



**FAKULTA  
ŠTOJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**

**Ovládání a akvizice dat na zkušebním stavu  
převodových ústrojí motorových vozidel**

**Control and data acquisition of test stand  
for transmission apparatus in motor  
vehicles**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2019**

**Bc. Martin KOVÁŘ**

**Studijní program:** N2301 ŠTOJNÍ INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** 2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Pakosta Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kovář** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **420089**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Ovládání a akvizice dat na zkušebním stavu převodových ústrojí motorových vozidel.**

Název diplomové práce anglicky:

**Control and data acquisition of test stand for transmission apparatus in motor vehicles.**

Pokyny pro vypracování:

Provedte rozbor současného stavu otevřeného zkušebního stanoviště v laboratořích na Julisce. Vytvořte měřicí řetězec akvizice stanoviště. Navrhněte druhy vhodných snímačů pro testování komponent automobilových převodových ústrojí a vytvořte sběr dat. Vytvořený software by měl dále umožnit ovládání chladicích ventilátorů, stejnosměrného napájecího zdroje vířivého dynamometru a implementaci hladinových jízdních cyklů pro ovládání dvou nejnovějších dynamometrů.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Pakosta, Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **18.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.07.2019**

Platnost zadání diplomové práce:



Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce



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



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Ovládání a akvizice dat na zkušebním stavu převodových ústrojí motorových vozidel“ vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Jiřího Pakosty Ph.D. a s použitím literatury uvedené na konci diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze, 10.9.2019

Martin Kovář

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, panu Ing. Jiřímu Pakostovi Ph.D., za odborné vedení diplomové práce, ochotu a trpělivost. Také bych rád poděkoval panu Ing. Miloslavu Emrichovi Ph.D., za jeho čas a velmi cenné rady při potížích s prostředím LabVIEW a panu Ing. Ondřeji Miláčkovi, za velmi přínosné rady ohledně měření akcelerometry. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za duševní i finanční podporu během celého studia.

## Anotační list

Jméno autora:	<b>Martin Kovář</b>
Název DP:	Ovládání a akvizice dat na zkušebním stavu převodových ústrojí motorových vozidel
Anglický název:	Control and data acquisition of test stand for transmission apparatus in motor vehicles
Rok:	2019
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Obor studia:	2301T047 Dopravní, letadlová a transportní technika
Ústav:	Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí DP:	Ing. Jiří Pakosta Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 87 počet obrázků 66 počet tabulek 17 počet příloh 1
Klíčová slova:	převody, testování, akvizice, ovládání, LabVIEW
Keywords:	transmission, testing, acquisition, control, LabVIEW
Anotace:	Tato práce ve svém úvodu pojednává o měřicích metodách vybraných fyzikálních veličin v rámci testování převodových ústrojí motorových vozidel. Dále popisuje současný stav zkušebního stanoviště v laboratořích v Praze na Julisce. Hlavním předmětem práce je vytvoření komplexní aplikace pro ovládání, kontrolu a akvizici dat na zkušebním stanovišti v prostředí LabVIEW.
Abstract:	At the beginning, this thesis deals with possible measuring methods of selected physical quantities related to testing transmission apparatus in motor vehicles. Further, it describes the actual state of the testing stand in the laboratory located at Praha – Juliska. The main subject of the thesis is to create complex application for control, supervision and data acquisition at the testing stand using the environment of LabVIEW.

## Obsah

Úvod .....	1
1. Zkušební stavy.....	2
1.1. Otevřený zkušební stav .....	2
1.2. Uzavřený zkušební stav .....	2
2. Měřicí metody.....	4
2.1. Měření teploty.....	4
2.1.1. Termočlánky.....	4
2.1.2. Kovové odporové teplotní senzory .....	6
2.1.3. Termistory.....	8
2.2. Měření tlaku .....	9
2.2.1. Tenzometrické snímače .....	10
2.2.2. Kapacitní snímače.....	10
2.2.3. Piezoelektrické snímače .....	10
2.3. Měření otáček.....	11
2.3.1. Stroboskopické snímače .....	11
2.3.2. Indukční snímače.....	12
2.3.3. Hallovy snímače .....	13
2.3.4. Fotoelektrické snímače.....	13
2.4. Měření vibrací.....	15
2.4.1. Piezorezistivní akcelerometry .....	15
2.4.2. Elektrodynamické akcelerometry .....	15
2.4.3. Kapacitní akcelerometry .....	15
2.4.4. Piezoelektrické akcelerometry.....	16
3. Rozbor současného stavu zkušebního stanoviště .....	18
3.1. Dynamometr SDS 200 .....	20
3.2. Dynamometr ASD S200 .....	21
3.3. Dynamometr 2VD 100 .....	22
3.3.1. Programovatelný zdroj HCS-3604 .....	23
3.3.2. Experimentální ověření vnější charakteristiky dynamometru 2VD 100 .....	24
3.3.2.1. Konfigurace experimentu .....	24
3.3.2.2. Průběh experimentu .....	24
3.3.2.3. Data experimentu .....	25
3.3.2.4. Výsledky experimentu .....	25
3.3.2.5. Závěr experimentu .....	25
4. Návrh měřicího řetězce .....	27
4.1. CompactDAQ.....	27
4.1.1. Základna CompactDAQ.....	27
4.2. Měření teploty.....	28

4.2.1. Moduly pro měření teploty .....	29
4.3. Měření tlaku a obecného analogového vstupu.....	30
4.3.1. Moduly pro měření obecného analogového vstupu.....	31
4.4. Měření otáček.....	32
4.4.1. Modul pro zpracování digitálního vstupu.....	34
4.5. Měření vibrací.....	35
4.5.1. Modul pro zpracování měření vibrací .....	36
4.6. Modul digitálního výstupu – ovládání chladicích ventilátorů .....	37
4.7. Shrnutí měřicího řetězce .....	38
5. Čelní panel a funkce programu.....	39
5.1. Úvodní část .....	39
5.2. Ovládání .....	40
5.3. Automatické ovládání .....	43
5.4. Bezpečnost provozu na zkušebním stanovišti.....	46
5.4.1. Ztráta kontroly nad stanovištěm.....	46
5.4.2. Kritický stav .....	47
5.5. Akvizice.....	48
5.5.1. Analogová akvizice – stavové veličiny .....	48
5.5.2. Digitální akvizice – otáčky .....	48
5.5.3. Sběr dat pomocí řídicí jednotky dynamometrů .....	49
5.5.4. Analogová akvizice – vibrace .....	50
5.6. Zápis dat do souboru .....	50
5.6.1. Celkový zápis akvizice .....	50
5.6.2. Zápis dat z akcelerometrů .....	51
5.7. Kontroly překročení limitních hodnot.....	51
6. Blokový diagram.....	53
6.1. Hlavní ovládací smyčka dynamometrů .....	53
6.2. Smyčka jízdních cyklů .....	55
6.3. Smyčka analogové akvizice .....	56
6.4. Měření otáček.....	57
6.5. Akvizice vibrací .....	58
6.6. Zobrazení veličin v grafu .....	61
6.7. Detailní graf .....	62
6.8. Zápis dat .....	63
6.9. Smyčka nastavení limitních hodnot.....	64
6.10. Smyčka průměrování .....	65
6.11. Smyčka kontrol .....	66
6.12. Smyčka alarmu.....	67
6.12.1. Akustický signál .....	68

6.12.2. Blikání LED indikátoru alarmu .....	68
6.12.3. Zpracování potvrzení uživatelem .....	69
6.13. Ovládání zdroje Manson HCS-3604 .....	70
6.14. Ventilátory .....	71
7. Experimentální stanovení charakteristik hydrodynamického měniče .....	72
7.1. Metoda měření .....	72
7.2. Naměřené a vypočtené hodnoty .....	73
7.3. Výsledné charakteristiky .....	75
7.4. Závěr experimentu .....	77
8. Závěr .....	78
9. Seznam použité literatury .....	80
10. Zdroje obrázků .....	82
11. Seznam obrázků .....	83
12. Seznam tabulek .....	85
13. Seznam příloh .....	85
14. Seznam zkratk a symbolů .....	86



## Úvod

V poslední době lze zaznamenat trend významného snižování emisí a spotřeby paliva motorových vozidel, zejména po legislativní stránce. Pro splnění nastavených limitů je potřeba kromě jiného například zvyšování účinnosti pohonného a převodového ústrojí. K jejímu zvyšování je však třeba experimentálního testování různých komponent. Přestože se v současnosti stále více uplatňují zkoušky v reálném provozu, laboratorní testování díky své opakovatelnosti nachází stále své místo. Pro výsledky testování s dostatečnou vypovídající hodnotou je dále kromě přesné měřicí aparatury zapotřebí i dostatečně komplexního prostředí, odkud je zkoušky možné ovládat, kontrolovat a s jeho pomocí zapisovat data pro následující zpracování a vyhodnocování ústrojí. Praktická část této diplomové práce se zabývá vytvořením takového prostředí pro otevřený zkušební stav převodových ústrojí motorových vozidel v těžkých laboratořích ČVUT v Praze na Julisce.

Tato práce si ukládá za cíl nejprve popsat rozdíly mezi zkoušením na otevřeném a uzavřeném zkušebním stavu a představit vybrané měřicí metody veličin, na které byl vznesen požadavek ve smyslu umožnění jejich zpracování v rámci zkušebního stavu na Julisce. Konkrétně se jedná o měření teploty, tlaku, otáček a vibrací. Následuje rozbor současného stavu zkušebního stanoviště v laboratořích včetně testování parametrů nejstaršího dynamometru. Dále se autor věnuje návrhu měřicího řetězce zmíněných vybraných veličin. Jádrem závěrečné práce je potom návrh aplikace v prostředí LabVIEW. Tento program by měl umožnit implementaci hladinových jízdních cyklů pro dva nejnovější dynamometry a ovládání chladicích ventilátorů a stejnosměrného napájecího zdroje vířivého dynamometru. Dále by měl zajišťovat sběr a zápis dat všech měřených veličin. Nutno podotknout, že vlastní ovládání dvou nejnovějších dynamometrů spolu se sběrem dat jejich parametrů již bylo k dispozici v podobě holé aplikace. Praktická část diplomové práce tvoří její nastavbu. V textu je popsána jak uživatelská funkce programu, tak jeho blokový diagram.

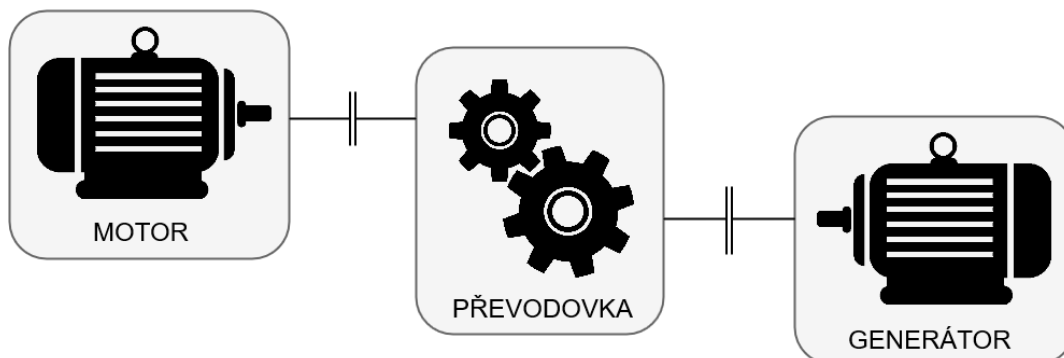
Cílem práce není vytvořit konkrétní a definitivní aplikaci pro určitou zkušební úlohu, nýbrž zpracovat co nejvíce univerzální prostředí, které by bylo možné využít v rámci širšího spektra rozličných zkušebních úloh. Aplikace kromě toho má poskytnout základ pro její další vývoj při budoucích experimentech na výše jmenovaném zkušebním stanovišti.

V závěrečné části se autor zabývá experimentálním stanovením charakteristik hydrodynamického měniče s cílem ověřit funkčnost a správnost navrženého programu.

## 1. Zkušební stavy

### 1.1. Otevřený zkušební stav

Otevřené zkušební stanoviště sestává ze třech hlavních komponent, a to zkoušeného zařízení (převodovka, hydrodynamický měnič, kloubový hřídel a další) a dvou dynamometrů. Jeden z těchto dynamometrů v experimentu vystupuje jako motor, který pohání soustavu a v případě zkoušení převodových ústrojí většinou zastává roli spalovacího motoru (případně alternativního pohonu). Druhý dynamometr plní funkci generátoru, vnáší do experimentu zátěž a maří kinetickou energii soustavy přeměnou na elektrinu. Výhodou tohoto řešení je jednoduchost uspořádání a zejména možnost v průběhu testování dynamicky měnit jak otáčky, tak zatížení jednotlivých členů. Naopak nevýhodou je nutnost využití elektromotoru s výkonem stejným, jaký dané převodové ústrojí přenáší, což může být u motorových vozidel i v řádu stovek kilowatt. Vzhledem k tomu, že je tento výkon odváděn zpět do elektrické sítě, zvyšují se nároky při budování patřičné elektroinstalace.

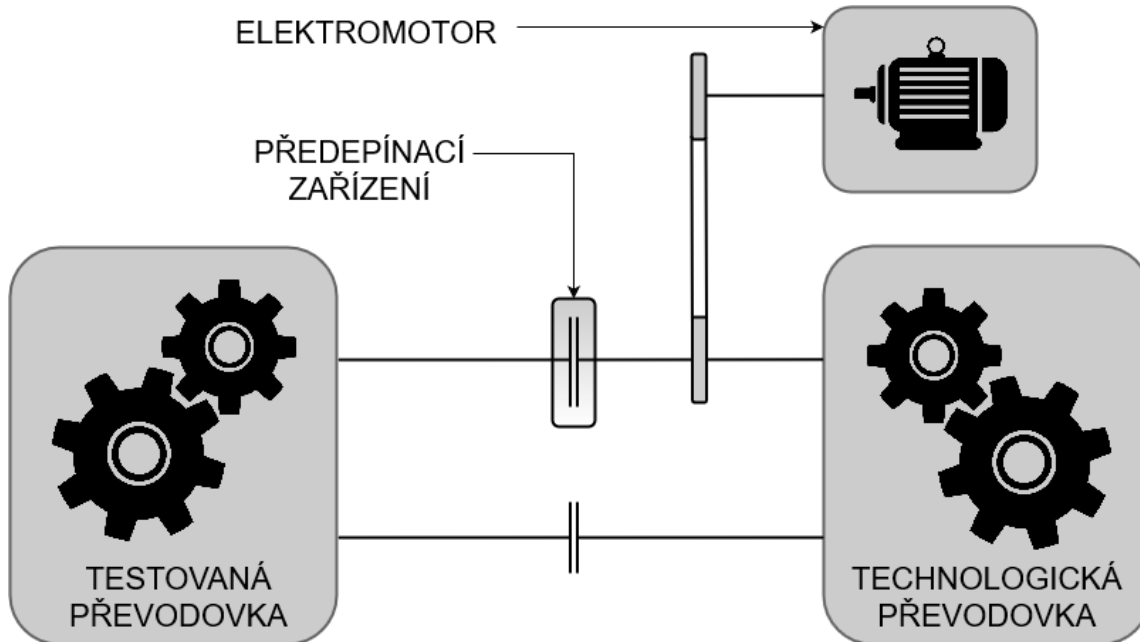


Obrázek 1 - Schéma otevřeného zkušebního stavu

### 1.2. Uzavřený zkušební stav

V případě uzavřeného zkušebního stavu jsou ve většině případů testovány převodovky. Na rozdíl od otevřeného stavu jsou potřeba dvě. Kromě toho se stav skládá z motoru a napínacího zařízení. Obě převodovky jsou spolu s ostatními komponenty zapojeny v uzavřeném okruhu, kde výkon cirkuluje. Aby bylo možné tohoto uspořádání docílit, je třeba využít převodovek s totožným převodovým poměrem. Motor v okruhu pouze pokrývá ztráty, což s sebou nese první výhodu. Výkon tohoto motoru může být řádově nižší oproti variantě testování na otevřeném stavu. Tato skutečnost spolu s využitím pouze jednoho elektrického stroje přináší také nižší nároky při budování elektroinstalace. Nevýhoda spočívá

v komplikovanějším uspořádání testovacího stanoviště a obtížnějším nastavování zatížení v průběhu zkoušky.



*Obrázek 2 - Schéma uzavřeného zkušebního stavu*

## 2. Měřicí metody

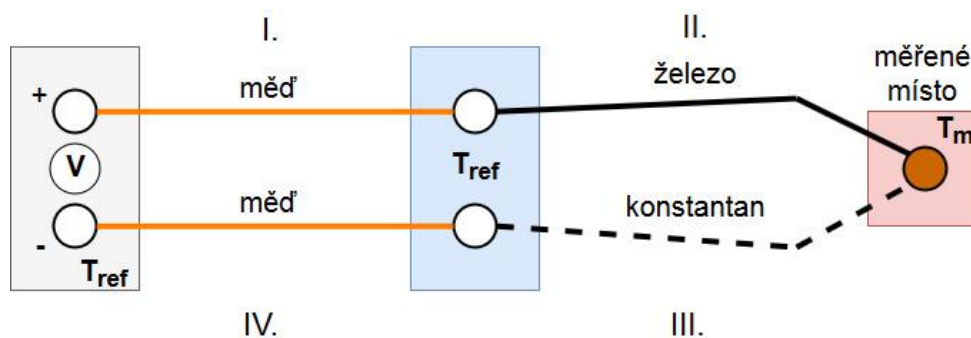
Současná kapitola představuje v technické praxi často využívané metody měření fyzikálních veličin v rámci testování převodových ústrojí motorových vozidel. Jednotlivé veličiny byly vybrány na základě požadavků pro otevřené zkušební stanoviště dle kapitoly 4. Kapitola tedy nepopisuje všechny veličiny, které se běžně při měření převodových ústrojí vyskytují.

### 2.1. Měření teploty [1][3][8]

Jednou z veličin, které je potřeba v průběhu laboratorního testování zaznamenávat je teplota. Kromě vyhodnocování parametrů převodových ústrojí je vhodné ji zaznamenávat i z bezpečnostních důvodů. Pokud například dochází k neúměrnému přehřívání oleje v převodovce či hydrodynamickém měniči, mohlo dojít k poškození zařízení a je potřeba test přerušit a situaci analyzovat. V případě testování převodovky se běžně měří teplota olejové lázně, ložisek nebo oteplení skříně. V technické praxi se využívá teplotních senzorů, které teplotu převádějí na elektrický signál, který je nadále zpracováván měřicím systémem. Mezi tyto senzory patří nejčastěji používané termočlánky, odporové teploměry a termistory. Použití konkrétního typu snímače s sebou nese výhody i nevýhody, je tedy důležité zhodnotit vhodnost použití pro danou aplikaci.

#### 2.1.1. Termočlánky

Termočlánek je elektrické zařízení sestávající ze dvou sériově zapojených vodičů odlišného materiálu. Na základě termoelektrického jevu je schopen generovat elektrické napětí, které je následně možné interpretovat jako teplotu. Toto napětí se pohybuje v řádu milivoltů, změna teploty o jeden stupeň Celsia odpovídá mikrovoltům.



Obrázek 3 - Schéma termočlánku

Na obrázku 3 je zobrazeno standardní měřící uspořádání, které lze rozdělit do čtyř oblastí. Tyto oblasti odpovídají čtyřem příspěvkům napětí. Je zjevné, že díky stejným teplotám a stejnému materiálu vodiče se příspěvky napětí v oblasti I. a IV. odečtou. Zbývá tedy příspěvek napětí v oblastech II. a III. Pro obecné napětí generované tímto systémem platí následující:

$$V = \int_{T_{ref}}^{T_m} (S_1(T) - S_2(T)) dT \quad (1)$$

Kde  $T_{ref}$  je referenční teplota,  $T_m$  je teplota měřená.  $S_1$  a  $S_2$  jsou Seebackovy koeficienty, které jsou výrazně závislé na přesném složení materiálu a jeho struktuře. Pro stanovení vygenerovaného napětí, a tedy požadované teploty, je nutné znát referenční teplotu. Zde je možné využít dvou metod:

- a) Ponoření referenčního bodu do ledové lázně destilované vody za atmosférického tlaku stabilizuje referenční teplotu na 0 °C.
- b) Kompenzace studeného konce (z angl. *CJC – Cold junction compensation*): Teplota v referenčním bodě je měřena dalším, nezávislým senzorem. Jedná se o nejčastější řešení této problematiky, které umožňuje změnu teploty okolí referenčního bodu. Správné určení referenční teploty je naprosto stěžejní pro správné měření termočlánekem, neboť chyba této teploty se přímo přenáší na výsledek termočlánekového měření.

Vodiče, které tvoří termočlánek musí být od sebe kromě místa spojení dokonale izolovány. V opačném případě může dojít k nežádoucím změnám napětí. Případně pokud by došlo k úplnému spojení vodičů před měřícím koncem, výsledné napětí bude odpovídat teplotě v tomto místě. U běžných aplikací postačí plastová izolace, při použití ve vysokých teplotách je nutné použít například keramickou izolaci.

Dalším problémem termočláneků je snižování generovaného napětí postupem času, způsobené stárnutím vodičů, které ztrácejí svou materiálovou homogenitu.

## Typy termočlánků

Různé kombinace slitin jsou vhodné pro odlišné aplikace. Výběr materiálů je založen zejména na ceně, bodu tání a chemických vlastnostech. Barvy označení v následující tabulce odpovídají normě IEC 584-3.

Tabulka 1 – Vybrané typy termočlánků

Typ	Rozsah [°C]	Materiál kladného pólu	Materiál záporného pólu
J	-210 až 1200	Železo	Konstantan
K	-270 až 1372	Chromel	Alumel
T	-270 až 400	Měď	Konstantan
E	-270 až 1000	Chromel	Konstantan
N	-270 až 1300	Nicrosil	Nisil
R	-50 až 1768	Platina – 13 % Rhodium	Platina
S	-50 až 1768	Platina – 10 % Rhodium	Platina
B	0 až 1820	Platina – 30 % Rhodium	Platina – 6 % Rhodium

### Výhody termočlánku

- Rozsah teploty
- Bez potřeby zdroje energie pro snímač
- Nízká cena
- Odolnost

### Nevýhody termočlánku

- Nutná znalost referenční teploty
- Nízká přesnost

### 2.1.2. Kovové odporové teplotní senzory

Odporové teploměry (anglická zkratka RTD – *Resistance temperature detectors*) jsou další hojně využívanou variantou měření teploty v technické praxi. Jedná se o přesné senzory vyrobené z čistých kovů, konkrétně například platina, nikl nebo měď. Nejčastěji používané jsou teplotní senzory z platiny, které jsou označovány jako Pt100, resp. Pt1000. Číslo 100 (resp. 1000) označuje hodnotu elektrického odporu čidla při teplotě 0 °C. Fungují na základě změny elektrického odporu materiálu se změnou jeho teploty. Tato závislost je definována tzv. teplotním součinitelem elektrického odporu. Kovové teplotní senzory obecně mají tento koeficient kladný, což znamená, že s rostoucí teplotou roste i hodnota elektrického odporu.

Tento odpor je následně měřen a interpretován jako teplota. Narozdíl od termočlánku je rozsah měřené teploty menší a činí zhruba -200 až 600 °C. Senzor je také oproti první variantě nutné napájet konstantním proudem, neboť se jedná o pasivní čidlo. Existuje více možností zapojení senzoru v závislosti na požadované přesnosti měření.

Nejjednodušší konfigurace disponuje pouze dvěma vodiči, která se využívá pouze v případě, kdy nejsou kladeny vysoké nároky na přesnost měření teploty. Přesnost je snížena, neboť k odporu čidla se přičítá i odpor vodičů. Sofistikovanější možností je konfigurace se třemi vodiči, kdy dochází ke snížení vlivu odporu vlastních vodičů. Nejpresnější je však čtyřvodičové zapojení, které tento odpor eliminuje.

Závislost odporu na teplotě pro rozmezí -200 až 0 °C je dána následujícím vztahem:

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + CT^3(T - 100)] \quad (2)$$

A pro teploty vyšší než 0 °C vztahem:

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2) \quad (3)$$

V těchto vztazích je  $R_T$  odpor při teplotě  $T$ ,  $R_0$  je odpor při 0 °C a konstanty  $A$ ,  $B$  a  $C$  souvisí s teplotním součinitelem elektrického odporu. Pro platinový senzor se součinitelem 3850 ppm/K jsou hodnoty koeficientů následující:

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7} K^{-2}$$

$$C = -4,183 \cdot 10^{-3} K^{-4}$$

Vzhledem k tomu, že jsou koeficienty  $B$  a  $C$  poměrně malé, je závislost teploty na elektrickém odporu téměř lineární.

#### **Výhody kovových odporových teploměrů**

- Přesnost
- Stabilita

#### **Nevýhody kovových odporových teploměrů**

- Složitější zapojení
- Delší odezva
- Větší rozměry
- Cena

### 2.1.3. Termistory

Termistory jsou dalším druhem odporových teploměrů, v tomto případě se ovšem jedná o polovodičovou součástku. Ve své podstatě jde o rezistor citlivý na teplotu. Existují dva základní typy termistorů v závislosti na teplotním součiniteli elektrického odporu. Jedním jsou termistory typu PTC (*Positive temperature coefficient*), u kterého odpor s rostoucí teplotou roste. Druhým typem jsou termistory NTC (*Negative temperature coefficient*), u kterých je teplotní součinitel odporu záporný a závislost odporu na teplotě je tedy právě opačná.

Ve většině případů se jako teplotní senzor využívá termistor typu NTC. Termistory PTC se využívají častěji v rámci elektrických obvodů jako pojistka.

Závislost odporu na teplotě je značně nelineární. Lze jí vyjádřit tzv. Steinhart-Hartovo rovnicí, která je její aproximací třetího stupně.

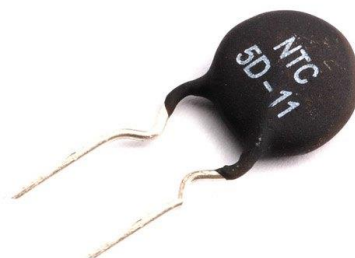
Další problém při používání termistoru může představovat poměrně malý teplotní rozsah využití, který se u běžných typů pohybuje mezi  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Senzor je také nutné napájet konstantním proudem. Oproti tomu obrovská výhoda termistorů spočívá v jejich krátké časové odezvě (časová konstanta kolem  $T = 0,2\text{ s}$ ) a přesnosti, která je běžně  $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kromě toho je dalším pozitivem nízká cena v porovnání s ostatními průmyslovými teplotními čidly.

