



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Využití experimentálního průzkumu při vývoji
závodního motocyklu s malým zdvihovým
objemem

Specifics of experimental activities used for
small swept volume engine development

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2023

Jakub Sedlář

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Sedlář** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **456387**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Spalovací motory**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Využití experimentálního průzkumu při vývoji závodního motocyklu s malým zdvihovým objemem

Název diplomové práce anglicky:

Specifics of experimental activities used for small swept volume engine development

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s experimentálním vybavením Centra vozidel udržitelné mobility. Zaměřte se zejména na aspekty související s požadavkem na měření energetických parametrů hnacího ústrojí malého motocyklu. Popište možná úskalí a omezení. Pro vybraný motocykl navrhnete vhodnou metodiku případně doplněnou o návrh úpravy dotčených měřicích stanišť. S ohledem na získané poznatky, uveďte příklad konkrétních výstupů z vývojových aktivit realizovaných dle navržené metodiky

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Vojtěch Klír, Ph.D. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **19.04.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **15.09.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **19.09.2023**

Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Jakub Sedlář

Název práce: Využití experimentálního průzkumu při vývoji závodního motocyklu s malým zdvihovým objemem

Anglický název: Specifics of experimental activities used for small swept volume engine development

Rozsah práce:

73 stran

36 obrázků

17 tabulek

14 grafů

Akademický rok: 2022/2023

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

Klíčová slova: měření výkonu, závodní motor, dynamometr

Key words: power measurement, racing engine, dynamometer



Abstrakt

Uvedená diplomová práce se zabývá možnostmi měření výkonových parametrů motocyklového motoru s malým zdvihovým objemem.

Teoretická část práce nejprve stručně definuje výkonové parametry spalovacího motoru. Následuje zmapování možností měření těchto parametrů z hlediska popisu principů měření, využitých zařízení a úskalí během měření. V závěru teoretické části je provedena rešerše dostupných komerčně nabízených zařízení.

V rámci praktické části je zmapováno vybavení Centra vozidel udržitelné mobility a zhodnocena vhodnost dostupných zařízení pro měření výkonových parametrů zmiňovaného motoru společně s návrhem komponent pro realizaci tohoto měření. Následuje zmapování jízdních režimů motoru motocyklu během reálné jízdní zkoušky, měření jeho výkonových parametrů a jejich zhodnocení z hlediska přesnosti, opakovatelnosti a přínosu pro jeho další vývoj. V závěru je na základě zjištěných poznatků proveden návrh dílčích úprav motoru pro zvýšení jeho výkonových parametrů.

Abstract

The thesis deals with the possibilities of measuring the performance parameters of a motorcycle engine with a small displacement.

The first part of the work brings the basic knowledge about internal combustion engine and its performance parameters. The overview about possible methods used for measuring such parameters is introduced. The search of available commercially offered devices is also carried out at the end of this part.

The equipment of the Centre of vehicles for sustainable mobility is introduced in the second part. The availability of devices for measuring the performance parameters is evaluated together with the design of the components for the implementation of this measurement. This is followed by mapping the driving modes of the motorcycle engine during racing simulation, measuring its performance parameters and its evaluation in terms of accuracy, repeatability, and contribution to its further development. Finally, in order to increase its performance parameters. The proposal for partial modifications of the engine toward to higher power density is made based on obtained findings.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů.

V Praze dne: 15.9.2023

.....

(podpis autora)



Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své práce Ing. Vojtěchu Klírovi, Ph.D. za vedení, trpělivost, a velkou obětavost během psaní práce, měření a řešení vyvstalých problémů.



Obsah

Úvod.....	9
1 Základní výkonové parametry spalovacího motoru	10
1.1 Točivý moment.....	10
1.2 Výkon	10
1.3 Charakteristiky spalovacích motorů.....	11
1.3.1 Otáčková charakteristika	11
1.3.2 Zatěžovací charakteristika	12
1.3.3 Seřizovací charakteristika	12
1.3.4 Úplná charakteristika	13
2 Způsoby měření výkonových parametrů spalovacího motoru.....	14
2.1 Reálná jízdní zkouška	14
2.2 Válcová brzda	14
2.3 Vozidlový dynamometr	15
2.4 Motorový dynamometr.....	16
3 Režimy měření výkonových parametrů spalovacího motoru.....	17
3.1 Stacionární	17
3.2 Dynamický	17
3.2.1 Dynamický režim měření na válcové brzdě	17
3.2.2 Dynamický režim měření na dynamometru	18
3.3 Ztrátový	18
4 Zařízení pro měření výkonových parametrů spalovacího motoru	18
4.1 Dynamometr	18
4.1.1 Mechanický dynamometr	19
4.1.2 Vzduchový dynamometr.....	20
4.1.3 Hydrodynamický dynamometr	20
4.1.3.1 Hydrodynamický dynamometr s konstantním naplněním	21
4.1.3.2 Hydrodynamický dynamometr s variabilním naplněním	21
4.1.3.3 Hydrodynamický diskový dynamometr	22
4.1.4 Hydrostatický dynamometr	22
4.1.5 Elektrický dynamometr.....	23
4.1.6 Elektrický dynamometr stejnosměrný	23
4.1.7 Elektrický dynamometr asynchronní střídavý.....	23
4.1.8 Elektrický dynamometr synchronní s permanentními magnety.....	23
4.1.9 Elektrický dynamometr s vířivými proudy	24
4.2 Měření točivého momentu	26
4.2.1 Otočně uložené dynamometry	26
.....	27
4.2.2 Měřicí hřídele nebo příruby.....	27
5 Dostupná zařízení pro měření výkonových parametrů motocyklů s motorem s malým zdvihovým objemem	29
5.1 AVL RoadSim 25“	29
5.2 AIP ECDM-21 MC.....	30
5.3 Onosokki	31
5.4 Meidensha CE91-3181	32
5.5 Shrnutí řešerše dostupných měřicích zařízení	33
6 Experimentální vybavení centra vozidel udržitelné mobility	33
6.1 Válcová brzda Maha 500 MSR.....	33



6.2	Vozidlový dynamometr Maha AIP-ECDM 48L.....	34
6.3	Motorový dynamometr AVL DynoExact.....	36
7	Motivace pro realizaci měření.....	38
8	Možnosti využití experimentálního vybavení centra vozidel udržitelné mobility pro měření maloobjemového motocyklového motoru	39
8.1	Možná úskalí využití dotčených stanovišť.....	39
8.1.1	Válcová brzda Maha 500 MSR	39
8.1.2	Motorový dynamometr AVL DynoExact	39
8.1.3	Shrnutí možných úskalí využití dotčených stanovišť.....	40
8.2	Návrh konstrukčních úprav vybraných stanovišť pro možnosti měření maloobjemového motocyklového motoru	41
8.2.1	Varianta soustavy řetězových převodů	41
8.2.2	Varianta připojení motoru souose.....	43
8.2.3	Rozhodnutí a výroba komponent	44
8.2.3.1	Adaptér řetězového kola	45
8.2.3.2	Stojan motoru	46
9	Záznam dat z reálných jízdních zkoušek.....	47
9.1	Zařízení pro záznam dat	48
9.1.1	Snímač otáček motoru	48
9.1.2	Snímač polohy regulačního členu motoru	49
9.1.3	Datalogger	50
9.2	Záznam jízdních dat.....	51
9.3	Zpracování dat.....	52
10	Vlastní měření.....	55
10.1	Měření na válcové brzdě Maha 500 MSR	55
10.2	Měření na motorovém dynamometru AVL DynoExact 202/12	59
10.3	Porovnání výsledků měření.....	62
11	Návrh dílčích úprav motoru vzhledem k výsledkům měření.....	66
	Závěr	67
	Zdroje.....	68
	Seznam obrázků.....	69
	Seznam tabulek	70
	Seznam grafů	70
	Seznam zkratk a symbolů	71
	Příloha 1 – ideový návrh stojanu motoru	72
	Příloha 2 – ideový návrh adaptéru řetězového kola	73



Úvod

Od počátku svého vývoje až do současnosti prošel spalovacím motor obrovským vývojem. Během této doby, a především díky zvyšujícím se požadavkům na výkon motoru, jeho hospodárnost a snížení produkovaných emisí, prošel obdobným vývojem i obor měření parametrů spalovacích motorů, který lze označit již za samostatný vědní obor. Trendem dnešní doby z hlediska objemů produkce jsou automobilové víceválcové motory, svým výkonem jen výjimečně klesající pod hranici 60 kW. V současné době jsou zařízení pro měření parametrů důmyslné a přesné systémy, převážně přizpůsobené pro potřeby vývoje nejčastěji používaných motorů v dopravních prostředcích.

Malý dvoudobý jednoválcový motor s nízkým výkonem z velkosériové produkce prakticky vymizel a v dnešní době najde uplatnění především v jednoduché zahradní technice případně strojích určených pro zábavu, kde vyniknou jeho výhody v nízké hmotnosti, jednoduchosti konstrukce, výhodném poměru výkonu ku hmotnosti a nízké výrobní ceně. Najdeme jej tedy ve strojích jako jsou motorové pily, motorové kosy případně malé závodní motocykly nebo motokáry. Měřicí zařízení pro tyto varianty spalovacích motorů najdeme výhradně u výrobců uvedených motorů, kde je používáno převážně pro vývoj a pro komerční účely je tedy prakticky nedostupné. Cílem práce je seznámit se s možnostmi měření výkonových parametrů spalovacích motorů s důrazem na zmiňované motory s malým výkonem. Následně, s přihlédnutím k dostupnému zařízení, navrhnout metodiku měření, tato měření provést a zhodnotit jejich výsledky a vypovídací hodnotu. Měřeným motorem bude malý motocyklový motor Jawa 50, typ 23 upravovaný pro terénní závody a poznatky zjištěné během měření budou mimo zhodnocení metodiky sloužit rovněž pro další vývoj a zvyšování výkonových parametrů tohoto motoru.



1 Základní výkonové parametry spalovacího motoru

1.1 Točivý moment

Točivý moment je jedním ze základních výkonových parametrů charakterizující spalovací motor. Definice pojmu točivý moment říká, že se jedná o otáčivé účinky působící na dané těleso, vyvolané silou s působištěm na určitém rameni, vůči ose rotace tohoto tělesa. [1]

Obecný točivý moment je tedy vyjádřen vztahem:

$$M_k = F \cdot r \text{ [Nm]} \quad (1)$$

kde F síla působící na těleso [N]
 r rameno síly (vzdálenost měřená ve směru kolmém na osu síly, mezi osou síly a osou otáčení) [m]

V případě spalovacího motoru je zdrojem síly primárně tlak působící na plochu pístu. Rameno představuje vzdálenost osy otáčení klikového hřídele a osy ojnicního čepu. Hodnota točivého momentu je rovněž základní veličinou, která se měří při zkoušení a měření výkonových parametrů spalovacích motorů a vyjadřuje nám přímo hodnotu maximálního točivého momentu, případně průběhu točivého momentu, které budou dále popsány kapitole 1.3. [2]

1.2 Výkon

Výkon motoru je druhým ze základních výkonových parametrů motoru. Základní definicí výkonu je množství práce vykonané za jednotku času, případně působení síly za určité rychlosti. Z toho vyplývá následující vztah pro výpočet výkonu. [3]

$$P = \frac{W}{t} \text{ [W]} \quad (2)$$

Kde W množství vykonané práce [J]
 t čas [s]

respektive:

$$P = F \cdot v \text{ [W]} \quad (3)$$

Kde F síla [N]
 v rychlost [m/s]



V případě měření a zkoušení spalovacích motorů a vozidel je mechanický výkon nejčastěji zjišťován z rotačního pohybu a nelze jej tedy měřit přímo. Pro jeho výpočet se využívá vztahu: [2]

$$P = M_k \cdot \omega [W] \quad (4)$$

kde M_k Točivý moment [Nm]
 ω úhlová rychlost otáčení [$\frac{rad}{s}$]

Úpravou vztahu (4) dostaneme pro snazší výpočet vzorec:

$$P = M_k \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} [W] \quad (5)$$

kde n otáčky [min^{-1}]

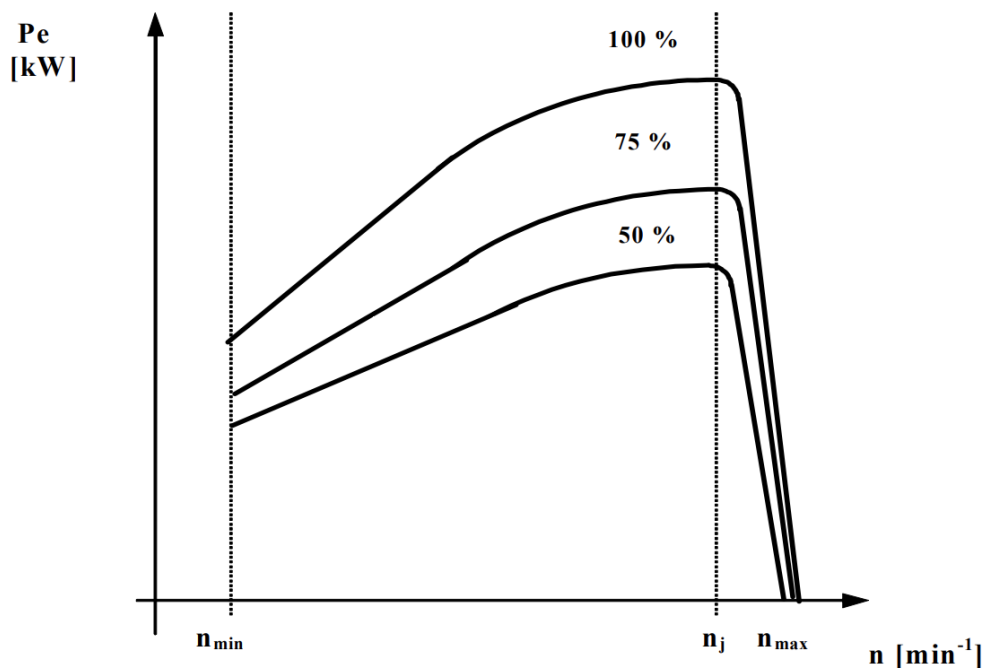
Ze zjištěného výkonu motoru lze pro další charakteristiku a srovnání motorů případně vozidel určit hodnoty normalizované vzhledem k dalším parametrům a setkáváme se tedy například s pojmy měrný objemový výkon, vyjadřující hodnotu výkonu vztaženou na jednotku zdvihového objemu motoru P_o [$\frac{kW}{dm^3}$] nebo měrný hmotnostní výkon, vyjadřující hodnotu výkonu vztaženou na jednotku hmotnosti P_m [$\frac{kW}{kg}$]. [3] [4]

1.3 Charakteristiky spalovacích motorů

Pojem charakteristika spalovacího motoru označuje grafické zobrazení průběhu určité provozní veličiny, případně více provozních veličin, do jednoho grafu v závislosti na dané proměnné. Vzhledem k volbě této proměnné se jedná o charakteristiku otáčkovou, zatěžovací, seřizovací, případně úplnou. [1] [5]

1.3.1 Otáčková charakteristika

Jak z názvu vyplývá, tato charakteristika popisuje závislost sledované veličiny pouze na otáčkách motoru. Ostatní vstupní parametry ovlivňující práci motoru, jako například poloha škrtkové klapky, ovládání dávky paliva apod., zůstávají neměnné. Zkoumané veličiny jsou v tomto případě nejčastěji točivý moment, výkon motoru nebo měrná spotřeba paliva. Nejběžnější a nejčastěji používanou otáčkovou charakteristikou je takzvaná vnější. Ta představuje průběh točivého momentu, případně výkonu, respektive středního efektivního tlaku motoru, v závislosti na otáčkách motoru s regulačním členem nastaveným pro maximální výkon. [4] [5]



Obr. 1 – Soustava otáčkových charakteristik vznětového motoru [5]
(hodnoty procent informují o poloze regulační tyče dávky paliva)

1.3.2 Zatěžovací charakteristika

V případě zatěžovací charakteristiky je nezávisle proměnnou zatížení motoru, při zachování konstantních otáček během měření. Toto zatížení je zpravidla charakterizováno středním efektivním tlakem motoru, výkonem, případně točivým momentem. Nejčastěji zkoumanými parametry jsou měrná spotřeba paliva, teplota výfukových plynů případně produkce jednotlivých složek škodlivin ve výfukových plynech. Obvyklé je vytvoření soustavy zatěžovacích charakteristik pro různé pracovní otáčky motoru. [4] [6]

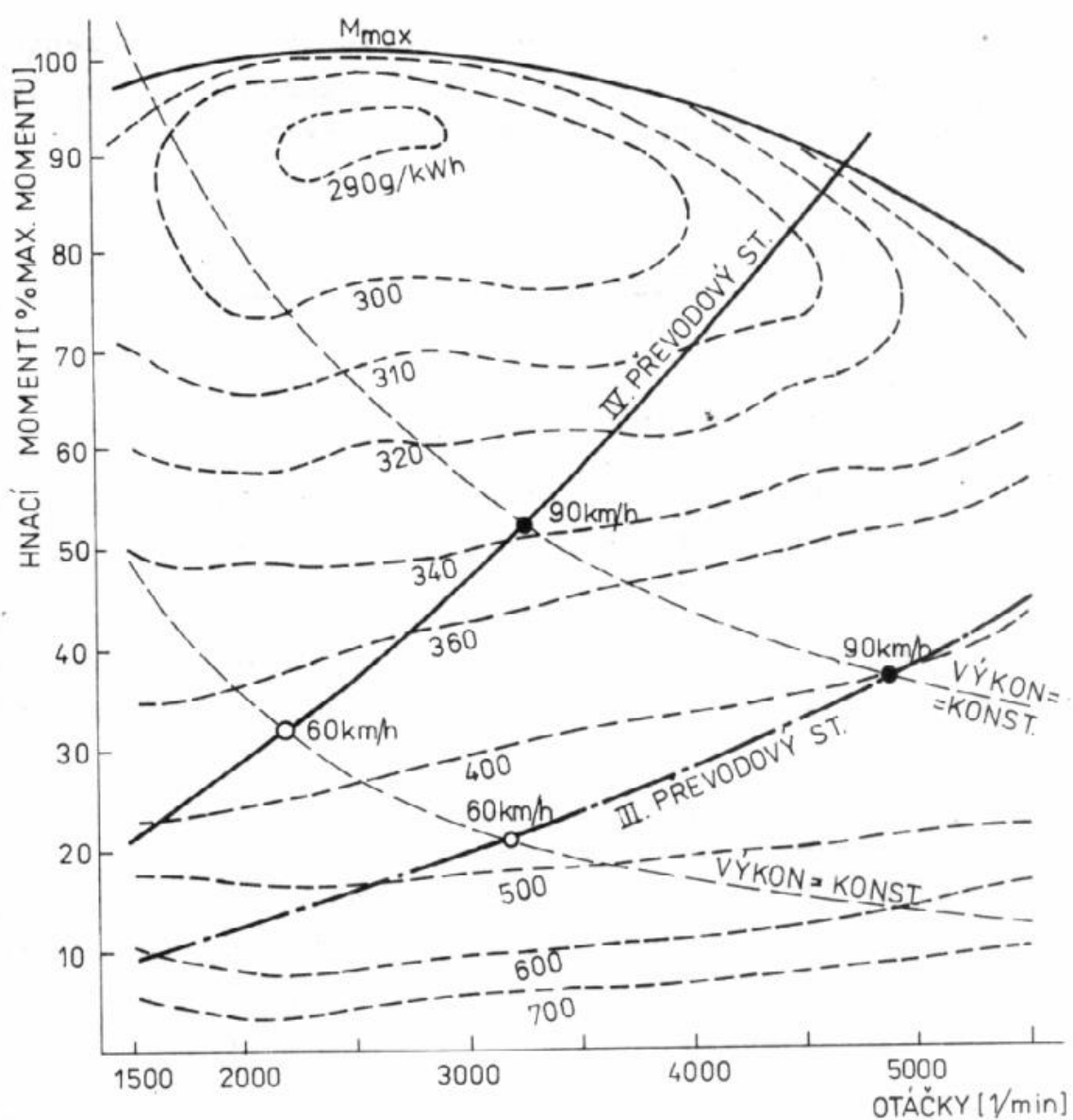
1.3.3 Seřizovací charakteristika

Seřizovací charakteristika zobrazuje průběh zkoumané veličiny motoru, kdy jako nezávisle proměnná figuruje jeden ze seřizovacích parametrů motoru, tedy parametr, který je možné určitým způsobem nastavit, ovšem během běžného užívání motoru je neměnný. Spadá sem například hodnota předstihu zážehu, otevírací tlak vstřikovací trysky, hodnota součinitele přebytku vzduchu apod. Stejně jako v případě zatěžovací charakteristiky platí, že otáčky jsou pro jednu charakteristiku neměnné a je běžné tvořit soustavu charakteristik pro různé pracovní otáčky motoru. [3] [6]



1.3.4 Úplná charakteristika

Úplná charakteristika motoru je speciálním druhem charakteristiky, není měřena přímo, nýbrž je sestavena kombinací výše uvedených charakteristik. Základ tvoří otáčková charakteristika, zobrazující průběh točivého momentu, případně středního efektivního tlaku, v závislosti na otáčkách motoru. Následně je do této charakteristiky promítnuta závislost měrné spotřeby paliva a případně i dalších veličin. Díky tomu je možné odečítat měrnou spotřebu paliva v jednotlivých pracovních režimech motoru a následně hledat optimální pracovní body motoru z dalších hledisek. [1] [3]



Obr. 2 - Úplná charakteristika motoru [6]



2 Způsoby měření výkonových parametrů spalovacího motoru

2.1 Reálná jízdní zkouška

Nejjednodušším způsobem měření výkonových parametrů motoru je reálná jízdní zkouška. Tento pojem označuje testování a měření výkonu vozidla v reálném prostředí, tedy na silnici případně závodní dráze. V počátcích měření výkonových parametrů bylo této metody využíváno často pro jejich subjektivní, pocitové zhodnocení, případně byly tyto parametry odvozovány z jízdní dynamiky vozidla. Z dnešního pohledu hlavním problémem z hlediska měření výkonových parametrů a přesnosti tohoto měření je skutečnost, že se vozidlo pohybuje, obvykle navíc vysokou rychlostí, což znamená významné omezení ve smyslu toho, co je možné snímat a měřit. Dalším problémem jsou potom vnější vlivy působící na vozidlo, které se během jednoho měření a zároveň i mezi jednotlivými měřeními výrazně mění. Z těchto důvodů je opakovatelnost měření velmi špatná a chybovost vysoká. Zásadní výhodou reálných jízdních zkoušek je možnost provedení přesné simulace reálné situace a tím zohlednění všech vlivů působících na vozidlo a ovlivňující výkonové parametry, což může být v laboratorních podmínkách neproveditelné. Z výše uvedených poznatků vyplývá, že reálné jízdní zkoušky nemají vysokou vypovídací hodnotu z hlediska vývoje motoru ve smyslu optimalizace jednotlivých jeho parametrů. Vliv změny vnějších vlivů je v tomto případě příliš velký a zkresluje výsledky. Naopak jsou ale reálné jízdní zkoušky nezbytné z hlediska zjišťování pracovních režimů, ve kterých je motor skutečně provozován a ověřování funkčnosti a životnosti motoru, na které mají zásadní vliv právě i podmínky, které nelze v laboratoři simulovat. Proto i v dnešní době, kdy jsou k dispozici moderní a propracované laboratorní metody a způsoby měření, si reálné jízdní zkoušky drží v oboru měření motorů své místo. [2] [7]

