



Technická fakulta

Bakalářská práce

Konstrukce válcových zkušeben pro silniční vozidla

Vypracoval: Štěpán Slípka

Vedoucí: doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D

© 2021 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Slípka

Zemědělské inženýrství
Inženýrství údržby

Název práce

Konstrukce válcových zkušeben pro silniční vozidla

Název anglicky

Construction of a dynamometer for road vehicles

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je na základě literární rešerše popsat konstrukce válcových zkušeben zaměřených na měření silničních vozidel. Vlastní část práce bude obsahovat ukázkou dat naměřených na zvolené válcové zkušebně doplněnou o jejich vyhodnocení.

Metodika

Hlavní část bakalářské práce bude řešena formou literární rešerše na základě níž bude zvolena válcová zkušebna pro praktickou ukázkou měření s cílem vyhodnotit výkonové parametry, nebo emise nebo brzdný účinek silničního vozidla.

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Metody měření provozních parametrů u silničních vozidel (statické a dynamické metody měření)
- 4) Konstrukce válcových zkušeben (nadzemní, podzemní, setrvačnickové atd.)
- 5) Ukázkou měření
- 6) Závěr

Doporučený rozsah práce

30-40

Klíčová slova

vozidlo, zkušebna, měření

Doporučené zdroje informací

HALDERMAN, J D. – LINDER, J. *Automotive fuel and emissions control systems* James D. Halderman, Jim Linder. Upper Saddle River, N.J.: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442.

HALDERMAN, J D. – MITCHELL, C D. *Diagnosis and troubleshooting of automotive, electrical, electronic, and computer systems*. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 0-13-113327-6.

Předpisy, periodika a firemní literatura

ŠMERDA, T. – ČUPERA, J. – FAJMAN, M. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.

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

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 22. 1. 2020

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 10. 2020

Poděkování

Chtěl bych tímto poděkovat doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za odborný dohled a trpělivost při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která za mnou stála nejen při psaní práce, ale i po celou dobu studia.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma: Konstrukce válcových zkušeben pro silniční vozidla vypracoval samostatně a použil jen literaturu, kterou cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne: 14.5.2021

.....

Konstrukce válcových zkušeben pro silniční vozidla

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá metodami měření provozních parametrů a konstrukcí válcových zkušeben pro silniční vozidla. Úvodní část práce je věnována základnímu popisu parametrů a metod měření parametrů vozidel s bližším popisem válcových zkušeben, jejich využití a možností měření vozidel. Na tuto kapitolu navazuje část zaměřující se na bližší popis konstrukce zkušeben a jejich rozdělení s popisem komponentů. Na závěr se práce věnuje praktické části s ukázkou dynamického, volného akceleračního měření výkonu motoru AEE vozu Škoda Felicia 1.6 MPI a jeho vyhodnocení.

Klíčová slova: vozidlo, zkušebna, měření, dynamometr, válcový dynamometr, válcová zkušebna

Construction of a dynamometer for road vehicles

Summary

The bachelor thesis deals with methods of measuring operating parameters and construction of chassis dynamometer test rooms for road vehicles. The introductory part of the work covers the basic description of parameters and methods of measuring vehicle parameters with a detailed description of chassis dynamometer test laboratories, their use and the possibility of measuring vehicles. This chapter is followed by a section focusing on a more detailed description of the construction of chassis dynamometers and their sorting with a description of the components. Finally, the work deals with the practical part with a demonstration of dynamic, free acceleration power measurement of engine AEE of Škoda Felicia 1.6 MPI and its evaluation.

Key words: vehicle, testing room, testing laboratory, measurement, dynamometer, chassis dynamometer, chassis dynamometer test laboratory

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíl práce	2
3.	Metody měření provozních parametrů u silničních vozidel.....	3
3.1.	Jízdní zkoušky.....	3
3.2.	Laboratorní zkoušky	4
3.3.	Válcové zkušebny	4
3.4.	Měření na válcové zkušebně.....	5
3.4.1.	Definice základních měřených parametrů.....	5
3.4.2.	Metody měření	7
3.4.3.	Jízdní odpory a ztráty výkonu	8
4.	Konstrukce válcových zkušeben	12
4.1.	Rozdělení podle způsobu konstrukce válců.....	12
4.1.1.	Jednoválcové (monoválcové) zkušebny	12
4.1.2.	Dvouválcové zkušebny	13
4.1.3.	Nezávislé dynamometry kol	13
4.2.	Rozdělení podle způsobu měření.....	15
4.2.1.	Setrvačné zkušebny.....	15
4.2.2.	Absorpční zkušebny	16
4.3.	Dynamometry	17
4.3.1.	Pasivní dynamometry.....	20
4.3.2.	Aktivní dynamometry	21
4.4.	Další součásti konstrukce.....	24
4.5.	Běžné použití zkušeben.....	32
5.	Ukázka měření.....	35
5.1.	Metodika měření motoru metodou volné akcelerace.....	35
5.2.	Měření motoru metodou volné akcelerace motoru	36
5.3.	Výsledky měření metodou volné akcelerace	37
6.	Závěr.....	40

7.	Seznam zdrojů	41
8.	Seznam rovnic	45
9.	Seznam obrázků	46
10.	Seznam grafů.....	47

1. Úvod

Vozidlové zkušebnictví je nedílnou součástí vývoje motorových vozidel. Na počátku testování byly nároky na zkušební zařízení nízké, kvůli nižším nárokům na emise a nižší výkon vozidel. Postupem času se veškerými nároky na bezpečnost, výkon, spotřebu a kvalitu vozidla zvyšují, společně se snahou o snižování ekologických dopadů na životní prostředí (neustálé zpřísňování emisních EURO norem). Můžeme se setkat se dvěma druhy zkoušek a to jízdní (ve skutečných podmínkách), nebo laboratorní (simulované podmínky). Tyto zkoušky slouží k získání potřebných informací o vozidle a jeho komponentech.

V dnešní době jsou na vozidla kladeny velmi vysoké nároky, proto je třeba při jejich vývoji vědět o vozidlech co nejvíce přesných informací. Kvůli tomu rostou také požadavky na zkušebny vozidel, mezi které se řadí i válcové zkušebny. Pomocí elektroniky, snímačů a akčních členů probíhá při měření na zkušebnách nepřetržitá kontrola parametrů, činnosti a chování vozidla. Tato měření poskytují potřebná data ke zjišťování výkonu, spotřeby paliva, emisí, charakteristik pohonného ústrojí a mnoho dalšího. Testy vozidel vykonávané na válcových zkušebnách tedy hrají významnou roli ve zlepšování parametrů vozidel. Se zkoumáním parametrů je také spojena diagnostika a její obor, který se zabývá závadami a opotřebením.

Kdyby byla vozidla testována jen během běžného provozu, bylo by to velice technicky a časově náročné. Nehledě na závislost na klimatické podmínky a překážky během jízdních zkoušek. Existuje mnoho typů zkušeben podle cílové aplikace. Moderní zkušebny používané pro vývoj a zkoušky, kde je primární přesnost měření, jsou většinou jednoválcové s elektrickým dynamometrem. Starší konstrukční řešení jsou dva válce na kolo a vozidlo je umístěno mezi těmito válci. Toto konstrukční řešení je sice levnější a jednodušší, ale vzhledem k přísným požadavkům na přesnost se již nepoužívá.

2. Cíl práce

Obecným cílem práce je na základě literární rešerše popsat konstrukce válcových zkušeben a metody měření, které se na nich provádí. Ve vlastní části provést praktickou ukázkou měření výkonových parametrů pomocí dynamického měření volnou akcelerací v prostorách Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze.

Díličními cíli praktické části práce jsou:

- tři dynamické měření výkonu pomocí volné akcelerační metody ke stanovení základní charakteristiky motoru
- dodatečné měření se simulací závady motoru k porovnání charakteristik motoru:
 - 1) jeden odpojený válec (odpojený vstřikovač)
 - 2) dva odpojené válce (odpojené vstřikovače)
 - 3) sání bez vzduchového filtru
 - 4) odpojený snímač teploty a tlaku nasávaného vzduchu
 - 5) odpojená lambda sonda
- vyhodnocení výsledků.

3. Metody měření provozních parametrů u silničních vozidel

Zkoušení vozidel a jejich jednotlivých prvků je neodmyslitelnou součástí jejich funkčního života. Cílem zkoušení je mimo jiné i neustálé zvyšování technické úrovně vozidel, jejich životností techniky, ochranou životního prostředí, se zvýšením komfortu cestujících a taktéž se šetřením energie. [1; 2]

Zkoušení lze charakterizovat jako souhrn experimentální, cílevědomé činnosti zaměřené na získání informací o daném zařízení z hlediska jeho použitelnosti, kvality, účinnosti, bezpečnosti, popřípadě dalších požadovaných vlastností. [1; 2]

3.1. Jízdní zkoušky

Její výhody spočívají v navození podmínek reálného provozu a v nenáročnosti na měřicí vybavení (zkušebna, jištění vozidla apod.). Protože jízdní zkoušky mají v běžné silniční síti řadu nevýhod, jako proměnlivost klimatických podmínek, zajištění bezpečnosti, plynulosti silničního provozu a reprodukovatelnosti, provádějí se převážně na polygonech. [1; 2]

Polygon (Obrázek I) je speciální víceúčelová zkušební dráha, která zaručuje stálost zkušebních podmínek, bezpečnost, a tím i vysokou jakost vykonaných jízdních zkoušek. Na polygonu lze provádět jízdní zkoušky několikrát za sebou, což v běžném silničním provozu nelze zajistit. [1; 2]



Obrázek I - Jízdní zkouška [3]

3.2. Laboratorní zkoušky

Laboratorní zkoušky vozidel jsou prováděny v simulovaných podmínkách v laboratoři, ve zkušebnách a jízdních simulátorech. Pomocí simulování provozních podmínek se snaží co nejvíce přiblížit ke skutečným odporům, které na vozidlo působí za reálného provozu. [1; 2]

Mezi největší výhody laboratorních zkoušek patří časová úspora, již zmíněná simulace provozních podmínek a dobrá reprodukovatelnost. Podstatný rozdíl oproti silniční zkoušce je v tom, že zkoušené vozidlo stojí a vozovka (válce), popřípadě jiný testovací stroj (Obrázek II), se pohybuje. Na testovacích zařízeních je možné simulovat různé profily vozovky, změny klimatických podmínek a díky robotickému řízení je možné testovat neustále. [1; 2]



Obrázek II – Laboratorní zkouška [32]

3.3. Válcové zkušebny

Jedná se o specializované zkušebny, které slouží k provádění laboratorních zkoušek. Je schopna simulace reálných jízdních odporů při libovolných jízdních režimech. Přitom řidič či robot ovládá zkoušené prvky. Průběh rychlosti na jízdním simulátoru by měl odpovídat průběhu na skutečné vozovce. Při této laboratorní zkoušce nahrazující vozovku zkušební válce. Otáčejí se a nahrazují tak přímočarý pohyb po vozovce. [2]

Slouží, mimo jiné, k rychlému zjištění výkonu měřeného vozidla (stacionárního nebo dynamického). Kromě měření výkonu je válcová zkušebna využívána i pro měření emisí, spotřeby paliva, simulaci jízdy, vyhledávání závad na vozidle, NVH testy, EMC testy, zjištění akcelerace nebo kontrolu tachometru a jeho kalibrace.

Vozidlo se přistaví na válce a je zajištěno proti pohybu (Obrázek III). Měří se síla působící na povrch válců, které jsou roztáčeny hnacími koly testovaného vozidla, či dynamometry. [2]



Obrázek III – Válcová zkušebna [33]

Při měření na zkušebně jsou koly poháněné měřicí válce napojeny na hřídel dynamometru (příp. setrvačnicku). V případě vozidel s více poháněnými nápravami je třeba použít více měřicích válců. Je měřen nejen točivý moment na válcích, ale také rychlost otáčení válců, což představuje rychlost otáčení se kol a tím pádem rychlost jízdy simulované na válcích. Také je třeba snímat otáčky motoru při testu, protože na základě poměru rychlosti otáčení válců a otáček motoru je třeba určit převodový poměr zařazeného převodového stupně, na kterém měření probíhá. Tento poměr ovlivňuje výsledek a vyhodnocení celého měření. [2; 4]

Největší nevýhodou měření na válcové zkušebně je složitý přenos točivého momentu z motoru na rotor dynamometru a případné ztráty zapříčiněné konstrukcí zkušebny při přenosu. Dále při přenosu momentu z pneumatik na válce může dojít i k jistému skluzu, čili přenos nemusí být dokonalý. Tento faktor jsou ale moderní zařízení schopna diagnostikovat na základě neustálého měření otáček motoru a válců. Rovněž jsou schopna s určitou přesností změřit ztráty pohonného ústrojí. [2; 4]

3.4. Měření na válcové zkušebně

3.4.1. Definice základních měřených parametrů

Točivý moment

Točivý, někdy nesprávně nazýván „kroučící“, moment motoru bývá definován jako moment vytvářený motorem na hnacím hřídeli. Vyjadřuje působení síly na bod vzdálený od osy otáčení. V systému SI se na měření točivého momentu motoru používá Newton·metr [N·m] [2; 4]

Základní podoba rovnice:

(1)

$$M_k = F_t \cdot r \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

F_t [N] – tangenciální síla, r [m] – délka ramene od osy

Výkon

Výkon je fyzikální veličina, která udává množství vykonané práce za určitý čas. Mechanický výkon motoru nelze přímo měřit. V případě zkušeben je možno jej vypočítat ze známého točivého momentu. Jeho SI jednotka je Watt [W]. [4; 2]

Základní podoba rovnice:

(2)

$$P = \frac{W}{t} \text{ [W]}$$

Při známém točivém momentu:

(3)

$$P = M_k \cdot \omega \rightarrow M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \text{ [W]}$$

M_k [Nm] - točivý moment, ω [rad·s⁻¹] -úhlová rychlost, n [min⁻¹] - otáčky motoru.

