



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**NÁVRH FUNKČNÍHO MODELU VÁLCOVÉHO  
DYNAMOMETRU**

DESIGN OF A FUNCTIONAL MODEL OF A CHASSIS DYNAMOMETER

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Matej Sobota**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.**

**BRNO 2018**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Bc. Matej Sobota**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Návrh funkčního modelu válcového dynamometru

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh funkčního modelu válcového dynamometru pro vozidla 4x4 v měřítku 1:10. Každé kolo vozidla bude mít samostatný válec poháněný/brzděný modelářským elektromotorem.

### Cíle diplomové práce:

Provedení rešerše konstrukcí válcových dynamometrů tak, aby bylo možno zvolit koncepci modelu. Zpracování návrhu modelu válcového dynamometru v měřítku 1:10 s respektováním možnosti díly dynamometru vyrobit včetně využití 3D tisku. Zpracování podkladů pro výrobu modelu dynamometru.

### Seznam doporučené literatury:

MARTYR, A.J., PLINT, M.A. Engine testing theory and practice. 3rd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-075-0684-392.

ATKINS, R. D. An introduction to engine testing and development. Warrendale, Pa.: SAE International, c2009, xv, 289 p. ISBN 07-680-2099-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Moja diplomová práca sa zaoberá konštrukčným návrhom modelu valcového dynamometru 4x4 v mierke 1:10 pre prezentačné účely a testovanie RC modelov áut. Prvá časť práce popisuje súčasné typy konštrukcií valcových dynamometrov. Hlavnou náplňou práce je samotný návrh modelu s cieľom vyrobiť niektoré diely dynamometru pomocou 3D tlače. Súčasťou práce sú aj výrobné výkresy jednotlivých dielov a ekonomický odhad celej výroby.

## KLÍČOVÉ SLOVÁ

Dynamometer, testovanie vozidiel, valcový dynamometer, návrh, model, FDM 3D tlač

## ABSTRACT

The aim of my diploma thesis was engineering design of 4x4 chassis dynamometer model at 1:10 scale for presentation purpose and for testing RC cars models. The first part describes the current types of chassis dynamometers. The main goal of the thesis was designed the model itself in order to produce some parts of the dynamometer using 3D printing. The work also includes production drawings of individual parts and economic estimate of the entire production.

## KEYWORDS

Dynamometer, vehicle testing, chassis dynamometer, design, model, FDM 3D printing

## BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

SOBOTA, Matej. *Návrh funkčního modelu válcového dynamometru*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117273>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 72 s. Vedoucí diplomové práce Josef Štětina.

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením prof. Ing. Josefa Štětinu, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 24. mája 2019

.....

Bc. Matej Sobota

## POĎAKOVANIE

Touto cestou by som sa rád poďakoval prof. Ing. Josefovi Štětinovi, Ph.D., Dipl. Ing. Františkovi Kmentovi a firme AVL Moravia s.r.o. za všetky informácie, podklady a rady, ktoré som zúročil pri vypracovaní tejto diplomovej práce. Taktiež by som rád poďakoval mojej rodine a priateľke za podporu a všetku pomoc.

## OBSAH

Úvod .....	9
1 Vozidlové skúšky .....	10
1.1 Jazdné skúšky .....	11
1.2 Laboratórne skúšky .....	12
2 Skúšobné zariadenie - dynamometer .....	13
2.1 Pasívne dynamometre .....	13
2.2 Aktívne dynamometre .....	18
3 Valcové skúšobne .....	20
3.1 Rozdelenie valcových skúšobní .....	20
3.2 Vybavenie valcových skúšobní .....	23
3.3 Konceptie valcových dynamometrov .....	29
3.4 Metódy merania výkonu na valcových dynamometroch .....	33
3.5 Skúšky na valcových dynamometroch .....	34
4 Konštrukčný návrh .....	37
4.1 Vstupné informácie .....	37
4.2 Nosná konštrukcia .....	38
4.3 Valcová jednotka .....	42
4.4 Systém zmeny rázvoru .....	52
4.5 Zadržný systém .....	57
4.6 Bezpečnostný kryt valca .....	58
5 Ekonomický odhad výroby .....	61
5.1 Cena polotovarov .....	61
5.2 Cena nakupovaných komponentov .....	61
5.3 Cena spojovacieho materiálu .....	62
5.4 Cena obrábania .....	62
5.5 Cena výroby pomocou FDM metódy 3D tlače .....	63
5.6 Celková cena modelu .....	63
Záver .....	64
Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	69
Zoznam príloh .....	71



## ÚVOD

Vozidlové skúšobníctvo je neoddeliteľnou súčasťou vývoja motorových vozidiel a motocyklov. Dôvodom vzniku bola potreba vzájomného porovnania jednotlivých modelov, poprípade konštrukčných zmien. Na počiatku testovania boli nároky na skúšobné zariadenia nízke, čo malo za následok nepresnosti pri meraní. Postupom času sa zariadenia zdokonaľovali, požiadavky na presnosť sa zvyšovali a do procesu vývoja začali vstupovať aj možné ekologické dopady vozidiel na životné prostredie. Cieľom dnešných zariadení je najmä overenie plnenia legislatívnych noriem, ktoré kladú dôraz na nízku spotrebu paliva a množstvo škodlivých látok vo výfukových plynoch. Spoločnosť AVL Moravia s.r.o., ktorá je súčasťou koncernu AVL List GmbH patrí medzi lídrov v tejto oblasti.

Táto práca vznikla ako výsledok požiadavky firmy AVL Moravia s.r.o. na výrobu funkčného modelu valcového dynamometru v mierke 1:10. Cieľom mojej práce bolo navrhnuť konštrukčnú časť valcového dynamometru, ktorá bola následne formou výkresovej dokumentácie predaná do výroby. Systém riadenia a vyhodnocovania je súčasťou záverečnej práce Jakuba Číhalu z VŠB Technickej univerzity Ostrava.

# 1 VOZIDLOVÉ SKÚŠKY

Pod pojmom skúšanie rozumieme činnosť, pri ktorej zisťujeme určité vlastnosti objektu ako napr. brzdné, výkonové vlastnosti vozidla. Zistené skutočnosti následne porovnáme s vlastnosťami iných (tzv. etalónových) objektov a po ich porovnaní dokážeme vyvodiť závery, ktoré popisujú či skúšaný objekt vyhovel alebo nevyhovel [1].

Cieľom vozidlových skúšok je teda stanovenie charakteristických vlastností (poprípade limitov) vozidiel. Každá skúška sa snaží čo najvernejšie nasimulovať dané prevádzkové podmienky. Skúšobníctvo môžeme rozdeliť do dvoch základných kategórií, na jazdné a na laboratórne skúšky.

V dnešnej dobe poznáme veľké množstvo vozidlových skúšok, ktoré rozdeľujeme podľa testovaného objektu, spôsobu vykonávania skúšky, ich podmienok atď. Testovať môžeme vzorky z nových skúšobných a modelových vozidiel alebo vozidiel po modernizácii, prípadne ich modifikácie. Taktiež môžeme vykonávať skúšky vozidiel z prebiehajúcej výroby, vozidiel po generálnej oprave atď. Rozdelenie skúšok z rôznych hľadísk ukazuje tab. 1 [2].

Tab. 1 Rozdelenie vozidlových skúšok [2]

Hľadisko	Členenie skúšok motorového vozidla	
Výrobná fáza	Výskum	
	Vývoj	Vývoj spojený s projekciou schvaľovania typu
	Výroba	Kontrola preberania
Cieľ skúšky	Overenie funkcie – krátkodobo	
	Overenie životnosti a spoľahlivosti	
Inštitúcie	Skúšobné útvary výrobcu	
	Orgány odberateľa – zákazníka	
	Centrálne ústavy, homologizačné skúšobne	
Predmet skúšky	Vozidlo ako celok	Základné hmotnostné a rozmerové údaje Výkonové vlastnosti, hospodárnosť Brzdne vlastnosti Plavnosť jazdy, pružiacia sústava Hluk Ovládateľnosť (riaditeľnosť, stabilita) Životnosť a spoľahlivosť Špeciálne skúšky (priechnosť a iné)
	Ústrojenstvo	Hnacia sústava Riadiace ústrojenstvo Brzdy Nosné časti
	Diely	Napr. tlmič, ráfik
Podmienky	Skúšky	Laboratórne, jazdné, prevádzkové

Na základe výsledkov z jednotlivých skúšok môžeme usúdiť, do akej miery vozidlo splňuje rôzne požiadavky, akými sú napr. funkčnosť, bezpečnosť, ekonomickosť alebo životnosť. Nedostatky je nutné rýchlo rozpoznať a následne ich odstrániť konštrukčnou úpravou. Nakoľko proces vývoja je potrebné skrátiť na minimum, je nutné, aby jednotlivé skúšky prebiehali

súbežne. Pre testovanie nových typov pohonných agregátov sa využívajú vozidlá aktuálnej výroby, nakoľko časová náročnosť vývoja a výroby nosných konštrukcií a karosérií je zdĺhavá [2].

### 1.1 JAZDNÉ SKÚŠKY

Jedná sa o typ skúšok, ktoré začínajú po zostavení funkčného prototypu vozidla. Jedná sa o skúšky, ktoré najpresnejšie popisujú zisťované vlastnosti a parametre.

Jazdné skúšky sa môžu vykonávať na normálnych cestách, avšak majú radu nevýhod a obmedzení, najmä kvôli zaisteniu bezpečnosti a plynulosti cestnej premávky. Tieto negatíva sa snažia jednotliví výrobcovia riešiť vybudovaním špeciálnej testovacej dráhy tzv. polygónu. Polygón je viacúčelová testovacia dráha, ktorá zabezpečuje vysokú bezpečnosť, stálosť skúšobných podmienok a neobmedzenú opakovateľnosť. Na obr. 1 je možné vidieť letecký snímok testovacieho polygónu firmy TATRA v Kopřivnici [1].



Obr. 1 Letecký snímok polygónu TATRA v Kopřivnici [3]

## 1.2 LABORATÓRNE SKÚŠKY

Tento druh vozidlových skúšok je vykonávaný na skúšobných stavoch. Jazdné skúšky sú časovo náročné, nakoľko je nutné častokrát najazdiť niekoľko miliónov kilometrov na rôznych kontinentoch, aby bolo možné nasimulovať rôzne prevádzkové podmienky, akými sú napr. podmienky na púšťach, hlboké mrazy atď. Vďaka zariadeniam, akými sú klíma komory, komory pre simuláciu zmeny nadmorskej výšky, veterné tunely a iné, je možné presunúť vývoj a testovanie do laboratórií. Na testovacích zariadeniach je možné simulovať rôzne profily vozovky, zmeny klimatických podmienok a vďaka robotickému riadeniu (obr. 2) je možné testovať nonstop 24 hodín denne, 7 dní v týždni s dobrou opakovateľnosťou. Výsledné testovanie vozidla je však nutné absolvovať na ceste.



*Obr. 2 Robotické riadenie SAP2000 od firmy Stähle [4]*

## 2 SKÚŠOBNÉ ZARIADENIE - DYNAMOMETER

Jedným z najdôležitejších výsledkov vozidlovej skúšky je určenie výkonu motoru, ktorý nejde priamo merať. Pre určenie výkonu motora použijeme základný vzorec [2]:

$$P = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n, \quad (1)$$

kde  $M_k$  [Nm] je točivý moment,  $\omega$  [rad.s<sup>-1</sup>] je uhlová rýchlosť a  $n$  [min<sup>-1</sup>] sú otáčky motora. Z toho vyplýva, že výsledný výkon je možné určiť meraním točivého momentu motora a jeho otáčok [2].

Točivý moment je možné spočítať ako [5]:

$$M_k = F \cdot R = I \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

kde  $F$  [N] je sila pôsobiaca na tenzometer,  $R$  [m] je vzdialenosť pôsobiska sily od osi rotácie rotora dynamometra,  $I$  [kg.m<sup>2</sup>] je moment zotrvačnosti a  $\varepsilon$  [rad.s<sup>-2</sup>] je uhlové zrýchlenie.

Výkonová brzda, tzv. dynamometer, je zariadenie, ktorého funkciou je vytvárať definovaný brzdný moment voči neznámemu točivému momentu skúšaného motora. Pre meranie točivého momentu sa využíva najmä deformačný člen, kde moment sily pôsobí na merací člen krutom. Vzniknutá deformácia sa zaznamenáva pomocou tenzometrického zariadenia alebo snímača výchylky. Pre výpočet výkonu je nutné poznať otáčky motora, ktoré sú určené pomocou otáčkomeru [2].

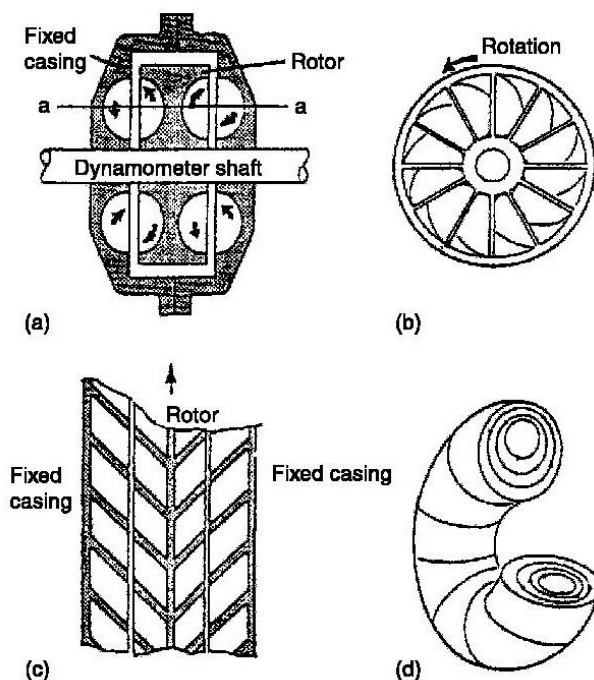
### 2.1 PASÍVNE DYNAMOMETRE

Jedná sa o typ dynamometrov, ktoré dokážu vytvárať len brzdný moment voči motoru (nie je možné vytvárať točivý moment, ktorý by meraný motor poháňal). Dynamometer sa skladá zo statora a rotora, ktorý je spojený s kľukovým hriadeľom testovaného motora. Všetka pohltená energia z motora je premenená buď na teplo, alebo v určitých prípadoch na elektrickú energiu [5].

Zvyšujúcou sa veľkosťou otáčok skúšaného motora, sa zvyšujú otáčky rotora dynamometra, na ktorom súčasne vzniká zotrvačná sila. Výsledkom je to, že výsledný točivý moment motora je rovný súčtu točivého momentu dynamometra, zotrvačným silám rotora a ďalším stratám. Preto sa môžu líšiť výsledky dynamických testov od testov pri konštantných otáčkach. Určujúcim faktorom je moment zotrvačnosti rotora dynamometra. V dnešnej dobe sa používa špeciálny software pre korekciu takto vzniknutých odchýlok [5].

#### 2.1.1 HYDRODYNAMICKÉ DYNAMOMETRE (VODNÉ BRZDY)

Všetky typy dynamometrov fungujú na podobnom princípe, kde na hriadeľi je valcovitý rotor, ktorý sa točí vo vodotesnom puzdre (statore). V časti rotora a statora sú vytvorené toroidné vybraná, ktoré vytvárajú vrecká, ktoré sú naplnené vodou. Pri roztočení rotora je pomocou odstredivej sily vytváraná cirkulácia kvapaliny vo vreckách, čo má za následok tvorbu točivého momentu, ktorý smeruje proti otáčaniu hriadeľa a zároveň je tento moment vyrovnávaný rovnako veľkým, ale opačným momentom na puzdre dynamometra. V dôsledku tejto cirkulácie vody dochádza k turbulentnému strihu vody, a tým k disipácii energie do vody vo forme tepla. Princíp vodnej brzdy je možné vidieť na obr. 3 [6].



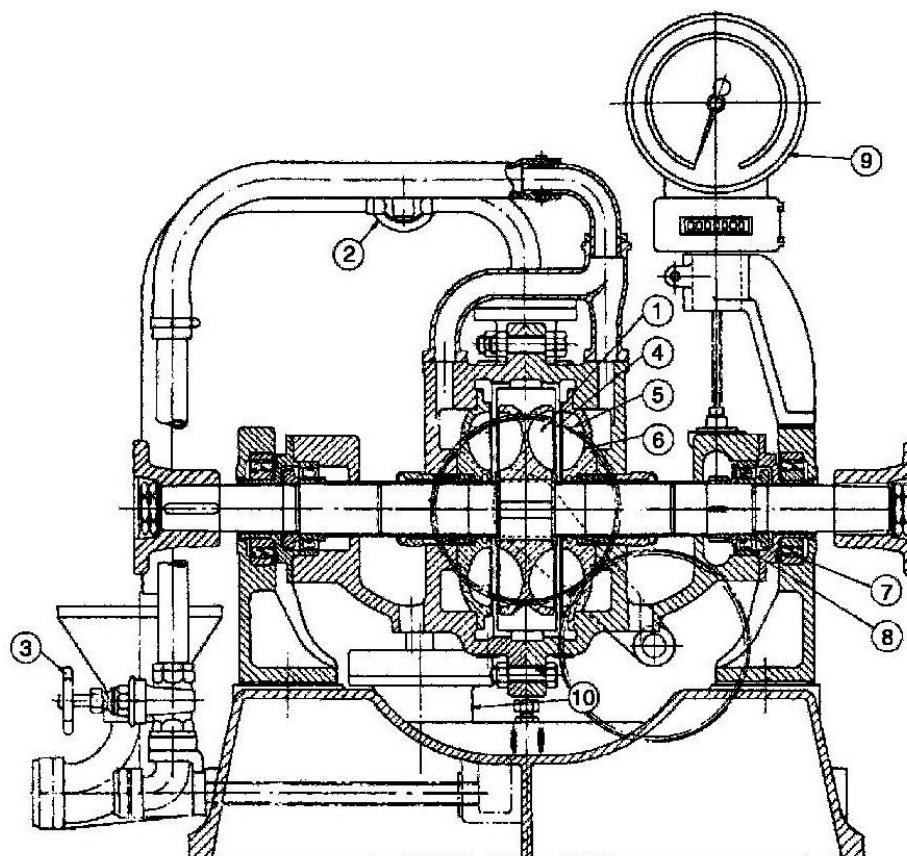
Obr. 3 Princíp funkcie hydraulického dynamometru [6]: a – rez dynamometrom; b – bočný pohľad na rotor; c – rez A-A; d – ukážka toroidného víru;

Hydrodynamické dynamometre rozdeľujeme podľa spôsobu plnenia na [7]:

- Dynamometre s konštantným plnením
- Dynamometre s premenlivým plnením

#### HYDRODYNAMICKÉ DYNAMOMETRE S KONŠTANTNÝM PLNENÍM

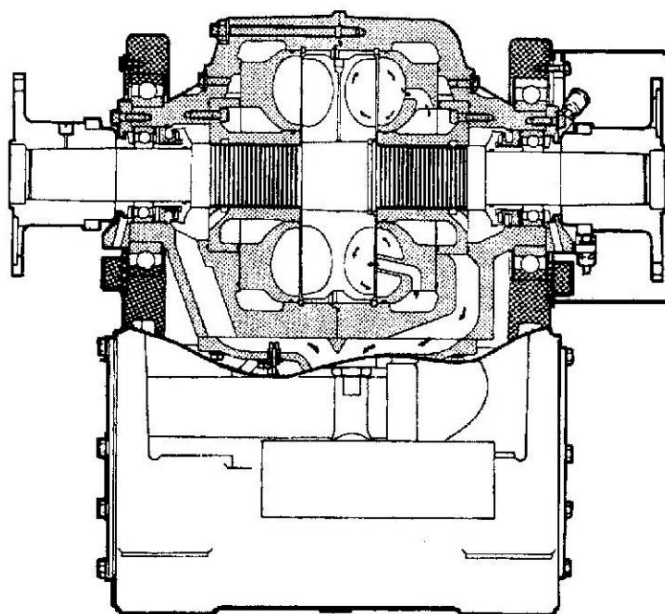
U tohto typu dynametrov je zmena brzdného momentu ovládaná pomocou tenkých regulačných dosiek. Tieto dosky sú buď vkladane alebo odoberané z priestoru medzi rotorom a statorom a tým ovplyvňujú toroidnú cirkuláciu vody vo vreckách. Rez týmto typom dynamometru je možné vidieť na obr. 4 [6].



Obr. 4 Rez hydrodynamickým dynamometrom s konštantným plnením [6]: 1 – rotor; 2 – odtokový ventil vody; 3 – prítokový ventil vody; 4 – regulačné dosky; 5 – otvory prítoku vody do vreciek; 6 – obloženie statora; 7 – ložisko puzdra; 8 – ložiská hriadeľa; 9 – tachometer;

#### HYDRODYNAMICKÉ DYNAMOMETRE S PREMENLIVÝM PLNENÍM

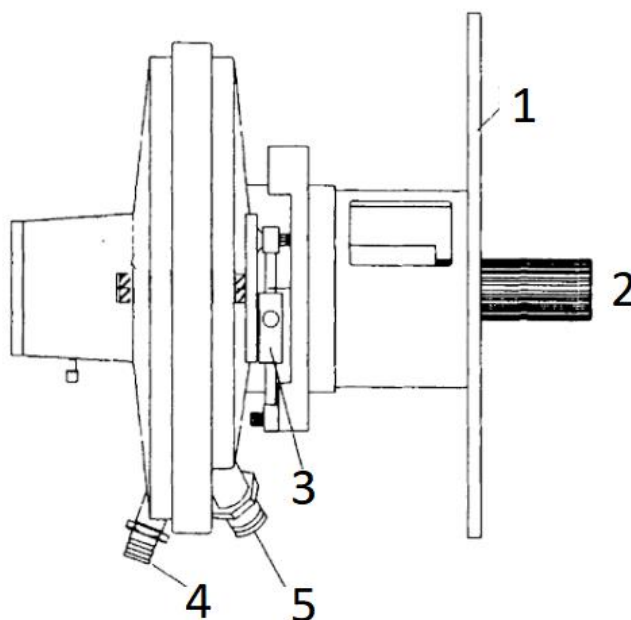
Oproti predchádzajúcemu typu je rozdiel v tom, že zmena brzdného momentu je spôsobená reguláciou množstva vody, ktorá vtečie do obehu. Ovládanie zabezpečujú ventily na vtok a výtok vody zo systému, ktoré sú napojené na riadiaci systém. Výhodou je rýchlejšia zmena brzdného momentu oproti regulačným doskám, avšak je nutné mať k dispozícii adekvátne množstvo vody pre čo najrýchlejšie naplnenie puzdra. Zariadenia tohto typu sú najväčšími dynamometrami s priemerom rotora okolo 5 m [6].



Obr. 5 Rez hydrodynamickým dynamometrom s premenlivým plnením [6]

#### HYDRODYNAMICKÉ DYNAMOMETRE TYPU „BOLT-ON“

Jedná sa o dynamometre, ktoré sú na trhu už dlhú dobu. Pracujú na rovnakých princípoch, ako dynamometre s premenlivým plnením. K dispozícii sú zariadenia pre výkony do výšky cca 1000 kW. Výhodou týchto zariadení je jednoduchšia konštrukcia, nízka váha a ich možnosť priamej montáže na podvozok alebo na spojkovú skriňu motora. Nevýhodou je však to, že nie je možné merať krútiaci moment na rovnakej úrovni ako konvenčné zariadenia [6].