2.2 Válcová brzda

Principem válcové brzdy je zařízení využívající rotující válce, na kterých je pevně ukotveno měřené vozidlo. Tyto válce jsou umístěny buďto pouze pod hnacími koly, případně pod všemi koly vozidla, na základě toho, jaký parametr je cílem sledovat. Díky výše zmíněným válcům je možné do jisté míry simulovat jízdní podmínky vozidla, i když vozidlo prakticky stojí. Myšlenka válcové brzdy pro měření výkonu se jako první objevila u konstruktérů drážních lokomotiv. Ti přišli s nápadem měřit výkon vozidla, zatímco bude pevně uchyceno k měřicímu zařízení a nebude se pohybovat. Následně byl tento princip převzat



automobilovými inženýry a v dnešní době je využíván právě a výhradně pro měření silničních vozidel. Lze se setkat se speciálními variantami válcové brzdy, vyvinutými pro vysokozdvížné vozíky nebo kloubová terénní vozidla, ovšem to jsou spíše výjimky. [2] [4]

Do 70. let 20. století byly válcové brzdy pouze jednoduchá zařízení s poměrně malými průměry válců, která nedokázala dostatečně dobře simulovat kontakt pneumatiky s vozovkou a tím i valivý odpor kola. Dalším problémem bylo použití velice nepřesných zařízení pro měření momentu a zátěž představoval pouze jeden setrvačnický, simulující setrvačnost vozidla svým momentem setrvačnosti při roztáčení. [2]

Hlavním důvodem pro další vývoj těchto zařízení bylo prudké zprůsnění emisních limitů v 70. letech 20. století. Průměr válců byl zvětšen tak, aby bylo dosaženo realističtějších podmínek kontaktu s pneumatikou. Jako zátěž byl použit otočně uložený stejnoměrný dynamometr s měřením točivého momentu prostřednictvím tenzometrického snímače. Propracovaný řídicí systém dynamometru umožnil přesnější a složitější simulaci zatížení vozidla. Díky použití většího počtu setrvačnicků s různými momenty setrvačnosti bylo zase umožněno přesně simulovat hmotnost vozidla. [2]

V současné době došlo, díky vývoji v oblasti elektrické trakce a elektronického řízení, k postupnému upuštění od setrvačnicků a prakticky všechny válcové brzdy využívají zcela elektricky řízenou kontrolu zátěže. Hlavní výhody tohoto způsobu měření jsou snadná příprava měření bez nutnosti rozsáhlejší přípravy měřeného vozidla, jeho rychlá fixace a tedy i příprava měření oproti měření na vozidlovém, případně motorovém dynamometru. Zásadní nevýhodou válcové brzdy je její poměrná nepřesnost v porovnání s motorovým dynamometrem způsobená složitostí a komplexitou celého systému. Kvůli ztrátám v uložení jednotlivých rotujících komponent a jejich vlastní setrvačnosti dochází ke zvýšení chyby měření. [2] [8]

2.3 Vozidlový dynamometr

Hlavním důvodem pro vývoj vozidlového dynamometru byla skutečnost, že válcové brzdy nebyly schopné simulovat rozdílnou rychlost otáčení jednotlivých kol, a tedy průjezd zatáčkou, ztrátu přilnavosti při akceleraci případně smyk vozidla. Dalšími důvody pak bylo zavádění systémů elektronické kontroly trakce a ABS. [2]

První možností konstrukce vozidlového dynamometru je využití 4 sad na sobě nezávislých válců, obdobných těm u válcové brzdy. Ty jsou v některých případech uloženy otočně okolo



vertikální osy pro simulaci zatáčení kol vozidla. Takto koncipovaná měřicí zařízení umožňují měření a testování pohonného ústrojí vozidla simulací jízdy vozidla s různými jízdními odpory a otáčkami mezi jednotlivými koly. V dnešní době jsou podobná zařízení hojně využívána při vývoji například hybridních vozidel, kde se objevují koncepty s individuálními motory pro každé kolo, případně u vozidel s elektricky řízeným pohonem všech kol. [2]

Druhou možností je vozidlový dynamometr nahrazující kola vozidla. Toho je možné dosáhnout úpravou náboje, kdy bude vozidlo stále stát na svých kolech, ovšem točivý moment nebude odebírán z otáčejících se pneumatik kontaktem s válci, nýbrž jako točivý moment přímo z náboje kola. Alternativní možností je zcela eliminovat kola vozidla, kdy jednotlivé dynamometry nejen že odebírají točivý moment, ale rovněž nesou vozidlo během brždění. V případě dynamometrů nahrazujících kola vozidla jsou vzhledem k častému využívání i při testování brždění využívány dynamometry schopné pracovat ve všech 4 kvadrantech, tedy hydrostatické, případně elektrické střídavé nebo stejnosměrné. [2]

2.4 Motorový dynamometr

Motorový dynamometr je z hlediska složitosti měřicího zařízení velmi jednoduchou variantou měření výkonových parametrů motoru. Z hlediska komponent se ve své základní podstatě jedná pouze o dynamometr představující zátěž, zařízení pro měření točivého momentu motoru a propojovací prvek, který má za úkol spojení rotoru dynamometru a klikového hřídele motoru. Hlavní výhodou tohoto řešení je vysoká přesnost měření, daná především eliminací všech rotujících částí, a tedy možných ztrát na možné minimum. Výsledná přesnost je tedy prakticky dána pouze přesností měření točivého momentu na dynamometru. Hlavní nevýhody spočívají ve složitosti přípravy motoru na měření touto metodou, kdy vzhledem k množství příslušenství a ovládacích periférií moderního spalovacího motoru je prakticky nemožné jej pouze vyjmout z vozidla a měřit. Z tohoto důvodu jsou dnešní měřicí stanoviště vybaveny velkým množstvím příslušenství nahrazujícím systémy v reálném autě. Jedná se o palivový systém, systém chlazení, výfukový systém, a především složitou elektroniku. I v případě motoru měřeného v rámci praktické části práce, kdy se jedná o malý vzduchem chlazený dvoudobý motor a bylo třeba vyřešit pouze uchycení motoru a jeho propojení, přípravy na toto měření zabraly řádově týdny. [2] [9]



3 Režimy měření výkonových parametrů spalovacího motoru

3.1 Stacionární

Měření parametrů motoru ve stacionárním režimu označuje měření, kdy je motor nastaven na přesně definovaný pracovní bod režimu. Po dostatečně dlouhé době nutné pro ustálení všech sledovaných veličin jsou odečteny hodnoty a teprve poté je možné přejít na další pracovní bod a celý proces opakovat. Výsledná charakteristika motoru je vytvořena proložením izolovaných výsledků zjištěných během měření křivkou. [2] [4]

Výhoda v porovnání s režimem dynamickým je především v přesnosti, jelikož není třeba uvažovat momenty setrvačnosti jednotlivých rotujících částí. Dále, v případě optimalizace a nastavování provozních hodnot motoru, je to dostatek času na tyto úkony v každém pracovním bodě. [4]

Nevýhodou je velká časová náročnost, vyplývající z nutnosti ustálení motoru v jednotlivých pracovních režimech před odečítáním výsledných hodnot. Tato doba může v návaznosti na sledované parametry dosáhnout až jednotek minut pro každý pracovní bod. Další nevýhodou vyplývající z dlouhé doby měření je i vyšší namáhání celého spalovacího motoru, případně pohonného ústrojí vozidla. [2] [4]

3.2 Dynamický

Dynamický režim měření se, jak z názvu vyplývá, vyznačuje měnící se pracovním režimem spalovacího motoru. [4]

3.2.1 Dynamický režim měření na válcové brzdě

Jedná se o nejběžnější a z hlediska přípravy měření nejjednodušší způsob měření vnější výkonové charakteristiky spalovacího motoru popsany již v kapitole 2.2. Principem je měření akcelerace motoru při plném výkonu, zatíženého setrvačnými účinky rotujících komponent samotného vozidla, setrvačnými účinky rotujících komponent měřicího zařízení a případně ještě další regulovanou zátěží. Nejvýznamnější výhodou oproti měření statickému je nízká časová náročnost jak z pohledu samotného měření, tak z pohledu příprav měření, kdy je potřeba pouze fixace měřeného vozidla na válcové brzdě. [2] [7]



3.2.2 Dynamický režim měření na dynamometru

Dynamická metoda měření na dynamometru spočívá ve využití moderních možností řízení dynamometru v kombinaci s jeho velkou dynamikou. Díky tomu je možné, v závislosti na vstupních datech, uskutečnit měření sahající od jednoduché implementace přechodových režimů motoru z jednoho pracovního bodu na druhý, až po například detailní simulaci pracovního režimu motoru při závodní aplikaci, využívající změnu zátěže motoru, jeho pracovních otáček, případně dalších parametrů zjištěných během jízdních zkoušek na reálné trati. [2]

3.3 Ztrátový

Zjišťování ztrátového výkonu se provádí především při dynamickém měření na válcové brzdě. Při tomto měření dochází vlivem valivého odporu hnacích kol vozidla na válcích měřicího zařízení a celkové účinnosti hnacího ústrojí vozidla ke zkreslení výsledků měření. Pro eliminaci ztrát a zjištění skutečné hodnoty výkonu motoru je nutné zjistit hodnotu ztrátového výkonu. To je dosaženo provedením dobové zkoušky, spočívající v odpojení motoru z hnacího řetězce (vymáčknutí spojky) po dosažení maximálních otáček motoru na konci měření. Následně je měřeno zpomalení měřicího zařízení, a tedy i ztrátový výkon. [7]

4 Zařízení pro měření výkonových parametrů spalovacího motoru

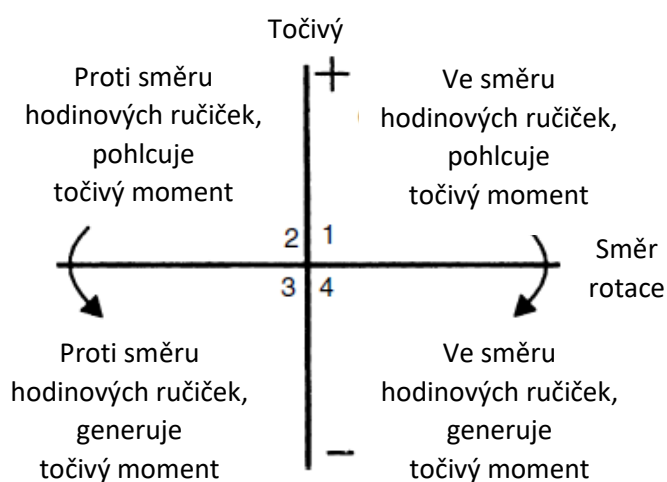
Moment spalovacího motoru je při zkoušení pohlcován a měřen dynamometrem, ke kterému je připojen. Přesnost měření velikosti tohoto momentu společně s otáčkami motoru má zásadní vliv na všechna další měření, prováděná během testování motoru. [7]

4.1 Dynamometr

Základním zařízením pro měření výkonových parametrů spalovacího motoru je dynamometr. Jedná se o zařízení, jehož hlavní funkcí je vytvoření proměnlivé, nastavitelné zátěže, která působí na motor a umožňuje tak kontrolu jeho pracovních otáček nezávisle na výkonu. Základním komponentem dynamometru je rotor, spojený s klikovým hřídelem motoru, zpravidla s ním uložen souose. Rotor je pro eliminaci ztrát uložen v ložiscích. Druhým komponentem je stator dynamometru. Ten je uchycen pevně, případně pomocí měřicího členu s měřicím stanovištěm a v rámci některého z níže popsaných fyzikálních principů působí proti rotaci rotoru, čímž vytváří požadovanou zátěž pro spalovací motor. Základní rozdělení dynamometrů je na pasivní a aktivní. V případě pasivních je dynamometr schopen moment pouze pohlcovat, nikoliv ho i vytvářet a funguje pouze na výše popsaném



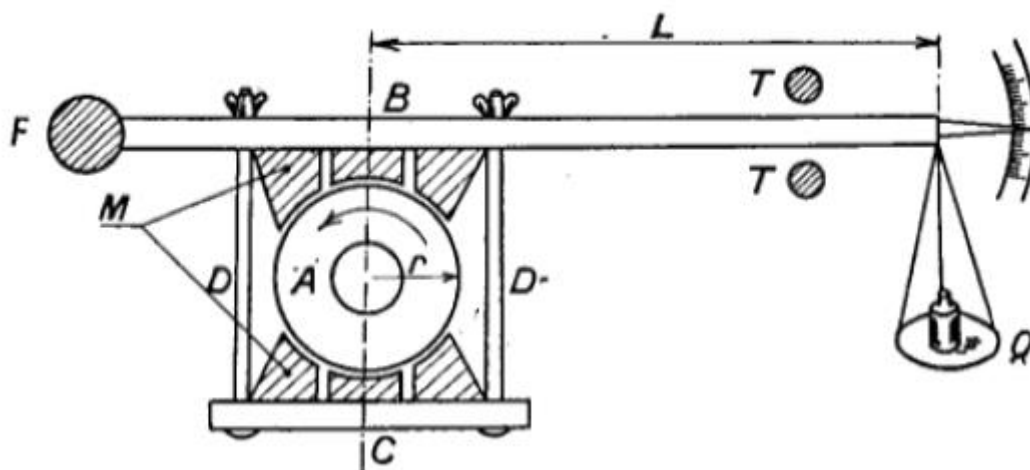
principu. Skupina dynamometrů aktivních, umožňuje kromě výše uvedeného zátěžného režimu pracovat i v režimu motorickém, kdy naopak točivý moment generuje a dokáže tak motor urychlovat případně roztáčet. Toho může být využito například při měření mechanických ztrát spalovacího motoru jeho protáčením bez spalování nebo při simulaci reálné jízdní situace. Pro názornější definování umožněných režimů funkce pro jednotlivé druhy dynamometrů se využívají kvadranty funkce dynamometru (Obr. 5). Převážná většina měření výkonových parametrů probíhá v kvadrantu 1 a všechny níže popsané varianty dynamometrů tímto režimem disponují. V závěru kapitoly 4.1 budou shrnuty funkční režimy pro jednotlivé dynamometry a srovnání jejich výhod a nevýhod. [9]



Obr. 3 – Kvadranty funkce dynamometru [2]

4.1.1 Mechanický dynamometr

Nejjednodušší variantou dynamometru je dynamometr mechanický. První mechanický dynamometr se datuje do začátku 19. století a využíval principu tření mezi bubnem a lanem, které jej obepínalo. Přes svou jednoduchou konstrukci tento dynamometr dosahoval poměrně vysoké přesnosti. Nástupcem byla brzda Prony, využívající sevření dutého válce jako rotoru mezi třecími elementy. Využití dutého válce umožňovalo jeho aktivní chlazení vodou, a tedy zvýšení výkonové kapacity. Obě výše uvedené varianty jsou již pouze historickou záležitostí a v dnešní době nejsou využívány. Mechanický dynamometr se v dnešní době objevuje prakticky výhradně v amatérských podmínkách, kde ve formě upravené automobilové bubnové, případně kotoučové, provozní brzdy nabízí za relativně nízké náklady možnost vytvoření brzdného účinku. To je vedle dostupnosti brzdného momentu od nulových otáček také z dnešního pohledu jediná další jeho výhoda. Hlavními nevýhodami jsou obtížné řízení požadované velikosti zátěže a vysoké opotřebení třecích elementů. [2] [7]



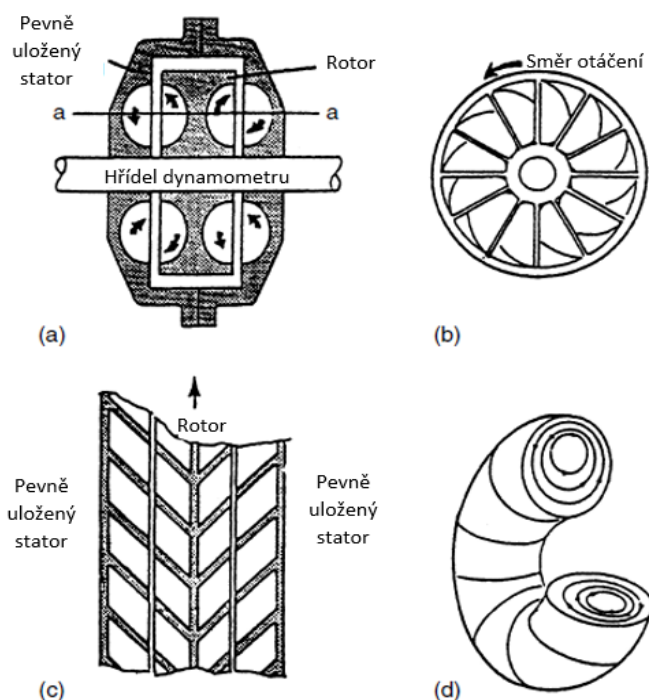
Obr. 4 – Schématické zobrazení brzdy Prony [12]

4.1.2 Vzduchový dynamometr

Z dnešního pohledu se jedná už o značně zastaralý typ dynamometru. Hlavním konstrukčním prvkem byla skupina radiálně nastavitelných lopatek, vytvářejících při roztočení momentovou zátěž, kterou bylo možné přibližně číselně odhadnout. Využívány byly výhradně při testování vrtulníkových motorů, kde určitá nepřesnost a zároveň značný hluk nepředstavovaly významný problém. [2]

4.1.3 Hydrodynamický dynamometr

Jak z názvu vyplývá, médiem, zajišťujícím silové působení mezi rotorem a statorem je voda. Dynamometr je tvořen statorem vytvářejícím vodotěsnou skříň, ve které se otáčí rotor. Vnitřní prostor toroidního tvaru, který je tvořen z poloviny rotorem a z poloviny statorem, je radiálními lopatkami rozdělen na jednotlivé kapsy. V důsledku vysokých otáček rotoru a odstředivých sil dochází ve vnitřním prostoru dynamometru k toroidnímu proudění (Obr. 5d), které způsobí přenos hybnosti, a tedy i točivého momentu, mezi rotorem a statorem. [2]



Obr. 5 – Princip funkce hydrodynamického dynamometru [2]

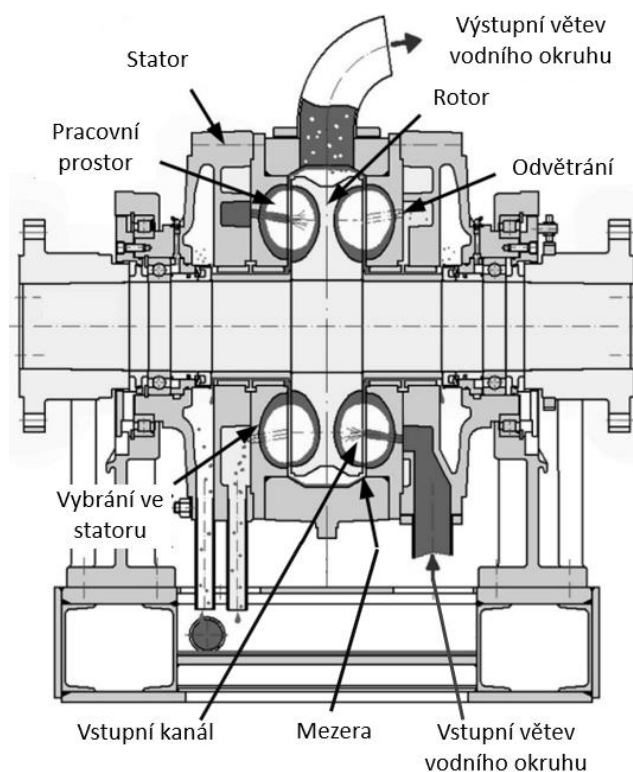
a) řez osou dynamometru b) rotor dynamometru c) řez a-a dynamometrem
d) zobrazení toroidálního proudění

4.1.3.1 Hydrodynamický dynamometr s konstantním naplněním

U tohoto typu hydrodynamického dynamometru je množství kapaliny uvnitř dynamometru konstantní a výsledný brzdný moment je regulován vkládáním případně odebíráním tenkých stavidlových desek ovlivňujících proudění vody mezi statorem a rotorem.

4.1.3.2 Hydrodynamický dynamometr s variabilním naplněním

V případě hydrodynamických dynamometrů s variabilním plněním je výsledný brzdný moment regulován změnou objemu vody ve skříni. Tato změna je realizována pomocí ventilů, obvykle osazených na výstupní větvi vodního okruhu. S rostoucími požadavky na rychlost řízení dynamometrů, a tedy jejich schopnost rychlé změny objemu vody, je v některých případech osazena ventily i vstupní větev vodního okruhu. Do této skupiny spadají největší vyrobené dynamometry vůbec, dosahující až 5 metrů průměru. [2] [10]



Obr. 6 – Schématické zobrazení hydrodynamického dynamometru s variabilním naplněním [10]

4.1.3.3 Hydrodynamický diskový dynamometr

Diskové dynamometry jsou málo využívanou skupinou dynamometrů. Jejich rotor je osazen jedním, případně více tenkými disky, které se pohybují s velmi malou vůlí mezi obdobnými disky statoru. Tyto tenké štěrbiny jsou vyplněny vodou a vlivem vazkého tření tekutiny dochází k přenosu hybnosti mezi rotorem a statorem. Pro zvýšení momentové kapacity jsou v discích rotoru i statoru vytvořeny otvory. Řízení těchto dynamometrů je, stejně jako v případě těch hydrodynamických s variabilním plněním, prováděno pomocí regulace množství vody. Nevýhodou je nízký výkon v nízkých otáčkách, jsou ovšem schopny dosahovat velmi vysokých otáček a hodí se proto například pro zatěžování spalovacích turbín. [2] [9]

4.1.4 Hydrostatický dynamometr

Tento, v dnešní době ne příliš často využívaný, typ je tvořen kombinací hydrostatického čerpadla a hydrostatického motoru, kdy čerpadlo je připojeno k měřenému spalovacímu motoru jako zátěž. Výhodou tohoto řešení, v porovnání s ostatními neelektrickými dynamometry, je možnost vytvoření zátěže už prakticky od nulových otáček a pracovat rovněž jako zdroj výkonu, tedy působit na motor kladným točivým momentem. [2] [9]



4.1.5 Elektrický dynamometr

Hlavním znakem elektrických dynamometrů je transformace absorbovaného točivého momentu motoru na elektrickou energii, která je následně odvedena pryč z měřicího zařízení. Z tohoto faktu vyplývá přítomnost elektrických obvodů s velmi vysokými proudy, vyžadující zvláštní pozornost. Pro práci těchto strojů je tedy nutné především čisté a suché prostředí. Dalším obvyklým problémem je vysoká produkce hluku a tepla. Ztráty způsobující zahřívání dynamometru jsou odváděny chlazením, a to buď vodou, nebo běžněji vzduchem. [2]

4.1.6 Elektrický dynamometr stejnosměrný

Hlavním prvkem stejnosměrného dynamometru je stejnosměrný elektromotor. Jedná se o robustní a lehce říditelné stroje umožňující provoz jak v brzděném, tak i v motorickém režimu. Nevýhodou je omezení ve smyslu maximálních otáček a vysoký moment setrvačnosti rotoru, který brání použití v případě potřeby dynamické změny otáček motoru. Další nevýhodou je komutátor, vyžadující častou údržbu. [9]

4.1.7 Elektrický dynamometr asynchronní střídavý

Základním prvkem dynamometru je asynchronní střídavý motor, jehož rychlost je řízena změnou frekvence napájecího střídavého napětí.