Charakteristiky

Charakteristiky motorů jsou graficky znázorněné závislosti mezi parametry, jako jsou výkon, točivý moment, otáčky, spotřeba paliva/energie, dále vybraná teplota a tlak atd. Používají se zejména při vývoji a výzkumu nového vozidla, posuzování stavu a případné diagnostice statických a dynamických vlastností pohonů vozidel. [4; 5]

Základní dělení:

- Otáčková charakteristika - zobrazuje závislost výkonu a ostatních důležitých veličin motoru na jeho otáčkách při stálém nastavení škrticí klapky, nebo zařízení regulujícího výkon motoru.
- Zatěžovací charakteristika - zobrazuje závislost spotřeby paliva, zpravidla měrné, na některém parametru charakterizující zatížení spalovacího motoru, jako například výkon, střední efektivní tlak, točivý moment atd.
- Regulační charakteristika - zobrazuje závislost veličin spalovacího motoru na některém parametru, charakterizující nastavení motoru (předstih zapalování, vstřík paliva).
- Úplná charakteristika - většinou prostorový diagram znázorňující soustavou křivek závislost sledovaného parametru na dvou základních.
- Zvláštní charakteristiky - vlastnosti a chování motoru z jiných hledisek [4; 5].

3.4.2. Metody měření

Dynamická metoda

Dynamická metoda měření výkonových parametrů zjišťuje výkon motoru na základě jeho schopnosti zrychlovat. Díky této metodě dokážeme vykreslit křivky výkonu a momentu odvíjejících se od otáček motoru. Zkoušený agregát rozjíždíme z počátečních otáček po maximální a snímačem zaznamenáváme zrychlení motoru a válců. K takovéto zkoušce stačí využít pouze momentu setrvačnosti rotujících hmot a průběžného měření úhlového zrychlení válce. [1; 6]

Vypočítat točivý moment můžeme ze vztahu:

(4)

$$M_k = I \cdot \varepsilon \rightarrow F_o \cdot r_d [N \cdot m]$$

$I [kg \cdot m^2]$ - moment setrvačnosti, $\varepsilon [rad \cdot s^{-2}]$ - úhlové zrychlení, $F_o [N]$ - síla na obvodu hnacího kola, $r_d [m]$ - dynamický poloměr hnacího kola

Kvůli eliminaci prokluzu pneumatik na zkušebním válci se na měření využívají vyšší převodové stupně. Rovněž je nutná deaktivace systémů určených ke stabilizaci prokluzu (ESP, ASR apod.), které by ve výsledku zkreslovaly výstupní graf. Na rozdíl od statické zkoušky je výhodou této metody menší časová náročnost a méně intenzivní zatížení motoru. Nevýhodou těchto metod je, že nedochází ke stabilizaci vnitřních teplot motoru. Dále se při dynamickém zatížení nemůže měřit spotřeba ani emise motoru na rozdíl od statického měření. [4]

Statická metoda

Statická metoda znamená, že měření probíhá při konstantních otáčkách motoru za stálého brzdění dynamometrem. Rozdíl oproti dynamické metodě spočívá v tom, že taková zkouška není závislá na momentu setrvačnosti, protože neovlivňuje výsledné naměřené hodnoty. [1; 6]

Měření je založeno na principu zjištění velikosti síly, která působí na rameno při brzdění válce. Výhodou je přesnější stanovení výkonu a točivého momentu, protože parametry jsou odečteny při ustáleném režimu motoru. Vhodná metoda pro „ladění“ motorů. Nevýhodou je výraznější ohřívání spalovacího prostoru, což při delším zkoušení bez ideálních podmínek může způsobit přehřívání agregátu, či až detonační hoření. [1; 6]

Vypočítat točivý moment můžeme ze vztahu:

(5)

$$M_k = F_o \cdot r_d [N \cdot m]$$

$F_o [N]$ - síla na obvodu hnacího kola, $r_d [m]$ - dynamický poloměr hnacího kola

3.4.3. Jízdní odpory a ztráty výkonu

Hlavním požadavkem, který je kladen na válcové dynamometry, je simulace zatížení. V této simulaci jsou brány v potaz účinky, které působí při provozu na vozidlo (Obrázek IV). Důvodem je co nejpřesnější simulace jízdy po silnici v laboratorních podmínkách. Samotná rovnice zatížení může mít několik podob, podle toho, které účinky a ztráty jsou brány v úvahu. [7; 6]

Základní podoba rovnice:

(6)

$$F_z = O_f + O_z + O_v + O_s + O_p \text{ [N]}$$

O_f - odpor valivý, O_z - odpor zrychlení, O_v - odpor vzdušný, O_s - odpor stoupání, O_p - odpor přivěsu, F_z - potřebná hnací síla



3

Obrázek IV – Jízdní odpory [8]

Pohyb silničních motorových vozidel je možné popsat ze silového působení a jejich účinků na samotné vozidlo. Díky pohonu působí hnací síly, které zajišťují uvedení vozidla do pohybu, jeho udržení v rovnoměrném pohybu, případně mu udělují zrychlení. To, zda se vozidlo bude pohybovat rovnoměrným, zrychleným, nebo zpomaleným pohybem, souvisí s poměrem hnací síly a jízdních odporů, které na vozidlo působí. [7; 6]

Odpor zrychlení/setrvačný

Třetí Newtonův pohybový zákon definuje, že na každé těleso pohybující se zrychleným pohybem působí opačnou orientací setrvačná síla, která roste s rostoucím zrychlením. Setrvačný odpor se skládá ze dvou základních složek [7; 6]:

- odporu postupného pohybu celého vozu (posuvný pohyb)
- odporu rotujících hmot (otáčivý pohyb rotujících součástí).

Zahrnout do výpočtů tuto druhou složku je komplikované, neboť se v ní projevuje vliv veškerých rotujících součástí (kol, brzd, spojky, ozubených kol v převodovce, hřídelí apod.). Přesné určení těchto odporů výpočtem v praxi je možné na základě momentů setrvačnosti rotačních součástí, ale je možné podle potřeby zahrnutí vlivu rotujících hmot do hmotnosti vozu zavedením koeficientu δ . [7; 6]

Tuto sílu můžeme vyjádřit jako:

$$O_z = m \cdot a \cdot \delta [N]$$

(7)

$m [kg]$ – váha vozidla, $a [m \cdot s^{-2}]$ - zrychlení vozidla, δ - součinitel vlivu rotačních hmot

Odpor vzduchu

Jeden z nejvýrazněji působících odporů, který se podílí na celkovém odporu proti pohybu vozidla, a tedy i na odebíraném výkonu motoru, je odpor vzduchu. Diferencí tlaků nad vozem, kde vzniká výrazný podtlak a tlakem pod vozidlem, kde je malý přetlak, dochází k narušování proudnic vzduchu a jeho víření, což se nazývá indukovaný odpor vzduchu. [7; 6]

Celková složka odporu vzduchu působícího na pohybující se vozidlo vzniká již zmíněným indukovaným odporem vzduchu a ztrátami při přechodu vzduchu přes otvory a mřížky chladicího systému. Dále odpory vznikající třením a vířením vzduchu, hlavně v oblasti rotujících kol. Třecí síly vznikají vlivem viskozity vzduchu. Částice vzduchu v blízkosti povrchu vozidla na něm zůstávají, neboť mají nulovou rychlost vůči vozidlu. [7; 6]

Celkový vzdušný odpor vyjadřuje vztah:

(8)

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v_r^2 [N]$$

$\rho [kg \cdot m^{-3}]$ - měrná hustota vzduchu, $S_x [m^2]$ - čelní plocha vozidla, c_x - součinitel odporu vzduchu, $v_r [m \cdot s^{-1}]$ - výsledná rychlost proudění vzduchu

Odpor valivý

Valivý odpor je další důležitou složkou ovlivňující dynamiku vozidla. Na rozdíl od odporu vzduchu je odpor valivý nejdůležitější ze všech odporů při nízkých rychlostech, přičemž ho výrazně ovlivňuje normálová síla působící na kola, která je především závislá na hmotnosti vozidla. Valivý odpor je způsoben deformací odvalujícího se kola a podložky samotné, což má za následek zvýšení provozních nákladů vozidla z hlediska zvýšené spotřeby

paliva, s tím jsou přímo spjaty výfukové emise, a tedy vyšší produkce např. oxidu uhličitého CO₂, ale také zvýšení hlučnosti jízdy odvalováním kol. [7; 6]

Velikost odporu je dána vztahem:

(9)

$$O_f = f \cdot F_k [N]$$

f - koeficient valení, F_k - radiální reakce v místě styku s podložkou [N]

Odpor valení se skládá z několika dílčích odporů:

- deformace podložky, která má zejména vliv při jízdě terénem
- klouzáni v dotkových plochách pneumatiky s podložkou při pohonu a při brzdění
- tření ve stěnách pneumatiky při její deformaci
- přisávání pneumatiky k dotkové ploše
- tření v ložiskách vozidla. [7; 6]

Odpor stoupání

Odpor stoupání je složka gravitační síly, která působí proti směru jízdy, pokud vozidlo stoupá, nebo ve směru jízdy, v případě že vozidlo klesá dolů svahem. [7; 6]

Velikost odporu je dána vztahem:

(10)

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin\theta [N]$$

m [kg] - hmotnost vozidla, θ [rad] - úhel svahu, g [$m \cdot s^{-2}$] – gravitační zrychlení

Odpor přivěsu

Tento odpor vzniká v ose spoje vozidla a přivěsu, pokud vozidlo táhne přívěs. Na přívěs i na vozidlo působí stejné odpory. Jednotlivé odpory se určují stejně jako při vozidle samostatném, kromě vzdušného odporu, ten se určuje spolu s autem jako celek. [7]

Skluzu

Velký podíl na nepřesnosti měření mají skluzu. Při skluzu dochází k nedostatečnému přenosu energie, které se mění na teplo kvůli nedostatku přilnavosti. Mimo to se prokluzující kolo může smýkat ve směru příčném ke směru jízdy. Jsou dvě místa, kde může ke skluzům při měření docházet: spojka a kontakt válce s pneumatikou. [7]

Prokluz spojky se většinou při měření nedá ovlivnit. Prokluz pneumatiky na válci lze odstranit vyšší silou přitlačující vozidlo na válec. Tuto sílu můžeme vyvinout pomocí stažením popruhy, změněním výšky kotvícího bodu, nebo zatížením vozidla. Zatížení není ideální řešení, jelikož se zvýší valivý odpor a energetické ztráty. Hlavní podmínka pro vysokou přilnavost je

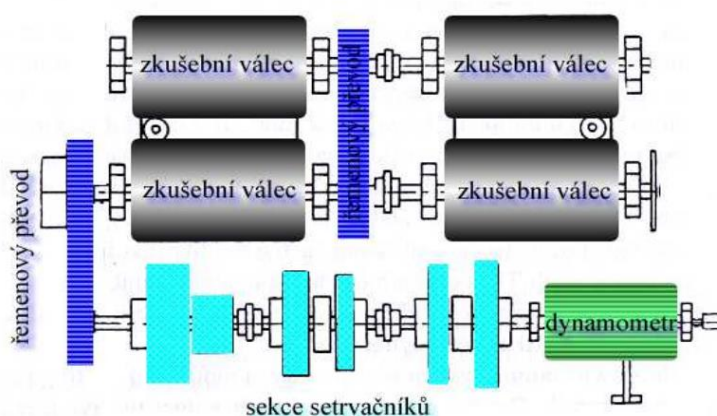
dobře zahřátá pneumatika a použití nejvyššího možného převodu. Dále je pak možno zvýšit tření speciálním sprejem proti prokluzu. [7]

Dojezdová zkouška

Měření ztrátového výkonu na válcové zkušebně se běžně provádí dojezdovou zkouškou. Začátek zkoušky nastává po volném zrychlování vozidla do vyšších (většinou maximálních) otáček. V těchto otáčkách se odpojí pohonná jednotka (např. sešlápnutým spojkovým pedálem) a vozidlo se nechá volně decelerovat do spodní hranice otáček, přičemž se zaznamenává pomocí snímače ztrátový moment, v případě setrvačných zkušeben zpomalení válců. [7; 6]

4. Konstrukce válcových zkušeben

Běžné konstrukční řešení válcových zkušeben vychází z tuhých základních rámu, na kterých jsou umístěny veškeré komponenty (Obrázek V) - válce, ložiska, snímače, dynamometry atd. Při konstruování rámu je nutné dbát na robustnost a tlumení vibrací. Rovněž jsou na rámu upevněny pevné, posuvné kryty, bezpečnostní zábrany, případně i kotvící a upevňovací zařízení vozidel. [9]



Obrázek V – Konstrukce zkušeben [4]

Tyto rámy se stojinami tvoří základní bloky a mohou být zabudovány buďto do montážní jámy, či na úroveň podlahy zkušebny. Na konstrukci jámy jsou kladeny vysoké nároky. Podlaha, kryty nad jámou a okraje jámy nebo opláštění nadzemní jednotky dynamometru (obvykle z plechu) musí být pečlivě navrženy a vhodně tlumeny. [9]