#### Výhody kovových odporových teploměrů

- Přesnost
- Časová odezva
- Cena

#### Nevýhody kovových odporových teploměrů

- Nelinearita
- Malý rozsah pracovních teplot



Obrázek 4 - Termistor typu NTC

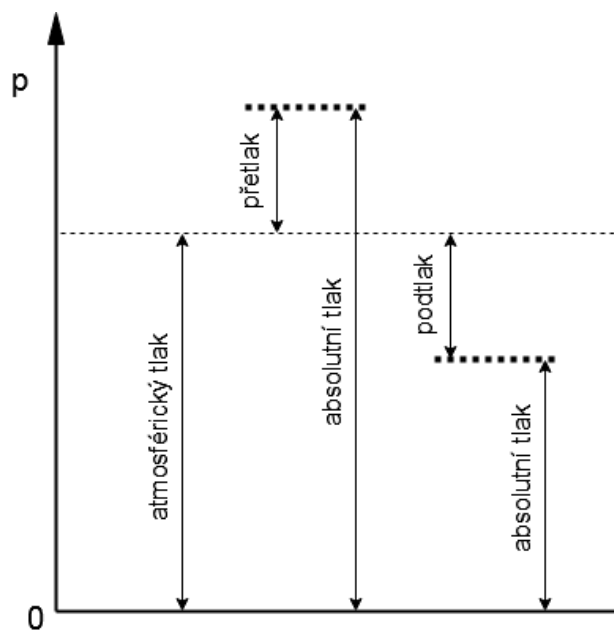


## 2.2. Měření tlaku [1]

Další z veličin, o které je potřeba mít v rámci experimentálního ověřování převodových ústrojí motorových vozidel přehled, je tlak. Přestože jeho měření ve mnoha případech nenabývá takové důležitosti jako při experimentech například na spalovacích motorech. Často se jedná o měření tlaku kupříkladu v olejových okruzích převodových agregátů. V případě zkušebního stavu na Julisce se měří tlak oleje v okruhu hydrodynamického měniče. V technické praxi se k měření využívá snímačů, které neelektrickou veličinu tlaku převádějí na veličinu elektrickou, a to buď napětí nebo proud. Elektrický signál je již dále zpracováván měřicím systémem a posléze interpretován jako tlak.

### Tlakové senzory

Před výběrem samotného snímače je nutno rozhodnout, jaký druh tlaku úloha vyžaduje měřit. Jinými slovy určit, zda se jedná o přetlak, podtlak, absolutní tlak či tlakovou diferenci. Na schématu na obrázku 5 jsou tyto termíny graficky znázorněny.



Obrázek 5 - Druhy měřených tlaků

Na základě tlaku, ke kterému je měření vztaženo, se snímače dělí do třech skupin.

### **Absolutní snímače**

Referenční tlak je v tomto případě nula, kterou představuje prostor s vakuem.

### **Relativní snímače**

V tomto případě se jedná o tlak vztažený k okolí snímače, nejčastěji k tlaku atmosférickému.

### **Diferenční snímače**

Mají dva vstupy a měří rozdíl tlaku do těchto vstupů přivedených. U tohoto typu je potřeba brát zřetel na přetížitelnost, neboť u některých senzorů by v případě nahodilého spojení jednoho vstupu s atmosférou mohlo velice snadno dojít k poškození snímače.

#### **2.2.1. Tenzometrické snímače**

Tento typ snímačů disponuje deformačním členem, který je osazen tenzometrickým můstkem. Podle druhu tenzometrů použitých pro můstek lze rozlišit senzory s kovovými, polovodičovými, nalepenými nebo naprašovanými tenzometry. Membrána bývá buď kovová nebo keramická. Využitím polovodičových tenzometrů lze dosáhnout i velmi malých rozměrů senzoru, který je pak vhodný k měření dynamicky se měnících tlaků.

#### **2.2.2. Kapacitní snímače**

Jde o typ senzorů kdy deformační člen tvoří jednu elektrodu kondenzátoru. Kapacitní snímače jsou díky své konstrukci velmi odolné proti přetížení. Moderní snímače díky vestavěné elektronice dokonce umožňují nastavitelný měřicí rozsah. Další výhodou je pak vysoká přesnost a poměrně dlouhodobá stabilita. Tyto pozitiva jsou vykoupeny většími rozměry snímače a vyšší pořizovací cenou.

#### **2.2.3. Piezoelektrické snímače**

Jedná se o aktivní snímače pracující na principu piezoelektrického jevu. Tlak působí na deformační piezoelektrický člen, který následně generuje elektrický náboj. Tento signál je následně zpracován a zesílen další elektronikou. Použití piezoelektrického snímače přináší pozitivum malých rozměrů a odolnost proti vysokým teplotám. Kromě toho je možné měřit vysoké tlaky v řádu desítek megapascalů. Využití nacházejí například při měření tlaků ve spalovacím prostoru motoru.

## **2.3. Měření otáček [3][5][6]**

Informace o úhlové rychlosti komponent zkoušeného zařízení je v případě měření na převodových ústrojích zcela zásadní, a to jak z důvodu věcného pro vyhodnocení zkoušky, tak z důvodu bezpečnostního. V průmyslové praxi se k měření využívá celá řada snímačů fungujících na různých principech.

V zásadě lze principy měření rozdělit na dvě velké skupiny, a to kontaktní a bezkontaktní měření. U kontaktního měření dochází k bezprostřednímu kontaktu senzoru s měřeným rotujícím objektem, což může být ve spoustě případů nepraktické nebo dokonce nemožné. Z tohoto důvodu jsou v současné době kontaktní metody až na výjimky pomalu zcela vytlačovány bezkontaktními. Následující odstavce pojednávají o vybraných bezkontaktních principech senzorů často využívaných při testování dopravní techniky.

### **Bezkontaktní měření otáček**

Jak již název napovídá, při bezkontaktním měření nedochází k fyzickému kontaktu snímače s rotujícím tělesem. Tato skutečnost s sebou přináší v mnoha případech praktičtější a jednodušší řešení.

#### **2.3.1. Stroboskopické snímače**

Funkce stroboskopického snímání je založena na stroboskopickém jevu. K tomuto efektu může docházet v případě rotujícího tělesa, jehož poloha v čase je reprezentována diskrétními vzorky. Při vhodně zvoleném časovém úseku mezi jednotlivými vzorky se rotující těleso jeví jako v klidu. Ve své podstatě jde o efekt aliasingu.

Tohoto jevu lze využít při měření otáček umístěním tzv. stroboskopického kotouče na rotující předmět, případně umístěním zřetelné značky na viditelnou rotující plochu objektu. V současnosti je častější měření pomocí reflexní značky a stroboskopu, což je zařízení vydávající silné a krátké záblesky světla s proměnnou frekvencí.

Nejvyšší možná frekvence záblesků, při které se reflexní značka jeví na místě, odpovídá frekvenci otáčení. Tato frekvence je přístrojem zpracována a zobrazena. Velmi důležité je dodržení zásady maximální možné frekvence, neboť při jejích celočíselných podílech se reflexní značka rovněž jeví na místě. Výhoda této metody spočívá zejména v jednoduchosti její aplikace na téměř jakýkoli rotující objekt, na který je možné značku umístit. Kromě toho lze

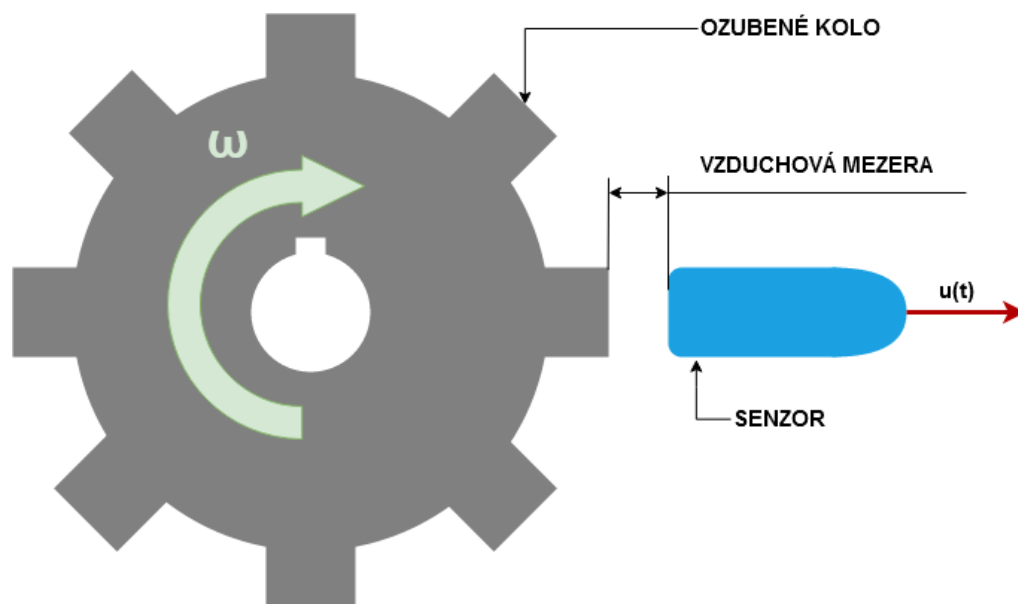
dosáhnout velmi vysokých měřitelných frekvencí otáčení v řádech desetitisíců otáček za minutu.

### 2.3.2. Indukční snímače

Funkce indukčních snímačů je založena na principu Faradayova zákona. Vlastní senzor disponuje magnetickým obvodem s cívkou, ve kterém je při měření generován magnetický tok  $\Phi$ . Napětí  $u(t)$  indukované v cívce je dáno následujícím tvarem Faradayova zákona, kde  $N$  je počet závitů cívky a  $d\Phi/dt$  změna magnetického toku v čase.

$$u(t) = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

Často využívaná konfigurace měření je zobrazena na obrázku 6. V momentě průchodu zubu ozubeného kola z feromagnetického materiálu umístěného na rotující objekt dochází ke změně magnetického toku a v cívce se generuje časově proměnné napětí. Následně je toto napětí zpracováno elektronikou snímače do tvaru obdélníkových pulzů o určité napěťové úrovni. Signál v této formě lze velice dobře zpracovávat dalšími prvky měřicí aparatury a při známém počtu zubů ozubeného kola získat informaci o velikosti úhlové rychlosti rotujícího objektu.



Obrázek 6 - Schéma indukčního snímání otáček

Výhody indukčního snímání otáček tkví ve vysoké spínací frekvenci v řádech tisíců Hz, vysoké odolnosti vůči ztíženým podmínkám okolního prostředí a z hlediska času vysoké stabilitě. Naopak problémem může v některých aplikacích být velikost vzduchové mezery, neboť snímač je třeba umístit do bezprostřední blízkosti ozubeného kola.

### 2.3.3. Hallovy snímače

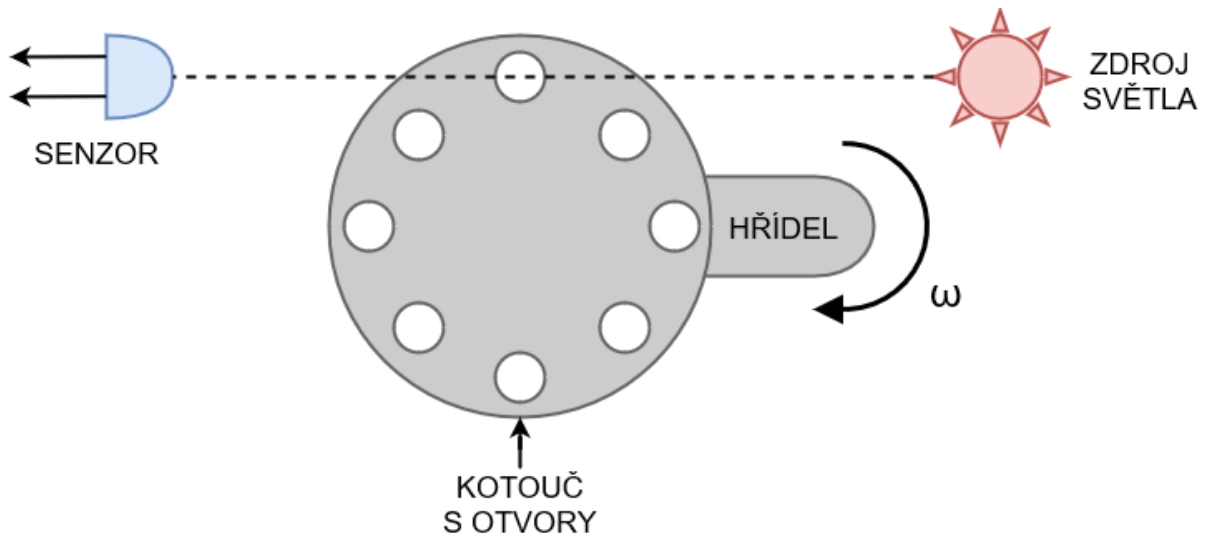
Hallovy senzory využívají principů Hallova jevu, při kterém polovodičem v magnetickém poli prochází elektrický proud. Následným působením Lorentzovy síly na elektrony vzniká Hallovo napětí na protilehlých stranách vodiče. Toto napětí lze registrovat a převést na výstupní signál vhodného tvaru, nejčastěji opět obdélníkových pulzů.

V případě měření frekvence otáčení s využitím měřicího kotoučku je výstupní signál detekován čítači a patřičně interpretován. V dopravní technice jsou Hallovy senzory hojně využívány například v čidlech ABS, či při časování spalovacích motorů. Výhodou Hallovo sensorů je jejich příznivá cena a vysoká spínací frekvence, lze je také využít ve zhoršených podmínkách okolního prostředí.

### 2.3.4. Fotoelektrické snímače

Fotoelektrické snímače fungují na principu fotoelektrického jevu. Senzor disponuje patřičně uspořádaným vysílačem a přijímačem. Vysílač představuje zdroj světla, jako například LED dioda či laser. Jako přijímač je využívána například fotodioda nebo fotorezistor. U snímání frekvence otáčení se často uplatňuje uspořádání, kdy dochází k přerušení optické cesty.

Na rotující součást je připevněn měřicí kotouč s několika otvory po jeho obvodu, jejichž osa je totožná s optickou osou senzoru. Na jedné straně kotouče je umístěn vysílač, který produkuje světelný signál, na opačné je umístěn přijímač. Při rotačním pohybu součásti, a tedy při průchodu jednotlivých otvorů přes optickou osu snímače dochází k přerušovanému osvětlování přijímače. Výstupním signálem snímače jsou nejčastěji napěťové pulzy obdélníkového tvaru. Při měření frekvence obdélníkových pulzů pomocí čítačů a známém počtu otvorů v měřicím kotouči lze stanovit velikost úhlové rychlosti rotujícího objektu. Graficky je metoda znázorněna na obrázku 7.



Obrázek 7 – Schéma fotoelektrického snímání otáček

Nevýhodou fotoelektrických senzorů je jejich citlivost na okolní světelné podmínky a ve srovnání s ostatními metodami poměrně nízká dosažitelná spínací frekvence.

## 2.4. Měření vibrací [1][4][10]

Vyhodnocování vibrací patří při experimentálním testování převodových ústrojí motorových vozidel k běžné praxi. Zpracováním dat z měření lze například diagnostikovat stav ozubení v převodovce, jeho závady a případná opotřebení. Kromě dalšího je možné měření vibrací v reálném čase využít ke kontrole bezpečného provozu v průběhu zkoušky, kdy překročením předem stanoveného limitu vibrací mohou být přijata opatření k zamezení vzniku škody na komponentách stanoviště nebo ohrožení na zdraví osob přítomných měření.

Nejčastěji se sbírají data zrychlení, která jsou získávána pomocí akcelerometrů většinou v jednotkách  $m/s^2$ , případně jako násobky tíhového zrychlení  $g$ . Akcelerometry lze na základě principu jejich funkce rozdělit do několika kategorií, z nichž vybrané jsou pospány v následujících odstavcích.

### 2.4.1. Piezorezistivní akcelerometry

Tyto senzory využívají křemíkové mechanické struktury, kde se zrychlení projeví změnou elektrického odporu. Piezorezistivních akcelerometrů se často využívá při měření konstantního zrychlení. Jejich nevýhoda spočívá v náchylnosti k rušení, omezení využití na měření nižších frekvencí a nutností napájení.

### 2.4.2. Elektrodynamické akcelerometry

Kategorie elektrodynamických senzorů zrychlení se vyznačuje poměrně velkými rozměry a vysokou hmotností. Využití nachází při měření nízkých frekvencí kmitání v rozsahu zhruba 8 až 700 Hz.

### 2.4.3. Kapacitní akcelerometry

Tento druh funguje na principu změny kapacity v křemíkové mechanické struktuře v důsledku změny zrychlení. S výhodou jsou využívány při měření konstantního zrychlení například při snímání náklonu. Dalším pozitivem je levná výroba polovodičovou technologií. Nicméně jsou použitelné pouze pro nízké frekvence a jsou relativně křehké.

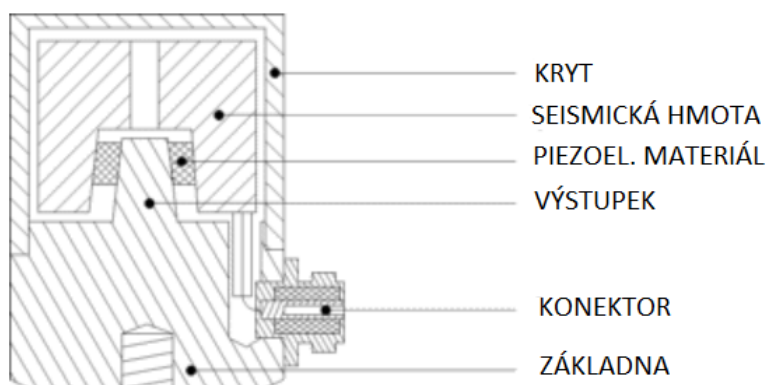
#### 2.4.4. Piezoelektrické akcelerometry

Akcelerometry založené na piezoelektrickém principu využívají piezoelektrického krystalu, který pod působením síly generuje elektrický náboj, ten je následně zpracován a zesílen navazující elektronikou. Jako piezoelektrický materiál se nejčastěji volí buď křemík nebo keramika. Citlivost keramického prvku bývá však až stokrát vyšší, a proto se ho dá s výhodou využít při měření nízkých hodnot zrychlení a nízkých frekvencích.

Výhodou piezoelektrických snímačů zrychlení je jejich široký dynamický rozsah a vysoká odolnost proti rušení, což je činí vhodnými k měření rázů i naopak nepatrných vibrací. Kromě toho se ve většině svého dynamického rozsahu chovají lineárně a disponují malými rozměry při zachování vysoké citlivosti. Standardně se vyrábí několik provedení, které se liší druhem namáhání piezoelektrické struktury. Příčina výroby různých konfigurací tkví v rozdílných vlastnostech a vhodnosti pro konkrétní aplikace.

#### Smykový systém

Smyková konfigurace snímače je nejčastěji používanou variantou sensorů. Pozitivním aspektem je nízká citlivost na teplotu, naopak negativum představuje nižší poměr citlivosti k hmotnosti.

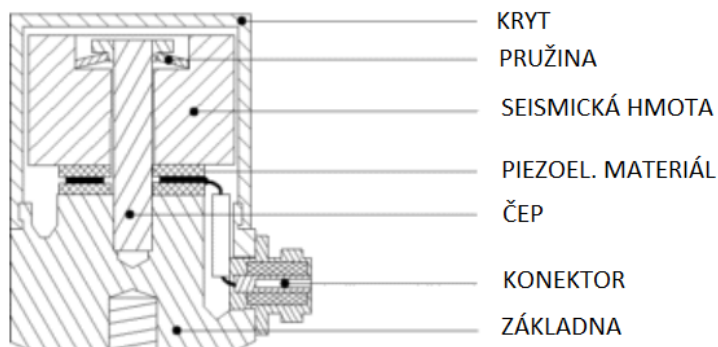


Obrázek 8 – Schéma smykové konfigurace piezoelektrického snímače



## Kompresní systém

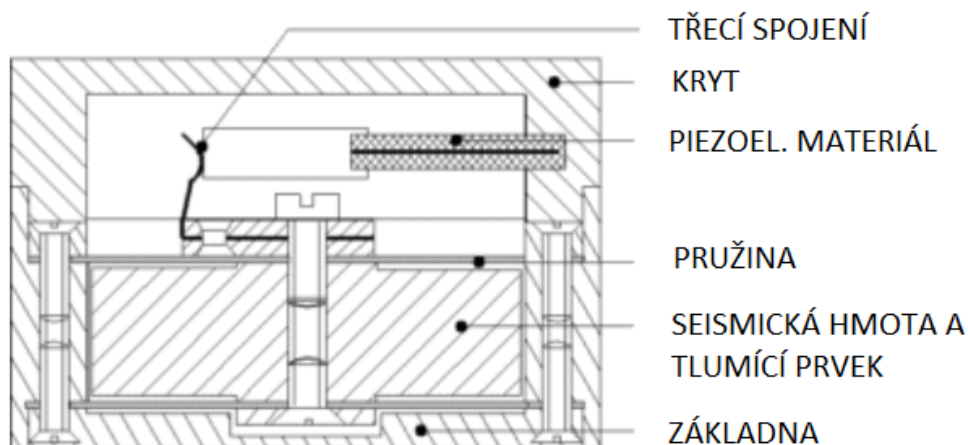
Tato robustní konstrukce snímače disponuje vysokým poměrem citlivosti k hmotnosti. Nevýhodou je však vysoká citlivost na teplotu.



Obrázek 9 – Schéma kompresní konfigurace piezoelektrického snímače

## Ohybový systém

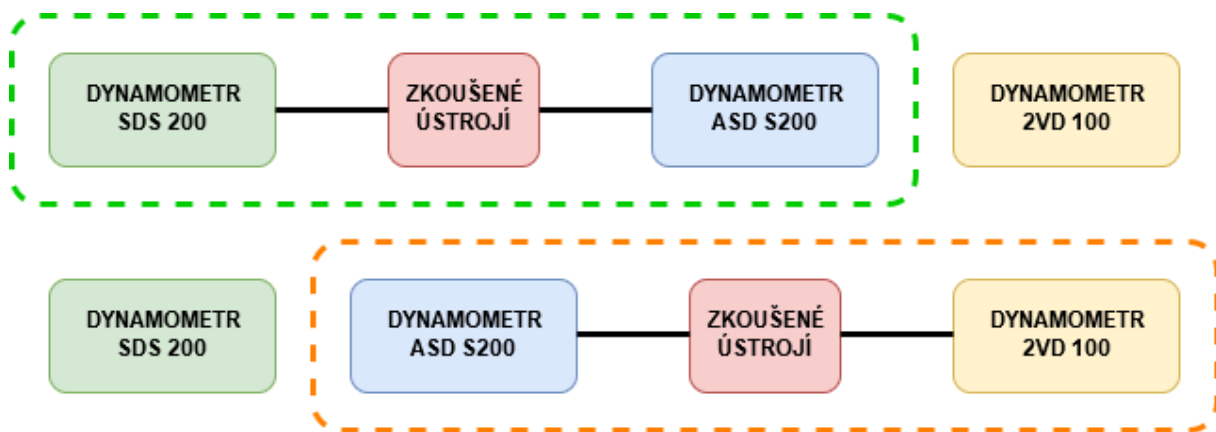
Konstrukce využívající namáhání ohybem disponuje nejlepším poměrem citlivosti k hmotnosti. Nicméně tato charakteristika je vykoupena křehkostí senzoru a poměrně velkou teplotní citlivostí.



Obrázek 10 – Schéma ohybové konfigurace piezoelektrického akcelerometru

### 3. Rozbor současného stavu zkušební stanoviště

Otevřený zkušební stav v laboratořích na Julisce sestává ze tří samostatných dynamometrů. Stejnoseměrného stroje SDS 200, třífázového asynchronního dynamometru ASD S200 a vířivého dynamometru 2VD 100 umístěných v řadě podle jmenovaného pořadí. Dynamometr ASD S200 umístěný uprostřed disponuje průchozím hřídelem, vystávají tedy dvě možné měřicí konfigurace stanoviště dle obrázku 11. V jeden okamžik je možné měřit na zařízení umístěném buď mezi zeleným koncem hřídele dynamometru ASD S200 a dynamometrem SDS 200. Nebo naopak mezi oranžovým koncem hřídele dynamometru ASD S200 a vířivým dynamometrem 2VD 100.



Obrázek 11 – Schéma zkušební stavu na Julisce

Stanoviště je momentálně možné ovládat třemi způsoby. Mechanickým ovládacím pultem umístěným ve velíně, aplikací DynofitGEAR, případně holou ovládací aplikací LabVIEW poskytnutou dodavatelem. Ve všech jmenovaných případech lze nastavovat parametry pouze na dvou nejnovějších dynamometrech SDS 200 a ASD 200. Ovládání dynamometru 2VD 100 je momentálně možné pouze samostatně.

Ovládání pultem a aplikací DynofitGEAR je spárováno a současně lze zadávat příkazy jak z aplikace, tak z pultu. Při ovládání aplikací v LabVIEW jsou tlačítka ovládacího pultu deaktivována s výjimkou nouzových tlačítek a tlačítka „Dynamometr stop“, o kterých je řeč v kapitole 5.4. Přípustné je řízení obou dynamometrů pultem, obou dynamometrů aplikací LabVIEW nebo jednoho pultem a druhého aplikací.

Kromě dynamometrů je na stanovišti k dispozici i aparatura pro měření na hydrodynamickém měniči, která sestává z nosné konstrukce pro měnič a olejového okruhu s čerpadlem, topením, chlazením a regulátorem teploty. V případě chlazení se jedná o zastoupení funkce automatické převodovky ve vozidle ve smyslu výměny oleje mezi měničem a převodovkou.



*Obrázek 12 – Měřicí aparatura pro hydrodynamický měnič*

Jednotlivé části se na zkušebním stavu propojují kloubovými hřídeli. Ty jsou před uvedením stanoviště do pohybu zakrytovány pomocí krytů kruhového průřezu, toto opatření je aplikováno z důvodu zvýšení bezpečnosti a minimalizace následků v případě nežádoucího uvolnění kloubového hřídele za provozu.