Tyto motory se oproti stejnosměrným vyznačují nižším momentem setrvačnosti, a jsou tedy mnohem vhodnější pro dynamické změny otáček motoru. Zároveň jsou díky konstrukci méně náročné z hlediska údržby. [2]

4.1.8 Elektrický dynamometr synchronní s permanentními magnety

I přes stejný princip zdroje výkonu jako asynchronní dynamometr, reprezentuje tento typ poslední a vrcholný vývoj v oblasti dynamometrů. Díky rotoru s permanentními magnety, který má výrazně nižší moment setrvačnosti, je možné provádět vysoce dynamická měření, dosahující změny otáček motoru až v hodnotách 160 000 otáček za minutu každou sekundu a změnu hodnoty točivého momentu za méně než 1 milisekundu. Vzhledem k těmto parametrům je možné využívat dynamometr k dále popsaným vysoce dynamickým režimům měření v oblasti motorsportu a simulovat reálné zatížení motoru během závodu. [2] [9]



4.1.9 Elektrický dynamometr s vířivými proudy

Tento typ dynamometru pracuje na principu elektromagnetické indukce. Rotor je tvořen ozubeným kolem vyrobeným z vysoce permeabilního materiálu, který rotuje mezi deskami statoru s velmi malou vůlí. Na deskách statoru jsou upevněny cívky, které v důsledku buzení stejnosměrným proudem vytváří magnetické pole. Při otáčení rotoru, a tedy pohybu jeho zubů v magnetickém poli, dochází ke změně magnetického toku a tím tvorbě indukovaného napětí a vzniku vířivých proudů. Tyto proudy mají za následek vznik brzdného momentu mezi rotorem a státorem. Výsledný brzdný moment je možné regulovat pomocí změny velikosti proudu, kterou jsou buzeny cívky statoru. Veškerý brzdný výkon odebraný dynamometrem se mění na teplo, proto je důležité účinné chlazení. Velkou výhodou této varianty elektrického dynamometru je jednoduchá konstrukce a v porovnání s momentovou kapacitou i malé rozměry a nízká hmotnost. [2] [11]

Tab. 1 – Shrnutí kvadrantů funkce pro jednotlivé typy dynamometrů [2] [9]

Typ dynamometru	Kvadranty funkce
Mechanický	1,2
Vzduchový	1,2
Hydrodynamický s konstantním naplněním	1,2
Hydrodynamický s variabilním naplněním	1,2
Hydrodynamický diskový	1,2
Hydrostatický	1,2,3,4
Elektrický stejnosměrný	1,2,3,4
Elektrický asynchronní střídavý	1,2,3,4
Elektrický synchronní s permanentními magnety	1,2,3,4
Elektrický s vířivými proudy	1,2



Tab. 2 – Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých typů dynamometrů [2]

Typ dynamometru	Výhody	Nevýhody
Mechanický	Vysoká momentová kapacita od nulových otáček	Omezený rozsah pracovních otáček
Vzduchový	Nízká cena Nenáročná údržba	Vysoká hlučnost Nízká přesnost Omezené řízení
Hydrodynamický s konstantním naplněním	Odolná konstrukce	Pomalá změna zátěže Nutnost manuálního řízení Automatizace obtížná
Hydrodynamický s variabilním naplněním	Střední rychlost změny zátěže Automatické řízení Robustní konstrukce odolná přetížení	Nutná rychlá a vysoká dodávka vody Riziko poškození kavitací a korozí
Hydrodynamický diskový	Vysoké maximální otáčky	Nízký výkon v nízkých otáčkách
Hydrostatický	Funkce ve 4 kvadrantech	Mechanická složitost Hlučný a drahý Velký objem oleje o vysokém tlaku
Elektrický stejnosměrný	Vyspělá technologie Funkce ve 4 kvadrantech	Vysoký moment setrvačnosti rotoru Komutátor vyžadující pravidelnou údržbu
Elektrický asynchronní střídavý	Nižší moment setrvačnosti oproti stejnosměrnému Funkce ve 4 kvadrantech	Drahý Velké množství obslužných zařízení vyžaduje velký prostor
Elektrický synchronní s permanentními magnety	Nejnižší moment setrvačnosti umožňuje nejvyšší dynamiku Funkce ve 4 kvadrantech Malá velikost	Drahý Velké množství obslužných zařízení vyžaduje velký prostor
Elektrický s vířivými proudy	Nízká setrvačnost Snadná automatizace řízení Mechanická jednoduchost	Problémy s chlazením Nevhodný pro časté změny

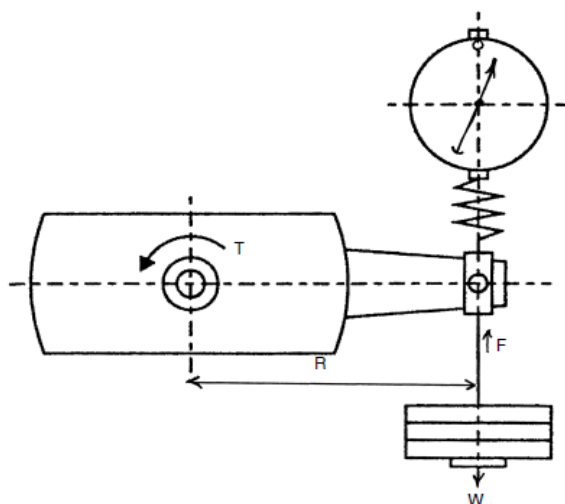


4.2 Měření točivého momentu

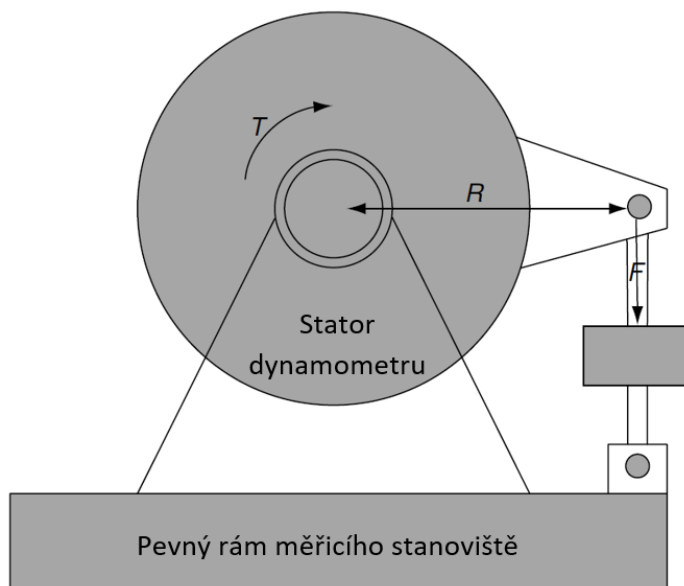
Pro měření točivého momentu spalovacího motoru je kromě samotného dynamometru vytvářejícího momentovou zátěž nutné ještě zařízení, které bude hodnotu zátěže přesně měřit. Při měření velikosti momentu se v praxi využívají 2 základní principy. [2]

4.2.1 Otočně uložené dynamometry

První variantou je nepřímé měření momentu uložením zátěže motoru, tedy statoru dynamometru, s možností otáčení okolo osy rovnoběžné s osou rotace rotoru. Toto uložení je někdy nazýváno kolébkové. Pohyb statoru je následně zachycen určitým druhem měřicího elementu, působícího tečně ve směru rotace na známém rameni vůči ose otáčení. Tento způsob měření momentu byl ještě do začátku současného století tím nejčastěji využívaným. Původní stroje využívaly kombinaci pružin a závaží, nastavených tak, aby jejich výsledná směrnice působení sil byla opravdu tečná vůči svému působišti. Vzhledem k určité konečné tuhosti tohoto mechanismu je nutné přenastavení celého systému v návaznosti na změnu momentu, pro zachování zmiňované tečnosti. Moderní systémy využívají v převážné většině tenzometrické snímače síly. Ty se vyznačují velmi vysokou tuhostí a změna nastavení, nutná u starších typů, zde odpadá. Nevýhodou je naopak omezená životnost snímače vlivem vysokého počtu zátěžných cyklů. Otočné uložení dynamometru je zajištěno kombinací kuličkových ložisek pro axiální fixaci a válečkových ložisek, případně ložisek hydrostatických. Ložiska, vzhledem ke statickému namáhání s minimálním úhlem rotace, pracují ve velmi nepříznivých podmínkách, které ještě zhoršují vibrace. To způsobuje sklony ložisek k vymačkávání a oděru. Je tedy nutná jejich častá kontrola a preventivní otáčení vnějšího kroužku. Z výše popsaného principu této měřicí metody vyplývá, že moment není měřen přímo, nýbrž je dopočten využitím vztahu (1). [2] [9]



Obr. 7 – Původní princip měření reakční síly dynamometru se závažími [2]



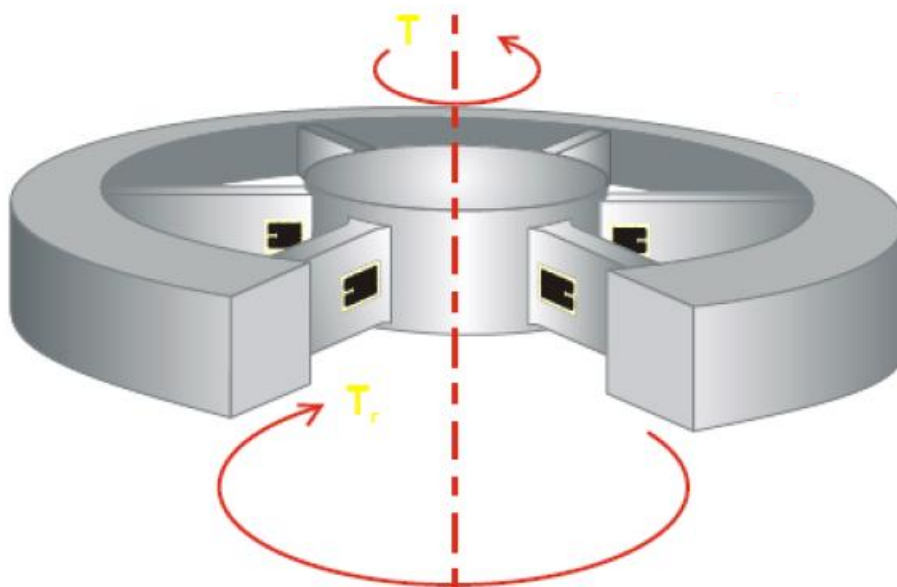
Obr. 8 – Moderní princip měření reakční síly dynamometru [2]

4.2.2 Měřicí hřídele nebo příruby

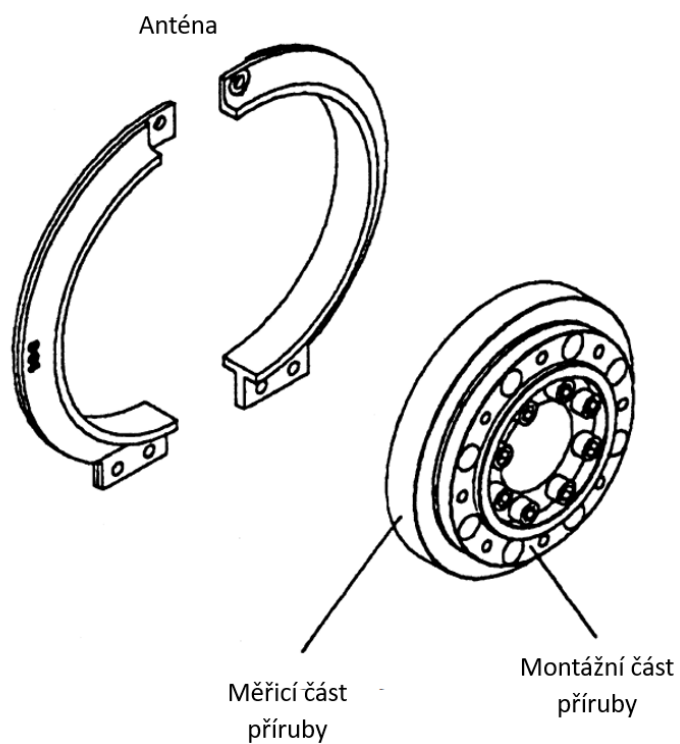
Druhou variantou měření momentu je vložení měřicího elementu ve formě hřídele nebo příruby do propojovacího řetězce mezi spalovací motor a dynamometr. Tento měřicí element je osazen tenzometry, jejichž signál je následně buď sběracími kroužky nebo bezkontaktně odeslán ke zpracování. Významnou výhodou použití měřicí příruby, případně hřídele, je možnost zanedbat momenty setrvačnosti dynamometru při dynamických měřeních, jelikož je měřen přímo moment působící na klikový hřídel motoru. Naopak s sebou přináší ale i mnoho nevýhod. Mezi hlavní patří nutnost dostatečného naddimenzování vzhledem k maximální momentové kapacitě dynamometru, což vede ke snížení přesnosti a rozlišení měření. Dále je to nutnost přesného a opatrného připojení motoru k zátěži kvůli eliminaci ohybového, případně axiálního namáhání nebo obtížná



kalibrace V oblasti měření spalovacích motorů je nejběžněji užívaná tenzometrická měřicí příruba (Obr. 10), která je připojena přímo na vstup dynamometru. [2] [9] [12]



Obr. 9 – Konstrukce tenzometrické příruby s radiálními žebry [12]



Obr. 10 – Tenzometrická měřicí příruba pro bezkontaktní přenos signálu [2]



5 Dostupná zařízení pro měření výkonových parametrů motocyklů s motorem s malým zdvihovým objemem

Měření motocyklového motoru s malým objemem, v tomto případě o hodnotě 50 cm³, není v oboru měření výkonových parametrů motorů příliš obvyklé. Výrobci srovnatelných motorů disponují pro své vývojové aktivity příslušným zařízením, ovšem to je pro veřejnost nedostupné. V komerční oblasti se objevuje několik výrobců, kteří zařízení, když ne ideální tak alespoň částečně vhodné, nabízejí.

5.1 AVL RoadSim 25“

Společnost AVL nabízí válcovou brzdou RoadSim 25“. Uvedené měřicí zařízení je dle výrobce určeno primárně pro měření motocyklů a mopedů, v případě drobné konstrukční úpravy i pro měření vozidel tříkolových a čtyřkolových typu ATV. Kromě základních výkonových parametrů je možné měřit i emise výfukových plynů, spotřebu paliva, případně v simulovaných podmínkách klimatické komory. [13]

Tab. 3 – Parametry válcové brzdy AVL RoadSim 25“ [13]

Konstantní výkon [kW]	55
Maximální výkon [kW]	82,5
Šířka válce [mm]	400
Průměr válce [mm]	648
Rozsah simulace momentu setrvačnosti [kg]	80 - 450
Maximální zatížení nápravy [kg]	500



Obr. 11 – Válcová brzda AVL RoadSim 25“ [13]



5.2 AIP ECDM-21 MC

Společnost AIP nabízí válcovou brzdou ECDM-21 MC. Zařízení je určeno pro měření motocyklů a vozidel ATV. Umožňuje měření emisí výfukových plynů, spotřeby paliva a je možné jej využít pro měření ve specifických klimatických podmínkách v klima komoře. [14]

Tab. 4 – Parametry válcové brzdy AIP ECDM-21 MC [14]

Konstantní výkon [kW]	50
Maximální výkon [kW]	-
Šířka válce [mm]	-
Průměr válce [mm]	400
Rozsah simulace momentu setrvačnosti [kg]	90 - 725
Maximální zatížení nápravy [kg]	-



Obr. 12 – Válcová brzda AIP ECDM-21 MC [14]

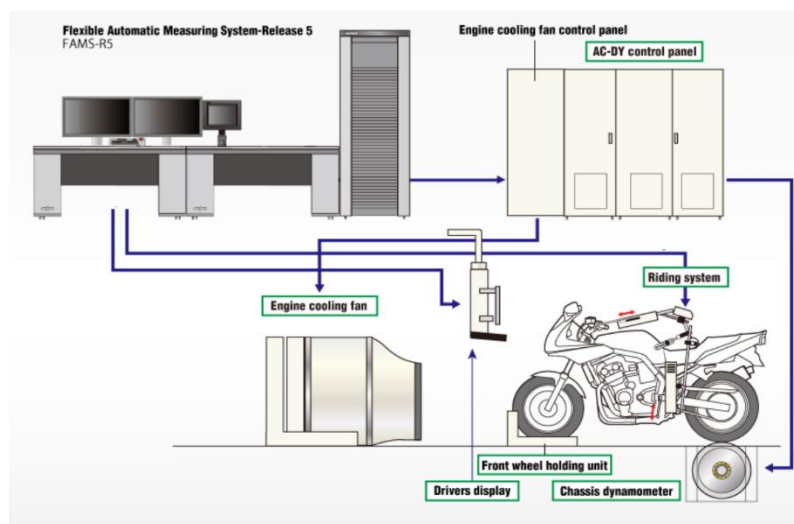


5.3 Onosokki

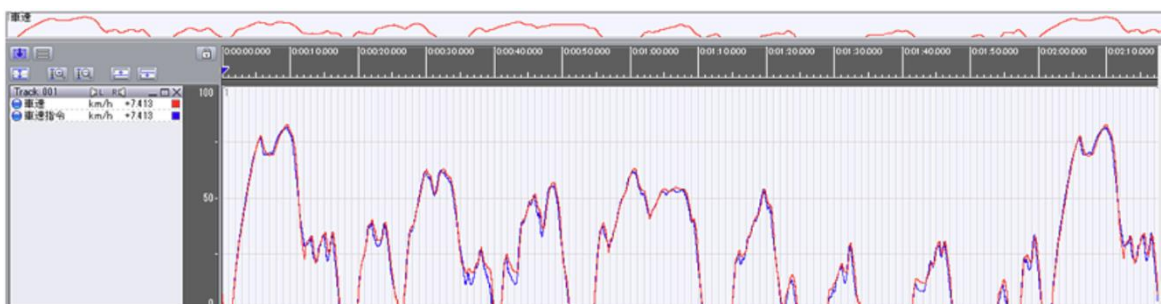
Společnost Onosokki nabízí válcovou brzdou určenou pro měření motocyklů. Dle dostupných informací zařízení umožňuje kromě měření výkonových parametrů i testy životnosti, měření emisí ve výfukových plynech nebo dynamickou simulaci jízdního režimu motocyklu. Zařízení Onosokki je možné dále rozšířit o integrované aktuátory ovládacích prvků motocyklu nebo automatické zařízení kalibrace měření točivého momentu. [15]

Tab. 5 – Parametry válcové brzdy Onosokki [15]

Konstantní výkon [kW]	37
Šířka válce [mm]	300
Průměr válce [mm]	530
Rozsah simulace momentu setrvačnosti [kg]	80 - 430
Maximální rychlost [km/h]	250
Maximální zrychlení [m/s ²]	4,9



Obr. 13 - Schématické zobrazení válcové brzdy Onosokki [15]



Obr. 14 - Zobrazení průběhu rychlosti simulovaného jízdního režimu motocyklu na válcové brzdě Onosokki [15]



5.4 Meidensha CE91-3181

Společnost Meidensha nabízí válcovou brzdou pro měření motocyklů. Dle údajů výrobce zařízení využívá tenzometrických měření mechanických ztrát v ložiscích rotujících válců a dokáže tak kompenzovat ztráty způsobené zatížením válce a jeho případné změny v průběhu měření. Dále brzda dokáže pracovat i v motorickém režimu. Setrvačnost dynamometru se nastavuje pomocí 5 rotujících disků a elektrické kompenzace. Zařízení je možné dovybavit aktuátory ovládající plynovou rukojeť motocyklu, spojku a řazení pomocí elektrických servomotorů. [16]

Tab. 6 – Tabulka parametrů válcové brzdy Meidensha [16]

Výkon brzdny [kW]	30
Točivý moment brzdny [Nm]	44
Výkon hnací [kW]	22
Točivý moment hnací [Nm]	32
Rozsah simulace momentu setrvačnosti [kg]	100 - 400
Maximální svislé zatížení měřicího válce [kg]	300
Maximální rychlost [km/h]	200
Šířka válce [mm]	300
Průměr válce [mm]	1061



Obr. 15 – Válcová brzda Meidensha [16]



5.5 Shrnutí rešerše dostupných měřicích zařízení

V návaznosti na výše uvedený průzkum dostupných zařízení je patrné, že běžně dostupná měřicí zařízení, i když určená pro měření malých motocyklů, svou výkonovou kapacitou značně převyšují výkon motoru, jež je předmětem této závěrečné práce. Zároveň cena představuje významnou překážku v jejich pořízení, jelikož projekty zabývající se takto malými motory většinou disponují značně omezeným finančním rozpočtem.

6 Experimentální vybavení centra vozidel udržitelné mobility

Centrum vozidel udržitelné mobility (dále CVUM) v Roztokách u Prahy je výzkumné pracoviště fungující při Fakultě strojní, Českého vysokého učení technického v Praze. Z technického vybavení se v CVUM mimo jiné nachází laboratoř vstřikování paliv s testovací stolicí systému common rail, testovací stolicí systému IFR a zařízeními pro zkoumání vstřikování vysokotlakých trysek vznětových motorů Injetvision, laboratoř s výzkumným jednoválcovým motorem AVL umožňujícím výzkum a vývoj spalování a mechanických ztrát, laboratoř pohonů umožňující životnostní zkoušky převodovek, měření vibrací převodovek a deformaci skříní a hřídelů nebo laboratoř optických měření proudění, umožňující zkoumat vnitřní aerodynamiku motorů. Vzhledem k povaze práce bude dále podrobněji popsáno zařízení určené k měření výkonových parametrů spalovacích motorů. [17]

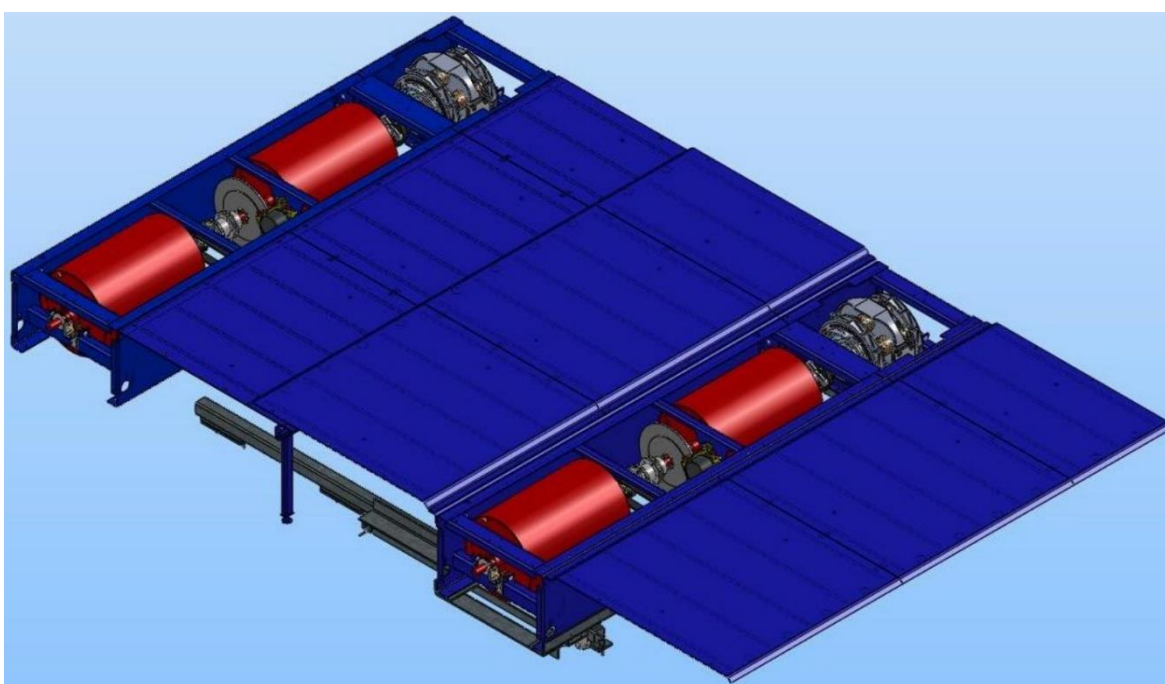
6.1 Válcová brzda Maha 500 MSR

Uvedená válcová brzda je vybavena čtveřicí měřicích válců rozdělených do 2 skupin, pro každou nápravu zvlášť. Každá z těchto skupin je vybavena elektrickým dynamometrem s vířivými proudy a elektromotorem. Toto umožňuje zařízení částečně pracovat i v motorickém režimu. Součástí příslušenství měřicího stanoviště je zařízení pro odvod výfukových plynů, ventilátor pro ofukování vozidla a držák pro uchycení předního kola motocyklu. [17] [18]



Tab. 7 – Parametry válcové brzdy Maha 500 MSR [17] [18]