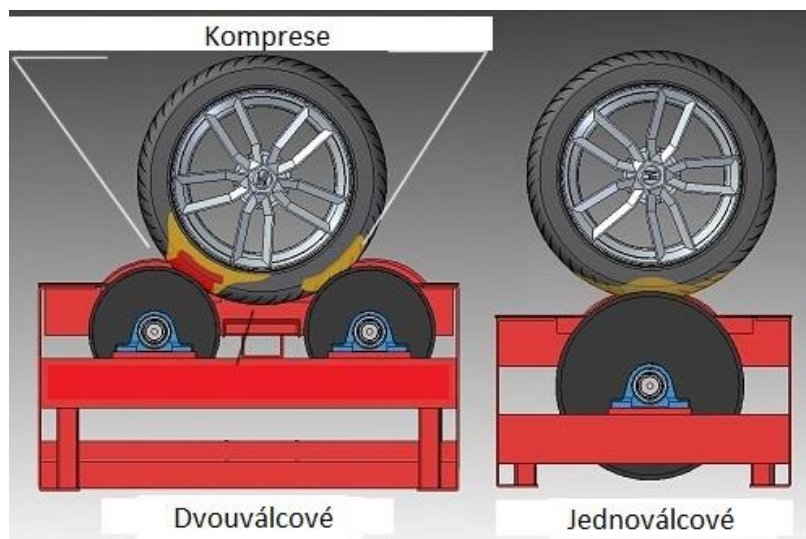
4.1. Rozdělení podle způsobu konstrukce válců

4.1.1. Jednoválcové (monoválcové) zkušebny

Monoválcové simulují lépe skutečný stav pneumatiky na vozovce. Protože válce velkého průměru mají povrch tvořen pouze mírným zakřivením. Čím větší průměr má válec, tím se zvyšuje styčná plocha mezi pneumatikou a povrchem válce (Obrázek VI). Proto jsou jednoválcové zkušebny přesnějším řešením. [10; 9]

Výhodami této konstrukce je vysoká přesnost měření, její robustnost a menší nároky na údržbu z důvodu nižších otáček válců. Díky menšímu počtu mechanických částí má systém také méně parazitických ztrát. Na základě těchto výhod se jednoválcové zkušebny využívají při certifikačních zkouškách. Mají ale i své konstrukční úskalí, a to velké průměry válců. Dále jsou válce hmotnější a v případě, že se jedná o aktivní dynamometry s pohonem, se hůře simulují

setrvačné účinky. Ukotvení vozidla je také složitější, jelikož se vozidlo nachází v nestabilní poloze na vrchu válce, a ne v „kolébce“ s dalším bodem dotyku, tvořené dvěma válci. [10; 9]



Obrázek VI - Rozdělení podle počtu válců zkušeben [11]

4.1.2. Dvouválcové zkušebny

U dvouválcových zkušeben jsou síly z kol přenášeny na páry válců, po kterých se kola odvalují. Průměr válců je podstatně menší než u jednoválcových jednotek. Tento typ je častější u zkušeben, které mají spíše charakter jednoduchého zkušebního zařízení. Válce mohou být spojené řetězem, řemenem nebo se můžeme setkat také s jedním brzděným válcem a druhým oporným, ovšem za cenu snížení maximální přenesené síly, protože se síla na válci rozkládá a při překročení limitující hodnoty dochází k nárůstu prokluzu. [10; 9]

Výhodou tohoto řešení je jednodušší přistavení a zajištění vozidla do správné polohy a jeho lepší stabilita při testu. Jde o levnější provedení válcové zkušebny než u jednoválcové, při kterém je nutný menší stavební prostor (menší stavební plocha i hloubka). Protože je zajištěna vyšší stabilita měřeného vozidla, je možné také přenášet větší trakční síly. [10]

4.1.3. Nezávislé dynamometry kol

Omezení konvenční zkušebny je v tom, že není schopna simulovat zatáčení vozidla, během kterého se kola otáčejí různými rychlostmi. Případně měřit výkon na každém kole. S příchodem elektronicky řízené trakce a brzdění (ABS), vozidel s elektrickým pohonem (které mají každé kolo poháněné samostatným motorem), roste požadavek na zkušebny, které splňují tyto podmínky. Existují dva typy řešení [9]:

Čtyřválcové zkušebny

Skládají se například ze čtyř a více sad nezávislých dvouválcových (Obrázek VII)/jednoválcových jednotek, nebo z komplexních testovacích souprav, které mají řízenou artikulaci každé válcové jednotky [9].



Obrázek VII – Zkušebna s dvěma sety válců na nápravu [34]

Bezválcové zkušebny

U těchto zkušeben je odstraněná konstrukce válce. Jedná se o dynamometr na pohyblivém základním rámu (Obrázek VIII). Místo válce používá k přenosu sil náboj přímo na konci hřídele dynamometru. Náboj z dynamometru je namontován přímo na náboj kola měřeného vozidla.

Tyto zkušebny eliminují prokluz kol, což pomáhá k přesnějším výsledkům měření. Také řeší hlavní problém, kterému čelí inženýři při testování NVH na válcové zkušebně, který spočívá v tom, že může při měření dominovat hluk pneumatik. Dynamometry by měly být pro tyto použití čtyřkvadrantové (Obrázek XV). [9]



Obrázek VIII – Bezválcová zkušebna [12]

4.2. Rozdělení podle způsobu měření

4.2.1. Setrvačné zkušebny

Na rozdíl od absorpčních nemá setrvačná zkušebna žádnou aktivní absorpci výkonu (brzdu/dynamometr). Namísto použití brzd k rozptýlení energie používá setrvačnost velkých válců (Obrázek IX-X). Stejně jako ostatní zkušebny vypočítává výkon a točivý moment. Na rozdíl od dynamometrů je výsledný moment funkcí momentu setrvačnosti a úhlového zrychlení. Setrvačnost válců je hodnota, kterou před testem známe, nebo můžeme vypočítat/změřit, stejně jako setrvačnost rotujících součástí vozidla. Setrvačnost působící na vozidlo pohybem po vozovce je stejná jako hmotnost vozidla. Pokud k dosažení simulované hmotnosti nestačí samotné válce, jsou zkušebny vybaveny přídatnými odpojitelnými setrvačníky. [9; 10]

Jakmile je známa setrvačnost válců, lze výkon vypočítat na základě následujících rovnic:

Točivý moment vyvíjený na objekt se rovná (5):

$$M_k = I \cdot \varepsilon [N \cdot m]$$

$I [kg \cdot m^2]$ - moment setrvačnosti, $\varepsilon [rad \cdot s^{-2}]$ - úhlové zrychlení

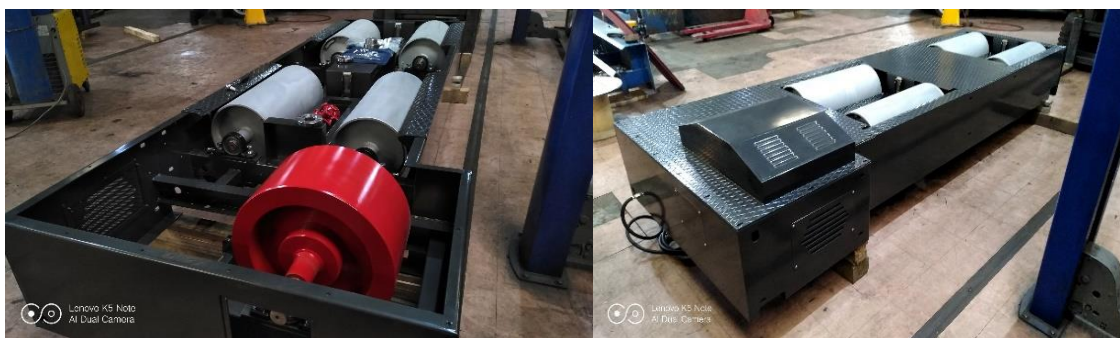
Moment setrvačnosti se rovná v případě setrvačnicků ve tvaru válce:

(11)

$$I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2 [kg \cdot m^2]$$

k - konstanta setrvačnosti (v závislosti na tvaru), $m [kg]$ – hmotnost, $R [m]$ – poloměr setrvačnosti

V porovnání s ostatními existuje mnoho výhod setrvačné zkušebny. Jednou z nich je cena. Dále nejsou nutné žádné zatěžovací odpory nebo chladicí systém. Systém je samostatný. Také je setrvačná zkušebna velmi přesná a spolehlivá. Nevýhodou bývá její velikost a neschopnost měřit parametry za stálých otáček. [9; 10]



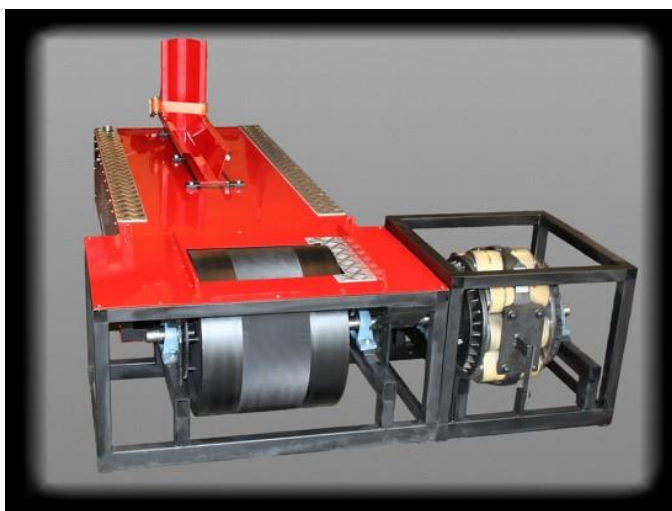
Obrázek IX – Setrvačná zkušebna [13]

Obrázek X - Setrvačná zkušebna 2 [14]

4.2.2. Absorpční zkušebny

Absorpční zkušebny využívají aktivní absorpci výkonu (dynamometr) (Obrázek XI). Dynamometr v podstatě působí proti točivému momentu motoru brzdou silou. Podstatou práce dynamometru je, že tato síla je známá nebo ji lze změřit. [9; 10]

Dynamometry se obecně rozdělují na aktivní a pasivní. Pasivní jsou schopné vytvářet pouze brzdňý moment a aktivní dokáží vozidlo také pohánět. Kromě mechanického simulování setrvačných účinků lze provádět i elektrické (některými elektrickými dynamometry), kladením odporu proti pohybu vozidla pomocí dynamometru. Bližším popisem dynamometrů se práce bude zabývat v další kapitole (4.4). [9; 10]



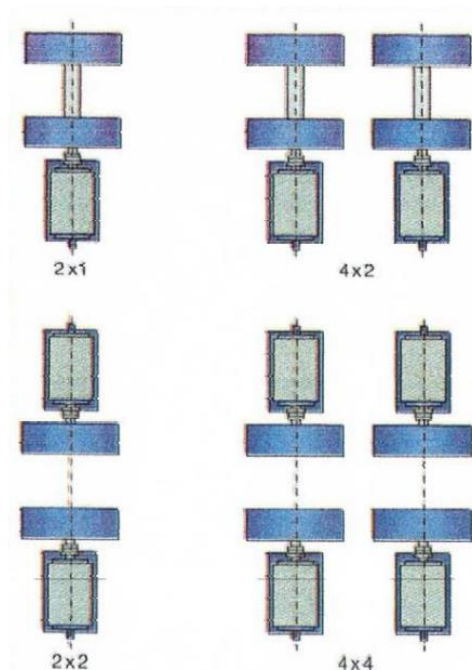
Obrázek XI – Absorpční zkušebna [15]

Rozdělení podle počtu dynamometrů a jejich uložení:

U válcových dynamometrů existuje několik konfigurací dynamometrů (Obrázek XII)

Můžeme je rozdělit do základních skupin [10]:

- Dva válce a jeden dynamometr - dva válce na společném hřídeli s jedním dynamometrem.
- Dva válce a dva dynamometry - dva vzájemně oddělené válce, každý má vlastní dynamometr.
- Čtyři válce a dva dynamometry - čtyři válce se dvěma dynamometry, kde jsou dva hřídelem spojené válce na jedné ose s jedním dynamometrem.
- Čtyři válce a čtyři dynamometry - čtyři oddělené válce, každý s vlastním dynamometrem.
- Speciální - jedná se o atypické provedení, které dokáží zatěžovat více než dvě osy.



Obrázek XII – Rozdělení podle počtu dynamometrů [10]

Pro prostorově omezené stavební prostory bylo nutné vytvořit několik konfigurací s rozdílným umístěním dynamometrů.

U konfigurace válců, kdy jsou válce na společné hřídeli, se umístění dynamometrů dělí na [10]:

- V jedné řadě - umístěn vedle válce, přímo spojený spojkou nebo převodovkou - nejčastěji využívaná varianta, kdy je nutné během měření odpojovat (např. akustické měření).
- Mezi válci - které jsou přímo spojeny hřídelí. Kompaktní a cenově výhodné provedení, které je charakteristické svou vysokou tuhostí.
- Ve válci - je instalován přímo do válce.