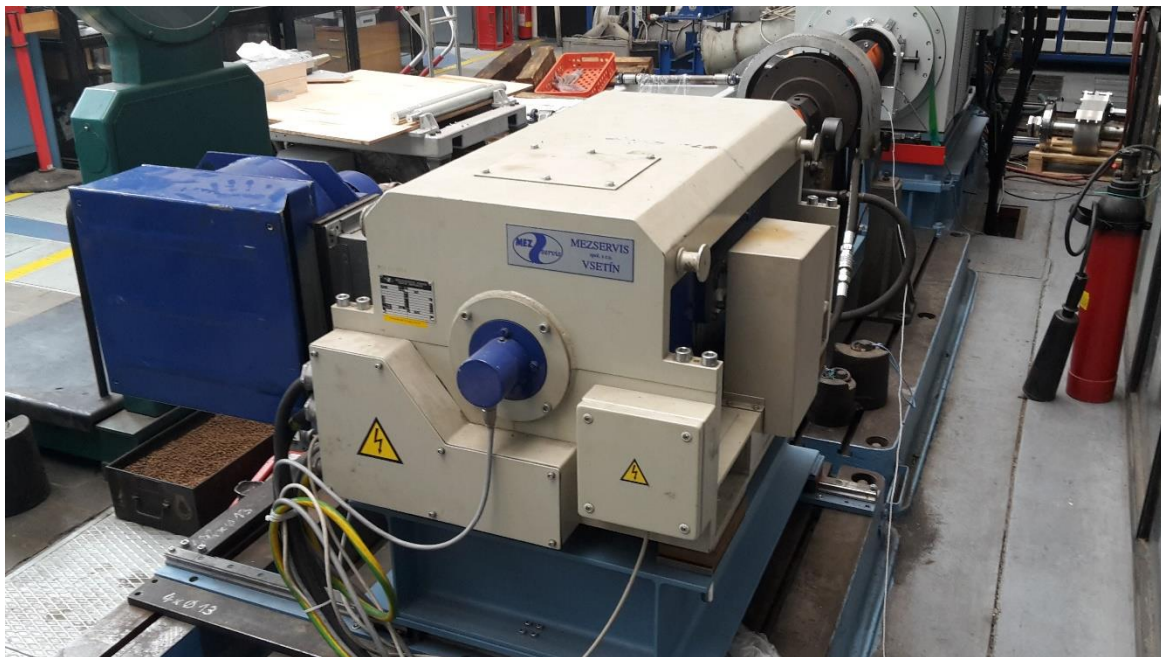
*Obrázek 13 - Ovládací pult dynamometrů SDS 200 a ASD S200*

### 3.1. Dynamometr SDS 200

Jedná se o stejnosměrný dynamometr dodavatele TES Vsetín s.r.o. o jmenovitých hodnotách dle výrobního štítku v tabulce 2. Otáčky jsou měřeny inkrementálním snímačem na pohonu dynamometru. Informace o aktuálním točivém momentu je získávána tenzometrickým snímačem, který měří velikost reakční síly na statoru stejnosměrného stroje. Dále je na stroji měřena teplota motoru.

Tabulka 2 – Nominální hodnoty dynamometru SDS 200

<b>Výkon</b>	[kW]	168	168
<b>Otáčky</b>	[ot/min]	2965	3000
<b>Moment</b>	[Nm]	541	535



Obrázek 14 – Dynamometr SDS 200 v laboratoři na Julisce

### 3.2. Dynamometr ASD S200

V tomto případě se jedná o třífázový asynchronní stroj dodavatel VUES Brno s.r.o. o nominálních hodnotách uvedených v tabulce 3. Dynamometr je osazen průchozím hřídelem se dvěma volnými konci označenými zelenou a oranžovou barvou. Otáčky výstupního hřídele jsou taktéž měřeny inkrementálním snímačem na oranžovém konci hřídele. Snímání momentu je řešeno s využitím momentového hřídele. Kromě toho je obsluze k dispozici i teplota motoru a teplota v obou ložiskách hlavního hřídele.

*Tabulka 3 – Nominální hodnoty dynamometru ASD S200*

Parametr	Jednotka	Režim generátoru			Režim motoru		
<b>Elektrický výkon</b>	[kW]	200	200	250	200	200	250
<b>Mechanický výkon</b>	[kW]	189	193	236	212	208	266
<b>Otáčky</b>	[ot/min]	1 736	7 000	1 736	1 736	7 000	1 736
<b>Moment</b>	[Nm]	1 100	273	1 375	1 100	273	1 375



*Obrázek 15 – Dynamometr ASD S200 v laboratořích na Julisce*

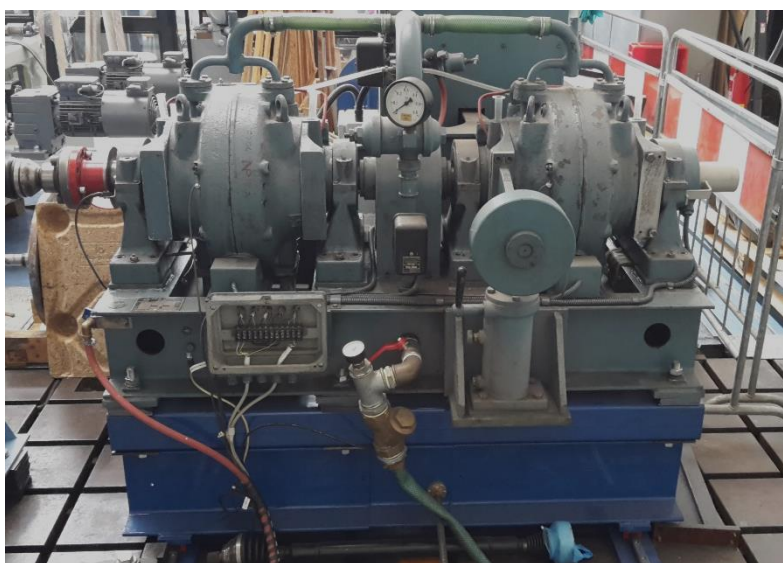
### 3.3. Dynamometr 2VD 100

Třetím dynamometrem nacházejícím se na stanovišti je vířivý dynamometr 2VD 100, jehož ovládání zatím není zahrnuto na ovládacím pultu. Tento stroj je z principu schopen vyvinout pouze moment brzdňý, nikoli hnací. Výhodou tohoto stroje jsou malé rozměry vzhledem k dostupnému výkonu. Zásadní význam má při provozu vířivé brzdy odvod ztrátového tepla, které je v tomto konkrétním případě konstrukčně řešeno vodním chlazením. Nominální hodnoty dynamometru jsou uvedeny v tabulce 4.

Buzení je v současné době zajištěno programovatelným stejnosměrným napájecím zdrojem HCS-3604. Nejmenší dosažitelný přírůstek výstupního proudu zdroje však činí pouze desetinu ampéru, což vzhledem k nominální hodnotě budícího proudu 3,8 A nenechává příliš prostoru pro regulaci. Aktuálně je tedy možné nastavovat přibližný zátěžný moment manuálním nastavením hodnoty budícího proudu přímo na zdroji. Ten se však v případě vířivé brzdy mění s otáčkami, proto je dynamometr vhodný spíše k manuálnímu měření při hladinových zkouškách.

*Tabulka 4 – Nominální hodnoty dynamometru 2VD 100*

<b>Otáčky</b>	[ot/min]	750	2 500	6 000
<b>Moment</b>	[Nm]	640	850	350
<b>Výkon</b>	[kW]	50	220	220



*Obrázek 16 – Dynamometr 2VD 100 v laboratořích na Julisce*

### 3.3.1. Programovatelný zdroj HCS-3604

Jak již bylo řečeno, jde o programovatelný stejnosměrný napájecí zdroj výrobce Manson. Rozsah nastavitelného napětí činí je 1–60 V a rozsah výstupního proudu činí 0–15 A. Nejmenší možný přírůstek napětí je desetina voltu, v případě proudu desetina ampéru. Zdroj je možné pomocí rozhraní USB připojit k počítači a s využitím primitivních programovacích příkazů s ním komunikovat. Do módu řízení počítačem zdroj přechází automaticky při navázání komunikace. V tabulce 5 jsou pro ilustraci uvedeny vybrané příkazy s popisem jejich funkce a názorným příkladem. [9]

Tabulka 5 – Vybrané příkazy pro programovatelný zdroj HCS-3604

Příkaz	Funkce	Příklad a vysvětlení
<b>VOLT&lt;napětí&gt;[CR]</b>	Nastavení požadované hodnoty napětí	VOLT127 <i>Nastavení hodnoty 12,7 V</i>
<b>CURR&lt;proud&gt;[CR]</b>	Nastavení požadované hodnoty proudu	CURR121 <i>Nastavení hodnoty 12,1 A</i>
<b>GETD[CR]</b>	Přečtení hodnot displeje a režimu konstantní proud/ konstantní napětí <napětí>???? <proud>???? <status> (0=CC, 1=CV)	Vrácená hodnota 150011001 <i>Hodnota napětí je 15 V</i> <i>Hodnota proudu je 11 A</i> <i>Zdroj je v režimu konstantního proudu</i>
<p><i>Poznámka: [CR] znamená Carriage return – synonymum pro ENTER, CC (constant current) znamená konstantní proud, CV (constant voltage) znamená konstantní napětí</i></p>		



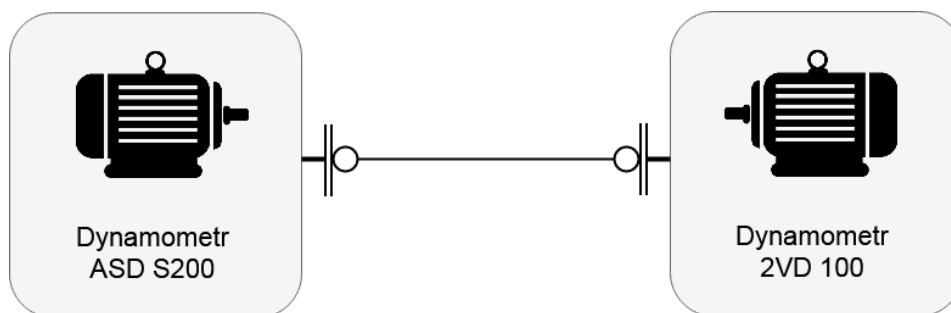
Obrázek 17 – Programovatelný napájecí zdroj HCS-3604

### 3.3.2. Experimentální ověření vnější charakteristiky dynamometru 2VD 100

Vzhledem k staršímu datu výroby a delší nečinnosti vířivého dynamometru bylo provedeno ověření jeho parametrů při maximálním budícím proudu, tedy vnější charakteristiky.

#### 3.3.2.1. Konfigurace experimentu

Schéma uspořádání stanoviště pro ověření charakteristiky je znázorněno na obrázku 18. Soustava je poháněna dynamometrem ASD S200, který je s vířivou brzdou spojen kloubovým hřídelem. Polohy os dynamometrů jsou seřizeny tak, aby úhel zalomení kloubového hřídele byl téměř nulový. Tímto opatřením lze dosáhnout nepoměrně menšího nárůstu teploty v kloubech hřídele při jeho zatížení.



*Obrázek 18 – Schéma experimentu*

#### 3.3.2.2. Průběh experimentu

Vířivý dynamometr 2VD 100 byl napájen zdrojem stejnosměrného proudu Manson HCS 3604 v manuálním režimu, kdy byla nastavena maximální hodnota budícího elektrického proudu  $I_B = 3,8 \text{ A}$  a stroj se tedy nacházel v momentové regulaci. Při nulových otáčkách byl naměřen nulový moment. Oproti tomu na dynamometru ASD S200 byla nastavena otáčková regulace a otáčky byly postupně zvyšovány s krokem 100 ot/min. Na každé hladině zatížení bylo nutné setrvat několik vteřin pro dostatečné ustálení jednotlivých parametrů. Problémy se objevily po přiblížení k hranici 2 000 ot/min, kdy začala vířivá brzda vibrovat. Po dosažení této hranice se vibrace staly neúnosnými a experiment byl proto z bezpečnostních důvodů ukončen.



### 3.3.2.3. Data experimentu

Tabulka 6 – Naměřené a vypočtené hodnoty

Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Moment [Nm]	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Moment [Nm]
100	164	1 600	624	3 100	523,67	4 600	352,91
200	258	1 700	631	3 200	507,31	4 700	345,4
300	330	1 800	636	3 300	491,93	4 800	338,2
400	384	1 900	637	3 400	477,46	4 900	331,3
500	427	2 000	638	3 500	463,82	5 000	324,68
600	462	2 100	638	3 600	450,94	5 100	318,31
700	500	2 200	639	3 700	438,75	5 200	312,19
800	522	2 300	640	3 800	427,21	5 300	306,3
900	550	2 400	640	3 900	416,25	5 400	300,63
1 000	568	2 500	641	4 000	405,85	5 500	295,16
1 100	580	2 600	624,38	4 100	395,95	5 600	289,89
1 200	590	2 700	601,25	4 200	386,52	5 700	284,8
1 300	601	2 800	579,78	4 300	377,53	5 800	279,89
1 400	616	2 900	559,79	4 400	368,95	5 900	275,15
1 500	622	3 000	541,13	4 500	360,75	6 000	270,56

Poznámka: Červeně jsou hodnoty odhadnuté a dopočtené, viz odstavec 3.3.2.4.

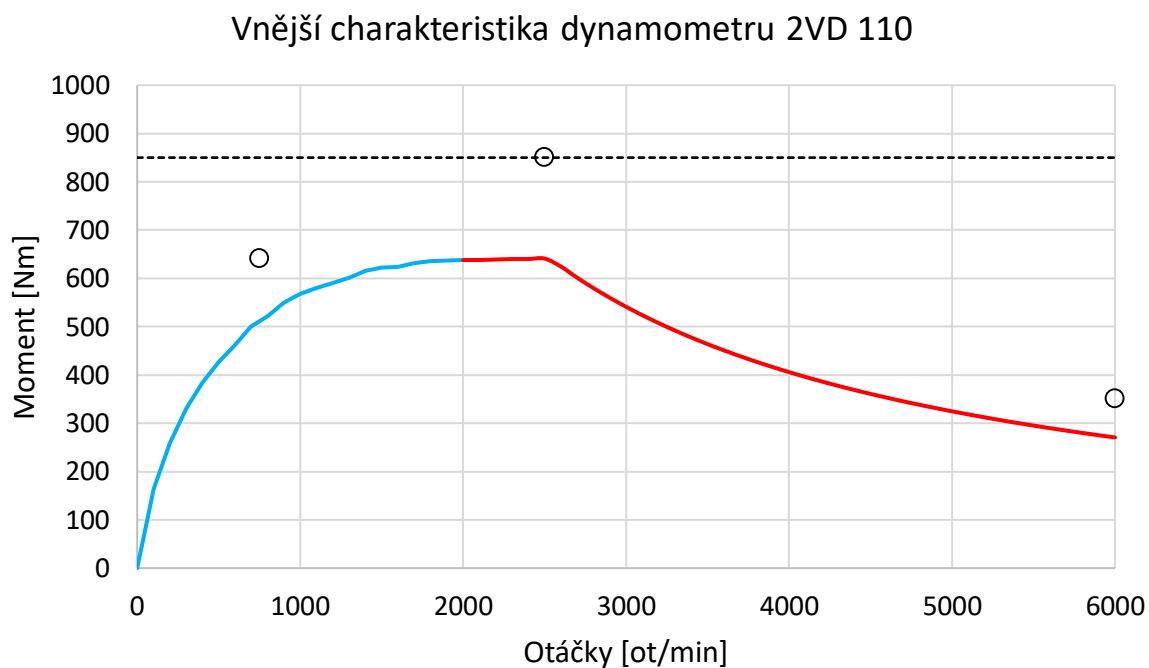
### 3.3.2.4. Výsledky experimentu

Výsledná vnější charakteristika je zobrazena na obrázku 19. Modrou souvislou čarou je znázorněna ta část, která byla reálně v průběhu zkoušky naměřena. Červenou souvislou čarou je znázorněna oblast, která z výše uvedených důvodů nemohla být naměřena. Je proto tedy v intervalu 2 000 – 2 500 ot/min odhadnuta pomocí štítkových hodnot a v intervalu 2 500 – 6 000 ot/min dopočítána na základě křivky konstantního výkonu, který se v daném okamžiku ustálil na hodnotě 170 kW. Černou přerušovanou čarou je znázorněn limit maximálního momentu a černými značkami jsou vyobrazeny jednotlivé nominální stavy podle výrobního štítku.

### 3.3.2.5. Závěr experimentu

Dle grafu na obrázku 19 je zjevné, že ani v reálně naměřeném intervalu nebylo dosaženo jmenovitých hodnot. Nebylo také dosaženo jak maximálního možného momentu, tak ani maximální možného brzděného výkonu, který by měl činit 220 kW. Navíc se na hladině přibližně 2 000 ot/min objevují nepřijatelné vibrace, které z bezpečnostního hlediska vylučují další zvyšování zátěže i otáček. Vířivá brzda tedy po delší době nečinnosti nedisponuje parametry udávanými výrobcem. Nicméně i přes tato všechna omezení dynamometr nachází

uplatnění při některých zkouškách, kdy není potřeba překračovat hranici 1 800 ot/min a brzdný moment se pohybuje pod naměřenou křivkou vnější charakteristiky. Příkladem takového měření může být například zkouška kloubového hřídele, kdy se proměřují ustálené stavy na různých hladinách zatížení a různých hodnotách úhlu zalomení.



*Obrázek 19 - Graf vnější charakteristiky dynamometru 2VD 100*

## 4. Návrh měřicího řetězce

Tato kapitola pojednává o návrhu měřicího řetězce od vlastního senzoru až po měřicí základnu realizující komunikaci s počítačem. Vzhledem k tomu, že zvolené řešení ovládání ventilátorů úzce souvisí s řešením sběru dat, je v rámci této kapitoly uvedeno taktéž.

Ke sběru dat je využíváno prostředí LabVIEW společnosti National Instruments. Vzhledem k jejich rozsáhlému sortimentu hardwarových prvků akvizice, univerzálnosti zařízení, vynikající kompatibilitě, spolehlivosti a zejména pozitivním zkušenostem s testováním převodových ústrojí motorových vozidel je kompletní sběr dat hardwarově řešen výhradně z nabídky tohoto výrobce.

Výběr měřených veličin byl zvolen na základě požadavků pro zkušební stanoviště. Návrh je tedy realizován pro měření teploty, otáček, vibrací a tlaku.

### 4.1. CompactDAQ

Pro konkrétní aplikaci na otevřeném zkušebním stanovišti na Julisce byl zvolen systém CompactDAQ. Oproti druhé variantě CompactRIO nedisponuje programovatelným hradlovým polem. To však není pro danou aplikaci potřeba, a proto zkušební stav bohatě vystačí se systémem CompactDAQ, který s sebou navíc nese značnou finanční úsporu.

CompactDAQ je řešení výrobce National Instruments určené pro snadnou integraci hardwaru realizujícího jak datový vstup, tak i výstup. V zásadě se jedná o systém složený ze šasi, do kterého je možné zapojit různý počet modulů NI C Series. Tyto moduly jsou k dispozici v různých provedeních pro analogové i digitální vstupy a výstupy.

#### 4.1.1. Základna CompactDAQ [11]

Při výběru konkrétního šasi CompactDAQ hrál největší roli počet modulových pozic. Po shrnutí požadavků na akvizici bylo zvoleno šasi cDAQ – 9178 o 8 pozicích a vysokorychlostním rozhraním USB 2.0.

Při analogovém vstupu je maximální vzorkovací frekvence omezena pouze patřičným modulem. Rozlišení časování činí 12,5 nanosekundy a přesnost 50 ppm vzorkovací frekvence. Dále základna disponuje čtyřmi čítači pro digitální vstup schopnými měřit například počet hran, periodu, frekvenci nebo šířku pulzu.



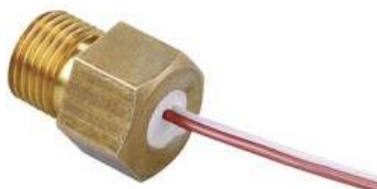
*Obrázek 20 – cDAQ - 9178*

Výběru jednotlivých modulů i s vlastními senzory se věnuje následující text, kdy je vždy řešen konkrétní měřicí řetězec vybrané veličiny.

## **4.2. Měření teploty**

Pro měření teploty na zkušebním stanovišti byly zvoleny dva druhy teplotních senzorů. Jmenovitě termočlánky a odporové senzory Pt100. Z hlediska charakteru měření (teplota oleje, oteplení skříně převodovky, teplota hydraulických okruhů, teplota ložisek a další...) na stanovišti nejsou kladeny žádné speciální nároky na citlivost, rozsah ani vysokou přesnost. Významnou roli při volbě konkrétního typu senzoru hraje v tomto případě především mechanická kompatibilita senzoru s místem měření a odolnost vůči okolnímu prostředí. Vzhledem k tomu se jako nejdostupnější řešení jeví právě termočlánky a odporová čidla Pt100, neboť na trhu je k dispozici velké množství různých pouzder a adaptérů. Na obrázku 21 je odporové teplotní čidlo Pt100 v pouzdře se závitem.

Na zkušebním stavu autor navrhuje využití termočlánků jakéhokoli běžného typu, například typu J nebo K. Pokud jde o platinové senzory, nejvhodnější je využít konfigurace čidla se čtyřmi vodiči.



*Obrázek 21 – Senzor Pt100  
v pouzdře se závitem*

#### 4.2.1. Moduly pro měření teploty

K měření teploty s využitím výše zmíněných senzorů je zapotřebí dvou samostatných měřicích modulů, které kromě dalšího plní funkci analogově-digitálního převodníku

Pro zpracování signálu termočlánků byl zvolen modul NI-9212 ve verzi s rozhraním pro konektory mini TC. Modul disponuje osmi kanály, maximální rychlostí přenosu 95 vzorků za sekundu na kanál a je možné k němu připojit jakýkoli termočlánek. Druh termočlátku je následně nastaven v rámci LabVIEW. Modul má také k dispozici vnitřní detekci teploty, tím pádem je vyřešen problém měření teploty v referenčním bodě. [12]



Obrázek 22 – NI-9212 - termočláanky

Měření teploty platinovými senzory je zpracováváno modulem NI-9216, který byl vyvinut výhradně pro měření signálu z čidel Pt100. K dispozici je na pružinovém terminálu osm kanálů. Maximální rychlost přenosu činí 400 vzorků za sekundu na kanál. Je možné zapojit konfiguraci senzoru s libovolným počtem vodičů. Velkou výhodou oproti využití levnější varianty klasického modulu pro měření odporu je skutečnost, že výstupní hodnota je přímo teplota. Není tedy potřeba dále programově převádět hodnotu odporu na teplotu. Kromě toho modul také disponuje vestavěným zdrojem elektrického proudu pro senzory, což umožňuje jednodušší instalaci. [13]



Obrázek 23 – NI-9216 – odporové senzory Pt100

### 4.3. Měření tlaku a obecného analogového vstupu

Pro měření tlaku na aparatuře hydrodynamického měniče bylo kromě stávajících ručičkových manometrů navrženo i snímání s využitím tlakového senzoru. Měření manometry je z důvodu názornosti zejména při výuce zachováno. Na základě charakteru měření, u kterého nebyl vznesen požadavek na vysokou přesnost, byly směřovatné pouze parametry rozsahu, tlakového připojení a pokud možno nízká pořizovací cena. Zmíněným kritériím vyhovuje velice dobře navržený tlakový snímač s keramickou membránou JSP D2410. Rozsah byl zvolen shodný s ručičkovým manometrem, a to 0–6 bar. Snímač je použitelný pro média do 125 °C, což poskytuje značnou rezervu, protože teplota oleje hydrodynamického měniče se pohybuje běžně okolo 50 °C. Tlakové připojení je v provedení se závitem G ½" EN 837-1/-3. Elektrické připojení je řešeno pomocí konektoru ISO 4400 se dvěma vodiči a proudovým výstupním signálem v rozmezí 4 až 20 mA. Proudový signál je vhodný zejména z důvodu menší náchylnosti k rušení. [14]



Obrázek 24 – Tlakový senzor D2410

#### 4.3.1. Moduly pro měření obecného analogového vstupu

Vzhledem k tomu, že v budoucnu je pravděpodobné další rozšíření měřicí aparatury na základě požadavků aktuálně měřené úlohy, byl navržen modul pro obecný analogový signál proudový i napěťový. S ohledem na proudový výstup dříve zmíněného tlakového snímače je napěťový modul prozatím nevyužit.

K měření proudu byl vybrán modul NI-9203 o osmi dostupných měřicích kanálech s rychlostí přenosu 25 000 vzorků za sekundu na kanál. Modul disponuje vstupním terminálem se šroubkovou svorkovnicí, není nutné tedy výstup snímače pájet. Tento modul byl zvolen z důvodu dostačujícího počtu kanálů a nižších finančních nákladů. [15]



Obrázek 25 – NI-9203 – proudový vstup

Měření napěťového signálu je prováděno modulem NI-9205, který disponuje 16 kanály při diferenčním zapojení a 32 kanály při single-end zapojení, přenosová rychlost činí rovněž 25 000 vzorků za sekundu na kanál. Tento konkrétní modul byl zvolen na základě stejných kritérií jako proudový. Počet kanálů je více než dostačující a finanční náklady jsou nižší v porovnání s ostatními variantami. Vstupní svorkovnice modulu také umožňuje zapojení snímače bez nutnosti pájení. [16]



Obrázek 26 – NI-9205 – napěťový vstup

#### 4.4. Měření otáček

Případné budoucí zkoušky na stanovišti mohou vyžadovat kromě údaje o otáčkách dynamometru i informaci o otáčkách na libovolné komponentě zkoušeného zařízení. Navíc při mechanickém propojování zkoušeného zařízení s dynamometry kloubovými hřídeli může docházet k nepatrnému rozdílu otáček dynamometru a vstupu/výstupu zkoušeného zařízení vlivem nerovnoměrnosti chodu kloubového hřídele. Například pro vyhodnocování vibrací je vhodné mít přesnější informaci o otáčkách ve zkoumaném místě. Pro měření otáček byly navrženy dva senzory pracující na odlišném principu, avšak se stejným typem výstupního signálu.

Prvním navrženým snímačem je vidlicový fotoelektrický snímač Balluff BGL001W s maximální spínací frekvencí 3 000 Hz a úrovní výstupního signálu 24 V. Vzduchová mezera vidlice činí 5 milimetrů. Senzor je typu PNP, což záleží na vnitřním obvodu snímače a typu tranzistoru použitého pro spínání a rozepínání výstupu senzoru. Tato informace je při výběru konkrétního senzoru velice důležitá, neboť senzor musí být kompatibilní s měřicím modulem aparatury. K měření je nutné osadit rotující součást měřicím kotoučem s otvory, které prochází optickou osou snímače. Vhodným zvolením počtu otvorů dojde ke značnému zjednodušení vyhodnocování měření vibrací. Tohoto cíle lze dosáhnout využitím kotouče s počtem otvorů  $2^n$ . [17]



Obrázek 27 – Fotoelektrický snímač Balluff BGL001W

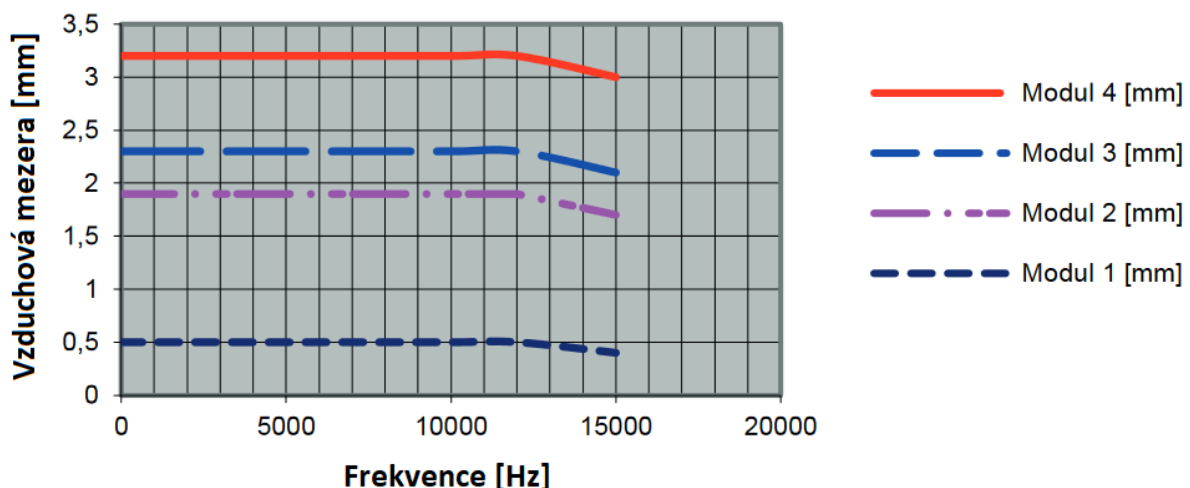


Druhou navrženou možností je Hallova sonda výrobce RheinTacho - SHP7.GN01.SC. Tento senzor typu PNP disponuje oproti předešlé variantě daleko větší spínací frekvencí, konkrétně 15 000 Hz, hodí se tedy v případě, že by měřené otáčky byly vyšší nebo by bylo zapotřebí přesnějšího údaje s využitím většího množství pulzů na otáčku. Úroveň výstupního digitálního signálu je rovněž 24 V.