Výkon celkový brzdňý [kW]	520
Výkon celkový hnací [kW]	44
Maximální trakční síla [N]	14 000
Mechanická simulace momentu setrvačnosti [kg]	560
Maximální rychlost [km/h]	300
Maximální svislé zatížení nápravy [kg]	2500
Rozchod kol vozidla [mm]	700 – 2 200
Průměr válců [mm]	504



Obr. 16 – Válcový dynamometr Maha 500 MSR [18]

6.2 Vozidlový dynamometr Maha AIP-ECDM 48L

CVUM disponuje pro měření výkonových parametrů motorů vozidlovým dynamometrem Maha AIP-ECDM 48L. Tento dynamometr disponuje čtveřicí nezávisle na sobě říditelných válcových jednotek s vysoce dynamickým řízením a přesným řízením rychlosti válců, dosahující maximálního rozdílu mezi jednotlivými válci 0,02 km/h. K dispozici je rovněž adaptér pro uchycení a měření výkonových parametrů motocyklu. Řídicí systém dynamometru obsahuje aktuální databázi normalizovaných testovacích jízdních cyklů pro Evropskou unii, Japonsko i USA. [17] [19]



Tab. 8 – Parametry vozidlového dynamometru Maha AIP-ECDM 48L [17] [19]

Výkon celkový [kW]	300
Maximální trakční síla [N]	8200
Maximální rychlost [km/h]	240
Maximální svislé zatížení měřicího válce [kg]	2000
Rozvor náprav vozidla [mm]	1800 - 3600
Průměr válců [mm]	1200



Obr. 17 – Konstrukční uspořádání vozidlového dynamometru Maha AIP-ECD 48L [17]



Obr. 18 – Vozidlový dynamometr Maha AIP-ECD 48L [17]



6.3 Motorový dynamometr AVL DynoExact

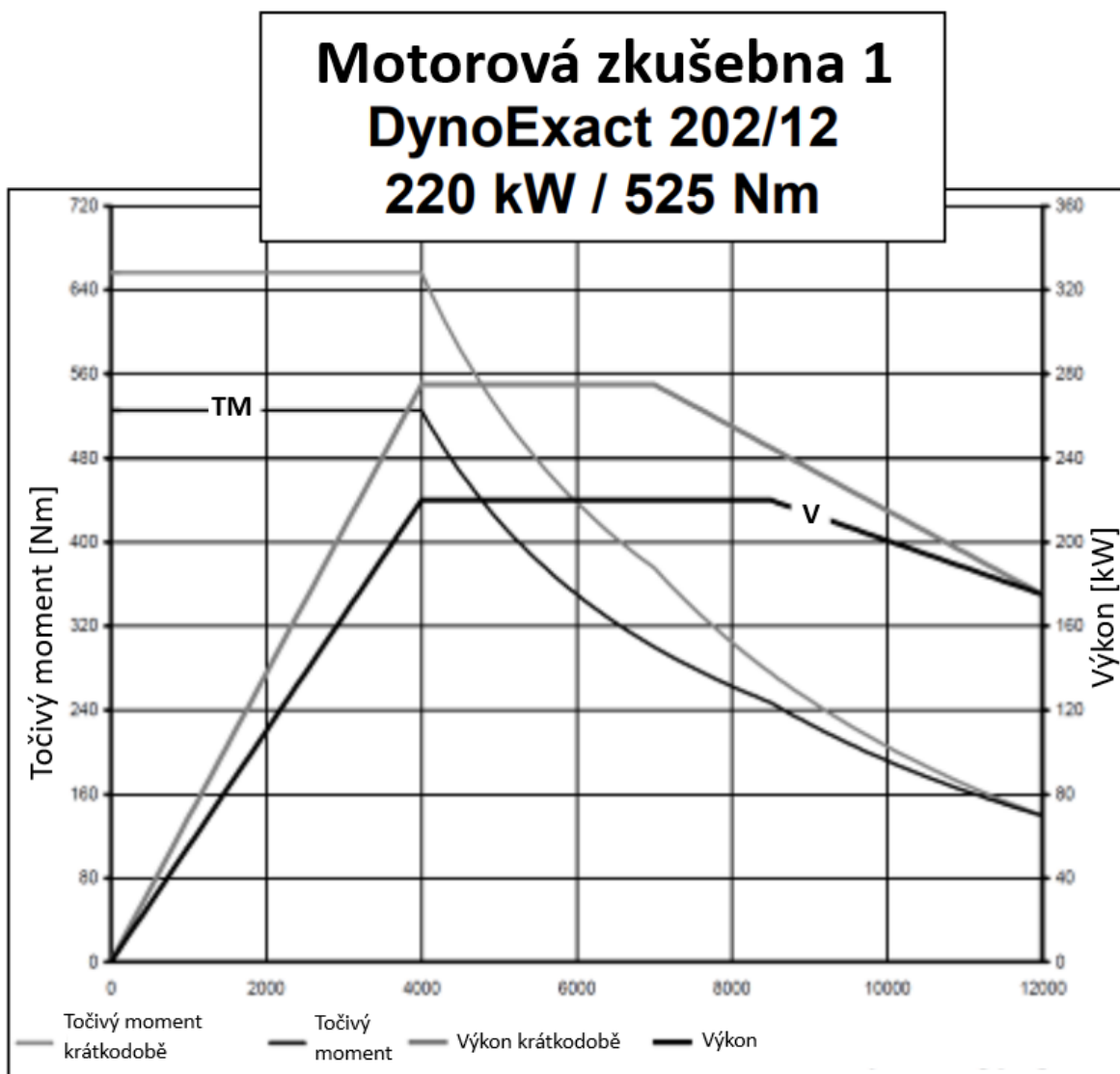
Dalším měřicím zařízením pro měření výkonových parametrů spalovacích motorů je motorový dynamometr AVL DynoExact. CVUM disponuje celkem dvěma těmito motorovými dynamometry o výkonech 220, respektive 330 kw. Konkrétně se jedná o vysoce přesné střídavé elektrické dynamometry, otočně uložené v hydrostatických ložiscích. Řídicí systém dynamometru umožňuje simulaci složitých jízdních stavů, zahrnující vstupy od řidiče. Měřicí stanoviště je vybaveno rozsáhlým příslušenstvím, jako například měřením spotřeby paliva s maximální dodávkou paliva 125 kg/h, zařízením pro chlazení motoru, měřením profuku motoru, měřením emisí ve výfukových plynech nebo zařízením pro indikaci motoru. [13] [17]

Tab. 9 – Parametry motorového dynamometru AVL DynoExact [13] [17]

Trvalý výkon [kW]	220	300
Maximální točivý moment [Nm]	525	1400
Přesnost měření točivého momentu [% rozsahu]	< 1 %	



Obr. 19 – Motorový dynamometr AVL DynoExact s příslušenstvím [13]



Obr. 20 – Zátěžný diagram dynamometru AVL DinoExact 202/12 [13]



7 Motivace pro realizaci měření

Jak již bylo zmíněno v úvodu práce, závodní motocykl s malým zdvihovým objemem je v rámci tématu této závěrečné práce motocykl Jawa 50, typ 23. Přídomek závodní je použit, s přihlédnutím k tomu, že se s motocyklem už několik let účastním nejrůznějších, především terénních, závodů a mimo jiných komponent i motor motocyklu prochází během těchto let postupným vývojem a doznal již řadu úprav s cílem dosáhnout co nejlepších výkonových parametrů. Do současné doby probíhalo veškeré ověřování úprav a změn provedených na motoru motocyklu pouze pomocí jízdních zkoušek. Ty probíhaly ve většině případů tak, že jsem po provedení určitých úprav provedl testovací jízdu na silnici za domem. Stoupání oné silnice, a tedy jízdní odpor při akceleraci motocyklu, umožňovalo zhodnocení přínosu provedené úpravy pouze skrze pocit během jízdy a případně ještě vyzorování, kdy dochází ke změně převodových stupňů a tím posouzení akceleračních schopností motocyklu. Mým cílem pro další úpravy a vývoj bylo tedy přistoupit k ověřování jejich přínosu odborněji a použít při nich měřicí techniky umožňující prokazatelně posoudit jejich vliv na výkon motoru. Tak jak je popsáno v kapitole 2.1, měření výkonových parametrů reálnou jízdní zkouškou s sebou přináší několik nevýhod. Ty jsou v případě výše uvedeného motocyklu ještě umocněny, vzhledem k absenci rozsáhlejší elektrické instalace omezené pouze na zapalování motocyklu a jeho nízkého výkonu, kdy i sebemenší změna okolních podmínek, ať už to je teplota, vlhkost, případně protivítr, způsobí velké rozdíly ve vykázané jízdní dynamice, a tedy i výkonu motoru. Vzhledem k těmto skutečnostem je primární motivací práce ověření možnosti využít laboratorní zařízení zmíněná v kapitole 6 pro měření výkonových parametrů výše zmíněného motoru z hlediska jejich přesnosti a opakovatelnosti a využití jejich výsledků pro další vývoj motoru.



8 Možnosti využití experimentálního vybavení centra vozidel udržitelné mobility pro měření maloobjemového motocyklového motoru

V návaznosti na kapitolu 6, kde bylo popsáno Centrum vozidel udržitelné mobility z hlediska dostupných měřicích zařízení, se v rámci měření výkonových parametrů jeví jako použitelné obě podrobněji popsané varianty, kdy v případě motorového dynamometru by vzhledem k očekávanému výkonu motoru, nepřevyšující hodnotu 8 kW, byl použit ten s menší výkonovou kapacitou.

8.1 Možná úskalí využití dotčených stanovišť

8.1.1 Válcová brzda Maha 500 MSR

V případě válcové brzdy, která je vybavena adaptérem pro měření motocyklů, se tato varianta jeví z hlediska náročnosti příprav měření jako nejjednodušší. Měření by nevyžadovalo vyjmutí motoru z rámu motocyklu, pouze výměnu pneumatiky zadního kola za variantu se silničním vzorkem kvůli dostatečné třecí síle mezi kolem a měřicím válcem. Zásadní problémy lze očekávat z hlediska přesnosti a opakovatelnosti měření, způsobené nízkým očekávaným výkonem motoru, který se dle odhadů bude pohybovat pod hranicí 2 % momentové kapacity měřicího zařízení. Tento fakt bude následně ještě umocněn typem měřicího zařízení, kdy v případě měření na válcové brzdě ovlivňují výsledek setrvačné momenty všech rotujících částí a chyby v jejich zjišťování.

8.1.2 Motorový dynamometr AVL DynoExact

V případě motorového dynamometru je situace z hlediska příprav měření a nutných konstrukčních úprav podstatně složitější. Obvyklou praxí je spojení klikového hřídele spalovacího motoru prostřednictvím určitého tlumicího propojovacího elementu přímo s rotorem dynamometru. Konstrukce motocyklového motoru Jawa 50 s klikovou skříní a skříní převodovky spojenými v jeden celek neumožňuje jejich oddělení. Zároveň oba konce klikového hřídele jsou využity pro pohon právě převodovky ze strany jedné, respektive pro uložení rotoru zapalovací soustavy motoru ze strany druhé. Další problém představují maximální otáčky dynamometru o hodnotě $12\,000\text{ min}^{-1}$, kdy bylo předpokládáno, že motor by tuto hodnotu mohl překročit. Toto bylo následně i potvrzeno viz. kapitola 9.2. Z výše popsaných důvodů proto bylo od záměru propojení dynamometru přímo s klikovým hřídelem motoru upuštěno.



Další možnost pro odběr točivého momentu motoru představuje výstupní hřídel z převodovky, původně určená pro montáž řetězového kola. Ta, vzhledem k primárnímu převodu motoru z klikové hřídele na vstupní hřídel převodovky $i_p = 2,43$ a převodovému poměru třetího, tedy nejvyššího, převodového stupně $i_3 = 1$, již svými otáčkami vyhovuje požadavkům dynamometru. Problém by v rámci tohoto řešení mohly představovat ztráty točivého momentu způsobené primárním převodem motoru a následně v převodovce motocyklu. Vzhledem k předpokladu, že tyto ztráty budou po zahřátí olejové náplně převodovky motoru mezi jednotlivými měřeními neměnné, je lze zanedbat. Uvedený předpoklad je ovšem třeba zohlednit a ověřit při hodnocení výsledků měření.

Z hlediska měření točivého momentu na uvedeném dynamometru, je výrobcem garantovaná maximální odchylka měření menší než 0,1 % maximálního rozsahu. V tomto konkrétním případě tato odchylka představuje 0,2 kW. Tato hodnota by v případě měřeného motoru představovala 2,5 % jeho odhadovaného výkonu. Vzhledem k výkonům motorů stejného typu, sahajícím až k hranici 12 kW, je uvedená odchylka přijatelná, jelikož cílem úprav prováděných na motoru je dosažení větších výkonových rozdílů. Měření s uvedenou odchylkou splňuje požadavky na měření.

8.1.3 Shrnutí možných úskalí využití dotčených stanovišť

Vzhledem k výše uvedeným úvahám a závěrům se jako nejvhodnější jeví využití kombinace měření na válcové brzdě a motorovém dynamometru.

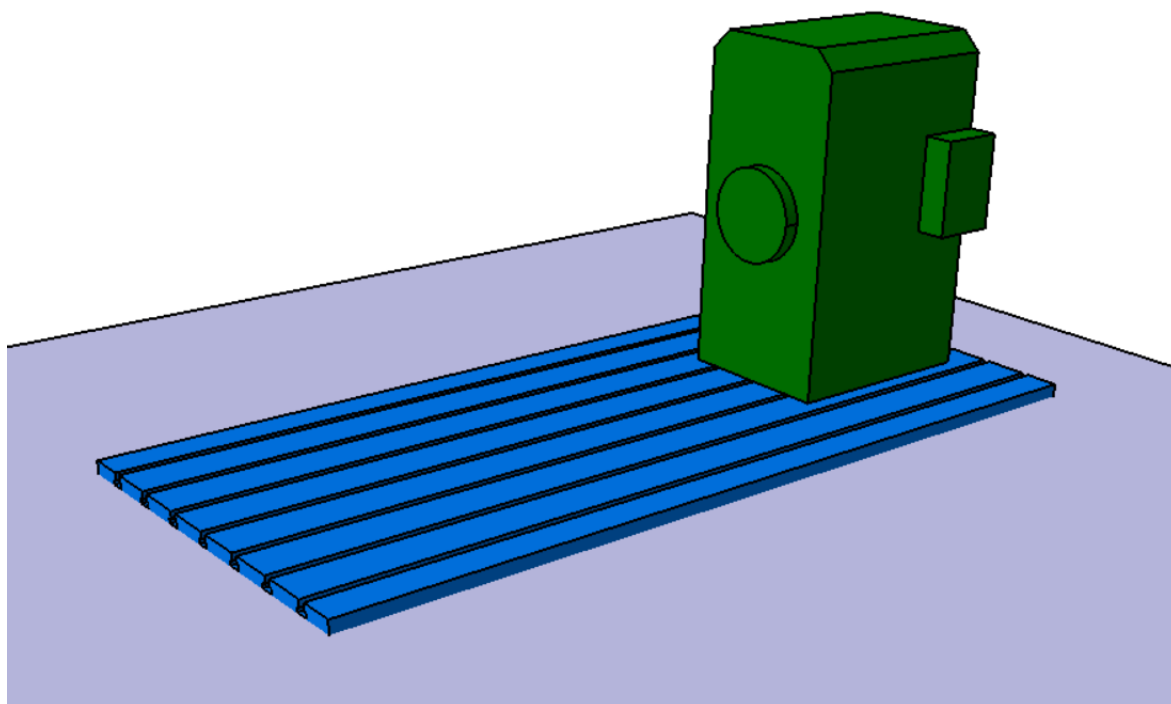
V případě válcové brzdy i přes nepříznivé předpoklady z hlediska teoretické přesnosti tohoto měření, jsou praktické zkušenosti mnohem optimističtější a vzhledem k zásadním výhodám z hlediska jednoduchosti a rychlosti přípravy měření uvedená metoda nebude zavrhnuta a měření na válcovém dynamometru bude provedeno za účelem zhodnocení jeho opakovatelnosti a vypovídací hodnoty. Měření na válcové brzdě je nejrozšířenějším způsobem měření výkonových parametrů co do počtu dostupných zkušeben. Ověření jeho průkaznosti a opakovatelnosti by znamenalo výrazné zjednodušení možnosti měření výkonových parametrů obdobných motorů.

Měření na motorovém dynamometru by mělo z důvodu vyšší přesnosti ověřit rozdíl opakovatelnosti a vypovídací hodnoty vůči měření na válcovém dynamometru pro posouzení, zda zvýšená náročnost měření představuje výrazné zpřesnění výsledků.



8.2 Návrh konstrukčních úprav vybraných stanovišť pro možnosti měření maloobjemového motocyklového motoru

Konstrukční úpravy a přípravy, umožňující měření zkoumaného motoru se budou týkat především měření na motorovém dynamometru. Toto měřicí stanoviště je vybaveno ložem v těsné blízkosti dynamometru, sloužícím pro uchycení kotvícího systému motoru. Kotvící systém musí umožňovat přesné umístění motoru pro zajištění jeho souososti s dynamometrem a zároveň být dostatečně tuhý pro eliminaci výchylek z této polohy i při měření a zatížení motoru točivým momentem. Z hlediska připojení motocyklového motoru k dynamometru bylo třeba umožnit spojení hřídele s rovnobokým drážkováním určeným pro unášení řetězového kola a příruby dynamometru. Pro vyřešení obou těchto problémů byly rozpracovány dvě návrhové varianty.



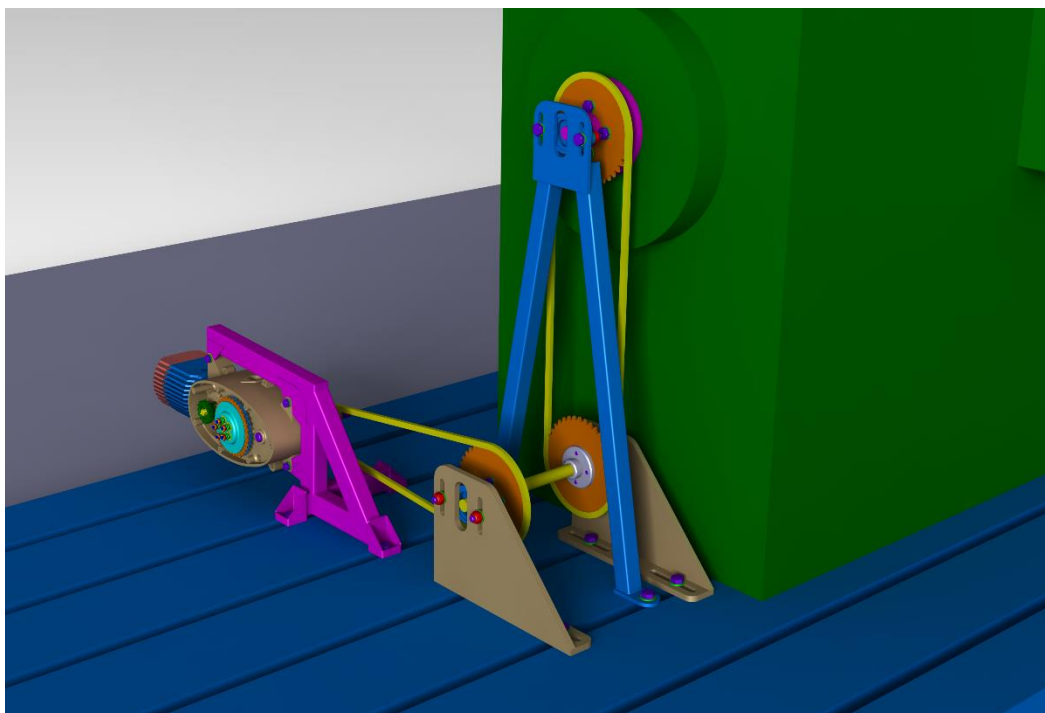
Obr. 21 – Model měřicího stanoviště motorového dynamometru

8.2.1 Varianta soustavy řetězových převodů

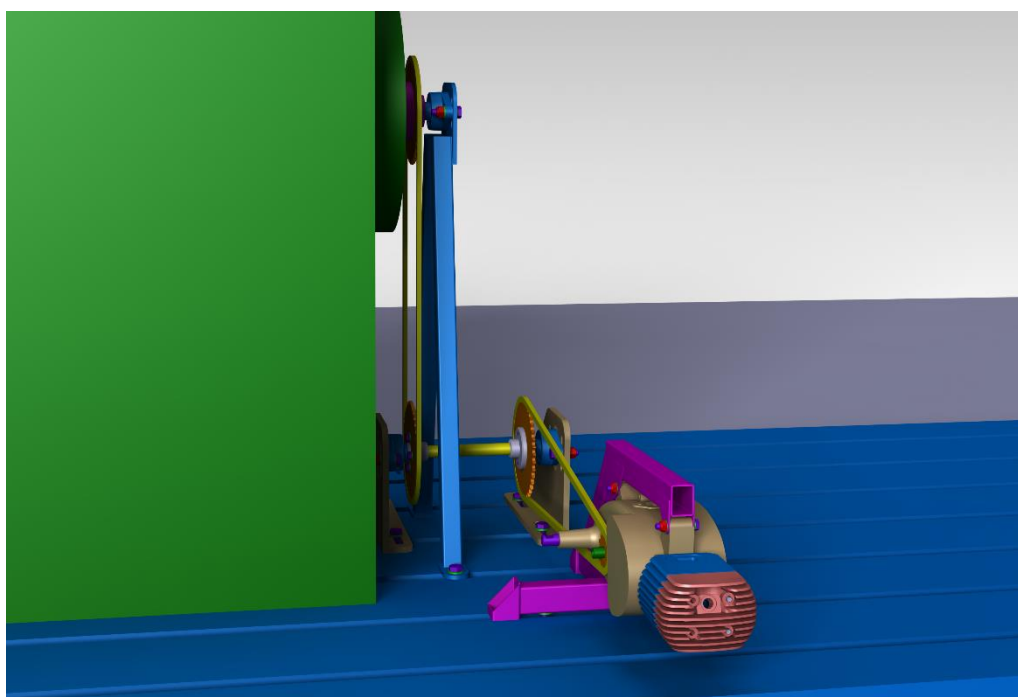
V případě této varianty je využito soustavy dvou řetězových převodů pro přenos točivého momentu z motoru na dynamometr. První řetězový převod zajišťuje přenos točivého momentu na vloženou hřídel. Tato hřídel je osazena dvojicí řetězových kol a točivý moment následně pokračuje na řetězové kolo uchycené na přírubě dynamometru. Pro snížení radiální síly působící na rotor dynamometru od řetězu je příruba dynamometru podepřena pomocí stojanu nesoucí ložiskový domek. Vložená hřídel je na obou koncích uložena



v ložiskových domcích. Nastavení osové vzdálenosti mezi motorem a vloženou hřídelí, respektive vloženou hřídelí a dynamometrem je realizováno posuvným upevněním ložiskových domků do ocelových adaptérů. Jako stojan motoru zde figuruje svařenec z ocelových profilů obdélníkového průřezu o rozměrech 40x30 mm, stejně jako je tomu na rámu motocyklu.