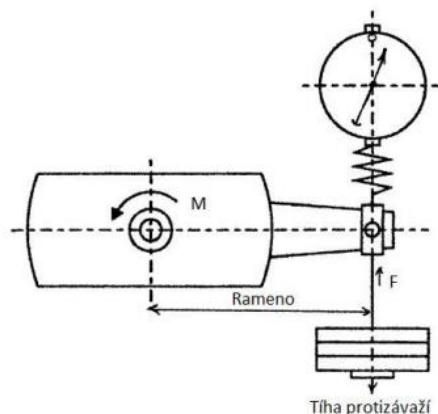
4.3. Dynamometry

Dynamometr definice

Zařízení na měření točivého momentu, síly nebo výkonu z rotujícího hřídele. Otáčky hřídele jsou měřeny otáčkoměrem, zatímco točivý moment hřídele je měřen pomocí síly na daném rameni dynamometru. Výkon je určen přepočtem z otáček a točivého momentu (2). Zkoušky se mohou dělit podle způsobu zatížení motoru na testy při konstantních otáčkách (statické) a akcelerační zkoušky (dynamické). [4; 5]

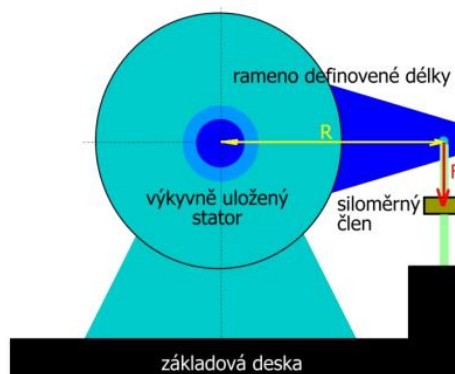
Rozdělení způsobu měření síly dynamometrem:

- reakční (čepové uložení dynamometru) – moment je získáván měřením síly na známém rameni, které je spojeno s tělesem dynamometru (Obrázek XIII).



Obrázek XIII – Čepové uložení dynamometru [9]

- tenzometrickou přírubou (Obrázek XIV) – měřicí člen je vložen mezi zkoušený motor a dynamometr, pro měření točivého momentu jsou zjišťovány i otáčky (typický tenzometr je elektronická součást, která převádí sílu na změnu elektrického odporu).



Obrázek XIV – Tenzometrická příruba [16]

Ne všechny druhy dynamometrů jsou vhodné k použití na válcové zkušební. Používají se hlavně elektromagnetické vířivé, hydraulické a u dražších variant válcových zkušeben aktivní stejnosměrné nebo střídavé dynamometry. [2]

Typy dynamometrů

V současnosti se v průmyslu používá velká škála druhů dynamometrů, z nichž každý má své výhody a nevýhody v porovnání s ostatními druhy. Zaměříme se tedy na hlavní typy nacházející se v průmyslu všeobecně.

Pasivní dynamometr

Také označovaný jako absorpční dynamometr, umožňuje absorbovat výkon přenesený ze zkoušeného stroje a měnit ho na teplo případně elektrickou energii. Pasivní dynamometry nejsou schopné vytvářet točivý moment stejného směru jako motor, a tím motor pohánět. Skládají se z rotoru, který je spojený s válci zkušebny, a který se otáčí uvnitř statoru. Stator ve spolupráci s rotorem vytváří brzdňý moment, kterým je motor vozidla brzděn. Z energetického hlediska jsou proto ztrátové a často se pro ně používá označení brzdy. Brzdňý moment je vytvářen mechanickým třením, odporem tekutiny nebo elektricky. [17; 9]

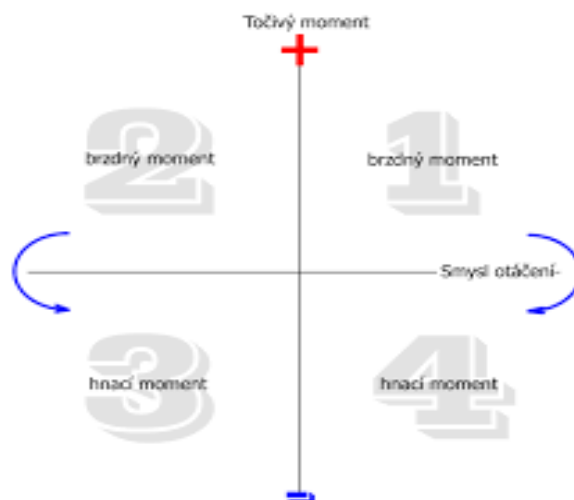
Aktivní dynamometr

Kromě absorbování točivého momentu, je zde oproti pasivním dynamometrům možnost točivý moment vytvářet, díky čemuž je možné simulovat podmínky, které vznikají při reálném provozu vozidla. Také můžeme měřit mechanické ztráty u motorů bez spalování, testovat podvozky vozidel a jejich životnost apod. [17; 9]

Veškeré dynamometry jsou rozdělené podle konstrukce na:

- hydraulické (vodou bržděné)
- hydrostatické
- vzduchové
- třecí
- elektrické

Dynamometry dále rozdělujeme na skupiny podle tzv. pracovních kvadrantů (Obrázek XV), ve kterých jsou schopny pracovat. Podle schopnosti pracovat v těchto kvadrantech jsou dynamometry voleny pro danou zkušebnu. Veškeré dynamometry jsou schopny vytvářet brzdňý moment v alespoň jednom směru rotace (1. nebo 2. kvadrant). Dnes se stále více využívá dynamometrů schopných pracovat ve všech čtyřech kvadrantech. Jelikož jsou vhodné i pro zkoušení převodových ústrojí, dokáží poskytnout točivý moment a lze s nimi přesněji určit mechanické ztráty. [17; 9]

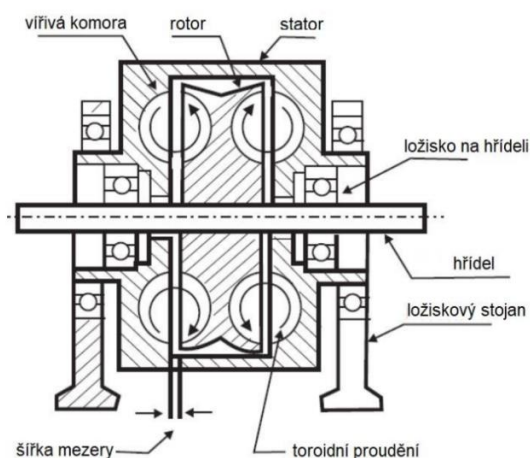


Obrázek XV – Kvadranty dynamometrů [37]

4.3.1. Pasivní dynamometry

Hydraulické dynamometry

Hydraulický dynamometr je v podstatě neúčinné čerpadlo, které absorbuje energii při čerpání tekutiny. Napájecí zařízení je připojeno k hřídeli vodní brzdě, ke kterému je připojeno oběžné kolo. Oběžný rotor se otáčí a pohybuje kapalinou přiváděnou k brzdě. Na rozdíl od běžného kapalinového čerpadla tekutina volně neteče. Místo toho musí proudit přes stacionární lopatky. Tyto stacionární lopatky brání pohybu vody a dělají čerpadlo dostatečně neefektivní, aby způsobilo velké ztráty energie. Ztráta energie z proudu je převedena zpět do vody ve formě tepla. Voda používaná jako pracovní tekutina musí být ochlazená nebo zlikvidována. Množství toku kapaliny k brzdě je řízeno ovládacím ventilem, který zvyšuje potenciál odporové zátěže a současně brání vodní brzdě v přehřátí. Voda se přívodem do kruhových komor (Obrázek XVI) rovnoměrně rozděluje a otvory ve statorových lopatkách proniká do vířivých komor. Po odebrání výkonu odtéká ohřátá voda z vířivých komor přes kruhové mezery mezi statorem a rotorem. [17; 9]



Obrázek XVI – Hydraulický dynamometr [18]

- **Hydraulické dynamometry s konstantním plněním** používají tenké plíšky vložené mezi stator a rotor napříč vířivou komorou, aby zamezili vzniku vířivého efektu v těchto komorách. Tyto plíšky mohou být vloženy pod různým úhlem, aby byla zajištěna možnost regulování odporu kladenému dynamometrem proti hřídeli. [17; 9]
- **Hydraulické dynamometry s proměnlivým plněním** pracují na základě kontroly množství vody v obalu dynamometru, které jsou ovlivňovány přívodem tekutiny k rotoru. Množství média ovlivňuje i míru odporu kladeného dynamometrem. Použití vypustních a plnicích ventilů zajišťuje způsob regulace množství náplně, což nahrazuje měnění tloušťky ocelových plíšků v případě dynamometrů s konstantní náplní. Při zvolení vysoké odporové síly dynamometru by v případě, že zařízení je v dobré kondici,

mohlo dojít až k zastavení motoru. To by mohlo zapříčinit poškození testovaného motoru nebo dynamometru. Pokud bychom dynamometru zadali vyšší odpor než výrobcem stanovený rozsah odporů, mohlo by na rotoru a na vířivých komorách statoru dojít ke kavitaci a následné erozi vnitřních komponent zařízení. Aby se předešlo těmto následkům, je potřebná regulace odporu dynamometru vůči motoru. Tento kontrolní mechanismus je hlavním rozdílem mezi brzdami se stálou náplní a brzdami s proměnlivou náplní. [17; 9]

Hydrostatické dynamometry

Hydrostatické dynamometry jsou konstrukčně založeny na kombinaci přímočarých hydraulických hydromotorů. Jeden s konstantním zdvihem a druhý má zdvih proměnný. Tento dynamometr se téměř nepoužívá a lze říci, že jediná výhoda může být spatřována pouze ve schopnosti dosáhnout skutečně plného momentu v nulových otáčkách. [17; 9]

4.3.2. Aktivní dynamometry

Elektrický dynamometr

Elektrické dynamometry přeměňují absorbovaný výkon na elektrickou energii, která je následně odvedena chladicím médiem jako energetické ztráty ve formě tepla. Jelikož se jedná o vysokonapěťové zařízení, je nutné, aby byly používány v prostorech, které nejsou vlhké, prašné a jsou vybaveny dostatečným prostorem pro chlazení. Elektrické dynamometry jsou zařízení, která pracují jako generátory a elektromotory s výkyvným uložením statoru. [17; 9]

Podle principu práce se dělí na:

- práškové
- vířivé
 - válcové (vířivé s přímým vodním chlazením)
 - kotoučové (vířivé s nepřímým vodním chlazením)
- indukční
 - jednosměrné
 - střídavé

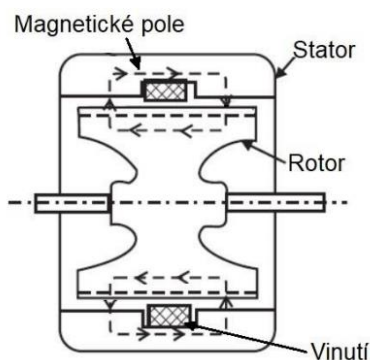
Elektromagnetické vířivé dynamometry

Také označované jako EC (Eddy Current). Jedná se o zařízení, která pro správný chod využívají elektromagnetickou indukci a vířivé proudy. Vznikem vířivých proudů dochází k vytvoření brzdného momentu, který se reguluje velikostí přivedeného proudu do budicí cívky, ta je uložena ve vodotěsném pouzdře ve statoru. Teplo, které vzniká při zatěžování, je odvedeno do chladicích komor. Dynamometry tohoto typu jsou relativně malých rozměrů a umožňují

vzdálené ovládání. Uložení statoru v ložiskách je výkyvné. Rotor je tvořen hřídelem, který je uložen na valivých ložiskách, a pólovým kotoučem. Pro připojení zkoušeného zařízení je na konci hřídele příruba. Chlazení je zajištěno kapalinou nebo vzduchem. [17; 9]

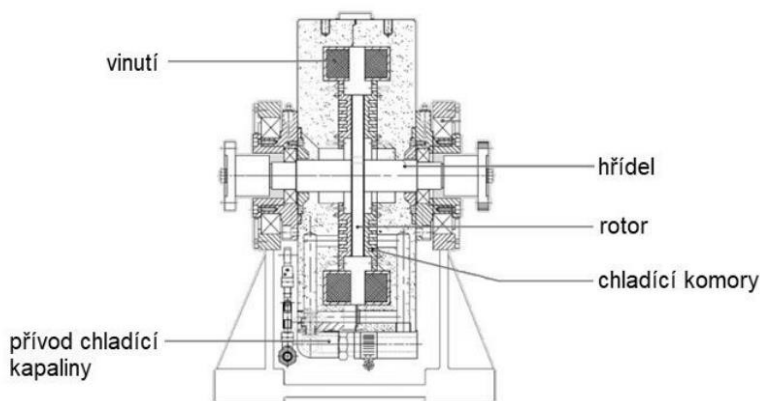
Dynamometry s vířivými proudy dále rozdělujeme na:

- **Vířivé s přímým vodním chlazením** - jde o méně používaný typ, kde je chladicí kapalina vedena do prostoru mezi rotorem a státorem (Obrázek XVII). Nevýhodou je zanášení vnitřního prostoru korozi, pokud se dynamometr delší dobu nepoužívá. Označovány jsou také jako vířivé dynamometry s válcovým rotorem. [17; 9]



Obrázek XVII – Dynamometr vířivý s přímým vodním chlazením [18]

- **Vířivé s nepřímým vodním chlazením** - při tomto typu chladicí kapalina protéká uzavřenými kanálky ve statoru (Obrázek XVIII), kde je vzdálenost mezi rotorem a státorem nejmenší. Konstrukce rotoru je kotoučového tvaru. Vířivé dynamometry patří v současnosti mezi nejpoužívanější typy pasivních dynamometrů. Mezi jejich výhody patří hlavně vysoká absorpční schopnost, dynamometr nemá kromě ložisek žádné jiné části podléhající opotřebení a elektrická kontrola umožňuje automatickou regulaci otáček. [17; 9]



Obrázek XVIII - Dynamometr vířivý s nepřímým vodním chlazením [19]

