

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra výkonové elektroniky a strojů

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
Software pro zpracování dat z měření

Autor práce: **Luděk Kroj**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Karel Hruška Ph.D**

---

2022

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

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

Jméno a příjmení: **Luděk KROJ**  
Osobní číslo: **E19B0038K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Software pro zpracování dat z měření**  
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

**Zásady pro vypracování**

1. Popište strukturu dat získaných jako výstup měření na zkušební RICE.
2. Vytvořte software pro zpracování a grafickou interpretaci naměřených dat ze SKŘ (Systém kontroly měření) RICE.
3. Na příkladě dodaných dat z měření proveďte zpracování a zhodnocení získaných dat.



Prof. Ing. Václav Kouřil, CSc.  
vedoucí katedry

Prof. Ing. Luděk Kroj, Ph.D.  
doktor

V Plzni dne 8. října 2021


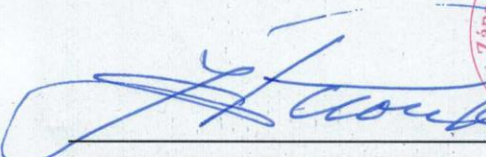
Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

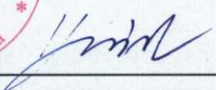
Seznam doporučené literatury:

EATON, J. W.: GNU Octave Documentation. <https://octave.org/doc/v4.2.2/>.  
THE MATHWORKS, Inc.: Matlab Documentation. <http://www.mathworks.com/help/matlab/>  
HANSELMAN, D. C.: Brushless Permanent Magnet Motor Design. McGraw-Hill, USA, 1994. ISBN 978-0070260252.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Karel Hruška, Ph.D.**  
Katedra výkonové elektroniky a strojů

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**

  
  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

**Abstrakt**

Práce se zabývá popisem a zpracováním naměřených dat z SKŘ zkušebny RICE. Popisuje obecně používané formáty pro ukládání dat z měřicích systémů se zaměřením na formáty využívané zkušebnou RICE zejména formáty NI TDMS a MS XLSX. Pro účely zpracování dat byla navržena a vytvořena SW aplikace v prostředí systému MATLAB, která umožňuje jednotný způsob základního zpracování naměřených dat, vykreslení grafů v časové i frekvenční oblasti, provedení dalších výpočtů a následný export grafů a dat pro prezentaci nebo další zpracování.

**Klíčová slova**

Měřicí systémy, zpracování dat, MATLAB, NI TDMS, Microsoft XLSX

**Abstract**

The work deals with the description and processing of measured data from the I&C RICE. It describes commonly used formats for storing data from measuring systems with a focus on the formats used by the RICE testing laboratory, especially the NI TDMS and MS XLSX formats. For data processing purposes, a SW application was designed and created in the MATLAB system environment, which enables a uniform method of basic processing of measured data, plotting graphs in the time and frequency domain, performing further calculations and subsequent export of graphs and data for presentation or further processing.

**Key Words**

Measuring systems, data processing, MATLAB, NI TDMS, Microsoft XLSX

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v seznamu.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení práce, byl využíván v souladu s licenčními podmínkami.

V Plzni, dne 22. 5. 2022



Luděk Kroj

**Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Karlu Hruškovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení při práci.

## Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Datové formáty pro ukládání dat.....	- 2 -
1.1 Úvod do problematiky ukládání dat z měřicích aplikací.....	- 2 -
1.2 Textové formáty .....	- 3 -
1.2.1 Textové formáty s oddělovači.....	- 4 -
1.2.2 Strukturované textové formáty .....	- 5 -
1.3 Binární formáty .....	- 5 -
1.4 Datové formáty v RICE.....	- 6 -
1.4.1 NI TDMS .....	- 6 -
1.4.2 Microsoft Excel.....	- 6 -
2 Aplikace RICEdataView .....	- 7 -
2.1 Vlastnosti aplikace RICEdataView .....	- 7 -
2.2 Popis funkcí aplikace a uživatelského rozhraní .....	- 7 -
2.2.1 Hlavní okno aplikace .....	- 7 -
2.2.2 Ovládací lišta .....	- 8 -
2.2.3 Import souboru s daty .....	- 9 -
2.2.4 Transformace dat do frekvenční oblasti.....	- 10 -
2.2.5 Výpočty dalších veličin .....	- 11 -
2.2.6 Export grafů .....	- 13 -
2.2.7 Export souborů.....	- 13 -
2.2.8 Stavový řádek .....	- 14 -
2.2.9 Výběr signálů pro zobrazení .....	- 14 -
2.2.10 Grafy.....	- 15 -
2.2.11 Zobrazení dat a výsledků.....	- 17 -
2.2.12 Nastavení.....	- 18 -
2.3 Import dat ve formátu TDMS.....	- 20 -
2.4 Import dat ve formátu XLSX .....	- 22 -
3 Příklad zpracování dat .....	- 24 -
3.1 Popis měřené aplikace a cíl zpracování.....	- 24 -
3.2 Data pro zpracování .....	- 24 -

---

3.2.1	Data stanovení parametrů stroje.....	- 24 -
3.2.2	Data pro určení příkonů stroje .....	- 26 -
3.3	Postup zpracování .....	- 26 -
3.3.1	Parametry stroje .....	- 26 -
3.3.2	Příkony během oteplovací zkoušky .....	- 29 -
3.4	Výsledky zpracování .....	- 31 -
3.4.1	Podélná impedance .....	- 31 -
3.4.2	Příkon a účinník .....	- 32 -
	Zhodnocení a závěr .....	- 34 -
	Seznam literatury a informačních zdrojů .....	- 35 -
	Seznam obrázků .....	- 36 -
	Seznam tabulek .....	- 37 -
	Seznam příloh .....	- 38 -



## Seznam symbolů a zkratk

<b>Značka</b>	<b>Popisek</b>	<b>Jednotka</b>
<i>CSV</i>	Comma-separated Value	
<i>DPI</i>	Dots per inch	
<i>FFT</i>	Fast Fourier Transform (rychlá Fourierova transformace)	
<i>MS</i>	Microsoft	
<i>RICE</i>	Research and Innovation Centre for Electrical Engineering	
<i>SKŘ</i>	Systém kontroly a řízení	
<i>SW</i>	Software	
<i>TDMS</i>	Technical data management Streaming	
<i>XLSX</i>	Formát souboru aplikace Microsoft Excel	
<i>XML</i>	Extensible Markup Language	

## Úvod

Práce se zabývá popisem a zpracováním naměřených dat z SKŘ zkušebny RICE. V současné době není na zkušebně k dispozici aplikace, která by umožňovala importovat a zpracovat naměřená data uložená v různých formátech. Vytvoření takové aplikace bylo stěžejním cílem práce.

První část práce bude věnována přehledu a popisu datových formátů vhodných pro využití k záznamu dat z měřících aplikací včetně souborových formátů používaných zkušebnou RICE.

Pro účely zpracování dat bude vytvořena softwarová aplikace umožňující import naměřených dat ve formátech používaných v RICE, vykreslení grafů z importovaných dat v časové a frekvenční oblasti, provedení základních výpočtů a následný export grafů a zpracovaných dat pro další využití k prezentaci a dokumentaci výsledků měření nebo pro následné vyhodnocení pomocí dalších softwarových nástrojů. Po zvážení stanovených cílů a dostupných možností pro jejich naplnění byl pro vytvoření aplikace využit systém MATLAB, který disponuje řadou integrovaných funkcí vhodných pro zamýšlené využití.

V poslední části bude popsáno provedení zpracování vybraného měření pomocí vytvořené aplikace.

# 1 Datové formáty pro ukládání dat

## 1.1 Úvod do problematiky ukládání dat z měřicích aplikací

Softwarové aplikace určené pro měření a ukládání dat používají obecně celou řadu různých formátů pro ukládání dat do datových úložišť. Vhodnost jednotlivých formátů pro použití můžeme dělit podle různých hledisek. Pro využití v aplikacích pro měření jsou důležitá zejména následující hlediska:

- rychlost zápisu a čtení dat
- nároky na diskový prostor nebo přenosovou kapacitu
- možnosti uchovávání souvisejících informací společně s naměřenými daty
- možnosti dalšího využití dat v navazujících systémech pro zpracování dat

Pro aplikace, které měří data z mnoha senzorů a zároveň snímají data s vysokou frekvencí, je rychlost zápisu dat klíčovým parametrem, který může zásadně limitovat použití systému. Zejména se omezení týkají množství současně snímaných veličin, maximální možné frekvence měření nebo délky záznamu. Je samozřejmě možné posunout limity pomocí různých opatření hlavně na hardwarové úrovni, například použitím rychlejších datových sběrnic a úložišť nebo využitím několika současně provozovaných systémů, ale i tyto možnosti mají své limity a také nezanedbatelné náklady.

S tím úzce souvisí i hledisko nároků na diskový prostor, případně také na přenosové kapacity v případě, že získaná data nejsou zpracovávána na místě, ale je potřeba je přenášet do místa následného zpracování. Pro výše zmíněné aplikace, které dokážou generovat velké datové toky, je nutné zohlednit také předpokládaný způsob práce s již získanými daty. A to jak v krátkodobém horizontu, který zpravidla zahrnuje vyhodnocení alespoň části získaných dat, tak i možné požadavky na budoucí využití dat. Zde se může jednat jak o zálohování dat, tak i o případné budoucí opakované nebo rozšířené zpracování, možnost porovnání současných dat s obdobnými daty, které budou získány později a podobně. Současná úroveň techniky umožňuje snímat a ukládat ze sledovaných procesů obrovské objemy dat, přičemž náklady na získání dat se díky neustále narůstajícím rychlostem mikroprocesorů a kapacitám úložišť spíše snižují. Na rozdíl od toho náklady na analýzu dat mají právě z důvodu rostoucího množství dat spíše vzestupnou tendenci. Velmi často se proto ke zpracování přistupuje s následující strategií. Bezprostředně po měření je zpracováván pouze nezbytný rozsah dat a zbylá data jsou pouze archivována pro případné budoucí využití.

Právě možnosti plnohodnotné budoucí práce s dříve získanými daty jsou silně podmíněny dostupností informací, které dostatečně komplexně a detailně popisují uložená data. A to nejen samotná data, ale i proces měření jako celek. Bez souvisejících informací není v řadě případů možné data správně vyhodnotit nebo následně porovnat s obdobnými daty. K tomuto problému je možné přistupovat z několika stran. Některá možná řešení pro vybrané skupiny formátů ukládání dat jsou popsána níže včetně zhodnocení slabých a silných stránek jednotlivých způsobů řešení.

Zpracování a následné vyhodnocení dat je nedílnou součástí celého procesu. Ve většině případů není možnost zpracování a vyhodnocení integrovanou součástí aplikace pro měření, ale probíhá odděleně v dalších navazujících systémech, kde může probíhat automaticky, ručně nebo nejčastěji kombinací obou přístupů. Není vždy pravidlem, že měřicí systém a systémy pro zpracování a vyhodnocení jsou založené na stejné nebo příbuzné softwarové platformě a proto není automaticky zaručena kompatibilita systémů z pohledu schopnosti číst a porozumět datovým souborům vytvořeným v jiném systému.

V technické praxi zahrnuje pojem měření velmi širokou škálu aplikací s výrazně odlišnými požadavky na měřená, ukládaná nebo přenášená data. Nelze proto obecně zvolit jeden nejvýhodnější univerzální formát, ale je nutné pro každou aplikaci pečlivě vybrat vhodný způsob ukládání dat. Výběr by měl být proveden nejlépe v počáteční fázi práce na projektu měřicího systému. Volba vhodného formátu může mít velký dopad nejen na výkon a efektivitu celého systému získávání dat, ale také na náročnost následného zpracování dat.

## 1.2 Textové formáty

Textové formáty jsou velmi často využívány buď přímo pro ukládání měřených dat nebo jako formát pro export dat a následný přenos na jiný systém.

Mezi hlavní výhody patří zejména možnost čtení dat uživatelem bez použití speciálních softwarových nástrojů a také skutečnost, že většina aplikací využívaných pro zpracování dat je schopna standardizované formáty přímo importovat.

Nevýhodou je zejména vysoká datová náročnost a tím i velké požadavky na datový tok při zápisu na disk. Hlavním důvodem je způsob kódování uložené informace, kdy jsou čísla zaznamenávána jako řetězce 8 bitových znaků. Datová náročnost znevýhodňuje textové formáty pro použití v aplikacích vyžadujících ukládání dat s vysokou frekvencí.

Textové formáty můžeme dále dělit na dvě skupiny a to na textové formáty s oddělovači a strukturované textové formáty.

### 1.2.1 Textové formáty s oddělovači

Soubory s formátovanými daty oddělenými dohodnutými znaky do formy tabulky, kdy oddělovačem sloupců tabulky je nejčastěji čárka, středník nebo tabulátor a oddělovačem řádků znak konce řádku.

Kromě výše zmíněné obecné nevýhody textových souborů v podobě vysokých datových nároků je třeba zmínit některá další omezení a nevýhody.

