalářské práce a norem ČSN 631502 a 631511

4. Zkušební přístroje použité pro měření:

a) Statický adhezor typ SA-1 Výrobní číslo: 2479/13

b) Nájezdová váha DFWKR Výrobní číslo: 0100212066

c) Snímače nájezdových vah WWSE6TM výrobní číslo 0100212066B3
Rozsahy a přesnosti viz příloha č. 2

d) Výškoměr Mitutoyo ABSOLUTE Digimatic Height Gauge s570
Rozsahy a přesnosti viz příloha č. 3

e) Vzduchová pistole na pneu s manometrem z laboratoře
Rozsah 0 kPA až 1600 kPA s dělením po 10 kPA
Třída přesnosti neuvedena

5. Testované pneumatiky:

Opotřebená pneumatika Goodride RADIAL SP06 195/65 R15 91 H M+S Celoroční dále jen „*Pneumatika 1*“

Nová pneumatika Fortuna FITCLIME FSR-401 195/65 R15 95 V M+S Celoroční dále jen „*Pneumatika 2*“

6. Volný obvod pneumatiky:

Neměřeno pásmem, ale přes poloměr kola při nulové poloze na statickém adhezoru přes vzorec $o = 2 \cdot \pi \cdot r_0$ při tlaku 300kPa (tlak pneumatiky provozu)

Pneumatika 1: $o = 2 \cdot \pi \cdot 306,37 \text{ mm} = 1924,97 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$

Pneumatika 2: $o = 2 \cdot \pi \cdot 317,12 \text{ mm} = 1992,52 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$

7. Hodnoty využitě pro výpočet statického poloměru:

7.1.Výsledek Statické radiální tuhosti

7.1.1 Pneumatika 1

Volný obvod $l_0 = 1924,97 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 236,272 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 240kPA; Statický poloměr $r_s = 276,95 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 263,142 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 300kPA; Statický poloměr $r_s = 279,76 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 290,488 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 325kPA; Statický poloměr $r_s = 282,29 \text{ mm}$

7.1.2 Pneumatika 2

Volný obvod $l_0 = 1992,52 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 239,934 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 240kPA; Statický poloměr $r_s = 284,98 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 274,790 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 300kPA; Statický poloměr $r_s = 289,10 \text{ mm}$

Tuhost $C_r = 310,279 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$; tlak 325kPA; Statický poloměr $r_s = 291,75 \text{ mm}$

8. Prohlídka pneumatik

8.1.Pneumatika 1

Vizuální stav silně opotřebená s výrazným opotřebením okrajů dezénu bez zásahu do kordové vrstvy, Bočnice a další části pneumatiky bez dalšího viditelného poškození nebo známek UV stárnutí.

8.1.1 Měření hloubky dezénu

Místo měření [°]	Hloubka dezénu v [mm]			
0°	3,6	4,03	4,08	3,86
90°	3,66	3,97	4,2	3,6
180°	3,77	3,8	4,23	3,68
270°	3,57	4,02	4,35	3,7

8.2.Pneumatika 2

Zcela nová bez poškození a jiných defektů.