Obrázek 28 – Hallova sonda výrobce RheinTacho

Místo kotouče s otvory je nutné osazení rotační součásti ozubeným kolem s určitým počtem zubů (ideálně podle stejného pravidla jako v předešlém odstavci). Velikost vzduchové mezery je závislá na hodnotě modulu ozubeného kola, její maximální hodnota je znázorněna v grafu na obrázku 29. [18]



Obrázek 29 – Vzduchová mezera v závislosti na dosažitelné frekvenci a použitém modulu

#### 4.4.1. Modul pro zpracování digitálního vstupu

Zpracování výstupního signálu senzorů otáček je realizováno modulem pro digitální vstup NI-9411 se šesti kanály. S jeho využitím lze měřit signály o úrovních 5 V, 12 V, 24 V, 5 V-TTL a RS-422. Nejmenší měřitelná perioda střídání logických úrovní činí 500 nanosekund. K dispozici je také možnost napájení senzorů skrze jednotlivé kanály do 5 V připojením stejnosměrného napájecího zdroje k příslušnému terminálu na modulu. Při zapojování senzorů je třeba správně nakombinovat konkrétní fyzický kanál s příslušným čítačem při následné konfiguraci v prostředí LabVIEW. [19]

Varianta tohoto modulu byla zvolena z důvodu co nejširší kompatibility s různými senzory a poměrně vysoké měřitelné frekvence, která umožní i velmi přesná měření při vyšších rychlostech rotace. Přes tyto vlastnosti je varianta cenově příznivá.



Obrázek 30 – NI-9411 – digitální vstup

#### 4.5. Měření vibrací

Pro měření vibrací na otevřeném zkušebním stavu byly navrženy dva konkrétní akcelerometry německého výrobce MMF. Prvním navrženým senzorem je tříosý piezoelektrický akcelerometr MMF KS943B10 pracující ve smykovém módu a využívající standard IEPE. Senzor disponuje rozsahem  $\pm 600$  g a citlivostí 10 mV/g. Výstup senzoru je rozdělen do třech větví, které reprezentují signály ve třech měřených osách. Pro následující zpracování to znamená, že jeden senzor obsadí tři fyzické kanály na měřicím modulu. Tento konkrétní senzor byl zvolen na základě vhodného rozsahu měření pro aplikaci při testování převodových ústrojí motorových vozidel, všestrannosti využití snímače díky sběru dat ve třech osách a nižším finančním nákladům ve srovnání s ostatními konkurenčními výrobci. [20]



*Obrázek 31 – Tříosý akcelerometr výrobce MMF*

Druhým zvoleným senzorem je jednoosý piezoelektrický akcelerometr MMF KS77C10 od stejného výrobce. Snímač rovněž využívá standardu IEPE a pracuje ve smykovém módu. Rozsah i citlivost snímače jsou totožné s tříosou variantou. Oproti předchozí hliníkové variantě je kryt tohoto senzoru z nerezové oceli. [21]



*Obrázek 32 – Jednoosý akcelerometr výrobce MMF*

#### 4.5.1. Modul pro zpracování měření vibrací

Ke zpracování signálu z akcelerometrů byl navržen modul NI-9234, který má k dispozici 4 kanály s rozhraním BNC, a tedy je schopný realizovat měření z právě jednoho tříosého a jednoho jednoosého akcelerometru. Zpracovávaný analogový signál se může pohybovat v rozsahu  $\pm 5$  V, k přetížení by došlo po překročení mezí  $\pm 30$  V. Přenosová rychlost modulu činí 51 200 vzorků za sekundu na kanál. Senzory jsou v případě připojení k modulu napájeny proudem 2 mA. [22]

Tato varianta byla zvolena na základě dostačujícího počtu fyzických kanálů, vysoké přenosové rychlosti a ve srovnání s dalšími dostupnými variantami v sortimentu nižší pořizovací ceny.



Obrázek 33 – NI-9234 - vibrace

#### 4.6. Modul digitálního výstupu – ovládání chladicích ventilátorů

Vzhledem k řešení sběru dat kompletně s využitím systému CompactDAQ bylo k ovládání ventilátorů navrženo řešení se zmíněným systémem kompatibilní. K ovládání jednotlivých ventilátorů byl navržen modul NI-9482, který funguje jako elektromechanické relé. Modul disponuje čtyřmi kanály a pracuje přímo se střídavým napětím 230 V. Díky tomu je zjednodušena doplňková elektroinstalace ventilátorů. Toto řešení bylo zvoleno na základě jednoduché manipulace v rámci LabVIEW, kdy se stavy ventilátorů pracuje jako s digitálním výstupem. Kromě toho se jedná o cenově příznivou variantu, pokud se vezme v potaz možnost potenciální automatizace spínání například na základě překročení teploty v určitém místě zkoušeného zařízení. Počet ventilátorů zatím nebyl stanoven, neboť závisí na konkrétní měřené úloze, proto je modul zatím neosazen. [23]



Obrázek 34 – NI-9482 relé modul

#### 4.7. Shrnutí měřicího řetězce

V následující tabulce je uveden kompletní výčet osazeného systému CompactDAQ. Pro pozdější doplnění je v základně ještě k dispozici jedna neobsazená pozice. V případě napěťového modulu označení SE znamená single-end a DIF představuje diferenční zapojení.

Tabulka 7 – Shrnutí měřicího řetězce

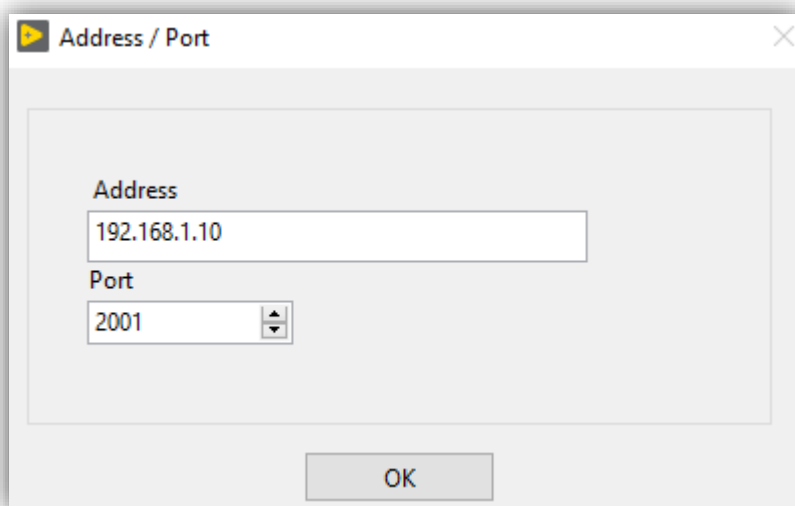
Pořadí modulu	Označení modulu	Určení modulu	Počet kanálů	Počet obsazených kanálů	Připojené senzory
1	NI-9212	Termočlánky	8	6	Termočlánky typu J a K
2	NI-9216	Odporové senzory Pt100	8	6	Pt100
3	NI-9203	Proudový signál	8	2	JSP D2410, tlakový senzor 0-6 bar
4	NI-9205	Napěťový signál	32 SE nebo 16 DIF	0	-
5	NI-9411	Digitální vstup - otáčky	6	2	2x Fotoelektrický senzor Balluff BGL001W
6	NI-9234	Vibrace	4	4	1x MMF KS943B10, 1x MMF KS77C10
7	NI-9482	Relé	4	0	-

## 5. Čelní panel a funkce programu

Tato kapitola pojednává o uživatelském ovládní navržené aplikace LabView, jejích funkcích a vlastnostech. Zároveň může posloužit jako návod obsluze zkušebního stanoviště.

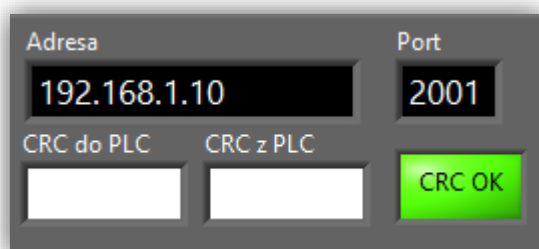
### 5.1. Úvodní část

Po spuštění programu je nejprve nutné zadat do dialogového okna adresu a port pro komunikaci s hlavní řídicí jednotkou dynamometrů dle následujícího obrázku.



Obrázek 35 – Dialogové okno – adresa a port

V případě správného zadání údajů je navázána komunikace a celý zbytek programu je spuštěn. Pro ověření je vhodné ještě zkontrolovat kontrolku cyklického redundantního součtu ve svrchní části čelního panelu, pokud svítí, nedochází při komunikaci k potížím.

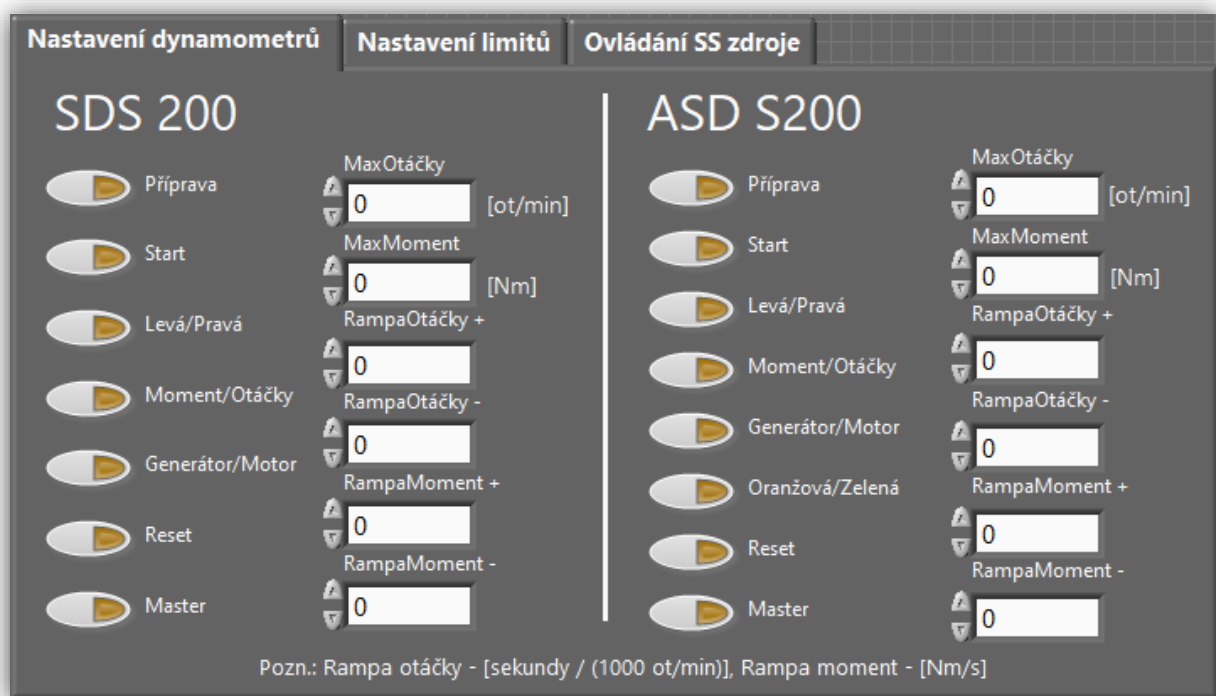


Obrázek 36 – Indikátor komunikace a kontrolka CRC

## 5.2. Ovládání

Dynamometry ASD S200 a SDS 200 lze ovládat dvěma způsoby – manuálně a automaticky. Dynamometr 2VD 100 je možné ovládat pouze manuálně, a navíc nepřímo s využitím programovatelného zdroje stejnosměrného proudu Manson HCS-3604 zadáním hodnoty budícího elektrického proudu. Velikost budícího proudu je možné zadávat v navržené aplikaci na čelním panelu v záložce „Ovládání SS zdroje“. V této části textu je věnována pozornost jen dvojici strojů ASD S200 a SDS 200 a jejich řízení výhradně z aplikace LabView.

Před zahájením provozu je nutné nastavit limity pro řídicí jednotku v záložce „Nastavení dynamometrů“. Kromě toho jsou také k dispozici programové limity, o kterých bude řeč v následujících odstavcích. Standardně jsou obě sady limit již přednastaveny na tovární hodnoty.



Obrázek 37 – Záložka nastavení dynamometrů



Na pravé straně dle obrázku 38 jsou k dispozici indikátory chodu dynamometru informující uživatele o momentálním režimu a stavu strojů.



Obrázek 38 – Indikátory chodu dynamometrů

V následujících tabulkách jsou vysvětlena označení a funkce jednotlivých ovladačů a indikátorů.

Tabulka 8 – Řídící signály dynamometrů

Řídící signály			
Název	Název proměnné	Logická "1"	Logická "0"
<b>Dynamometr SDS 200</b>			
Příprava	<i>ExcitationOn</i>	Příprava start	Příprava stop
Start	<i>DriveOn</i>	Dynamometr start	Dynamometr stop
Levá/Pravá	<i>Left_Right</i>	Směr vlevo	Směr vpravo
Moment/Otáčky	<i>Torque_Speed</i>	Momentová regulace	Otáčková regulace
Generátor/Motor	<i>Brake_Motor</i>	Režim generátor	Režim motor
Reset	<i>Reset</i>	Nulování poruchy	-
Master	<i>MasterControl</i>	Ovládání z LabView	Ovládání z pultu
<b>Dynamometr ASD S200</b>			
Příprava	<i>InfeedOn</i>	Příprava start	Příprava stop
Start	<i>DriveOn</i>	Dynamometr start	Dynamometr stop
Levá/Pravá	<i>Left_Right</i>	Směr vlevo	Směr vpravo
Moment/Otáčky	<i>Torque_Speed</i>	Momentová regulace	Otáčková regulace
Generátor/Motor	<i>Brake_Motor</i>	Režim generátor	Režim motor
Oranžová/Zelená	<i>Orange_Green</i>	Oranžová hřídel	Zelená hřídel
Reset	<i>Reset</i>	Nulování poruchy	-
Master	<i>MasterControl</i>	Ovládání z LabView	Ovládání z pultu

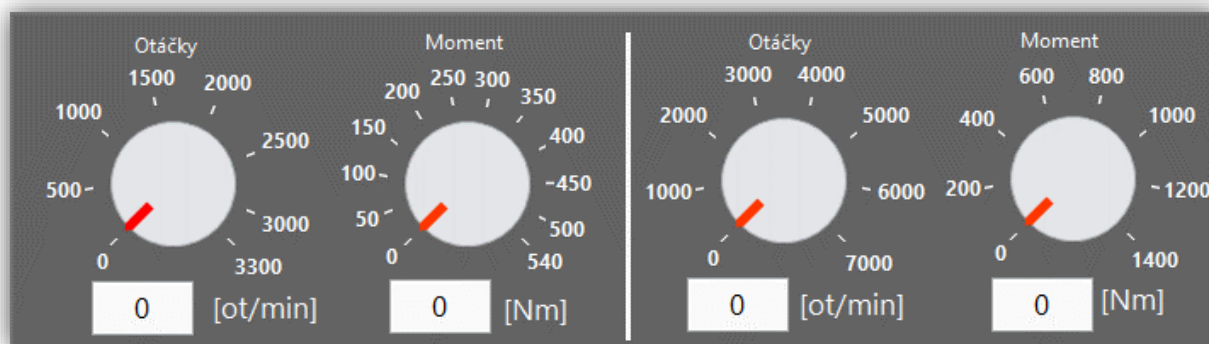
*Tabulka 9 – Stavové signály dynamometrů*

<b>Stavové signály</b>			
<b>Název</b>	<b>Název proměnné</b>	<b>Logická "1"</b>	<b>Logická "0"</b>
<b>Dynamometr SDS 200</b>			
Napájení	<i>ExcitationRun</i>	Buzení zapnuto	Buzení vypnuto
Připraveno	<i>DriveReady</i>	Dynamometr připraven	Dynamometr není připraven
Nastartováno	<i>DriveRun</i>	Dynamometr v chodu	Dynamometr zastaven
Vlevo	<i>DriveLeft</i>	Směr vlevo	Směr vpravo
Momentová regulace	<i>DriveTorque</i>	Momentová regulace	Otáčková regulace
Režim generátoru	<i>DriveBrake</i>	Režim generátor	Režim motor
Chyba	<i>Fault</i>	Porucha měniče	Bez poruchy
Alarm	<i>Alarm</i>	Výstraha měniče	Bez výstrahy
MaxOtáčky	<i>AtMaxSpeed</i>	Dosaženy maximální otáčky	Otáčky nižší než maximální
MaxMoment	<i>AtMaxTorque</i>	Dosažen maximální moment	Moment nižší než maximální
<b>Dynamometr ASD S200</b>			
Napájení	<i>InfeedRun</i>	Napájecí jednotka v chodu	Napájecí jednotka zastavena
Připraveno	<i>DriveReady</i>	Dynamometr připraven	Dynamometr není připraven
Nastartováno	<i>DriveRun</i>	Dynamometr v chodu	Dynamometr zastaven
Vlevo	<i>DriveLeft</i>	Směr vlevo	Směr vpravo
Momentová regulace	<i>DriveTorque</i>	Momentová regulace	Otáčková regulace
Režim generátoru	<i>DriveBrake</i>	Režim generátor	Režim motor
Oranžová hřídel	<i>WheelOrange</i>	Oranžová hřídel	Zelená hřídel
Chyba	<i>Fault</i>	Porucha měniče	Bez poruchy
Alarm	<i>Alarm</i>	Výstraha měniče	Bez výstrahy
MaxOtáčky	<i>AtMaxSpeed</i>	Dosaženy maximální otáčky	Otáčky nižší než maximální
MaxMoment	<i>AtMaxTorque</i>	Dosažen maximální moment	Moment nižší než maximální

Pro uvedení stanoviště do provozu je nejprve nutné na panelu zapnout hlavní jističe pomocí klíče a na displeji řídicí jednotky vymazat případné chyby. Veškeré další ovládání lze provádět již v dodaném programu.

Po stisknutí tlačítka *Master* je aktivováno řízení z aplikace LabView. Dále se zapne příprava a před dalšími úkony je nutné několik vteřin počkat. Nyní lze již dynamometry nastartovat stisknutím tlačítka „Start“ a nastavit směr otáčení a další režimy provozu.

V tuto chvíli je vhodná doba na volbu mezi manuálním a automatickým řízením. Pokud uživatel zamýšlí manuální ovládání, zbývá už jen s využitím patřičných ovladačů nastavit požadované otáčky a moment obou strojů.



Obrázek 39 – Ovládací prvky dynamometrů (na čelním panelu i s označením stroje)

### 5.3. Automatické ovládání

Pokud uživatel zamýšlí řízení stanoviště v automatickém režimu, a tedy v režimu jízdního cyklu, je nutné mít připravený odpovídající soubor vstupních dat. Jízdní cyklus lze velmi dobře nadefinovat v tabulkovém editoru MS Excel. Velice důležité je soubor uložit v textovém formátu s tabulátorem oddělenými sloupci. Tato možnost je v tabulkovém editoru standardně k dispozici.

Původní cíl práce bylo implementování řízení dynamometrů pomocí hladinových jízdních cyklů. Proto je nyní v programu zatím nastaven krok jízdního cyklu 1 000 milisekund a tuto skutečnost je nutné při tvorbě jízdního cyklu zohlednit. Nicméně v průběhu vývoje se podařilo implementovat takové řešení, které umožňuje provozovat kromě hladinových i dynamické jízdní cykly s krokem až 50 milisekund. Avšak k jejich reálnému užívání na zkušebním stavu je potřeba program ještě upravit.

Syntaxi souboru vstupních dat je nutné dodržet podle následující tabulky, záhlaví nesmí být součástí souboru. Čas v prvním sloupci v současné době nehraje příliš významnou roli v blokovém diagramu aplikace, je spíše pro lepší orientaci uživatele, který jízdní cyklus vytváří.

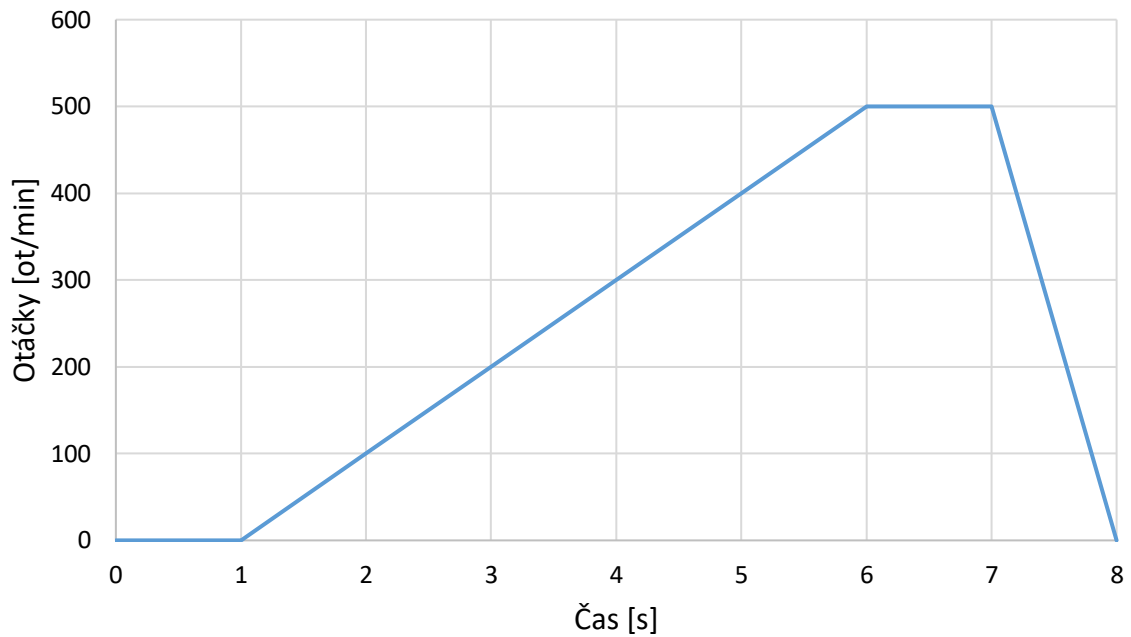
Vzhledem k tomu, že je vždy možné řízení v rámci otevřeného zkušebního stavu v režimu otáčkové regulace na jednom dynamometru a v režimu momentové regulace na druhém, mohou být zbývající sloupce vyplněny libovolnými čísly. V následujícím příkladu je zvolena nula. Existence těchto sloupců je přes jejich nepodstatnost z důvodu zachování velikosti načítaného pole nutnou podmínkou.

*Tabulka 10 – Vzor vstupního souboru dat jízdního cyklu*

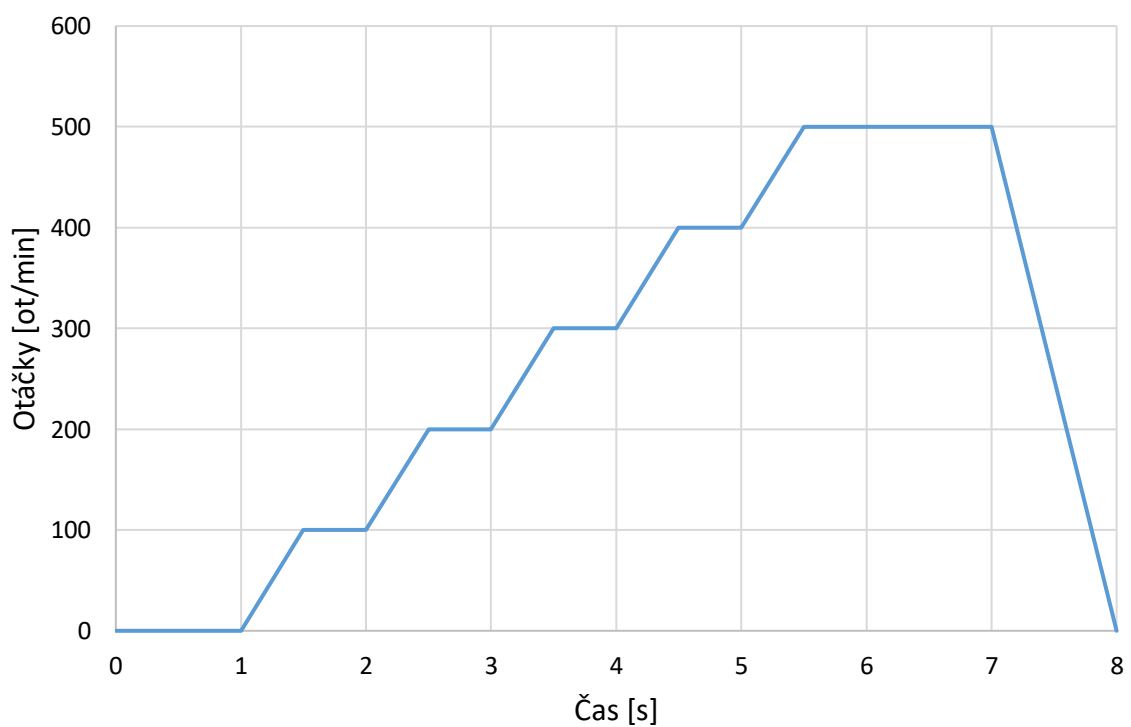
<b>Čas</b>	<b>Otáčky SDS 200</b>	<b>Moment SDS 200</b>	<b>Otáčky ASD S200</b>	<b>Moment ASD S200</b>
[s]	[ot/min]	[Nm]	[ot/min]	[Nm]
0	0	0	0	0
1	100	0	0	20
2	200	0	0	40
3	300	0	0	60
4	400	0	0	80
5	500	0	0	100
6	500	0	0	100

Protože aktuální verze aplikace pracuje pouze s otáčkami a momentem, je nutno zvolit před započítáním jízdního cyklu konstantní rampu obou parametrů v obou směrech. Jejím vhodným zkombinováním se vstupními daty jízdního cyklu lze dosáhnout plynulých přechodů mezi jednotlivými zátěžovými hladinami. Jako příklad je uveden časový průběh otáček jízdního cyklu z předchozí tabulky při dvou různých vzestupných otáčkových rampách a stejných sestupných rampách (obrázek 40 a 41).