Obr. 22 – Varianta připojení motoru soustavou řetězových převodů



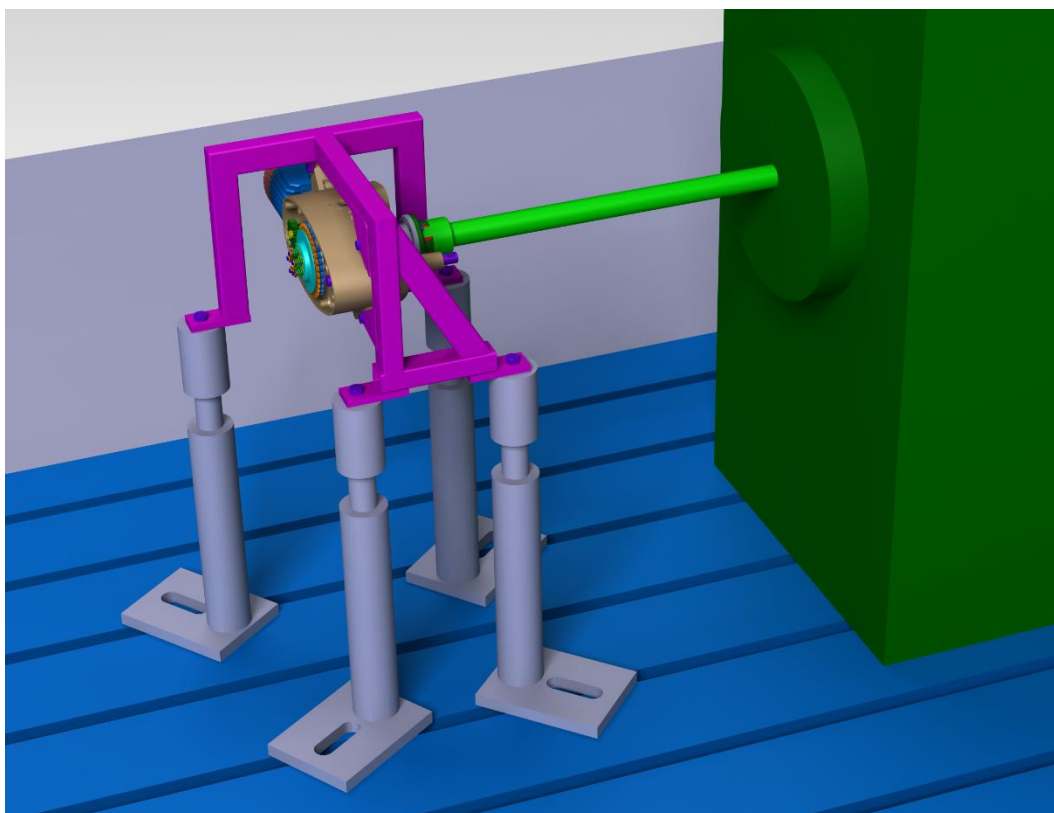
Obr. 23 – Varianta připojení motoru soustavou řetězových převodů



Tato varianta je výhodná z hlediska možnosti použít původní výstup točivého momentu z motoru pomocí řetězového kola bez jakýchkoliv úprav a možností univerzálního použití v případě potřeby měření jiných motorů s výstupem točivého momentu pomocí řetězového kola. Zásadní nevýhodou je přítomnost dvojice řetězových převodů, představující přidané momenty setrvačnosti a zdroje ztrát, kterým je cílem se během měření na motorovém dynamometru vyhnout.

8.2.2 Varianta připojení motoru souose

Druhou zvažovanou variantou bylo připojení motoru k dynamometru souose. Pro umožnění tohoto způsobu měření je třeba odstranit boční kryt motoru nesoucí ovládání spojky motoru. Tato skutečnost ovšem vzhledem k možnosti motorické funkce dynamometru, která nevyžaduje začínat měření s běžícím motorem, nepředstavovala problém. Řetězové kolo je nahrazeno adaptérem umožňujícím montáž příruby pružné spojky. Z pružné spojky je potom točivý moment přenesen na přírubu dynamometru pomocí propojovací hřídele. Jako stojan motoru figuruje svařenec z ocelových profil obdélníkového průřezu o rozměrech 40x30 mm, jako je tomu na rámu motocyklu.

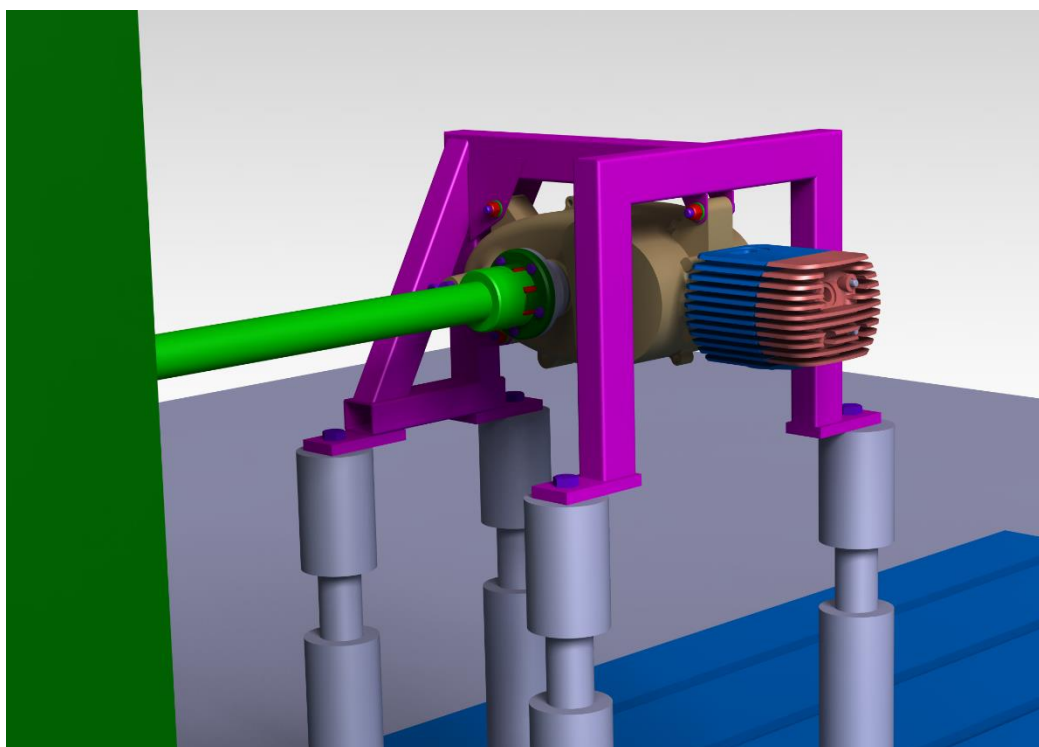


Obr. 24 – Varianta uložení motoru souose s dynamometrem



Pro dostatečnou výšku ukotvení motoru a zabezpečení souososti s rotorem dynamometru je použito univerzálních nastavitelných noh dostupných jako příslušenství měřicího stanoviště.

Výhodou této varianty je absence všech přídavných momentů setrvačnosti na nutně potřebné minimum, jednoduchost a v porovnání s předchozí variantou mnohem nižší počet dílčích komponent celého řešení. Jako nevýhoda by se mohla zdát výška ukotvení motoru vůči rovině lože, a tedy jeho nízká tuhost.



Obr. 25 – Varianta uložení motoru souose s dynamometrem

8.2.3 Rozhodnutí a výroba komponent

Na základě výše popsaných výhod a nevýhod u obou řešení bylo rozhodnuto využít variantu s uložení motoru souose s dynamometrem. Jako jediná možná nevýhoda se u tohoto řešení zdá být nízká tuhost uložení motoru způsobená výškou fixačních elementů. Vzhledem ke skutečnosti, že použité nastavitelné nohy jsou dimenzovány a používány pro měření motorů s výkonem více než desetinásobně vyšším, lze usoudit, že toto nebude představovat problém.



8.2.3.1 Adaptér řetězového kola

Řetězové kolo sekundárního převodu motocyklu, sloužící pro přenos hnací síly motoru na zadní kolo, je spojeno s výstupní hřídelí převodovky motoru prostřednictvím rovnobokého drážkování. Hřídel je rovněž opatřena závitem pro zajištění kola pomocí matice (Obr. 26).

Pro možnost přenosu točivého momentu na dynamometr bylo tedy nutné vymyslet adaptér, který by z hlediska montáže nahradil řetězové kolo, mohl být zajištěn maticí a zároveň umožňoval montáž příruby pružné spojky. Pro zjednodušení výroby, především tedy rovnobokého drážkování, je finální varianta dílu rozdělena na 2 části. První představuje ocelový výpalek drážkování. Druhou potom obrobek protikusů příruby pružné spojky. Tyto 2 části byly následně svařeny dohromady. Aby se předešlo možným deformacím hotového adaptéru po svaření vlivem teplotní deformace a zbytkových pnutí, finální obrobení dílu na čisto bylo provedeno až po jeho svaření. Pro zajištění souososti adaptéru a hřídele převodovky bylo toto obrábění provedeno upevněním adaptéru na hřídel převodovky a tato hřídel byla následně uchycena do soustruhu.

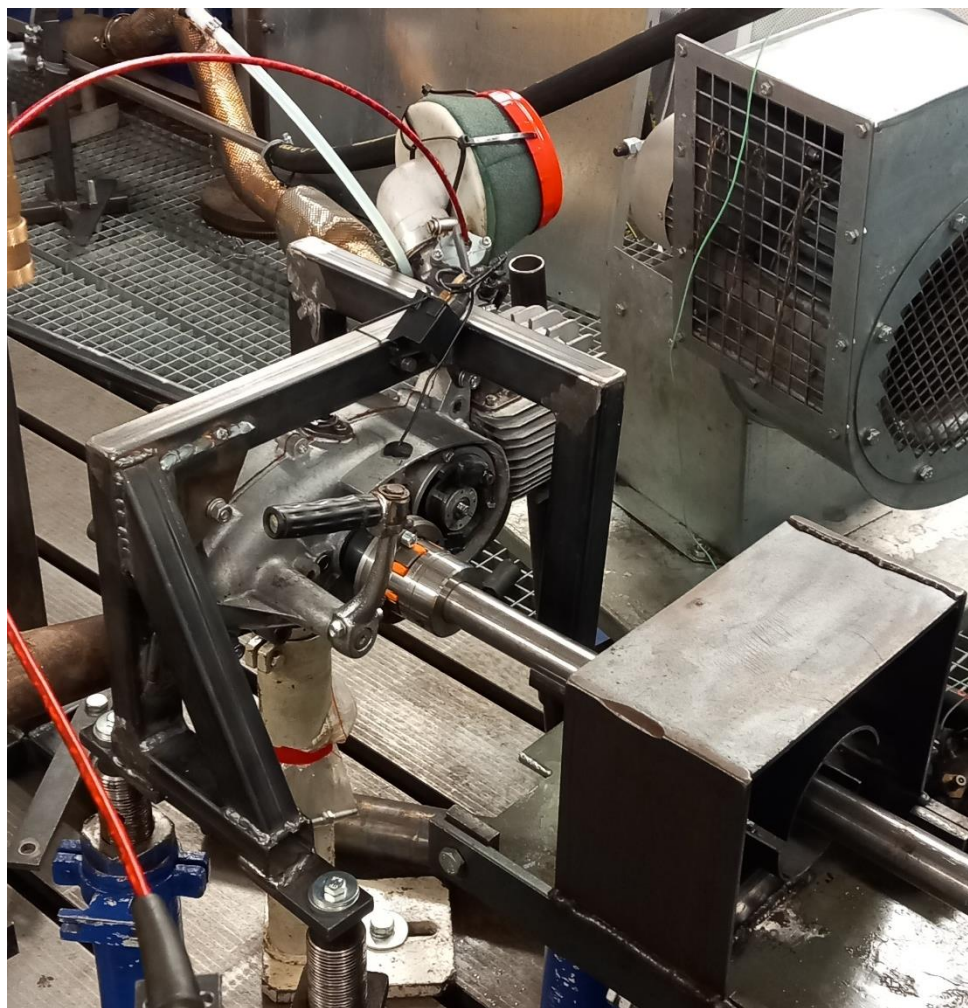


Obr. 26 – Adaptér nahrazující řetězové kolo sekundárního převodu po svaření



8.2.3.2 Stojan motoru

Pro uchycení motoru byl použit svařovaný stojan nahrazující rám motocyklu. Při jeho návrhu byla zohledněna snaha použít příslušenství motoru, především tedy sací potrubí, čistič nasávaného vzduchu a výfuk motoru přesně ve stavu, v jakém jsou na motoru. Stojan proto v kritických místech kopíruje věrně tvar rámu motocyklu. Pro zajištění bezpečnosti a předejití havárie byl stojan v porovnání s tímto rámem podstatně naddimenzován.

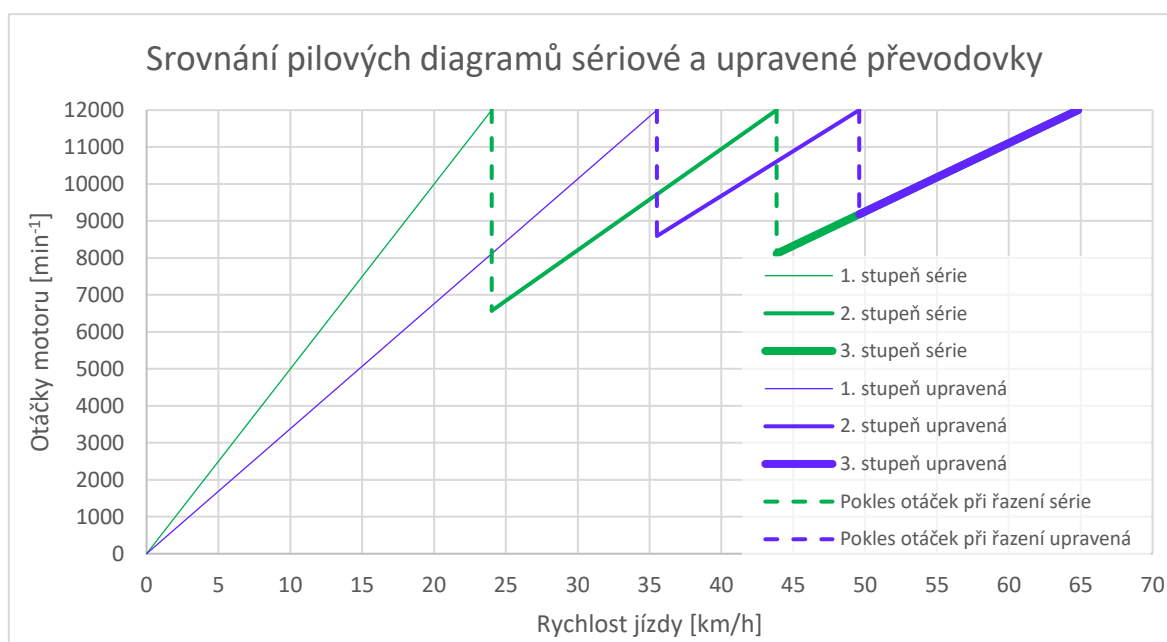


Obr. 27 – Motor usazený ve stojanu pro měření na válcovém dynamometru



9 Záznam dat z reálných jízdních zkoušek

V případě závodního motoru s nízkým výkonem, lze očekávat, že nejzajímavější z hlediska výkonu motoru bude vnější otáčková charakteristika. Tento předpoklad vychází ze skutečnosti, že takový motor nebude v převážné většině případů disponovat přebytkem výkonu z hlediska trakčních podmínek a závodník bude využívat jeho maximální výkon. Motocyklový motor Jawa 50, typ 23 kromě nízkého výkonu naráží z hlediska závodního využití na další zásadní problém, kterým je nízký počet převodových stupňů, konkrétně tedy 3. Z těchto důvodů lze usoudit, že pro zhodnocení výkonu testovaného motoru bude nejprůkaznější vnější otáčková charakteristika zohledňující nejen maximální hodnotu točivého momentu, respektive výkonu, ale především jejich průběh v závislosti na otáčkách a hodnotu v pásmu otáček, ve kterých motor opravdu pracuje. Pro určení tohoto pásma je obvykle rozhodující odstupňování převodových stupňů, které nám dá informaci o poklesu otáček při přeřazení. Grafické znázornění výše uvedené problematiky představuje tzv. pilový diagram. Ten zobrazuje průběh otáček motoru v závislosti na zařazeném převodovém stupni a rychlosti jízdy vozidla. Zkoumaný motor je vybaven upravenou převodkou se sníženým rozsahem, a tedy s nižšími poklesy otáček motoru při změně převodového stupně. Srovnání pilového diagramu sériové a upravené převodovky zobrazuje Graf 1.



Graf 1 – Srovnání pilových digramů sériové a upravené převodovky



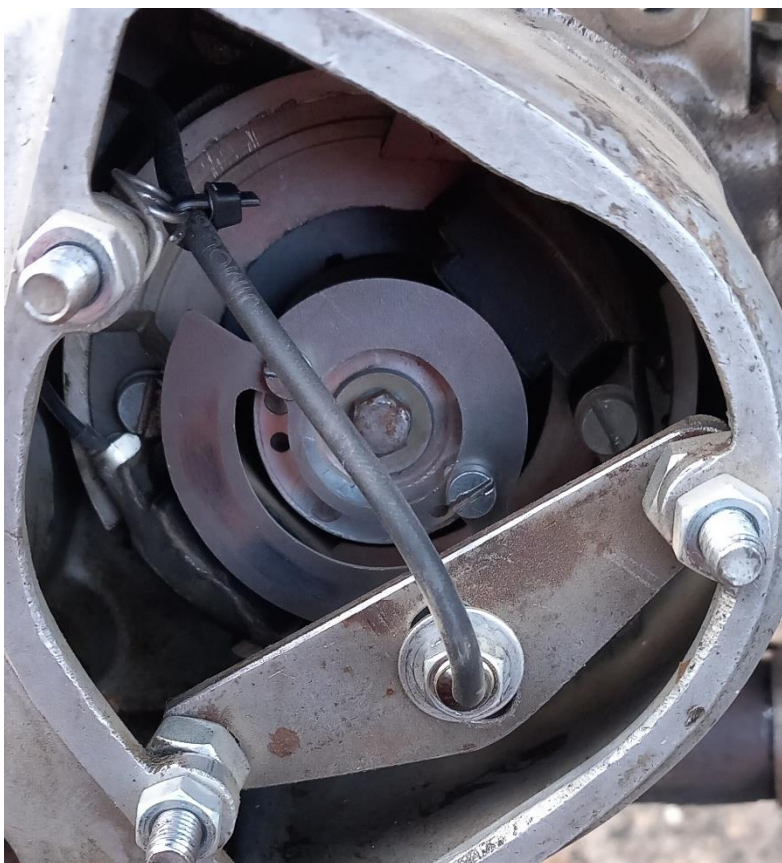
Z uvedeného grafu vyplývá pokles otáček motoru o 3 500 při řazení z prvního stupně na druhý, respektive 2 900 při řazení z druhého na třetí. V případě terénních závodů je třeba mimo parametry převodovky zohlednit i možný prokluz hnacího kola, zvýšený jízdní odpor vlivem stoupání a v neposlední řadě i chyby jezdce. Tyto všechny aspekty využívaný rozsah otáček zvětšují a jeho skutečnou velikost lze s jistotou zjistit pouze reálnou jízdní zkouškou. Kromě otáček motoru pro zjištění jejich využívaného rozsahu byla pro ověření předpokladu využívání převážně vnější výkonové charakteristiky snímána i poloha regulačního členu výkonu motoru.

9.1 Zařízení pro záznam dat

Motor motocyklu Jawa 50 obsahuje minimum elektroniky, a proto nebylo možné využít snímání již existujících signálů nebo jiných veličin. Stroj bylo tedy nutné osadit potřebnými snímači a také samostatným a soběstačným zařízením pro záznam těchto naměřených dat.

9.1.1 Snímač otáček motoru

Snímání otáček motoru bylo provedeno fyzickým měřením otáčení klikového hřídele. Na rotor zapalování motocyklu byla připevněna ocelová clonka s jednou náběžnou a jednou sestupnou hranou. Snímání clonky zajišťoval indukční snímač polohy.

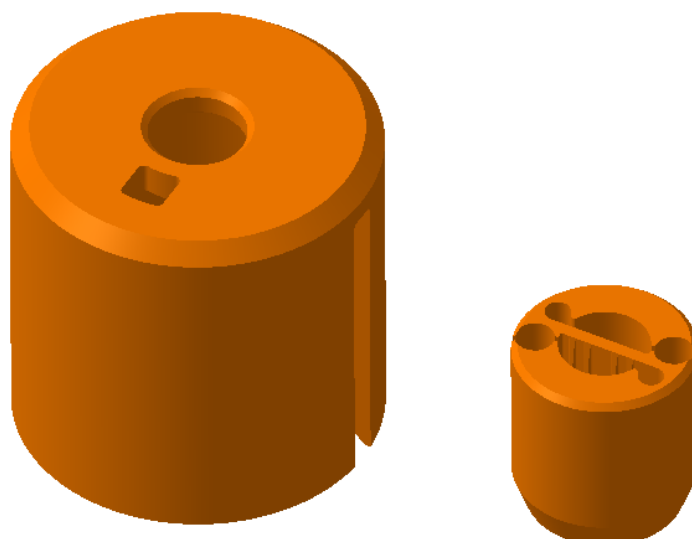


Obr. 28 – Detail snímání otáček motoru

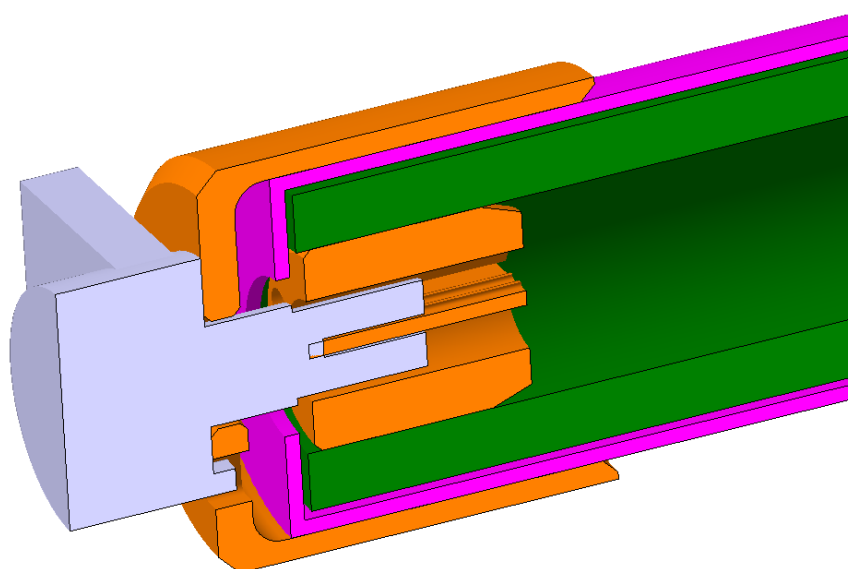


9.1.2 Snímač polohy regulačního členu motoru

V případě testovaného motoru je řídicím orgánem karburátor, respektive jeho šoupátko, v sacím potrubí. Z důvodu konstrukce karburátoru není možné snímat polohu přímo šoupátka. Namísto toho byla snímána poloha plynové rukojeti, kterou jezdec otáčí na řídítkách a ovládá právě zmiňované šoupátko. Vzhledem k čistě rotačnímu pohybu plynové rukojeti byl pro záznam její polohy zvolen otočný lineární potenciometr. Tělo potenciometru bylo na rukojeť plynu uchyceno pomocí objímky vnějšího průměru. Osa potenciometru byla v trubce řídítká fixována vložkou rozepřenu pomocí závitových červů. Oba díly byly vyrobeny pomocí 3D tisku. V řezu sestavou mechanismu (Obr. 30 je zelenou barvou zvýrazněna trubka řídítká, fialovou barvou rukojeť plynu, šedou barvou samotný potenciometr a oranžovou barvou objímka plynové rukojeti a vložka trubky řídítká.