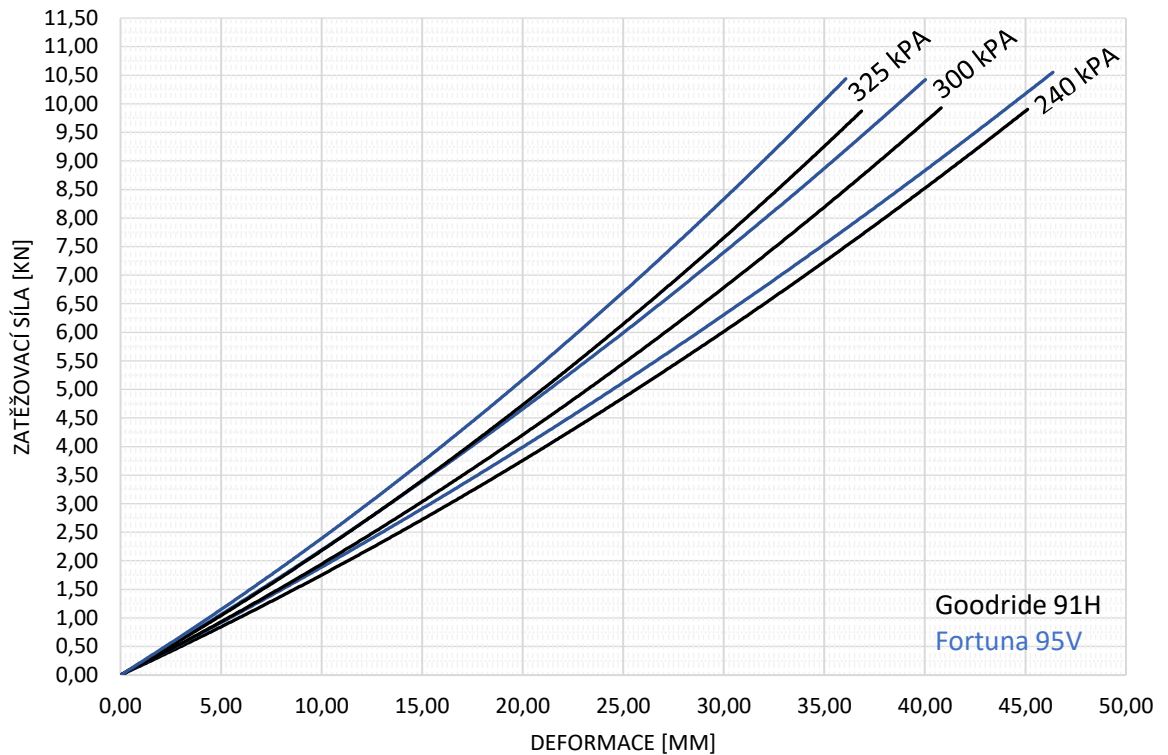
9. Test úniku tlaku

9.1.Pneumatika 1 a 2

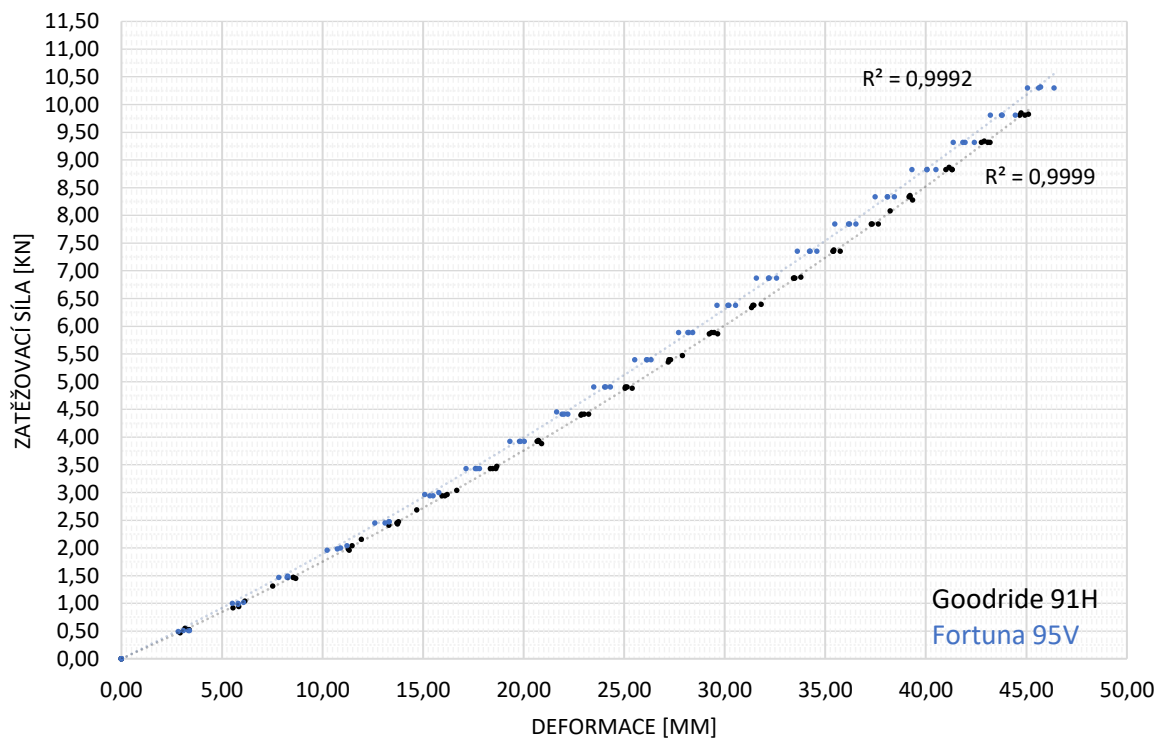
Kontrola tlaku po cca 30 minutách, žádný pokles tlaku v pneumatikách.