Po načtení cyklu aplikací je k dispozici na čelním panelu náhled cyklu v podobě časových závislostí obou zadávaných parametrů, který slouží zejména ke kontrole správnosti vstupních dat. Následně stačí již stisknout tlačítko „Cyklus START“. Cyklus je možné ukončit předčasně opětovným stisknutím tohoto tlačítka.



Obrázek 40 – Časový průběh otáček dynamometru při vzestupné rampě 10 s/(1 000 ot/min)



Obrázek 41 – Časový průběh otáček dynamometru při vzestupné rampě 5 s/(1 000 ot/min)

## 5.4. Bezpečnost provozu na zkušebním stanovišti [7]

Se zvyšujícím se stupněm automatizace stanoviště je nutné zohlednit i bezpečnostní rizika, která tato inovace přináší. Jako příklad možného rizika ze strany softwaru lze uvést selhání aplikace LabView, selhání operačního systému, nečekaná aktualizace operačního systému a další. V průběhu měření je i potenciálně možné poškození zkoušeného aparátu. V nejhorším případě může dojít k ohrožení zdraví nebo života osob přítomných měření.

Pro výše uvedené situace jsou připravena opatření, která by měla odvrátit hrozbu nebo přinejmenším minimalizovat dopady nežádoucího stavu na zkušebním stanovišti. Existují dvě možná nouzová vypnutí zkušebního stavu. Obsluha stanoviště tedy musí tyto stavy rozlišit a provést patřičné úkony.

### 5.4.1. Ztráta kontroly nad stanovištěm

V případě, že dojde ke ztrátě kontroly nad řízením zkušebního stanoviště (jakákoli výše uvedená softwarová chyba) a je potřeba provoz ukončit, avšak není bezprostředně ohroženo zdraví ani komponenty zkušebního stavu, je na ovládacím pultu k dispozici mechanické tlačítko „Dynamometr stop“. Toto tlačítko je aktivní i v případě řízení stanoviště pomocí aplikace LabView.

Po vybavení tlačítka „Dynamometr stop“ u stroje SDS 200 dojde v případě, že je dynamometr v otáčkové vazbě, k postupnému zastavení podle nastavené sestupné rampy. Pokud je stroj v momentové vazbě, dojde k okamžitému odpojení napájení a volnému doběhu dynamometru.

Při stisknutí tlačítka „Dynamometr stop“ u stroje ASD S200 dochází v případě otáčkové vazby k postupnému zastavení podle sestupné rampy. Pokud je stroj regulován momentově, dojde k okamžitému zablokování tranzistorů měniče kmitočtu a volnému doběhu.

### 5.4.2. Kritický stav

Kritickým stavem může být situace, kdy dojde k závažné poruše ovládní nebo k očividné závažné poruše zkoušeného zařízení. V horším případě hrozí bezprostřední nebezpečí zdravotní újmy osob přítomných zkoušce nebo je dokonce ohrožen jejich život. Jedná se tedy o situaci, kdy je irelevantní, zda bude zkoušené zařízení případně dále poškozeno zvýšenou zátěží a je žádoucí okamžité zastavení provozu stanoviště.

Ve výše zmíněném případě je k dispozici hřibové tlačítko nouzového zastavení umístěné na ovládacím pultu i přímo na vlastních dynamometrech. Toto tlačítko se vztahuje k oběma dynamometrům.

Pokud je stroj regulován otáčkami, dochází k řízenému zastavení aktivním brzdícím momentem. V situaci, kdy je stroj řízen momentově, dochází k okamžitému zablokování výstupních tranzistorů měniče a volnému doběhu systému. Doba doběhu je závislá na setrvačných hmotách a pasivních odporech.



*Obrázek 42 – Hřibové tlačítko nouzového zastavení*

## 5.5. Akvizice

Sběr dat je v aplikaci řešen několika způsoby a lze jej tedy rozdělit na několik částí. Liší se vlastním principem akvizice, vzorkovací frekvencí nebo zpracováním dat před jejich zobrazením uživateli na čelním panelu programu.

### 5.5.1. Analogová akvizice – stavové veličiny

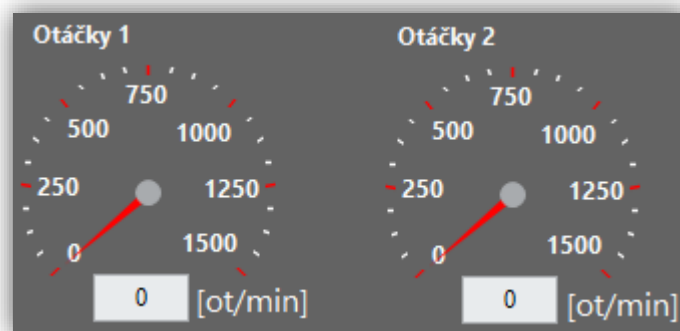
V rámci této části jsou získávána data o teplotě a tlaku. V aplikaci je připraveno šest vstupů pro teplotní senzory Pt100, šest vstupů pro termočlánky a dva pro tlakové senzory. Sběr dat tlaku je připraven pro tlakové senzory snímající tlak v olejovém okruhu aparatury hydrodynamického měniče.

Vlastní akvizice probíhá se vzorkovací frekvencí 1 kHz, data jsou v akviziční smyčce následně každých 100 milisekund zprůměrována a zobrazena uživateli v indikátorech na čelním panelu aplikace.

### 5.5.2. Digitální akvizice – otáčky

Pomocí dodané aplikace je dále možné získávat data o otáčkách dvou libovolných komponent zkoušeného zařízení, které lze osadit měřicím kotoučem s otvory nebo zuby. Měření je prováděno čítačem, který zaznamenává průchody otvorů optickou osou snímače, resp. průchody výstupků přes indukční snímač nebo Hallovu sondu.

Princip měření spočívá v načtení 5 vzorků ze zásobníku a poté jejich zprůměrování a zobrazení uživateli v odpovídajících indikátorech. Na základě tohoto faktu je zjevné, že vlastní vzorkovací frekvence měření otáček roste s rostoucími otáčkami.

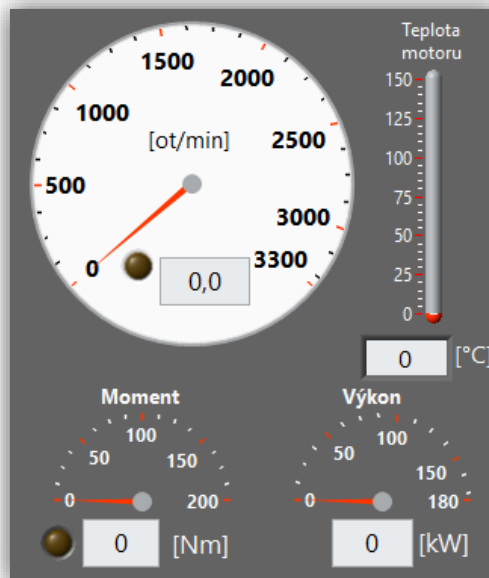


Obrázek 43 – Otáčkoměry na čelním panelu akvizice aplikace



### 5.5.3. Sběr dat pomocí řídicí jednotky dynamometrů

Touto cestou jsou získávána data o jednotlivých parametrech dynamometrů. Výčet všech veličin měřených tímto způsobem je uveden v tabulce 11. Frekvence obnovování dat na čelním panelu přímo souvisí s délkou trvání hlavní ovládací smyčky dynamometrů. Ta probíhá s frekvencí nejvýše 50 Hz, ve standardní případech však činí zhruba 40 Hz, při vytížení systému i méně.



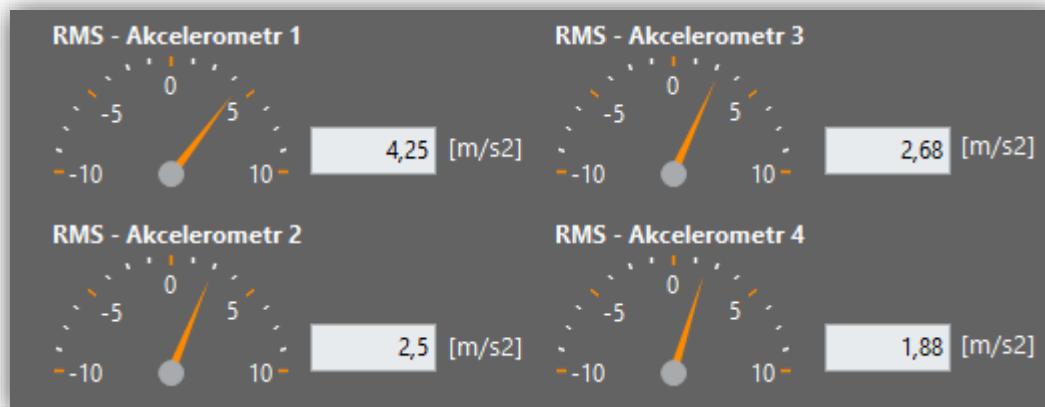
Obrázek 44 – Panel indikátorů měřených veličin dynamometru SDS 200

Tabulka 11 – Výčet veličin získávaných s využitím řídicí jednotky dynamometrů

SDS 200	ASD S200	2VD 100
Otáčky	Otáčky	Otáčky
Moment	Moment	Moment
Výkon (dopočítáván)	Výkon (dopočítáván)	Výkon (dopočítáván)
Teplota motoru	Teplota motoru	
	Teplota zeleného ložiska	
	Teplota oranžového ložiska	

### 5.5.4. Analogová akvizice – vibrace

Vibrace jsou na zkušebním stanovišti vyhodnocovány zvláště a z důvodu vyšších nároků na výkon počítače je měření aktivováno na vyžádání uživatele po stisknutí odpovídajícího tlačítka. Primární výstup měření je zrychlení akcelerometru, které je poté v rámci aplikace zpracováno. Vzorkovací frekvence sběru dat z akcelerometrů je 12,8 kHz. Každou sekundu je poté spočtena efektivní hodnota vibrací RMS – Root Mean Square, která je zobrazena uživateli v indikátorech na čelním panelu programu. Kromě toho je na data aplikována i rychlá Fourierova transformace, která hodnoty přenesse z časové do frekvenční oblasti. Tyto jsou následně zobrazeny graficky.



Obrázek 45 – Indikátory efektivní hodnoty vibrací v odpovídající záložce na čelním panelu

### 5.6. Zápis dat do souboru

#### 5.6.1. Celkový zápis akvizice

V rámci tohoto zápisu jsou ukládána všechna data z analogové akvizice stavových veličin (odstavec 5.5.1.), otáčky měřené pomocí digitálního modulu (odstavec 5.5.2.) a momenty a otáčky všech dynamometrů získané s využitím jejich hlavní řídicí jednotky (odstavec 5.5.3.). Z vibrací je tímto způsobem ukládána efektivní hodnota zrychlení RMS. Všechna data jsou ukládána každých 500 milisekund.

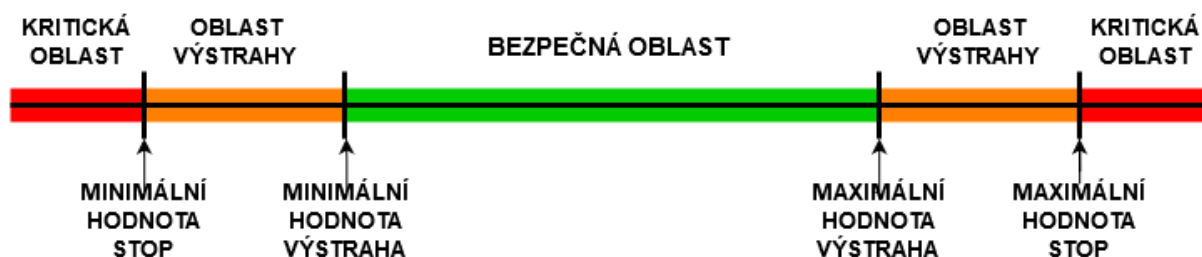
Vlastní zápis dat je zahájen po zadání požadované cesty uložení výstupního souboru a stisknutí tlačítka „Zápis dat“. Poté proces probíhá kontinuálně, nezávisle na zbytku programu a je ukončen opětovným stiskem tlačítka zápisu. Tento způsob je oproti metodě ukládání dat do dočasné paměti výhodný, neboť je takto eliminováno riziko ztráty naměřených dat při pádu aplikace.

### 5.6.2. Zázpis dat z akcelerometrů

Ukládání dat vibrací je oproti předchozímu způsobu odlišné. V průběhu měření jsou v dočasné paměti standardně uložena surová data zrychlení za posledních 10 vteřin, délku tohoto úseku je však možné změnit. Po stisknutí tlačítka zázpisu vibrací v odpovídající záložce na čelním panelu je celý tento úsek uložen do jednoho souboru. Vzhledem k vysoké vzorkovací frekvenci je soubor značně obsáhlý, standardní úsek deseti sekund měření v souboru čítá 128 000 řádků.

### 5.7. Kontroly překročení limitních hodnot

Pro zvýšení bezpečnosti jak běžného, tak samočinného chodu stanoviště jsou implementovány kontroly překročení limitních hodnot vybraných parametrů. Pro každý parametr jsou nadefinovány čtyři hodnoty dle obrázku 46.



Obrázek 46 – Ilustrace limitních hodnot

Pokud se parametr dostane do oranžového pole oblasti výstrahy, je u patřičného indikátoru na čelním panelu aplikace rozsvícena oranžová LED kontrolka. V této chvíli program zatím nijak do chodu stanoviště nezasahuje.

Pokud se ovšem parametr dostane do červeného pole kritické oblasti, je spuštěn akustický signál alarmu a aktivován indikátor alarmu, případný jízdní cyklus je přerušen a dynamometry SDS 200 a ASD S200 jsou odstaveny automatickým vybavením tlačítka „Dynamometr stop“ (viz. odstavec 5.4.1.). V případě překročení limitu teploty je rozsvícena ještě červená kontrolka u odpovídajícího indikátoru. Dále je uživateli také zobrazena chybová hláška s informací o důvodu zastavení stanoviště. Po přijetí hlášky jsou kontroly parametrů vypnuty, aby měl uživatel dostatečný prostor pro řešení situace v rámci aplikace. Pokud se obsluha rozhodne stanoviště znovu spustit, je potřeba kontroly opět zapnout stisknutím tlačítka „Zapnout ochranu“, zároveň se rozsvítí kontrolka ochrany a zkušební stav je nadále již

opět monitorován. Akustický signál alarmu je možné vyzkoušet stisknutím tlačítka „Zkouška alarmu“, v tomto případě k deaktivování ochrany nedochází.

Standardně jsou limity nastaveny tak, aby nemohly být v reálném provozu překročeny a tím pádem jsou tedy deaktivovány. Změnu jejich nastavení lze provést za chodu aplikace na čelním panelu v záložce dle obrázku 47. Po vyplnění požadovaných hodnot je nutné hodnoty uložit. Uživatel je následně informován o úspěšném přijetí nového nastavení.



		Minimální hodnota STOP	Minimální hodnota VÝSTRAHA	Maximální hodnota VÝSTRAHA	Maximální hodnota STOP
Uložit					
SDS MOMENT	[Nm]	-10000	-9999	9999	10000
SDS OTÁČKY	[ot/min]	-10000	-9999	9999	10000
ASD MOMENT	[Nm]	-10000	-9999	9999	10000
ASD OTÁČKY	[ot/min]	-10000	-9999	9999	10000
PT100 1	[°C]	-10000	-9999	9999	10000
PT100 2	[°C]	-10000	-9999	9999	10000
TC 1	[°C]	-10000	-9999	9999	10000
TC 2	[°C]	-10000	-9999	9999	10000

Obrázek 47 – Záložka nastavení limitních hodnot

## 6. Blokový diagram

Tato kapitola pojednává o jednotlivých částech blokového diagramu, vysvětluje jejich roli a popisuje vztahy mezi jednotlivými smyčkami programu. Části blokového diagramu, které nejsou příliš prostorově náročné, jsou zobrazeny přímo v textu. U obsahově náročnějších částí autor doporučuje vyhledání příslušné oblasti v celkovém blokovém diagramu, který je k práci přiložen ve velkém rozlišení, případně využití přímo LabView. Mimo jiné následující text může posloužit i jako podklad dalším zájemcům o následnou práci s programem, jeho úpravy a jakékoli doplnění, které bude aktuální měřená konfigurace vyžadovat.

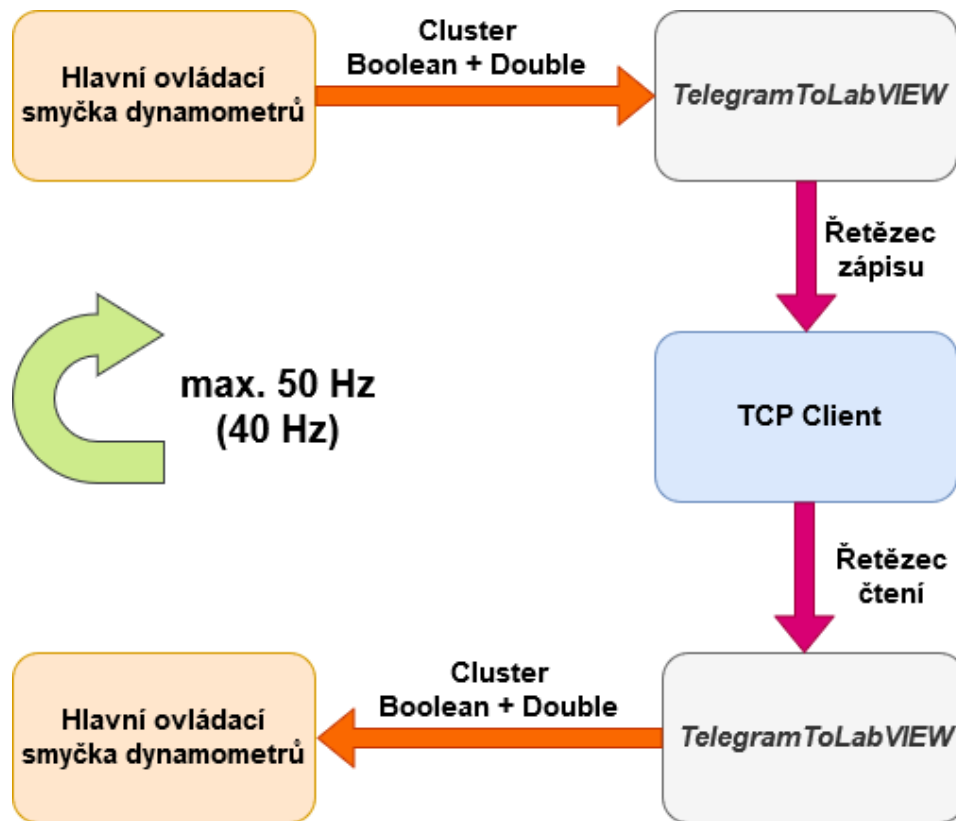
Při startu program začíná dotazem na uživatele, který pomocí dialogového okna vloží patřičnou adresu a port pro komunikaci s řídicí jednotkou ovládacího pultu zkušebního stanoviště. V případě, že jsou adresa a port zadány správně, je spuštěna komunikace pomocí TCP (Transmission Control Protocol) a spouští se celý zbytek blokového diagramu, který je touto akcí podmíněn. Pokud by došlo k chybnému zadání požadovaných dat nebo selhalo navázání komunikace, program zobrazí chybovou hlášku a je zastaven.

### 6.1. Hlavní ovládací smyčka dynamometrů

Veškeré ovládání dynamometrů se děje v rámci hlavní ovládací smyčky, kterou představuje cyklus *While* o frekvenci maximálně 50 Hz. Reálně dosažitelná a ověřená frekvence však činí zhruba 40 Hz. V této smyčce jsou deklarovány všechny proměnné týkající se dynamometrů, ať už se jedná o dvouhodnotové ovladače, numerické ovladače, či dvouhodnotové a numerické indikátory.

Komunikace s hlavní řídicí jednotkou dynamometrů je v principu jednoduchá a probíhá na bázi textového řetězce. Každou iteraci cyklu jsou ze všech ovladačů načteny hodnoty, ze kterých je následně sestaven *Cluster* (datový typ podobný poli, nicméně se schopností pracovat s různými datovými typy jednotlivých prvků). Tento výstupní *Cluster* je předán podprogramu *TelegramFromLabVIEW*.

Zmíněný podprogram převede všechny numerické vstupy na datový typ řetězec a logické vstupy převede na pole čísel, a ta poté také na datový typ řetězec. Ze všech řetězců je následně složen jeden celkový řetězec zápisu.



Obrázek 48 – Schéma komunikace LabVIEW s řídicí jednotkou dynamometrů

Výsledný řetězec zápisu je následně předán podprogramu *TCP Client*, který zajistí zapsání do hlavní řídicí jednotky dynamometrů. Následuje získání celkového řetězce čtení z hlavní řídicí jednotky, který tvoří jeden z výstupů podprogramu.

Analogickým principem je řetězec zpracován v podprogramu *TelegramToLabVIEW*, kdy je rozdělen na části odpovídající jednotlivým proměnným, převeden na patřičné datové typy a ve formě *Clusteru* předán hlavní ovládací smyčce. V té je *Cluster* rozbalen a hodnoty předány odpovídajícím indikátorům na čelním panelu. Tímto je ukončena jedna iterace a cyklus přechází do další. Celý proces je graficky znázorněn na obrázku 48.

Veškerá komunikace je chráněna cyklickým redundantním součtem, což je metoda používaná k detekci chyb při přenosu dat vlivem technického selhání a nepřesnosti dílčích zařízení. Před odesláním dat je připojen kontrolní součet. Po převzetí je nezávisle na vstupu znovu spočten a pokud se součty shodují, není téměř pochyb o bezchybném přenosu. V případě, že svítí kontrolka cyklického redundantního součtu na čelním panelu, komunikace probíhá bez potíží.

## 6.2. Smyčka jízdních cyklů

V rámci vnější smyčky *While* jízdních cyklů s periodou 100 milisekund je deklarován ovladač *Radio Buttons*, který disponuje vlastností, že pouze jedna jeho proměnná může a zároveň musí nabývat hodnoty TRUE. V praxi to tedy znamená, že pokud uživatel na čelním panelu zvolí jednu z proměnných, aktuálně aktivní proměnná přejde do stavu FALSE automaticky. Této skutečnosti lze dobře využít v případě výběru jízdního režimu. Uživatel volí mezi manuálním a automatickým režimem v módu otáčky – moment (otáčková regulace na levém dynamometru SDS 200, momentová regulace na pravém dynamometru ASD S200) nebo v módu moment – otáčky, kdy je regulace právě opačně. Po zvolení požadovaného režimu je aktivována patřičná struktura *Case*. Druhým nutným vstupem pro strukturu *case* v případě automatického režimu je cesta k souboru se vstupními daty jízdního cyklu. Struktura tohoto souboru je podrobněji popsána v kapitole 5.3 pojednávající o funkci dodaného programu.

### Manuální režim

Ve struktuře manuálního režimu neprobíhá kromě deaktivování tlačítka “Cyklus – START” s využitím *Property Node* žádná akce. Veškeré ovládání probíhá standardní cestou skrze hlavní ovládací smyčku.

### Automatický režim

Vzhledem k tomu že je princip řešení v obou režimech regulace stejný, bude v následujících řádkách vysvětlena pouze varianta regulace otáčky – moment. Zbývající varianta je zcela analogická.

Po zadání cesty souboru a zvolení režimu otáčky – moment je aktivována sekvenční struktura a do paměti je v první fázi načten textový soubor s tabulátorem oddělenými sloupci. S daty lze následně pracovat jako s dvourozměrným polem reálných čísel. Ze souboru jsou vybrána relevantní data pro zvolený režim, která jsou dále vynesena v závislosti na čase v malých grafech sloužících k náhledu. Popisy grafu jsou automaticky změněny v závislosti na aktuálním režimu ovládání. Dále je na základě prvního sloupce souboru dopočten a na čelním panelu zobrazen časový krok jízdního cyklu. V neposlední řadě jsou nastaveny nulové parametry na obou dynamometrech. V této chvíli je ukončena první fáze sekvenční struktury

a do druhé je předáno pole s daty jízdního cyklu. Kromě zmíněných kroků v rámci smyčky jízdních cyklů je také v hlavní ovládací smyčce pomocí lokální proměnné ovladače režimu jízdních cyklů aktivována odpovídající *Case* struktura, která deaktivuje manuální ovladače parametrů dynamometrů.

V druhé fázi je v případě stisknutí tlačítka “Cyklus – START” aktivován cyklus *Timed Loop* v aktuální verzi s periodou 1 000 milisekund. S každou iterací je z pole dat jízdního cyklu načten odpovídající řádek hodnot, které jsou následně s využitím lokální proměnné předány hlavní ovládací smyčce, která hodnoty dále předá hlavní řídicí jednotce dynamometrů. Tato smyčka je ukončena třemi možnými způsoby. Prvním je přirozené dokončení cyklu a zobrazení hlášky na čelním panelu informující uživatele o úspěšném projetí jízdního cyklu. Druhou variantou je opětovné stisknutí tlačítka “Cyklus – START”, což má za následek okamžité ukončení předávání hodnot hlavní ovládací smyčce. Poslední možností je vybavení centrálního tlačítka “STOP”. Ve všech výše zmíněných případech jsou ve třetí fázi sekvenční struktury vynulovány proměnné pro předávání hodnot mezi smyčkou jízdních cyklů a hlavní ovládací smyčkou.

### 6.3. Smyčka analogové akvizice

V této smyčce probíhá sběr dat ze šesti odporových senzorů Pt100, šesti termočlánků a dvou tlakových senzorů. Konkrétně v pořadí, které je uvedeno v následující tabulce.