Obr. 29 – Díly pro uchycení potenciometru k rukojeti plynu

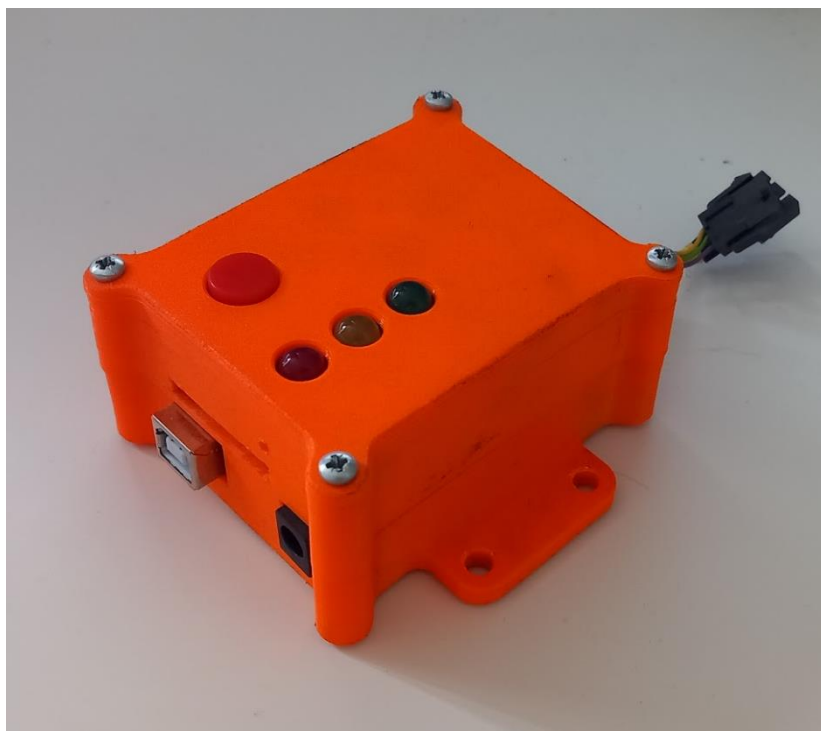


Obr. 30 – Řez mechanismem snímání polohy plynu



9.1.3 Datalogger

Poslední součástí potřebnou pro záznam naměřených dat je datalogger, zařízení pro zpracování, uložení a uchování naměřených hodnot snímačů. Vzhledem k autorovým nízkým znalostem v oboru programování a elektroniky byl pro tuto úlohu vybrán vývojový mikrokontroler Arduino, konkrétně Arduino UNO. Ten se vyznačuje jednoduchostí z hlediska programování a dostupných uživatelských návodů a tutoriálů a výhodou je i nízká cena. Zařízení bylo dále dovybaveno rozšířením umožňujícím ukládání dat na paměťovou kartu. Stinnou stránkou popsaného řešení je náročnost přípravy kontroléru pro záznam dat, představující vytvoření celého programu pro záznam dat a sestavení elektrických obvodů snímačů. Pro použití na motocyklu během jízdy bylo nutné vytvoření boxu dataloggeru umožňujícího upevnění na rám motocyklu a ochranu proti mechanickému poškození. Tento box byl vyroben pomocí 3D tisku (Obr. 31). Pro možnost ovládání a informace o práci dataloggeru byl box opatřen ovládacím tlačítkem a trojicí led diod indikujících aktuální režim. Vzhledem k očekávané dynamice průběhu otáček motoru během jízd byla frekvence záznamu dat zvolena na maximální hodnotu, které bylo Arduino schopné spolehlivě dosáhnout. Tato hodnota byla 100 Hz, tedy informace o poloze šoupátka karburátoru a aktuálních otáčkách byla ukládána každých 10 milisekund.

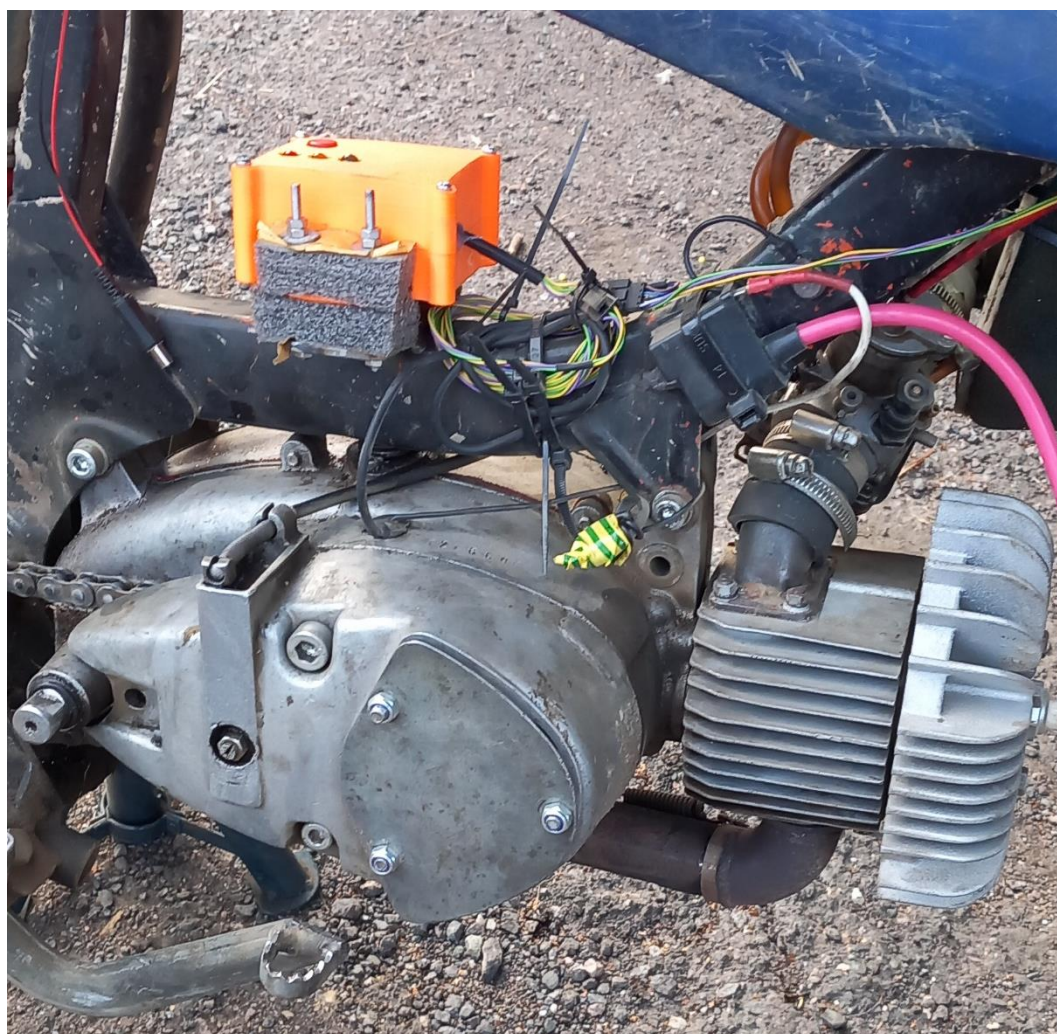


Obr. 31 – Box s dataloggerem Arduino



9.2 Záznam jízdních dat

Reálná jízdní zkouška a záznam dat probíhal přímo na trati jednoho ze závodů, kterých se motocykl účastní. Jedná se o trať s délkou 775 metrů určenou právě pro závody malých motocyklů. V rámci měření byly po několika neměřených kolech pro zahřátí motoru motocyklu a seznámení jezdce s tratí odjety 2 simulační jízdy o délce 4 kol, odpovídající skutečnému závodů. Pro usnadnění zpracování naměřených dat byla při průjezdu cílem vytvořena značka přesně oddělující kola od sebe. Tuto značku vytvoří jezdec chvilkovým uzavřením šoupátka karburátoru. Značka by měla být v datech jasně patrná díky charakteru úseku, kde se jinak jede s šoupátkem v maximální poloze.



Obr. 32 – Motocykl během testování na trati, osazený jednotkou dataloggeru a snímači



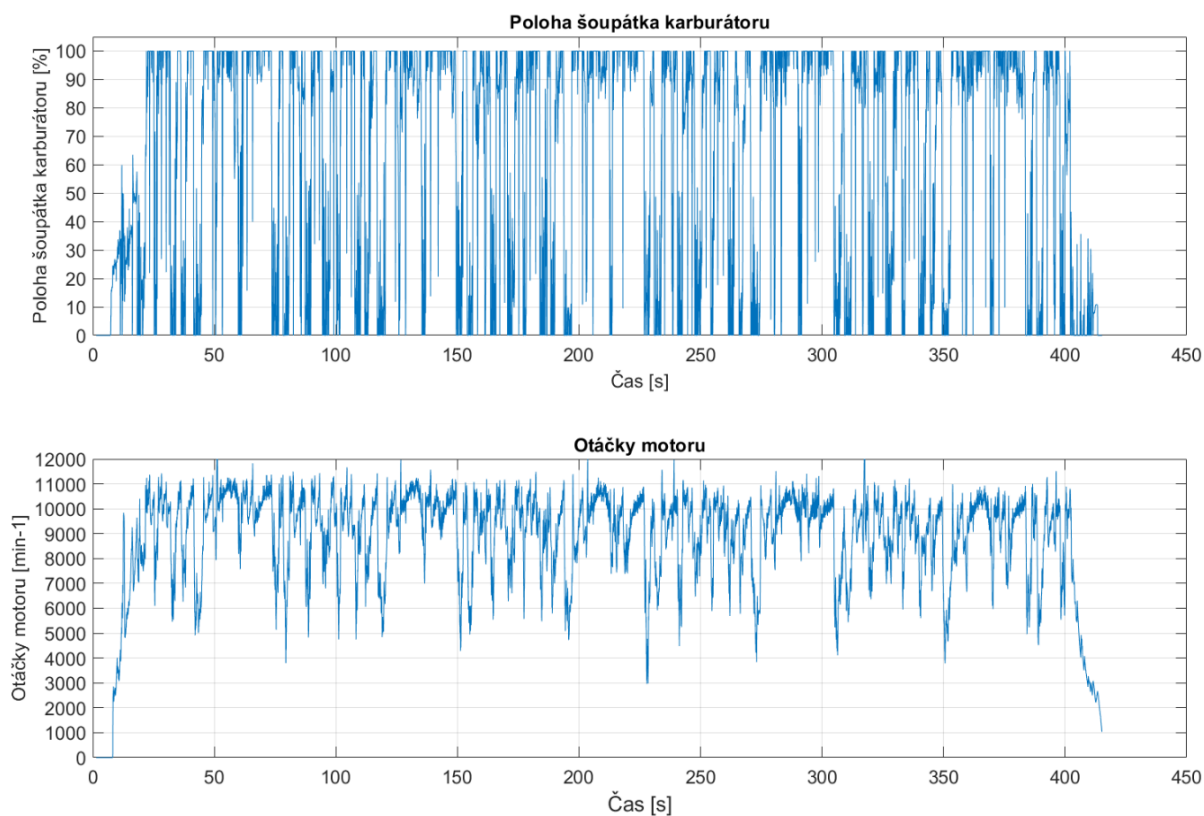
Obr. 33 – Mapa testovací trati

9.3 Zpracování dat

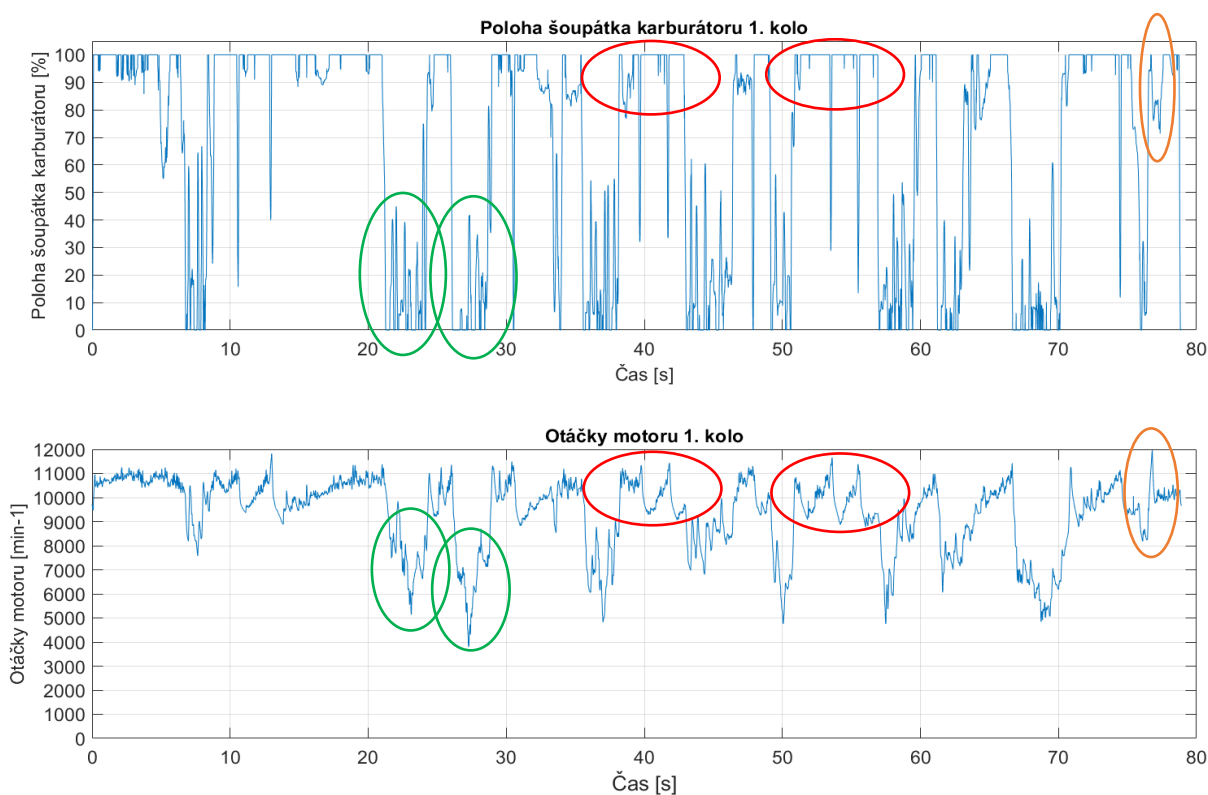
Zaznamenaná data byla uložena ve formě textového souboru na SD kartě (Obr. 34). Následné zpracování dat proběhlo v programu MATLAB R2023a. Pro detailnější pohled na oba průběhy byla jízda rozdělena na jednotlivá kola závodu (Graf 3). Pro začátku a konce kola bylo využito náhlé ubrání plynu, zmíněné již v kapitole 9.2. Při vykreslení průběhu obou zkoumaných veličin během jednoho kola je celý záznam mnohem přehlednější a lze identifikovat souvislosti naměřených dat s charakterem testovací trati.

```
18:02:28 23.7.2023
Aktualni_cas Čas_cycku Poloha plynu Cas mezi impulzy Otacky motoru
18:02:29 1393 20.23 0.00 0.00
18:02:29 1403 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1413 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1423 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1433 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1443 20.23 0.00 0.00
18:02:29 1453 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1463 20.23 0.00 0.00
18:02:29 1473 20.23 0.00 0.00
18:02:29 1483 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1494 20.23 0.00 0.00
18:02:29 1503 20.14 0.00 0.00
18:02:29 1513 20.14 0.00 0.00
```

Obr. 34 – Ukázka hrubých data zaznamenaných na paměťové kartě dataloggeru



Graf 2 – Průběh polohy šoupátka karburátoru a otáček motoru během simulace závodu



Graf 3 – Průběh polohy šoupátka karburátoru a otáček motoru během jednoho kola
(zeleně oblast průjezdu zatáčkou, červeně oblast akcelerace, oranžově oblast skoku)



Zeleně označená část průběhu v grafu odpovídá průjezdu motocyklu zatáčkou, kdy je šoupátko karburátoru uzavřené a otáčky motoru klesají. Hodnoty otáček nejsou z hlediska měření v této oblasti zajímavé, jelikož motor obvykle pracuje naprázdno, bez zátěže a není kladen požadavek na výkon ani točivý moment. Občasná nenulová hodnota polohy šoupátka karburátoru v této oblasti je způsobena jednak otřesy ruky jezdce na plynové rukojeti a případně cíleným pootevřením šoupátka karburátoru pro zabránění zastavení motoru.

Červeně označená oblast grafu naopak zachycuje okamžiky akcelerace motocyklu, poloha šoupátka karburátoru je v pozici plně otevřené, případně dochází k jeho krátkému přivření při změně převodového stupně. Tomu odpovídá i průběh otáček charakteristický střechovitým narůstajícím průběhem s propady při změně převodového stupně. Využívané spektrum otáček v těchto situacích je právě stěžejní pro hodnocení průběhu výkonu a točivého momentu motoru.

Z grafu je patrná i oblast terénního skoku na trati, označená oranžovou barvou. Zde dojde na krátkou dobu k uzavření šoupátka karburátoru, aby se předešlo přetočení nezátíženého motoru po ztrátě kontaktu kola motocyklu s povrchem. Z průběhu otáček motoru je patrná špička sahající až k hodnotě 12 000, způsobená roztočením motoru před dopadem kola pro získání setrvačné kinetické energie a zvýšení akcelerace motocyklu po dopadu.

Tab. 10 – Hodnoty pracovních otáček motoru zjištěné během simulace závodu

Horní hranice využívaných otáček [min^{-1}]	12 000
Spodní hranice využívaných otáček [min^{-1}]	8 500
Šířka využívaného pásma otáček [min^{-1}]	3 500

Vyhodnocením dat změřených během jízdní zkoušky motocyklu simulující průběh závodu byl zjištěn rozsah pracovních otáček, kdy je motor zatížen a je kladen důraz na jeho výkon. Tento rozsah otáček bude sloužit jako hodnotící měřítko při zpracování a hodnocení výsledků zjištěných během měření výkonových parametrů motoru v laboratoři.

Výše uvedenou jízdní zkouškou lze vzhledem k poloze šoupátka karburátoru potvrdit i předpoklad, že u motoru s takto malým výkonem a použití při terénních závodech bude kladen důraz na vnější výkonovou charakteristiku se šoupátkem v maximální poloze. Částečné charakteristiky nejsou z hlediska hodnocení výkonových parametrů v tomto případě podstatné.



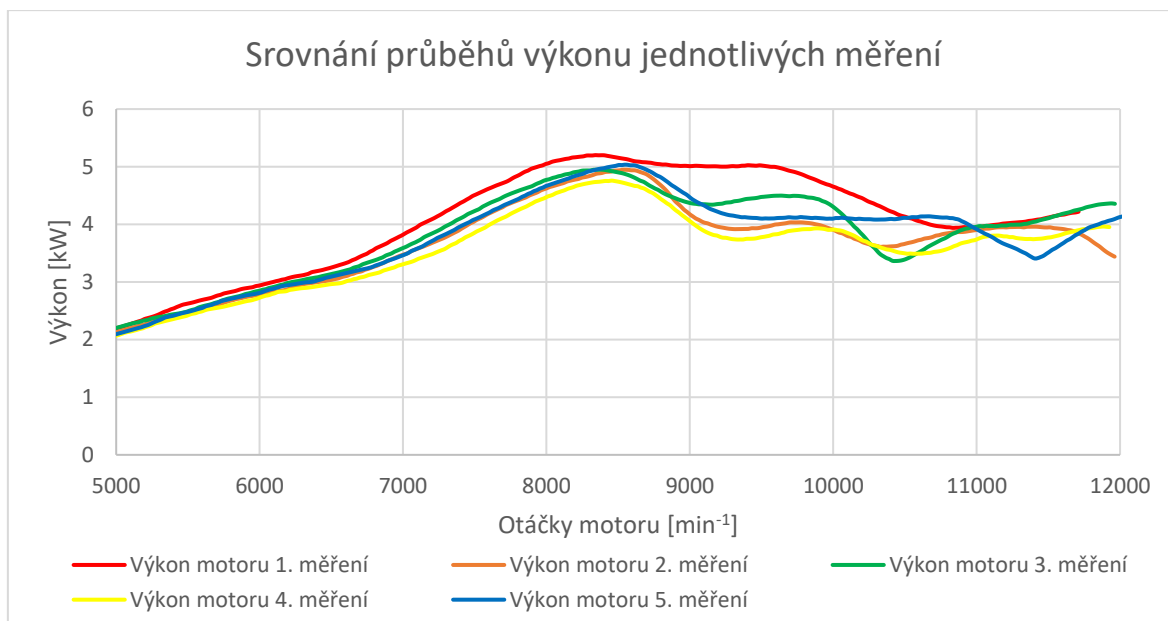
10 Vlastní měření

10.1 Měření na válcové brzdě Maha 500 MSR

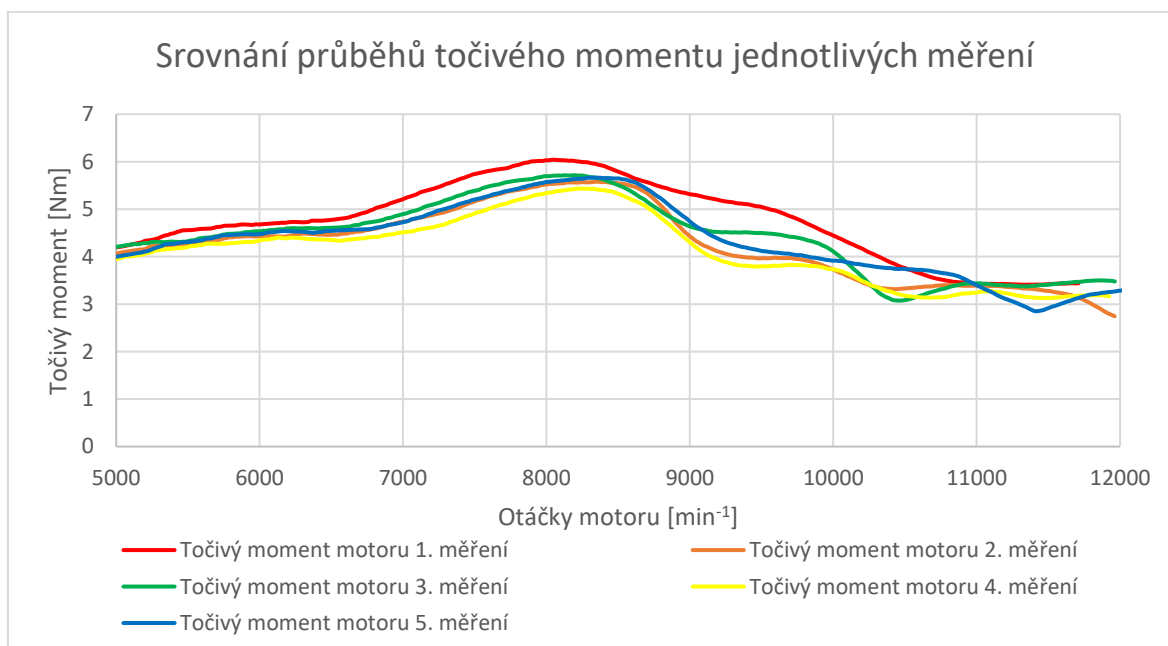
V případě válcové brzdy byl měřen výkon s motorem v rámu motocyklu a zatížením zadního kola. Jak bylo zmíněno v kapitole 8.1.1, jedinou nutnou změnou byla výměna pneumatiky zadního kola. Celý proces měření začal několika zkušebními pokusy, jejichž cílem bylo ověření správné funkce motoru, dostatečné trakce na zadním kole a zahřátí motoru na provozní teplotu. Následovala série měřících pokusů, kdy byla změřena vnější charakteristika motocyklu akcelerační zkouškou. Během tohoto měření byl zjištěn točivý moment odebíraný na zadním kole motocyklu. Při všech měřeních byla po dosažení maximálních otáček motoru provedena doběhová zkouška pro zjištění ztrátového výkonu (Graf 6), který byl přičten jako korekční hodnota ztrát k výkonu zjištěnému na zadním kole motocyklu (Graf 7). Výsledkem tohoto součtu by měl být výkon motoru (Graf 4).