10. Výsledné grafy:

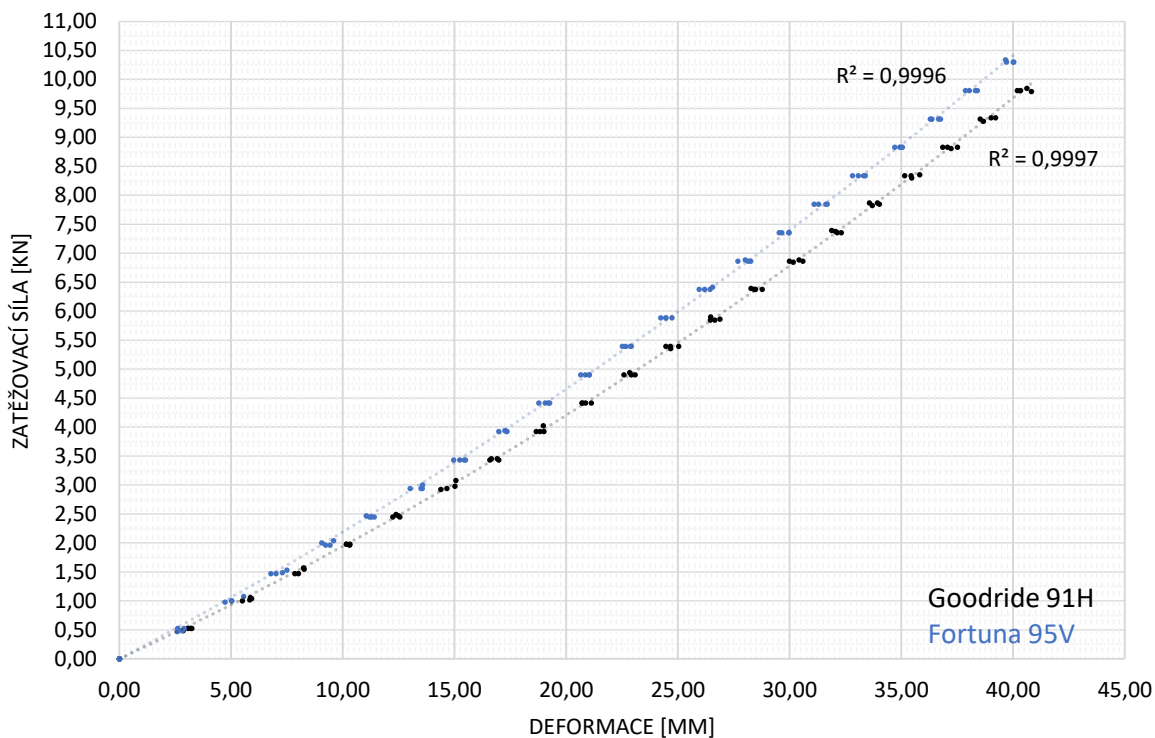
10.1. Porovnání radiálních deformací pro jednotlivé tlaky



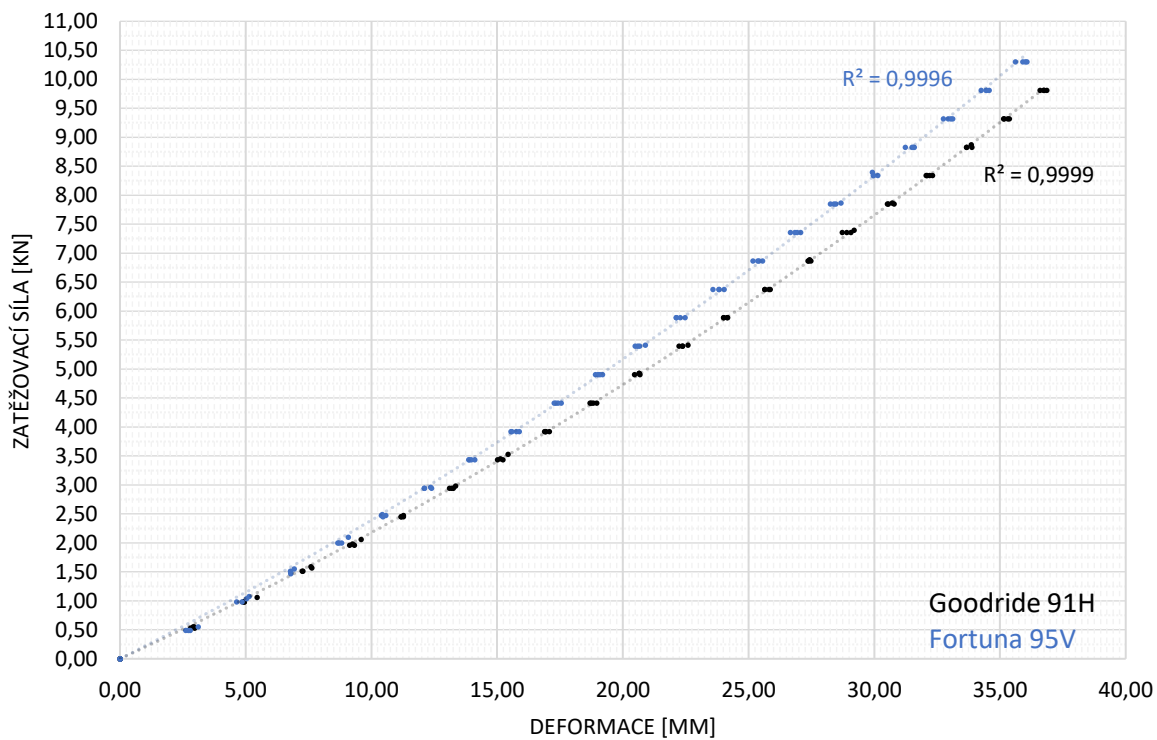
10.2. Radiální tuhost pneumatik při tlaku 240 kPa