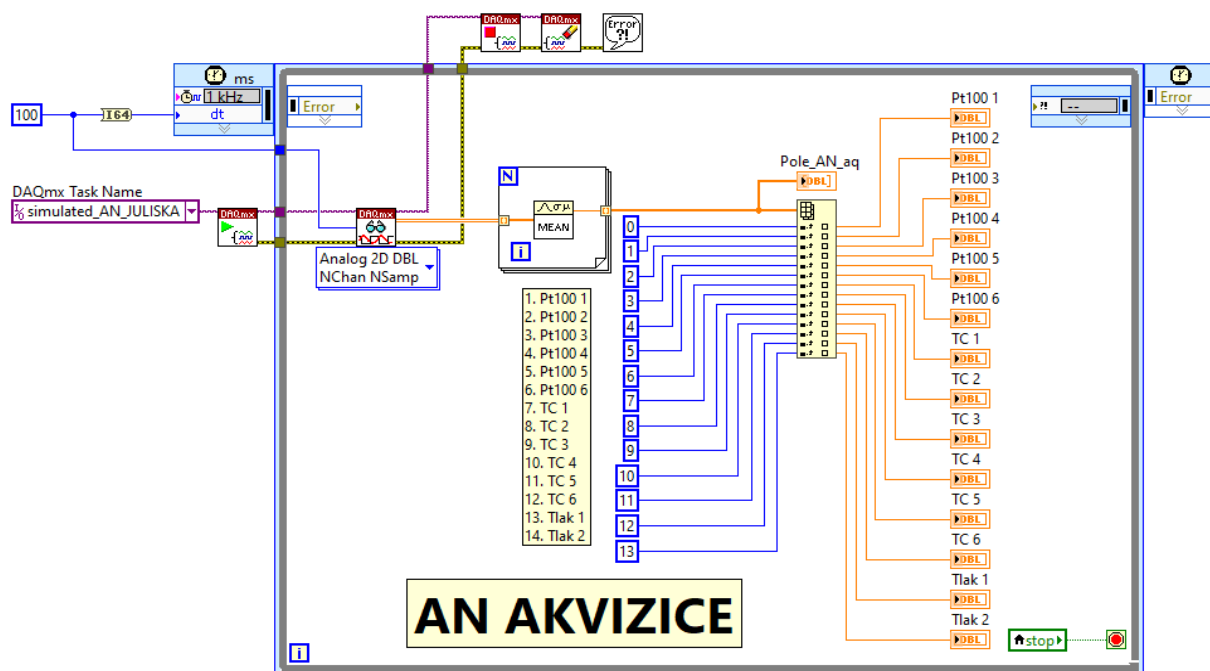
Tabulka 12 – Pořadí analogové akvizice

Pořadí	Index v poli	Název	Pořadí	Index v poli	Název
1.	0	Pt100 1	8.	7	TC 2
2.	1	Pt100 2	9.	8	TC 3
3.	2	Pt100 3	10.	9	TC 4
4.	3	Pt100 4	11.	10	TC 5
5.	4	Pt100 5	12.	11	TC 6
6.	5	Pt100 6	13.	12	Tlak 1
7.	6	TC 1	14.	13	Tlak 2

Akvizice je realizována pomocí sady příkazů NI DAQmx. *Task* měření je nakonfigurován pomocí softwarového a hardwarového správce NI MAX. Z časového hlediska probíhá sběr dat v kontinuálním režimu o frekvenci 1 kHz. *Task* je před smyčkou spuštěn a čtení probíhá ve struktuře *Timed Loop* o frekvenci 10 Hz, tedy perioda jedné iterace činí 100 ms. V rámci jedné iterace jsou data v počtu 100 vzorků na fyzický kanál načtena ve formě dvourozměrného pole



(tedy pole o rozměrech 100x14) a pomocí cyklu *For* zprůměrována a zobrazena v jednotlivých ukazatelích na čelním panelu. Na tyto indikátory se následně odvolávají ostatní smyčky programu pomocí lokálních proměnných za účelem dalšího zpracování. Smyčka analogové akvizice je v případě bezchybného průběhu ukončena pouze ukončením celého programu.



Obrázek 49 – Smyčka analogové akvizice

#### 6.4. Měření otáček

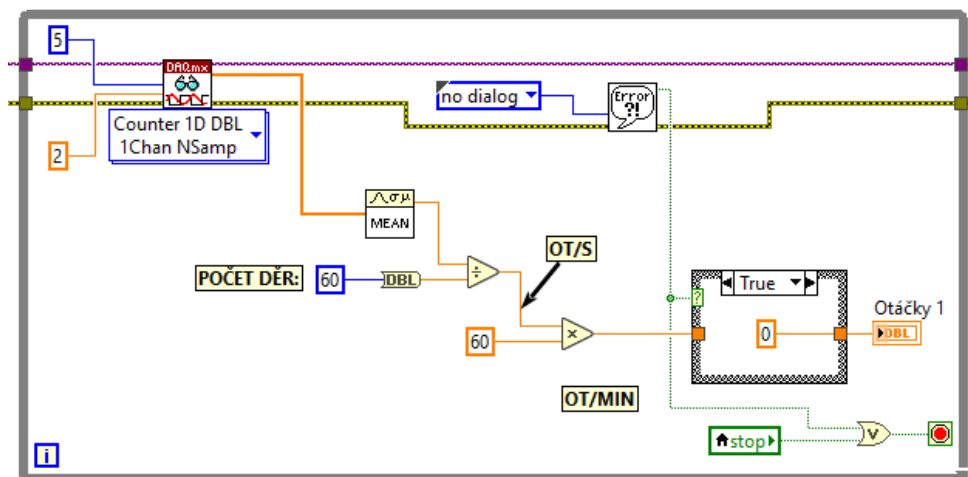
Doplňující měření otáček na komponentech zkoušeného ústrojí je provedeno pomocí čítačů a digitálního modulu NI 9411. Výstup samotného digitálního měření je frekvence. V případě současné konfigurace na zkušebním stavu na Julisce jde o frekvenci průchodů otvorů měřicího kotouče přes optickou osu fotoelektrického snímače. Z této hodnoty lze následně stanovit otáčky.

V LabVIEW je měření realizováno pomocí sady příkazů NI DAQmx v samostatné smyčce *While* s periodou 100 milisekund. V této smyčce je načten a uveden do chodu měřicí *Task – CounterInput*.

Aby byl přípustný i stav nulových otáček, a tedy dlouhodobé setrvání snímače buď v sepnutém nebo rozepnutém stavu, je nutné měření ošetřit proti chybě. Důvodem je fakt, že program čeká na informaci o hodnotě frekvence, která ale nepřichází. Po uplynutí nastavené

Ihdyž pro vyčkání program vrátí chybu. Tato chyba nesmí narušit chod celého programu, a proto je s ní naloženo v rámci další *While* smyčky.

V této vnitřní smyčce je provedeno čtení hodnot frekvence v režimu 1 kanál – 5 vzorků. Poté je vypočten průměr z načtených vzorků, ze kterého jsou dopočítány a zobrazeny otáčky. Pokud dojde k selhání měření z důvodu uvedeného v předchozím odstavci, je chyba zachycena bez zobrazení dialogového okna. Chyba aktivuje TRUE stav struktury *Case*, která v indikátoru otáček zobrazí nulovou hodnotu a ukončí chod vnitřní smyčky. Měřicí *Task* je zastaven, vymazán a případné další dialogové okno chyby není zobrazeno. Vnější smyčka pak přechází do další iterace, kdy je měření znovu zapnuto a program opět čeká na hodnotu frekvence.



Obrázek 50 – Vnitřní smyčka měření otáček

## 6.5. Akvizice vibrací

Vibrace jsou měřeny v samostatném obsáhlejší cyklu *While*. Vzhledem k větším nárokům na výkon je měření zapnuto pouze na požadavek uživatele. Před aktivací měření je možné zvolit počet cyklů, se kterými bude akvizice pracovat (standardně 10). Po stisknutí tlačítka pro měření vibrací je načten a spuštěn měřicí *Task* v režimu kontinuálního sběru dat s vzorkovací frekvencí 12,8 kHz. Dále jsou připravena dvě prázdná trojrozměrná pole.

Následuje první iterace hlavní měřicí smyčky s periodou 1000 milisekund. Ještě před vlastním čtením naměřených hodnot jsou pomocí *Property Node* nastaveny jeho vlastnosti. (Pokud by došlo ke zpoždění některé z iterací cyklu měření, jsou vzhledem k nejaktuálnějšímu vzorku načteny všechny dostupné vzorky a tím pádem je ošetřen výskyt související chyby.)

Poté je načteno ze všech 4 kanálů 12 800 vzorků (2D pole o rozměrech 4x12 800). Výstupem měření jsou v této fázi surová data zrychlení v jednotkách  $m \cdot s^{-2}$ .

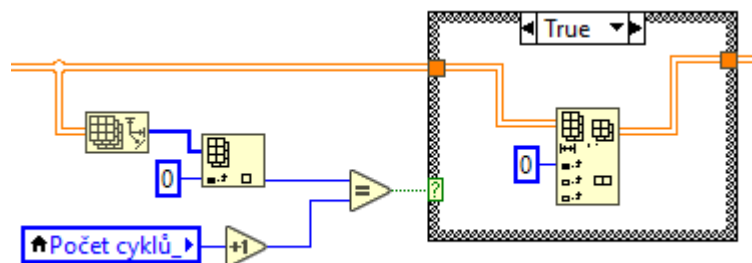
Jednotlivé kanály obsahující surová data zrychlení jsou po načtení zpracována v rámci cyklu *For* dvěma způsoby. Prvním je spočtení efektivní hodnoty RMS (z anglického Root Mean Square) dle následujícího vzorce [25]:

$$\psi_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} |x_i|^2} \quad (6)$$

Kde  $\psi_x$  je efektivní hodnota veličiny  $x$ ,  $n$  je počet prvků a  $x_i$  je prvek souboru veličiny na pozici  $i$ . Hodnoty RMS jsou pak zobrazeny v příslušných indikátorech na čelním panelu v záložce vibrací. V rámci smyčky akvizice vibrací s nimi není dále pracováno.

Druhým způsobem je spočtení rychlé Fourierovy transformace (dále jen FFT, z anglického Fast Fourier Transform), kdy je z časové oblasti signál převeden do oblasti frekvenční a výsledkem je tedy amplituda v závislosti na příslušné frekvenci. Vzhledem k tomu, že je frekvence akvizice 12 800 Hz, je výsledný rozsah po aplikování FFT 6 400 Hz.

Data po aplikování jsou spolu se surovými daty zrychlení ukládána do připravených trojrozměrných polí. Po přidání dat z aktuální iterace je pole změřeno. Pokud má více vrstev než 10 (data reprezentují časový úsek delší než 10 sekund), tak je nejstarší vrstva odmazána v rámci *Case* struktury. Trojrozměrná pole tak disponují velikostí nejvýše 4x12 800x10, resp. 5x6 400x10 v případě FFT.



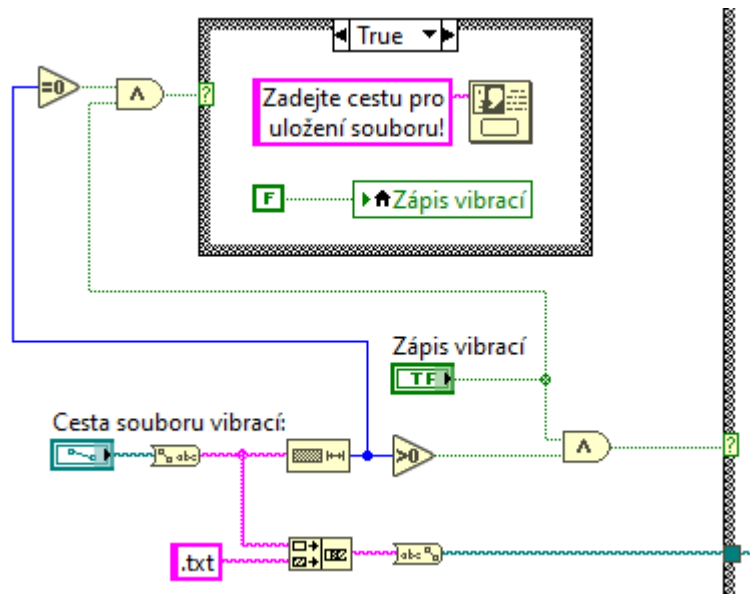
Obrázek 51 – Proces odmazávání nejstarší časové vrstvy

Data získaná rychlou Fourierovo transformací jsou kromě dalšího ještě zobrazena v samostatném grafu. Do připraveného prvku *Listbox* jsou načteny přes lokální proměnnou a *Property Node* názvy měřených parametrů. Uživatel si pak může zvolit, které kanály chce zobrazit v připraveném grafu, což činí průběžné monitorování čitelnější. Prvky horizontální osy (frekvence v jednotkách Hertz) jsou předem samostatně vygenerovány.

Protože výše získaná data rychlé Fourierovy transformace se mohou skokově s každou iterací měnit, je vhodné data upravit do přehlednější formy. Toho lze docílit zprůměrováním za posledních  $n$  cyklů. V aktuální verzi je k dispozici průměrování FFT ze všech cyklů uložených v trojrozměrném poli, tedy za 10 sekund. Z důvodu úspory výpočetního výkonu je tato funkce k dispozici opět na vyžádání uživatele stisknutím patřičného tlačítka. Po jeho vybavení dojde ke zprůměrování všech kanálů napříč všemi časovými vrstvami a zobrazení hodnot v samostatném grafu stejným způsobem jako výše popsané nezprůměrované FFT.

V neposlední řadě je k dispozici zápis dat měření vibrací aktivovaný po stisknutí tlačítka zápis vibrací. Nicméně nutnou podmínku pro začátek zápisu je zadání cesty pro uložení souboru, pokud je řádek cesty prázdný, program uživatele na tuto skutečnost upozorní a tlačítko zápisu vypne.

V případě splnění obou požadavků je započat vlastní zápis. Zapisují se surová data zrychlení, neboť z těchto lze potom v následujícím zpracování získat vše potřebné. Proces je rozdělen za využití sekvenční struktury do třech fází. V první fázi je do souboru zapsáno záhlaví, které obsahuje datum a čas měření spolu s příslušnými názvy sloupců a jejich jednotkami. Také je rozsvícena kontrolka indikující probíhající zápis. V druhé fázi jsou zapisovány vlastní data zrychlení s přesností na dvě desetinná místa. Vektor času je vygenerován zvlášť s přesností na devět desetinných míst. Ve třetí fázi je uživateli zobrazeno dialogové okno, které informuje o úspěšně provedeném zápisu a kontrolka je zhasnuta.



Obrázek 52 – Kontrola vyplněného řádku cesty souboru

## 6.6. Zobrazení veličin v grafu

Znázornění jednotlivých veličin je z důvodu úspory výkonu a minimalizace vlivu na samotnou akvizici prováděno v samostatné smyčce a je podmíněno vznesením požadavku od uživatele, který aktivuje bloky ve struktuře *Case*. Tlačítko pro zapnutí grafu je deklarováno v cyklu *While* s periodou 150 milisekund, a tedy program na požadavek reaguje v nejhorším případě právě za 150 milisekund.

Princip spočívá v ukládání veškerých měřených veličin do dvourozměrného pole (viz. Tabulka 13 – Dvourozměrné pole pro zobrazení v grafu) s periodou 1000 milisekund a následné zobrazení pole pomocí „grafu XY“. Z blokového schématu je zjevné, že program vykresluje graf každou iteraci od začátku, z tohoto důvodu je vhodné právě provedení v samostatné smyčce. V okamžiku zobrazování dlouhého úseku měření a případného zpoždění smyčky nebude ohroženo časování vlastní akvizice.

*Tabulka 13 – Dvourozměrné pole pro zobrazení v grafu*

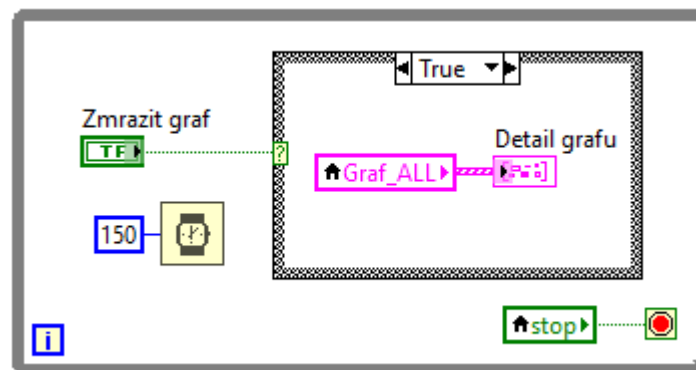
Pořadí	Pořadí v poli	Název veličiny/pole
1.	0	Čas
2.	1	Moment SDS 200
3.	2	Moment ASD S200
4.	3	Moment 2VD 100
5.	4	Otáčky SDS 200
6.	5	Otáčky ASD S200
7.	6	Otáčky 2VD 100
8.	7	Otáčky 1
9.	8	Otáčky 2
10. – 23.	9 – 22	Pole analogové akvizice
24. – 27.	23 – 26	Pole RMS hodnot vibrací

Před prvním průchodem smyčky grafu je načten celkový čas pomocí bloku *Get Date/Time In Seconds*, který je následně odečítán při každé iteraci od aktuálního celkového času, získaného stejným způsobem. Touto cestou je získán vektor času, který v grafu slouží jako osa x. Po připojení nejaktuálnějších hodnot do dvourozměrného pole je provedeno samotné zobrazení. K dispozici je uživateli *Listbox*, do kterého jsou načteny názvy jednotlivých veličin přes lokální proměnnou a pomocí *Property Node – ItemNames*. Na základě zvolených veličin je následně provedeno jejich vykreslení. Tato možnost přináší přehlednější zobrazení aktuálně potřebných veličin bez jejich vzájemného omezování čitelnosti vlivem řádově rozdílné amplitudy. V případě vypnutí tlačítka zobrazování grafu je vynulován jak graf, tak i pole naměřených hodnot. Smyčka je nadále ukončena i centrálním tlačítkem „STOP“.

### 6.7. Detailní graf

V případě potřeby zvětšení určité části grafu (zejména při dlouhodobém zobrazování dat) je v programu k dispozici sekundární, samostatný graf. Na čelním panelu je vedle základního grafu k dispozici tlačítko „Zmrazit graf“. V případě jeho stisknutí dojde k nakopírování současného obsahu grafu do grafu sekundárního, který se již dynamicky s každou iterací nemění. Uživatel má tedy dostatek času a prostoru ke zvětšení a prozkoumání

požadované oblasti měření. Vybavení tlačítka „Zmrazit graf“ je možné kdykoli v průběhu měření znovu.



Obrázek 53 – Zobrazení detailního grafu

## 6.8. Zápis dat

Pro aktivování zápisu dat je nejprve nutné zadat cestu plánovaného uložení souboru a jeho název. Zadání kompletní cesty je nutnou podmínkou aktivace zápisu dat. V případě, že je řádek pro zadání cesty prázdný a řetězec má tedy nulovou délku, je v dialogovém okně zobrazena upomínka a tlačítko zápisu deaktivováno.

Po splnění obou předpokladů pro zápis dat je do souboru nejprve pomocí struktury *Flat Sequence* zapsáno záhlaví dat, které obsahuje datum a čas počátku zápisu dat, názvy jednotlivých měřených veličin a jejich jednotky. Kromě toho je ještě rozsvícen LED indikátor na čelním panelu signalizující právě probíhající zápis dat. V dalším kroku struktury je zahájen zápis vlastních dat pomocí smyčky *Timed Loop* s periodou 500 milisekund. Obdobně jako v případě vykreslování grafu, i zde je vytvářeno pomocí lokálních proměnných dvourozměrné pole veškeré akvizice. S tím rozdílem, že kromě reálného aktuálního času, který je v prvním sloupci v poli, je k dispozici ještě uměle vytvořený vektor času, který začíná hodnotou 0. Tento sloupec je tedy vhodnější pro případné pozdější zpracování naměřených dat, kdy je potřeba vynášet časové závislosti. První hodnota reálného času zpravidla bývá větší než 0 z důvodu prodlevy před první iterací smyčky.

*Tabulka 14 – Struktura dvourozměrného pole zápisu dat*

Pořadí	Pořadí v poli	Název veličiny/pole
1.	0	Reálný čas
2.	1	Umělý čas
3. – 8.	2 - 7	Pole akvizice dynamometrů
9. – 10.	8 - 9	Digitální vstup - otáčky
11. – 24.	10 - 23	Pole analogové akvizice
25. – 28.	24 - 27	Pole RMS hodnot vibrací

Zápis dat je ukončen v případě opětovného vybavení tlačítka „Zápis dat“, případně hlavním tlačítkem „STOP“. Následuje poslední část *Flat Sequence* struktury, kdy je vypnut LED indikátor probíhajícího zápisu, vyčištěn řádek pro zadání cesty k souboru a zobrazeno dialogové okno, které uživatele informuje o úspěšném ukončení zápisu dat.

### 6.9. Smyčka nastavení limitních hodnot

V tomto cyklu s periodou 200 milisekund je deklarováno tlačítko pro uložení hodnot zadaných do patřičných buněk na čelním panelu v záložce *Nastavení limitů*. Jedná se o limity, při kterých je zobrazena oranžová výstražná LED kontrolka a limity, při kterých je rozsvícena červená LED kontrolka a dynamometry spolu s případným jízdním cyklem zastaveny.

Po vybavení tlačítka uložení je aktivována sekvence příkazů, kdy jsou do jednotlivých polí načteny zadané hodnoty. Nejprve limity dynamometrů, v následujícím kroku hodnoty teplot a v posledním kroku je zobrazena hláška, která uživatele informuje o úspěšném uložení nově zadaných limitů. Toto provedení kromě zpřehlednění blokového diagramu také zjednodušuje následnou práci s limitními hodnotami.

*Tabulka 15 – Struktura pole limitních hodnot (značení dle kapitoly 5.7.)*

Pořadí	Pořadí v poli	Název parametru
1.	0	L_stop
2.	1	L_sg
3.	2	H_sg
4.	3	H_stop



## 6.10. Smyčka průměrování

Úkolem smyčky průměrování je vytvořit jednorozměrné pole, ve kterém by byly k dispozici průměry kontrolovaných veličin za poslední tři vteřiny. Tohoto je docíleno v rámci další struktury *TimedLoop* s periodou 100 milisekund. Před první iterací smyčky je deklarováno dvourozměrné pole s nulovými prvky. Každou iteraci je do tohoto pole přidána hodnota z indikátorů všech požadovaných veličin, které se podrobují kontrole. V současné době se jedná o veličiny uvedené v tabulce 16. Následně je změřena velikost pole. Pokud je velikost větší než 31, znamená to v případě periody 100 milisekund, že v poli již jsou hodnoty za více než 3 vteřiny. V tomto případě je v rámci struktury *Case* provedeno vymazání řádku s indexem 0 – řádek nejstarších hodnot. Pokud je velikost menší než 31, pole je předáno do následující iterace smyčky nezměněné. Dvourozměrné pole bude mít tedy vždy nanejvýš 30 řádků reprezentujících data za poslední 3 sekundy.

*Tabulka 16 – Struktura pole průměrování*

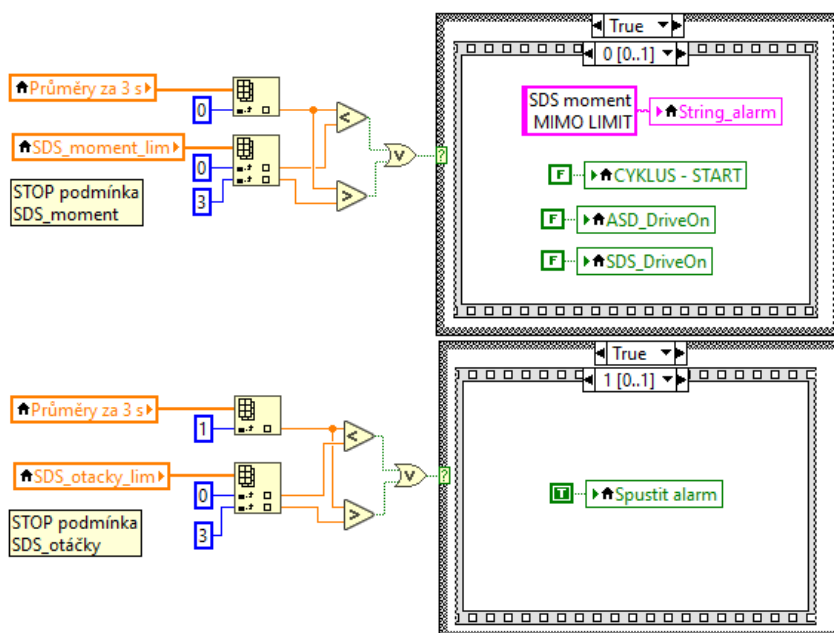
Pořadí	Pořadí v poli	Název veličiny
1.	0	Moment dynamometru SDS 200
2.	1	Otáčky dynamometru SDS 200
3.	2	Moment dynamometru ASD S200
4.	3	Otáčky dynamometru ASD S200
5.	4	Teplota Pt100 1
6.	5	Teplota Pt100 2
7.	6	Teplota TC 1
8.	7	Teplota TC 2

Každý sloupec pole je následně zprůměrován. Výsledná struktura je pole o jednom rozměru, kde každý prvek představuje právě průměr kontrolované veličiny za 3 sekundy.

### 6.11. Smyčka kontrol

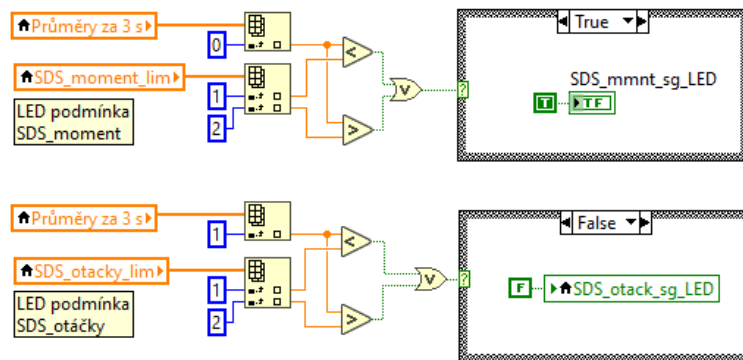
V průběhu provozu zkušebního stanoviště je chod neustále dozorován kontrolní smyčkou, která ověřuje, zda jsou vybrané parametry v předem stanovených bezpečnostních intervalech. Programově je tato funkce realizována nezávislým, samostatným cyklem *While* o periodě 200 milisekund. Hodnoty, které jsou porovnávány s limity, jsou průměry jednotlivých parametrů za poslední 3 sekundy.

Ve smyčce je zavedeno několik sekvenčních struktur. V první fázi vnější struktury jsou nejprve ověřeny kritické parametry dynamometrů a následně vybrané teploty. V případě že dojde k překročení mezí a parametr se nachází v kritickém intervalu, tak je pomocí lokálních proměnných vypnut cyklus a jsou vybavena tlačítka „Dynamometr stop“. Následně je zapnut alarm s dialogovým oknem informujícím uživatele o překročeném parametru.



Obrázek 54 – Kontrola kritických limitů momentu a otáček dynamometru SDS 200

V druhé fázi vnější struktury jsou zkontrolovány limity výstrah, opět nejprve parametry dynamometrů a až poté vybrané teploty. Při překročení mezí oblasti bezpečného provozu dojde pouze k rozsvícení oranžového LED indikátoru. Pokud se průměr parametru dostane zpět do bezpečné oblasti, výstražný LED indikátor zhasne.



Obrázek 55 – Kontrola limitů výstrahy pro moment a otáčky dynamometru SDS 200

Poslední fáze vnější struktury se týká aktivování ochrany. Při stisknutí tlačítka „Zapnout ochranu“ dojde k rozsvícení LED indikátoru „Ochrana aktivní“, nastavení proměnné „Ochrana“ do stavu TRUE a proměnné „Spustit alarm“ do stavu FALSE. Od tohoto momentu je stanoviště opět chráněno proti překročení hranic bezpečného provozu.