Práškový dynamometr

Je vlastně speciálním provedením dynamometru s vířivými proudy, protože je mu velmi podobný. Hlavní rozdíl je v tom, že do vzduchové mezery mezi rotorem a statorem je vnesen feromagnetický prášek, který působí na magnetické pole a zvyšuje tak koncentraci vířivých proudů, a tak i účinnost dynamometru. Tento typ dynamometru je vhodný pro velké momenty, ale na úkor nižších otáček kvůli jeho problematickému chlazení. [17; 9]

Indukční dynamometry

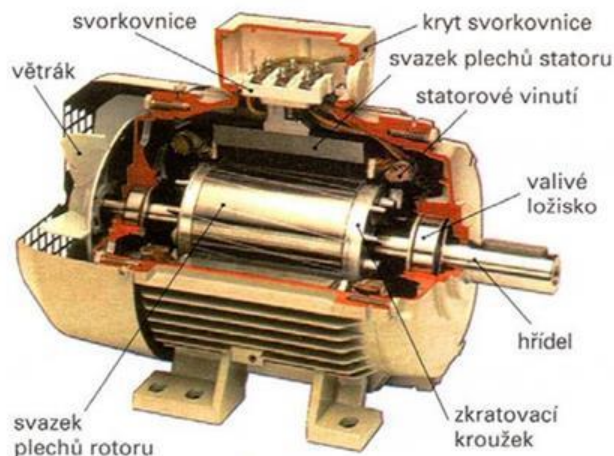
Tyto dynamometry jsou v podstatě elektromotory, které mohou pracovat jako generátory elektrického proudu nebo jako elektromotory střídavého nebo stejnosměrného proudu. Dynamometry menších výkonů se konstruují jako stejnosměrné stroje s cizím buzením s důrazem na možnost plynulé regulace otáček. Ta se realizuje nejčastěji změnou budicího proudu nebo změnou zátěžového rezistoru, ve kterém se mění elektrický proud na teplo. Velikost brzděného výkonu se může zjišťovat měřením elektrických veličin napětí a proudu v obvodu zátěže nebo měřením reakčního momentu, jako v případě absorpčních mechanických, hydraulických a vrtulových brzd. Dynamometry větších výkonů se konstruují jako třífázové stroje. [17; 9]

Stejnoseměrné elektrické dynamometry

V praxi označované také jako DC (Direct Current), jsou tvořeny stejnosměrným motorem, který tvoří jejich největší část a k jehož napájení slouží stejnosměrný proud. Tato zařízení jsou robustní a výhodou je jejich snadné ovládání, rychlá odezva a chlazení vzduchem (nevyžaduje se voda). K nevýhodám patří vysoká cena, vysoká setrvačnost a omezené otáčky. Také vyžadují vyšší nároky na údržbu. [17; 9]

Elektrické dynamometry se střídavým proudem

V praxi označované také jako AC (Alternating Current), jsou tvořeny třífázovým elektrickým motorem s napájením do statoru (Obrázek XIX). Otáčky motoru jsou řízeny pomocí změny frekvence střídavého proudu. Jejich výhodou je velmi nízká setrvačnost, velmi rychlá odezva a také se vyznačují nízkými nároky na údržbu díky použití třífázových motorů. K nevýhodám patří vyšší pořizovací cena. [17; 9]



Obrázek XIX – Asynchronní motor řez [20]

Kombinované dynamometry

Uplatňují se v případě velké různorodé množiny parametrů měřicích strojů. Nejčastěji se uplatňuje tandemová sestava hydraulické a elektrické brzdy pro dosažení univerzálního a ekonomického dynamometru. Úkolem hydraulické brzdy je, že odbrzdí hlavní část měřeného výkonu a elektrická brzda vypomáhá, popřípadě reguluje nebo i pohání při měření mechanických ztrát. [17; 9]

4.4. Další součásti konstrukce

Setrvačníky

Jedna z nejdůležitějších částí soustavy zkušebny je setrvačnick. Setrvačnick akumuluje energii motoru do kinetické energie rotujícího tělesa. Toto mechanické zařízení musí být navrženo tak, aby mělo dostatečně vysokou setrvačnost, z níž je odvozen čas zrychlení. Lze použít jeden, nebo více odpojitelých setrvačnicků k simulaci skutečné setrvačnosti vozidla a jeho pohonného ústrojí. U strojů, kde je setrvačnost vozidel simulována dynamometrem se setrvačnick nepoužívají. Uloženou energii lze přesně vypočítat. [9]

V případě setrvačnicků ve tvaru válce (11):

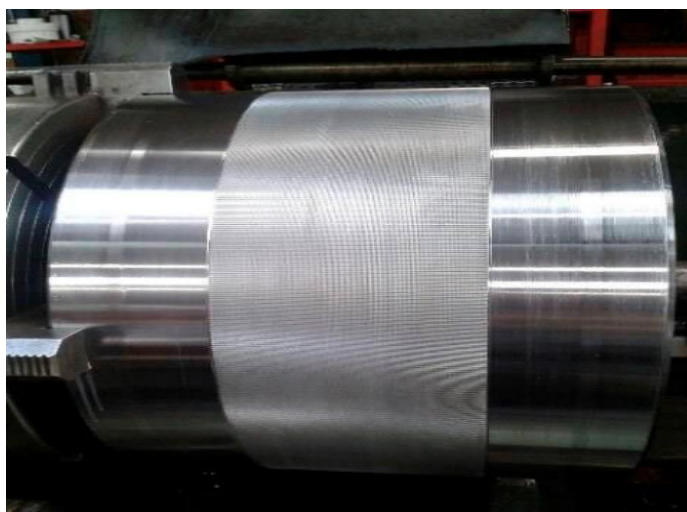
$$I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot R^2 \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

m [kg] – hmotnost, R [m] – poloměr setrvačnosti

Je důležité zabezpečení setrvačnicků takovým způsobem, aby bylo absolutně zabráněno kontaktu s pracovníkem, oděvem, kabely apod. Soupravy setrvačnicků u zkušebního zařízení by měly být namontovány a vyváženy s nejvyšší precizností. [9]

Válec

Návrh válce je klíčový. Válec je hlavní součástí simulované hmotnosti vozidla, jelikož maximální simulovaná hmotnost může být pokryta samotným válcem. Jsou vyráběny z vysoce kvalitní konstrukční nebo lité oceli. Jejich povrch je často upravený (hladký nebo rýhovaný) (Obrázek XX), aby bylo dosaženo požadované vlastnosti (korozivzdornost, požadovaná drsnost atd.) a zvýšila se styčná plocha mezi válcem a pneumatikou. Na válce je možné umístit desky nebo skořepinové elementy. Tyto elementy mají za účel simulovat různé silniční prvky a nerovnosti vozovky. Velmi důležité je statické a dynamické vyvážení válců. Kvalita vyvážení má přímý dopad na přesnost měřených výsledků. [10; 21]



Obrázek XX – Válec [22]

Variabilní geometrie válců

Mnoho zkušeben určených pro testování vozidel s více jak jednou poháněnou nápravou je navrženo tak, aby bylo možné měnit vzdálenost náprav a vyhovovala tak co nejvyššímu počtu vozidel. Standardní metoda konstrukce takové zkušebny je upevnění jednotky pro jednu nápravu na pevno a stejná druhá jednotka, která má být posuvná, je namontována na kolejnicích. Rozsah vzdálenosti mezi nápravami pro osobní vozidla je nejčastěji v rozmezí od 2 m až po 3,5 m, ale u konstrukcí užitkových vozidel je rozsah mnohem vyšší. Tento rozsah pohybu také určuje potřebný prostor pro umístění konstrukce. Pojezdový mechanismus se obvykle pohybuje pomocí dvou nebo více poháněných mechanismů trapézového šroubu, které jsou spojené se snímačem polohy a ovládacím zařízením. [9]

Manipulační a nouzové brzdy

Válce musí být možné uzamknout, aby bylo možné na ně najíždět a sjíždět vozidlem. Skládají se buďto z kotoučových brzd namontovaných na hřídelích válců, nebo z brzdových destiček působících na vnitřní povrch jednoho nebo obou válců. Za normálního provozu tyto brzdy musí mít dostatečný výkon, aby odolaly krouticím momentům spojeným s najížděním

vozidla na válce a případné nouzové zastavení válců. Jsou pneumaticky nebo hydraulicky poháněné a ovládány manuálními ovládacími prvky nebo bezpečnostním zařízením zkušebny (nouzové zastavení) (Obrázek XXI). [9]



Obrázek XXI – Manipulační brzda [23]

Ventilační a klimatizační systém

Ventilační a klimatizační systém zajišťuje udržení ideální teploty zkušebny (Obrázek XXII). Jeho úkolem je chladit vozidlo a dynamometr (v případě uložení dynamometru pod úroveň podlahy je nutné zajistit proudění vzduchu i v tomto prostoru), dodávat vzduch pro spalovací cyklus a odvádět vzniklé teplo. [10]



Obrázek XXII – Ventilační systém [24]

- **Přídavný ventilátor**

Důležitým zařízením válcové zkušebny je přídavný ventilátor. Primárním úkolem těchto zařízení je vytvářet reálné proudění vzduchu, které je potřebné pro chlazení motoru. Ventilátory cirkulují vzduch ze zkušebny a usměřňují ho na chladič vozidla.

System řízení je navržen tak, že zařízení kontroluje otáčky dynamometru a na základě rychlosti otáčení poskytuje požadované množství vzduchu. Problém při použití ventilátorů je ten, že při některých aplikacích (např. akustické měření) vzniká nežádoucí hluk, který snižuje přesnost měření. Jedním z řešení vzniklé situace je použití tzv. sklopného chladicího systému. Ten sestává z ventilátoru a chladicí jednotky, která je instalována pod zkušebnou a má automaticky řízené naklápění klapky umístěných před a za testovací plochou. Při některých aplikacích není možné využít chladicí zařízení i přesto, že může být během měření vypnuto. Pro tyto potřeby se využívá externí cirkulace oleje a chladicí kapaliny. [10]

- **Bodové chladiče**

Dalším zařízením jsou bodové chladiče, které se využívají při potřebě dochladit určitý komponent (např. brzdy, katalyzátor, baterie atd.), který není dostatečně chlazen. Mezi ně patří i chladicí ventilátory pneumatik. Jejich využití je např. při testování výkonného vozidla se zadním náhonem na jednoválcové zkušebně. Pokud je přední přídavný ventilátor relativně malý, tak je chlazení zadní nápravy neúčinné. Ventilátory pro pneumatiky mohou být součástí konstrukce válcového dynamometru nebo je lze umístit vedle kol. [10]

- **System odvodu výfukových plynů**

Při malých zkušebnách dochází k odvodu výfukových plynů díky velkému průtoku vzduchu vytvořeného ventilátorem. Pro velké zkušebny je nutné přidat ventilátorové odsavače výfukových plynů, které však při odsávání výfukových plynů odsávají i vzniklé teplo, které může tato zařízení poškodit. Pro zamezení poškození odsavačů je vhodné použít ventilátory větších výkonů spolu s hadicemi větších průměrů. Tím se horké plyny promíchají se studeným vzduchem a sníží se tak teplota nasávaných plynů. [10]

Chladicí systémy

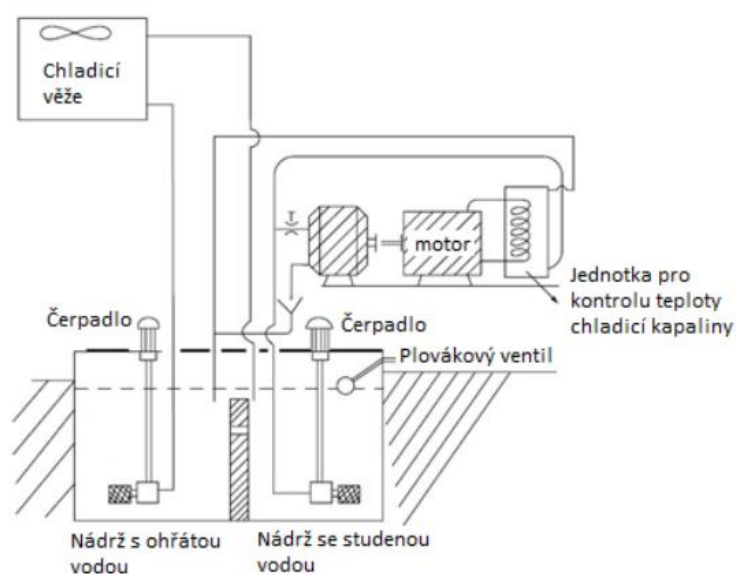
Chladicí systém testovací zkušebny s vodou chlazeným dynamometrem musí poskytovat vodu o vhodné kvalitě, teplotě, tlaku, umožňující dostatečný průtok a dostatečnou tepelnou kapacitu. [9]

Dělení vodních chladicích okruhů podle rostoucí složitosti:

- Přímé chladicí okruhy, kde je voda určená pro chlazení získávána přímo z vodovodní sítě. Voda, která projde chladicím okruhem, je odváděna do odpadu
- Otevřené vodní okruhy, v nichž se v určitých místech vyskytuje voda s volnou hladinou
- Uzavřené vodní okruhy, které se staly nejběžnějšími ve většině moderních zkušeben, protože umožňují kvalitní a rychlou regulaci vody před vstupem do chlazeného zařízení