Jedním z omezení je obtížné systematické ukládání popisných informací přímo do souborů s daty. Je samozřejmě možné přidat popisná data na začátek souboru a teprve pak vložit naměřená data, ale toto řešení výrazně zhoršuje možnosti dalšího automatizovaného zpracování souborů, protože popisné informace mají obecně proměnný rozsah i strukturu a systémy pro zpracování mohou mít následně problémy s rozlišením, která data jsou ještě popisná a která už reprezentují naměřená data. Další možností je ukládat popisné informace do samostatných souborů, ale v tom případě je nezbytné zajistit jednoznačnou přiřaditelnost popisných informací k příslušným souborům s naměřenými daty. Dobrou praxí je do souboru s naměřenými daty přidat na začátek každého souboru alespoň řádek s názvy jednotlivých sloupců, které budou vzájemně odděleny stejným způsobem jako další řádky s naměřenými daty.

Další nevýhody souvisí s poměrně častými lokálními odlišnostmi v používaných formátech čísel, data a času. Například u jednoho z nejpoužívanějších formátů CSV (comma-separated values), který, jak vyplývá z názvu, využívá jako oddělovač sloupců znak čárky, je v naší oblasti je velkou praktickou nevýhodou, že jako oddělovač desetinných míst používáme také čárku. Chybné nastavení ukládání dat s čárkou jako oddělovačem desetinných míst a zároveň oddělovačem sloupců vede k faktickému znehodnocení uložených dat. Výhodnější je použít jako oddělovač sloupců znak tabulátoru, který navíc zlepšuje čitelnost dat v jednoduchých textových editorech.

Pro měřicí systémy jsou časové značky identifikující časový okamžik měření zpravidla důležitou součástí datových souborů. V případě textových souborů je ukládání časových značek a jejich následná správná interpretace poměrně komplikovanou záležitostí. Zejména v případě, že přenášíme data mezi systémy používajícími rozdílné lokální nastavení formátů data a času. Při přenosu dat pomocí textových souborů mezi takovými systémy je nutné věnovat dostatečný prostor pro nastavení a důkladné otestování parametrů exportu a importu dat, aby nedocházelo ke zkreslení nebo ztrátě informací obsažených v časových značkách.

### 1.2.2 Strukturované textové formáty

Strukturované textové formáty odstraňují problém s ukládáním popisných informací přímo do souboru s daty. Zpravidla využívají stromovou strukturu, kde v jednotlivých větvích můžeme v dalších větvích uložit kromě naměřených dat všechny potřebné související informace strukturovaně bez omezení jejich množství.

Možnost ukládání popisných informací je ale vykoupena výrazným nárůstem datového objemu souborů, protože vytvoření stromové struktury se provádí přidáním dalších speciálních znaků a sekvencí. Pro ukládání velkých datových objemů se současným požadavkem na vysokou rychlost ukládání je tento formát nevhodný.

Asi nejnámějším zástupcem této skupiny je formát XML (eXtensible Markup Language), který je široce využíván pro výměnu dat mezi různými systémy.

Dobrým kompromisem může být využití strukturovaného formátu pouze pro uložení popisných informací v samostatném souboru a ukládání naměřených dat do textových souborů s oddělovači nebo do binárních souborů. Tím se zachovávají výhody strukturovaného uložení popisných informací bez negativního vlivu na rychlost ukládání měřených dat.

### 1.3 Binární formáty

Soubory uložené v binárním formátu se z pohledu uživatele diametrálně liší od textových formátů zejména tím, že je nelze číst bez použití speciálního softwaru. Původce souboru v binárním formátu musí dát uživateli dat k dispozici příslušný software nebo podrobnou specifikaci způsobu uložení dat v souboru, na základě které si uživatel dat musí vytvořit nebo upravit vlastní softwarové nástroje.

Na druhou stranu jsou tyto nevýhody vyváženy výrazně menšími nároky na datový tok a prostor pro ukládání naměřených dat. Proto je lze do datových úložišť zapisovat velmi vysokou rychlostí, což je výhodné právě pro aplikace s velkým počtem měřících kanálů nebo vysokou frekvencí snímání dat.

Binárních formátů existuje velké množství. Důvodů proč si firmy zabývající se vývojem měřících aplikací vytvářejí vlastní binární formáty může existovat celá řada. Hlavním důvodem je většinou možnost optimalizace datového formátu pro konkrétní aplikaci ať už po stránce použitého hardwaru, tak i z pohledu dalších návazností na zpracování dat a archivaci. V neposlední řadě může být důvodem i skutečnost, že firmy zároveň s aplikacemi a nástroji pro měření dodávají software pro následné zpracování a vyhodnocení dat. Vlastní formát dat se zaručenou kompatibilitou mezi měřicími aplikacemi a systémem pro vyhodnocení může být značnou konkurenční výhodou.

## 1.4 Datové formáty v RICE

System kontrolы řízení ve zkušebně RICE používá pro export naměřených dat různé datové formáty, z nichž hlavní jsou formáty NI TDMS a Microsoft Excel.

### 1.4.1 NI TDMS

Datový formát TDMS patří do skupiny binárních formátů dat. Jedná se o proprietární formát využívaný v produktech firmy NI (dříve National Instruments) pro ukládání dat z měřicích aplikací vytvořených v softwarových systémech NI jako je například systém LabView.

Formát je optimalizovaný pro ukládání naměřených dat na disk. Nedílnou součástí ukládaných souborů je i sada dokumentačních informací, které mohou detailně popisovat datový soubor, průběh měření a nastavení jednotlivých měřicích kanálů.

Detailní popis interní struktury formátu je popsán v [5].

### 1.4.2 Microsoft Excel

Aplikace MS Excel používá pro ukládání několik typů souborů odlišených použitou příponou v názvu souboru, z nichž primárně využíváný je typ XLSX. Přestože soubor s příponou XLSX na první pohled vypadá jako soubor v binárním formátu, tvoří jeho obsah adresářová struktura naplněná mnoha soubory, většinou ve formátu XML, které obsahují jak uložená data, tak i všechny informace o struktuře dokumentu, formátech a vzájemných vazbách. Celý adresář je poté komprimován formátem ZIP, a proto není jednoduše čitelný bez použití příslušné aplikace. Souborným označením celé skupiny formátů je Office Open XML. Podrobnější popis tohoto formátu je obsažen v dokumentech standardizační organizace ECMA International [6]. Formát byl také standardizován v normě ISO/IEC 29500-1:2016. Microsoft bohužel u vlastních aplikací ne vždy striktně dodržuje přijatý standard, což může v některých případech následně ztížit práci se soubory Office Open XML.

## 2 Aplikace RICEdataView

Pro zpracování dat byla vytvořena aplikace v systému MATLAB. Aplikace byla navržena s pomocí nástroje MATLAB App Designer, který umožňuje realizovat vizuální návrh aplikace systémem Drag and Drop a zároveň obsahuje nástroje na podporu produktivity vývoje jako například tvorbu prototypů funkcí nebo správu názvů proměnných. Během vývoje aplikace byly kromě integrované nápovědy SW MATLAB primárním zdrojem informací dokumentační stránky firmy MathWorks [2] a databáze odpovědí k systému MATLAB na stránkách stejné firmy [3]. Aplikace byla testována ve verzi MATLAB R2021a vydané v roce 2021 provozované v prostředí operačního systému MS Windows 10.

### 2.1 Vlastnosti aplikace RICEdataView

Aplikace umožňuje provádění následujících operací:

- import souborů ve formátu XLSX a TDMS
- převod naměřených dat do frekvenční oblasti (FFT)
- výpočty vybraných veličin
- zobrazení dat v časové oblasti v tabulce
- zobrazení dat ve frekvenční oblasti v tabulkách
- zobrazení vypočtených veličin v tabulkách
- výběr datových položek pro zobrazení v grafu
- zobrazení vybraných dat v grafu v časové oblasti
- zobrazení vybraných dat v XY grafu
- zobrazení vybraných dat v grafech ve frekvenční oblasti
- export grafických dat ve formátech PNG, JPG, TIFF a PDF
- export importovaných dat ve formátech CSV a XLSX
- export dat převedených do frekvenční oblasti ve formátech CSV a XLSX
- export vypočtených dat ve formátech CSV a XLSX

### 2.2 Popis funkcí aplikace a uživatelského rozhraní

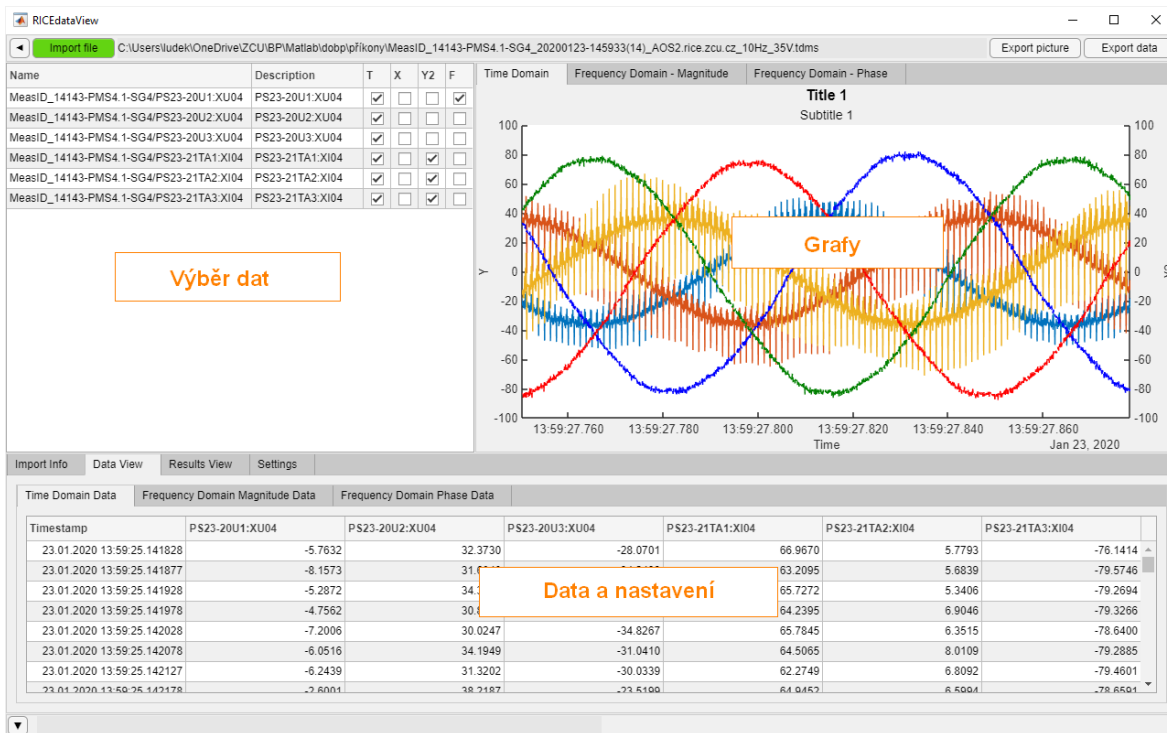
#### 2.2.1 Hlavní okno aplikace

Grafické rozhraní je rozděleno na 5 částí (viz Obr. 1).

- ovládací lišta – pás s ovládacími tlačítky a informačními poli v horní části okna
- stavový řádek – pás s ovládacími tlačítky a informačními poli v dolní části okna



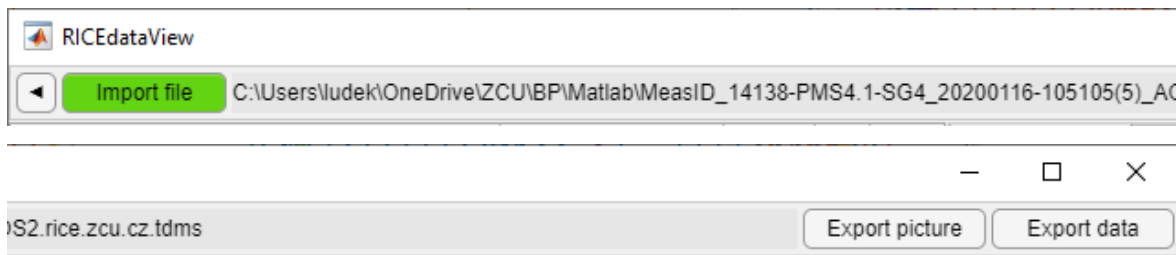
- sekce Výběr dat – tabulka se seznamem aktuálně načtených datových položek s možností výběru položek zobrazených v jednotlivých grafech
- sekce Data a nastavení – informace o importu, načtená, převedená a vypočtená data, nastavení grafů
- sekce Grafy – grafy vybraných veličin v časové a frekvenční oblasti



Obr. 1 Hlavní okno aplikace


## 2.2.2 Ovládací lišta

Pro ovládání operací importu a exportu dat slouží ovládací lišta v horní části okna.