## 6.12. Smyčka alarmu

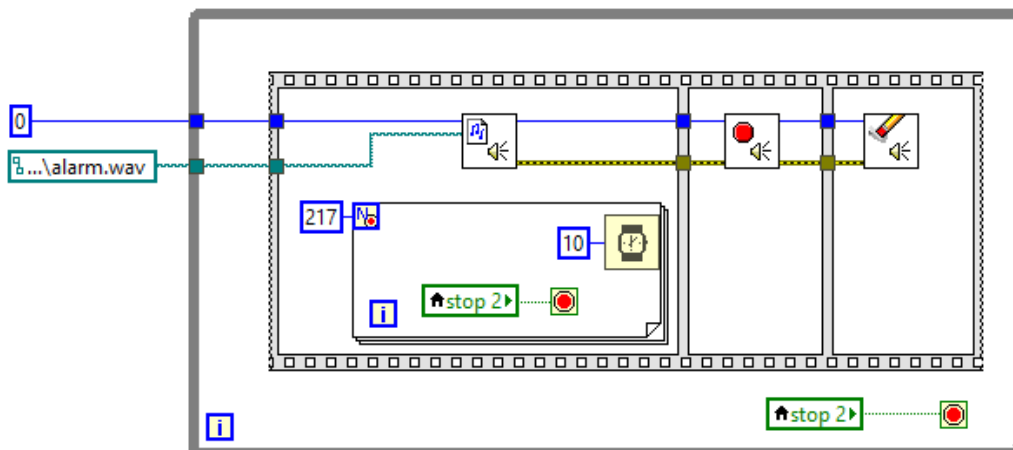
Funkce alarmu je realizována dalším cyklem *While* o periodě 80 milisekund. V cyklu se nachází struktura *Case*, ve které je naprogramován samotný alarm. K její aktivaci může dojít dvěma způsoby. Jedním z nich je splnění podmínky, kdy musí být ve stavu TRUE jak proměnná „Ochrana“, tak proměnná „Spustit alarm“. Proměnná „Ochrana“ má standardně hodnotu TRUE při zapnutí programu. Pokud v průběhu došlo k samočinnému zastavení vlivem překročení některého z limitu, je třeba ji aktivovat manuálně tlačítkem „Zapnout ochranu“. Proměnná „Spustit alarm“ je nastavena automaticky na hodnotu TRUE při překročení kritického limitu ve smyčce kontrol.

Druhou možností aktivace je stisknutí tlačítka „Zkouška alarmu“ za účelem nastavení hlasitosti reproduktorů před započítáním zkoušky.

Po aktivaci se zobrazí dialogové okno s patřičnou zprávou pro uživatele o příčině spuštění alarmu a přerušení zkoušky. Řetězec je předán pomocí lokální proměnné z cyklu kontrol. Současně se uvnitř struktury spustí tři další nezávislé cykly *While*.

### 6.12.1. Akustický signál

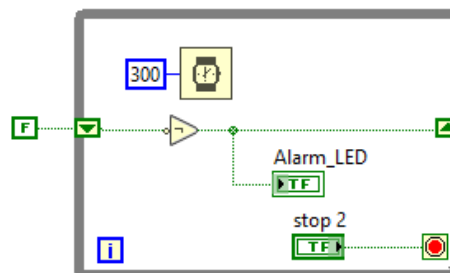
V jedné z těchto smyček je realizován akustický signál alarmu. Důležitým vstupem pro tento cyklus je cesta ke zvukovému souboru, který má být přehrán. Tato cesta je standardně nastavena již v blokovém diagramu. Iterace smyčky je rozdělena pomocí sekvenční struktury do tří fází. V první fázi je zvukový soubor načten do paměti a je spuštěno přehrávání. Aby při pozdějším potvrzení přijetí alarmu zvuk přestal hrát okamžitě, tzn. aby rovněž činnost smyčky byla ihned ukončena, je využito bloku *Wait* v podmíněné smyčce *For*. Časování této smyčky je nastaveno přesně tak, aby odpovídalo trvání zvukové stopy souboru. Po přehrávání zvukové stopy je proces ukončen, paměť vymazána a vnější cyklus přechází do druhé iterace.



Obrázek 56 – Přehrávání zvuku alarmu

### 6.12.2. Blikání LED indikátoru alarmu

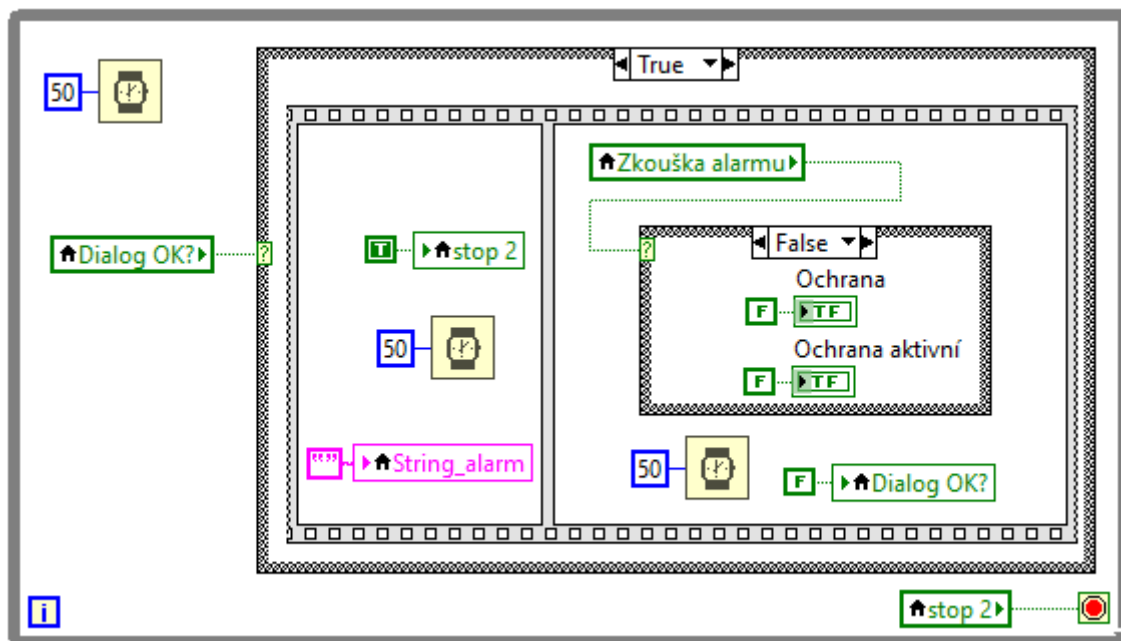
Další ze třech cyklů zajišťuje blikání indikátoru alarmu, kdy je hodnota logické proměnné předávána mezi jednotlivými iteracemi smyčky. V každé z iterací je hodnota negována.



Obrázek 57 – Blikání LED indikátoru

### 6.12.3. Zpracování potvrzení uživatelem

V posledním z cyklů je realizováno zpracování reakce uživatele. Pokud dojde ke stisknutí tlačítka OK v dialogovém okně, proběhne nejprve vybavení tlačítka STOP 2, které ukončí všechny tři cykly alarmu a k vyčištění řetězce v lokální proměnné pro předávání zprávy o příčině alarmu. Následně je proměnná sledující reakci uživatele nastavena na hodnotu FALSE. V případě, že byl alarm spuštěn jen jako test, je vypnuto tlačítko zkoušky alarmu. Pokud byl ale alarm ostrý, a tedy spuštěn automaticky, je proměnná ochrany nastavena na hodnotu FALSE. Aplikace tohoto postupu je nutná, aby uživatel mohl problém dále řešit a s programem pracovat bez neustálého vyrušování dialogovým oknem.



Obrázek 58 – Zpracování reakce uživatele

### 6.13. Ovládání zdroje Manson HCS-3604

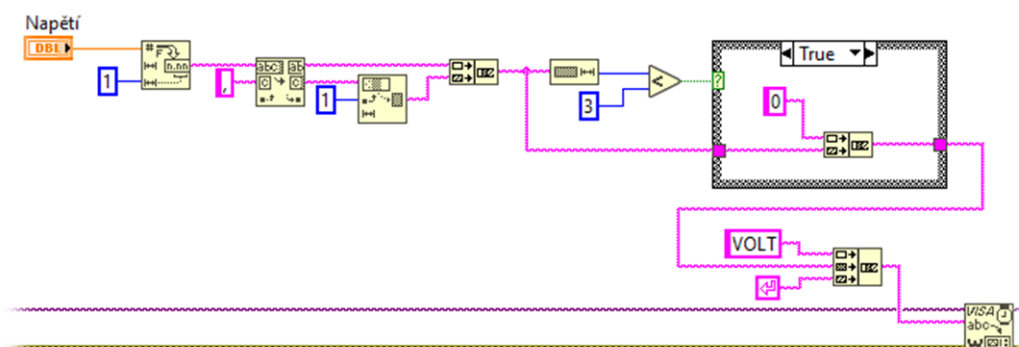
Ovládání zdroje je provedeno pomocí standardu NI-VISA (Virtual Instrument Software Architecture) v dalším samostatném cyklu *While*. VISA umožňuje snadnou komunikaci s většinou běžných rozhraní, včetně například USB či Ethernet, s využitím velmi malé skupiny příkazů.

V rámci cyklu je deklarována proměnná reprezentující pákový ovladač zapínání ovládání na čelním panelu. Jakmile je ovladač uveden do polohy „Zapnuto“, rozsvítí se kontrolka ovládání a je aktivována struktura *Case*. Po aktivaci je nakonfigurován komunikační kanál se zařízením a na ovladačích napětí a proudu je nastavena nulová hodnota. Následuje vnitřní cyklus *While*, ve kterém probíhá vlastní nastavování parametrů zdroje.

S využitím sekvenční struktury je nejprve nastavena hodnota napětí. Výstup z ovladače na čelním panelu je převeden na datový typ řetězce s přesností na jedno desetinné místo. Poté je řetězec rozdělen, odmazána desetinná čárka a zbylé číslice opět spojeny dohromady. Vzhledem k syntaxi příkazů stanovených výrobcem je nutné pro hodnoty menší než 10 V vložit mezi příkaz a hodnotu ještě číslici 0. Po zpracování čísel je složen řetězec s vlastním příkazem nastavující napětí a konstantou reprezentující potvrzení příkazu. Tento je pak přiveden na vstup bloku realizujícího zápis příkazu do zařízení.

Následuje prodleva o délce 50 milisekund a další část sekvenční struktury, ve které je analogický postup využit pro nastavení hodnoty elektrického proudu.

Vnitřní cyklus je ukončen v případě vypnutí ovladače zdroje, případně vybavením centrálního tlačítka STOP. Po jeho terminaci je komunikace se zařízením přerušena a případná chyba zobrazena v dialogovém okně.



Obrázek 59 – Zápis hodnoty napětí



## 7. Experimentální stanovení charakteristik hydrodynamického měniče

Za účelem prověření správné funkce navržené aplikace byl na otevřeném zkušebním stavu v laboratořích na Julisce proveden experiment s cílem stanovit charakteristiky hydrodynamického měniče. Konkrétně se jedná o komplexní jednostupňový dvoufázový měnič Desta M303 o vnějším průměru  $D = 303$  mm.

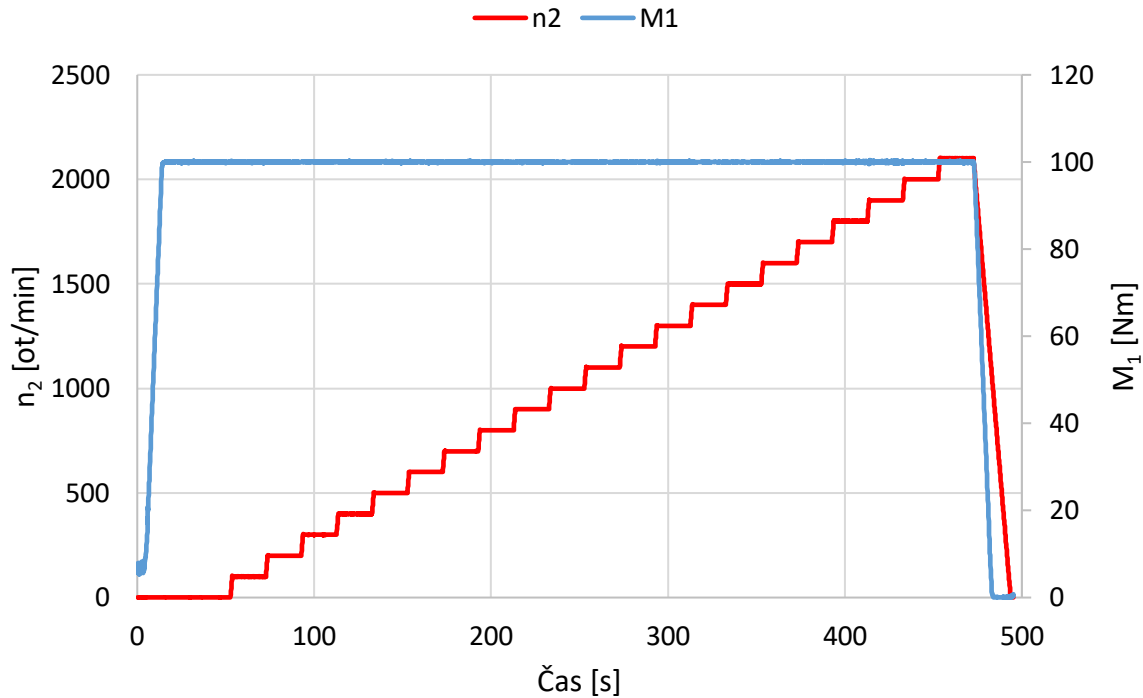


*Obrázek 61 – Rozstřel jednostupňového dvoufázového hydrodynamického měniče s přemostovací spojkou*

### 7.1. Metoda měření

Měření bylo provedeno pomocí dynamometrů SDS 200 a ASD 200. První jmenovaný byl regulován momentově, a to způsobem nastavení konstantního momentu 100 Nm. Stroj tedy vystupoval v roli spalovacího motoru vozidla a soustavu poháněl. Druhý jmenovaný dynamometr byl řízen otáčkově postupným zvyšováním otáček z nulové hodnoty až do 2 100 ot/min s krokem 100 ot/min. Na každé zátěžné hladině bylo setrváno 20 sekund pro docílení dostatečného ustálení parametrů. Systém byl řízen plně automaticky pomocí hladinového cyklu definovaného textovým souborem. V grafu na obrázku 62 je znázorněna časová závislost ovládaných veličin. Sběr dat byl proveden automaticky a kontinuálně do výstupního souboru. Pro vyhodnocení charakteristik hydrodynamického měniče jsou nezbytné údaje o točivém momentu a otáčkách čerpadla a turbíny.





Obrázek 62 – Ovládané parametry experimentu v závislosti na čase

## 7.2. Naměřené a vypočtené hodnoty [2]

Data uvedená v tabulce 17 představují průměrné hodnoty parametrů z naměřených dat pro každou hladinu zatížení. Momentová násobnost  $\mu$ , kinematický převodový poměr  $\nu$ , účinnost  $\eta$  a poměrný moment  $\lambda$  byly stanoveny pomocí následujících vzorců. Indexy  $P$ , resp.  $T$  představují parametry čerpadla, resp. turbíny.

K výpočtu poměrného momentu byla dále využita hodnota průměru hydrodynamického měniče  $D = 303$  mm a hustota oleje  $\rho = 846,2$  kg/m<sup>3</sup> [24]. Velikost měrné hmotnosti byla odhadnuta na základě parametrů podobného oleje pro automatické převodovky motorových vozidel při stejné provozní teplotě  $T = 50$  °C.

$$\nu = \frac{\omega_T}{\omega_P} \quad (7)$$

$$\mu = \frac{M_T}{M_P} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{P_T}{P_P} = \frac{\omega_T \cdot M_T}{\omega_P \cdot M_P} = \mu \cdot \nu \quad (9)$$

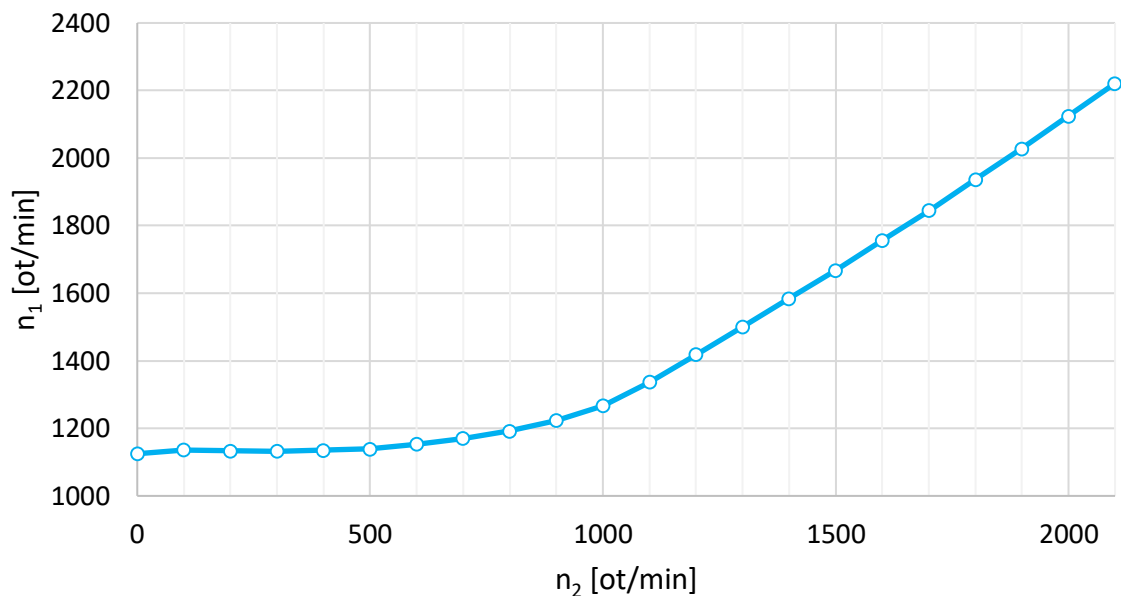
$$M = \lambda \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot D^5 \quad (10)$$

*Tabulka 17 – Naměřené a vypočtené hodnoty*

<b>n<sub>1</sub></b> čerpadlo	<b>M<sub>1</sub></b> čerpadlo	<b>n<sub>2</sub></b> turbína	<b>M<sub>2</sub></b> turbína	<b>v</b>	<b>μ</b>	<b>η</b>	<b>λ</b>
[ot/min]	[Nm]	[ot/min]	[Nm]	[-]	[-]	[-]	[10 <sup>-3</sup> ]
1 124,81	100,02	0,42	190,92	0,00	1,91	0,00	3,34
1 136,19	100,00	99,64	190,38	0,09	1,90	0,17	3,27
1 133,07	99,89	200,56	179,54	0,18	1,80	0,32	3,28
1 132,56	100,00	300,57	165,08	0,27	1,65	0,44	3,29
1 134,78	99,85	400,19	150,11	0,35	1,50	0,53	3,27
1 139,41	99,92	499,64	135,91	0,44	1,36	0,60	3,25
1 153,21	99,92	600,47	123,11	0,52	1,23	0,64	3,17
1 169,82	99,99	699,97	112,66	0,60	1,13	0,67	3,08
1 192,48	99,87	799,87	102,73	0,67	1,03	0,69	2,96
1 223,00	99,94	900,29	94,50	0,74	0,95	0,70	2,82
1 266,50	100,08	1 000,03	86,39	0,79	0,86	0,68	2,63
1 336,60	99,94	1 100,91	82,53	0,82	0,83	0,68	2,36
1 418,37	100,00	1 200,60	82,28	0,85	0,82	0,70	2,10
1 501,05	99,90	1 301,03	82,52	0,87	0,83	0,72	1,87
1 584,24	99,95	1 400,16	82,29	0,88	0,82	0,73	1,68
1 667,83	100,02	1 500,32	81,60	0,90	0,82	0,73	1,52
1 757,05	100,02	1 600,84	81,15	0,91	0,81	0,74	1,37
1 844,67	99,99	1 700,78	80,73	0,92	0,81	0,74	1,24
1 937,32	100,00	1 800,52	80,66	0,93	0,81	0,75	1,12
2 028,06	100,03	1 900,05	80,24	0,94	0,80	0,75	1,03
2 124,13	100,00	2 000,42	80,24	0,94	0,80	0,76	0,94
2 221,22	99,97	2 100,00	79,75	0,95	0,80	0,75	0,85

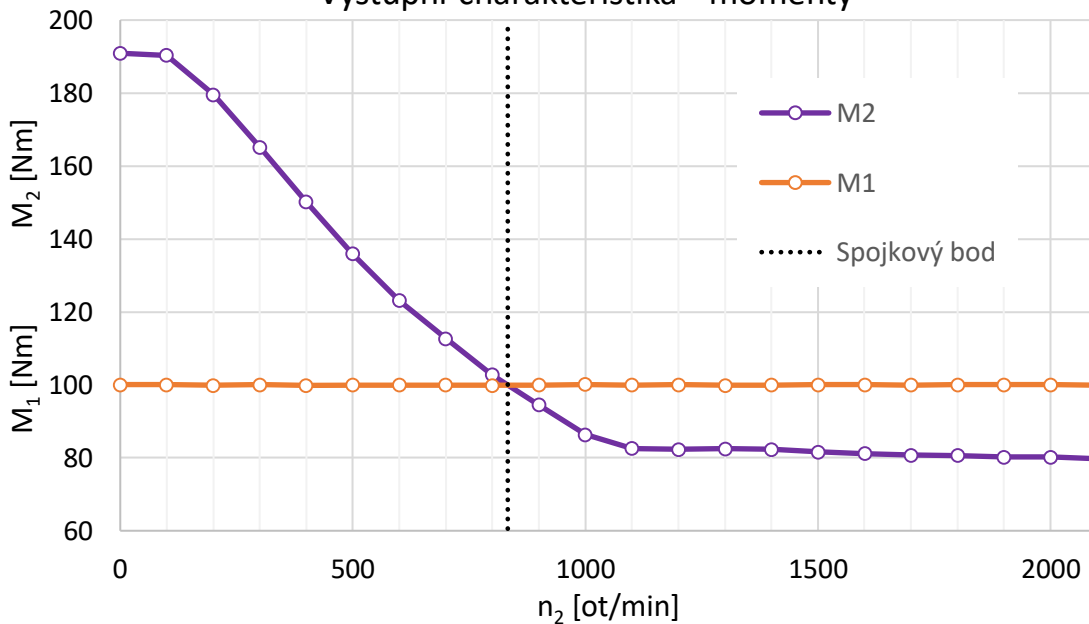
### 7.3. Výsledné charakteristiky

#### Kinematická charakteristika

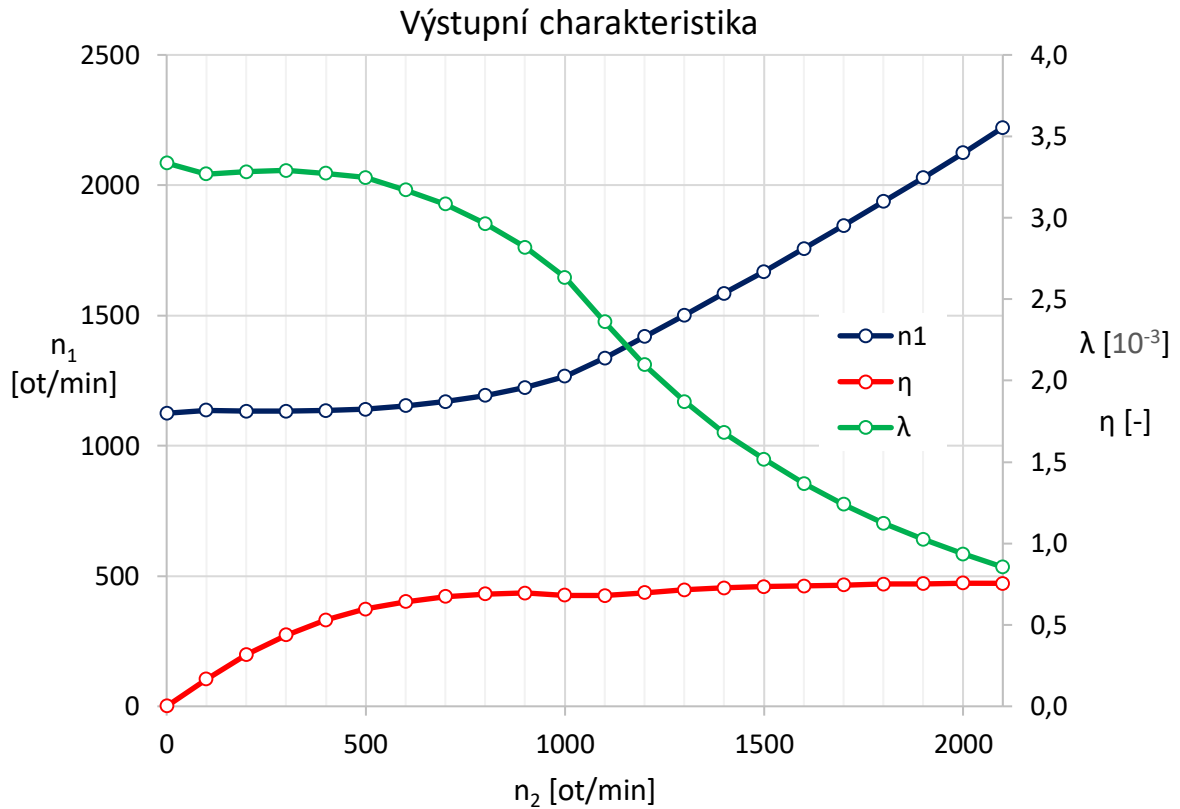


Obrázek 63 – Kinematická charakteristika

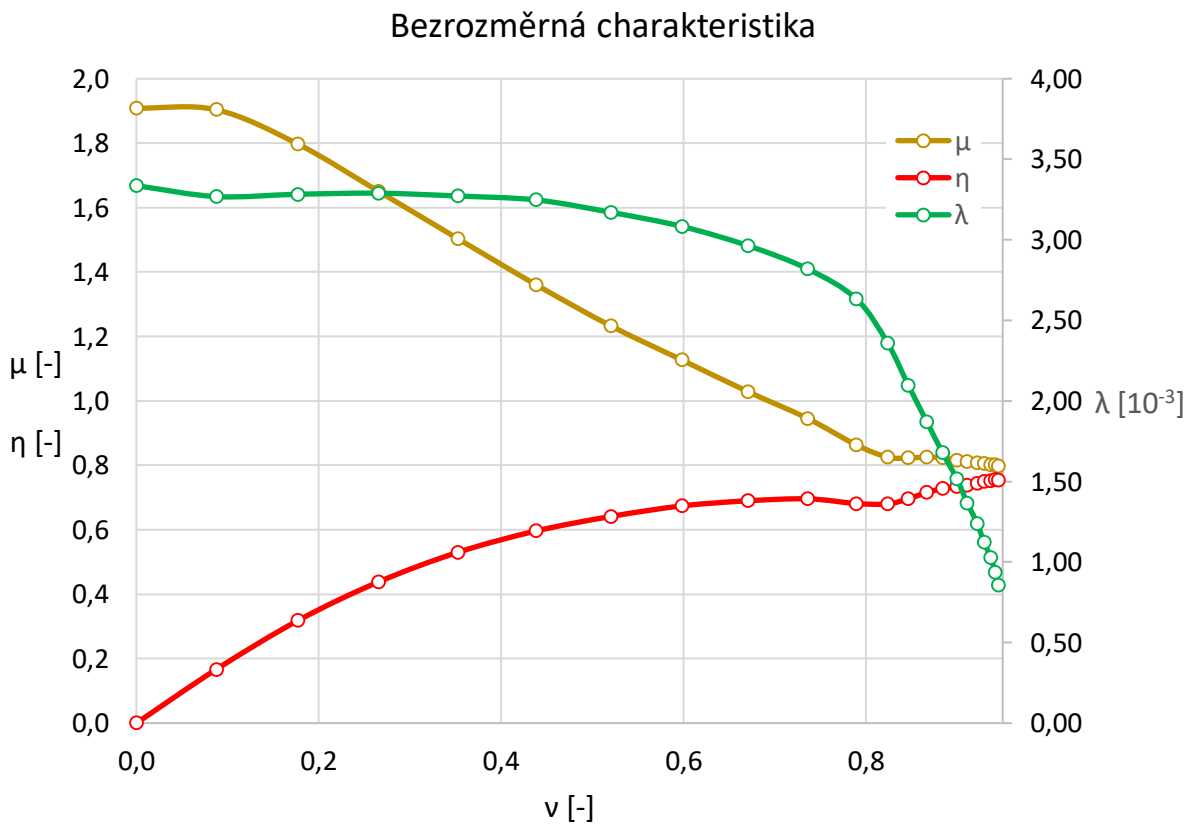
#### Výstupní charakteristika - momenty



Obrázek 64 – Výstupní charakteristika – momenty



Obrázek 65 – Výstupní charakteristika



Obrázek 66 – Bezrozměrná charakteristika

#### 7.4. Závěr experimentu

Na základě provedeného experimentu byla zkonstruována kinematická charakteristika, výstupní charakteristika a bezrozměrná charakteristika zkoušeného hydrodynamického měniče. Spojkový bod  $n_{2s} = 833,17$  ot/min byl odhadnut s využitím lineární interpolace v inkriminovaném intervalu. Na obrázku 64 je vlevo od hranice spojkového bodu měničová fáze, vpravo od hranice fáze spojková. Dle naměřených hodnot je patrná polopropustnost měniče, nicméně ne příliš zřetelně. Pro malá  $\omega$  v měniči jeví známky záporné propustnosti, se zvyšující se hodnotou  $\omega$  je měnič kladně prostupný. Nejvyšší účinnost na celém intervalu výstupních otáček činní 76 procent.