Obr. 35 – Motocykl na válcové brzdě



Graf 4 – Průběhy výkonu při měření na válcové brzdě



Graf 5 – Průběhy točivého momentu při měření na válcové brzdě

Při srovnání jednotlivých měření je možné pozorovat, že všechny křivky výkonu i točivého momentu dosahují poměrně shodně svých maximálních hodnot okolo hranice 8 500 otáček motoru za minutu. Průběhy všech měření vykazují shodný trend průběhu točivého momentu do dosažení jeho maximální hodnoty. Za tímto vrcholem dochází k významnému nárůstu rozdílů a zvlnění průběhu napříč měřeními. Stejný charakter má i průběh výkonu po překročení otáček své maximální hodnoty. Tomuto trendu se vymyká první z měření, které v celém rozsahu otáček vykazuje nejvyšší měřené hodnoty, po dosažení maximální hodnoty nenastane prudký propad průběhu, ale pozvolný pokles.



Tab. 11 – Maximální hodnoty výkonu motoru při měření na válcové brzdě

	Maximální výkon motoru [kW]	Rozdíl [%]
1. měření	5,20	9,3
2. měření	4,95	4,0
3. měření	4,95	4,0
4. měření	4,76	-
5. měření	5,04	5,8

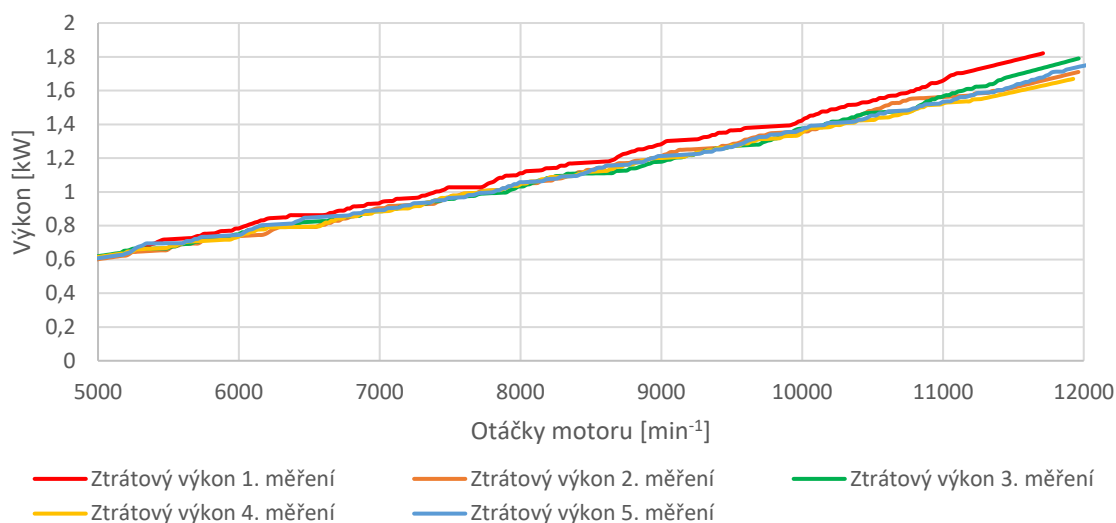
Tab. 12 – Maximální hodnoty točivého momentu motoru při měření na válcové brzdě

	Maximální točivý moment [Nm]	Rozdíl [%]
1. měření	6,04	11,2
2. měření	5,58	2,7
3. měření	5,72	5,2
4. měření	5,43	-
5. měření	5,66	4,2

Porovnání maximálních hodnot výkonu a točivého momentu bylo provedeno vůči výsledku z měření č.4, který, i když nijak výrazně, vykazuje v celém rozsahu otáček nejnižší hodnoty. Srovnáním jednotlivých měření byl zjištěn největší rozdíl 9,3 % v případě výkonu, respektive 11,2 % v případě točivého momentu. Prvním možným zdrojem těchto rozdílů je ztrátový výkon zjištěný dobřehovou zkouškou. Během měření sedí v sedle motocyklu obsluha, která má za úkol jeho ovládání. Po dosažení maximálních otáček je ukončeno měření, obsluha motocyklu prostřednictvím spojky motoru odpojí klikový hřídel z hnacího řetězce a následuje dobřehová zkouška pro určení právě ztrátového výkonu. Rozdílným zatížením zadního kola, a tedy rozdílem ve valivém odporu kola může dojít k ovlivnění těchto výsledků. Dalším možným zdrojem chyby je samotná spojka motoru, která pokud zcela neodpojí klikový hřídel z hnacího řetězce stroje, může i nadále přenášet určité množství točivého momentu, a výsledek rovněž ovlivnit. Popsanou teorii podporuje i srovnání průběhů ztrátového výkonu (Graf 7), kde první měření, dosahující nejvyšších hodnot maxima výkonu i točivého momentu, dosahuje rovněž nejvyšších hodnot ztrátového výkonu. Naproti tomu čtvrté měření s nejnižšími hodnotami maxima výkonu i točivého momentu dosahuje rovněž nejnižších hodnot ztrátového výkonu.

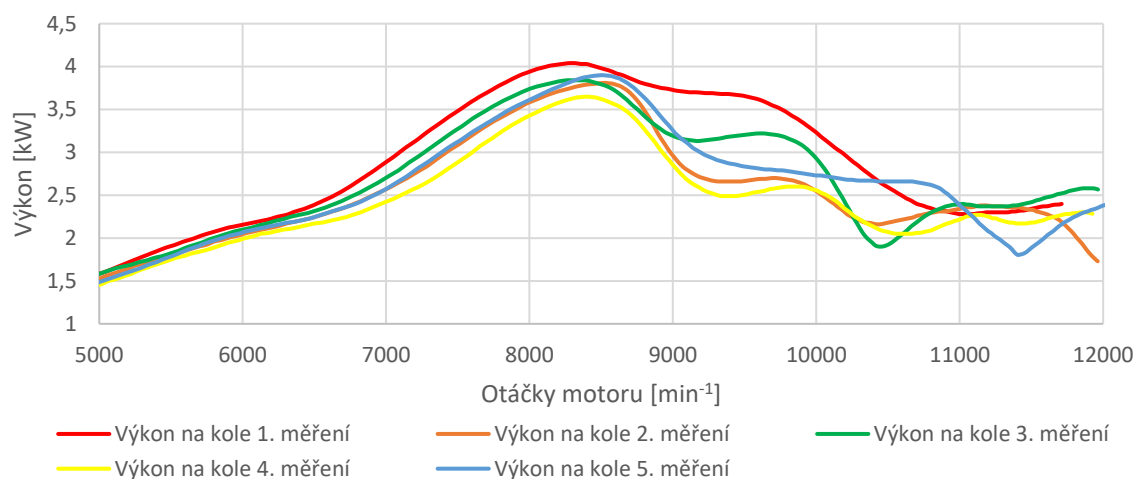


Srovnání průběhů ztrátového výkonu jednotlivých měření



Graf 6 – Průběhy ztrátového výkonu při měření na válcové brzdě

Srovnání průběhů výkonu na kole během jednotlivých měření



Graf 7 – Průběhy výkonu na kole při měření na válcové brzdě

Tab. 13 – Maximální hodnoty výkonu na kole při měření na válcové brzdě

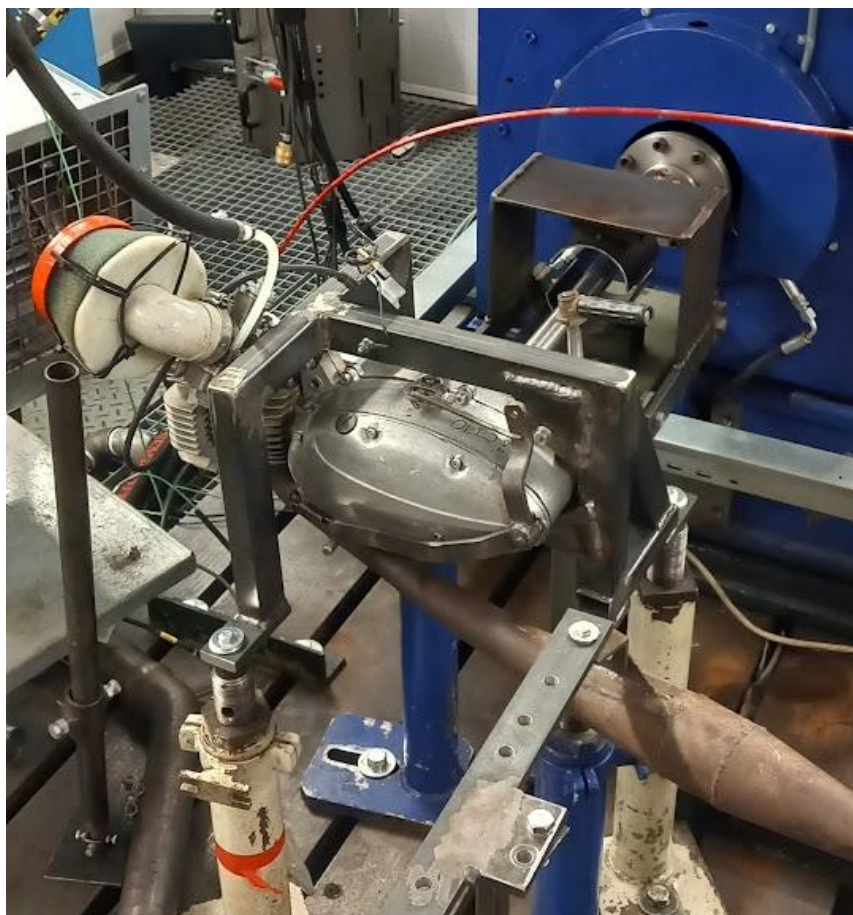
	Maximální výkon na kole motocyklu [kW]	Rozdíl [%]
1. měření	4,04	10,7
2. měření	3,81	4,4
3. měření	3,84	5,2
4. měření	3,65	-
5. měření	3,90	6,9



Jak ale vyplývá z grafu 7 a především tabulky 13, výše popsany předpoklad je mylný, a i při poklesu absolutního rozdílu mezi jednotlivými měřeními, jsou relativní rozdíly výkonu na kole motocyklu ještě vyšší.

10.2 Měření na motorovém dynamometru AVL DynoExact 202/12

Jak bylo uvedeno v kapitole 8.2.3, pro měření na motorovém dynamometru byl motor usazen ve speciálně připraveném stojanu a řetězové kolo výstupní hřídele bylo nahrazeno adaptérem pro uchycení pružné spojky a propojovací hřídele.



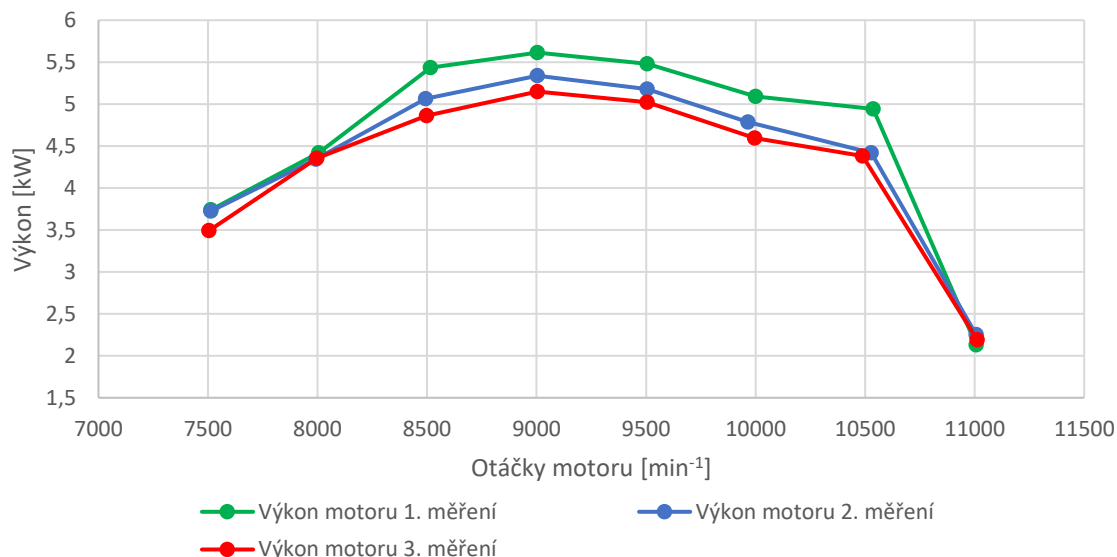
Obr. 36 – Motor usazený ve stojanu a připojený k dynamometru během měření

Před započítáním samotného měření byl pro ověření správné funkce motoru i propojení motoru s dynamometrem motor nastaven do několika vybraných pracovních režimů jak z hlediska otáček, tak jeho zatížení. Tímto bylo rovněž provedeno zahřátí celého motoru na jeho provozní teplotu. Samotné měření následně probíhalo stacionárním zmapováním vnější charakteristiky motoru, vytvořené měřením točivého momentu motoru ve vybraných otáčkových bodech s plně otevřeným šoupátkem karburátoru. Vzhledem k časové náročnosti uvedeného způsobu měření a vysoké zátěži pro motor bylo pro měření vybráno 8 otáčkových bodů pokrývajících oblast maxima točivého momentu a výkonu. Přes



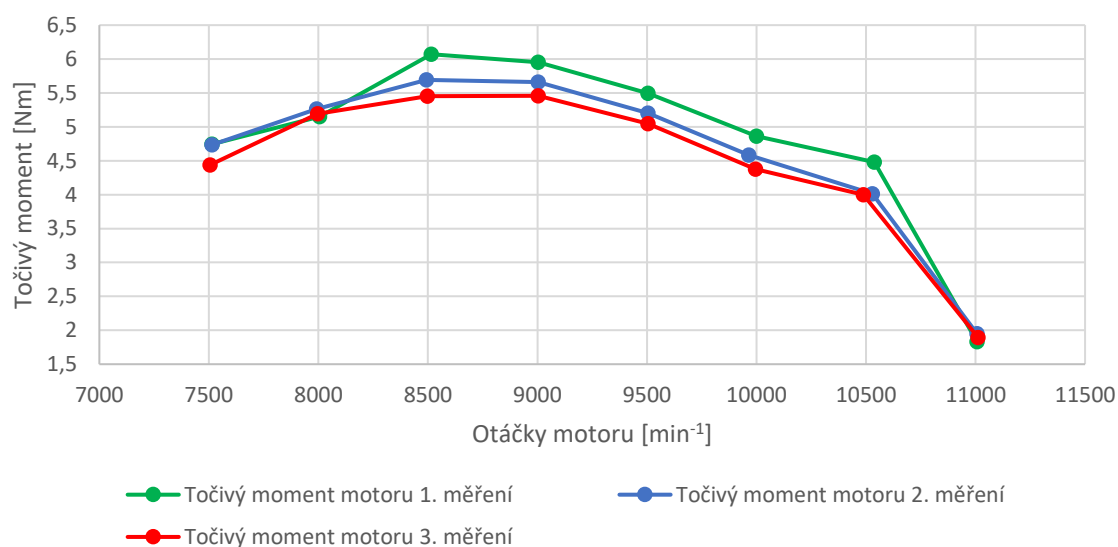
těchto 8 otáčkových bodů byly následně provedeny 3 série měření, na základě kterých by mělo být možné zhodnotit přesnost a opakovatelnost měření.

Srovnání průběhů výkonu jednotlivých měření



Graf 8 – Průběh výkonu motoru během měření na dynamometru

Srovnání průběhů točivého momentu jednotlivých měření



Graf 9 – Průběh točivého momentu motoru během měření na dynamometru

Z výše uvedených grafů lze pozorovat identický trend průběhu výkonu motoru s maximem v 9 000 otáčkách za minutu. Následuje postupný mírný pokles hodnoty až do 10 500 otáček za minutu, kde po překročení této hranice hodnota výkonu dramaticky klesá. Obdobný trend se projevuje i u průběhu točivého momentu, který ovšem maxima nabývá při 8 500 otáčkách.



Tab. 14 – Srovnání maximálních hodnot výkonu při měření na válcovém dynamometru

	Maximální výkon motoru [kW]	Rozdíl [%]
1. měření	5,61	9,0
2. měření	5,34	3,7
3. měření	5,15	-

Tab. 15 – Srovnání maximálních hodnot točivého momentu při měření na válcovém dynamometru

	Maximální točivý moment motoru [Nm]	Rozdíl [%]
1. měření	6,07	11,2
2. měření	5,69	4,3
3. měření	5,56	-

Srovnání maximálních hodnot obou veličin bude provedeno, obdobně jako v případě válcové brzdy, proti nejnižší hodnotě, tedy třetímu měření. V případě výkonu motoru byl zjištěn rozdíl měřených hodnot 11,2 %, pro točivý moment je rozdíl 9 %.

První možnou příčinou rozdílu je tolerance dynamometru, která dle technických údajů představuje možnou odchylku měřené hodnoty $\pm 0,1$ % rozsahu dynamometru.

Tab. 16 – Absolutní odchylka měřeného výkonu a její hodnota v procentech kapacity dynamometru

	Maximální odchylka výkonu motoru [kW]	Hodnota odchylky v porovnání s výkonovou kapacitou dynamometru [%]
1. měření	0,46	0,21
2. měření	0,19	0,09
3. měření	-	-

Jak je patrné z tabulky 16, prakticky obě měření spadají do intervalu přesnosti dynamometru.

Vzhledem k téměř shodnému trendu průběhů jak výkonu, tak točivého momentu motoru se nabízí možnost, že skutečná přesnost dynamometru bude vyšší a rozdíly v měření jsou způsobeny jinými vlivy. Těmi by mohla být například teplota motoru, kterou je u vzduchem chlazeného motoru obtížné udržet na konstantní hodnotě a má zásadní vliv na jeho výkon.

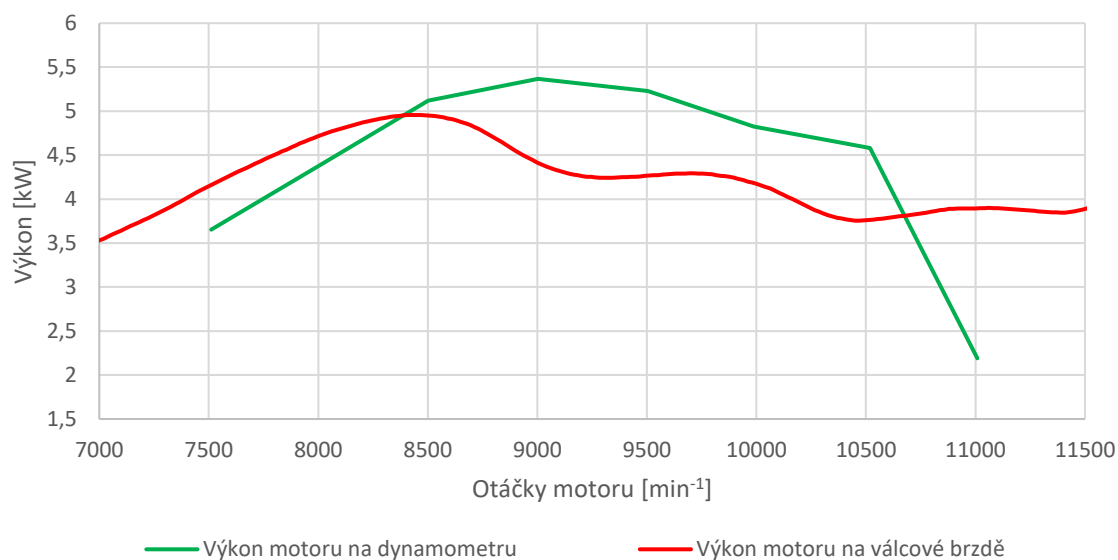
[20]



10.3 Porovnání výsledků měření

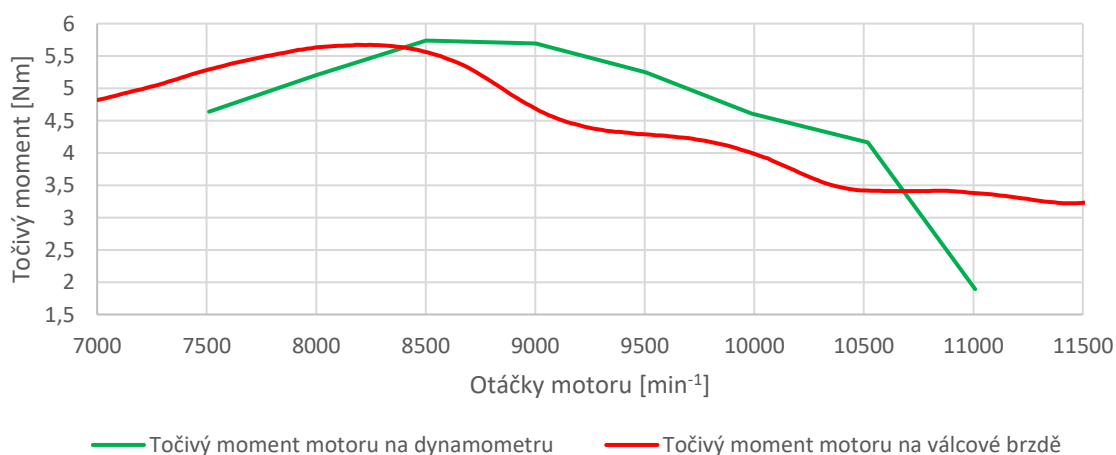
Pro porovnání průběhů a maximálních hodnot výkonu a točivého momentu motoru na základě využití metody měření byla jednotlivá měření z každé metody zprůměrována. Z grafů je patrný rozdíl v hodnotě otáček motoru pro maxima obou zkoumaných parametrů. Průběhy jsou vzájemně přibližně o 500 otáček za minutu posunuty (Tab. 17). Při zanedbání tohoto posunu vykazují oba průběhy téměř totožný tvar. V případě hodnoty točivého momentu je prakticky shodná i dosažená maximální hodnota.

Srovnání průběhů výkonu jednotlivých metod měření



Graf 10 – Srovnání průběhů výkonu motoru dle metody měření

Srovnání průběhů točivého momentu jednotlivých metod měření



Graf 11 – Srovnání průběhů točivého momentu motoru dle metody měření



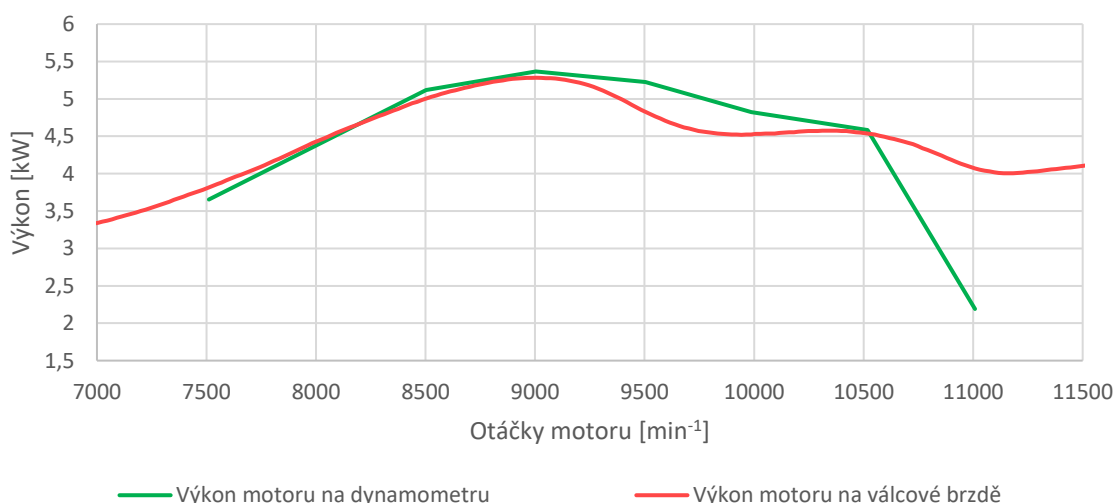
Tab. 17 – Porovnání průměrných hodnot točivého momentu a výkonu

	Točivý moment [Nm]	při otáčkách [min ⁻¹]	Výkon [kW]	při otáčkách [min ⁻¹]
Válcová brzda	5,67	8 250	4,96	8 400
Dynamometr	5,74	8 500	5,37	9 000
Rozdíl	0,07		0,41	

Vzhledem k tomuto poznatku vyvstává v případě válcové brzdy otázka, zda byly otáčky motoru určeny správně. V době tohoto měření motor ještě nebyl osazen snímačem otáček a jejich hodnota byla zjištěna výpočtem z rychlosti válce brzdy pomocí změřeného poloměru kola motocyklu a převodového poměru vůči klikovému hřídeli motoru. Z tohoto řešení může pramenit chyba jednak vlivem skutečného valivého poloměru kola a zároveň i vlivem prokluzu kola na válci dynamometru.