Obr. 2 Ovládací lišta

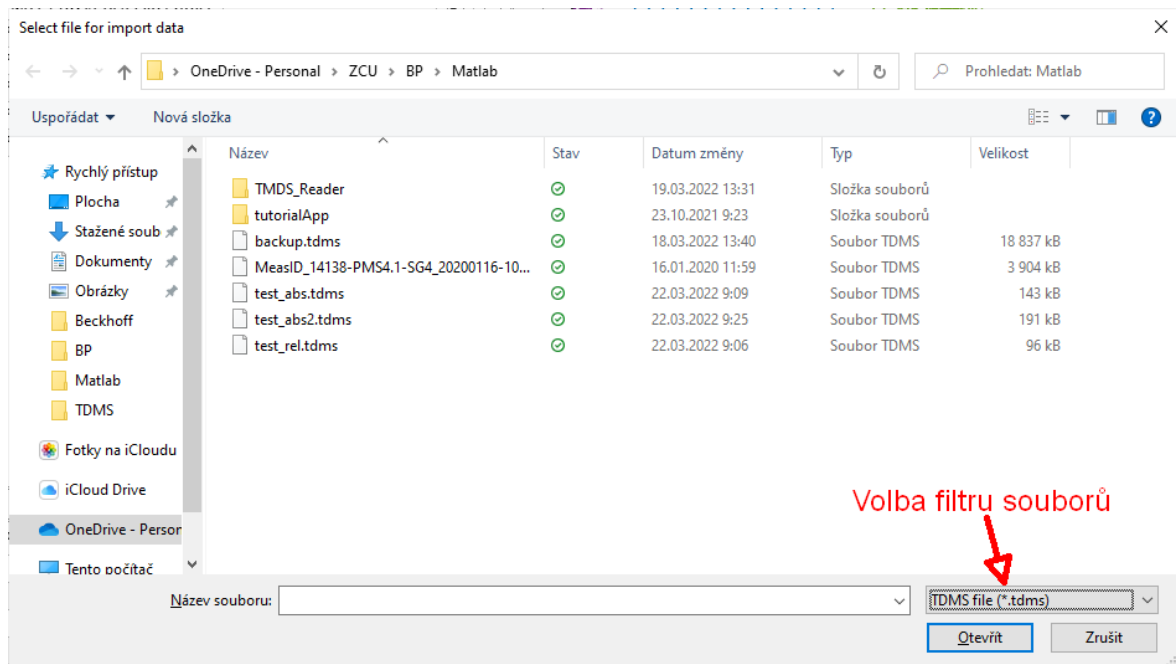
Na ovládací liště jsou dostupné následující ovládací prvky:

- tlačítko pro skrytí / zobrazení sekce Výběr dat 
- tlačítko *Import file* pro vyvolání dialogového okna s výběrem vstupního souboru s daty pro import

- informační pole pro zobrazení názvu aktuálního importovaného souboru s daty včetně cesty
- tlačítko *Export picture*, pomocí kterého je možné exportovat grafy ze sekce Grafy do souborů ve formátech JPEG, PNG, TIFF, PDF a EPS
- tlačítko *Export data*, které umožňuje export importovaných dat, dat převedených do frekvenční oblasti a vypočtených dat do souborů ve formátech CSV a XLSX
- standardní systémová tlačítka pro ovládání okna aplikace

### 2.2.3 Import souboru s daty

Výběr souboru s naměřenými daty pro import do aplikace je možný po stisku tlačítka *Import file*, které zobrazí systémové dialogové okno pro výběr souboru. Výběr je omezen na soubory typu XLSX a TDMS. Volba typu souboru se provede přepínačem v pravé dolní části dialogového okna. Standardně je předvolen formát XLSX.



Obr. 3 Výběr souboru pro import

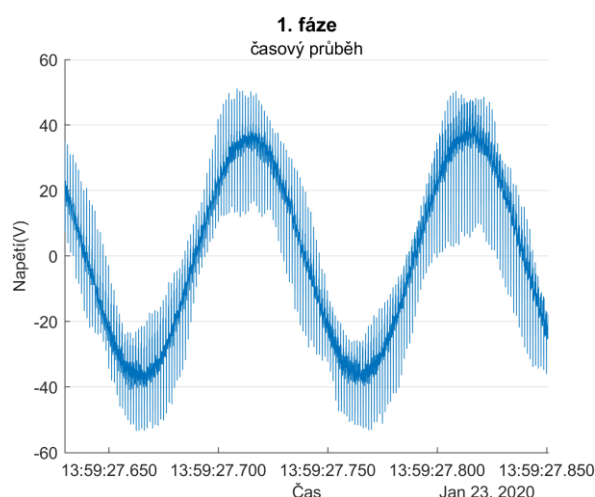
Po výběru souboru, kdy je možné zvolit pouze jeden soubor, a stisku tlačítka *Otevřít* se aplikace pokusí otevřít vybraný soubor a importovat uložená data do interních datových struktur aplikace. Import souborů s velkým objemem uložených dat může v závislosti na výkonu konkrétního počítače trvat poměrně dlouhou dobu a je nutné vyčkat na ukončení importu. Během importu je tlačítko *Import file* podbarveno modře. Systém neumožňuje zobrazování průběhu importu.

Pokud dojde během importu souboru k chybě, je import přerušeno a tlačítko *Import file* se podbarví červeně. Uživatel může zobrazit detaily případné chyby importu v sekci Data a nastavení na záložce *Import Info*. Úspěšný import dat je signalizován zeleným podbarvením tlačítka *Import file*. Po dokončení importu jsou data převedena do interních tabulek a zobrazena v příslušných sekcích.

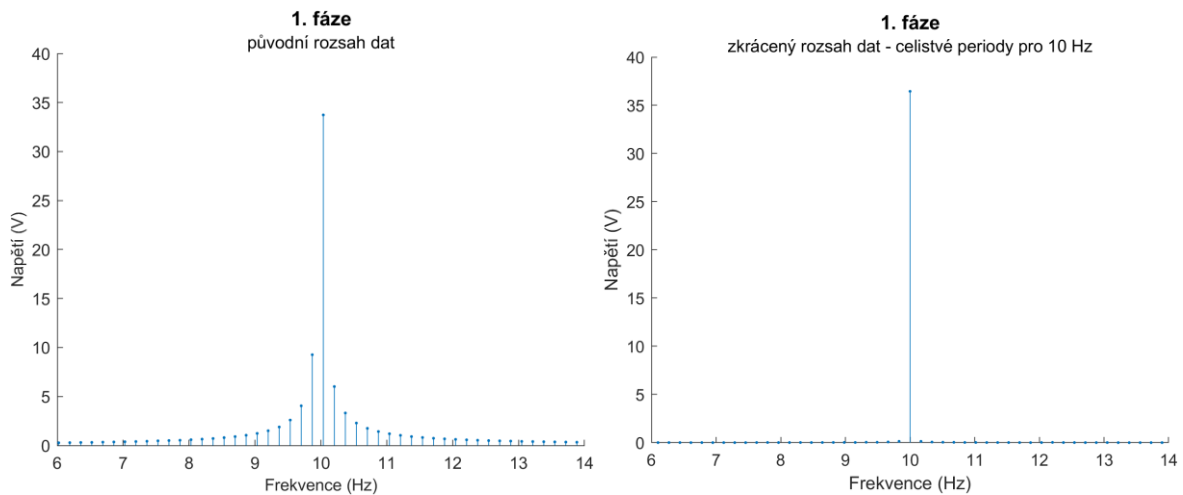
Pozn.: Podporované formáty importovaných dat, zejména pak formát XLSX, umožňují značnou obsahovou variabilitu, proto úspěšnost importu dat není obecně zaručena. Aplikace si neklade za cíl schopnost importu libovolného souboru daného formátu, ale pouze typických výstupů z SKŘ RICE, které by před importem neměly být dodatečně upravovány. Předpoklady pro úspěšný import jednotlivých formátů jsou uvedeny v kapitolách 2.3 a 2.4.

#### 2.2.4 Transformace dat do frekvenční oblasti

Po dokončení importu se automaticky provede transformace všech importovaných datových položek do frekvenční oblasti. Převod je prováděn rychlou Fourierovou transformací (FFT) pomocí standardní funkce *fft* integrované v MATLAB. Jednou z nepříjemných vlastností FFT, která nepříznivě ovlivňuje právě zpracování signálů například z točivých strojů je, že pokud zpracováváný úsek dat neobsahuje celistvý počet period signálu, může docházet k významným nepřesnostem ve výsledném spektru, čímž je ztíženo následné vyhodnocení. Na obrázku Obr. 4 je příklad průběhu napětí jedné fáze synchronního stroje, jehož rotor se otáčí s frekvencí 10 Hz. Na dalším obrázku Obr. 5 je zobrazeno spektrum signálu nejprve pro původní rozsah dat a následně pro rozsah zkrácený na celé násobky periody odpovídající frekvenci otáčení.



Obr. 4 Časový průběh signálu před FFT



Obr. 5 Porovnání spekter signálu pro původní a zkrácený rozsah dat

Aplikace umožňuje provést FFT transformaci oběma způsoby. V základním nastavení je FFT transformace provedena nad celým rozsahem naměřených dat. Uživatel si před importem dat může na záložce *Settings / Global* zapnout funkci zkrácení dat a nastavit frekvenci použitou pro stanovení rozsahu dat. V případě, že základní frekvence není předem známa, může nejdříve provést FFT nad celým rozsahem a na základě výsledků FFT následně nastavit frekvenci pro zkrácení dat a provést transformaci znovu s upravenými parametry.

### 2.2.5 Výpočty dalších veličin

Na základě transformovaných dat mohou být následně provedeny výpočty dalších potřebných veličin podle typu zpracovávaného měření. Přepínání typu výpočtů se provádí v sekci Data a nastavení na záložce *Settings / Global* pomocí přepínače *Computations type*. Ve výchozím stavu je přepínač nastaven tak, aby výpočty nad importovanými daty nebyly prováděny. V současné verzi aplikace obsahuje pouze možnost výpočtu příkonu a účinníku 3fázového stroje. Rozšíření funkčnosti na vyhodnocení dalších typů měření je možné poměrně jednoduše přidáním další položky do přepínače *Computations type* a vložením příslušného výpočetního kódu do interní funkce *Compute*. Pro ukládání, prezentaci a export výsledků lze i pak využít již připravené funkce aplikace. Tento způsob je spíše vhodný v případě, že jsou sériově prováděny opakované testy se shodnou konfigurací měřícího systému. Potom může být výhodné přidat a odladit v aplikaci další typ vyhodnocení. Pro operativní vyhodnocování měření s měnicí se konfigurací měřícího systému se může být efektivnější provést v aplikaci pouze import s FFT transformací, exportovat data a další vyhodnocení provést jinými nástroji např. pomocí MS Excel.

Pro zpracování příkladu prezentovaného níže v kapitole 3 bylo implementováno vyhodnocení příkonu a účinníku 3fázového stroje. Tento typ vyhodnocení předpokládá, že tři první datové položky v importovaném souboru jsou sdružená napětí všech fází a v dalších třech položkách jsou ve stejném pořadí proudy příslušných fází. Všechny výpočty se provádí nad daty ve frekvenční oblasti. Postup zpracování je následující:

- přepočtení napěťových signálů na fázová napětí podle vzorce  $U_f = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}}$
- nalezení maximální amplitudy a její frekvenční polohy pro získání základní harmonické frekvence a její amplitudy
- výpočet efektivních hodnot signálů napětí a proudu  $U_{RMS} = \frac{U_{fmax}}{\sqrt{2}}$  resp.  $I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$
- určení fázových posuvů jednotlivých signálů v radiánech a ve stupních.
- výpočet komplexního výkonu jednotlivých fází podle vztahu  $S = \frac{1}{2} Re\{U_f \cdot I^*\}$
- výpočet účinníku jednotlivých fází podle vztahu  $\cos\phi = \cos(\phi_{U_f} - \phi_I)$

V případě potřeby vyhodnocení dalších veličin je možné poměrně jednoduše doplnit do kódu interní funkce *Compute* programový kód pro jejich výpočet a výstupy nasměrovat do dalších řádků výstupní tabulky po vzoru již připravených výpočtů. Pro zobrazení a export výsledků lze tak využít již připravené funkce aplikace.

Interně mohou být pro každý typ vyhodnocení prováděny dvě skupiny výpočtů, základní (Primary) a celkové (Overall).

Do skupiny základních výpočtů jsou zařazeny výpočty prováděné odděleně nad jednotlivými datovými položkami (sloupci dat). Počet vyhodnocovaných veličin není v podstatě omezen. Výsledky jednotlivých výpočtů pro každý signál jsou zaznamenávány do tabulky v sekci Data a nastavení na záložce *Results View / Results - primary* a je možné je následně exportovat.

Druhá skupina výpočtů (Overall) je určena pro vyhodnocení veličin vyžadujících využití dat z několika signálů současně. Typickým použitím může být například výpočet výkonu a účinníku na základě signálů napětí a proudu. Aplikace neumožňuje změnu pořadí importovaných signálů, proto je pro vyhodnocení nutné dodat data se specifickým pořadím signálů.

Výsledky celkových výpočtů jsou zaznamenávány do tabulky v sekci Data a nastavení na záložce *Results View / Results - overall* a je možné je následně exportovat v samostatném souboru.