Obr. 6 Hydrodynamický dynamometer typu „BOLT-ON“ [8]: 1- príruha zotrvačnikovej skrine; 2 – drážkovaný hriadeľ; 3 – snímač zaťaženia; 4 – pripojenie hadice na prívod vody; 5 – pripojenie hadice na odvod vody;

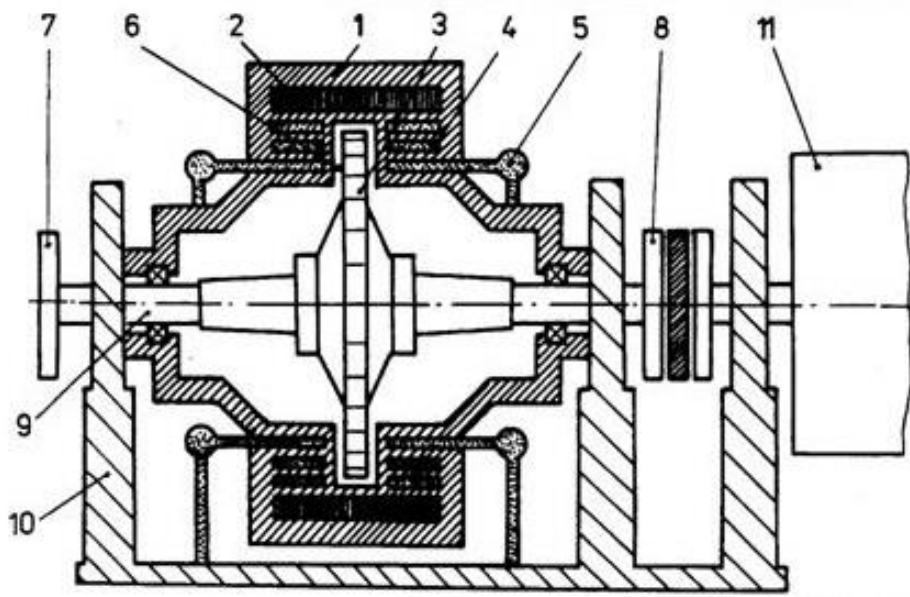


## DISKOVÉ DYNAMOMETRE

Tento typ zariadenia nie je často používaný. Dynamometer pozostáva z jedného alebo viacerých plochých diskov, ktoré sú umiestnené čo najbližšie medzi stenami statora. Strihaním vody je absorbovaný výkon motora a krútiaci moment je riadený ako v prípade zariadení s premenlivým plnením. Nevýhodou tohto typu dynamometrov je ich neuspokojivý priebeh pri malých rýchlostiach, naopak sú využiteľné pri veľmi vysokých otáčkach. Vďaka tomu sú vhodné pre zaťažovanie plynových turbín. Variantou sú diskové dynamometre s prevrtnanými diskami a dierami v rotore a statore, ktoré majú za následok lepší brzdný účinok [6].

### 2.1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ VÍRIVÉ DYNAMOMETRE

Jedná sa o zariadenia, ktoré pre správny chod využívajú elektromagnetickú indukciu a vírivé prúdy. Vznikom vírivých prúdov dochádza k vytvoreniu brzdného momentu, ktorý sa reguluje veľkosťou privedeného prúdu do budiacej cievky, ktorá je uložená vo vodotesnom puzdre v statore. Teplo, ktoré vzniká pri zaťažovaní je odvedené do chladiacich komôr. Dynamometre tohto typu sú relatívne malých rozmerov a je možnosť ich diaľkovo ovládať. Stator je uložený výkyvne v ložiskách. Rotor je tvorený hriadeľom, ktorý je uložený na valivých ložiskách, a pólom kotúčom. Pre pripojenie skúšaného zariadenia je na oboch koncoch hriadeľa príruha. Chladienie je zabezpečené vodou z chladiaceho okruhu skúšobne [2, 9].



Obr. 7 Elektromagnetický vírivý dynamometer [2]: 1 – teleso brzdy; 2 – budiaci ventil; 3 – pólom kotúč; 4 – chladiace komory; 5 – vodné chladienie; 6 – vzduchová medzera; 7 – ľavá príruha; 8 – pravá príruha; 9 – hriadeľ brzdy; 10 – rám; 11 – pripojené merané zariadenie (napr. valce skúšobne)

### 2.1.3 TRECIE DYNAMOMETRE

Tento typ dynametrov sa vyznačuje najjednoduchšou konštrukciou. Pozostávajú v podstate s vodou chladených viacdiskových trecích brzd. Ich využitie je pri nízko rýchlostných aplikáciách. Výhodou je vytváranie plného záťažového momentu až do zastavenia, ktorý je spôsobený premenlivosťou súčiniteľa trenia vplyvom zmeny teploty. V dnešnej dobe sa tieto dynamometre už nevyužívajú [6, 9].

### 2.1.4 VZDUCHOVÉ DYNAMOMETRE

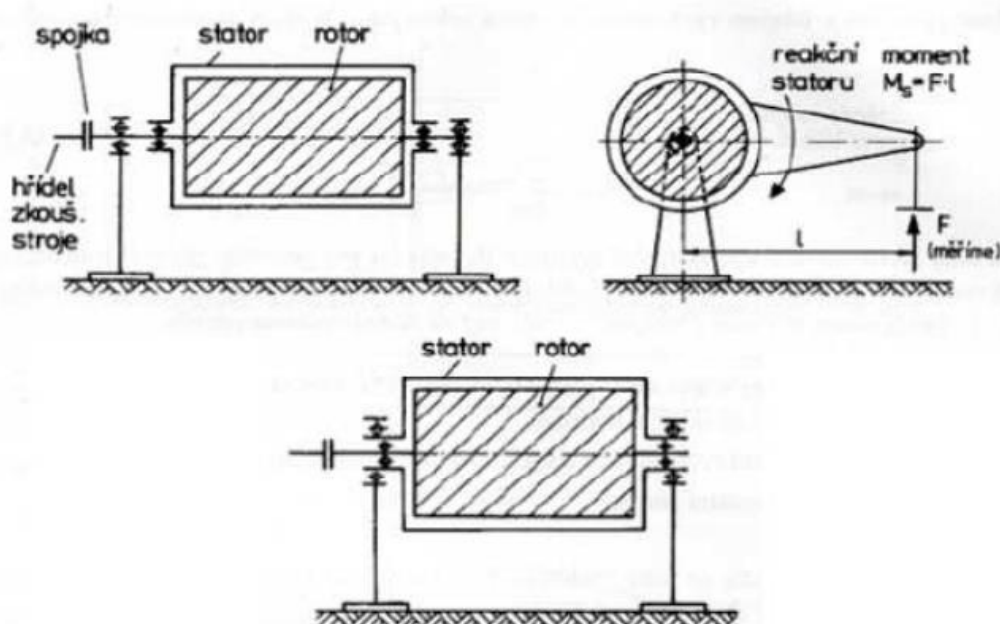
Ďalším typom brzd, ktoré už nie sú často používané sú vzduchové dynamometre. Brzdny moment je vytváraný odporom vzduchu, kedy je výkon testovaného motora absorbovaný pohybujúcou sa vrtuľou vo vzduchu. Brzdny moment je výrazne ovplyvňovaný vzdušným prúdením a teplotou okolitého prostredia. V dnešnej dobe sa používajú obmedzene, napr. pri testovaní vrtuľníkových motorov pri vonkajších skúškach, kde nie je dôležitá presnosť merania ani vzniknutý hluk [6, 9].

## 2.2 AKTÍVNE DYNAMOMETRE

Okrem absorbovania točivého momentu, je tu oproti pasívnym dynamometrom možnosť točivý moment vytvárať, vďaka čomu je možné simulovať podmienky, ktoré vznikajú pri reálnej prevádzke vozidla a taktiež môžeme merať mechanické straty pri motoroch bez spaľovania [5].

### 2.2.1 ELEKTRICKÉ DYNAMOMETRE

Všetky zariadenia, ktoré patria do tejto skupiny majú spoločnú črtu a tou je premena absorbovaného výkonu na elektrickú energiu, ktorá je následne odvedená. Chladiacim médiom (napr. vodou, ale častejšie náporovým vzduchom) sú odvedené energetické straty vo forme tepla. Nakoľko sa jedná o vysokonapäťové zariadenia, je nutné, aby boli používané v priestoroch, ktoré nie sú vlhké alebo prašné a s dostatočným priestorom pre chladenie. Elektrické dynamometre sú zariadenia, ktoré pracujú ako generátory a elektromotory s výkyvne uloženým statorom. Výkyvne uloženie je dvojakého druhu, ktoré je možné vidieť na obr. 8. Buď je stator zavesený v ložiskách hriadeľa rotora a následne hriadeľ rotora uložený pevne v ložiskách alebo je výkyvne uložený stator v pevných ložiskách, uložených v statore [2, 5, 6].



Obr. 8 Spôsob kyvného uloženia dynamometru [2]

### JEDNOSMERNÉ ELEKTRICKÉ DYNAMOMETRE

Tieto zariadenia v podstate pozostávajú z motora, ktorý je čapovo uložený a je napájaný jednosmerným prúdom. Nevýhodou je jeho veľký moment zotrvačnosti a obmedzené otáčky. Veľký moment zotrvačnosti môže spôsobovať torzné vibrácie. Jedná sa o robustné zariadenia, ktoré sú však ľahko ovládateľné [5, 6].

### ASYNCHRÓNNE ELEKTRICKÉ DYNAMOMETRE

Ide o dynamometre, ktorých základ tvorí asynchrónny motor s kotvou nakrátko. Moment, ktorý otáča rotorom je vyvolaný prechodom trojfázového striedavého prúdu vinutím statora, čo má za následok vznik točivého magnetického poľa, ktoré indukuje napätie v rotore a vzniká tak prúd. Otáčky dynamometra sú riadené zmenou frekvencie striedavého prúdu. Oproti jednosmerným dynamometrom je vďaka menšiemu momentu zotrvačnosti jednoduchšia a rýchlejšia odozva na zmenu otáčok. Výhodou tohto typu sú nízke obstarávacie náklady a menej nákladná údržba [5, 6].



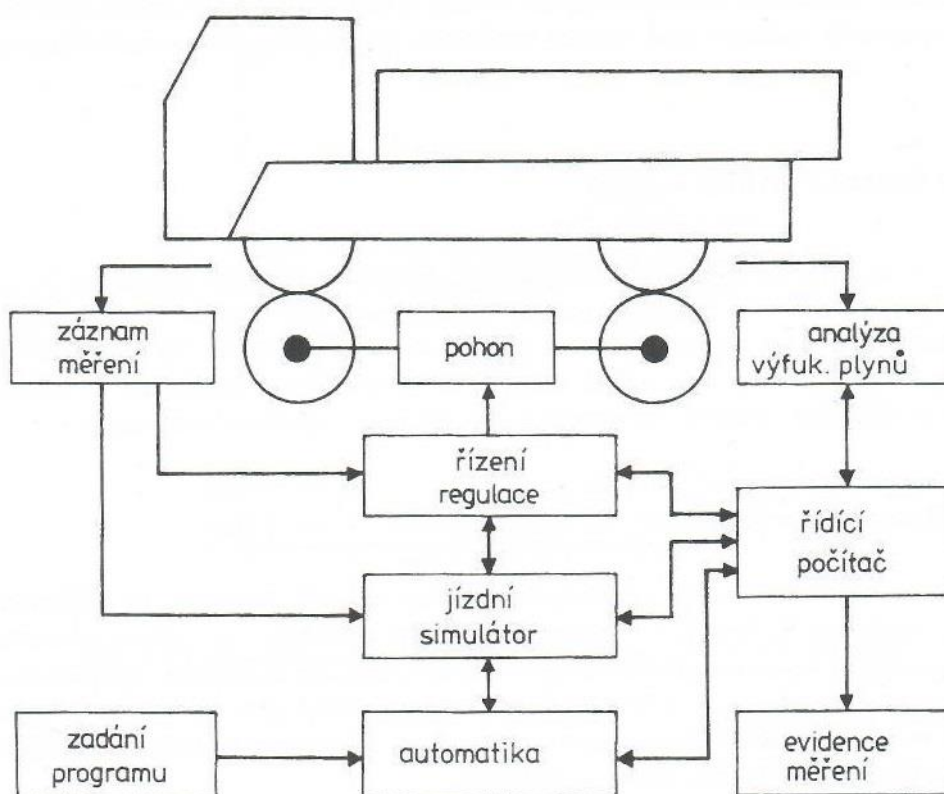
*Obr. 9 Asynchrónny dynamometer spoločnosti AVL [10]*

### SYNCHRÓNNE ELEKTRICKÉ DYNAMOMETRE S PERMANENTNÝM MAGNETOM

Jedná sa o najnovšiu generáciu vývoja dynamometrov, ktoré sú využívané pri testovaní vozidiel a motorov najprestížnejších svetových sérií ako Formula 1, Moto GP, 24h Le Mans a podobne. Rotory sú tvorené permanentnými magnetmi. Ich moment zotrvačnosti je nízky, vďaka čomu zvláda vysoké zrýchlenia a zároveň musí zvládať vysoké točivé momenty. Systém riadenia je natoľko vyspelý, že je možné veľmi presne simulovať akúkoľvek trať s akýmkoľvek vozidlom. Výhodou tohto zariadenia je aj možnosť pripojenia ku kľukovému hriadeľu motora, ale aj na výstupný hriadeľ prevodovky [5, 6].

### 3 VALCOVÉ SKÚŠOBNE

Jedná sa o špecializované pracovisko, ktoré slúži na vykonávanie laboratórnych skúšok, pričom nie je nutnosť demontovať pohonný agregát z vozidla. Princípom testovania na valcových skúšobniach je to, že testované vozidlo je zaistené proti pohybu (stojí na mieste), cez kolesá je prenášaný točivý moment na vozovku, ktorá je simulovaná pomocou valcov. Nevýhodou je, že na kolese vozidla nie je možné dosiahnuť rovnaké výkonové výsledky, ako na výstupe z kľukového hriadeľa, a to z dôvodu napr. strát v prevodoch, valivého odporu atď. Preto je nutné používať tzv. korekčné faktory. Základnú schému valcovej skúšobne je možné vidieť na obr. 10 [2, 5].



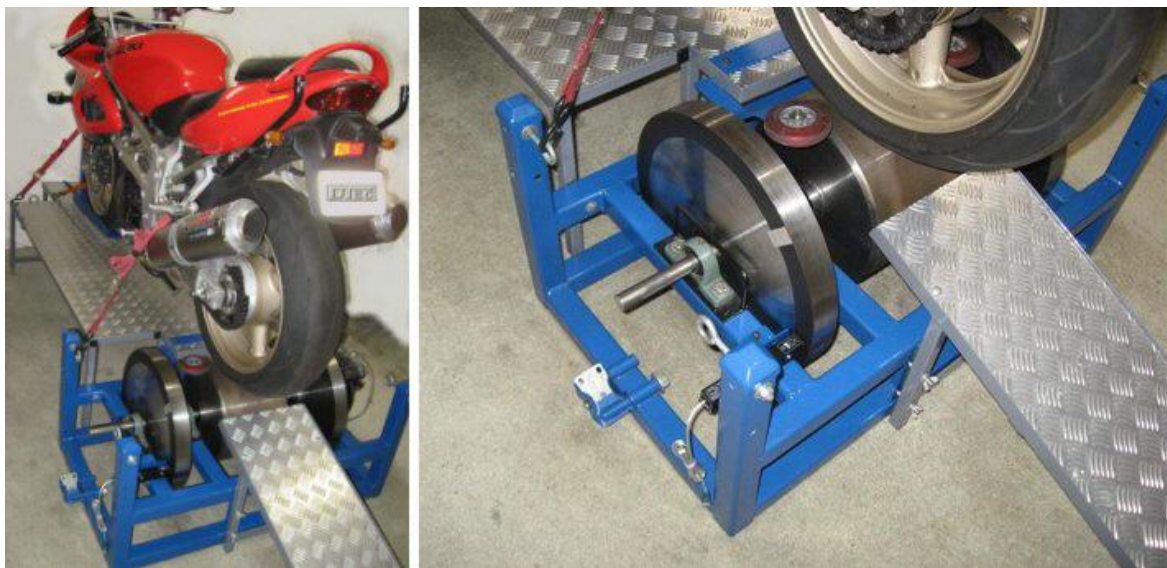
Obr. 10 Schéma valcovej skúšobne [2]

#### 3.1 ROZDELENIE VALCOVÝCH SKÚŠOBNÍ

V dnešnej dobe je možné vidieť na trhu množstvo valcových skúšobní rôzneho typu konštrukcie, ktoré vychádzajú z ich použitia. Ich presnosť je často úmerná nákladom na ich kúpu. Podľa typu použitého zariadenia sa delia na aktívne a pasívne. Pri pasívnych je brzdný moment vytváraný najčastejšie odporom zotrvačníkov. V prípade aktívnych valcových skúšobní je brzdný moment vytváraný pomocou dynamometra [11].

##### 3.1.1 VALCOVÝ ZOTRVAČNÍKOVÝ STAV

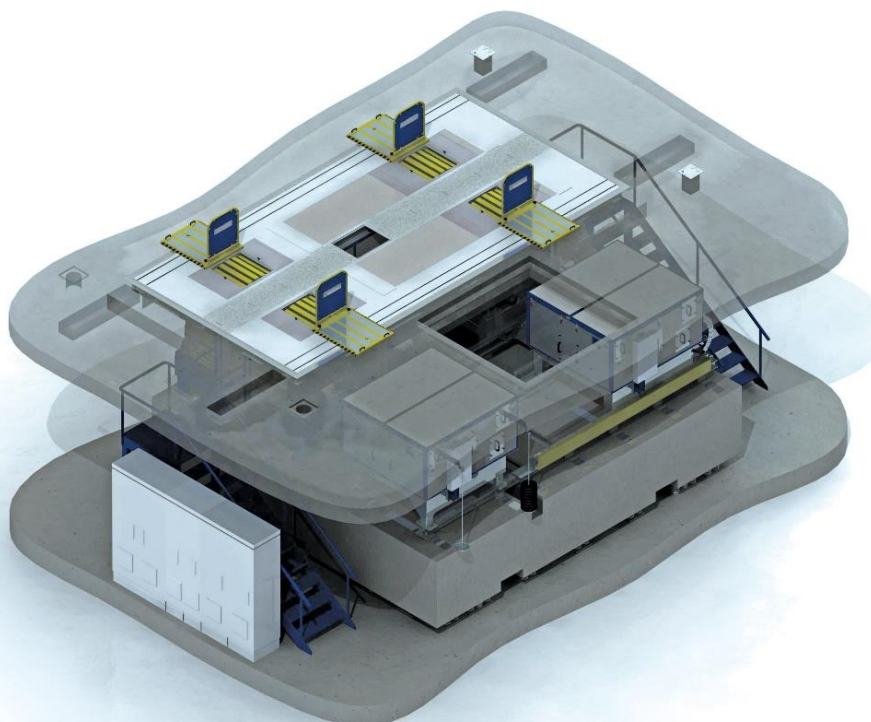
Najjednoduchším a najlacnejším spôsobom testovania vozidiel je zotrvačníkový stav. V princípe sa jedná o systém valcov a prípadných zotrvačníkov, kde poznáme moment zotrvačnosti sústavy a otáčky meriame Hallovým snímačom. Výsledný točivý moment je funkciou momentu zotrvačnosti a uhlového zrýchlenia [5].



Obr. 11 Zotrvačnickový stav [12]

### 3.1.2 VALCOVÝ DYNAMOMETER

Jedná sa o aktívnu skúšobňu, ktorá používa dynamometer ako zdroj brzdného momentu. Podľa typu použitého dynamometra (jednotlivé typy boli popísané v kap. 2) môžeme tieto skúšobne ďalej deliť na tie, ktoré sú schopné vytvárať len brzdný moment a na skúšobne, ktoré dokážu poháňať testované vozidlo.



Obr. 12 Valcový dynamometer od firmy AVL [13]

### 3.1.3 ROTOTEST

Pri tomto type skúšobne je odstránený problematický uzol koleso-valec (ktorý ma za následok vznik sklzu) a priamo na náboj kola je namontované špeciálne brzdné zariadenie. Ide o veľmi presný spôsob merania výkonu [5, 11].



Obr. 13 Valcová skúšobňa ROTOTEST [14]

### 3.1.4 ŠPECIÁLNA SKÚŠOBŇA

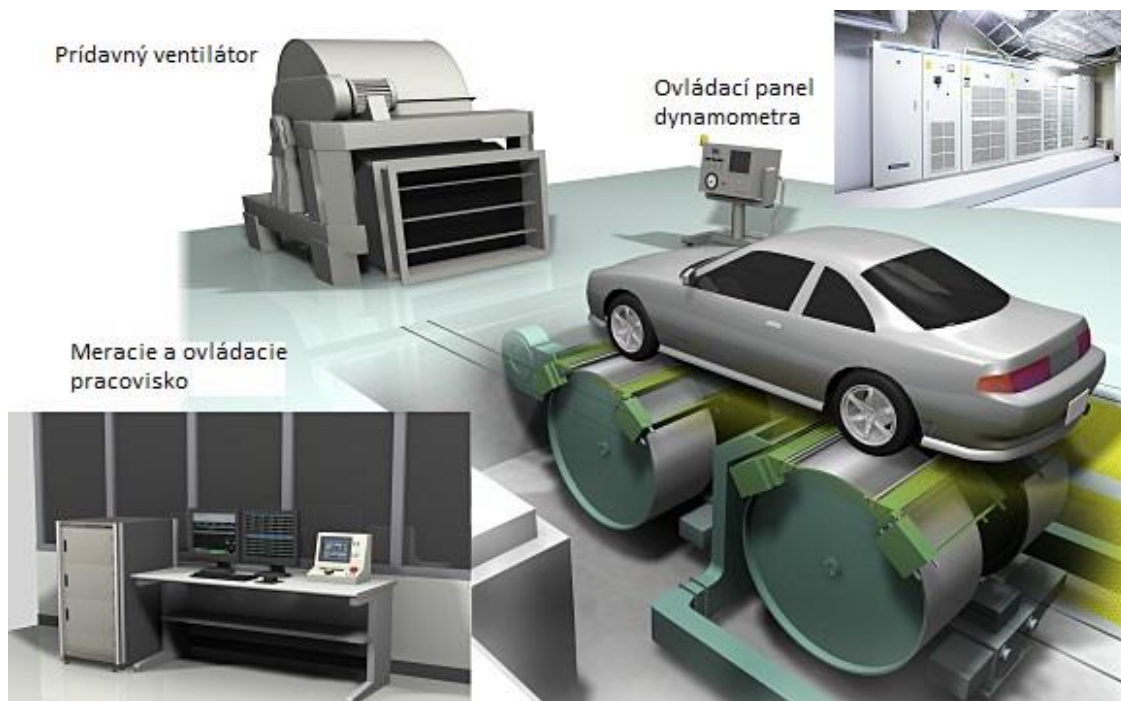
Na trhu je možné naraziť aj na atypické skúšobne, ktoré boli skonštruované na špecifické účely. Medzi tieto patrí aj skúšobňa na obr. 14. Jedná sa o zariadenie, ktoré je využívané pri vývoji špeciálov pre závody Nascar. Hlavným cieľom však nie je zisťovať vlastnosti pohonného agregátu. Testovacie zariadenie je situované vo veternom tuneli a slúži na analýzu prúdenia vzduchu okolo vozidla [38].



Obr. 14 Špeciálna skúšobňa v Severnej Karolíne [38]

### 3.2 VYBAVENIE VALCOVÝCH SKÚŠOBŇÍ

Oproti motorovým skúšobňiam majú tie valcové nižšie požiadavky na vybavenie laboratórií. Dôraz je kladený najmä na vzduchový management.



Obr. 15 Valcová skúšobňa [15]

#### 3.2.1 VENTILAČNÝ A KLIMATIZAČNÝ SYSTÉM

Tento systém zabezpečuje udržanie ideálnej teploty skúšobne. Jeho úlohou je chladiť vozidlo a dynamometer (v prípade uloženia dynamometra pod úroveň podlahy, je nutné zabezpečiť prúdenie vzduchu aj v tomto priestore), dodávať vzduch pre spaľovací cyklus a odvádzať vzniknuté teplo.

#### 3.2.2 PRÍDAVNÉ VENTILÁTORY

Dôležitým zariadením valcovej skúšobne je prídavný ventilátor. Primárnou úlohou týchto zariadení je vytvárať reálne prúdenie vzduchu, ktoré je potrebné pre chladenie motora. Ventilátory cirkulujú vzduch zo skúšobne a usmerňujú ho na chladič vozidla. Systém riadenia je navrhnutý tak, že zariadenie kontroluje otáčky dynamometra a na základe rýchlosti otáčania poskytuje požadované množstvo vzduchu. Problém pri použití ventilátorov je ten, že pri niektorých aplikáciách (napr. akustické merania) vzniká nežiadúci hluk, ktorý znižuje presnosť meraní. Jedným z riešení vzniknutej situácie je použitie tzv. „pop-up cooling system“, čo by sme mohli preložiť ako vyklopiteľný chladiaci systém. Ten pozostáva z ventilátora a chladiacej jednotky, ktorá je inštalovaná pod skúšobňou a má automaticky riadené naklápanie klapiek umiestnených pred a za testovacím standom. Pri niektorých aplikáciách nie je možné využiť chladiace zariadenie aj napriek tomu, že môže byť počas merania vypnuté. Pre tieto potreby sa využíva externá cirkulácia oleja a chladiacej kvapaliny akú môžeme vidieť na obr. 16 [16].



Obr. 16 Zariadenie pre externé chladenie kvapalín od firmy AVL [17]

Ďalším zariadením sú bodové chladiče, ktoré sa využívajú pri potrebe dochladiť určitý komponent (napr. brzdy, katalyzátor, batérie atď.), ktorá nie je dostatočne chladený. Medzi ne patria aj chladiace ventilátory pneumatík. Ich využitie je napr. v prípade testovania výkonného vozidla so zadným náhonom na jednoosom zariadení. Pokiaľ je predný prídavný ventilátor relatívne malý, tak je chladenie zadnej nápravy neúčinné. Pneumatikové ventilátory môžu byť súčasťou konštrukcie valcového dynamometra alebo je možné ich umiestniť vedľa kolies [16].