- **Otevřené vodní okruhy**

Podstatné vlastnosti těchto systémů spočívají v tom, že akumulují vodu v nádrži ležící pod úrovní podlahy, ze které je čerpána do chladicí věže a výměníků tepla (Obrázek XXIII). Nádrž je obvykle rozdělena na horkou a studenou pomocí dělicí přepadové zdi, která nedosahuje výšky nádrže. Voda cirkuluje z chladné strany a odtéká zpět do horké strany. Když teplota systému dosáhne maxima regulace, je čerpána přes chladicí věž na chladnou stranu. Intenzita chlazení chladicí věže je řízena termostatem, který podle požadované výstupní teploty vody řídí rychlost otáček ventilátorů umístěných v chladicích věžích. Voda se z tohoto systému chlazení neztrácí pouze vlivem vypařování způsobené vysokými teplotami v systému, ale i úmyslným pomalým vypouštěním. Voda se ze systému pomalu vypouští z důvodu její recyklace a zabránění šíření nečistot, které by mohlo mít za následek šíření nebezpečných bakterií. [9]



Obrázek XXIII – Otevřený vodní okruh [9]

- **Uzavřené vodní okruhy**

V zásadě systém používá jedno nebo více čerpadel k vytlačování vody okruhem, kde sbírá teplo, které je poté rozptýleno (obvykle ve vzduchu) pomocí „chladicí věže“. Chladná voda se poté vrací přímo ke vstupu čerpadla. Je důležité, aby byl vzduch odváděn a udržován mimo systém a celé potrubí. Systém musí proto být vybaven prostředky k odvodu vzduchu. K dosažení správné cirkulace je třeba vyrovnat se s tepelně navozenými změnami objemu systému. Tudiž musí uzavřený systém být vybaven expanzní nádobou. Uzavřené okruhy jsou také často vyplněny nemrznoucí směsí vody pro provoz v nízkých teplotách. [9]

Uchycení vozidla

Náhlé brzdění vozidla by mohlo způsobit, že se bude snažit seskočit z válců, proto musí být zkoušené vozidlo přiměřeně zadrženo proti pohybu dopředu, dozadu a proti otáčení nebo bočním pohybům způsobeným pootočením kola vůči ose válcové soupravy. Lépe se zadržují vozidla umístěna na dvojválcové zkušebně než na jednoválcové, jelikož má vozidlo styčný bod na zadní i přední straně kola. [2; 25]

Existuje mnoho různých konstrukcí zádržných zařízení vozidel. Od použití spojovacích tyčí, automatických výsuvných zarážek, objímek kol (Obrázek XXIV), po jednoduché připevnění pomocí řetězu nebo popruhu. Kvůli fixačním bodům musí být podlaha zkušebny opatřena silnými kotevními body, nejlépe výškově nastavitelnými. Výškové nastavení slouží k tomu, aby nedocházelo k příliš vysokému přenosu svislé síly na válce, která zvyšuje valivý odpor. [25]



Obrázek XXIV – Uchycení vozidla [25]

Bezpečnost a krycí desky

Povozní bezpečnosti je primárně dosaženo omezením přístupu člověka ke stroji pomocí krytů (většinou ocelové desky). Přístup do jámy by měl být omezený a propojený se systémem nouzového zastavení. Malý exponovaný segment válců zkušebny, na kterém se pneumatiky otáčejí, patří mezi největší nebezpečí, proto by měly být ze stran válců namontovány kryty pro minimalizaci možností kontaktu člověka a případných těles s rotujícími komponenty zkušebny. [9]

Potlačení požáru

Riziko požáru vozidla během jízdy na válcové zkušebně je poměrně vysoké, protože chlazení, i s přidavnými ventilátory, bude pravděpodobně menší, než nápoem vzduchu při

provozu na pozemních komunikacích. Zvláště výfukové systémy mohou být velice horké a mohou zapálit například palivové výpary, ať už je jejich zdroj jakýkoli. [9]

Všechny testovací zkušebny by měly být vybaveny ručními nebo ručně ovládanými hasicími přístroji a personál by měl být vyškolen v jejich používání. Moderní trend směřuje k systémům vodní mlhy, kdy jsou rozprašovací trysky namontované pod vozidlem, tedy v blízkosti ložiska většiny potencionálních požárů. [9]

Spojení dynamometru

Rotující hřídele lze spojit několika způsoby. Vhodnou volbou spojky je zaručena dostatečná tuhost a přesnost měřicího zařízení. K dostatečnému tlumení kmitů slouží nejen správná volba materiálu a průřezu hřídele, ale také vhodný typ spojky, která má výbornou schopnost kmity tlumit. [17]

Spojky mohou být trvalé (příruby) či odpojitelné, kdy spojka může spojovat nebo odpojovat dva hřídele podle aplikace. Spojky odpojitelné jsou nákladnější. (9)

- **Pružné příruby**

Pružné spojky (Obrázek XXV-XXVI) s dostatečnou tuhostí, které umožní drobnou nesouosost a axiální posun. Mají vysokou přenosovou kapacitu točivého momentu a snadno se montují. Částečně také pohlcují vibrace z jednoho hřídele na druhý.

- **Polymerní příruby**

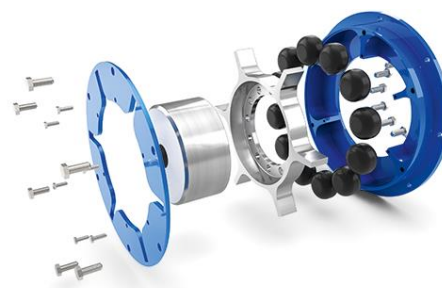
Vyráběné z polymerů, hlavně z pružnějších elastomerů. Dnes velmi populární volba, jelikož kvalita elastomerů dosáhla vysoké úrovně. Mají tuhost srovnatelnou s běžně užívanými ocelovými materiály, ale mají mnohem vyšší pružnost.

- **Odpojitelné spojky**

Jedná se většinou o elektricky spínané třecí spojky. Používají se ve zkušebnách, kde je při zkoušce žádané odpojení dynamometru (např. NHV).



Obrázek XXV – Pružná příruha [35]



Obrázek XXVI – Pružná příruha 2 [36]

- **Ozubené spojení**

Nejčastějším přenosem sil z válců je pomocí převodovek či ozubenými koly s řemenem/řetězem (Obrázek XXVII).

Obrázek XXVII – Řemenový pohon [26]



- **Kardanová hřídel**

Hlavním důvodem pro použití kardanové hřídele je nesouosost spojovaných ústrojí. Zásadní nevýhoda kardanové hřídele je, že nelze použít pro vysoké otáčky kvůli křížovému kloubu, který se na hřídeli nachází.(9)

Elektronika

Elektrické rozvody testovacího zařízení poskytují energii a signály pro měření parametrů vozidla a ovládaní prvků zkušebny. Jejich instalace je v kompetenci elektrotechnika, jehož výkresy budou použity jako primární dokumentace při uvádění systému do provozu nebo při jakémkoli následném hledání poruchy. Zkušební zařízení jsou obzvláště citlivá na zkreslení signálu v důsledku různých forem elektrického šumu. Je tedy nutné vyhnout se tomuto rušení signálu a prostojům zkušeben v důsledku chyb přístrojů. Proto musí být věnována podrobná pozornost odrušení systému. Také umístění komponentů je zásadní zejména tam, kde je mnoho elektrických zařízení umístěno společně a každý generuje teplo. [9]

- **Snímače a senzory**

Rychlost a točivý moment motoru je měřen snímači na dynamometru. K měření síly jsou používány tenzometrické snímače nebo snímače měřící výchylku, která je převedena na číselnou hodnotu. Na měření zátěže se obecně používá regulátor. Snímač bývá umístěn tak, aby síla byla kolmá k ose hřídele. Na snímání otáček setrvačnicku může být použit optický snímač, ultrazvukový snímač či magnetický snímač. (10)

- **Systémy snímající polohu vozidla**

Před začátkem spuštění samotného testu je nutné vozidlo správně umístit na válce, aby byla dosažena co nejlepší styčná plocha pneumatik s válci. Pro tyto účely bývají válcové zkušebny vybaveny zařízeními pro centrování a polohování vozidla. Jsou používány zejména při robotickém ovládaní vozidla. [9]

Tlumení vibrací

Nežádoucí vibrace způsobují poruchy strojů v důsledku únavového opotřebení různých částí stroje, spolu s nadměrným hlukem. Proto musí být vibrace pohlcovány. Toho se dá docílit například použitím antivibračních a elastických uložení rámu. Zdi zkušebny by měly být

konstruovány tak, aby dostatečně tlumily hluk, který při zkouškách může dosahovat vysokých hodnot. [9]

Rampa

Rampa slouží k najetí vozidla na zkušební plošinu. Je pro konstrukci zásadní, proto by měla být navržena správným způsobem. Při navrhování rampy zvažujeme rozvor a minimální světlostou výšku vozidla, aby se minimalizovala šance, že se karoserií dotkne části rampy. [9]

Ložiska

Používají se nejčastěji samostavitelné stojaté ložiskové jednotky s kuličkovými ložisky, v případě požadavku nižší hlučnosti hydrodynamické. Ložisko musí být schopné zvládnout vychýlení hřídele a velmi vysokou provozní teplotu. [9; 21]

4.5. Běžné použití zkušeben

Zkušebny brzd

Běžně instalované v servisech a stanicích STK. Bývají instalovány v mělké jámě. Skládají se nejčastěji ze dvou párů válců na nápravě kvůli zjišťování diferencí brzdného účinku na nápravě. Válce jsou obvykle o nižším průměru, s upraveným povrchem pro vysoký koeficient přilnavosti k pneumatice vozidla. Jsou poháněny elektrickými dynamometry. [7]

Zkušebny pro úpravny vozidel a servisy

Další typické využití je pro údržbu a úpravu vozidel. Aby bylo možné uspokojit tento trh, řada výrobců navrhuje kompletní jednotky založené na válcích malého průměru, což vyžaduje minimální hloubku jámy. Schopnost simulace silničního zatížení na této úrovni je obvykle nižší. Bývají s výběrem jednoho nebo dvou setrvačnicků a poměrně jednoduchého řídicího systému.

Zkušebny pro testování prototypů

Zkušební jednotky pro tento účel sahají od jednoduchých po artikulované vícenápravové (Obrázek XXVIII). Konstrukce zkušebny musí minimalizovat možnost vniknutí poškozené části vozidla do mechanismu, kde by mohlo dojít k poškození jednotky.



Obrázek XXVIII – Laboratoř k testování prototypů [27]

Zkušebny klimatické

Tento druh zkušeben je pro vývojové práce spojené s různými aspekty provozu v extrémních klimatických podmínkách. Jsou zastavené v těsné klimatické komoře. Typické rozsahy teplot se pohybují okolo $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zkoumají se například jízdní vlastnosti, startování za studena, tuhnutí paliva, funkce těsnění, klimatizace, chlazení a všudypřítomné téma emisí. Nevyžadují speciální konstrukce válcových jednotek, pouze preventivní opatření komponentů proti kondenzaci a teplotám. [9]

Zkušebny emisní

Velké uplatnění mají válcové zkušebny při měření emisí výfukových plynů. Při těchto měřeních musí testované vozidlo absolvovat jízdní cykly. Při emisních testech se aktuálně využívá jízdní cyklus WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure = Celosvětově harmonizovaná testovací procedura). Zkušebny bývají automatizované. K udržení podmínek zkušebního prostoru a nasávaného vzduchu v rámci specifických tolerancí lze zajistit systémy klimatizačních jednotek až po plně klimatizované komory pro zajištění opakovatelných zkušebních podmínek. Ke splnění certifikace je nutné, aby testovací zařízení splňovalo všechny zákonné požadavky. [28]

Zkušebny pro akumulaci najetých kilometrů

Kvůli finanční, časové a fyzické zátěži pro akumulaci kilometrů na polygonech nebo na veřejné komunikaci, byly vyvinuty speciální systémy válcové zkušebny. Za účelem úplné automatizace procesu je testovací vozidlo obvykle vybaveno robotem. Na světovém trhu je k dispozici široká škála těchto zařízení. Pro tuto konkrétní aplikaci musí být hlavním hlediskem spolehlivost. Vzhledem ke zjevným problémům s větráním takového zkušebny bývá zařízení

umístěno venku, pod jednoduchou střechou. Protože zařízení pro akumulaci najetých kilometrů obvykle běží 24 hodin denně, musí být vhodně akusticky odstíněné.