Pokud bychom připustili tyto skutečnosti (diskutovány i v [8]), lze korekcí otáček motoru z hlediska srovnání průběhu momentu získat průběhy výkonu a točivého momentu (Grafy 12 a 13). Uvedená korekce představuje 6,5 % otáček motoru.

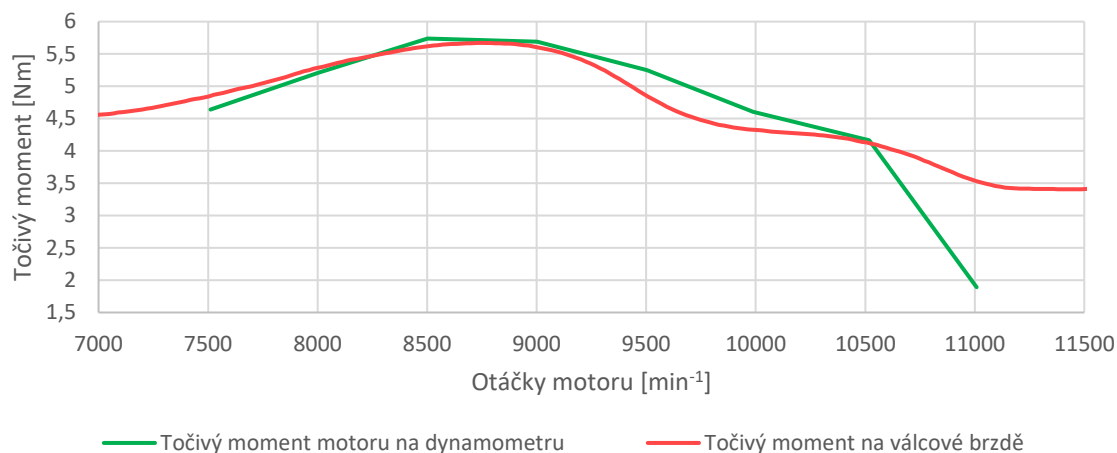
Srovnání průběhů výkonu po korekci otáček motoru



Graf 10 – Průběhy výkonu po korekci otáček motoru na válcové brzdě



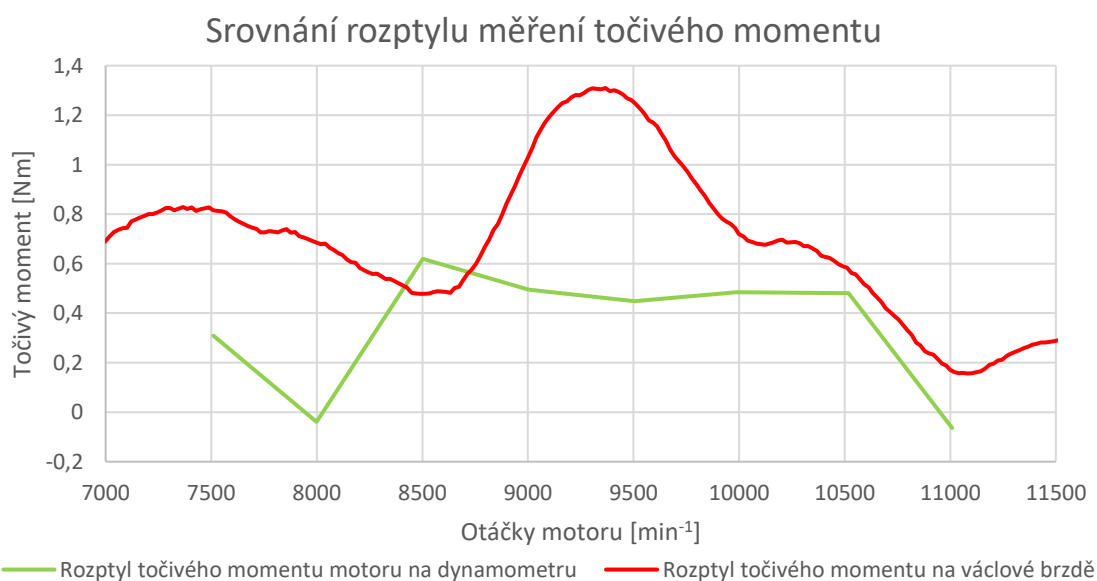
Srovnání průběhů točivého momentu po korekci otáček motoru



Graf 11 – Průběhy točivého momentu po korekci otáček motoru na válcové brzdě

Z uvedených grafů lze, při zanedbání drobného rozdílu v oblasti 9 750 otáček motoru za minutu, konstatovat shodu obou průběhů v rozmezí 7 500 až 10 500 otáček motoru za minutu. Tuto skutečnost by bylo vhodné ověřit při dalším měření.

Pro posouzení opakovatelnosti měření obou metod byl vynesena graf zobrazující průběh rozptylu měření točivého momentu v závislosti na otáčkách motoru (Grafy 14). Hodnota tohoto rozptylu je reprezentována největším rozdílem mezi měřenými hodnotami napříč měřeními.



Graf 12 – Průběh rozptylu měření v závislosti na otáčkách motoru

Z grafu je patrný vysoký rozptyl měření válcové brzdy v porovnání s motorovým dynamometrem prakticky v celém sledovaném spektru otáček.



Na základě výše uvedených výsledků měření na válcové brzdě je možné konstatovat poměrně vysoký rozdíl výsledků v porovnání s válcovým dynamometrem. I přes vysokou výkonovou kapacitu brzdy, dosahující přibližně 50násobku výkonu měřeného motoru, ale hodnota rozdílu jednotlivých měření dosahuje pouze 10 % výkonu motoru, tedy pouze 0,2 % měřicího rozsahu válcové brzdy. Zprůměrováním několika dílčích měření je dále možné dojít k výsledné charakteristice prakticky odpovídající měření na válcovém dynamometru. Možným zdrojem nepřesností je v případě této metody zjištění otáček motoru prostřednictvím otáček válce brzdy, kde může docházet k prokluzu kola případně změně jeho valivého poloměru.

V případě motorového dynamometru jednotlivé výsledky vykazují téměř identické průběhy vzájemně odsazené o konstantní hodnotu napříč otáčkami. Tento rozdíl může být způsobený rozdílnými provozními podmínkami motoru, především teplotou, kterou nebylo možné během měření snímat. I přes tyto rozdíly ve výsledcích měření je splněna garantovaná přesnost měření stroje rovnající se 0,1 % výkonové kapacity.



11 Návrh dílčích úprav motoru vzhledem k výsledkům měření

Z hlediska dalších úprav testovaného motoru je nejzásadnější porovnání využívaného spektra otáček zjištěného v kapitole 9 s naměřeným průběhem výkonu a točivého momentu motoru. Z tohoto srovnání jasně vyplývá, že motor není během závodu provozován v otáčkách, kde je dosahováno nejvyšších hodnot těchto parametrů a není tedy plně využit jeho potenciál. Řešením tohoto problému může být využití mikrokontroleru Arduino, využitého v kapitole 9 jako dataloggeru, pro indikaci řazení dalšího převodového stupně.

Dalším problémem je úzký rozsah využitelných otáček motoru, kdy v návaznosti na měření na motorovém dynamometru, dochází u motoru pod hranicí 8 000 otáček za minutu, a naopak nad hranicí 10 500 otáček za minutu, k prudkému poklesu výkonu i točivého momentu. Toto využitelné pásmo je tak o přibližně 1000 otáček za minutu užší, než požadovaný rozsah zjištěný v rámci kapitoly 9. Zásadní vliv na tuto charakteristiku dvoudobého spalovacího motoru má tvar a rozměry výfukového potrubí. Dalším postupem by tedy byla optimalizace návrhu tvaru výfukového potrubí.

Jak bylo zmíněno v kapitole 10.2, měření na motorovém dynamometru, provozní teplota dvoudobého vzduchem chlazeného motoru má zásadní vliv na jeho výkon. Vzhledem k absenci jakéhokoli snímače její hodnoty je velice obtížné diagnostikovat problémy s úbytkem výkonu i během závodu nebo testování před závody. Východisko z této situace představuje realizace záznamu teploty kritických částí motoru, jako jsou hlava válce motoru, případně výfukové potrubí. Pro tento účel je možné použít opět mikrokontroler Arduino.



Závěr

Cílem uvedené práce bylo seznámit se s možnostmi měření výkonových parametrů spalovacího motoru s důrazem na motory motocyklů s malým zdvihovým objemem. Následně navrhnout metodiku měření výkonových parametrů závodního motoru uvedeného charakteru, tato měření uskutečnit a provést jejich zhodnocení. Na závěr, vzhledem k zjištěným poznatkům, nastínit další směr úprav testovaného motoru.

V rámci teoretické části práce byly definovány základní výkonové parametry spalovacího motoru. Následovalo zmapování možností měření těchto výkonových parametrů z hlediska měřicích zařízení, charakteru zkoušek i úskalí během jednotlivých měření. V závěru části byla provedena rešerše existujících zařízení určených přímo pro měření výkonových parametrů motocyklů s malým zdvihovým objemem.

V úvodu praktické části proběhlo seznámení se s dostupným měřicím zařízením Centra vozidel udržitelné mobility, na jehož základě byla pro měření vybrána válcová brzda a motorový dynamometr a provedeny konstrukční úpravy těchto zařízení nutné pro uskutečnění měření. V rámci jízdních zkoušek následovalo zjištění reálně využívaného rozsahu otáček motoru motocyklu pohybující se v intervalu od 8 500 do 12 000 za minutu. Na základě zpracovaných dat byla provedena měření výkonových parametrů uvedeného motoru na válcové brzdě a motorovém dynamometru. Porovnáním výsledků byla zjištěna srovnatelná přesnost a opakovatelnost obou měření, s rozdílem mezi jednotlivými měřeními téže metodou pohybujícími se okolo 10 %. Při průměrování několika měření se ale výsledky obou metod sobě velice blížily a opakovatelnost těchto měření se zdá být velice dobrá. S přihlédnutím k jednoduchosti příprav měření na válcové brzdě a její dostupnosti se tato varianta jeví jako výhodnější. Na základě zjištěných charakteristik byly navrženy dílčí úpravy na motoru motocyklu s primárním cílem zvětšit pásmo využitelných otáček optimalizací výfukové soustavy a umožnit sledování pracovní teploty motoru.



Zdroje

- [1] MACEK, Jan a Bohuslav SUK. *Spalovací motory 1*. Dotisk 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1994. ISBN 80-010-0919-X.
- [2] MARTYR, Anthony a M. A. PLINT. *Engine testing: theory and practice*. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2.
- [3] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [4] FIRST, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry*. 1. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [5] RAUSCHER, Jaroslav. *SPALOVACÍ MOTORY: STUDIJNÍ OPORY*. 1. Brno: VUT Brno, 2005.
- [6] MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [7] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.
- [8] *International Scientific Conference of the Czech and Slovak University Departments and Institutions Dealing with the Research of Internal Combustion Engines: KOKA ... : proceedings ..* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7375-801-1.
- [9] ATKINS, Richard D. *An Introduction to Engine Testing and Development*. 1. Warrendale, USA: SAE International, 2009. ISBN 978-0-7680-2099-1.
- [10] PASSENBRUNNER, Thomas E., Mario SASSANO a Luigi DEL RE. Optimal Control of Internal Combustion Engine Test Benches equipped with Hydrodynamic Dynamometers. *IFAC Proceedings Volumes* [online]. 2013, **46**(21), 576-581 [cit. 2023-09-13]. ISSN 14746670. Dostupné z: doi:10.3182/20130904-4-JP-2042.00010
- [11] *Dynamometr na vířivé proudy a jeho regulace* [online]. [cit. 2023-09-13]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/dynamometr-na-virive-proudy-a-jeho-regulace--14869>
- [12] *Experimentální metody a zkoušení strojů – 10. přednáška*. ČVUT, Fakulta strojní, 2023.
- [13] *AVL SIMULATION AND TESTING SOLUTIONS Catalogue*. Graz, Austria, 2013.
- [14] *AIP ECDM-21 MC* [online]. 2023 [cit. 2023-09-13]. Dostupné z: <https://www.aip-automotive.de/en/Products/Test-Stands/EMISSION-MEASUREMENT/Motorcycles-ATV>
- [15] *Chassis dynamometer system for motorcycle tests*. Addison, USA: Onossoki, 2020.
- [16] *Meiden Dynamometer Systems for motorcycle* [online]. 2023 [cit. 2023-09-13]. Dostupné z: https://www.meidensha.com/products/automobile/prod_01/prod_01_02/prod_01_02_07/index.html



- [17] CENTRE OF VEHICLES FOR SUSTAINABLE MOBILITY: CZECH TECHNICAL UNIVERSITY, FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING Science and Technology Park Rožtoky. 2020.
- [18] Maha MSR 500 návod k obsluze. 2011.
- [19] Válcová zkušebna AIP-ECDM 48L-4mot návod k obsluze. 2012.
- [20] JENNINGS, Gordon. *Two-Stroke TUNER'S HANDBOOK*. . 1973. ISBN 9780912656410.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Soustava otáčkových charakteristik vznětového motoru [5]	12
Obr. 2 - Úplná charakteristika motoru [6]	13
Obr. 3 – Kvadranty funkce dynamometru [2]	19
Obr. 4 – Schématické zobrazení brzdy Prony [12]	20
Obr. 5 – Princip funkce hydrodynamického dynamometru [2]	21
Obr. 6 – Schématické zobrazení hydrodynamického dynamometru s variabilním naplněním [10]	22
Obr. 7 – Původní princip měření reakční síly dynamometru se závažími [2]	27
Obr. 8 – Moderní princip měření reakční síly dynamometru [2]	27
Obr. 9 – Konstrukce tenzometrické příruby s radiálními žebry [12]	28
Obr. 10 – Tenzometrická měřicí příruba pro bezkontaktní přenos signálu [2]	28
Obr. 11 – Válcová brzda AVL RoadSim 25“ [13]	29
Obr. 12 – Válcová brzda AIP ECDM-21 MC [14]	30
Obr. 13 - Schématické zobrazení válcové brzdy Onosokki [15]	31
Obr. 14 - Zobrazení průběhu rychlosti simulovaného jízdního režimu motocyklu na válcové brzdě Onosokki [15]	31
Obr. 15 – Válcová brzda Meidensha [16]	32
Obr. 16 – Válcový dynamometr Maha 500 MSR [18]	34
Obr. 17 – Konstrukční uspořádání vozidlového dynamometru Maha AIP-ECD 48L [17]	35
Obr. 18 – Vozidlový dynamometr Maha AIP-ECD 48L [17]	35
Obr. 19 – Motorový dynamometr AVL DynoExact s příslušenstvím [13]	36
Obr. 20 – Zátěžný diagram dynamometru AVL DinoExact 202/12 [13]	37
Obr. 21 – Model měřicího stanoviště motorového dynamometru	41
Obr. 22 – Varianta připojení motoru soustavou řetězových převodů	42
Obr. 23 – Varianta připojení motoru soustavou řetězových převodů	42
Obr. 24 – Varianta uložení motoru souose s dynamometrem	43
Obr. 25 – Varianta uložení motoru souose s dynamometrem	44
Obr. 26 – Adaptér nahrazující řetězové kolo sekundárního převodu po svaření	45
Obr. 27 – Motor usazený ve stojanu pro měření na válcovém dynamometru	46
Obr. 28 – Detail snímání otáček motoru	48
Obr. 29 – Díly pro uchycení potenciometru k rukojeti plynu	49
Obr. 30 – Řez mechanismem snímání polohy plynu	49
Obr. 31 – Box s dataloggerem Arduino	50
Obr. 32 – Motocykl během testování na trati, osazený jednotkou dataloggeru a snímači	51
Obr. 33 – Mapa testovací trati	52
Obr. 34 – Ukázka hrubých data zaznamenaných na paměťové kartě dataloggeru	52
Obr. 35 – Motocykl na válcové brzdě	55
Obr. 36 – Motor usazený ve stojanu a připojený k dynamometru během měření	59



Seznam tabulek

Tab. 1 – Shrnutí kvadrantů funkce pro jednotlivé typy dynamometrů [2] [9].....	24
Tab. 2 – Shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých typů dynamometrů [2]	25
Tab. 3 – Parametry válcové brzdy AVL RoadSim 25“ [13]	29
Tab. 4 – Parametry válcové brzdy AIP ECDM-21 MC [14].....	30
Tab. 5 – Parametry válcové brzdy Onosokki [15]	31
Tab. 6 – Tabulka parametrů válcové brzdy Meidensha [16].....	32
Tab. 7 – Parametry válcové brzdy Maha 500 MSR [17] [18]	34
Tab. 8 – Parametry vozidlového dynamometru Maha AIP-ECDM 48L [17] [19]	35
Tab. 9 – Parametry motorového dynamometru AVL DynoExact [13] [17].....	36
Tab. 10 – Hodnoty pracovních otáček motoru zjištěné během simulace závodu	54
Tab. 11 – Maximální hodnoty výkonu motoru při měření na válcové brzdě.....	57
Tab. 12 – Maximální hodnoty točivého momentu motoru při měření na válcové brzdě.....	57
Tab. 13 – Maximální hodnoty výkonu na kole při měření na válcové brzdě	58
Tab. 14 – Srovnání maximálních hodnot výkonu při měření na válcovém dynamometru	61
Tab. 15 – Srovnání maximálních hodnot točivého momentu při měření na válcovém dynamometru ...	61
Tab. 16 – Absolutní odchylka měřeného výkonu a její hodnota v procentech kapacity dynamometru .	61
Tab. 17 – Porovnání průměrných hodnot točivého momentu a výkonu.....	63

Seznam grafů

Graf 1 – Srovnání pilových digramů sériové a upravené převodovky	47
Graf 2 – Průběh polohy šoupátka karburátoru a otáček motoru během simulace závodu	53
Graf 3 – Průběh polohy šoupátka karburátoru a otáček motoru během jednoho kola	53
Graf 4 – Průběhy výkonu při měření na válcové brzdě.....	56
Graf 5 – Průběhy točivého momentu při měření na válcové brzdě.....	56
Graf 6 – Průběhy ztrátového výkonu při měření na válcové brzdě	58
Graf 7 – Průběhy výkonu na kole při měření na válcové brzdě	58
Graf 8 – Průběh výkonu motoru během měření na dynamometru.....	60
Graf 9 – Průběh točivého momentu motoru během měření na dynamometru	60
Graf 10 – Srovnání průběhů výkonu motoru dle metody měření	62
Graf 11 – Srovnání průběhů točivého momentu motoru dle metody měření	62
Graf 12 – Průběhy výkonu po korekci otáček motoru na válcové brzdě	63
Graf 13 – Průběhy točivého momentu po korekci otáček motoru na válcové brzdě	64
Graf 14 – Průběh rozptylu měření v závislosti na otáčkách motoru.....	64

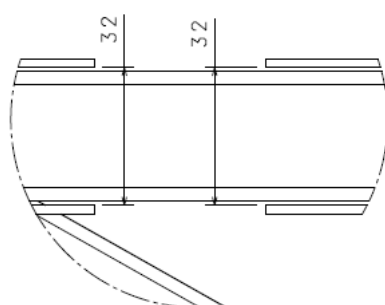
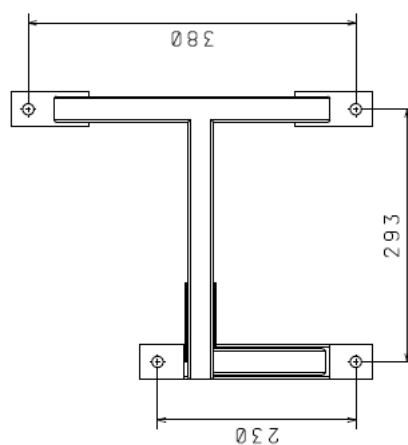
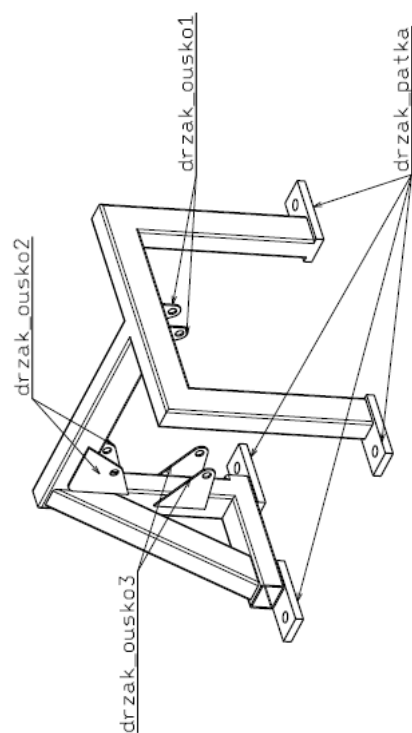
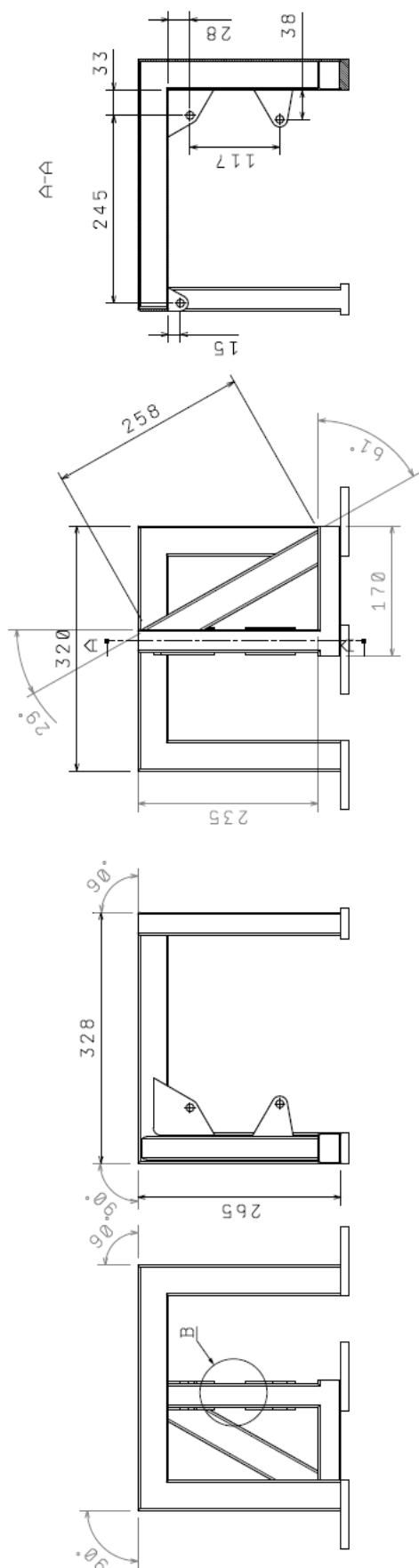


Seznam zkratk a symbolů

F	[N]	síla
M_k	[Nm]	točivý moment
n	[s ⁻¹]	otáčky
P	[W]	výkon
P_e	[kW]	efektivní výkon
P_o	[W/dm ³]	měrný objemový výkon
P_m	[W/kg]	měrný hmotnostní výkon
r	[m]	rameno síly
T	[s]	čas
v	[m/s]	rychlost
W	[J]	práce
ω	[rad/s]	úhlová rychlost



Příloha 1 – ideový návrh stojanu motoru



Detail B

jekl 40x30x3



Příloha 2 – ideový návrh adaptéru řetězového kola