### 3.2.3 ZARIADENIA PRE CENTROVANIE A POLOHOVANIE VOZIDLA

Pred začiatkom spustenia samotného testu je nutné vozidlo správne umiestniť na valce, aby bola dosiahnutá čo najlepšia styčná plocha pneumatík s valcami. Pre tieto účely sú valcové dynamometre vybavené zariadeniami na centrovanie a polohovanie vozidla. Zariadenia sú ovládané manuálne alebo automaticky. Po ustavení vozidla na zabrzdené valce sa z priestoru pred a za kolesom vysunie centrovacie zariadenie. Ďalšími prvkami, ktoré zvyšujú bezpečnosť testov a napomáhajú centrovaniu vozidla sú kryty valcov a zariadenia pre monitorovanie polohy vozidla, ktoré sú používané najmä pri robotickom ovládaní vozidla [16].



Obr. 17 Kryty valcov (vľavo) a zariadenia pre monitorovanie polohy vozidla (vpravo) [16]



### 3.2.4 ZÁDRŽNÝ SYSTÉM

Hlavnou úlohou tohto systému je udržať vozidlo počas celého testu v stabilnej polohe, nakoľko po spustení skúšky (roztočení valcov skúšobného zariadenia) vznikajú sily, ktoré majú tendenciu vozidlo zhodiť z dynamometra. Podľa typu vozidla sa zádržné systémy delia na [18]:

- Zádržné systémy pre motocykle a kompaktné vozidlá (80 – 450 kg)
- Osobné automobily (450 – 2700 kg)
- Dodávky – ľahšie nákladné automobily (2700 – 5400 kg)
- Nákladné automobily (5400 – 60000 kg)

Zádržné systémy môžeme nájsť v rôznych prevedeniach. Delia sa na konštrukcie používané pre nehnanú nápravu a konštrukcie pre hnanú nápravu.

#### KOLESOVÝ ÚCHYT – NEHNANÁ NÁPRAVA

Pri tomto type sú medzi kolesami umiestnené protikusy, ktoré sú vzájomne zviazané reťazou alebo popruhom. Konštrukcia pozostáva z dvoch zvarencov, kde jeden je ukotvený v koľajnici základnej dosky dynamometra, zatiaľ čo druhý je voči prvému pohyblivý, z dôvodu zmeny rozchodu kolies. Koľajnica zabezpečuje univerzálnosť použitia pre vozidlá s rôznym rázvorom kolies [18].



Obr. 18 Kolesový úchyt [18]

#### KOLESOVÁ OBJÍMKA – NEHNANÁ NÁPRAVA

Tento typ uchytenia funguje podobne ako kolesový úchyt, s rozdielom toho, že kotviaci popruh je ovitý okolo pneumatiky.



Obr. 19 Kolesová objímka [18]

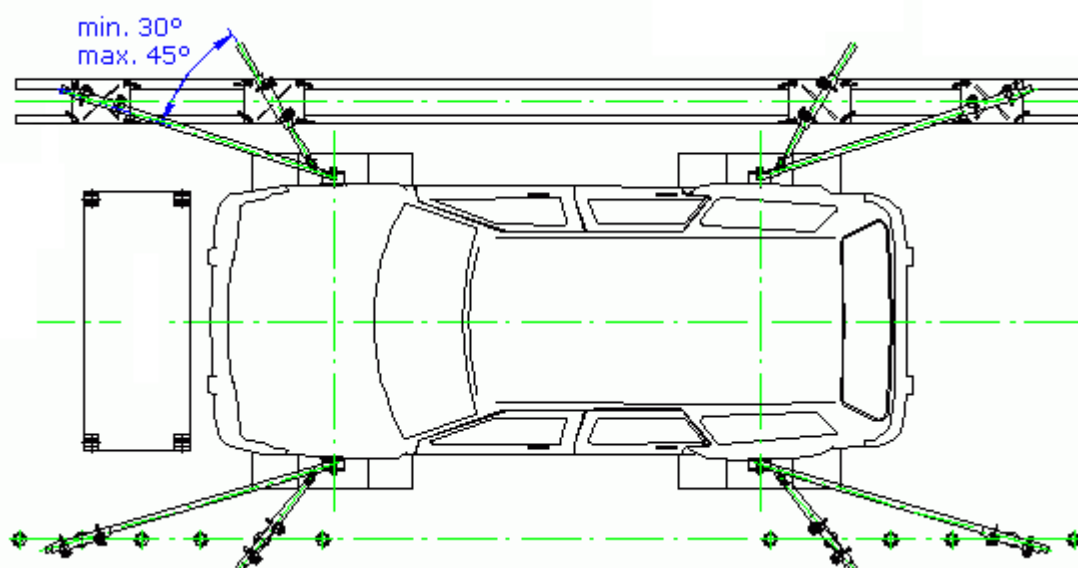
#### ZÁDRŽNÉ TYČE – HNANÁ NÁPRAVA

Vozidlo je v tomto prípade držané pomocou tyčí, ktoré sú buď upnuté na ťažnom zariadení alebo priamo priskrutkované k náboju kolesa. Konzola, ktorej súčasťou sú puzdrá, v ktorých sú tyče uložené, sú pripojené ku koľajniciam [18].



Obr. 20 Zádržné tyče s kotvením na náboj kolesa [18]

Uhol, ktorý jednotlivé tyče zvierajú je predpísaný normou. Jedná sa o veľmi tuhé upnutie s minimálnym pohybom meraného vozidla [18].



Obr. 21 Schéma kotvenia pomocou zádržných tyčí [19]

### „DOG SLEDGE“ – HNANÁ NÁPRAVA

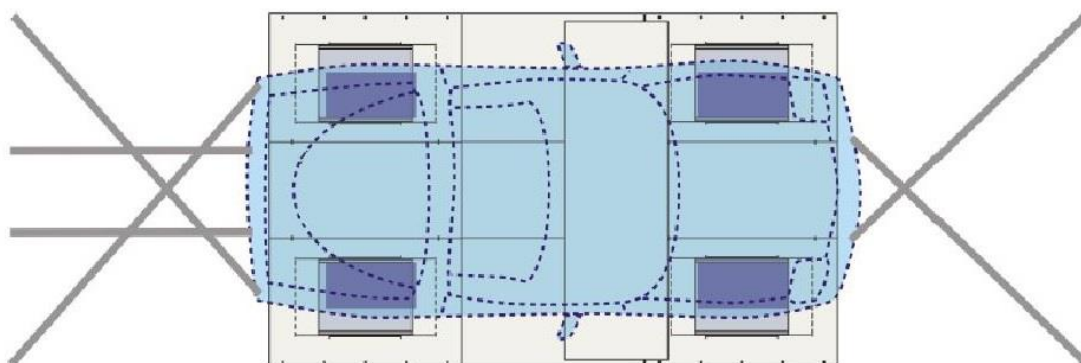
Zariadenie „Dog sledge“ alebo aj „psie sane“ je systém, ktorý je umiestnený za vozidlom. Celý systém je uložený na lineárnom vedení s možnosťou priečneho pohybu saní vzhľadom k pozdĺžnej osi vozidla. Zabránenie nežiadúceho posuvu je zabezpečené aretačným mechanizmom. Podobne ako zádržné tyče, aj tento systém vykazuje vysokú tuhosť [18].



Obr. 22 Zádržný systém typu „Dog Sledge“ [18]

### KOTVIACI BOD

Jedná sa o často používaný spôsob kotvenia, kedy je vozidlo upnuté ku kotviacim bodom pomocou reťazí alebo pásov. Pri tomto type zádržného systému je nutný veľký priestor okolo vozidla a meranie vozidiel s podobným rázvorom kolies (nie je nutné prestavovať uhly medzi reťazami alebo popruhmi).



Obr. 23 Spôsob upnutia vozidla s pohonom 4x4 [5]

### STĹPIKY S REŤAZAMI ALEBO PÁSMI

Základom tohto systému je stĺpik, ktorého súčasťou je pohyblivá objímka s reťazou, alebo pásmom. Reťaze alebo pásy sú združené do jedného kotviaceho oka, ktoré je upnuté k ťažnému zariadeniu vozidla. Stĺpik je zabudovaný opäť v koľajnici pre možnosť jeho pohybu. Systém má však nízku tuhosť a ďalšou nevýhodou je nutnosť veľkého priestoru pred a za vozidlom [18].



Obr. 24 Zádržný systém so stĺpikmi a reťazami [18]

### 3.2.5 SYSTÉM ODVODU VÝFUKOVÝCH PLYNOV

Pri malých skúšobniach dochádza k odvodu výfukových plynov vďaka veľkému prietoku vzduchu vytvoreného ventilátorom. Bohužiaľ, pre veľké skúšobne je nutné pridať ventilátorové odsávače výfukových plynov, ktoré však pri odsávaní výfukových plynov odsávajú aj vzniknuté teplo, ktoré môže tieto zariadenia poškodiť. Pre zamedzenie poškodenia odsávačov je vhodné použiť ventilátory väčších výkonov spolu s hadicami väčších priemerov. Tým sa horúce plyny premiesia so studeným vzduchom a zníži sa tak teplota nasávaných plynov [5].

## 3.3 KONCEPCIE VALCOVÝCH DYNAMOMETROV

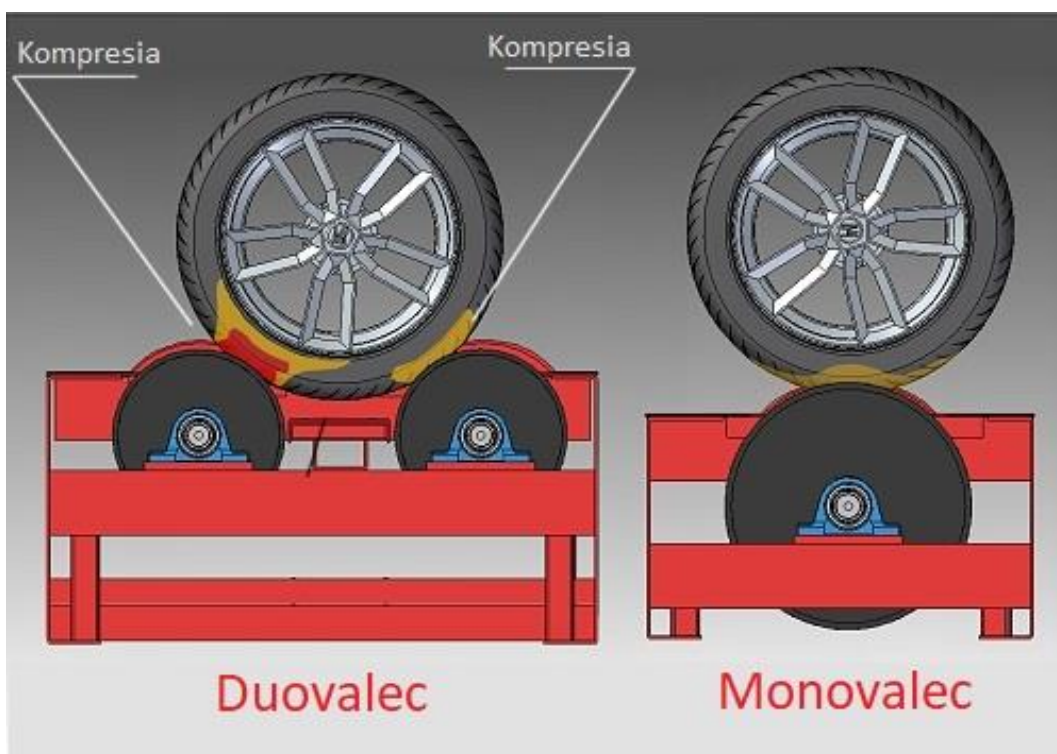
Na trhu sa môžeme stretnúť so širokým spektrom rôznych koncepcií valcových dynamometrov. Jednotlivé koncepcie sa líšia v usporiadaní a počte valcov, priemerom valcov, počtom motorov a ich uložením a iným.

### 3.3.1 DELENIE PODĽA POČTU VALCOV

Valcové dynamometre sa delia na monovalcové, kedy na jedno koleso pripadá práve jeden valec. Ďalšou možnosťou sú duovalcové dynamometre, kedy je koleso upevnené medzi dvoma valcami.

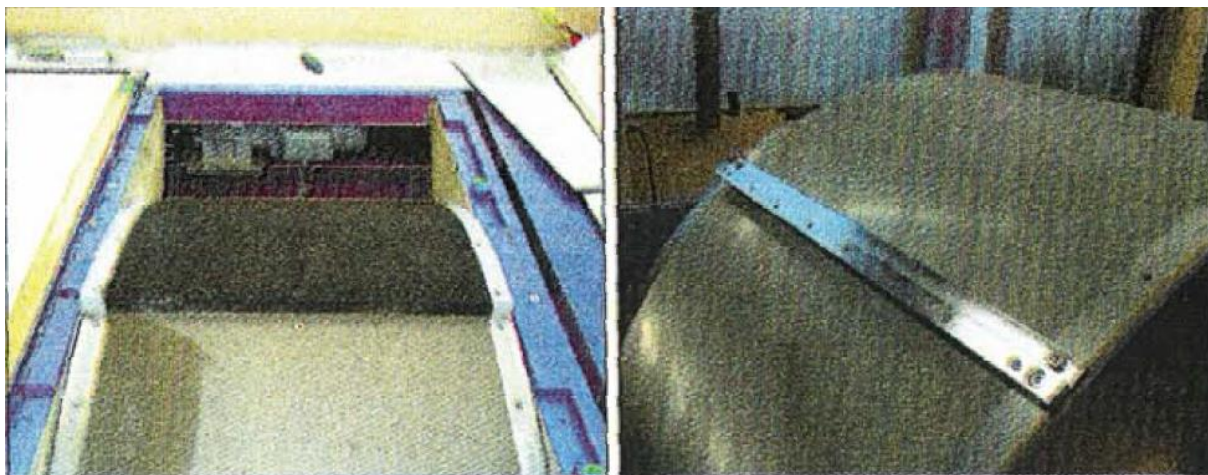
#### MONOVALCOVÉ DYNAMOMETRE

Jedná sa o najčastejšie využívaný typ valcových dynamometrov (aj napriek vyššej cene), pretože dokáže presnejšie simulovať kontakt s vozovkou, nakoľko je pneumatika počas zaťaženia deformovaná len v jednom bode. Rozdiel medzi deformáciami je možné vidieť na obr. 25.



Obr. 25 Rozdiel deformácií pneumatiky medzi duovalcovým a monovalcovým dynamometrom [20]

Valce sú vyrábané z vysoko kvalitnej konštrukčnej alebo liatej ocele. Ich povrch je často povlakovaný, (hladký alebo ryhovaný) aby sa dosiahli požadované vlastnosti (korozivzdornosť, požadovaná drsnosť atď.) a zvýšila sa styčná plocha medzi valcom a pneumatikou. Na valce sa umiestňujú dosky alebo škrupinové elementy, ktoré majú za účel simulovať rôzne prvky cestnej premávky ako napr. dlažobné kocky. Taktiež je možné na valce priskrutkovať rázové prvky, ktoré simulujú nerovnosti vozovky ako sú napr. výtlky. Tieto prvky je možné vidieť na obr. 26 [16].



*Obr. 26 Prvky valcov pre simuláciu reálnych podmienok na vozovke [16]*

Súčet hmotností všetkých valcov skúšobne odpovedá približnej hmotnosti testovaného vozidla. Pri výrobe je najdôležitejšie statické (ťažisko leží v osi rotácie) a dynamické (os rotácie je zároveň osou zotrvačnosti) vyváženie jednotlivých valcov. Kvalita vyváženia má priamy dopad na presnosť meraných výsledkov [21].



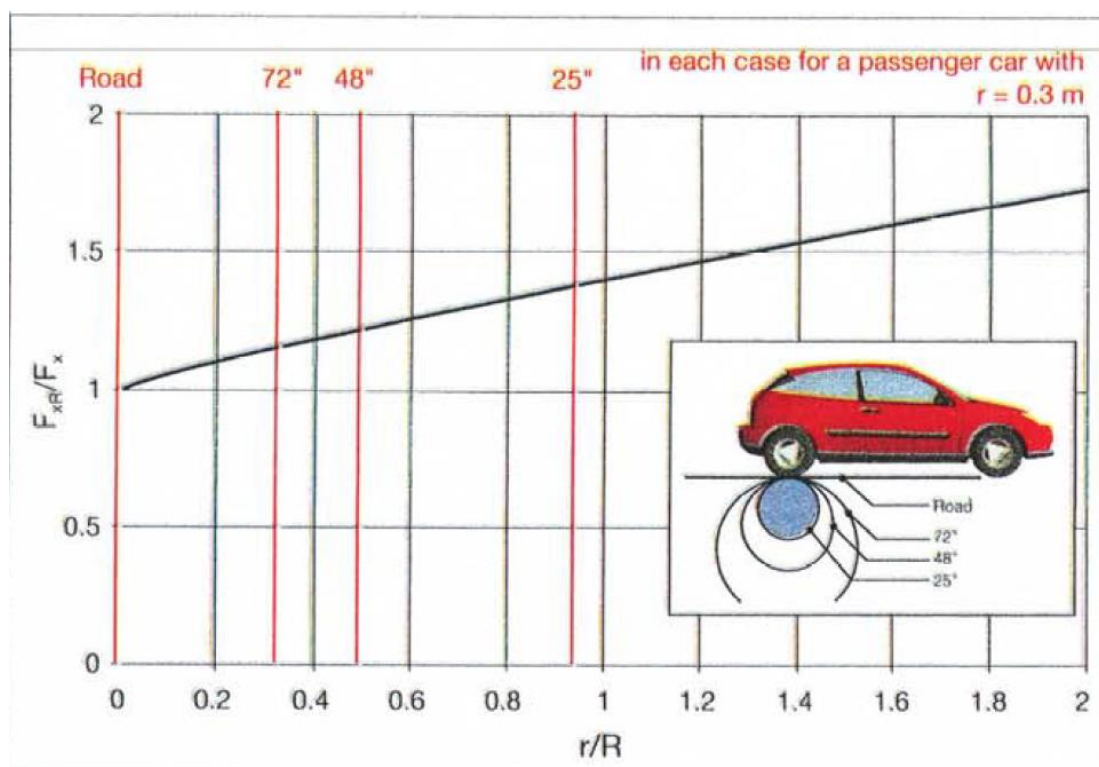
*Obr. 27 Monovalcový dynamometer [22]*

Výhodami tejto konštrukcie je vysoká presnosť merania, jej robustnosť a menšie nároky na údržbu z dôvodu nižších otáčok valcov. Vďaka menšiemu počtu mechanických častí má systém menej parazitických strát. Na základe týchto výhod sa monovalce využívajú pri certifikačných skúškach a vo výskumných a vývojových centrách [16].

Veľký vplyv na presnosť merania má aj priemer valca. Čím väčší priemer má valec, tým sa zvyšuje styčná plocha medzi pneumatikou a povrchom valca, a tým sa geometria kontaktu približuje kontaktu s reálnou vozovkou. Veľkosť valca je teda priamo úmerná presnosti nameraných hodnôt (väčší priemer, vyššia presnosť). Ďalším vplyvom je tlak v pneumatikách a jej priemer. Obr. 28 ukazuje závislosť rozmeru štandardných valcov (25", 48", 72") na veľkosti valivého odporu, ktorý má vplyv na odpor pneumatiky. Závislosť medzi valivým odporom na valci a valivým odporom na vozovke je definovaná vzťahom [16]:

$$F_{\chi R} = F_{\chi} \cdot \left(1 + \frac{r}{R_v}\right)^{1/2}, \quad (3)$$

kde  $F_{\chi R}$  [-] je valivý odpor na valci,  $F_{\chi}$  [-] je valivý odpor na vozovke,  $r$  [m] je polomer pneumatiky a  $R_v$  [m] je polomerom valca.



Obr. 28 Závislosť valivého odporu pre rôzne veľkosti valcov [16]

### DUOVALCOVÉ DYNAMOMETRE

Základom konštrukcie je pár valcov na každé koleso. Priemer valcov je od 8" – 20". Výhodou tohto riešenia je jednoduchšie postavenie vozidla do správnej polohy a jeho lepšia stabilita pri teste. Ide o lacnejšie prevedenie valcového dynamometra než pri monovalci, pri ktorom je nutný menší stavebný priestor (menšia stavebná plocha aj hĺbka). Nakoľko je zabezpečená vyššia stabilita meraného vozidla, je možné prenášať väčšie trakčné sily. Dvojvalcové dynamometre sa využívajú najmä v súkromných dielňach v tuningovom sektore [16].

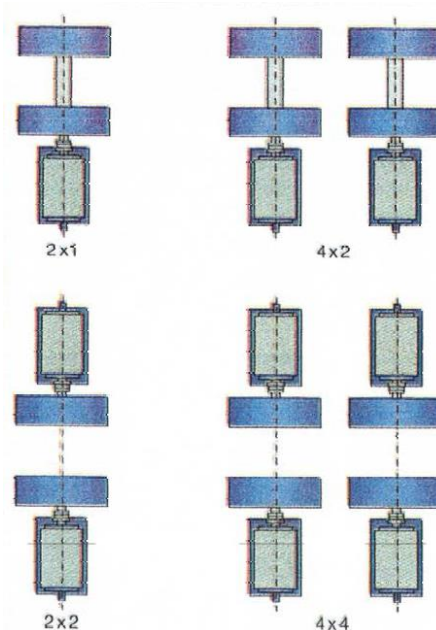


Obr. 29 Duovalcový dynamometer [23]

### 3.3.2 DELENIE PODĽA POČTU MOTOROV A ICH ULOŽENIA

Pri valcových dynamometroch sa môžeme stretnúť s niekoľkými konfiguráciami valcov a motorov (obr. 30). Môžeme ich rozdeliť do základných skupín [16]:

- **2x1** – dva valce na spoločnom hriadeľi s jedným motorom
- **2x2** – dva vzájomne oddelené valce, každý so svojim motorom
- **4x2** – štyri valce s dvomi motormi (vždy dva hriadeľom spojené valce na jednej osi s jedným motorom)
- **4x4** – štyri valce, každý s vlastným motorom. Všetky valce sú vzájomne oddelené
- **Špeciálne** – jedná sa o atypické prevedenia, ktoré dokážu zaťažovať viac ako dve osi



Obr. 30 Konfigurácie valcov a motorov [16]



Konfigurácia 4x4 je najčastejšie používaná pri výskume a vývoji, nakoľko je pri nej možné simulovať prejazdy zákrut [16].

Z dôvodu častokrát obmedzeného stavebného priestoru bolo nutné vytvoriť niekoľko konfigurácií s rozdielnym umiestnením motorov. Konfigurácie valcov 2x1 a 4x2 sa delia podľa umiestnenia motorov na [16]:

- **Motor v jednej rade** – motor je umiestnený vedľa valca, priamo spojený spojku alebo prevodovkou – najčastejšie využívaná varianta, kedy je nutné počas merania odpájať motor (napr. akustické merania)
- **Motor v strede** – motor je umiestnený medzi valcami, ktoré sú priamo spojené hriadeľom z motora – kompaktné a cenovo výhodné prevedenie, ktoré je charakteristické svojou vysokou tuhosťou
- **Motor vo valci** – motor je inštalovaný priamo do valca ako externý rotor



Obr. 31 Valcové dynamometre podľa umiestnenia motora: motor v jednej rade (vľavo), motor v strede, motor vo valci (vpravo) [16]

### 3.4 METÓDY MERANIA VÝKONU NA VALCOVÝCH DYNAMOMETROCH

Výkon vozidla je základným výstupným parametrom zisťovaným pomocou valcového dynamometra. Meranie výkonu vozidla sa vykonáva dvoma metódami.

#### 3.4.1 STATICKÁ METÓDA MERANIA VÝKONU

Skúška je vykonávaná v ustálených režimoch (pri konštantných otáčkach motora). Ako už bolo popísané v kap. 2, tak výkon nie je možné priamo merať, ale je možné ho dopočítať. Pre jeho určenie odčítame hodnoty otáčok z dynamometra a točivý moment určíme na základe výsledkov z tenzometra. Túto metódu nie je možné vykonávať na zotrvačnickovom stave, nakoľko je potrebné, aby bol vyvíjaný brzdný moment a tým zaťažovaný motor. Oproti dynamickej metóde sa jedná o presnejší spôsob merania výkonu, bohužiaľ nezískame spojitý priebeh charakteristiky, ale len hodnoty pri daných otáčkach [11, 21].