### 2.2.6 Export grafů

Tlačítko *Export picture* umožňuje export grafů ze sekce Grafy do výstupních souborů, které je možné dále použít pro prezentaci naměřených dat. Po stisku tlačítka je vyvolán systémový dialog pro výběr souboru s omezením výběru na podporované formáty. Název výstupního souboru je přednastaven podle názvu a umístění importovaného datového souboru s přidaným textem *\_img* na konec názvu. Název a umístění je možné libovolně měnit. Funkce exportuje v samostatných souborech současně všechny zvolené typy grafů. Výběr exportovaných typů grafu je možné upravit v sekci Data a nastavení na záložce *Settings / Global*. Soubory s obrázky grafů ve frekvenční oblasti mají k názvu automaticky přidané texty *\_fm* pro amplitudové spektrum a *\_fp* pro fázové spektrum. Během exportu obrazových souborů je tlačítko *Export picture* podbarveno modře a po dokončení exportu se podbarví zeleně. V sekci Data a nastavení je možné na záložce *Settings* nastavit pro jednotlivé grafy rozlišení výstupních obrazových souborů v DPI.

### 2.2.7 Export souborů


Tlačítko *Export data* slouží pro export importovaných, zpracovaných a vypočtených dat ve formátech CSV a XLSX, které jsou na rozdíl od dat ve formátu TDMS vhodné pro další práci s daty v širokém spektru aplikací. Po stisku tlačítka je vyvolán systémový dialog pro výběr souboru s omezením výběru na oba podporované formáty. Název výstupního souboru je přednastaven podle názvu a umístění importovaného datového souboru s přidaným textem *\_exp* na konec názvu, aby nedocházelo k nechtěným přepisům importovaných souborů v případě, že jsou ve shodném formátu. Název a umístění je možné libovolně měnit. Funkce exportuje v samostatných souborech současně všechny zvolené typy výstupních souborů. Výběr exportovaných výstupních souborů je možné upravit v sekci Data a nastavení na záložce *Settings / Global*. Soubory s daty ve frekvenční oblasti mají k názvu automaticky přidané texty *\_fm* pro amplitudové spektrum nebo *\_fp* pro fázové spektrum. Názvy souborů s výsledky výpočtu jsou rozšířeny o text *\_res\_prim* pro primární výpočty resp. *\_res\_over* pro celkové výpočty.

Obsah exportovaných dat má pro oba formáty XLSX a CSV shodnou strukturu, kdy v prvním řádku je zapsána hlavička složená z názvů nebo popisů jednotlivých signálů následovaná jednotlivými řádky s daty. Volbu, zda je hlavička složená z názvů nebo z popisů signálů, je možné nastavit na záložce *Settings / Global*.

Během exportu souborů je tlačítko *Export data* podbarveno modře, po dokončení exportu se podbarví zeleně. Případná chyba během exportu je signalizována červeným podbarvením tlačítka s varovným hlášením ve stavovém řádku.

### 2.2.8 Stavový řádek

V dolní části okna aplikace je stavový řádek obsahující následující ovládací prvky:

- tlačítko pro skrytí / zobrazení sekce Data a nastavení 
- informační pole pro zobrazení stavových informací jednotlivých funkcí aplikace, ve kterém se zároveň zobrazují případné chyby s varovným podbarvením vizuálně upozorňujícím uživatele na výskyt chyby



Obr. 6 Stavový řádek

### 2.2.9 Výběr signálů pro zobrazení

V sekci Výběr dat je zobrazen seznam aktuálně importovaných datových položek. Pomocí ovládacích prvků v jednotlivých sloupcích tabulky se provede nastavení obsahu příslušných grafů.

Name	Description	T	X	Y2	F
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-20U1:XU04	PS23-20U1:XU04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-20U2:XU04	PS23-20U2:XU04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-20U3:XU04	PS23-20U3:XU04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-21TA1:XI04	PS23-21TA1:XI04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-21TA2:XI04	PS23-21TA2:XI04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-21TA3:XI04	PS23-21TA3:XI04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Obr. 7 Sekce Výběr dat

Tabulka obsahuje následující sloupce :

- sloupec **Name**: Zobrazuje jména jednotlivých datových položek, které jsou vždy importovány z datového souboru. Jména nelze uživatelsky upravovat. Ve výchozím nastavení jsou jména položek použita v legendě grafů, v hlavičkách sloupců tabulek s daty a výpočty a v exportovaných datových souborech.
- sloupec **Description**: Zobrazuje popis jednotlivých datových položek. Pokud datový soubor další popis datových položek neobsahuje, nemusí být zobrazen. V případě TDMS souboru je běžné, že jméno položky je složeno z části, která je shodná pro

všechny položky a části oddělené lomítkem s unikátním označením. Pokud importovaná data neobsahují samostatný popis datových položek, ale jméno je tvořeno popsáním způsobem, je při importu automaticky do popisu vložena unikátní část ze jména položky. Popis položek ve sloupci *Description* je možné libovolně upravovat. Popisy je možné využít v legendě grafů, v hlavičkách sloupců tabulek s daty a výpočty a v exportovaných datových souborech. Použití popisů pro vyjmenované účely je možné nastavit v sekci Data a nastavení na záložce *Settings / Global*. Uživatelské změny popisu jednotlivých signálů jsou automaticky promítnuty do všech grafů a tabulek, pro které je použití navoleno. Pro popisný text lze použít standardní formátovací znaky a sekvence používané v MATLAB (značkovací syntaxe TeX) jako například pro horní a dolní indexy ( $\wedge\{\}$ ,  $\_ \{\}$ ) nebo řecká písmena ( $\backslash\alpha$ ).

- sloupec **T**: Zaškrťovací pole slouží k výběru signálů pro zobrazení v grafu pro časovou oblast.
- sloupec **X**: Graf pro časovou oblast standardně zobrazuje časový průběh signálů, kde data pro vodorovnou osu grafu jsou získána z prvního importovaného sloupce datového souboru, který obvykle obsahuje údaje o časových značkách. V seznamu signálů není tato položka zobrazena. V některých případech je účelné vykreslovat graf signálu v závislosti na jiné veličině, například proud v závislosti na otáčkách apod. Zaškrtnutím pole ve sloupci *X* dojde ke změně dat pro vodorovnou osu grafu na zvolený signál. Po zrušení výběru se data pro vodorovnou osu změni zpět na časové značky.
- sloupec **Y2**: Zaškrťovací pole určují svislou osu grafu pro časovou oblast, ke které je daná datová řada přiřazena. Výběr ve sloupci značí zobrazení signálu na sekundární (pravé) svislé ose. Pro zobrazení musí být zároveň signál vybrán i ve sloupci *T*.
- sloupec **F**: Zaškrťovací pole slouží k výběru signálů pro zobrazení v grafech pro frekvenční oblast.


Celou sekci je možné skrýt pro zobrazení většího grafu tlačítkem v Ovládací liště.

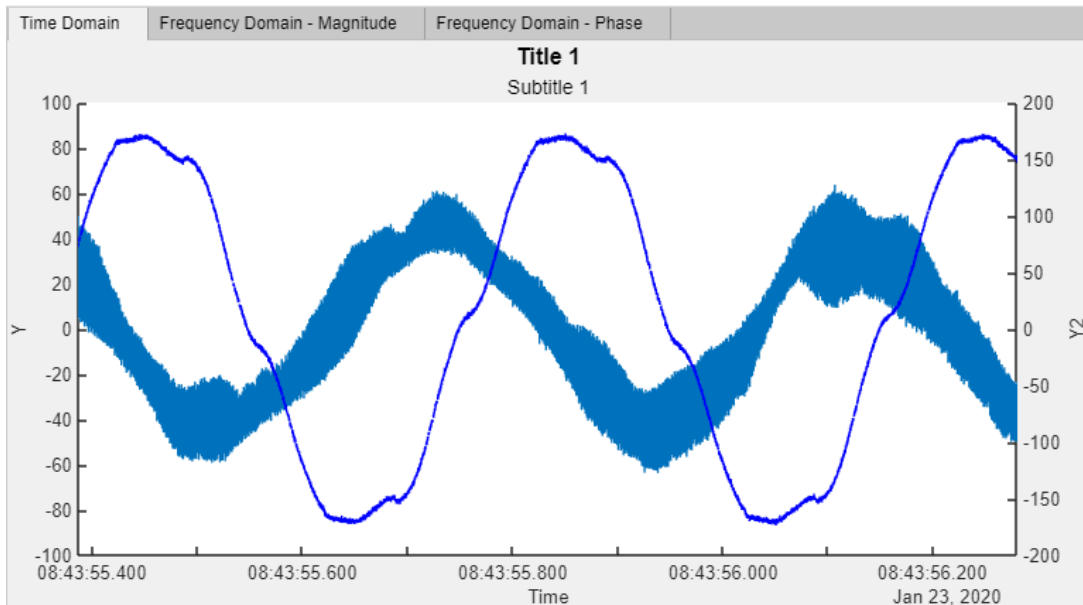
### 2.2.10 Grafy

Grafy datových položek podle výběru v sekci Výběr dat jsou vykresleny na jednotlivých záložkách sekce Grafy.

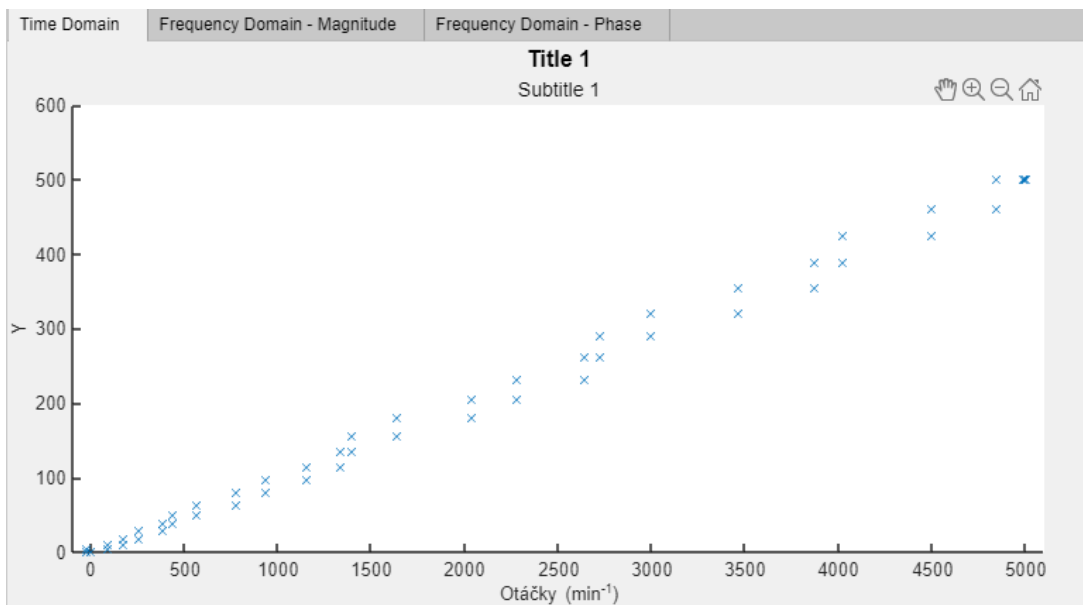
Graf časového průběhu je vykreslen pomocí standardního příkazu *plot* systému MATLAB. Pokud je jako vodorovná osa vybrána jiná datová položka než časová značka,



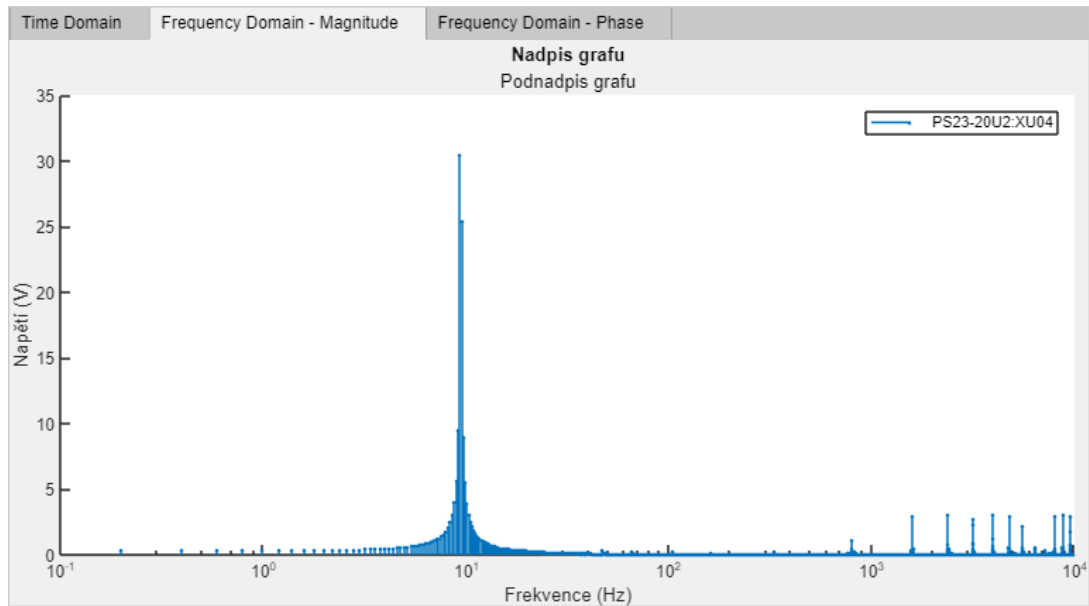
použije se pro vykreslení funkce *scatter*, která zobrazí naměřené body v XY grafu. Grafy ve frekvenční oblasti jsou vykreslovány funkcí *stem*. Všechny typy grafů umožňují zvětšení, zmenšení a posuv grafu a zobrazení hodnoty vybraného datového bodu. Pro ovládání lze použít buď v grafech integrovaný Axis Toolbar , který umožňuje přepnout ovládání do jednotlivých režimů (zleva: posun, zvětšení, zmenšení, obnovení), nebo nastavovat rozsahy jednotlivých os v sekci Data a nastavení na záložce *Settings*. Popis nastavení je v kapitole 2.2.12.