Zkušebny speciální

- **Hluk, vibrace a drsnost (NVH) – kvalita jízdního komfortu**

Kritickým požadavkem je, aby válcová zkušebna u těchto aplikací vytvářela minimální možný hluk. Obvyklá specifikace vyžaduje měření hladiny hluku pomocí mikrofону, umístěného 1 m nad a 1 m od středové osy válců (Obrázek XXIX). Typická požadovaná hladina hluku vytvářeného zkušebnou je 50 dBA při rychlosti vozidla 100 km/h. Aby se snížil hluk dynamometru a jeho pohonného systému, je obvykle umístěn ve vlastním zvukotěsném prostoru a spojený s válci pomocí dlouhého kardanového hřídele. Běžně se pro snížení hlučnosti používají i hydrodynamická ložiska. Hladký povrch a pečlivé zakrytí mohou snížit hluk vytvářený válcem. Podlaha nad jámou nebo opláštění nadzemní jednotky dynamometru (obvykle z ocelového plechu) musí být pečlivě navrženo a vhodně tlumeno, aby se zabránilo rezonančním vibracím. [29]



Obrázek XXIX - NVH zkušebna [30]

- **Zkušebny elektromagnetické kompatibility (EMC)**

Celosvětové bezpečnostní normy obsahují předpisy týkající se přijatelné úrovně elektromagnetického rušení produkovaného silničními vozidly a zranitelnosti elektronických systémů vozidla na silné paprsky elektromagnetické energie, které mohou být například vytvářeny systémy civilního i vojenského letectví. Pro EMC testy je válcová zkušebna namontována na velkém otočném stole, který lze otáčet o 360 °. [31]

5. Ukázka měření

5.1. Metodika měření motoru metodou volné akcelerace

Volná akcelerace je metodou měření výkonu při neustáleném režimu. Disponuje vysokou opakovatelností, protože má krátké trvání a motor není zatěžován jako při měření, která se uskutečňují měřením na dynamometru. Motor je z volnoběžných otáček prudce urychlen, plným otevřením klapky či jiným ovládacím prvkem do maximálních otáček. Přitom je měřeno úhlové zrychlení (v našem případě otáčkami z cívky) a pomocí známého momentu setrvačnosti motoru zjistíme točivý moment podle vztahu (5). Měření může být prováděno i při deceleraci motoru. Problémem tohoto měření je zjišťování hodnoty momentu setrvačnosti veškerých pohybujících se součástí motoru. Někteří výrobci udávají moment setrvačnosti svých motorů, ale pokud je potřeba zjistit moment setrvačnosti rotujících částí vozidla, lze jej určit. A to například měřením síly potřebné k rotaci motoru za stálých otáček dynamometrem nebo doběhem motoru s přidavným setrvačником se známým momentem setrvačnosti a použitím vztahu [6]:

(12)

$$I = I_p \cdot \frac{1}{\varepsilon - \varepsilon_p} [kg \cdot m^2]$$

$I [kg \cdot m^2]$ - moment setrvačnosti, $I_p [kg \cdot m^2]$ - moment setrvačnosti přidavného setrvačnicku
 $\varepsilon_p [rad \cdot s^{-2}]$ - úhlové zrychlení s přidavným setrvačником, $\varepsilon [rad \cdot s^{-2}]$ úhlové zrychlení

Tento způsob měření ale není vhodný pro veškeré typy motorů. Zejména nevhodné jsou pro motory přepínované turbodmychadlem s proměnlivým sáním. U těchto motorů je výkon velmi závislý na množství a teplotě spalovacích plynů (pro operaci turbodmychadla), zatížení a délce celé cesty výfukových a sacích plynů [6].

5.2. Měření motoru metodou volné akcelerace motoru

Samotná část měření proběhla v měřicí hale katedry jakosti a spolehlivosti strojů. Měřen byl konkrétně motor 1.6 MPI AEE vozu Škoda Felicia (Obrázek XXX-XXIV).



Obrázek XXXI – Měření [Vlastní zdroje]



Obrázek XXX – Měření 2

Motor byl před měřením ohřát na provozní teplotu, poté se připojilo zařízení na cívku zapalování, snímající impulsy zapalování a tím otáčky motoru. Dále se měřicí zařízení připojilo k 12 V akumulátoru, který sloužil k napájení zařízení. V měřicím softwaru se zvolil typ automobilu, typ měření a moment setrvačnosti měřeného motoru. Poté se v softwaru zvolilo měření výkonu a při plném otevření škrticí klapky se otáčky motoru zvýšili z volnoběžných až na maximální. Zařízení přepočítávalo úhlové zrychlení a úhlovou rychlost ze změn otáček motoru a pomocí vztahu (5) určilo točivý moment a výkon.



Obrázek XXXII - Měření 3



Obrázek XXXIII – Měření 4



Obrázek XXXIV - Měření 5

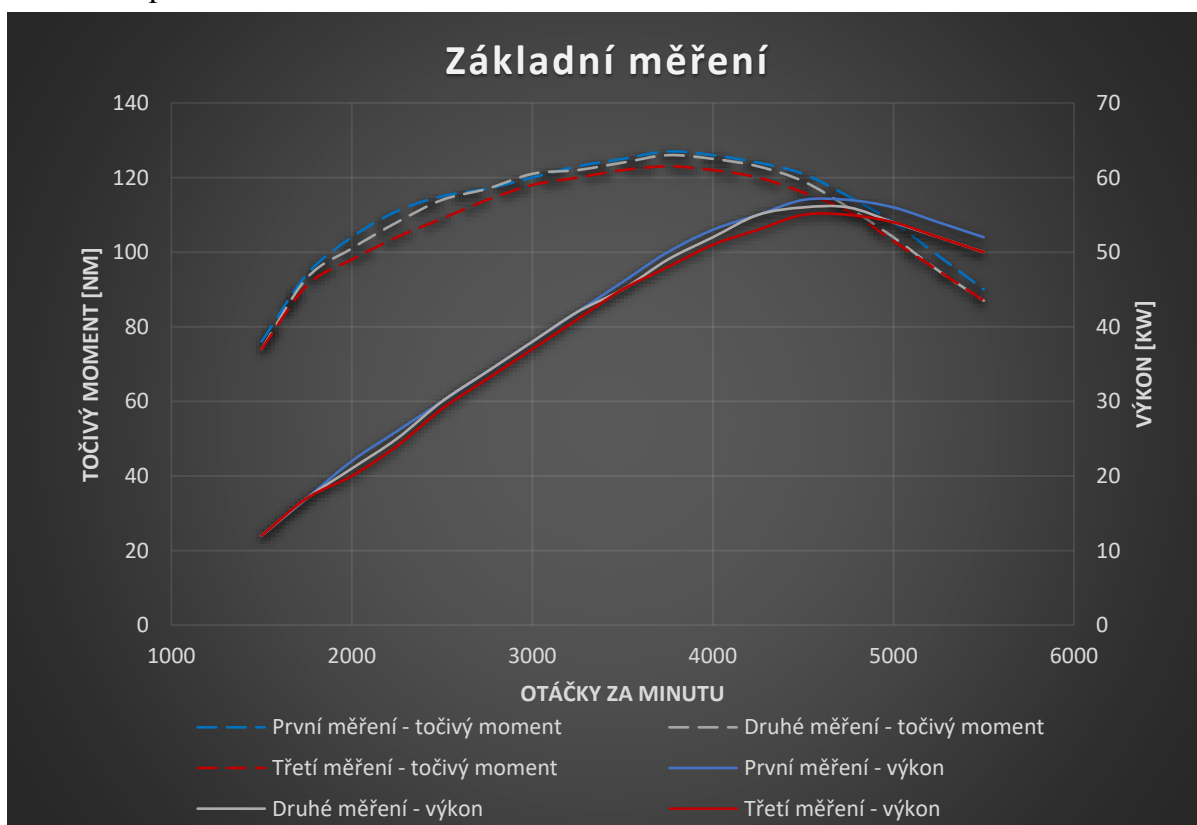
Z důvodu možnosti naměření rozdílných hodnot bylo základní měření opakováno třikrát. Porovnáním hodnot z jednotlivých měření mezi sebou jsou vidět drobné rozdíly (circa 2 %).

Následovalo měření se simulací poruchy motoru a vlivu na charakteristiku výkonu motoru. Celkem se provedlo osm měření a to:

- základní měření (3x)
- odpojení válců (1 a 2 ze vstřikovače)
- odpojení kolena sání
- odpojení lambda sondy
- odpojení čidla tlaku a teploty sání.

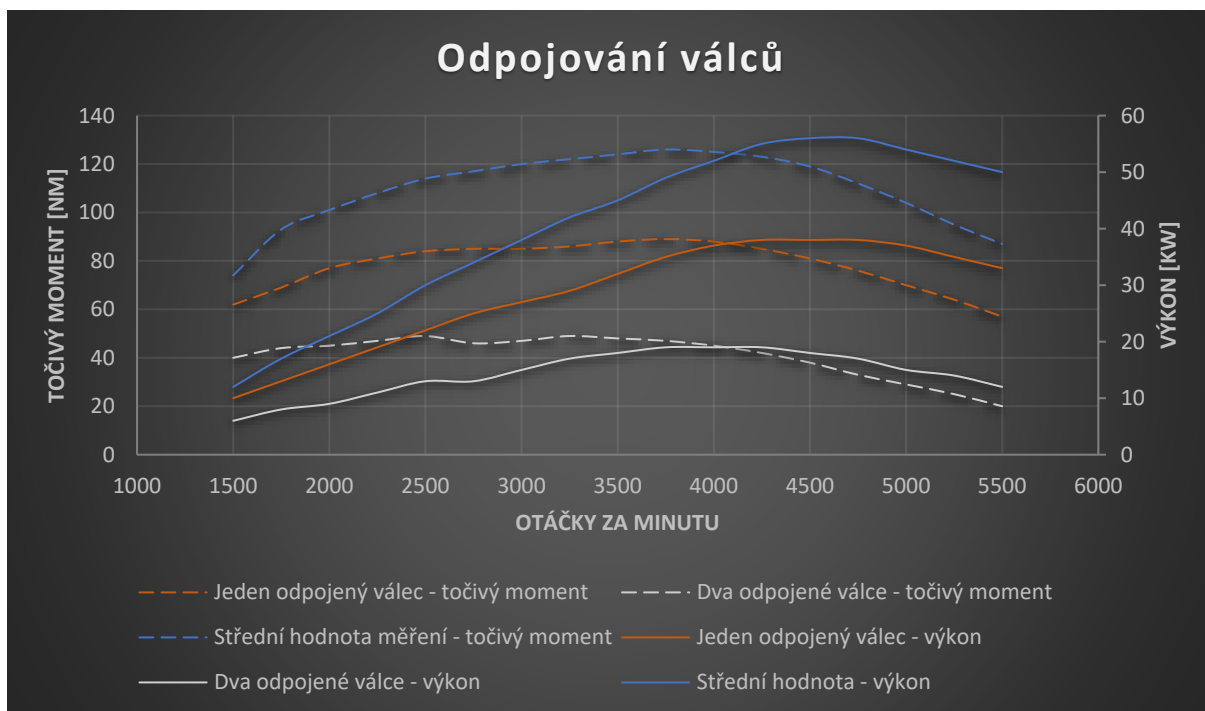
5.3. Výsledky měření metodou volné akcelerace

Oficiální výkonnostní parametry motoru 1.6 MPI jsou 55 kW při 4500 otáčkách za minutu a 137 Nm při 3500 otáčkách za minutu. Průměrné naměřené hodnoty na měřeném motoru jsou 56 kW při 3500 otáčkách za minutu (1,8 % odchylka od oficiálních hodnot) (Graf 1). Ovšem točivý moment byl jen 126 Nm při 3750 otáčkách za minutu, což je 8,4 % odchylka momentu. Bohužel jsou k dispozici jen oficiální informace o maximálních hodnotách a není tak možné porovnat celou charakteristiku.



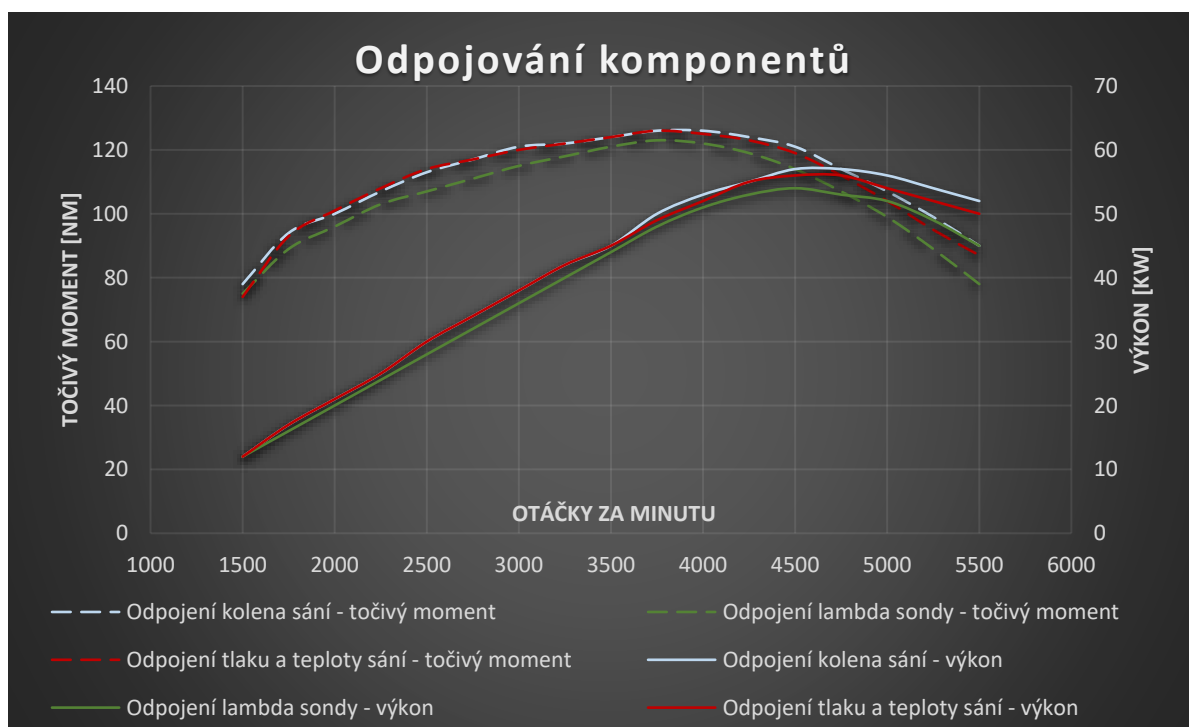
Graf 1 – Vlastní zdroj

Odpojením válců (graf 2) došlo k výraznému poklesu parametrů v celém spektru otáček. Při odpojeném jednom válci o průměrně 34 % v celém spektru otáček, při odpojených dvou válcích je tato hodnota bezmála trojnásobná a to 90 %.