#### 3.4.2 DYNAMICKÁ METÓDA MERANIA VÝKONU

Pri tejto metóde sa výkon meria pri dynamických režimoch motora (akcelerácia/decelerácia). Zotrvačnosť všetkých pohyblivých hmôt motoru je prostriedkom k jeho zaťažovaniu. Mierou zaťažovania nie je absolútna veľkosť zotrvačných hmôt, ale poloha riadiaceho orgánu motora (palivového pedálu). Tým pádom, pri plnej dodávke paliva dochádza k maximálnemu zaťaženiu motora a nemá na to vplyv ani to, či urýchlujeme zotrvačné hmoty samotného motora (voľná akcelerácia) alebo urýchlujeme zotrvačné hmoty vozidla [24].

### 3.5 SKÚŠKY NA VALCOVÝCH DYNAMOMETROCH

Okrem merania výkonu vozidiel sa valcové dynamometre využívajú aj pri iných testoch, ktoré sú v dnešnej dobe veľmi dôležité, nakoľko sa nároky na vývoj a výrobu automobilov neustále zvyšujú.

#### 3.5.1 MERANIE CHARAKTERISTÍK SPALOVACÍCH MOTOROV

Pre zhodnotenie a porovnávanie jednotlivých motorov je dôležité poznať ich charakteristiky. Tie graficky znázorňujú závislosť základných parametrov (výkon, točivý moment, hodinová spotreba, otáčky motora atď.), ktoré sú nezávisle premenné na niektorom parametre. Podľa zvolenej nezávislej premennej môžeme charakteristiky deliť na [11]:

- Otáčkové charakteristiky
  - vonkajšia otáčková charakteristika
  - čiastočná charakteristika
  - zvláštna charakteristika
- Zaťažovacie charakteristiky
- Regulačné charakteristiky
- Úplne charakteristiky
- Zvláštne charakteristiky

#### 3.5.2 EMISNÉ TESTY

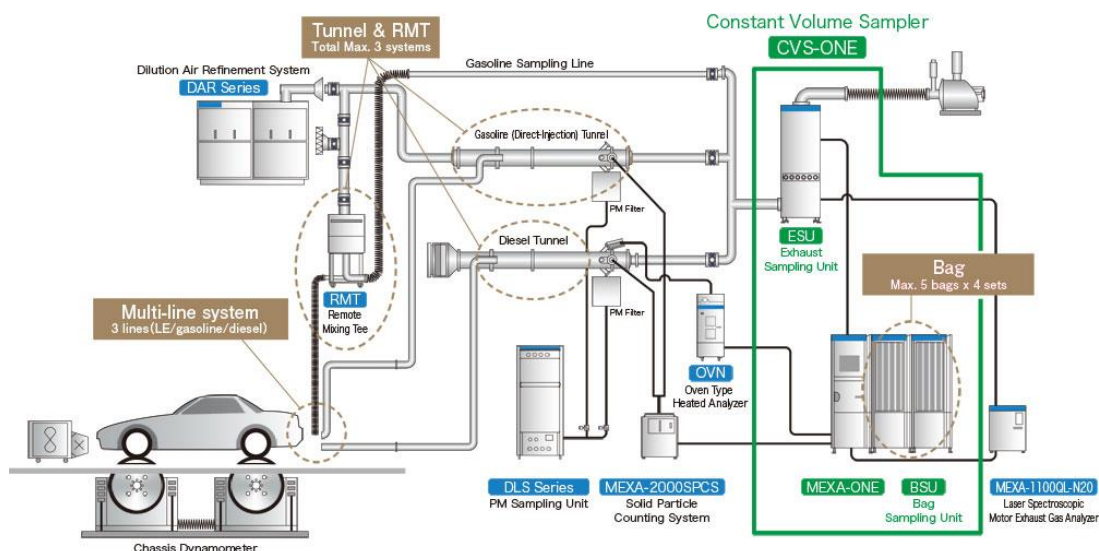
Najväčšie uplatnenie nájdú valcové dynamometre pri meraní emisií výfukových plynov. Pri týchto meraniach musí testované vozidlo absolvovať jazdné cykly. Pri emisných testoch sa aktuálne využíva jazdný cyklus WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure = celosvetovo harmonizovaná testovacia procedúra pre ľahké vozidlá), ktorý nahradil predchádzajúci cyklus NEDC (New European Driving Cycle = nový európsky jazdný cyklus). Na rozdiel od NEDC je nový cyklus realistickejší [16, 39].

Tab. 2 Porovnanie cyklu NEDC a WLTP [39]

Parameter	NEDC	WLTP
Počet testovacích cyklov	1	Max. 4
Dĺžka cyklu	20 min	30 min
Najazdená vzdialenosť pri cykle	11 km	23,25 km
Jazdné fázy	2	4
	66 % mestská + 34 % mimo mestská	52 % mestská + 48 % mimo mestská
Priemerná rýchlosť	34 km/h	46,5 km/h
Maximálna rýchlosť	120 km/h	131 km/h
Radenie prevodov	Fixne	Variabilne
Testovacia teplota	20 – 30°C	23°C

Čína, Japonsko, Rusko, India, Južná Kórea a USA, ktoré podpísali dohodu o WLTP, v súčasnosti daný cyklus nepoužívajú a taktiež nie je známy dátum jeho vstupu do platnosti. Tento jazdný cyklus špecifikuje rýchlosť v daný čas a musí byť absolvovaný pri určitej tolerancii skutočným jazdcom na valcovom dynamometri. Pre splnenie certifikácie je nutné,

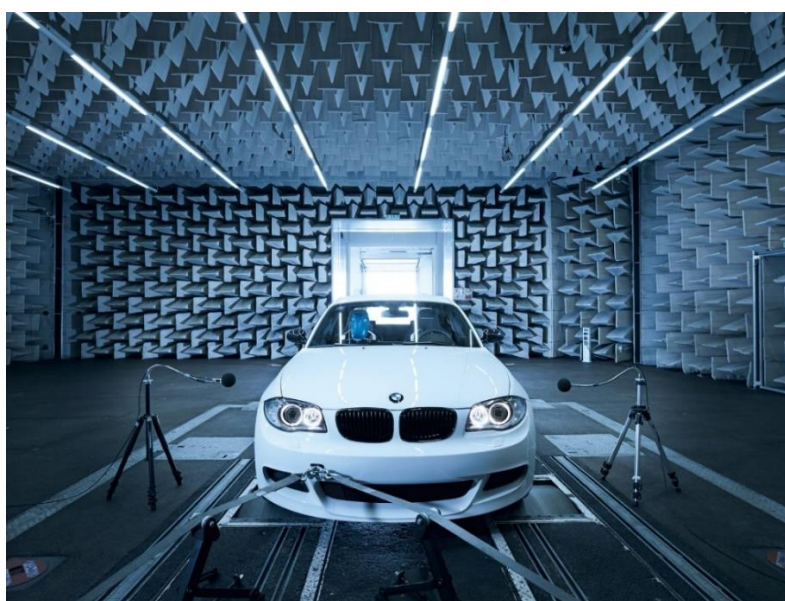
aby testovacie zariadenie spĺňalo všetky zákonné požiadavky, ako napr. systém pre meranie emisií výfukových plynov, prídavný ventilátor a kontrolu teploty v skúšobnej komore. Na obr. 32 je možné vidieť skúšobňu pre emisnú certifikáciu pre EURO 5/6 [16, 39].



Obr. 32 Schéma valcovej skúšobne pre emisnú certifikáciu EURO 5/6 [25]

### 3.5.3 NVH TEST

Hlavnou náplňou testu NVH (Noise, Vibration and Harshness = Hluk, vibrácie a prenikavosť zvuku) je meranie hluku a vibrácií. Základným cieľom je optimalizácia (najmä redukcia) interného a externého hluku, a taktiež optimalizácia vibrácií na a vo vozidle. Test je zameraný na zníženie hodnôt hluku a vibrácií na hnacom ústrojenstve, karosérii vozidla a príslušných komponentoch. Vďaka tomuto testu je možné pozorovať zmenu hodnôt vibrácií a hluku pri rôznych konštrukciách a typoch hnacieho ústrojenstva. Pri stabilných okolitých podmienkach a schopnosti vykonávať veľmi presné simulácie jazdnej záťaže, umožňuje veľmi efektívne riešenie danej problematiky [16].



Obr. 33 Valcová skúšobňa pripravená pre NVH test [26]

Pre tento druh testu sú preferované valcové dynamometre, ktoré majú usporiadané motory do jednej rady s monovalcovým prevedením, pretože je nutné počas meraní odpájať motory od valcov pre dosiahnutie požadovaných hodnôt hluku. S cieľom čo najmenšieho zvukového rušenia sa valcový dynamometer odhlučňuje pomocou zvukovej izolácie [16].

Okrem požiadaviek na zariadenie sa kladú požiadavky aj na testovacie skúšobne. Počas meraní je nutné, aby boli mikrofóny umiestnené na miesta v požadovanej vzdialenosti od vozidla. Skúšobňa môže byť projektovaná tak, aby bolo súčasne možné merať obidve strany vozidla, čo skracuje čas merania, avšak zvyšuje požiadavky na rozmery testovacej miestnosti [16].

### 3.5.4 EMC TEST

Electromagnetic compatibility test môžeme preložiť ako test elektromagnetickej kompatibility vozidla. Tento test sa delí na skúšky pre stanovenie elektromagnetických emisií a skúšky na overenie elektromagnetickej odolnosti vozidiel. Testy odolnosti zahŕňajú tri premenné a to intenzitu, frekvenciu a uhol poľa. Pri EMC testoch sa využíva valcový dynamometer, ktorý je zabudovaný v tzv. točnom stole, ktorý umožňuje variabilné natočenie vozidla vzhľadom k anténam, ktoré sú kvôli svojej veľkosti statické [16].

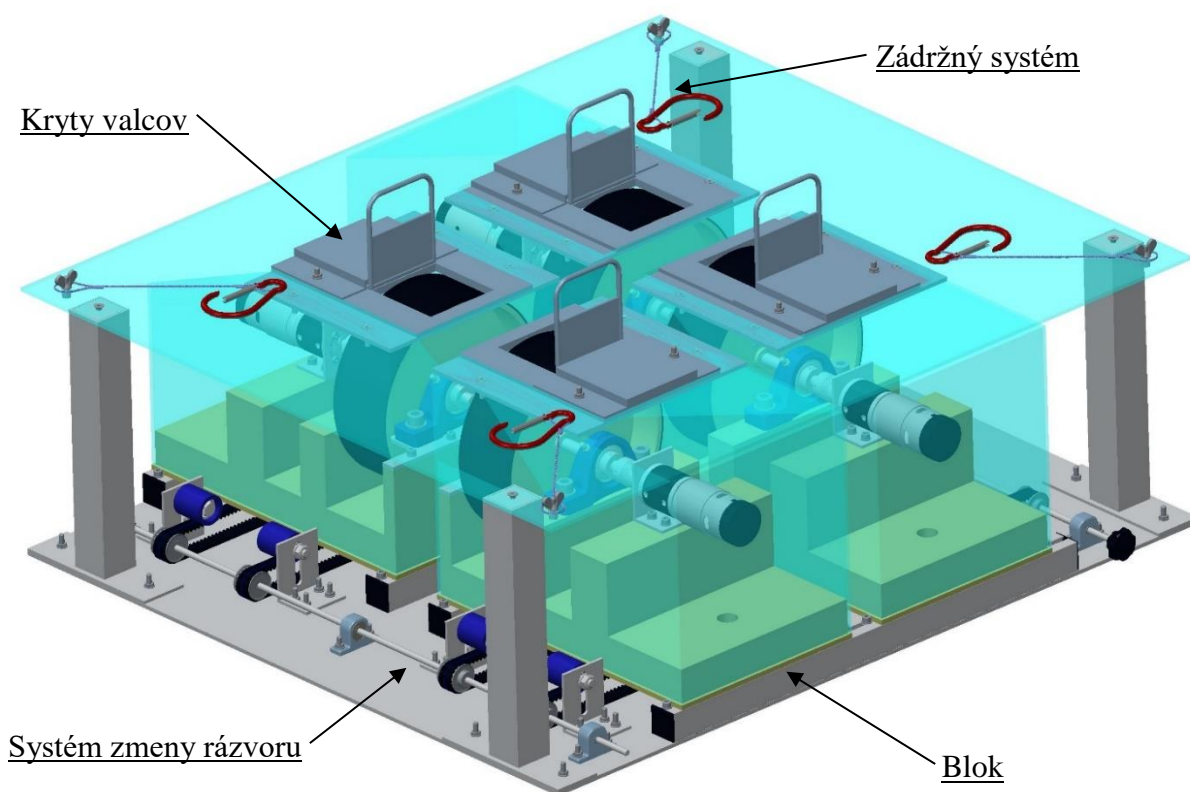


*Obr. 34 Príklad EMC testu (vľavo) a detail otočného valcového dynamometra (vpravo) [16, 27]*

Pre testy EMC sa využívajú valcové dynamometre s usporiadaním 4x4. Zvláštnosťou zariadení pri tomto type testov je zádržný systém, ktorý nesmie byť elektricky vodivý a preto sa najčastejšie používajú nylonové pásy [16].

## 4 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH

V tejto kapitole bude detailnejšie popísaný konštrukčný návrh modelu valcového dynamometra. Ďalej budú rozobrané jednotlivé konštrukčné podzostavy, akými sú bloky, systém zmeny rázvoru, kryty valcov, zádržný systém. Dôvodom výroby zmenšeného modelu je potreba spoločnosti AVL Moravia s.r.o. disponovať funkčným modelom pre prezentačné a výukové účely, nakoľko logistická, časová a finančná náročnosť presunu reálneho zariadenia je príliš vysoká. Celý konštrukčný návrh bol vymodelovaný pomocou softwaru Creo Parametric 2.0. Súčasťou mojej práce nie sú pevnostné analýzy, nakoľko model nie je výrazne zaťažovaný a komponenty sú tým pádom značne predimenzované.



Obr. 35 Finálny konštrukčný návrh

### 4.1 VSTUPNÉ INFORMÁCIE

Prvotnou predstavou firmy AVL Moravia s.r.o. bolo vytvorenie zmenšeného modelu valcového dynamometra v mierke 1:10 z modelu AVL Roadsim NVH 4x4 Light Truck. Ide o monovalcový dynamometer s konfiguráciou 4x4, s motorom uloženým na strane. Cieľom bolo vytvoriť funkčný produkt v spolupráci so študentom Jakubom Číhalom, ktorého cieľom bolo navrhnutie a realizovanie elektronickej časti modelu (systém riadenia a vyhodnocovania dát). Pri návrhu bolo snahou vytvoriť zostavu tak, aby bolo možné čo najviac komponentov zakúpiť, pre zaistenie nižšej ekonomickej a časovej náročnosti výroby, poprípade využiť k výrobe 3D tlač. Základné rozmery vychádzali z reálneho zariadenia (tab. 3, obr. 36).

Tab. 3 Niektoré vstupné rozmery [26]

Parameter	Rozmer [mm]
Priemer valca	1905
Šírka valca	700
Vzdialenosť medzi vonkajšími hranami valcov	2300
Vzdialenosť medzi vnútornými hranami valcov	900

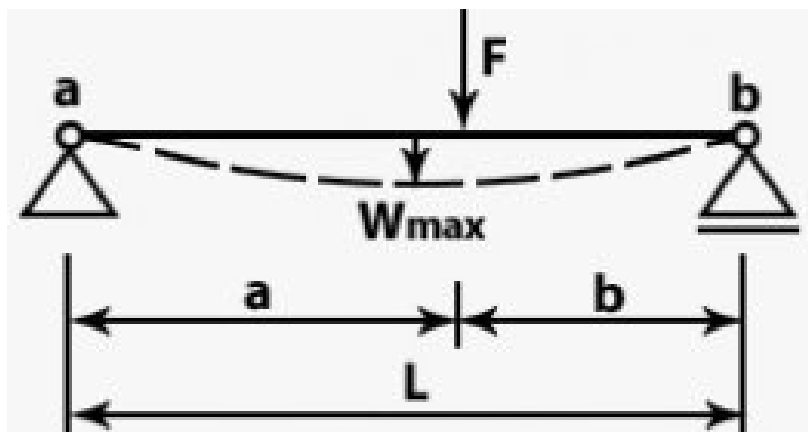


Obr. 36 Rez referenčným dynamometrom spoločnosti AVL [28]

## 4.2 NOSNÁ KONŠTRUKCIA

### 4.2.1 VSTUPNÉ PARAMETRE

Pre určenie rozloženia a počtu podporných stojok bola spočítaná veľkosť priehybu hornej dosky. Výpočet bol zjednodušený metódou náhradných nosníkov.



Obr. 37 Náhradný nosník pre výpočet priehybu [29]

Vstupné hodnoty:

Tab. 4 Vstupné hodnoty pre výpočet ohybu hornej dosky

Parameter	Označenie	Hodnota
Dĺžka nosníku	$l$	0,81 m
Modul pružnosti v ťahu	$E$	3,2 GPa
Sila na doske	$F_D$	21 N
Pôsobisko sily	$a$	0,405 m

Pre výpočet bolo nutné určiť kvadratický moment prierezu [30]:

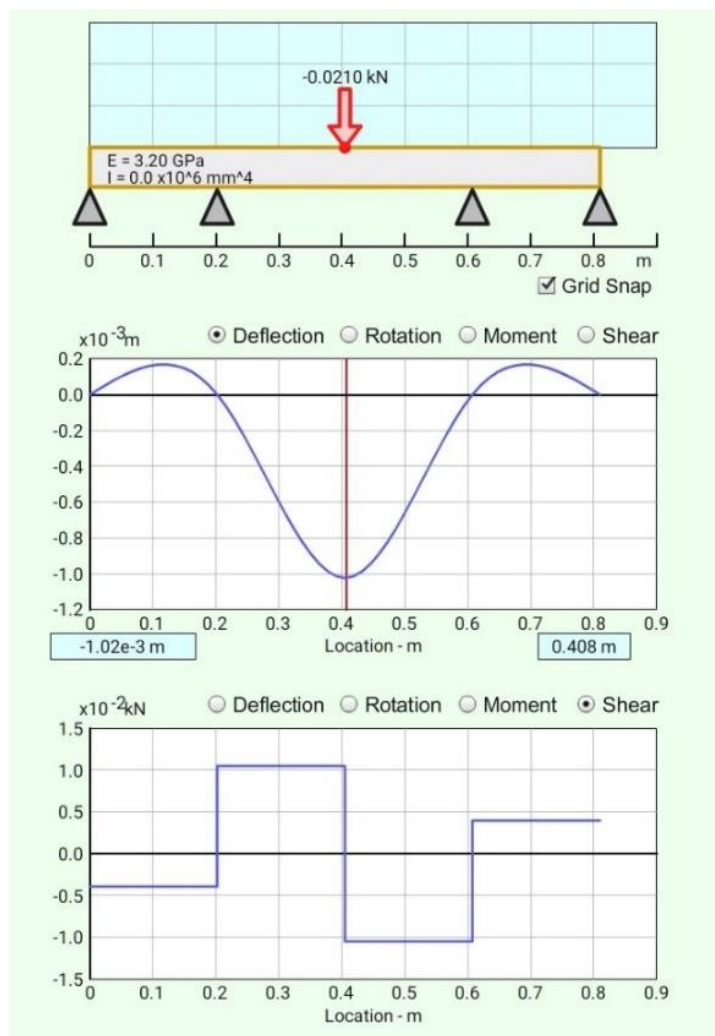
$$J_y = \frac{b_d \cdot h_d^3}{12} = \frac{728 \cdot 4^3}{12} = 3882,667 \text{ mm}^4, \quad (4)$$

kde  $b_d$  [mm] je šírka dosky a  $h_d$  [mm] označuje hrúbku dosky.

Následne boli vstupné hodnoty dosadené do vzorca [45]:

$$W_{max} = \frac{F_D \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J_y} = \frac{0,021 \cdot 810^3}{48 \cdot 3,2 \cdot 3882,667} = 18,71 \text{ mm} \quad (5)$$

Veľký priehyb dosky bol minimalizovaný vďaka krytom valcových jednotiek, ktoré budú popísané v kapitole 4.3.1. Overenie zníženia priehybu bolo vykonané pomocou online kalkulátoru Beam HPC. Výsledok je možné vidieť na obr. 38.



Obr. 38 Výsledok výpočtu priehybu hornej dosky [40]

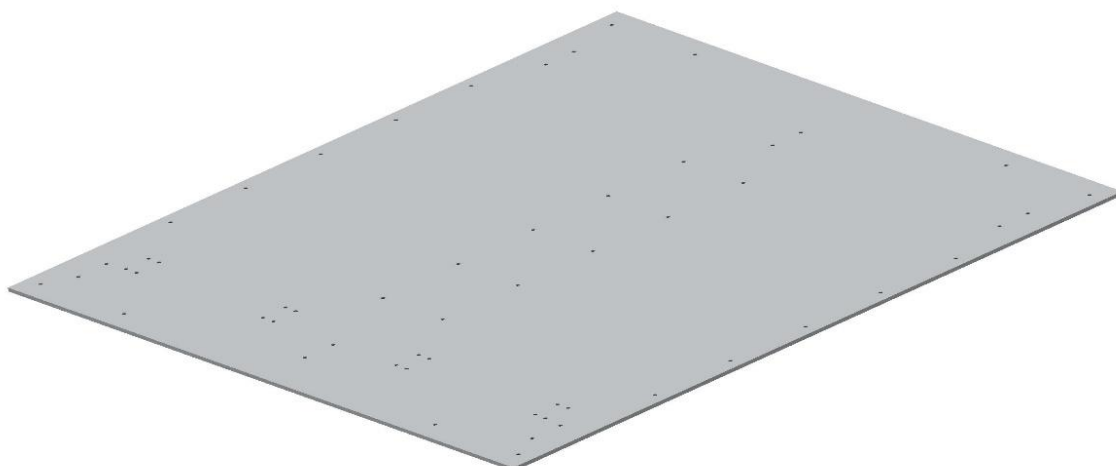
Z výsledkov je možné vidieť, že maximálny priehyb hornej dosky sa znížil na hodnotu 1,02 mm, ktorý výrazne neovplyvňuje pohyb pohyblivých valcových jednotiek.

#### 4.2.2 KOMPONENTY ZÁKLADNEJ KONŠTRUKCIE

##### ZÁKLADNÁ DOSKA

Jedná sa o základný prvok celej zostavy, vyrobený z hliníku o rozmeroch 728 x 810 mm a hrúbke 4 mm. Plocha dosky je pokrytá predvrtanými otvormi pre kotvenie stojok, ložiskových domcov, hliníkových profilov a napínačov pásov, aby sa zaručila čo najjednoduchšia zmontovateľnosť.

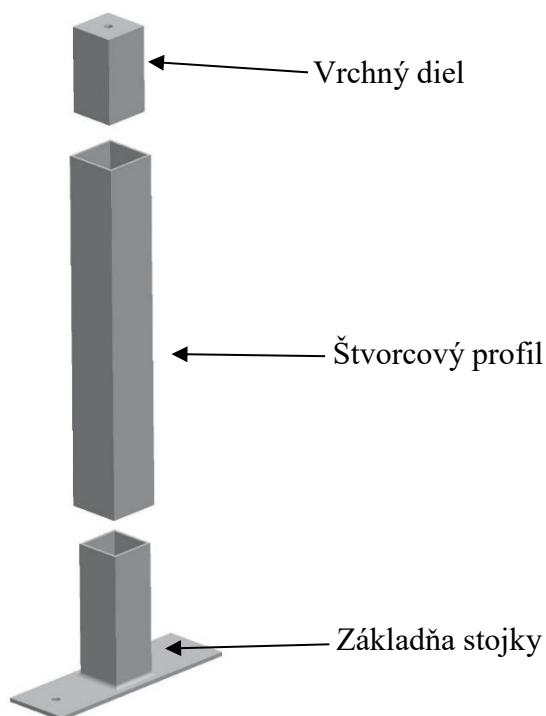




Obr. 39 Základná doska

### STOJKA

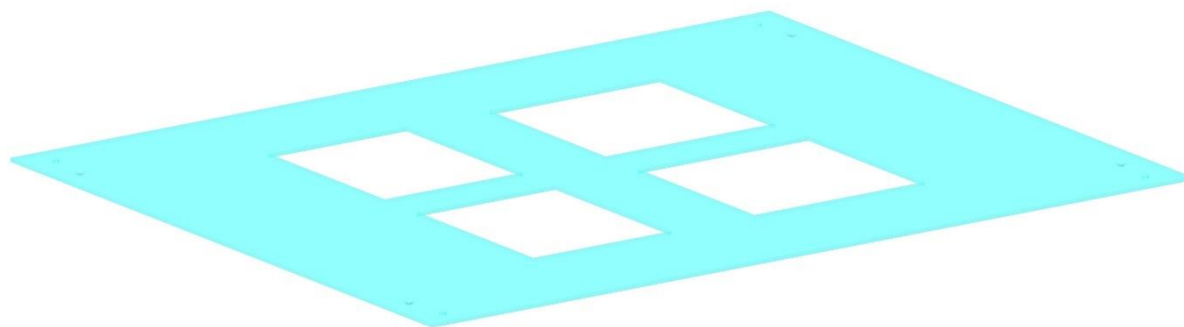
Hmotnosť hornej dosky je rozložená medzi štyri hliníkové stojky. Samotná stojka pozostáva z troch častí. Na základnú dosku modelu je pripevnená základňa stojky o rozmeroch 160x50x103 mm pomocou dvoch skrutiek so zápusťou hlavou DIN 7991 s rozmerom M5x20 mm, podložkou M5 DIN 125A a maticou M5 DIN 439. Stredovým prvkom je hliníkový štvorcový profil 40x40x2 mm o dĺžke 266 mm. Poslednou časťou je vrchný hliníkový diel o rozmeroch 35x35x2 mm a dĺžky 65 mm, ktorý je kotvený k hornej doske dynamometra pomocou jednej skrutky rovnakého typu ako pri kotvení základne stojky. Po zložení je celková výška stojky 270 mm. Jedná sa o nakupovaný komponent, nutné je skrátenie štvorcového profilu na požadovanú veľkosť.