Obr. 8 Sekce Grafy – časová oblast – časový průběh



Obr. 9 Sekce Grafy – časová oblast – XY graf



Obr. 10 Sekce Grafy – frekvenční oblast

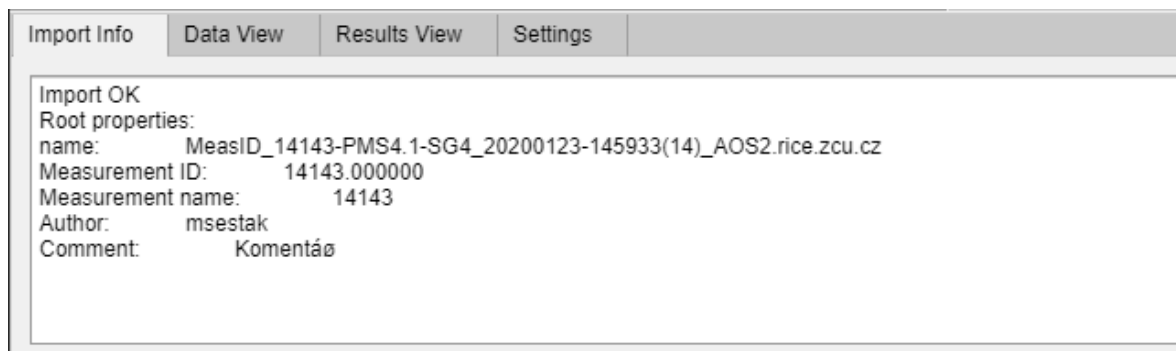
### 2.2.11 Zobrazení dat a výsledků

Sekce Data a nastavení zobrazuje na jednotlivých záložkách informace o importovaném souboru, tabulky s daty v časové i frekvenční oblasti, tabulky s výsledky výpočtů a panely pro nastavení vybraných částí jednotlivých grafů a dalších globálních parametrů.

Záložka *Import Info* obsahuje další informace o obsahu importovaného souboru nebo v případě chybného importu detailnější popis chyby importu.

V případě souboru typu XLSX je zde zobrazen náhled prvních 20 řádků a 5 sloupců prvního listu importovaného souboru, kde mohou být uloženy doplňující informace o měřené aplikaci.

U souborů typu TDMS (viz Obr. 11) jsou zobrazeny informace uložené v popisných položkách datové struktury formátu TDMS.



Obr. 11 Sekce Data a nastavení – informace o importu

Záložka *Data View* zobrazuje v tabulkách na třech samostatných záložkách všechna importovaná data a data převedená do frekvenční oblasti. Formát datových značek v tabulce importovaných dat je možné nastavit na záložce *Settings / Global*.

Import Info	Data View	Results View	Settings
Time Domain Data		Frequency Domain Magnitude Data	Frequency Domain Phase Data
MeasID_14143-PMS4.1-SG4/Timestamp		MeasID_14143-PMS4.1-SG4/PS23-20U1:XU04	MeasID_14143-
23.01.2020 13:59:25.141828			-5.7632
23.01.2020 13:59:25.141877			-8.1573
23.01.2020 13:59:25.141928			-5.2872
23.01.2020 13:59:25.141978			-4.7562
23.01.2020 13:59:25.142028			-7.2006
23.01.2020 13:59:25.142078			-6.0516
23.01.2020 13:59:25.142127			6.2420

Obr. 12 Sekce Data a nastavení – tabulky dat

Záložka *Results View* prezentuje na samostatných záložkách výsledky výpočtů. Na záložce *Results - primary* jsou výsledky základních výpočtů prováděných individuálně pro každý importovaný signál.

Import Info	Data View	Results View	Settings			
Results - primary		Results - overall				
ResultName	PS23-20U1:XU04	PS23-20U2:XU04	PS23-20U3:XU04	PS23-21TA1:X104	PS23-21TA2:X104	PS23-21TA3:X104
Base frequency	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Maximum	24.2269	24.1471	24.2393	173.3058	172.3507	171.0201
RMS	17.1310	17.0746	17.1397	122.5457	121.8704	120.9295
Phase (rad)	1.8852	-0.2079	-2.3025	0.4462	-1.6601	2.5395
Phase (deg)	108.0126	-11.9119	-131.9249	25.5672	-95.1164	145.5023

Obr. 13 Data a nastavení – tabulka výsledků - základní

Výsledky celkových výpočtů se zobrazují v tabulce na záložce *Results -overall*.

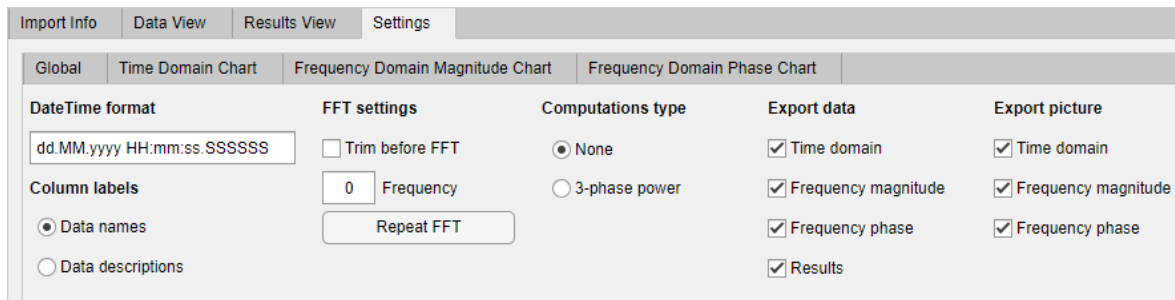
Import Info	Data View	Results View	Settings
Results - primary		Results - overall	
ResultName	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Max power	275.9997	246.2230	267.9313
cos(phi)	0.1315	0.1183	0.1293

Obr. 14 Sekce Data a nastavení – tabulka výsledků - celkové

### 2.2.12 Nastavení

Záložka *Settings* umožňuje uživateli provádět nastavení globálních parametrů aplikace a vybraných částí jednotlivých grafů.

Na záložce *Global* je možné nastavit následující parametry:



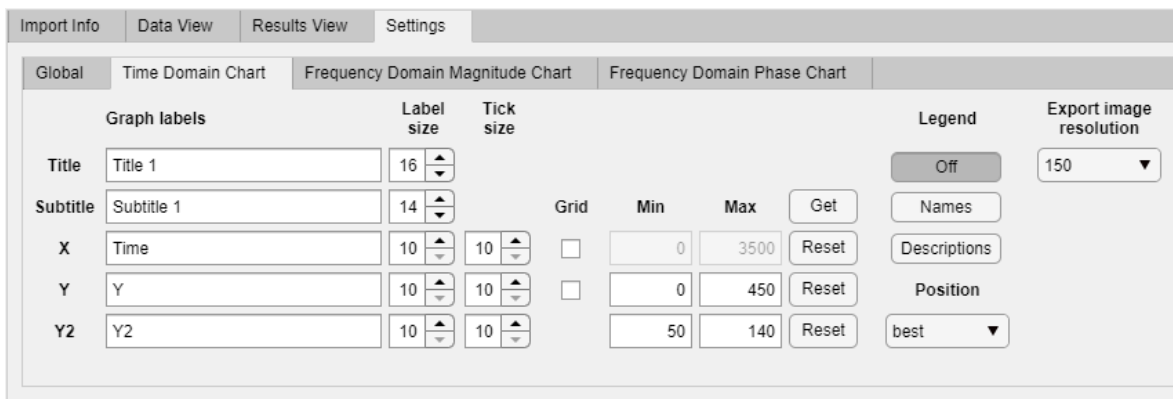
Obr. 15 Sekce Data a nastavení – nastavení globálních parametrů

- **formát data a času:** Formát je aplikován na zobrazení v tabulkách a grafech aplikace a zároveň je použit pro formátování časových značek v exportovaných souborech typu CSV a XLSX. Formát odpovídá formátovacím řetězcům systému MATLAB. Výchozí formát je *dd.MM.yyyy HH:mm:ss.SSSSSS* a odpovídá u nás běžně používanému formátu data a času s tím rozdílem, že uvádí čas s rozlišením na mikrosekundy. V případě exportu ve formátu XLSX nebo ve formátu CSV s následným importem do MS Excel je třeba počítat s tím, že MS Excel podporuje ve formátu času pouze rozlišení na úrovni milisekund.
- **názvy datových sloupců:** Výběr přepínačem mezi názvy a popisy signálů nastaví jejich použití pro legendy grafů, v hlavičky sloupců tabulek s daty a výpočty a v exportovaných datových souborech.
- **parametry FFT:**
  - aktivace funkce ořezu dat před provedením FFT (viz 2.2.4)
  - nastavení základní frekvence pro funkci ořezu dat
  - tlačítko pro opětovné provedení FFT a následných výpočtů po změně parametrů (*Repeat FFT*)
- výběr provedení speciálních typů výpočtů
- výběr typů exportovaných souborů (viz 2.2.7)
- výběr typů exportovaných grafů (viz 2.2.6)

Pro jednotlivé grafy lze v příslušných záložkách ovládat následující parametry:

- názvy grafu a jednotlivých os (*Graph labels*) včetně nastavení velikosti písma (*Label size*)
  - v názvech lze použít standardní formátovací znaky a sekvence používané v MATLAB (značkovací syntaxe TeX) jako například horní a dolní indexy ( $\wedge\{\}$ ,  $\_ \{\}$ ) nebo řecká písmena ( $\backslash\alpha$ )

- velikost písma popisek jednotlivých os grafu (*Tick size*)
- zobrazení mřížky grafu v horizontálním nebo vertikálním směru (*Grid*)
- rozsahy os grafu (*Min, Max*) a případně obnovení do výchozího stavu (*Reset*)
- pro grafy ve frekvenční oblasti je k dispozici navíc volba logaritmických měřítek obou os (*Log*)
- přenos aktuálního nastavení grafu do ovládacích prvků (*Get*)
- zobrazení legendy grafu s volbou typu zobrazených informací (bez legendy, jména signálů, popisy signálů)
- výběr pozice legendy
- rozlišení výstupního grafického souboru v DPI pro export grafů



Obr. 16 Sekce Data a nastavení – nastavení grafů

### 2.3 Import dat ve formátu TDMS

Pro import dat není systému MATLAB ve verzi R2021a integrována vhodná funkce. Podle informací z webových stránek výrobce softwaru MATLAB (společnost MathWorks) budou od nejnovější verze R2022a v rámci doplňku Data Acquisition Toolbox integrovány funkce pro čtení souborů typu TDMS. V době psaní této práce nebyla ještě nová verze softwaru MATLAB dostupná pro potřeby ZČU, proto byla pro potřeby importu upravena funkce `convertTDMS` verze 10 [1], dostupná na základě licence typu BSD 3-Clause. Funkce `convertTDMS` umožňuje načtení souborů ve formátu TDMS verze 1 a 2. Doplňek Data Acquisition Toolbox navíc není podporován pro operační systémy na bázi Linuxu na rozdíl od funkce `convertTDMS`, která není na systému závislá.

Úpravy funkce `convertTDMS` spočívaly především v přizpůsobení pro lepší integraci do jiné aplikace. Byly upraveny vstupní parametry, výstupní datové struktury a doplněny přenosy chybových stavů jednotlivých dílčích funkcí do nadřazené aplikace. Podkladem pro provedené úpravy byl kromě popisných komentářů autorů ke kódu funkce hlavně popis

souborového formátu TDMS [4] a jeho interní struktury [5] dostupný na stránkách firmy NI.

Vstupem funkce je název importovaného souboru včetně cesty.

Výstupem funkce může být až pět datových struktur a chybové stavy včetně detailnějšího popisu případných chyb. Pro potřeby aplikace RICEdataView jsou kromě zmíněných chybových hlášení primárně použity pouze dvě následující datové struktury: *ConvertedData* a *ChanNames*.