Ze strany softwaru, a tedy sběru dat a ovládání systému, lze experiment považovat za úspěšný. Systém byl aplikací ovládán precizně bez chyb a známek prodlení. Stejně tak nasbíraná data odpovídají očekávání a v průběhu zkoušky nebyl zaznamenán problém. Aplikace tedy stanovené požadavky splňuje.

## 8. Závěr

V první části diplomové práce byly stručně vysvětleny rozdíly testování převodových ústrojí motorových vozidel na otevřeném a uzavřeném zkušebním stavu a představeny měřicí metody některých fyzikálních veličin, které s uvedeným testováním souvisí.

Ve zbytku závěrečné práce se autor věnuje výhradně otevřenému zkušebnímu stavu převodových ústrojí motorových vozidel v těžkých laboratořích v Praze na Julisce. Nejprve byl proveden rozbor aktuálního stavu stanoviště s popisem jednotlivých komponent a možností ovládaní. Stav sestává ze tří samostatných dynamometrů, jmenovitě SDS 200, ASD S200 a 2VD 100. U posledního jmenovaného stroje byla z důvodu stáří stroje a delší nečinnosti ověřena vnější charakteristika. Výsledek experimentu bohužel není zvláště uspokojivý, protože dynamometr při maximálním budícím proudu nebyl schopen dosáhnout štítkových hodnot. Kromě toho se okolo hranice 2 000 otáček za minutu objevily nepřijatelné vibrace, které vylučují provoz stroje nad touto hranicí. Dalším problémem vířivého dynamometru je napájecí zdroj, který díky svému nejmenšímu rozlišení výstupního elektrického proudu není k napájení stroje z důvodů regulace vhodný. Aktuálně je možné stroj ovládat pouze nastavením konstantní hodnoty budícího proudu. I přesto však nachází využití například při testování kloubových hřídelů, kdy se měří na ustálených zátěžných hladinách s nižšími otáčkami.

Dále následuje návrh měřicího řetězce stanoviště pro požadované fyzikální veličiny. Konkrétně se jedná o měření teploty, otáček, vibrací a tlaku. Navržená měřicí aparatura zajišťující tlakové snímání je však schopna zpracovat libovolný analogový vstup pro pozdější doplnění akvizice. V případě otáčkové akvizice se jedná o měření na komponentech zkoušeného ústrojí, nikoli na dynamometrech. Ostatní veličiny týkajících se přímo dynamometrů (zejména otáčky a točivý moment) jsou již zpracovávány přímo řídicí jednotkou dynamometrů dodanou výrobcem. S výjimkou vlastních senzorů je celý řetězec realizován produkty výrobce National Instruments z nabídky systému CompactDAQ. Tento systém kromě datové akvizice zajišťuje i ovládání chladících ventilátorů pomocí relé modulu.

Jádro práce potom tvoří návrh komplexního softwarového prostředí pro ovládaní, kontrolu a sběr dat na zkušebním stavu. Aplikace byla navržena s využitím vývojového prostředí LabVIEW. Samotné manuální ovládaní dynamometrů s výjimkou vířivé brzdy 2VD 100 bylo před návrhem již k dispozici v podobě holé LabVIEW aplikace, diplomová práce tedy

tvoří její komplexní nastavbu. Pokud jde o ovládání, byla implementována možnost režimu hladinových jízdních cyklů. V průběhu vývoje bylo však využito metody, která umožňuje realizaci i dynamických jízdních cyklů. Pro jejich reálné využití je však potřeba aplikaci ještě upravit. Ovládání vířivé brzdy 2VD 100 je k dispozici v podobě nastavení velikosti konstantního budicího proudu. V aplikaci je také možné uvést do chodu libovolný chladicí ventilátor.

Program dále zajišťuje kompletní datovou akvizici všech veličin zpracovávaných hlavní řídicí jednotkou a systémem CompactDAQ. K dispozici je grafické znázornění v reálném čase a zápis dat do souboru. Zvláště je řešeno měření vibrací, které se od zbylé akvizice liší.

Zkušební stav je aplikací nepřetržitě monitorován a uživateli je k dispozici nastavení limitních hodnot vybraných parametrů, při jejichž překročení je uživatel buď informován nebo provoz na stanovišti zastaven.

Poslední část závěrečné práce je věnována ověření funkčnosti navrženého prostředí experimentálním stanovením charakteristik hydrodynamického měniče. Výsledek experimentu je pozitivní a program splňuje všechny předem stanovené požadavky.

Námětem pro pokračování může být zejména upravení aplikace pro konkrétní zkoušku, neboť v průběhu návrhu byl kladen důraz na co největší univerzálnost. Velkou kapitolou a obtížným úkolem by byla příprava regulace vířivé brzdy 2VD 100. Dále je možné implementovat dynamické jízdní cykly a upravit aplikaci tak, aby si sama dopočítávala otáčkové a momentové rampy. Docílilo by se tak velmi hladkých jízdních cyklů s krokem až 50 milisekund, které by již poměrně věrně simulovaly reálný provoz motorového vozidla.

Autor věří v přínos práce nejen při samotném testování převodových ústrojí v laboratořích na Julisce, ale také při výuce předmětů Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel.

## 9. Seznam použité literatury

- [1] REMEK, Branko; HATSCHBACH, Petr; VÁVRA, Jiří. Experimentální metody a měření v dopravní technice, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2004, Praha, ISBN 978-80-01-04921-1
- [2] SVOBODA, Jiří. Hydraulické převody pro vozidla, Vydavatelství ČVUT, 1999, Praha, ISBN 80-01-02023-1
- [3] JENČÍK J., VOLF J. a kol., Technická měření, Vydavatelství ČVUT, 2000, Praha ISBN 80-01-02138-6
- [4] SMETANA C. a kol, Hluk a vibrace – měření a hodnocení, Sdělovací technika, 1998, Praha, ISBN 80-901936-2-5
- [5] BEJČEK, L.: Měření neelektrických veličin, skriptum FEKT VUT v Brně, 2005, Brno
- [6] RIPKA, Pavel. Senzory a převodníky. 2. vyd. Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2011, Praha, ISBN 978-80-01-04696-8.
- [7] ŽÁRSKÝ, Petr. Zatěžovací pracoviště převodovek – technická zpráva a návod k obsluze, 2017, Brno
- [8] Omega engineering – Resources – Temperature [online]. 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z WWW: <https://www.omega.com/en-us/resources/category/temperature>
- [9] HCS-3600/3602/3604 USB user manual [online]. 2019 [cit. 2019-03-05]. Dostupné z WWW: <https://www.manson.com.hk/product/hcs-3604-usb/>
- [10] Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K. [online]. 2019 [cit. 2019-07-30]. Dostupné z WWW: <https://www.mmf.de/english.htm>
- [11] cDAQ-9178 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: <http://www.ni.com/pdf/manuals/374046a.pdf>
- [12] NI-9212 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: [http://www.ni.com/pdf/manuals/374358b\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374358b_02.pdf)
- [13] NI-9216 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: [http://www.ni.com/pdf/manuals/376921c\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/376921c_02.pdf)
- [14] JSP D2410 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: <http://www.jsp.cz/files/d0912kpcz.pdf>
- [15] NI-9203 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: [http://www.ni.com/pdf/manuals/374070a\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374070a_02.pdf)
- [16] NI-9205 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16] Dostupné z WWW: [http://www.ni.com/pdf/manuals/374188a\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374188a_02.pdf)



- [17] Balluff BGL001W Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: [http://www.murri.fi/documents/balluff/BGL/BGL5A\\_001\\_S49\\_en.pdf](http://www.murri.fi/documents/balluff/BGL/BGL5A_001_S49_en.pdf)
- [18] 1-Channel Hall M16 series Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: [https://www.rheintacho.de/fileadmin/user\\_upload/Datenblaetter/1-Kanal\\_Hall/Datenblatt\\_Sensor\\_1-Kanal\\_Hall\\_M16\\_Rev.E.pdf](https://www.rheintacho.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/1-Kanal_Hall/Datenblatt_Sensor_1-Kanal_Hall_M16_Rev.E.pdf)
- [19] NI-9411 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: [https://www.ni.com/pdf/manuals/373506a\\_02.pdf](https://www.ni.com/pdf/manuals/373506a_02.pdf)
- [20] Triaxial Accelerometers Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: <https://www.mmf.de/pdf/1-8.pdf>
- [21] General Purpose Accelerometers Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: <https://mmf.de/pdf/1-1.pdf>
- [22] NI-9234 Datasheet [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: [http://www.ni.com/pdf/manuals/374238a\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374238a_02.pdf)
- [23] NI-9482 Manual [online]. [cit. 2019-07-16]  
Dostupné z WWW: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373948b.pdf>
- [24] Viscosity of Automatic Transmission Fluid – ATF [online]. [cit. 2019-08-10]  
Dostupné z WWW: <https://wiki.anton-paar.com/en/automatic-transmission-fluid-atf/>
- [25] Help programu NI LabVIEW 2019 f2

## 10.Zdroje obrázků

Autor uvádí pouze převzaté materiály, ostatní jsou vlastní tvorby.

Obrázek 4: <https://5.imimg.com/data5/HI/WP/WL/SELLER-21614932/ntc-thermistor-500x500.jpg>

Obrázek 8: [https://www.mmf.de/accelerometer\\_designs.htm](https://www.mmf.de/accelerometer_designs.htm)

Obrázek 9: [https://www.mmf.de/accelerometer\\_designs.htm](https://www.mmf.de/accelerometer_designs.htm)

Obrázek 10: [https://www.mmf.de/accelerometer\\_designs.htm](https://www.mmf.de/accelerometer_designs.htm)

Obrázek 17: [https://www.distrelec.cz/Web/WebShopImages/landscape\\_large/\\_j/pg/manson\\_hcs-3604-usb\\_pro\\_01.jpg](https://www.distrelec.cz/Web/WebShopImages/landscape_large/_j/pg/manson_hcs-3604-usb_pro_01.jpg)

Obrázek 20: [http://sine.ni.com/images/products/us/cdaq-9178\\_1.jpg](http://sine.ni.com/images/products/us/cdaq-9178_1.jpg)

Obrázek 21: [https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/172448\\_BB\\_00\\_FB/Teplotn%C3%AD+%C4%8Didlo+se+z%C3%A1vitem+Heraeus+W-GJK+Pt+1000+-40+-+%2B.jpg?align=center&x=250&ex=250&y=250&ey=250](https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/172448_BB_00_FB/Teplotn%C3%AD+%C4%8Didlo+se+z%C3%A1vitem+Heraeus+W-GJK+Pt+1000+-40+-+%2B.jpg?align=center&x=250&ex=250&y=250&ey=250)

Obrázek 22: [http://s7d5.scene7.com/is/image/ni/11101647?\\$ni-card-md\\$](http://s7d5.scene7.com/is/image/ni/11101647?$ni-card-md$)

Obrázek 23: <https://www.amc-systeme.de/files/artikelbilder/ni-9216-federklemme.jpg>

Obrázek 24: <http://www.jsp.cz/files/d0912kpcz.pdf>

Obrázek 25: [https://www.researchgate.net/profile/Jinghai\\_Xu3/publication/303406987/figure/fig5/AS:364628614893576@1463945644381/NI-9203-current-input-module-National-Instruments-Corporation.png](https://www.researchgate.net/profile/Jinghai_Xu3/publication/303406987/figure/fig5/AS:364628614893576@1463945644381/NI-9203-current-input-module-National-Instruments-Corporation.png)

Obrázek 26: [https://www.artisanng.com/tn\\_c254\\_National\\_Instruments\\_NI\\_9205\\_View1\\_20187231\\_1053.jpg](https://www.artisanng.com/tn_c254_National_Instruments_NI_9205_View1_20187231_1053.jpg)

Obrázek 27: [https://assets.alliedelec.com/f\\_auto,d\\_no\\_image.png/70377251.jpg](https://assets.alliedelec.com/f_auto,d_no_image.png/70377251.jpg)

Obrázek 28: [https://www.rheintacho.de/fileadmin/user\\_upload/Datenblaetter/1-Kanal\\_Hall/Datenblatt\\_Sensor\\_1-Kanal\\_Hall\\_M16\\_Rev.E.pdf](https://www.rheintacho.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/1-Kanal_Hall/Datenblatt_Sensor_1-Kanal_Hall_M16_Rev.E.pdf)

Obrázek 29: [https://www.rheintacho.de/fileadmin/user\\_upload/Datenblaetter/1-Kanal\\_Hall/Datenblatt\\_Sensor\\_1-Kanal\\_Hall\\_M16\\_Rev.E.pdf](https://www.rheintacho.de/fileadmin/user_upload/Datenblaetter/1-Kanal_Hall/Datenblatt_Sensor_1-Kanal_Hall_M16_Rev.E.pdf)

Obrázek 30: [http://s7d5.scene7.com/is/image/ni/04290419?\\$ni-card-md\\$](http://s7d5.scene7.com/is/image/ni/04290419?$ni-card-md$)

Obrázek 31: [https://www.mmf.de/images/large/ks943b\\_10\\_vorn.jpg](https://www.mmf.de/images/large/ks943b_10_vorn.jpg)

Obrázek 32: [http://www.memstec.com.tw/\\_i/assets/upload/product/02dc6b9ff2be18634d8f960a262ea9a7.png](http://www.memstec.com.tw/_i/assets/upload/product/02dc6b9ff2be18634d8f960a262ea9a7.png)

Obrázek 33: <http://www.modalshop.com/filelibrary/Ni-9234.png>

Obrázek 34: [https://ni.scene7.com/is/image/ni/03281707?\\$ni-card-lg\\$](https://ni.scene7.com/is/image/ni/03281707?$ni-card-lg$)

Obrázek 42: [https://www.zoedale.co.uk/media/catalog/product/cache/9/image/1100x1100/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/f/l/flamefast\\_remote\\_emergency\\_stop\\_button\\_twist\\_release\\_-\\_zoedale\\_ltd\\_suppliers\\_of\\_valves\\_actuators\\_and\\_flow\\_control\\_equipment.jpg](https://www.zoedale.co.uk/media/catalog/product/cache/9/image/1100x1100/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/f/l/flamefast_remote_emergency_stop_button_twist_release_-_zoedale_ltd_suppliers_of_valves_actuators_and_flow_control_equipment.jpg)

Obrázek 61: <https://www.bankspowerproducts.com/Banks-Power-72521-Banks-Billet-Torque-Converter-p/72521.htm>

## 11. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Schéma otevřeného zkušebního stavu.....	2
Obrázek 2 - Schéma uzavřeného zkušebního stavu.....	3
Obrázek 3 - Schéma termočlátku .....	4
Obrázek 4 - Termistor typu NTC .....	8
Obrázek 5 - Druhy měřených tlaků .....	9
Obrázek 6 - Schéma indukčního snímání otáček .....	12
Obrázek 7 – Schéma fotoelektrického snímání otáček.....	14
Obrázek 8 – Schéma smykové konfigurace piezoelektrického snímače .....	16
Obrázek 9 – Schéma kompresní konfigurace piezoelektrického snímače .....	17
Obrázek 10 – Schéma ohybové konfigurace piezoelektrického akcelerometru .....	17
Obrázek 11 – Schéma zkušebního stavu na Julisce .....	18
Obrázek 12 – Měřicí aparatura pro hydrodynamický měnič.....	19
Obrázek 13 - Ovládací pult dynamometrů SDS 200 a ASD S200 .....	19
Obrázek 14 – Dynamometr SDS 200 v laboratoři na Julisce .....	20
Obrázek 15 – Dynamometr ASD S200 v laboratořích na Julisce .....	21
Obrázek 16 – Dynamometr 2VD 100 v laboratořích na Julisce .....	22
Obrázek 17 – Programovatelný napájecí zdroj HCS-3604.....	23
Obrázek 18 – Schéma experimentu .....	24
Obrázek 19 - Graf vnější charakteristiky dynamometru 2VD 100 .....	26
Obrázek 20 – cDAQ - 9178.....	28
Obrázek 21 – Senzor Pt100 v pouzdře se závitem.....	28
Obrázek 22 – NI-9212 - termočláanky .....	29
Obrázek 23 – NI-9216 – odporové senzory Pt100 .....	30
Obrázek 24 – Tlakový senzor D2410 .....	30
Obrázek 25 – NI-9203 – proudový vstup.....	31
Obrázek 26 – NI-9205 – napěťový vstup .....	31
Obrázek 27 – Fotoelektrický snímač Balluff BGL001W .....	32
Obrázek 28 – Hallova sonda výrobce RheinTacho .....	33
Obrázek 29 – Vzduchová mezera v závislost na dosažitelné frekvenci a použitém modulu .....	33
Obrázek 30 – NI-9411 – digitální vstup .....	34
Obrázek 31 – Třísosý akcelerometr výrobce MMF .....	35
Obrázek 32 – Jednososý akcelerometr výrobce MMF .....	35
Obrázek 33 – NI-9234 - vibrace .....	36
Obrázek 34 – NI-9482 relé modul.....	37
Obrázek 35 – Dialogové okno – adresa a port.....	39
Obrázek 36 – Indikátor komunikace a kontrolka CRC.....	39
Obrázek 37 – Záložka nastavení dynamometrů .....	40
Obrázek 38 – Indikátory chodu dynamometrů .....	41
Obrázek 39 – Ovládací prvky dynamometrů (na čelním panelu i s označením stroje) .....	43

Obrázek 40 – Časový průběh otáček dynamometru při vzestupné rampě 10 s/(1 000 ot/min) .....	45
Obrázek 41 – Časový průběh otáček dynamometru při vzestupné rampě 5 s/(1 000 ot/min) .....	45
Obrázek 42 – Hřibové tlačítko nouzového zastavení .....	47
Obrázek 43 – Otáčkoměry na čelním panelu akvizice aplikace .....	48
Obrázek 44 – Panel indikátorů měřených veličin dynamometru SDS 200 .....	49
Obrázek 45 – Indikátory efektivní hodnoty vibrací v odpovídající záložce na čelním panelu .....	50
Obrázek 46 – Ilustrace limitních hodnot .....	51
Obrázek 47 – Záložka nastavení limitních hodnot .....	52
Obrázek 48 – Schéma komunikace LabVIEW s řídicí jednotkou dynamometrů .....	54
Obrázek 49 – Smyčka analogové akvizice .....	57
Obrázek 50 – Vnitřní smyčka měření otáček .....	58
Obrázek 51 – Proces odmazávání nejstarší časové vrstvy .....	59
Obrázek 52 – Kontrola vyplněného řádku cesty souboru .....	61
Obrázek 53 – Zobrazení detailního grafu .....	63
Obrázek 54 – Kontrola kritických limitů momentu a otáček dynamometru SDS 200 .....	66
Obrázek 55 – Kontrola limitů výstrahy pro moment a otáčky dynamometru SDS 200 .....	67
Obrázek 56 – Přehrávání zvuku alarmu .....	68
Obrázek 57 – Blikání LED indikátoru .....	68
Obrázek 58 – Zpracování reakce uživatele .....	69
Obrázek 59 – Zápis hodnoty napětí .....	70
Obrázek 60 – Blokový diagram ovládání ventilátorů .....	71
Obrázek 61 – Rozstřel jednostupňového dvoufázového hydrodynamického měniče s přemostovací spojkou .....	72
Obrázek 62 – Ovládané parametry experimentu v závislosti na čase .....	73
Obrázek 63 – Kinematická charakteristika .....	75
Obrázek 64 – Výstupní charakteristika – momenty .....	75
Obrázek 65 – Výstupní charakteristika .....	76
Obrázek 66 – Bezrozměrná charakteristika .....	76

## 12. Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vybrané typy termočlánků .....	6
Tabulka 2 – Nominální hodnoty dynamometru SDS 200 .....	20
Tabulka 3 – Nominální hodnoty dynamometru ASD S200.....	21
Tabulka 4 – Nominální hodnoty dynamometru 2VD 100 .....	22
Tabulka 5 – Vybrané příkazy pro programovatelný zdroj HCS-3604 .....	23
Tabulka 6 – Naměřené a vypočtené hodnoty .....	25
Tabulka 7 – Shrnutí měřicího řetězce .....	38
Tabulka 8 – Řídicí signály dynamometrů.....	41
Tabulka 9 – Stavové signály dynamometrů.....	42
Tabulka 10 – Vzor vstupního souboru dat jízdního cyklu .....	44
Tabulka 11 – Výčet veličin získávaných s využitím řídicí jednotky dynamometrů .....	49
Tabulka 12 – Pořadí analogové akvizice.....	56
Tabulka 13 – Dvourozměrné pole pro zobrazení v grafu .....	62
Tabulka 14 – Struktura dvourozměrného pole zápisu dat .....	64
Tabulka 15 – Struktura pole limitních hodnot (značení dle kapitoly 5.7.) .....	64
Tabulka 16 – Struktura pole průměrování .....	65
Tabulka 17 – Naměřené a vypočtené hodnoty .....	74

## 13. Seznam příloh

1. CD s adresářem *.zip* s kompletním navrženým programem, blokovým diagramem ve vysokém rozlišení a elektronickou formou DP

## 14. Seznam zkratk a symbolů

### Kapitola 2

$A$	$[K^{-1}]$	koeficient rovnice odporového teplotního senzoru
$B$	$[K^{-2}]$	koeficient rovnice odporového teplotního senzoru
$C$	$[K^{-4}]$	koeficient rovnice odporového teplotního senzoru
$N$	$[-]$	počet závitů cívky
$R_0$	$[\Omega]$	elektrický odpor při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$
$R_T$	$[\Omega]$	elektrický odpor při teplotě $T$
$S_1$	$[\mu\text{V}/\text{K}]$	Seebeckův koeficient materiálu 1
$S_2$	$[\mu\text{V}/\text{K}]$	Seebeckův koeficient materiálu 2
$t$	$[\text{s}]$	čas
$T$	$[\text{K}]$	teplota
$T_m$	$[\text{K}]$	teplota měřená termočlánkem
$T_{ref}$	$[\text{K}]$	referenční teplota
$u$	$[\text{V}]$	elektrické napětí indukované v cívce
$V$	$[\text{V}]$	termoelektrické napětí termočlánku
$\Phi$	$[\text{Wb}]$	magnetický tok

### Kapitola 6

$n$	$[-]$	počet prvků souboru
$x_i$	$[?]$	$i$ -tý prvek souboru veličiny $x$
$\psi_x$	$[?]$	efektivní hodnota souboru prvků veličiny $x$

### Kapitola 7

$D$	$[\text{mm}]$	průměr hydrodynamického měniče
$M$	$[\text{Nm}]$	točivý moment čerpadla hydrodynamického měniče při výpočtu $\lambda$
$M_P$	$[\text{Nm}]$	točivý moment čerpadla hydrodynamického měniče
$M_T$	$[\text{Nm}]$	točivý moment turbíny hydrodynamického měniče
$M_1$	$[\text{Nm}]$	točivý moment čerpadla hydrodynamického měniče
$M_2$	$[\text{Nm}]$	točivý moment turbíny hydrodynamického měniče
$n_1$	$[\text{ot}/\text{min}]$	otáčky čerpadla hydrodynamického měniče
$n_2$	$[\text{ot}/\text{min}]$	otáčky turbíny hydrodynamického měniče
$n_{2s}$	$[\text{ot}/\text{min}]$	poloha spojkového bodu otáček turbíny hydrodynamického měniče
$P_P$	$[\text{W}]$	výkon čerpadla hydrodynamického měniče
$P_T$	$[\text{W}]$	výkon turbíny hydrodynamického měniče
$\eta$	$[-]$	účinnost hydrodynamického měniče
$\lambda$	$[10^{-3}]$	poměrný moment hydrodynamického měniče
$\mu$	$[-]$	momentová násobnost hydrodynamického měniče
$\nu$	$[-]$	kinematický převodový poměr hydrodynamického měniče

---

$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota oleje hydrodynamického měniče
$\omega$	[rad/s]	úhlová rychlost čerpadla hydrodynamického měniče při výpočtu $\lambda$
$\omega_P$	[rad/s]	úhlová rychlost čerpadla hydrodynamického měniče
$\omega_T$	[rad/s]	úhlová rychlost turbíny hydrodynamického měniče