Obr. 40 Stojky v rozloženom stave

## HORNÁ DOSKA

Rozmer hornej dosky vychádzal z rozmerov skutočného dynamometra, ktoré boli zmenšené v mierke 1:10. Pri návrhu bola uvažovaná požiadavka firmy na priehľadnú hornú dosku, aby bolo umožnené nahliadnuť do vnútra modelu. Z tohto dôvodu je horná doska vyrobená z plexiskla s hrúbkou 4 mm. Doska obsahuje predvrtané diery pre kotvenie vrchného dielu stojky a zádržného systému. Ďalšou súčasťou sú otvory pre posuvné dosky, ktorých funkcia bude popísaná v kapitole 4.6.



Obr. 41 Horná doska

## 4.3 VALCOVÁ JEDNOTKA

### 4.3.1 VSTUPNÉ PARAMETRE

Základným prvkom celého modelu je valcová jednotka, v ktorej je situovaný valec a motor. Pre výpočet maximálnych otáčok a krútiaceho momentu som použil vstupné parametre z technickej špecifikácie najvýkonnejšieho z referenčných RC áut, Reely Deathwatcher Evo 2.0 4WD, a výkon motora vychádza zo špecifikácie motora rovnakej série:

Tab. 5 Vstupné parametre pre výpočet max. otáčok a krútiaceho momentu [31, 41]

Parameter	Označenie	Hodnota
Max. rýchlosť	v	35 km/h = 9,72 m/s
Priemer pneumatík	$d_p$	0,063 m
Výkon motora	P	450 W
Priemer navrhovaného valca	$d_v$	0,1905 m

Výpočet otáčok bol vykonaný podľa vzťahu:

$$n_p = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d_p} = \frac{60 \cdot 9,72}{\pi \cdot 0,063} = 2946,64 \text{ min}^{-1} \quad (6)$$

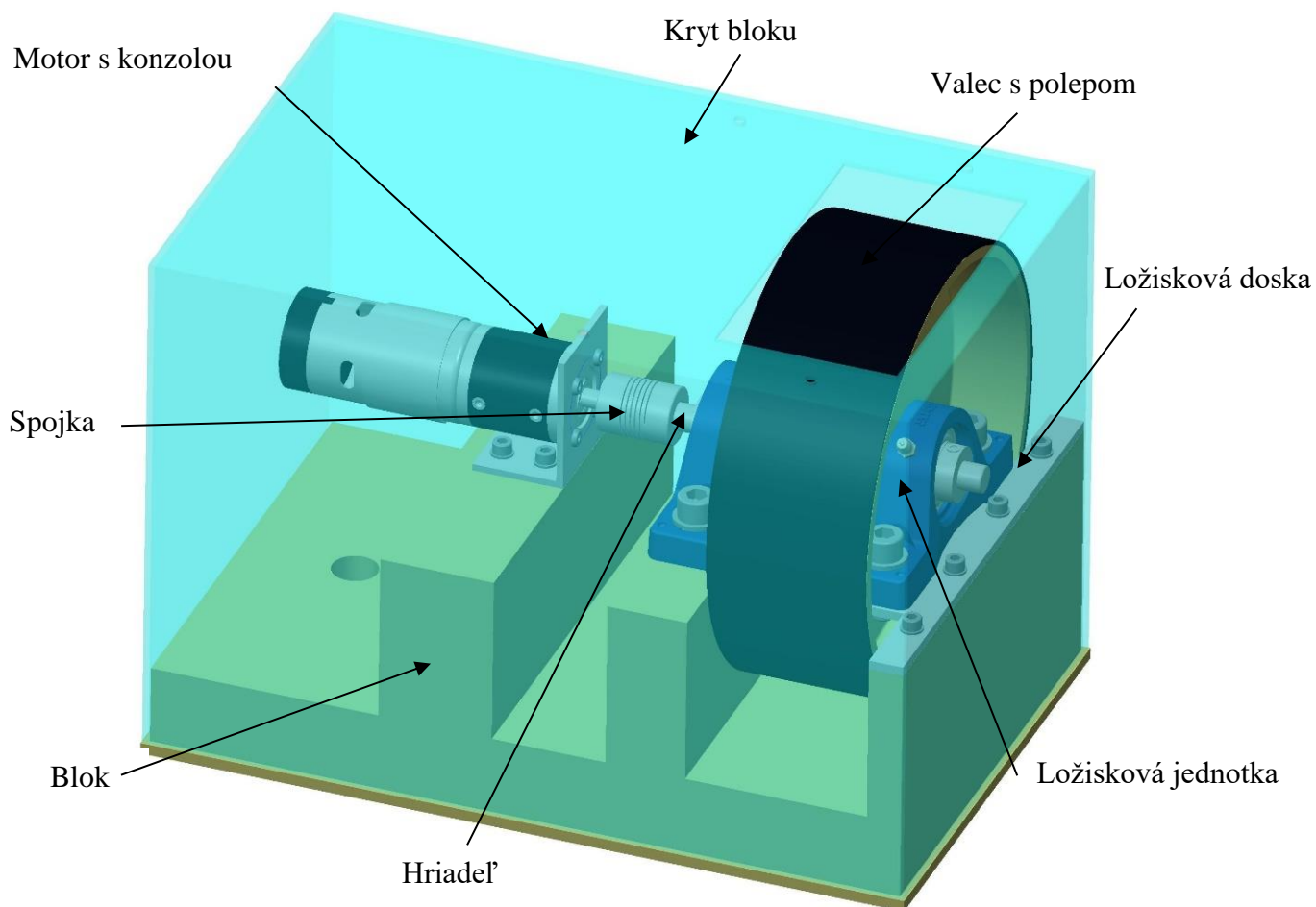
$$n_v = \frac{d_p}{d_v} \cdot n_p = \frac{0,063}{0,1905} \cdot 2946,64 = 974,48 \text{ min}^{-1}, \quad (7)$$

kde  $n_p$  [ $\text{min}^{-1}$ ] sú otáčky pneumatík RC auta a parameter  $n_v$  [ $\text{min}^{-1}$ ] označuje otáčky valca.

Maximálne otáčky valca pre ďalšie výpočty volím  $980 \text{ min}^{-1}$ .

Pri výpočte vychádzam z rozdelenia výkonu motora rovnomerne na každé koleso. Výpočet krútiaceho momentu vychádza zo vzťahu:

$$M_k = \frac{\frac{P}{4} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n_v} = \frac{\frac{450}{4} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 980} = 1,10 \text{ Nm} \quad (8)$$

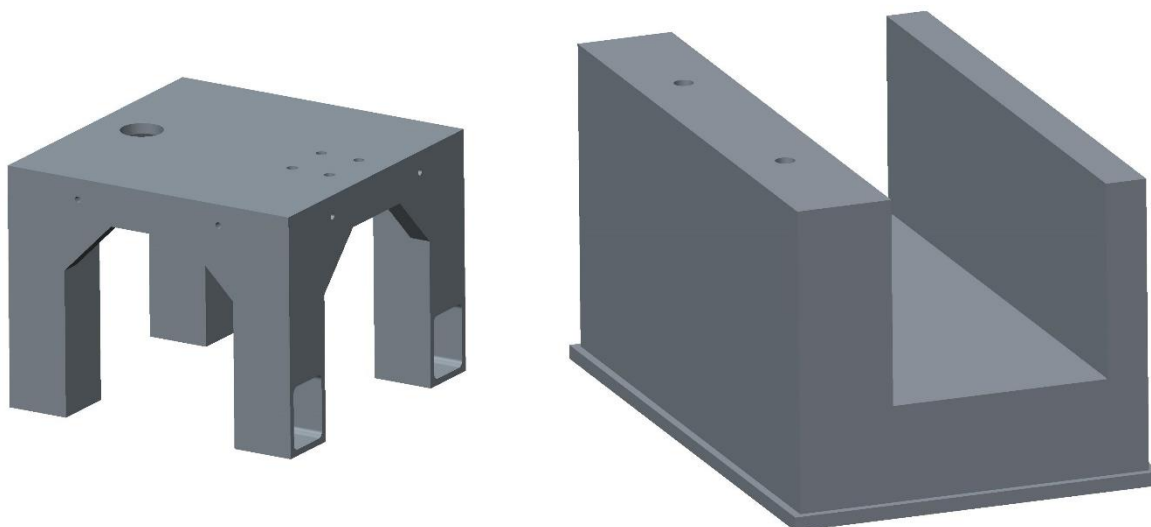


Obr. 42 Valcová jednotka

#### 4.3.2 KOMPONENTY VALCOVEJ JEDNOTKY

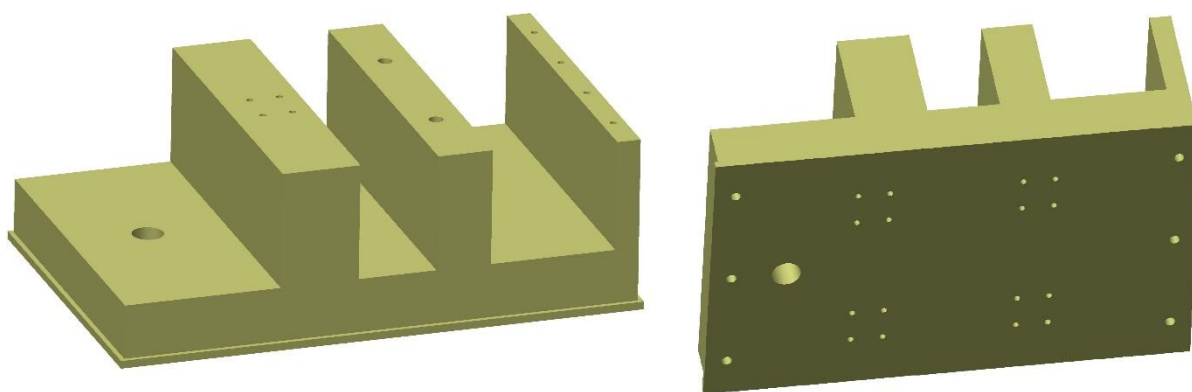
##### BLOK

V pôvodnom návrhu bolo uvažované o rozdelení podstavy na samostatný podstavec valca a podstavec motora. Pôvodný návrh podstáv je možné vidieť na obr. 43.



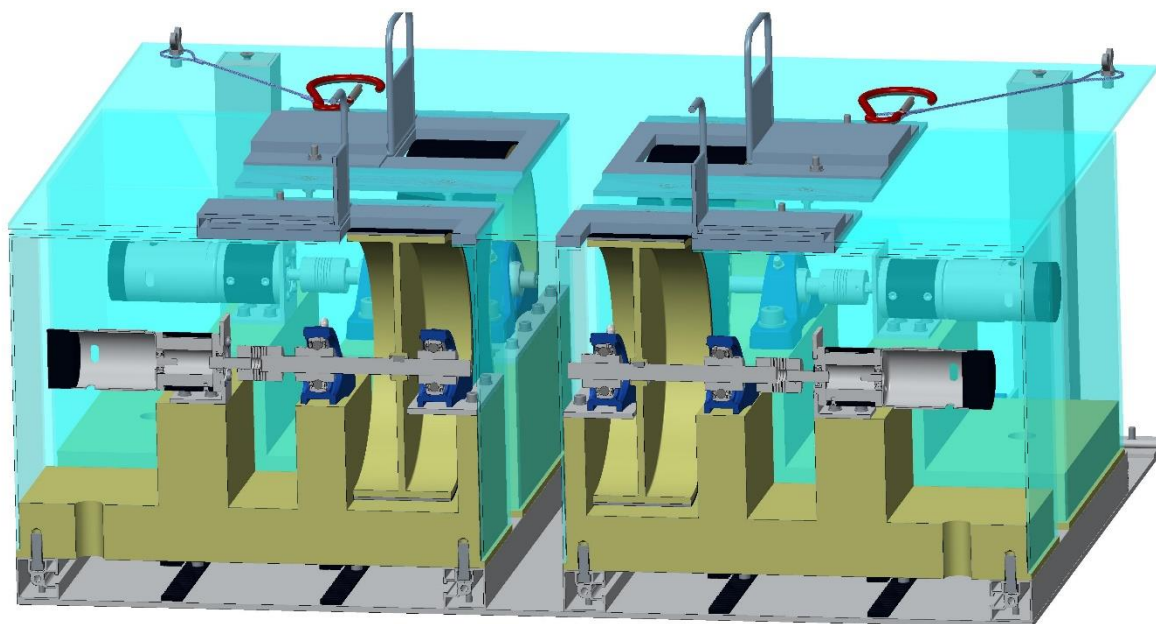
Obr. 43 Pôvodný návrh podstáv: podstava pre motor (vľavo), podstava pre valec (vpravo)

Tento návrh bol upravený z dôvodu väčšej konštrukčnej náročnosti systému zmeny rázvoru a taktiež sa jednalo o komponenty vyrábané pomocou FDM metódy 3D tlače. Cena 3D tlače je uvažovaná 15,00 Kč/cm<sup>3</sup> s DPH (jedná sa o cenu za 3D tlač na ÚADI FSI VUT). Ich výrobná cena bola teda vyčíslená na 134 270,00 Kč s DPH pre celý model (v cene je zahrnutý podporný materiál, avšak nezahŕňa cenu za finálnu úpravu, tzv. post-processing). Z tohto dôvodu sa upravil model do finálnej podoby (obr. 44), kedy je podstava pre motor a valec spojená do jedného bloku. Toto riešenie zabezpečí stálu súososť motora a valca, aj pri zmene rázvoru. Celková hmotnosť jedného bloku je 4,97 kg a jeho rozmery sú 336 x 216 x 115 mm.



Obr. 44 Finálna podoba bloku valcovej jednotky

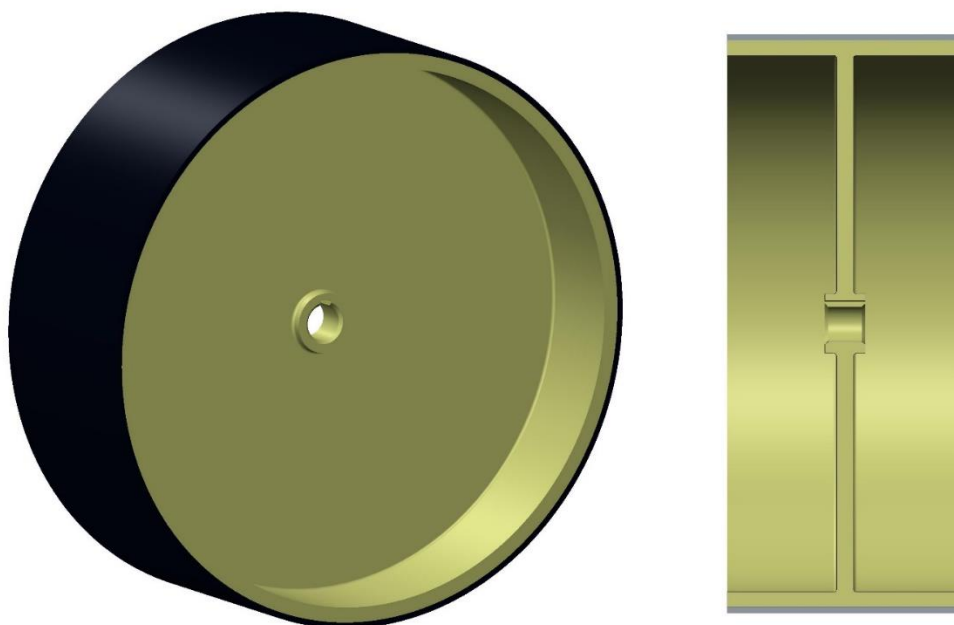
Navrhovaný materiál je PA-6 pre jeho dobrú obrobitel'nosť a nízku nákladovú cenu polotovaru. Na horných plochách sú predvŕtané diery pre kotvenie motorovej konzoly, ložiskovej jednotky a ložiskovej dosky. V zadnej časti bloku je diera pre kabeláž motora. Spodný rozšírený okraj slúži ako dosadacia plocha pre plexisklový kryt. Zo spodnej strany podstavy sú závitové pre ukotvenie upínacej dosky remeňa posuvu (detail kotvenia je na obr. 61) a závitové pre klinové skrutky M8x20 mm, ktoré slúžia ako vodiace čapy v hliníkovom profile (obr. 45).



Obr. 45 Rez finálnej zostavy

## VALEC

Najdôležitejšou súčasťou celého modelu je valec. Pôvodný návrh počítal s výrobou hliníkových valcov. Z dôvodu neekonomickosti výroby z hliníku veľkého priemeru, bol nakoniec zvolený materiál PA-6. Základné rozmery valca vychádzajú z originálneho prevedenia, priemer valca je 190,5 mm, šírka je 70 mm a priemer diery pre hriadeľ je 12 mm. Nakoľko hmotnosť všetkých valcov dynamometra by mala dosiahnuť približnú hmotnosť testovaného auta (hmotnosti referenčných RC modelov sú uvedené v tab. 6), bol valec navrhovaný tak, aby jeho hmotnosť odpovedala 300 – 500 g. Výsledná hmotnosť valca je 380 g. Pre zaistenie lepšej styčnej plochy medzi pneumatikou a valcom je povrch valca polepený samolepiacim sklolaminátovým pásom.



Obr. 46 Valec

Po vyrobení valca a nalepení sklolaminátového pásu odporúčam danú súčiastku staticky vyvážiť, aby nedochádzalo ku kmitaniu valca v zvislej rovine a nedochádzalo k zvýšenému zaťažovaniu ložísk. Vyváženie je možné vykonať tak, že je teleso položené na hladké, vodorovné pravítka, po ktorých valec na hriadelí budeme odvaľovať. V prípade nevyváženosti sa valec natočí vždy najťažšou časťou dolu. V danom mieste odoberieme materiál alebo na protiahlejšej strane pridáme vývažok o určitej hmotnosti. Valec následne pootočíme o 90° a sledujeme, do ktorej strany sa valec pootočí. Ak sa miesto s vývažkom natočí smerom dole, je nutné ubrať z hmotnosti vývažku, ak hore, hmotnosť vývažku nie je dostatočujúca. Celý proces opakujem do doby, kedy sa valec nezastaví v ľubovoľnej polohe [46].

### HRIADEL'

Materiál hriadel'a je nerezová oceľ 1.4301 s priemerom  $d_h = 12$  mm (priemer hriadel'a vychádza z originálu) a dĺžkou 150 mm. Hriadel' je ustavený pomocou poistného krúžku, z každej strany náboja valca, DIN 471 s rozmerom  $\text{Ø}12 \times 1$  mm. Krútiaci moment je prenášaný pomocou pera. Návrh minimálnej dĺžky pera bol stanovený nasledujúco:

Pre daný priemer hriadel'a vyberám podľa tabuľky ČSN 02 2507 pero 12e4 x 4 s rozmermi: šírka pera  $b = 4$  mm, výška pera  $h = 4$  mm, hĺbka drážky v hriadelí  $t_h = 2,4$  mm a hĺbka drážky v náboji  $t_n = 1,6$  mm [32].

Obvodová sila na povrchu hriadel'a [30]:

$$F_{OB} = \frac{2 \cdot M_k}{d_h} = \frac{2 \cdot 1,10}{0,012} = 183,33 \text{ N} \quad (9)$$

Dĺžku pera navrhujem na základe výpočtu na otláčenie z dovoleného tlaku medzi bokom drážky v náboji a perom, pretože mechanické vlastnosti materiálu PA-6 z hľadiska otláčenia sú horšie než pri nerezovej oceli. Z tab. 18-8 nie je možné dohľadať dovolený tlak na bokoch drážok pre PA-6, preto volím najnižší dovolený tlak z tabuľky [30]:

$$p_D = 0,8 \cdot p_0 = 0,8 \cdot 50 = 40 \text{ MPa}, \quad (10)$$

Pre perový spoj musí potom platiť [30]:

$$p_D \geq \frac{F_{OB}}{t_n \cdot (l - b)} \quad (11)$$

Po úprave:

$$l_p \geq \frac{F_{OB}}{p_D \cdot t_n} + b = \frac{183,33}{40 \cdot 1,6} + 4 = 6,86 \text{ mm} \quad (12)$$

Na základe výpočtu volím pero DIN 6885 s rozmerom 4x4x8 mm.

### SPOJKA

Na prepojenie hriadel'a motora a hriadel'a valca bola navrhnutá špirálová spojka WKAS 25320808, ktorá je vhodná na prenos bezvôľového otáčavého pohybu a tlmenie vibrácií. Ďalšou pozitívnou vlastnosťou spojky je schopnosť prenášať krútiaci moment aj pri vyosení hriadel'ov. Spojka je vyrobená z hliníku. Priemer spojky je 25 mm a dĺžka 32 mm. Spojka má predvrtané

diery Ø8 mm, ktoré je možné zväčšiť až do Ø12 mm. Hriadeľ je ustavený pomocou dvojice stavacích skrutiek M4x6 mm, ktoré sú vzájomne natočené o 120°. Technické údaje spojky WKAS z obr. 47 sú uvedené v tab. 6 [33]:

Tab. 6 Technické údaje spojky WKAS 2532

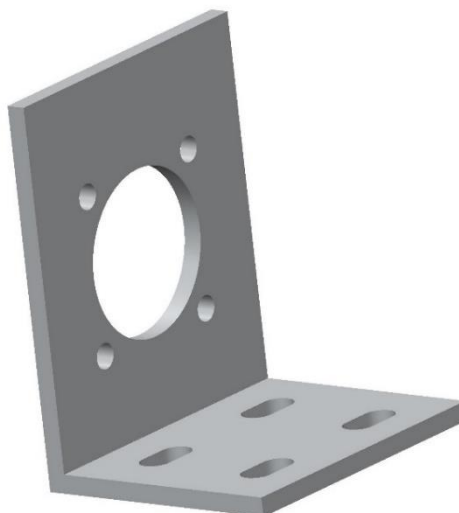
Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Max. krútiaci moment [Ncm]	Max. vyosenie hriadeľov [°]	Tuhosť pružiny v krute [Nm/rad]	Hmotnosť [g]
8000	100	±4	18	35



Obr. 47 Špirálová spojka WKAS [34]

### MOTOROVÁ KONZOLA

Pri návrhu som uvažoval s motorom DC PG 420 s enkóderom. Návrh elektronickej časti nebol súčasťou mojej diplomovej práce. Referenčný motor bol vybraný Jakubom Číhalom v rámci jeho bakalárskej práce. Pre ustavenie motora k bloku je navrhnutá motorová konzola. Z dôvodu zachovania kolmosti je použitý extrudovaný hliníkový L-profil 60 x 40 x 3 – 50 mm. Do polotovaru je následne vŕtaná diera Ø26 mm pre hriadeľ motora, kotviace diery Ø4 mm a na spodnú podstavu štyri polohovacie drážky Ø5 a dĺžky 10 mm. Konzola je kotvená k bloku pomocou skrutiek M5x16 mm DIN 912 a podložiek M5 DIN 125A. Motor je ukotvený pomocou štyroch skrutiek M4x10 mm ISO 7380.