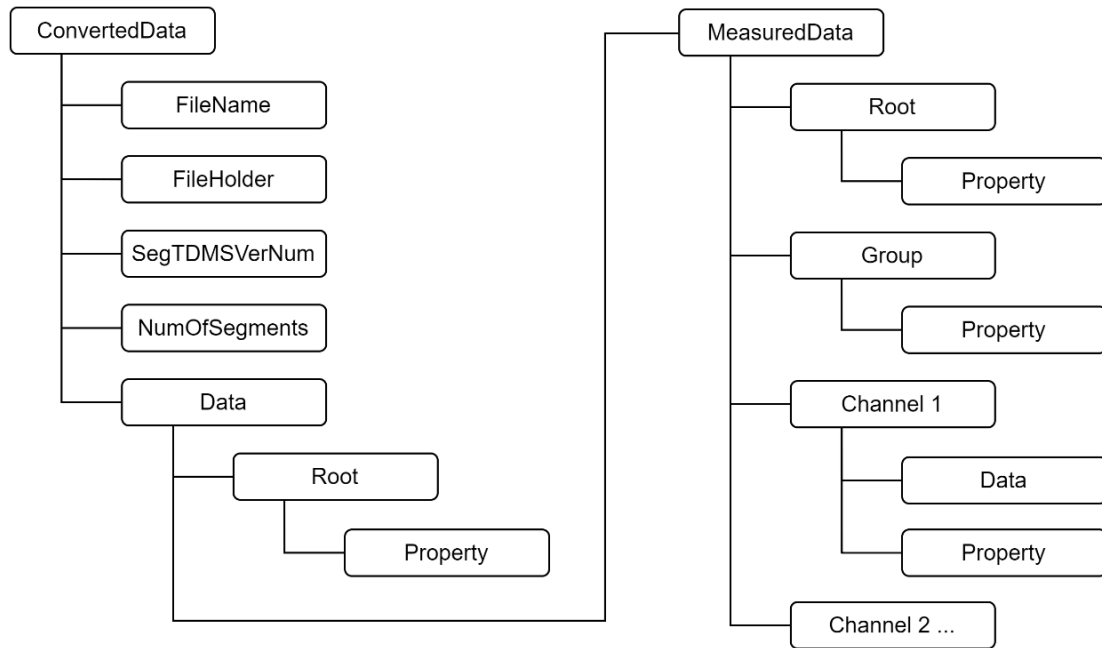
Struktura *ConvertedData* obsahuje položky s názvy souboru, adresáře a verze a hlavně strukturu *Data*, která zahrnuje všechny importované datové položky. Součástí struktury jsou zároveň popisné informace vztahující se jak celkově k importovanému bloku dat, tak i k jednotlivým datovým položkám. Stromové schéma struktury *ConvertedData* je zobrazeno na Obr. 17.

Množství popisných informací se může lišit podle konkrétního nastavení exportu z dané měřicí aplikace. Informace vztahující se celkově k bloku dat jsou obsaženy ve struktuře *Root*. V poli *MeasuredData* je uložena struktura obsahující informace a naměřená data z jednotlivých měřicích kanálů. Popisná data jsou v aplikaci po importu strukturovaně zobrazena v sekci Data a nastavení na záložce *Import Info*.

Pro zpracování naměřených dat jsou jednou z klíčových informací časové údaje identifikující jednotlivé časové body. V závislosti na interním nastavení měřicího systému se do souborů typu TDMS ukládají časové značky v relativním nebo absolutním módu. V relativním módu je čas reprezentován číslem s plovoucí řádovou čárkou (typ *double* - 64 bitů) udávajícím počet sekund od startu měření. V absolutním módu se časová značka ukládá do struktury obsahující dvě celočíselné hodnoty:

- počet sekund od 1.1.1904 00:00:00 (64 bitů)
- počet zlomků sekundy (64 bitů, zlomek =  $2^{-64}$  s)

Funkce *convertTDMS* byla modifikována tak, aby převedla tuto strukturu do datového typu *datetime* systému MATLAB. Použitá funkce zaokrouhluje zlomky sekund na celé mikrosekundy a není proto vhodná pro zpracování dat snímaných rychlostí vyšší než 1 MHz. Pro zpracování rychlejších záznamů je nutné nastavit měřicí systém tak, aby ukládal časové značky v relativním módu.



Obr. 17 Struktura ConvertedData

## 2.4 Import dat ve formátu XLSX

Pro import dat ze souboru typu XLSX je možné v Matlabu využít integrované funkce *opentable*. Výsledkem importu je objekt typu *table*. Součástí informací k jednotlivým sloupcům tabulky může být kromě názvu i textový popis, nebo popis jednotek.

Pro detekci formátu lze využít funkci *detectImportOption*, která vyhledá v souboru XLSX oblast dat vhodnou k importu. Výstupem funkce je popisná datová struktura, obsahující informace o detekované oblasti dat.

Pro import do zpracování jsou nejpodstatnější následující datové položky popisné datové struktury:

- *VariableNamesRange* – pole s označením počáteční buňky oblasti datového listu obsahující názvy jednotlivých importovaných datových položek
- *VariableDescriptionsRange* – pole s označením počáteční buňky oblasti datového listu obsahující další popis importovaných položek
- *DataRange* – pole s označením počáteční buňky oblasti datového listu obsahující naměřená data

Formát souboru XLSX nemá obecně pevně danou strukturu, která by umožňovala jednoznačné určení umístění naměřených dat a jejich popisů na listech souboru, proto pro úspěšný import musí být splněny určité předpoklady.

Pro import je nutné, aby importovaný soubor obsahoval data pouze na prvním listu ve formě tabulky uspořádané do sloupců dat. Aplikace neumožňuje výběr jiného listu s naměřenými daty. Název listu může být libovolný. Problémy s detekcí datové oblasti nastávají často také v případě, že byly na datový list vloženy dodatečně další objekty, jako například grafy.

Data pro časovou osu jsou očekávána v prvním sloupci bloku dat, ale nemusí se nutně nacházet v prvním sloupci listu. Naměřená data musí následovat v dalších sloupcích listu bez vložených prázdných sloupců. Počet datových sloupců je omezen pouze možnostmi formátu XLSX, což je aktuálně více než 16 tisíc sloupců.

Názvy jednotlivých datových položek a jejich případný popis musí být nad řádky s naměřenými daty v odpovídajících sloupcích. Funkce *detectImportOption* ve většině testovaných souborů správně detekovala bloky s názvy datových sloupců a samotné bloky naměřených dat. Do funkce realizující import byla proto přidána detekce možné přítomnosti dalších popisů jednotlivých zaznamenaných signálů, která upraví popisnou strukturu před samotným importem v případě, že se mezi bloky s názvy položek a samotnými daty nacházejí ještě další řádky. Funkce očekává popisné informace v řádku přímo následujícím po bloku s názvy položek. Příklad vhodné struktury dat na listu souboru XLSX je zobrazen na Obr. 18, kde v prvním řádku je popis experimentu, ve druhém řádku názvy položek, ve třetím řádku popisy a následuje blok naměřených dat.

	A	B	C	D	E	F
1	<b>Charakteristika naprázdno, v teplém stavu, směr točení vlevo (DE), doběhem</b>					
2	DateTime	G012.ZF02	G012.XF12	MS4.XS02	PSM10_22U1.XU24	PSM10_22U2.XU24
3	DateTime	G01.2, zadané otáčky	M9, otáčky z čidla	Snímač momentu, otáčky	PS.M10 U1 RMS	PS.M10 U2 RMS
4	18.04.2018 14:43	735.2999878	733.7036133	736.3770142	317.9414978	312.5990906
5	18.04.2018 14:43	735.2999878	733.7036133	735.2941284	317.9414978	312.5990906
6	18.04.2018 14:43	735.2999878	733.7036133	735.2941284	317.9414978	312.5990906
7	18.04.2018 14:43	735.2999878	733.7036133	735.2941284	318.3997498	313.1513062
8	18.04.2018 14:43	735.2999878	732.8796387	735.2941284	318.3997498	313.1513062
9	18.04.2018 14:43	735.2999878	732.8796387	735.2941284	318.3997498	313.1513062
10	18.04.2018 14:43	735.2999878	732.8796387	734.2143555	318.3997498	313.1513062
11	18.04.2018 14:43	735.2999878	736.8164063	734.2143555	318.3997498	313.1513062
12	18.04.2018 14:43	735.2999878	736.8164063	734.2143555	318.3997498	313.1513062
13	18.04.2018 14:43	735.2999878	736.8164063	734.2143555	318.3997498	313.1513062

Obr. 18 Struktura souboru typu XLSX

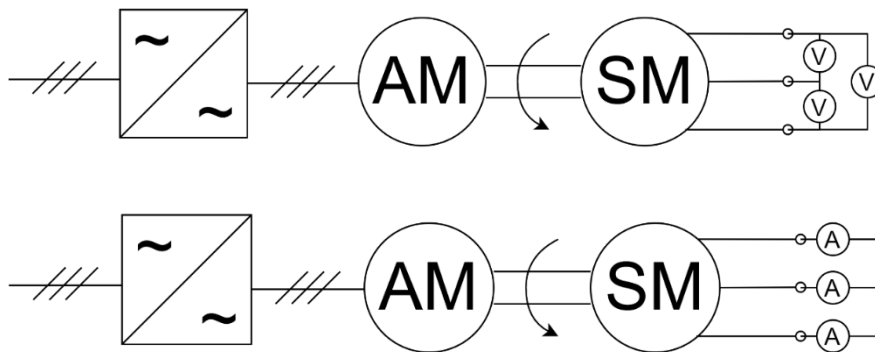


### 3 Příklad zpracování dat

#### 3.1 Popis měřené aplikace a cíl zpracování

Pro zpracování dat pomocí vytvořené aplikace byly vybráno několik dílčích měření ze zkoušek 6pólového synchronního stroje s permanentními magnety.

Prvním cílem zpracování bylo stanovení hodnoty podélné indukčnosti, což je jeden ze základních parametrů stroje. Data pro zpracování byla získána během testu chodu naprázdno a testu chodu stroje nakrátko. V obou případech byl stroj poháněn pomocí asynchronního motoru napájeného frekvenčním měničem. Mezi výstup asynchronního motoru a vstup testovaného synchronního stroje byla vložena převodovka s převodovým poměrem 13,6. Měření otáček bylo realizováno snímačem na výstupu asynchronního motoru. Schéma testovací konfigurace pro obě zkoušky je ukázáno na Obr. 19.



Obr. 19 Schéma konfigurace pro měření naprázdno a nakrátko

Dále byly z dat průběhu několika vybraných režimů oteplovací zkoušky určeny parametry nutné pro výpočet příkonu stroje, tj. hodnoty proudů a napětí, základní harmonické frekvence a fázový posuv pro výpočet účinníku.

#### 3.2 Data pro zpracování

Během zkoušek stroje byla získána data pro vyhodnocení požadovaných veličin. Z SKŘ RICE bylo pro zpracování exportováno celkem pět souborů.

##### 3.2.1 Data stanovení parametrů stroje

Pro stanovení základního parametru stroje, podélné indukčnosti, byla využita data z měření charakteristik naprázdno a nakrátko. Data pro charakteristiky byla exportována ve dvou samostatných souborech ve formátu XLSX.

Soubor s měřením charakteristiky naprázdno (200507\_naprazdno.xlsx) obsahoval následující datové položky:

- časová značka
- údaj ze snímače otáček hnacího asynchronního motoru
- přepočtené otáčky na otáčky testovaného synchronního stroje
- průměrnou efektivní hodnotu sdruženého napětí všech fází
- 3x efektivní hodnoty sdruženého napětí jednotlivých fází
- 9x hodnoty teplot vinutí

	A	B	C	D	E	
1	DateTime	G012.XF12		PSM10_22U.ZU26	PSM10_22U1.XU24	PSM1
2	DateTime	M9, otáčky z čidla	přepočtené	PS.M10 Uprůměr RMS	PS.M10 U1 RMS	PS.M1
3	07.05.2020 7:56:39.00	367.8222656	5002	500.9618835	500.7426453	500.12
4	07.05.2020 7:56:40.00	367.8222656	5002	500.9618835	500.7426453	500.12
5	07.05.2020 7:56:40.00	367.8222656	5002	500.8444824	500.9281006	500.1E
6	07.05.2020 7:56:40.00	367.1630859	4993	500.8444824	500.9281006	500.1E
7	07.05.2020 7:56:41.00	367.1630859	4993	500.8444824	500.9281006	500.1E
8	07.05.2020 7:56:41.00	367.1630859	4993	500.7561951	500.5928345	499.9C
9	07.05.2020 7:56:41.00	367.6025391	4999	500.7561951	500.5928345	499.9C
10	07.05.2020 7:56:42.00	367.6025391	4999	500.7561951	500.5928345	499.9C
11	07.05.2020 7:56:42.00	367.6025391	4999	500.8428955	500.5914917	500.31

Obr. 20 Náhled vstupního souboru – charakteristika naprázdno

Soubor s měřením charakteristiky nakrátko (200507\_nakratko.xlsx) obsahoval následující datové položky:

- časová značka
- údaj ze snímače otáček hnacího asynchronního motoru
- přepočtené otáčky na otáčky testovaného synchronního stroje
- průměrnou efektivní hodnotu proudu ze všech fází
- 3x efektivní hodnoty proudu v jednotlivých fázích
- 9x hodnoty teplot vinutí

	A	B	C	D	E	
1	DateTime	G012.XF12	prep	PSM10_21TA.ZI26	PSM10_21TA1.XI24	PSM10
2	DateTime	M9, otáčky z čidla	přepočtené	PS.M10 I průměr RMS	PS.M10 I1 RMS	PS.M10
3	07.05.2020 11:37:40.00	253.7841797	3451	417.0019836	418.0437927	416.65E
4	07.05.2020 11:37:41.00	253.7841797	3451	417.0019836	418.0437927	416.65E
5	07.05.2020 11:37:41.00	253.7841797	3451	416.3110046	412.1622925	419.411
6	07.05.2020 11:37:42.00	253.7841797	3451	415.8325195	411.8603821	419.74C
7	07.05.2020 11:37:42.00	253.7841797	3451	415.8325195	411.8603821	419.74C
8	07.05.2020 11:37:43.00	253.5644531	3448	415.8325195	411.8603821	419.74C
9	07.05.2020 11:37:43.00	253.5644531	3448	415.8325195	411.8603821	419.74C
10	07.05.2020 11:37:43.00	253.5644531	3448	415.4480286	412.6831055	420.03E
11	07.05.2020 11:37:44.00	252.9052734	3440	415.4480286	412.6831055	420.03E