10.3. Radiální tuhost pneumatik při tlaku 300 kPa



10.4. Radiální tuhost pneumatik při tlaku 325 kPa



11. Nejistoty

11.1. Typ A

I. Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

II. Nejistota A

$$U_A = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Nejistota A pro případ měření, které bylo provedeno 4krát.

$$U_A = S_x \cdot 1,7$$

11.2. Typ B

11.2.1 Zdroje nejistot:

11.2.1.1 Pro měření deformací

I. Výškoměr, přesnost $\pm 0,03 \text{ mm}$

$$U_{B_1} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} = \frac{0,03}{2} = \pm 0,015 \text{ mm}$$

II. Nulová poloha, odhad nepřesnosti $\pm 0,1 \text{ mm}$

$$U_{B_2} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} = \frac{0,1}{2} = \pm 0,05 \text{ mm}$$

III. Výsledná nejistota

$$U_B = \sqrt{\sum U_{B,z}^2} = \sqrt{U_{B_1}^2 + U_{B_2}^2} = \sqrt{0,015^2 + 0,05^2} = \pm 0,05 \text{ mm}$$

11.2.1.2 Pro měření zatížení

I. Snímač zatížení, od 0 do 500 dílků přesnost $\pm 0,5$, při rozlišení 2 kg

$$U_{B_1} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} = \frac{2}{2} = \pm 1 \text{ [kg]}$$

II. Výsledná nejistota

$$U_B = \sqrt{\sum U_{B,z}^2} = \pm 1 \text{ [kg]}$$

11.3. Nejistoty typu C

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

12. Hodnoty nejistot A a C souhrn:

12.1. Pneumatika 1

Nejistota	A	C
Průměr	0,33 mm	0,34 mm
Medián	0,26 mm	0,27 mm
Maximální hodnota	2,46 mm	2,46 mm

12.2. Pneumatika 2

Nejistota	A	C
Průměr	0,35 mm	0,35 mm
Medián	0,32 mm	0,33 mm
Maximální hodnota	0,80 mm	0,80 mm

Příloha B

Datasheet k výškoměru

Functions	Series 570
ORIGIN	●
ZERO/ABS	●
ON/OFF	●
DATA/HOLD	●
Low voltage alarm	●
Data output	●

Specifications

Accuracy	Refer to the list of the specifications. (excluding quantizing error)
Scale	ABSOLUTE electrostatic linear encoder
Max. response speed	Unlimited
Digital step	0,01 mm
Display	LCD, Character Height 10 mm
Battery life	approx. 20.000 hours
Delivered	Including 1 battery, scriber and scriber clamp

Standard accessories

No.	Description
05GZA033	Scriber clamp (9 x 9 mm)
07GZA000	Carbide-tipped scriber (9 x 9 mm) 80 mm length

Optional accessories

No.	Description
905338	Digimatic cable (1 m)
905409	Digimatic cable (2 m)
02AZD790F	Connecting cable U-Wave
06ADV380F	USB Input Tool Direct cable (2 m)
953638	Holding bar 50 mm (9 x 9 mm)
900321	Swivel clamp for Ø 4/ Ø 8 mm stem and dove tail