Obr. 48 Motorová konzola

### LOŽISKOVÁ JEDNOTKA

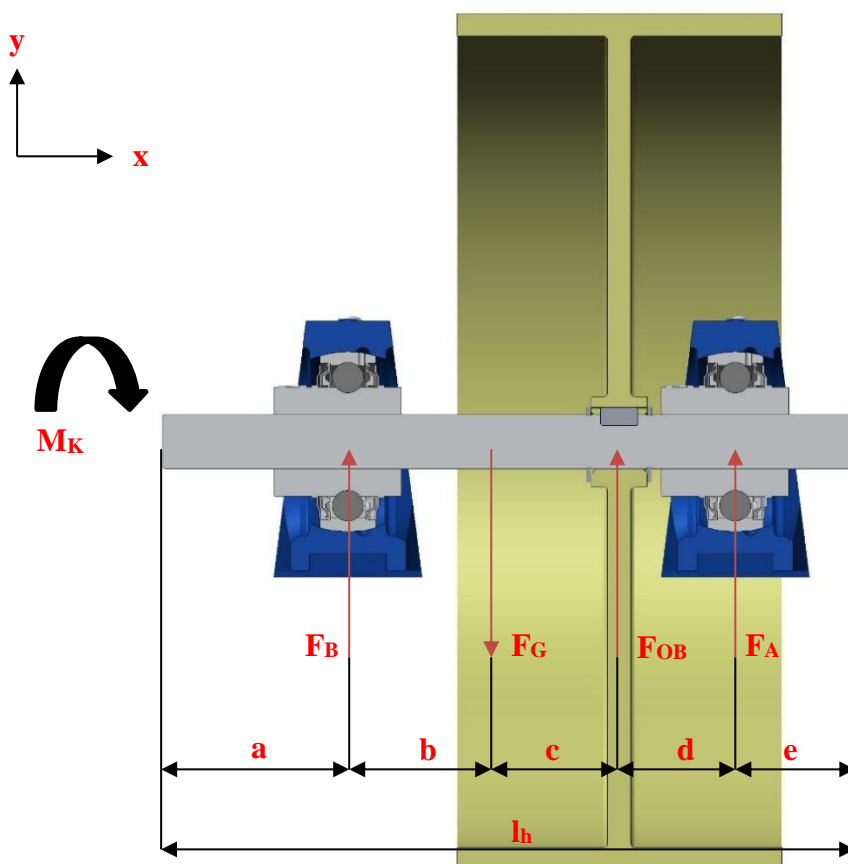
Pre prenos radiálnych síl vznikajúcich v zostave bola navrhnutá liatinová stojatá ložisková jednotka SKF SY 12 TF, ktorej medzné otáčky sú  $9500 \text{ min}^{-1}$  s vnútorným priemerom 12 mm. Ustavenie hriadeľa je zabezpečené pomocou stavacej skrutky M6x0,75 mm. Hmotnosť jednotky je 0,49 kg.



Obr. 49 Ložisková jednotka SKF SY 12 TF [35]

Životnosť navrhovaného ložiska bola spočítaná nasledovne:

Určenie ekvivalentného dynamického zaťaženia na základe uvoľnenia sústavy a určenia výsledných síl pôsobiacich na jednotlivé ložiská. Axiálne sily v sústave uvažujem nulové a pri radiálnych silách uvažujem pôsobenie v polovici šírky ložiska.



Obr. 50 Uvoľnenie sústavy pre výpočet životnosti ložísk



Tab. 7 Vstupné hodnoty pre výpočet životnosti ložísk

Označenie	Hodnota
a	40 mm
b	35 mm
c	23,5 mm
d	25 mm
e	26,5 mm
$l_h$	150 mm
$F_{OB}$	183,33 N
$M_K$	1,1 Nm

Parametre pre výpočet tiažovej sily vychádzajú z modelu v systéme Creo Parametric 2.0. Celková hmotnosť sústavy je 1,4724 kg a poloha ťažiska je 75 mm od ľavej hrany hriadeľa (obr. 50). Výsledná tiažová sila  $F_G = 14,44$  N.

Zo sústavy som následne zostavil silovú a momentovú rovnicu:

$$\sum F_y = 0: F_A + F_{OB} + F_B - F_G = 0 \quad (13)$$

$$\sum M_{Ay} = 0: F_{OB} \cdot d + F_B \cdot (b + c + d) - F_G \cdot (c + d) = 0 \quad (14)$$

Následne po úprave z rovnice 14 dostaneme:

$$F_B = \frac{-F_{OB} \cdot d + F_G \cdot (c + d)}{(b + c + d)} = \frac{-183,33 \cdot 0,025 + 14,44 \cdot 0,0485}{0,0835} = -46,5 \text{ N} \quad (15)$$

Po úprave rovnice 13 a dosadení výsledku z rovnice 15 dostaneme:

$$F_A = -F_{OB} - F_B + F_G = -183,33 + 46,5 + 14,44 = -122,4 \text{ N} \quad (16)$$

Výsledné hodnoty dosadíme do vzorca pre výpočet základnej trvanlivosti radiálneho guľôčkového ložiska v hodinách [42]:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_v}, \quad (17)$$

kde  $C$  [kN] je základná dynamická únosnosť ložiska a  $P$  [N] označuje ekvivalentné dynamické zaťaženie.

Základná dynamická únosnosť ložiska SKF SY 12 TF je  $C = 9,56$  kN [36].

Výsledná základná trvanlivosť ložísk je potom:

Ložisko A

$$L_{10hA} = \left(\frac{C}{F_A}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_v} = \left(\frac{9560}{122,4}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 980} = 8\,103\,116,8 \text{ hod} \quad (18)$$

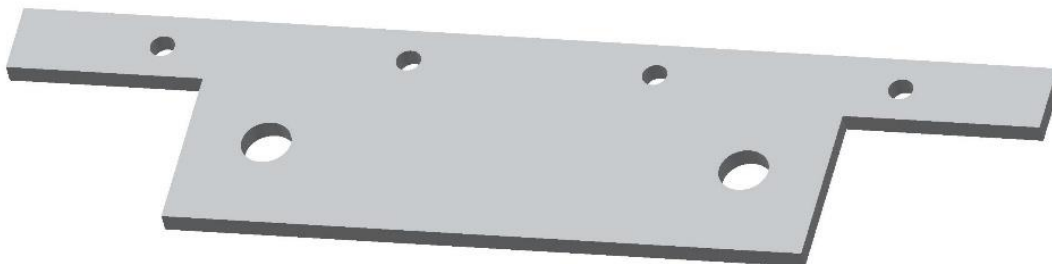
Ložisko B

$$L_{10hB} = \left(\frac{C}{F_B}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_v} = \left(\frac{9560}{46,5}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 980} = 147\,787\,428,4 \text{ hod} \quad (19)$$

Na základe výsledkov základnej trvanlivosti ložísk z rovníc 18 a 19 je možné vidieť, že sa jedná o značne naddimenzované prvky systému.

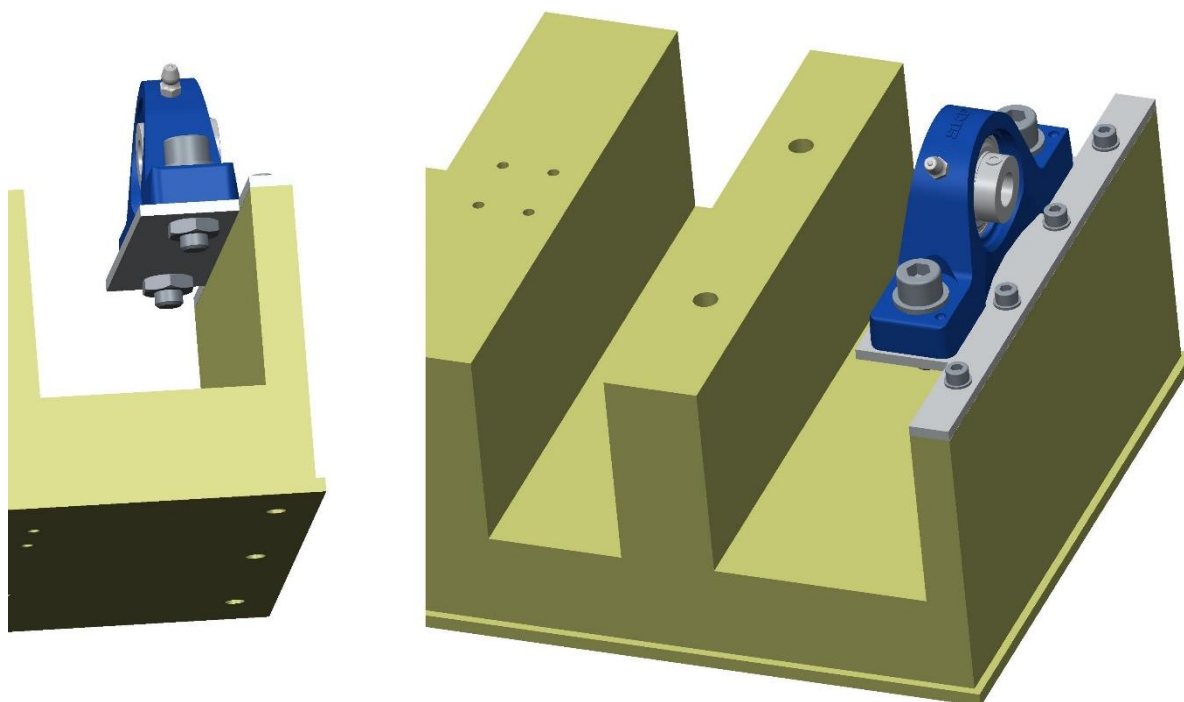
**LOŽISKOVÁ DOSKA**

Pre zachovanie požadovaných rozmerov medzi vnútornými hranami valcov a vytvoreniu tzv. revíznej uličky medzi jednotlivými jednotkami bolo nutné zapustiť jednu ložiskovú jednotku do vnútra valca. Zapustenie je navrhované pomocou ložiskovej dosky z hliníku o hrúbke 4 mm, ktorá bude kotvená k bloku pomocou 4 skrutiek DIN 912 s rozmerom M5x16 mm a podložiek M5 DIN 125A. Ložisková jednotka bude ukotvená na dosku pomocou dvoch skrutiek M10x30 mm DIN 912, podložiek M10 DIN 125A a matky M10 DIN 439.



Obr. 51 Ložisková doska

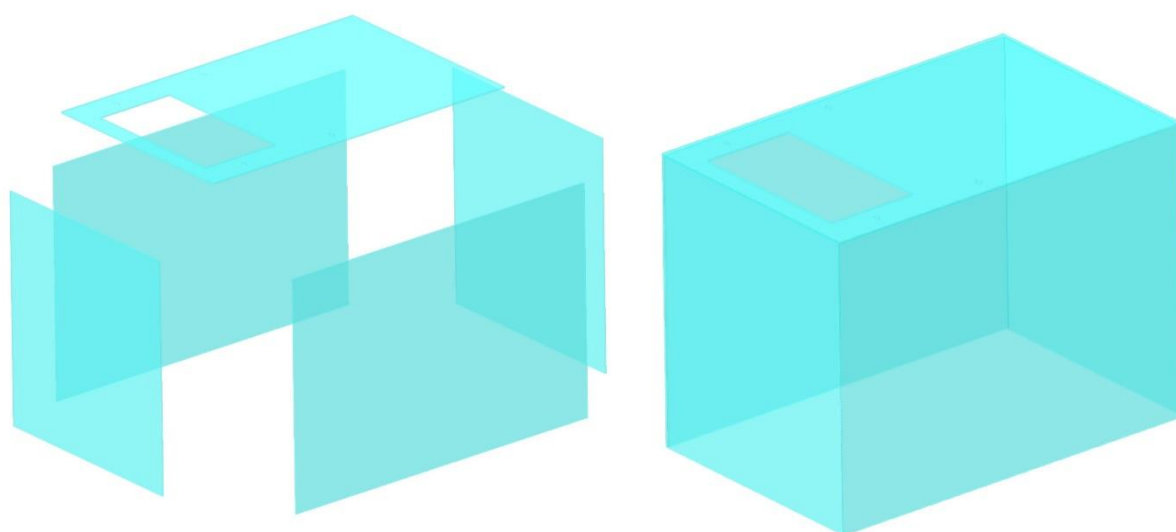
Detail kotvenia ložiskovej jednotky k bloku je možné vidieť na obr. 52.



Obr. 52 Detail kotvenia ložiskovej jednotky

### KRYT BLOKU

Požiadavkou firmy AVL Moravia bolo okrem priehľadnej hornej dosky aj priehľadnosť zakrytovania valcových jednotiek. Materiálom je preto plexisklo hrúbky 2 mm. Vonkajší rozmer krytu je 335 x 215 x 230 mm. Kryt je zložený z piatich plexisklových dosiek, ktoré sú následné lepené (obr. 49). Vrchná doska obsahuje štyri diery  $\text{Ø}5$  mm pre kotvenie bezpečnostného krytu valca (vysvetlené v kapitole 4.6) a otvor pre valec s rozmerom 80 x 150 mm.



Obr. 53 Kryt bloku

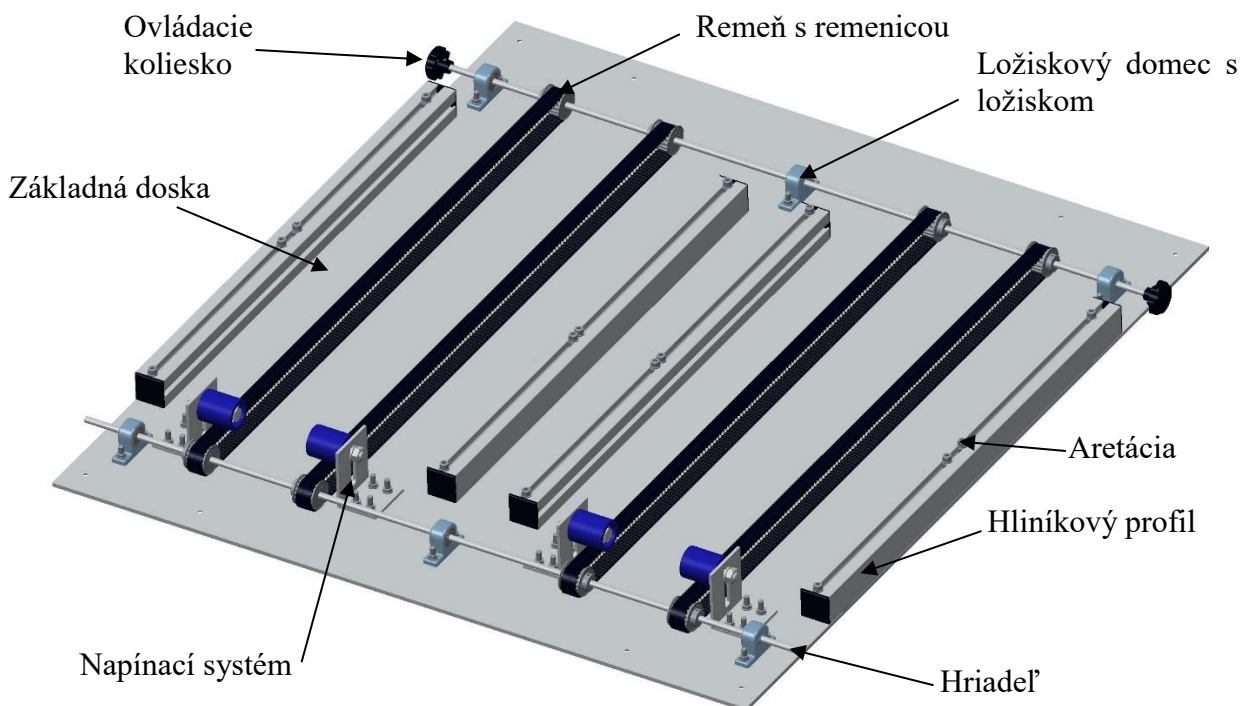
#### 4.4 SYSTÉM ZMENY RÁZVORU

Už od začiatku návrhu bolo počítané s univerzálnosťou použitia. Model bude využívaný k prezentačným účelom pre meranie RC modelov áut v mierke 1:10. Ako referenčné modely boli uvažované nasledujúce:

Tab. 8 Vybrané parametre referenčných modelov RC áut mierky 1:10 [31, 37]

Model	Rázvor [mm]	Šírka [mm]	Dĺžka [mm]	Hmotnosť [g]
Reely Deathwatcher Evo 2.0 4WD	260	195	440	1275
Tamiya Mercedes-Benz 190E 4WD	257	184	445	1764
Reely Tourenwagen Audi RS5 4WD	260	195	440	1150
TA-02 SW Porsche 911 GT2 Racing 4WD	236	200	445	1855
Subaru Impreza Mexico 2004 TT-01E 4WD	257	195	441	1804

Kvôli rozdielnemu rázvoru jednotlivých modelov bolo nutné uvažovať o systéme, ktorý by umožňoval variabilné nastavenie osovej vzdialenosti medzi valcami prednej a zadnej nápravy. Pre tieto účely bol navrhnutý systém, ktorý zabezpečuje lineárny posuv súčasne oboch blokov nápravy.



Obr. 54 Pohľad na navrhnutý systém zmeny rázvoru

#### 4.4.1 KOMPONENTY SYSTÉMU ZMENY RÁZVORU

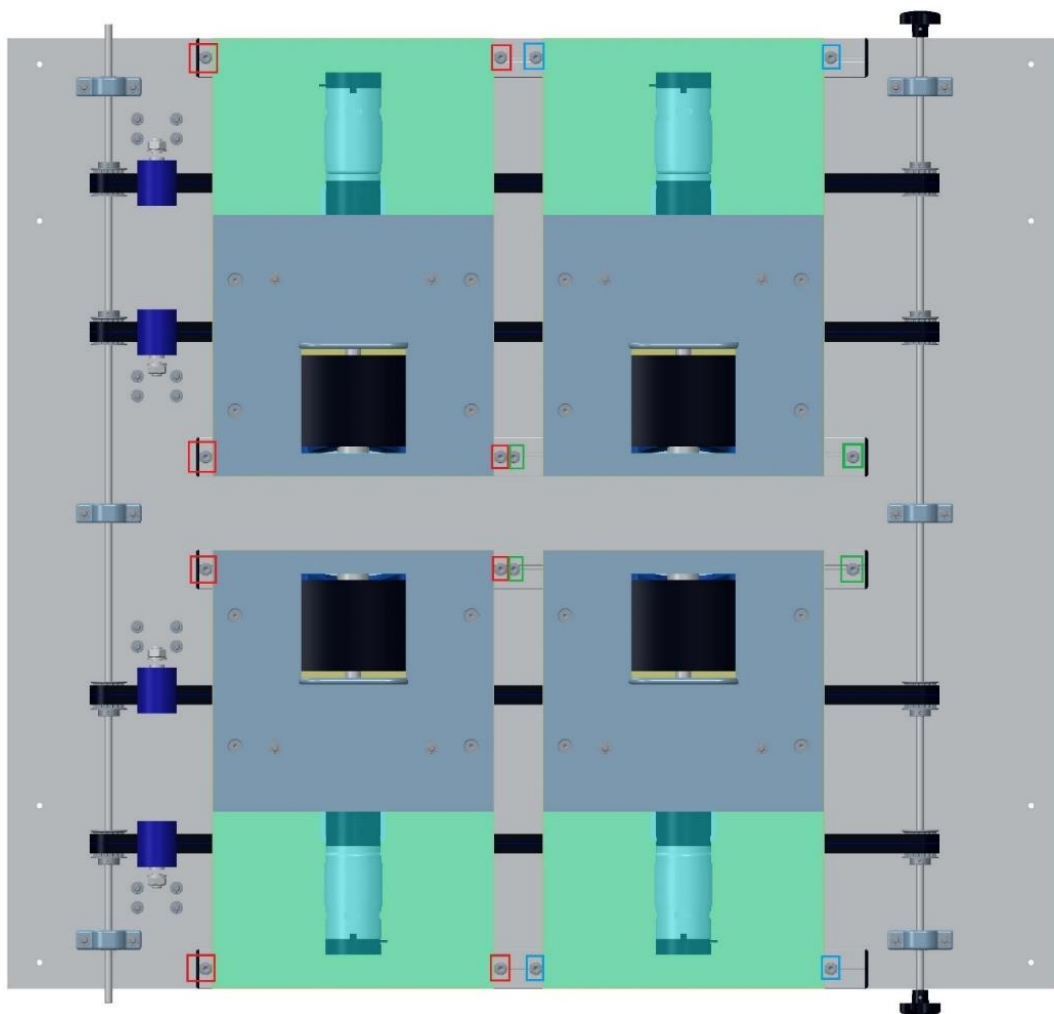
##### HLINÍKOVÝ PROFIL S ARETÁCIOU

Hliníkové profily v tomto prípade slúžia ako vodiace profily pre bloky, ktoré majú zabezpečiť rovinnosť pohybu, pri zachovaní súososti nápravy. Navrhovaný je hliníkový profil série 30 s drážkou 6 mm, dĺžkou 510 mm. Konce budú opatrené profilovou záslepkou.



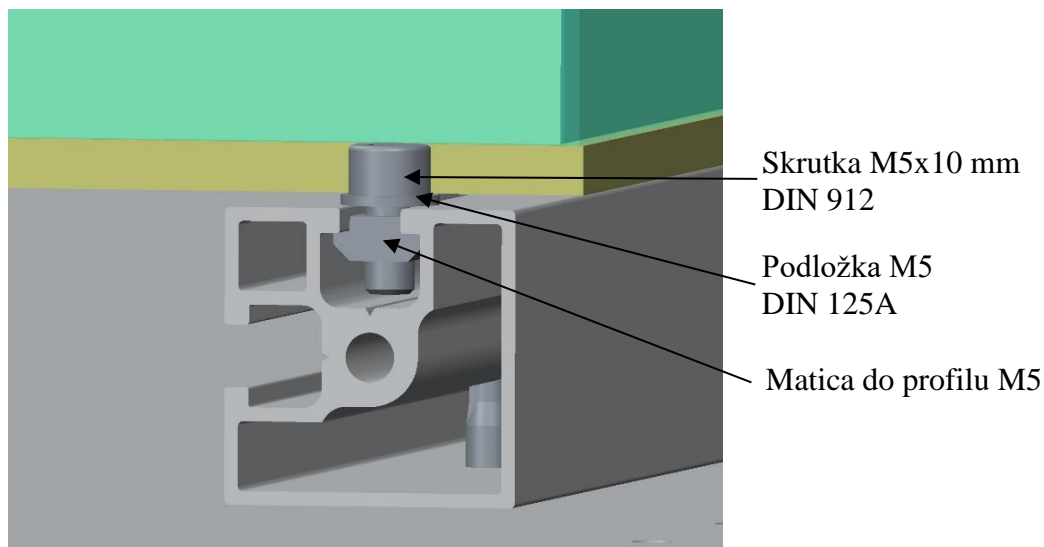
*Obr. 55 Hliníkový profil série 30, drážka 6 mm [44]*

Zo spodnej strany sú predvrtané diery  $\text{Ø}3$  mm, ktoré sú vedením pre samozávrtné skrutky TEX DIN 7504 s rozmerom  $\text{Ø}4,8 \times 16$  mm, ktorými budú kotvené k základnej doske. Bočnými drážkami je možné viesť kabeláž od motora a horná drážka je určená pre vedenie bloku a jeho aretáciu. Vedenie bloku je navrhované klinovými skrutkami M8x20 mm, ako už bolo spomínané v kapitole 4.3.1.



Obr. 56 Spôsob aretácie blokov

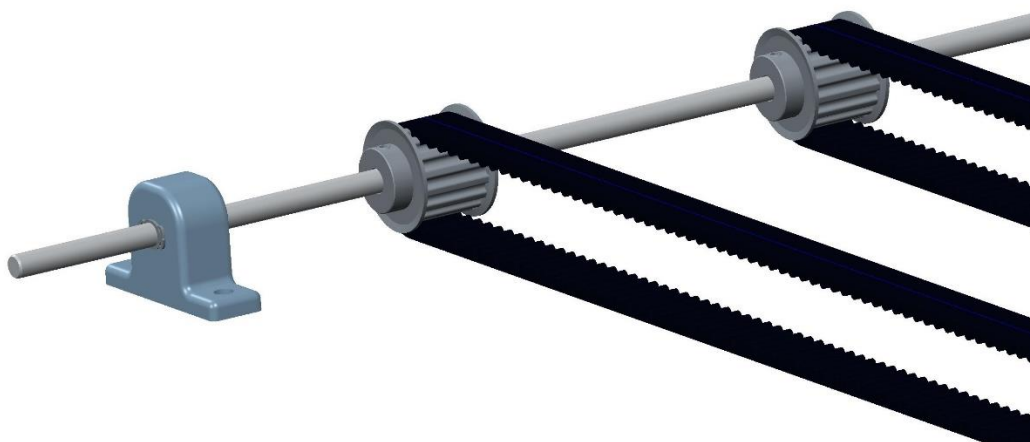
Na obr. 56 je schematicky zaznačený spôsob aretácie jednotlivých blokov, kvôli zamedzeniu ich posuvu. Aretácie označené červeným štvorčekom sú tie, ktoré trvalo fixujú nepohyblivú dvojicu valcov. Zelene označené zarážky vyznačujú nepohyblivé koncové polohy, ktoré vymedzujú dráhu posuvu bloku. Jedinou pohyblivou aretáciou sú modro označené prvky, ktoré je nutné pred každým posuvom povoliť a po ustavení do potrebnej polohy znovu utiahnuť. Každá aretácia pozostáva z matice do hliníkového profilu M5, skrutky DIN 912 s rozmerom M5x10 mm a podložkou M5 podľa normy DIN 125A (detail na obr. 57).