Obr. 21 Náhled vstupního souboru – charakteristika nakrátko

### 3.2.2 Data pro určení příkonů stroje

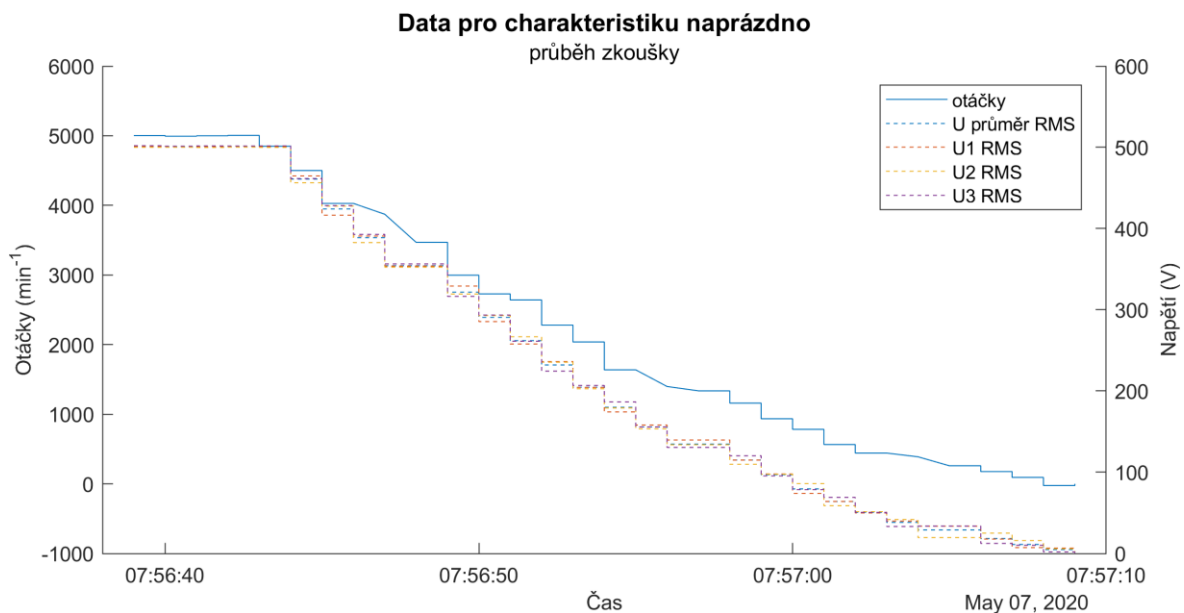
Pro určení příkonu stroje byla využita data ze třech testovacích měření, které proběhly podle zadaných parametrů s různými otáčkami stroje. Data z každého měření byla exportována v samostatném souboru ve formátu TDMS. Každý soubor obsahoval následující datové položky:

- časová značka
- 3x hodnoty sdruženého napětí v jednotlivých fázích
- 3x hodnoty proudu v jednotlivých fázích

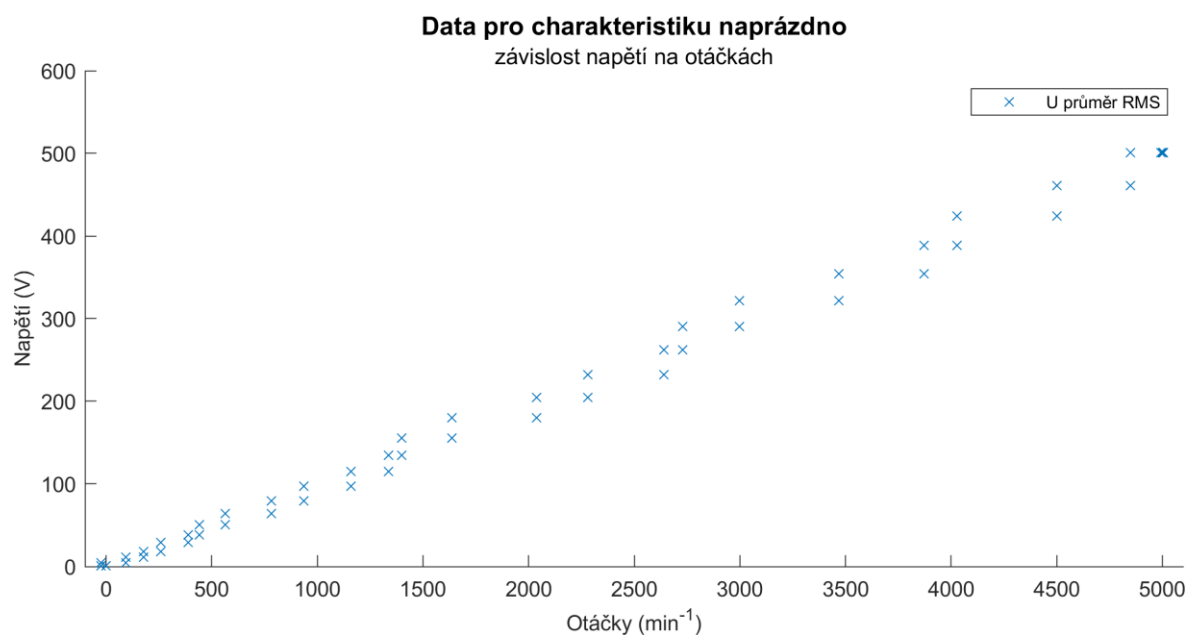
### 3.3 Postup zpracování

#### 3.3.1 Parametry stroje

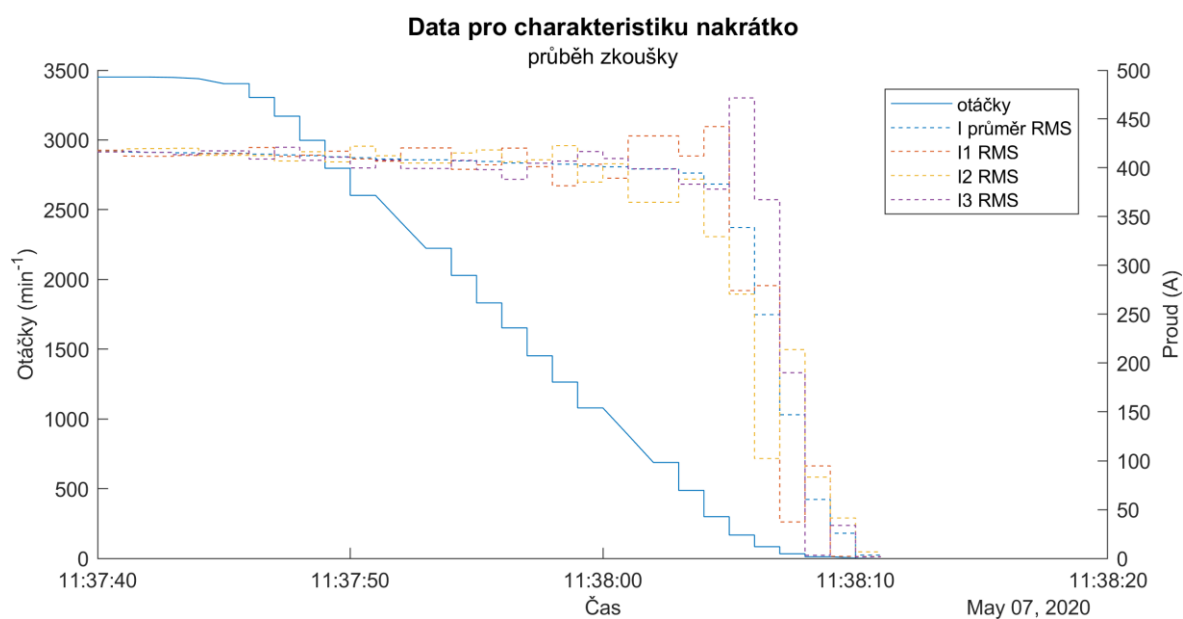
Oba soubory z kapitoly 3.2.1 byly postupně importovány do aplikace. Pro data z obou měření byly charakteristické relativně pomalé změny jednotlivých veličin bez harmonických složek. Vzhledem k tomu nebyla využita frekvenční spektra, ale pouze časový průběh naměřených dat. Data z teplotních snímačů nebyla do vyhodnocení zahrnuta. Na obrázku Obr. 22 je dokumentován časový průběh zkoušky naprázdno a na Obr. 23 závislost hodnot napětí na otáčkách stroje během této zkoušky.

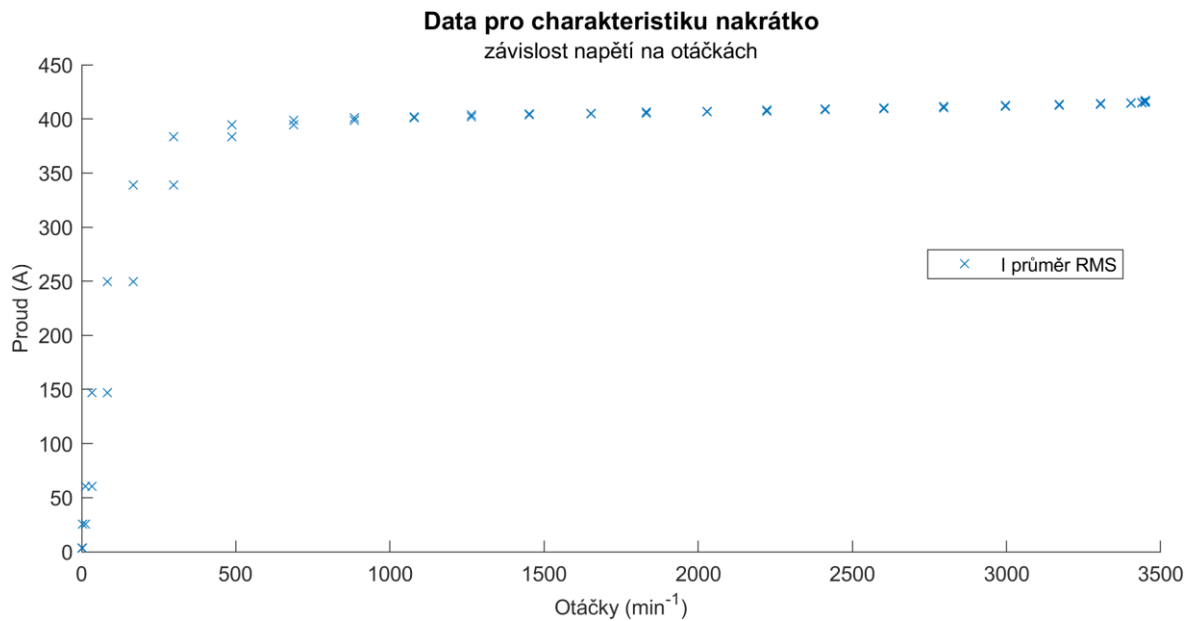


Obr. 22 Časový průběh měření charakteristiky naprázdno - napětí



Časový průběh zkoušky chodu nakrátko je vidět na Obr. 24 a závislost průměrných hodnot proudu na otáčkách stroje je zobrazena na Obr. 25.





Obr. 25 Charakteristika nakrátko

Ke stanovení požadovaného parametru tj. podélné indukčnosti stroje je nutné využít současně data z obou zkoušek. Protože aplikace umožňuje práci vždy pouze s jedním vstupním souborem, byla data po vykreslení a exportu výše uvedených grafů exportována do dvou samostatných souborů typu XLSX a další zpracování bylo prováděno v softwaru MS Excel.

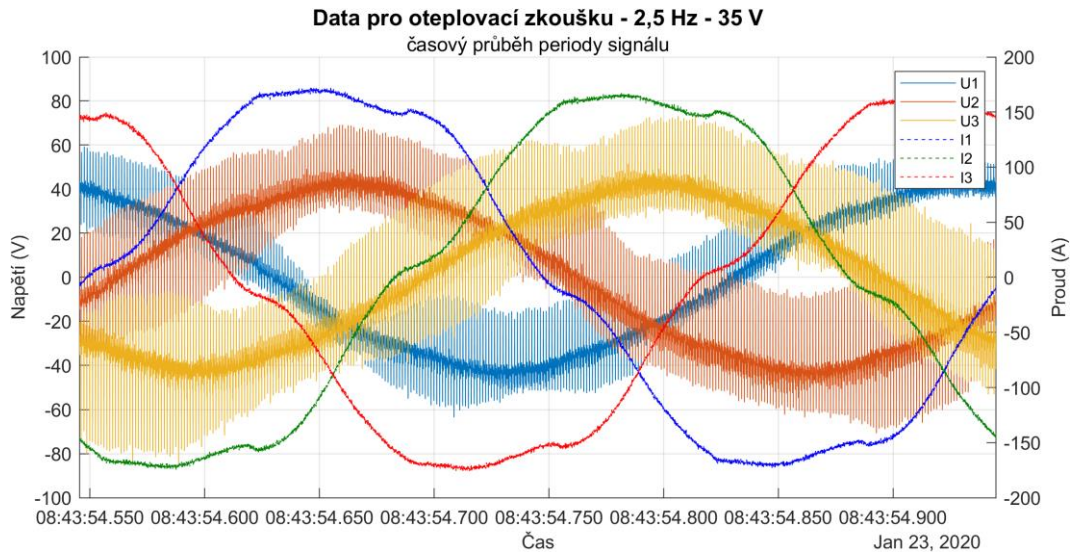
Kvalita zaznamenaných dat byla co se týká rozlišení poměrně nízká se schodovitým průběhem. Zaznamenané úrovně otáček měly pro obě měření rozdílné hodnoty, takže nebylo možné je přímo vzájemně přiřadit. Charakter průběhu napětí v závislosti na otáčkách při měření naprázdno byl lineární a po proložení dat přímkou bylo možné použít interpolované hodnoty napětí v přesných úrovních otáček odpovídajících zaznamenaným hodnotám z měření nakrátko.