Consumable spares

No.	Description
938882	Battery SR44



953638



900321

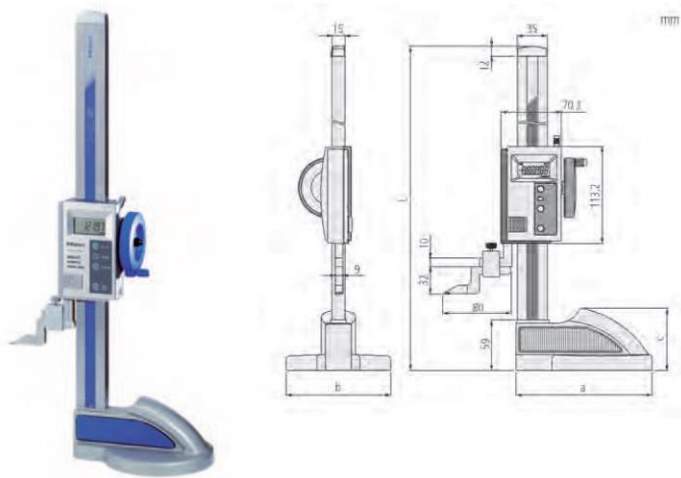


ABSOLUTE Digimatic Height Gauge

Series 570

This Digimatic height gauge is very precise and reliable, and offers you the following benefits:

- Its built-in ABSOLUTE linear encoder means you don't have to set the reference point at every power-on, improving reliability as over-speed errors cannot occur.
- Fine-adjustment gives you precise positioning.
- It comes with large and smooth-acting slider hand wheel for coarse- and fine-adjustments (570-3xx only).
- A carbide-tipped scriber is provided.
- SPC data output.



570-302

Metric

No.	Range [mm]	Accuracy	L [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	Mass [kg]
570-302	0-300	±0,03 mm	507	160	122	72.6	4.6
570-304	0-600	±0,05 mm	812	181	142	74.1	6.4



Large smooth slider handwheel



Large clamp lever



Fits the hand comfortably

The prices listed are suggested retail prices (valid until 31st May 2014). All products to be sold to commercial customers. Therefore VAT is not included. Product illustrations are without obligation. Product descriptions, in particular any and all technical specifications, are only binding when explicitly agreed upon.

Příloha C

Certifikát k snímačům **WWSE6TM** pro nájezdovou váhu **DFWKR**



TEST CERTIFICATE

S/N:	0100212066-B4	Load cell type:	SBX-1K
Model:	WWSE6TM	No. of load cells:	6
Rated capacity:	6000 kg	Transducer Capacity:	2000 kg
Division:	2 kg	Platform Size:	450x700

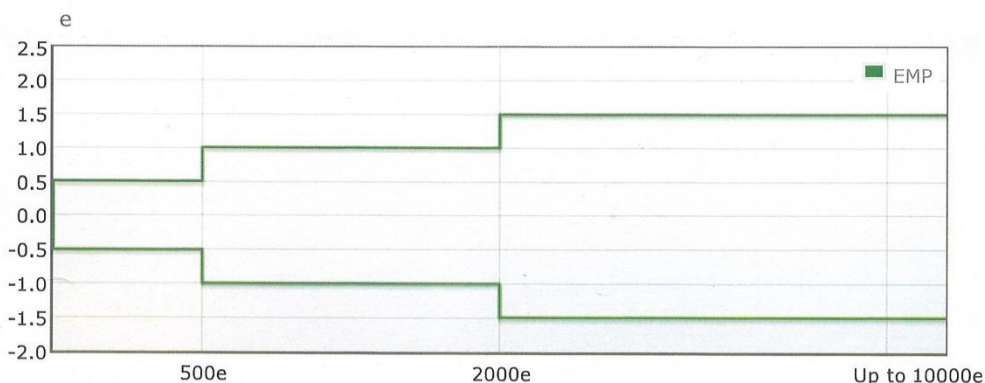
Connect to:	DFWKR - S/N: 0100212066
-------------	--------------------------------

EXCT.+	BROWN	SIGN.+	YELLOW	* SENS.+	GRAY
EXCT.-	GREEN	SIGN.-	WHITE	* SENS.-	PINK

*only for 6 wire-cable

The measurement results of this certificate have been obtained following the procedures of the laboratory, according to:	Procedure 06, Inst. I-02
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------

WEIGHING TEST Max. tolerated testing errors for scales up to 10000e (class III) according to standard OIML R76-1.



Measurements taken are within the MPE (table 7 of the EN45501).	<input checked="" type="checkbox"/> CONFORM <input type="checkbox"/> NON-CONFORM
-----------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Test performed by applying weight with increasing value up to Max, load and unload	<input checked="" type="checkbox"/> CONFORM <input type="checkbox"/> NON-CONFORM
------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

This report has been issued by the Head of the DINI AR GEO Calibration Laboratory.	
10/09/2013	DINI AR GEO SRL