Graf 2

Při měření zahrnující odpojená čidla v sání a kolena se vzduchovým filtrem nedošlo k významným změnám charakteristiky motoru, proto není v grafu základní měření (graf 3). Odpojením lambda sondy (graf 3) nastal znatelný pokles parametrů, ovšem jen ve vyšších otáčkách motoru (průměrně o 12 % od 4500 otáček od běžného režimu).



Graf 3

Pokles točivého momentu při základním měření oproti oficiálním hodnotám je pravděpodobně zapříčiněn špatným nastavením předstihu zapalování, pootočením rozdělovače, což by mohlo odpovídat i lehce vyšším hodnotám výkonu či opotřebením komponentů motoru.

6. Závěr

V úvodu této práce byly stručně popsány metody zkoušení silničních vozidel. Poté se práce podrobněji zaměřila na válcové zkušebny, jejich využití, základní metody měření a popsání sil a odporů, které je možné na zkušebně simulovat či měřit.

Na tuto kapitolu navazuje bližší popis rozdělení konstrukcí válcových zkušeben podle jejich konstrukce a způsobu měření parametrů vozidel. Volba konstrukcí není jednoduchá, jelikož má každá své výhody i nevýhody. Počínaje přesností měření, zastavěnou plochou či z hlediska ekonomického. Nejvíce se tato práce zaměřila na principy konstrukcí jednotlivých typů zkušeben, jelikož každý typ může být navrhnout a konstruován několika způsoby. Kvůli využívání dynamometrů u absorpčních zkušeben byla také část práce zaměřena na podrobnější popis dynamometrů, z nichž jsou nejpoužívanější tři: hydraulický, vířivý a elektrický. Dále jsou popsány principy a základní požadavky na jednotlivé základní komponenty válcové zkušebny jako jsou válce, chladičové systémy, kotvicí zařízení apod. Ke konci této kapitoly jsou zmíněny typická využití válcových zkušeben v praxi.

Poslední část práce se zabývá popisem měření výkonových parametrů akcelerační metodou u motoru 1.6 MPI vozu Škoda Felicia. Nejprve proběhla tři základní měření z důvodů možnosti nepřesnosti měření. Poté jsme postupně simulovali závady odpojením komponentů a prováděli dílčí měření výkonu. Pomocí naměřených hodnot byl vypracován graf zobrazující otáčkovou charakteristiku motoru při jednotlivých měřeních. Také proběhlo porovnání charakteristik mezi sebou. Bylo zjištěno, že motor je v dobrém stavu s minimální ztrátou výkonu opotřebením. Také, že porucha čidla sání, případně kolena sání, měla minimální vliv na chod motoru. Ovšem porucha lambda sondy či palivového systému má na otáčkovou charakteristiku zásadní vliv, a to hlavně ve vyšším spektru otáček.

Válcové zkušebny jsou nepostradatelnou součástí vývoje a diagnostiky vozidel. Největší pozornost získávají při konstrukci moderních zkušeben elektromotorické jednoválcové dynamometry a to kvůli jejich vysoké přesnosti, možnosti řízení, pohonu a potřeby simulovat zatížení jednotlivých kol. Jejich nevýhodou je vysoká cena a vyšší rozměry.

7. Seznam zdrojů

-
- [1] PANÁČEK, Vladimír. *Zkoušení vozidel*. 1. Brno: Ústav soudního inženýrství, 2012. ISBN 978-80-214-4569-7.
-
- [2] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel: výkon vozidla, brzděné vlastnosti, převodová ústrojí, řízení, geometrie kol, tlumiče a pružiny, říditelnost a ovladatelnost, životnostní zkoušky, motor, zapalování, elektronické systémy*. 2. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2005. ISBN 80-239-3717-0.
-
- [3] Jízdní zkouška. In: <https://hips.hearstapps.com/> [online]. [cit. 2021-05-01].
-
- [4] ČUPERA, Jiří a Pavel ŠTĚRBA. *Automobily*. 1. vyd. Brno: Avid, 2007. ISBN 9788090367197.
-
- [5] ŠTĚRBA, Pavel, Jiří ČUPERA a Adam POLCAR. *Automobily*. 1. vydání. Brno: Avid, s. r. o., 2011. ISBN 8087143191.
-
- [6] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
-
- [7] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
-
- [8] Jízdní odpory. In: <https://slideplayer.cz> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11484877/>
-
- [9] MARYR, A.J. a M.A. PLINT. *Engine Testing Theory and Practice*. 3. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2.
-
- [10] DÜSER, Tobias. *Fahrzeugrollenprüfstände*. 1. Verlag: Süddeutscher Verlag, 2011. ISBN 978-1- 4771-2008-8.
-
- [11] Monoválcové a dvouválcové jednotky. In: [Http://www.soft-engine.org](http://www.soft-engine.org) [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: http://www.soft-engine.org/newsletters/inglese/pagine_di_appoggio/newsletter_pagina_appoggio_10-09-2014_01.htm
-
- [12] Bezválcová zkušebna. In: <https://www.tdi-plc.com/> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.tdi-plc.com/wp-content/uploads/2013/07/IMG_5078small.jpg
-
- [13] Setrvačná zkušebna. In: <https://images.squarespace-cdn.com> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5579b0dbe4b00a23147191f5/1562332585110-27202QLRF3XZ1NG9LYG1/ke17ZwdGBToddI8pDm48kPTrHXgsMrSIMwe6YW3w1AZ7gQa3H78H3Y0txjaiv_ofDoOvxcdMmMKkDsyUqMSsMWxHk725yiiHCCLfrh8O1z4YTzHvnKhyp6Da-NYroOW3ZGjoBKy3azqku80C78910k5fwC0WRNFJBIXiBeNI5fKTrY37saUR
-

-
- wPBw8fO2esROAxn-
RKSrlQamL27g22X2A/web+%283%29.jpg?format=2500w
-
- [14] Setrvačná zkušebna 2. In: <https://images.squarespace-cdn.com> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5579b0dbe4b00a23147191f5/1562336029453-4TZAZ9C3JYD0GQYC9GDJ/ke17ZwdGBToddI8pDm48kPTrHXgsMrSIMwe6YW3w1AZ7gQa3H78H3Y0txjaiv_ofDoOvxcdMmMKkDsyUqMSsMWxHk725yiiHCCLfrh8O1z4YTzHvnKhyp6Da-NYroOW3ZGjoBKy3azqku80C78910k5fwC0WRNFJBIXiBeNI5fKTrY37saURwPBw8fO2esROAxn-RKSrlQamL27g22X2A/IMG_20190705_143208.jpg?format=2500w
-
- [15] Absorpční zkušebna. In: [Http://www.mjpdyno.com](http://www.mjpdyno.com) [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <http://www.mjpdyno.com/2200.htm>
-
- [16] Tenzometrická příruba a čepové uložení. In: <https://web2.mendelu.cz> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/prostud.htm>
-
- [17] KILLEDAR, Jyotindra S. *Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing*. 1. Columbus: Xlibris US, 2012. ISBN 978-1- 4771-2008-8.
-
- [18] Hydraulický a vířivý dynamometr. In: [Http://mightymech.rf.gd](http://mightymech.rf.gd) [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <http://mightymech.rf.gd/2018/11/13/dynamometer-introduction-and-types/?i=1>
-
- [19] Dynamometr vířivý s nepřímým vodním chlazením. In: <https://eddycurrentdynamometer.files.wordpress.com/> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://eddycurrentdynamometer.files.wordpress.com/2019/04/image.png>
-
- [20] Asynchronní motor. In: <https://slideplayer.cz> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/amp/2283941/>
-
- [21] SOBOTA, Matej. *Návrh funkčního modelu válcového dynamometru* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=192005. Diplomová práce. VUTBR.
-
- [22] Válec. In: <https://www.sportdevices.com> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://www.sportdevices.com/roller.php>
-
- [23] Brzda manipulační. In: <https://www.researchgate.net> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Brake-assembly-unit-of-the-Inertia-dynamometer_fig6_260269440
-
- [24] Ventilační systém. In: <https://icat.in> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://icat.in/testlabs/emission-test-lab>
-

-
- [25] BAJGAR, Jan. *Zádržný systém na dynamometr* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2021-04-26]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/117565/BAJ0045_FS_N%202301_3909T001_40_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=n. Diplomová práce. VŠB.
-
- [26] Pohon řemenů. In: <https://vtechdyno.eu> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://vtechdyno.eu/dynoblog/id-4wd-dynamometer-with-linked-axles-axle-synchronization-is-that-good.html>
-
- [27] Prototypová laboratoř. In: <https://blogs.sw.siemens.com> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://blogs.sw.siemens.com/thought-leadership/2019/04/25/vehicle-performance-simulation-and-testing-for-better-design/>
-
- [28] AVL Emission Test Systems for Vehicle Emission Testing. AVL [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www.avl.com/emission-certification/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/avl-emission-test-systems-for-vehicle-emission-testing
-
- [29] Noise Vibration Harshness (NVH) Test System. AVL [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: https://www.avl.com/engine-development/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/noise-vibration-harshness-nvh-test-system
-
- [30] NVH Zkušebna. <https://news.europawire.eu> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://news.europawire.eu/bosch-engineering-opens-new-acoustics-test-center-in-abstatt-to-improve-nvh-noise-vibration-harshness-in-vehicle-acoustics-0192871/eu-press-release/2019/04/12/14/30/55/72741/>
-
- [31] Electromagnetic Compatibility (EMC) Test System. AVL [online]. [cit. 2021-04-27]. Dostupné z: <https://www.avl.com/-/electromagnetic-compatibility-emc-test-system>
-
- [32] Laboratorní zkouška. In: <https://performancedrive.com.au/> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://performancedrive.com.au/wp-content/uploads/2018/09/2019-BMW-3-Series-prototype-lab-test-750x471.jpg>
-
- [33] Válcová zkušebna. In: <https://www.fev.com> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://www.fev.com/typo3temp/_processed_/csm_FEV_Rollenpruefzentrum_Alsdorf_2_01_d2b418d94d.jpg
-
- [34] Čtyřválcové zkušebny. In: <https://dynoinnovations.com.au> [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://dynoinnovations.com.au/wp-content/uploads/2019/08/67212494_328981208006122_1504141274121240576_n.jpg
-

-
- [35] Pružná příruba 1. In: *Http://www.reich-kupplungen.cn* [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <http://www.reich-kupplungen.cn/products/highly-flexible-couplings/tok-coupling-systems>
-
- [36] Pružná příruba 2. In: *Https://voith.com* [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: <https://voith.com/uk-en/highly-flexible-couplings.html>
-
- [37] Kvadranty dynamomerů. In: *Https://theses.cz* [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: https://theses.cz/id/n1671v/zaverecna_prace.pdf
-

8. Seznam rovníč

Rovníč_(1).....	6
Rovníč_(2).....	6
Rovníč_(3).....	6
Rovníč_(4).....	7
Rovníč_(5).....	7
Rovníč_(6).....	8
Rovníč_(7).....	9
Rovníč_(8).....	9
Rovníč_(9).....	10
Rovníč_(10).....	10
Rovníč_(11).....	15
Rovníč_(12).....	35

9. Seznam obrázků

Obrázek I - Jízdní zkouška [3]	3
Obrázek II – Laboratorní zkouška [32].....	4
Obrázek III – Válcová zkušebna [33]	5
Obrázek IV – Jízdní odpory [8]	8
Obrázek V – Konstrukce zkušeben [4]	12
Obrázek VI - Rozdělení podle počtu válců zkušeben [11]	13
Obrázek VII – Zkušebna s dvěma sety válců na nápravu [34]	14
Obrázek VIII – Bezválcová zkušebna [12]	14
Obrázek IX – Setrvačná zkušebna [13] Obrázek X - Setrvačná zkušebna 2 [14]	15
Obrázek XI – Absorpční zkušebna [15].....	16
Obrázek XII – Rozdělení podle počtu dynamometrů [10].....	17
Obrázek XIII – Čepové uložení dynamometru [9]	18
Obrázek XIV – Tenzometrická příruba [16].....	18
Obrázek XV – Kvadranty dynamometrů [37].....	19
Obrázek XVI – Hydraulický dynamometr [18]	20
Obrázek XVII – Dynamometr vířivý s přímým vodním chlazením [18]	22
Obrázek XVIII - Dynamometr vířivý s nepřímým vodním chlazením [19].....	22
Obrázek XIX – Asynchronní motor řez [20]	24
Obrázek XX – Válec [22]	25
Obrázek XXI – Manipulační brzda [23]	26
Obrázek XXII – Ventilační systém [24]	26
Obrázek XXIII – Otevřený vodní okruh [9]	28
Obrázek XXIV – Uchycení vozidla [25]	29
Obrázek XXV – Pružná příruba [35]	30
Obrázek XXVI – Pružná příruba 2 [36].....	30
Obrázek XXVII – Řemenový pohon [26].....	31
Obrázek XXVIII – Laboratoř k testování prototypů [27].....	33
Obrázek XXIX - NVH zkušebna [30]	34
Obrázek XXX – Měření [Vlastní zdroje].....	36
Obrázek XXXI – Měření 2	36
Obrázek XXXII - Měření 3	36
Obrázek XXXIII – Měření 4.....	36
Obrázek XXXIV - Měření 5	36

10. Seznam grafů

Graf 1	37
Graf 2	38
Graf 3	38