Obr. 57 Detail aretácie

### REMEŇ A REMENICE

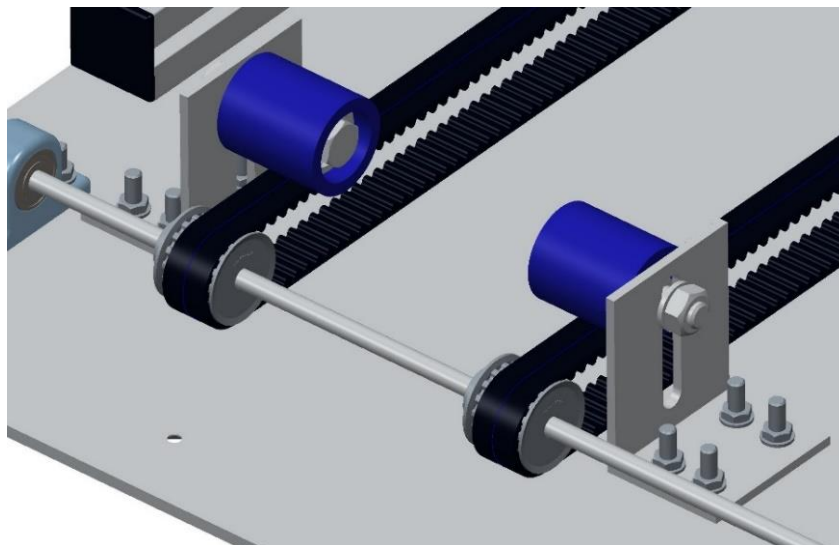
Samotný posun zabezpečujú štyri nekonečné neoprénové ozubené remene HTD 5M 15 s dĺžkou 1420 mm, ktorých rotáciu zaisťujú vždy dve oceľové remenice 16-5M-15 pre každý remeň. Remenice sú kupované s predvrtanou dierou priemeru 6 mm.



Obr. 58 Detail remeňa s remenicou

### NAPÍNACIE VALČEKY

S cieľom jednoduchšej montáže sú súčasťou základnej dosky predvrtané diery pre kotvenie ložiskových domcov (tým pádom aj celého systému). Pre zabránenie nepresnosti výrobných dĺžok remeňa, jeho starnutiu a iným vplyvom bolo nutné navrhnúť spôsob, akým dopnúť remene na potrebné predpätie. Pre tento účel je použitý pritlačný valček typ R11, ktorý je umiestnený v zvislej drážke extrudovaného hliníkového L-profilu, ukotvený pomocou skrutky a podložky M8. Osová výška napínacieho valčeka je voľne nastaviteľná v rozmedzí 15 – 50 mm od základnej dosky. Priemer valčeka je 30 mm, dĺžka 35 mm. Napínací systém je priskrutkovaný k základnej doske štyrmi skrutkami DIN 7991 rozmeru M5x20 mm a zaistené podložkou M5 DIN 125A a maticou M5 DIN 439.

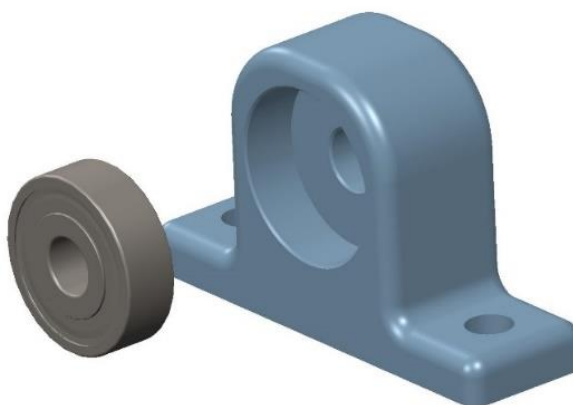


*Obr. 59 Detail napínacieho systému*

### LOŽISKOVÝ DOMEČ

Z dôvodu malých zástavbových rozmerov nie je možné použiť žiadne z dostupných ložiskových domcov, preto bol navrhnutý atypický domec, vyrobený pomocou 3D tlače metódou FDM (=Fused Deposition Modeling). Táto metóda využíva plastový filament, ktorý je tavený v tavnej hlavici a nanášaný vo vrstvách na podložku, kde následne chladne.

Materiál bol zvolený ABS plast, ktorý je pri danej metóde štandardne využívaný vďaka svojej vysokej odolnosti oproti plasty PLA. Do domca sa následne zalisuje ložisko SKF 626-2Z s vnútorným priemerom 6 mm. Životnosť navrhovaného ložiska nie je spočítaná z dôvodu, že ložisko je namáhané prevažnú dobu staticky a jeho zaťaženie je minimálne.



*Obr. 60 Ložiskový domec s ložiskom*

### HRIADEL'

Materiálom pre dve hriadele posuvného systému je nerezová oceľ 1.4301 s priemerom 6 mm a dĺžkou 750 mm. Na každú hriadeľ sú nasadené tri ložiská v domcoch, ktoré sú zaistené na dvoch miestach pomocou poistného krúžku (jeden poistný krúžok pre každý krajný domec) DIN 471 s rozmerom 6x0,7 mm a 4 remenice, ktoré sú fixované pomocou nastavovacej skrutky DIN 914 o rozmere M4x6 mm (viz. obr. 54).

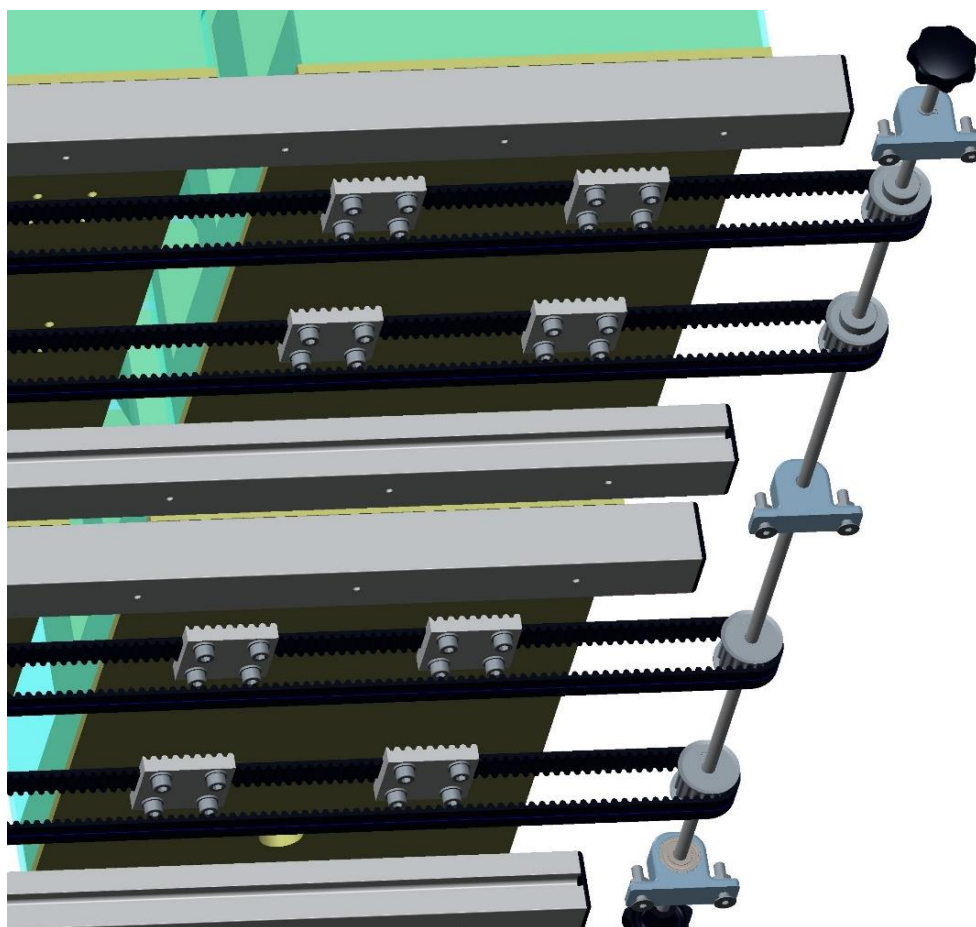


### OVLÁDACIE KOLIESKO

Ovládacie koliesko je vyrobené ako zliatinový odliatok. Navrhované sú dve kolieska DIN 6336-GG-32-B6-C, ktoré sú na hriadeli ustavené pomocou nastavovacej skrutky DIN 914 s rozmerom M2,5x4 mm. Ide o dočasné riešenie, uvažované je aj s nahradením koliesok spojku a elektromotorom.

### UPÍNACIA REMEŇOVÁ DOSKA

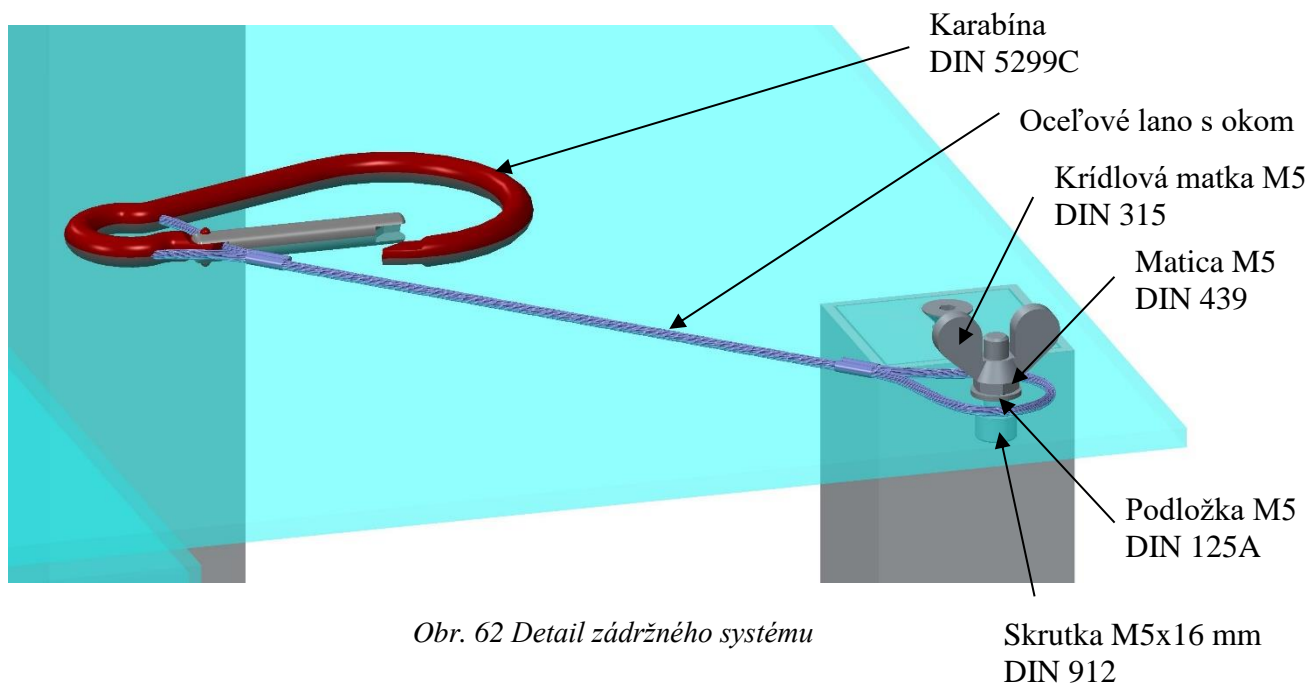
Prepojenie medzi remeňom a pohyblivým blokom zaisťuje hliníková upínacia remeňová doska, ktorá je priskrutkovaná k podstavcu bloku pomocou skrutky DIN 912 M5x16 mm, na ktorý je nasadená podložka M5 DIN 125A. Na každý blok prislúchajú 4 upínacie dosky na remeň HTD 5M 15. Detail kotvenia je možné vidieť na obr. 61.



Obr. 61 Detail spojenia bloku a remeňa

## 4.5 ZÁDRŽNÝ SYSTÉM

Zádržný systém bol navrhnutý s ohľadom na možnosti kotvenia RC áut. Konštrukčne najjednoduchším spôsobom kotvenia vozidla 4x4 je pomocou pásov alebo reťazí, ktoré sú pripevnené buď na stĺpik alebo kotviaci bod (detailnejšie popísané v kapitole 3.2.4). Kotviacim stĺpikom je skrutka DIN 912 M5x16 mm, s podložkou M5 DIN 125A a maticou M5 DIN 439. Aretácia lanka je navrhnutá omotaním jednej otáčky okolo kotviaceho stĺpiku a dotiahnutím krídlovou matkou M5 DIN 315.



Obr. 62 Detail zádržného systému

#### 4.5.1 KOMPONENTY ZÁDRŽNÉHO SYSTÉMU

##### LANO

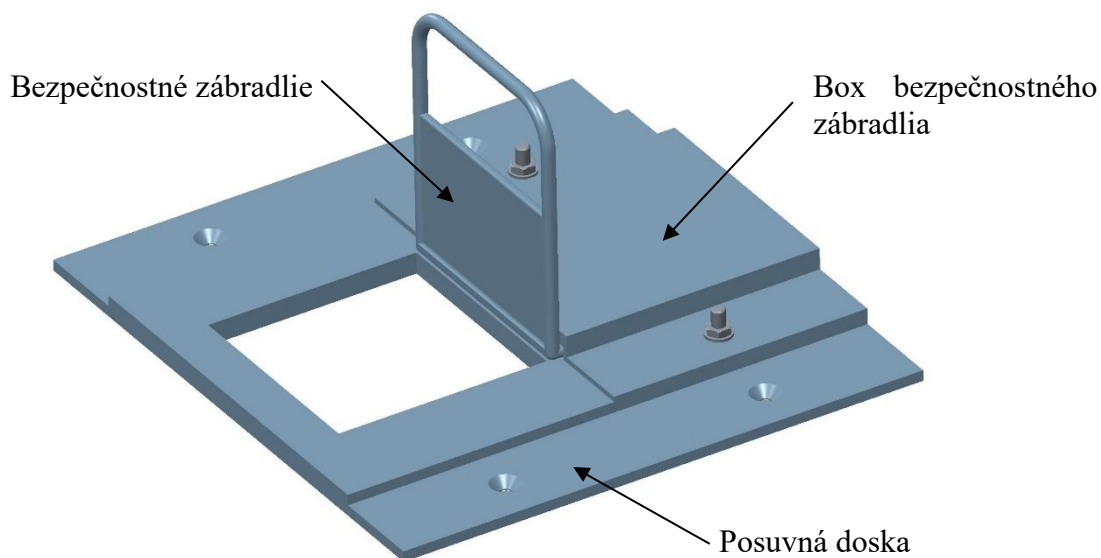
Kvôli malým rozmerom nebolo možné použiť ani pás, ani reťaz. Navrhnuté je preto viazacie oceľové lano s okom priemeru 2 mm, dĺžky 50 cm, ku ktorému bude pripevnená karabína.

##### KARABÍNA

Na ukotvenie lana k autíčku je navrhnutá nerezová karabína DIN 5299C s dĺžkou 40 mm a priemerom 4 mm.

#### 4.6 BEZPEČNOSTNÝ KRYT VALCA

Pre zvýšenie bezpečnosti obsluhy je každý valec opatrený výsuvným krytom valca. Hlavnou úlohou je prekryť vzniknutú medzeru medzi kolesom a vonkajšou hranou valca, a zamedziť tak možnosti pádu do priestoru rotujúceho valca. Kryty sú využívané aj pre prevenciu poškodenia povrchu valca v prípade, kedy nie je na dynamometri testované žiadne vozidlo.



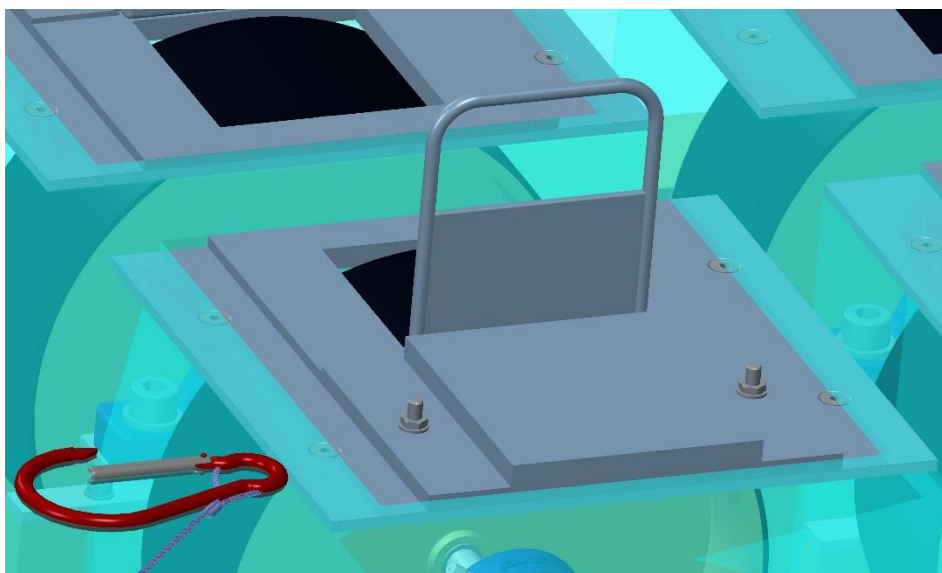
Obr. 63 Bezpečnostný kryt

#### 4.6.1 KOMPONENTY BEZPEČNOSTNÉHO KRYTU VALCA

Všetky komponenty, ktoré boli navrhované uvažujú s výrobou pomocou FDM metódy 3D tlače.

##### POSUVNÁ DOSKA

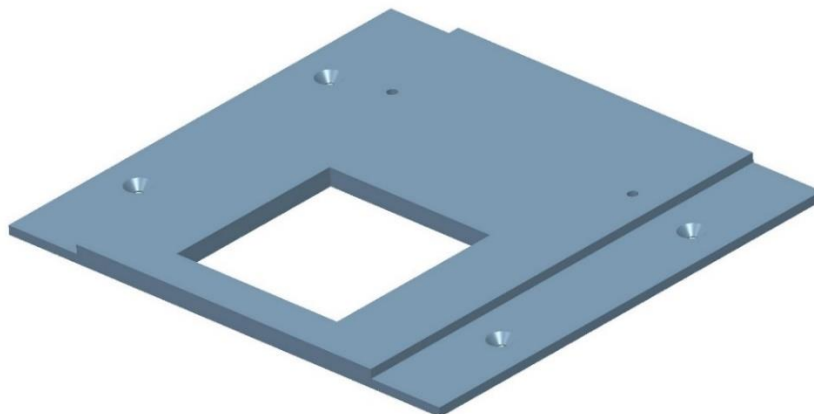
Súčasťou krytu je posuvná doska, ktorá je využívaná pri zmene rázvoru tak, že pri posuve valcovej jednotky vymedzuje vznikajúcu medzeru v hornej doske (obr. 64).



Obr. 64 Detail uloženia posuvnej dosky s cieľom zamedziť vzniku diery v hornej doske

Posuvná doska je kotvená ku krytu valcovej jednotky pomocou zápusťných skrutiek DIN 7991 s rozmerom M5x20 mm, podložkou M5 DIN 125A a maticou M5 DIN 439. Posuvná doska

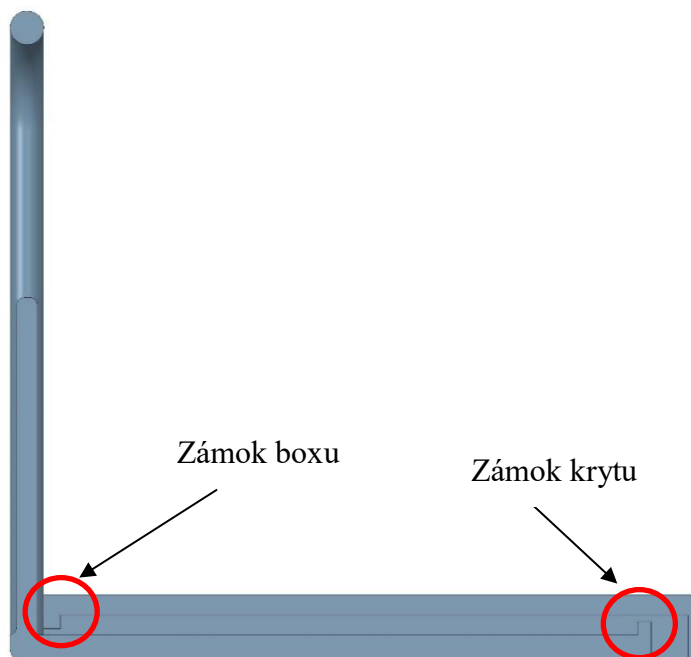
slúži ako základňa pre bezpečnostný box a zábradlie. Súčasťou dosky je otvor pre valec s rozmerom 80 x 80 mm.



Obr. 65 Posuvná doska

#### BEZPEČNOSTNÉ ZÁBRADLIE A BOX

Zábradlie je funkčným prvkom systému, ktorého súčasťou je výsuvný kryt. Aby nedošlo k vypadávaniu krytu z boxu, tak sú obidva diely opatrené tvarovým zámkom (obr. 66).



Obr. 66 Detail na spôsob uloženia krytu v boxe

Kryt je možné nastavovať manuálne v rozmedzí 0 – 85 mm čo zabezpečuje prekrytie celého otvoru valca. Box je priskrutkovaný k posuvnej doske pomocou dvoch skrutiek DIN 7991 s rozmerom M5x20 mm, podložkou M5 DIN125 a matkou M5 DIN 439.

## 5 EKONOMICKÝ ODHAD VÝROBY

V nasledujúcej časti budem popisovať ekonomickú náročnosť výroby pre navrhnutý model. V kapitole budú rozpísané ceny polotovarov, nakupovaných komponentov, spojovacieho materiálu, taktiež ceny obrábania a cena za komponenty vyrábané pomocou 3D tlače. Cena 3D tlače zahŕňa potrebný podporný materiál, avšak nezahŕňa cenu za post-processing.

### 5.1 CENA POLOTOVAROV

Cena za polotovary je získaná zo stránok výrobcov [47, 48, 49, 50].

Tab. 9 Cena nakupovaných polotovarov

Polotovar	Materiál	Rozmer [mm]	Počet [ks]	Cena/ks [Kč]	Cena celkom [Kč]
Tyč kruhová	DIN 1.4301	Ø12 – 150	1	140,50	140,50
Tyč kruhová	DIN 1.4301	Ø6 – 750	1	76,80	76,80
Doska	hliník	728 x 810 x 4	1	1 940,00	1 940,00
Doska	plexisklo	1520 x 1020 x 2	1	760,99	760,99
Doska	plexisklo	810 x 728 x 4	1	962,76	962,76
Tyč kruhová	PA-6	Ø200 – 450	1	3 421,00	3 421,00
Hranol	PA-6	500 x 285 x 150	4	6 605,00	26 420,00
L – profil	hliník	60 x 40 x 3 - 450	1	54,72	54,72
Štvorcová tyč	hliník	40 x 40 x 2 - 270	4	138,70	554,81
<b>Celková cena polotovarov s DPH</b>					<b>34 331,58 Kč</b>

### 5.2 CENA NAKUPOVANÝCH KOMPONENTOV

Cena za komponenty je získaná zo stránok výrobcov [33, 44, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58].

Tab. 10 Cena nakupovaných komponentov

Názov	Počet [ks]	Cena/ks [Kč]	Cena celkom [Kč]
Ložisková jednotka SKF SY 12 TF	8	397,00	3 176,00
Záslepka profilov série 30	8	12,58	100,67
Karabína DIN 5299C Ø4 x 40 mm	4	20,05	80,20
Samolepiaci sklolaminátový pás 70 x 800 mm	1	240,50	240,50
Upínacia remeňová doska 15 5M	8	79,00	632,00
Ozubený remeň HTD 1420 5M 15	4	385,00	1 540,00
Remenica 16-5M-15	8	58,00	464,00
Ložisko SKF 626-2Z	6	63,80	382,82
Koliesko DIN 6336-GG-32-B6-C	2	162,00	324,00
Prítlačný valček typ R11	4	709,28	2 837,12
Konzola strop-podlaha	4	280,00	1 120,00
Spojka WKAS 25320808	4	711,36	2 845,44
Oceľové lano s okom Ø2 mm	2	77,00	154,00
Hliníkový profil séria 30, 6 mm 084.100.004	1	336,76	336,76
<b>Celková cena komponentov s DPH</b>			<b>14 233,51 Kč</b>

### 5.3 CENA SPOJOVACIEHO MATERIÁLU

Cena za spojovací materiál je získaná zo stránok výrobcov Prumex s.r.o. [43] a VSK Profi, s.r.o. [44].

Tab. 11 Cena spojovacieho materiálu

Názov	Norma	Počet [ks]	Cena/ks [Kč]	Cena celkom [Kč]
Podložka M5	DIN 125A	148	0,07	10,36
Podložka M10	DIN 125A	16	0,43	6,88
Klíňová skrutka M8 x 20 mm	-	24	11,06	265,44
Matica do profilu M5	-	16	12,58	201,28
Krídlová matica M5	DIN 315	4	0,93	3,72
Matica M5	DIN 439	68	0,17	11,56
Matica M10	DIN 439	8	1,08	8,64
Poistný krúžok 12 x 1 mm	DIN 471	8	0,52	4,16
Poistný krúžok 6 x 0,7 mm	DIN 471	4	0,30	1,20
Pero tesné 4 x 4 x 8 mm	DIN 6885	4	2,98	11,92
Skrutka TEX Ø4,8 x 16 mm	DIN 7504P	20	0,26	5,20
Skrutka M5 x 20 mm	DIN 7991	64	0,51	32,64
Skrutka M5 x 10 mm	DIN 912	16	0,57	9,12
Skrutka M5 x 16 mm	DIN 912	68	0,68	46,24
Skrutka M10 x 30 mm	DIN 912	16	2,88	46,08
Stavacia skrutka M2,5 x 4 mm	DIN 914	2	1,65	3,30
Stavacia skrutka M4 x 6 mm	DIN 914	8	0,68	5,44
Skrutka M4 x 10 mm	ISO 7380	16	0,51	8,16
<b>Celková cena spojovacieho materiálu s DPH</b>				<b>681,34 Kč</b>

### 5.4 CENA OBRÁBANIA

Cena obrábania dielov bola vypočítaná p. Lenkou Horákovou vo firme AVL Moravia s.r.o.

Tab. 12 Cena obrábania vyrábaných komponentov

Typ práce	Diel	Odvedené hodiny	Sadzba [Kč/hod]	Cena celkom [Kč]
Delenie materiálu	Hriadele, L-profil, tyč PA-6, štvorcová tyč	4,5	530,00	2 385,00
Sústruženie	Valce, hriadele, remenice	17,5	480,00	8 400,00
Frézovanie	Konzole napínakov, bloky	42,0	480,00	20 160,00
Vítanie/zahlbovanie	Doska, dosky pod ložiská	3,0	480,00	1 440,00
Tryskanie balotinu	Doska, dosky pod ložiská	1,0	1 101,00	1 101,00
Delenie (vodný lúč)	Doska, dosky pod ložiská	1,0	2 400,00	2 400,00
Montáž		4,0	460,00	1 840,00
<b>Celková cena za obrábanie s DPH</b>				<b>37 726,00 Kč</b>

## 5.5 CENA VÝROBY POMOCOU FDM METÓDY 3D TLAČE

Cena 3D tlače vychádza z cenníku ÚADI FSI VUT a to 15,00 Kč/cm<sup>3</sup> s DPH. Objem každého dielu vychádza z 3D modelu zo softwaru Creo Parametric 2.0.

Tab. 13 Cena komponent vyrábaných pomocou 3D tlače

Názov dielu	Objem [cm <sup>3</sup> ]	Počet [ks]	Cena/ks [Kč]	Cena celkom [Kč]
Ložiskový domec	0,98	8	14,69	88,14
Posuvná doska	237,20	8	3 558,04	14 232,16
Bezpečnostné zábradlie	47,84	4	717,63	2 870,52
Box zábradlia	41,61	1	624,13	2 496,52
<b>Celková cena 3D tlače s DPH</b>				<b>19 687,34 Kč</b>

## 5.6 CELKOVÁ CENA MODELU

Výsledná odhadovaná cena za navrhnutý model valcového dynamometra je 106 700,00 Kč s DPH. V cene nie je zahrnuté lepenie, vrtanie a frézovanie plexisklových komponentov (horná doska, kryty valcových jednotiek), ani cena post-processingu pri komponentoch vyrábaných pomocou 3D tlače.

## ZÁVĚR

Táto diplomová práca vznikla ako požiadavka spoločnosti AVL Moravia s.r.o. Jej cieľom bol návrh funkčného modelu valcového dynamometra v mierke 1:10, ktorý má slúžiť ako prezentačný a výukový model, na základe referenčného výrobku, ktorým bol monovalcový dynamometer s konfiguráciou 4x4 a motorom na strane, AVL Roadsim NVH 4x4 Light Truck. Pri návrhu mala byť uvažovaná možnosť vyrobiť niektoré komponenty pomocou 3D tlače.

Aby bolo možné pristúpiť k návrhu samotného modelu, bolo nutné sa oboznámiť s vývojom vozidlových skúšok, najmä valcových dynamometrov a ich rôznymi konštrukčnými riešeniami.

Pri návrhu sa uvažovalo s malým zaťažením, z toho dôvodu neboli vykonané pevnostné výpočty. Maximálne otáčky valca boli uvažované  $980 \text{ min}^{-1}$ , krútiaci moment  $1,10 \text{ Nm}$ . Materiály jednotlivých komponentov boli volené s možnosťou využiť skladové zásoby firmy AVL Moravia s.r.o. a znížiť tak cenu finálneho produktu.

Prvotný návrh modelu bol upravený z dôvodu väčšej konštrukčnej náročnosti systému zmeny rázvoru a vysokej výrobnéj ceny základných komponent, akými sú podstavec motora a valca. Výrobná cena pri využití FDM metódy 3D tlače bola odhadovaná na  $134\,270,00 \text{ Kč}$ , ktorá nezahŕňala finálnu úpravu (tzv. post-processing). Pri úprave návrhu, zjednodušení konštrukcie do jedného bloku, úprave materiálu z ABS na PA-6 a zmene spôsobu výroby sa cena výroby znížila na  $45\,620,00 \text{ Kč}$ .

Požiadavkami firmy bola priehľadnosť hornej dosky, krytov valcových jednotiek a možnosť univerzálnosti použitia modelu. Všetky požiadavky boli v práci splnené. Priehľadné prvky budú vyrábané z plexiskla a univerzálnosť zabezpečuje systém zmeny rázvoru, ktorý dovoľuje testovať modely RC áut s rázvorom kolies  $236 - 270 \text{ mm}$ .

Pri výrobe posuvných dosiek, ložiskových domcov a komponentov bezpečnostného systému krytu valca sa počítá s FDM metódou 3D tlače.

Celková hmotnosť výslednej zostavy je  $52,2 \text{ kg}$ , základné rozmery boli zachované voči reálnemu zariadeniu,  $728 \times 810 \times 277 \text{ mm}$  a priemer valca je  $190,5 \text{ mm}$ . Finálna odhadovaná cena výroby je  $106\,700,00 \text{ Kč}$  s DPH (cena nezahŕňa lepenie, vŕtanie a frézovanie plexisklových komponentov, akými sú horná doska a kryty valcových jednotiek, ani cenu post-processingu pri komponentoch vyrábaných pomocou 3D tlače). Celý model je plne rozoberateľný, vďaka čomu je zabezpečená jednoduchá vymeniteľnosť dielov.

Po odsúhlasení finálneho návrhu firmou AVL Moravia s.r.o. bola vytvorená výkresová dokumentácia. Ciele mojej diplomovej práce boli splnené v plnom rozsahu.

Kvôli novej rozmerovej nestálosti materiálu PA-6 by som do budúcnosti odporúčal výmenu valcov za hliníkové (aj napriek vysokým výrobným nákladom), nakoľko rozmerová nestálosť môže zvyšovať nepresnosť pri meraní. Taktiež má dopad na nevyváženosť valcov a tým zníženie životnosti ložísk. Ďalej by bolo vhodné navrhnutie pojazdného podstavca, ktorý by zlepšil mobilitu modelu a vytvoril priestor, ktorý by ukryl elektronickú časť modelu, s cieľom zvýšiť bezpečnosť pri jeho vystavovaní. Taktiež je možnosť prestavby manuálneho ovládania systému zmeny rázvoru pomocou koliesok na elektronicky riadený.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] PANÁČEK, Vladimír. *Zkoušení vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012, 87 s. ISBN 978-80-214-4569-7.
- [2] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Vlk, 2001, 576 s. ISBN 80-238-6573-0.
- [3] Tatra Kopřivnice. In: *Mapy Google* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/search/tatra+koprivnice/@49.5953264,18.1601167,1015m/data=!3m1!1e3>
- [4] Stähle Autopilot SAP2000. In: *Hydraulic test stand* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [http://www.haidar-inc.com/files/Autopilot\\_SAP2000\\_eng09.pdf](http://www.haidar-inc.com/files/Autopilot_SAP2000_eng09.pdf)
- [5] MATAJSZ, Peter. *Zařízení a pracoviště pro měření výkonu motoru* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39639](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39639). Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Martin Beran.
- [6] MARTYR, A. J. a M. A. PLINT. *Engine testing* [online]. 3rd edition. Elsevier, 2007 [cit. 2019-05-07]. ISBN 978-0-7506-8439-2.
- [7] ATKINS, Richard D. *An Introduction to engine Testing and Development* [online]. USA: SAE International, 2009 [cit. 2019-05-07]. ISBN 978-0-7680-2099-1.
- [8] PLINT, Michael a Anthony MARTYR. *Engine Testing: Theory and Practice* [online]. Elsevier, 2013, 320 s. [cit. 2019-05-07]. ISBN 978-1-4832-9207-6. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=50ovBQAAQBAJ&pg=PA103&lpg=PA103&dq=hydraulic+dynamometer+bolt+on&source=bl&ots=QurklgGApq&sig=ACfU3U1HXACJf\\_6zuSfRWDTYZyvMVT48pw&hl=sk&sa=X&ved=2ahUKEwiR47jD8PrgAhXLKVAKHYrLDrkQ6AEwCXoECAAQAQ#v=onepage&q=hydraulic%20dynamometer%20bolt%20on&f=false](https://books.google.cz/books?id=50ovBQAAQBAJ&pg=PA103&lpg=PA103&dq=hydraulic+dynamometer+bolt+on&source=bl&ots=QurklgGApq&sig=ACfU3U1HXACJf_6zuSfRWDTYZyvMVT48pw&hl=sk&sa=X&ved=2ahUKEwiR47jD8PrgAhXLKVAKHYrLDrkQ6AEwCXoECAAQAQ#v=onepage&q=hydraulic%20dynamometer%20bolt%20on&f=false)
- [9] DOŠKAŘ, Petr. *Měření parametrů vozidlových motorů na válcovém dynamometru* [online]. Brno, 2008, 62 s. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=3110;studium=14893;zp=9040;download\\_prace=1;lang=sk](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=3110;studium=14893;zp=9040;download_prace=1;lang=sk). Diplomová práca. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Jiří Čupera.
- [10] AVL DynoExact for engine Testing. In: *AVL - Development, testing & simulation of powertrain systems* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.avl.com/-/avl-dynoexact>
- [11] MALINA, Jakub. *Externí systém měření parametrů vozidel s podporou diagnostických protokolů integrovaný v síti ethernet na válcovém dynamometru* [online]. Brno, 2018, 70 s. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10873;studium=90753;zp=59286;download\\_prace=1;lang=cz](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10873;studium=90753;zp=59286;download_prace=1;lang=cz). Diplomová práca. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Jiří Čupera.

- [12] Inertia Dyno Design Guide. In: *DTec.net* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://dtec.net.au/inertia%20dyno%20design%20guide.htm>
- [13] AVL ROADSIM NVH 4x2 LIGHT TRUCK Chassis Dynamometer. In: *AVL - Development, testing & simulation of powertrain systems* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.avl.com/-/avl-roadsim-nvh-4x2-light-truck-chassis-dynamometer>
- [14] ROTOTEST VPA-RX Chassis Dynamometer. In: *Chassisdynamometer* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.google.com/search?q=rototest&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjE2oqy\\_o7hAhUMa1AKHb4RB1oQ\\_AUIDigB&biw=958&bih=927#imgsrc=qgP-PVPHKH0aWM](https://www.google.com/search?q=rototest&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjE2oqy_o7hAhUMa1AKHb4RB1oQ_AUIDigB&biw=958&bih=927#imgsrc=qgP-PVPHKH0aWM):
- [15] Chassis dynamometer system. In: *MEIDENSHA CORPORATION* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [http://www.meidensha.com/products/automobile/prod\\_01/prod\\_01\\_02/prod\\_01\\_02\\_03/index.html](http://www.meidensha.com/products/automobile/prod_01/prod_01_02/prod_01_02_03/index.html)
- [16] *Fahrzeugrollenprüfstände (Die Bibliothek der Technik (BT))*. Nemecko: Süddeutscher Verlag onpact, 2011. ISBN 978-3862360222.
- [17] *AVL Media Conditioning Systems* [online]. , 6 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.avl.com/html/static/ITS\\_ONLINE/PDFs/E/6\\_TESTING\\_EQUIPMENT\\_4\\_E.pdf](https://www.avl.com/html/static/ITS_ONLINE/PDFs/E/6_TESTING_EQUIPMENT_4_E.pdf)
- [18] BAJGAR, Jan. *Zádržný systém na dynamometr* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/117565/BAJ0045\\_FS\\_N2301\\_3909T001\\_40\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=n](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/117565/BAJ0045_FS_N2301_3909T001_40_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=n). Diplomová práca. Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Vedoucí práce Zdeňek Folta.
- [19] Vehicle fixation - wheel hub fixation. In: *S. Bleyer GmbH* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.test.s-bleyer-gmbh.de/index.php/en/vehicle-fixation/wheel-hub-fixation>
- [20] *Soft-Engine dynamometers and engine simulation software* [online]. In: . [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [http://www.soft-engine.org/newsletters/inglese/pagine\\_di\\_appoggio/newsletter\\_pagina\\_appoggio\\_10-09-2014\\_01.htm](http://www.soft-engine.org/newsletters/inglese/pagine_di_appoggio/newsletter_pagina_appoggio_10-09-2014_01.htm)
- [21] RAMPÁČEK, Bernard. *Měření výkonu motocyklu* [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=52950](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52950). Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ondřej Maršálek.
- [22] 4WD Chassis Dynamometer. In: *S3.amazonaws* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://s3.amazonaws.com/s3.racingjunk.com/ui/2/55/38129552-394-Land-Sea-4WD-Chassis-Dynamometer.jpg>
- [23] *Picswe.com* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [https://www.google.com/search?q=twin+roller+chassis+dynamometer&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewisn\\_PPwvPhAhXFJVAKHTvIDc4Q\\_AUIDigB&biw=1680&bih=907#imgdii=VJcYW-awr2EEHM:&imgsrc=4agjsipcKObBoM](https://www.google.com/search?q=twin+roller+chassis+dynamometer&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKewisn_PPwvPhAhXFJVAKHTvIDc4Q_AUIDigB&biw=1680&bih=907#imgdii=VJcYW-awr2EEHM:&imgsrc=4agjsipcKObBoM)

- [24] ŠTĚTINA, Josef. *Charakteristiky spalovacích motorů a jejich měření* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://goo.gl/umhl1T>
- [25] CVS-ONE. In: *Automotive Test Systems - HORIBA* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.horiba.com/us/en/automotive-test-systems/products/emission-measurement-systems/dilution-sampling-systems/details/cvs-one-19609/>
- [26] Noise Vibration Harshness (NVH) Test System. In: *AVL - Development, testing & simulation of powertrain systems* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.avl.com/testing-solutions-for-vehicle-systems/-/asset\\_publisher/gYjUpY19vEA8/content/noise-vibration-harshness-nvh-test-system?inheritRedirect=false](https://www.avl.com/testing-solutions-for-vehicle-systems/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/noise-vibration-harshness-nvh-test-system?inheritRedirect=false)
- [27] EMC Testing. In: *Applus+ IDIADA* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.applusidiada.com/en/service/emc-1340240638838>
- [28] AVL MORAVIA S.R.O. *Firemný propagačný materiál*. Hranice na Moravě, 2017.
- [29] Výpočet průhybu staticky určitého nosníku. In: *E-konstrukter* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/18-vypocet-pruhybu-nosniku/36-vypocet-pruhybu-staticky-urcite-nosniky/39-vypocet-pruhybu-staticky-urciteho-nosniku>
- [30] SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [31] *Conrad Electronic - obchod s elektronikou a technikou* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/>
- [32] SVOBODA, Pavel, Richard G. BUDYNAS a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [33] *Spirálové spojky typ WKAS* [online]. In: . 2007, s. 1 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.sk/typ-wkas/>
- [34] *Spirálové spojky typ WKAS*. In: *T.E.A. TECHNIK s.r.o. - Lineární vedení a pohony* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-wkas/>
- [35] SY 12 TF Lagerenhet. In: *Kullagret.com* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.kullagret.com/product/sy-15-tf-lagerenhet-kopia-2>
- [36] Stojaté ložiskové jednotky Y - SY 12 TF. In: *SKF CZ, a.s.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/Y-bearing-plummer-block-units/index.html?designation=SY%2012%20TF>
- [37] *MZ Racing* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.mz-racing.net/>
- [38] LITTLE, Amanda Griscom. Ultimate wind tunnel lets cars do 180 mph without moving an inch. *WIRED* [online]. 25.9.2007 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2007/09/pl-motor-3/>

- [39] From NEDC to WLTP. In: *Alphabet* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.alphabet.com/en-ww/wltp>
- [40] Beam HPC. In: *Apps on Google* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://play.google.com/store/apps/details?id=air.com.gramago.beamHPC&hl=en\\_US](https://play.google.com/store/apps/details?id=air.com.gramago.beamHPC&hl=en_US)
- [41] XERUN/EZRUN 4pólový střídavý motor 3656SD 3400kV. In: *Pecka Modelář* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.peckamodel.cz/hw90100000-xerun-ezrun-4-pol-stridavy-motor-3656sd-3400kv>
- [42] *Výpočet radiálních kuličkových ložisek* [online]. , 1 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/~dolezi/SPS/2\\_rocnik/SPS\\_Vypocet\\_lozisek.pdf](https://www.sspu-opava.cz/~dolezi/SPS/2_rocnik/SPS_Vypocet_lozisek.pdf)
- [43] *Prumex s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/>
- [44] *VSK Profi* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.vskprofi.cz/>
- [45] Beam Bending Equations Calculator. In: *Engineers Edge* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.engineersedge.com/beam\\_bending/beam\\_bending2e.htm](https://www.engineersedge.com/beam_bending/beam_bending2e.htm)
- [46] DULA, Jan. *Sbližování teorie s praxí* [online]. Uherské Hradiště, 2011 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/vy vazovani.pdf>. Střední odborná škola technická Uherské Hradiště.
- [47] *PL Mont spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://shop.plmont.com/>
- [48] *A + A Pardubice spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
- [49] *Železářství KUTIL, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.kutil.cz/>
- [50] *Zenit, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://eshop.zenit.cz/>
- [51] *ARKOV, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.arkov.cz/>
- [52] *Ferospoj s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.obchodprodilnu.cz/>
- [53] *Ing. Miroslav Osička - Protiskluzu.cz* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://protismyku.eu/>
- [54] *CNC shop s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [55] *Prodej ložisek, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.zkl-loziska.cz/>
- [56] *IMP KONTAKT spol. s r. o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.impkontakt.sk/sk/>
- [57] *Haberkorn s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/uvodni-strana/>
- [58] *ŽALUZIE NEVA S.R.O.* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.nevapv.cz/>

## ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

$a$	[m]	Pôsobisko sily
$b$	[m]	Šírka pera
$b_d$	[m]	Šírka dosky
$C$	[N]	Základná dynamická únosnosť ložiska
$d_h$	[m]	Priemer hriadeľa
$d_p$	[m]	Priemer pneumatiky RC auta
$d_v$	[m]	Priemer navrhovaného valca
$E$	[Pa]	Modul pružnosti v ťahu
$F$	[N]	Sila pôsobiaca na tenzometer
$F_A$	[N]	Radiálna sila pôsobiaca na ložisko A
$F_B$	[N]	Radiálna sila pôsobiaca na ložisko B
$F_D$	[N]	Sila pôsobiaca na dosku
$F_e$	[N]	Ekvivalentné dynamické zaťaženie
$F_G$	[N]	Tiažová sila
$F_{OB}$	[N]	Obvodová sila na povrchu hriadeľa
$F_\chi$	[-]	Valivý odpor na vozovke
$F_{\chi R}$	[-]	Valivý odpor na valci
$h$	[m]	Výška pera
$h_d$	[m]	Hrúbka dosky
$I$	[kg.m <sup>2</sup> ]	Moment zotrvačnosti
$J_y$	[mm <sup>4</sup> ]	Kvadratický moment prierezu
$l$	[m]	Dĺžka nosníku
$L_{10h}$	[hod]	Základná trvanlivosť radiálneho guľôčkového ložiska
$L_{10hA}$	[hod]	Základná trvanlivosť radiálneho guľôčkového ložiska A
$L_{10hB}$	[hod]	Základná trvanlivosť radiálneho guľôčkového ložiska B
$l_h$	[m]	Dĺžka hriadeľa
$l_p$	[m]	Dĺžka pera
$M_k$	[Nm]	Krútiaci moment
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky motora
$n_p$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky pneumatík RC auta
$n_v$	[min <sup>-1</sup> ]	Otáčky valca
$P$	[W]	Výkon motora

$p_D$	[Pa]	Dovolený tlak na bokoch drážok v náboji
$p_o$	[Pa]	Základná hodnota tlaku
$R$	[m]	Vzdialenosť pôsobiska sily od osy rotácie
$r$	[m]	Polomer pneumatiky
$R_v$	[m]	Polomer valca
$t_h$	[m]	Hĺbka drážky v hriadeli
$t_n$	[m]	Hĺbka drážky v náboji
$v$	[km/h]	Maximálna rýchlosť
$W_{max}$	[m]	Maximálny priehyb
$\varepsilon$	[rad·s <sup>-2</sup> ]	Uhlové zrýchlenie
$\omega$	[rad·s <sup>-1</sup> ]	Uhlová rýchlosť

## ZOZNAM PRÍLOH

### Tlačené prílohy:

Príloha 1 – Výkres DP-12 Hriadel'

Príloha 2 – Výkres DP-Z-13 Zostava komplet

Príloha 3 – Výkres DP-05 Valec

Príloha 4 – Výkres DP-Z-6 Zostava blok

### Elektronické prílohy:

Príloha 5 – Výkres DP-01 Spojka

Príloha 6 – Výkres DP-02 Hliníkový profil

Príloha 7 – Výkres DP-03 L-profil motor

Príloha 8 – Výkres DP-04 L-profil napinák

Príloha 9 – Výkres DP-06 Blok

Príloha 10 – Výkres DP-07 Doska pod ložisko

Príloha 11 – Výkres DP-08 Horná doska

Príloha 12 – Výkres DP-09 Kryt bloku – bok

Príloha 13 – Výkres DP-10 Kryt bloku – predok

Príloha 14 – Výkres DP-11 Kryt bloku – vrch

Príloha 15 – Výkres DP-13 Hriadel' posuvu

Príloha 16 – Výkres DP-14 Spodná doska

Príloha 17 – Výkres DP-15 Ložiskový domec

Príloha 18 – Výkres DP-16 Posuvná doska

Príloha 19 – Výkres DP-17 Výsuvný kryt

Príloha 20 – Výkres DP-18 Box ochranný kryt

Príloha 21 – Výkres DP-Z-1 Zostava krytu bloku

Príloha 22 – Výkres DP-Z-2 Zostava lineárny pohyb bez remeňa

Príloha 23 – Výkres DP-Z-3 Zostava lineárneho pohybu

Príloha 24 – Výkres DP-Z-4 Zostava domec

- Príloha 25 – Výkres DP-Z-5 Zostava krytu valca
- Príloha 26 – Výkres DP-Z-7 Zostava napínania
- Príloha 27 – Výkres DP-Z-8 Zostava kryt
- Príloha 28 – Výkres DP-Z-9 Zostava ľavá strana
- Príloha 29 – Výkres DP-Z-10 Zostava pravá strana
- Príloha 30 – Výkres DP-Z-11 Zostava horná doska
- Príloha 27 – Výkres DP-Z-12 Zostava základná doska