Výpočet podélné indukčnosti byl proveden následujícím postupem (hodnota odporu vinutí  $R_a = 9,317 \text{ m}\Omega$  byla zjištěna při jiném měření stejného stroje):

- výpočet fázového napětí  $U_f = \frac{U_s}{\sqrt{3}}$
- výpočet podélné impedance  $Z_d = \frac{U_f}{I}$
- výpočet podélné reaktance  $X_d = \sqrt{Z_d^2 - R_a}$
- výpočet podélné indukčnosti  $L_d = \frac{X_d}{\omega_1}$  kde  $\omega_1 = 2\pi \cdot \frac{p \cdot n}{60}$
- p ... počet pólových dvojic, n ... otáčky

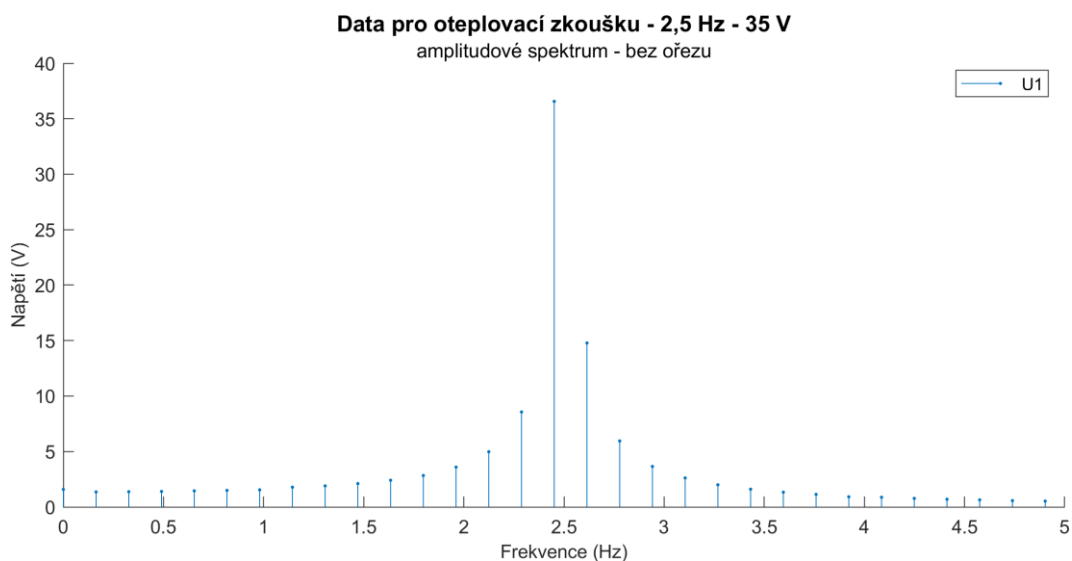
### 3.3.2 Příkony během oteplovací zkoušky

Soubory uvedené v kapitole 3.2.2 byly postupně importovány do aplikace. Data jsou harmonického charakteru, proto bylo těžiště zpracování ve frekvenční oblasti. Pro lepší představu o charakteru zpracovávaných signálů byl vždy nejdříve vykreslen časový průběh všech signálů v rozsahu jedné hlavní periody (viz Obr. 26).



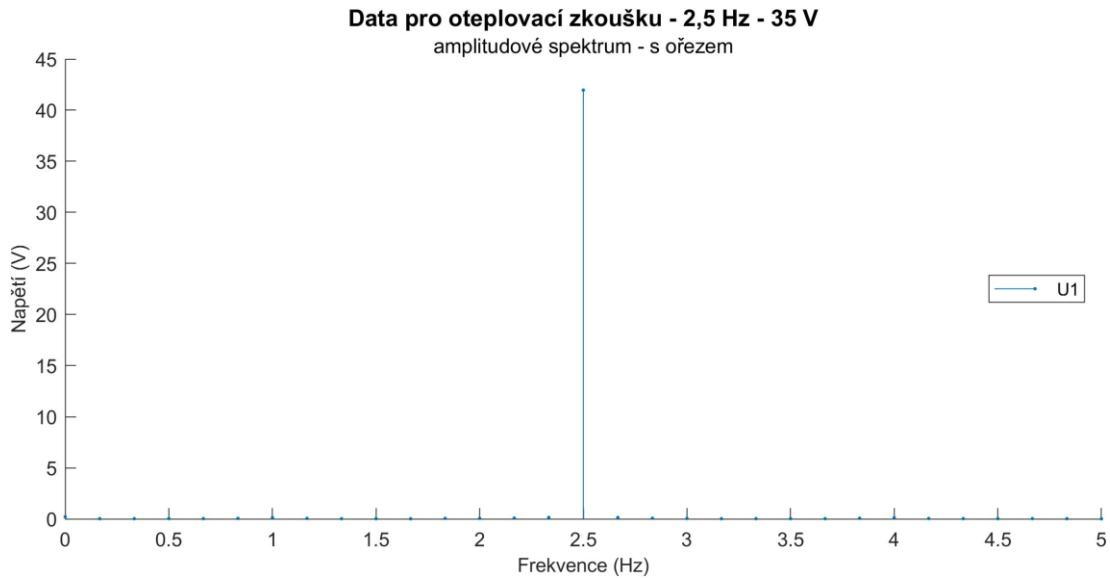
Obr. 26 Oteplovací zkouška - časový průběh periody

Dalším krokem bylo předběžné stanovení základní harmonické frekvence. Importovaná data byla pomocí FFT transformována do frekvenční oblasti bez ořezu dat na celistvé periody signálu. Pro jeden vybraný napěťový signál bylo vykresleno získané amplitudové spektrum (viz Obr. 27). Frekvence maximální amplitudy byla hledanou předběžnou základní frekvencí.

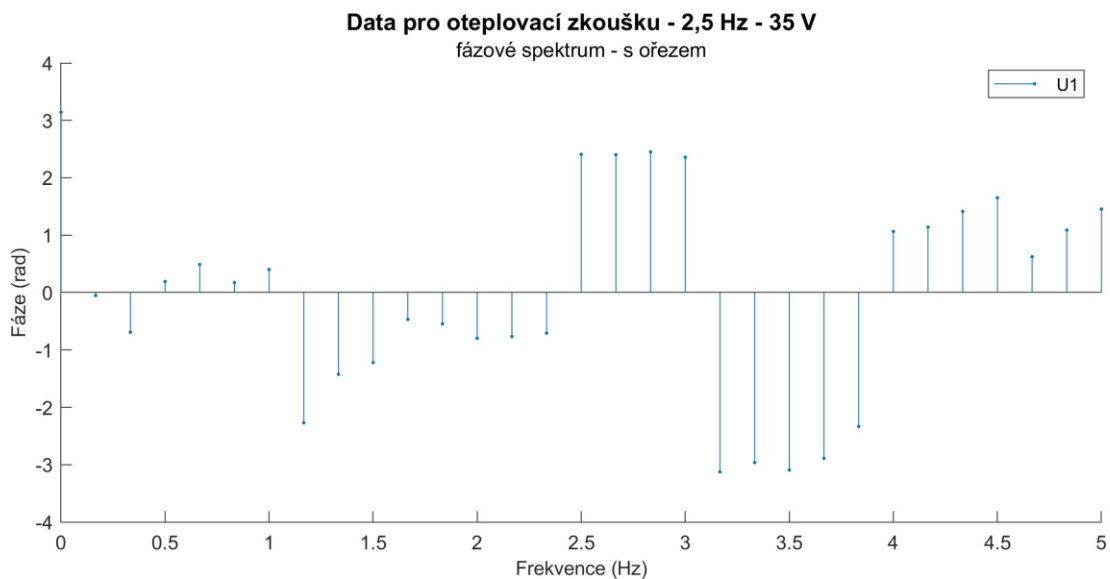


Obr. 27 Oteplovací zkouška - amplitudové spektrum bez ořezu dat

Hodnota předběžné základní frekvence byla na záložce *Settings / Global* vložena do příslušného pole a FFT transformace byla provedena znovu, tentokrát se zapnutou funkcí ořezu dat na celistvé násobky předběžné základní frekvence. Amplitudové spektrum po nové transformaci je zobrazeno na Obr. 28, odpovídající fázové spektrum je vidět na Obr. 29.



Obr. 28 Oteplovací zkouška - amplitudové spektrum s ořezem dat



Obr. 29 Oteplovací zkouška - fázové spektrum s ořezem dat

Z porovnání obou amplitudových spekter je zřejmé výrazné zpřesnění výsledku. Další zpřesňování již nebylo potřeba.

Pro vyhodnocení lze použít výsledky výpočtů z tabulek na záložce *Results View* (viz Obr. 30 a Obr. 31).

Import Info	Data View	Results View	Settings			
Results - primary		Results - overall				
ResultName	U1	U2	U3	I1	I2	I3
Base frequency	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Maximum	24.2269	24.1471	24.2393	173.3058	172.3507	171.0201
RMS	17.1310	17.0746	17.1397	122.5457	121.8704	120.9295
Phase (rad)	1.8852	-0.2079	-2.3025	0.4462	-1.6601	2.5395
Phase (deg)	108.0126	-11.9119	-131.9249	25.5672	-95.1164	145.5023

Obr. 30 Oteplovací zkouška - výsledky základních výpočtů

Import Info	Data View	Results View	Settings			
Results - primary		Results - overall				
ResultName	Phase 1	Phase 2	Phase 3			
Max power	275.9997	246.2230	267.9313			
cos(phi)	0.1315	0.1183	0.1293			

Obr. 31 Oteplovací zkouška - výsledky celkových výpočtů

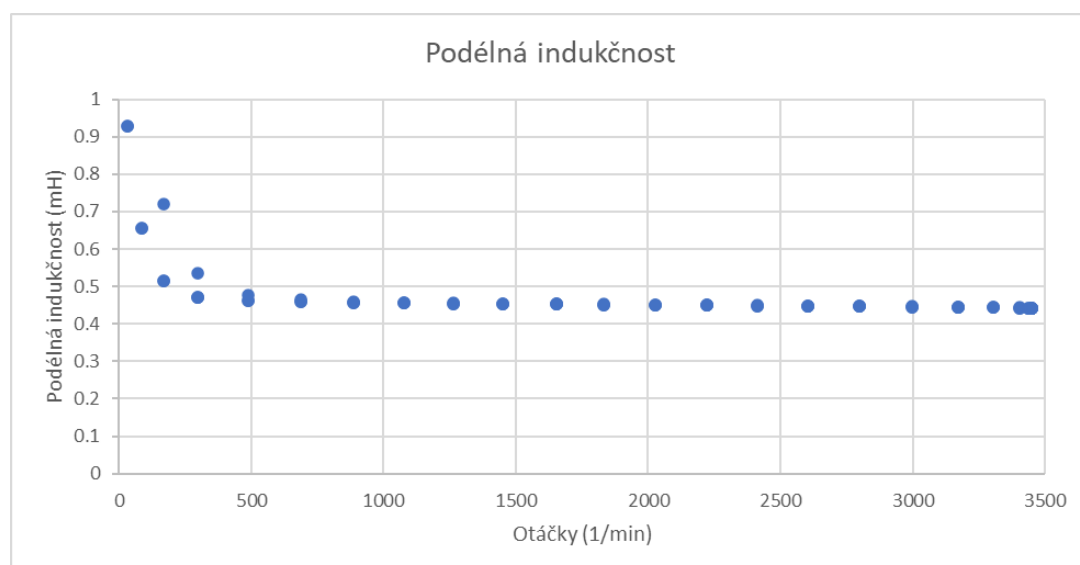
Na závěr byly provedeny exporty grafů a datových souborů ve formátu XLSX. Analogicky bylo postupováno u dalších dvou zkoušek.

### 3.4 Výsledky zpracování

#### 3.4.1 Podélná impedance

Postupem podle kapitoly 3.3.1 byla získána závislost podélné indukčnosti stroje na otáčkách, která je zobrazena na Obr. 32. Hodnota podélné indukčnosti v ustáleném stavu byla 0,44 mH.





Obr. 32 Závislost podélné indukčnosti na otáčkách

### 3.4.2 Příkon a účinník

Výsledky výpočtů provedených podle postupu a vztahů uvedených v kapitole 2.2.5 byly pro každou zkoušku exportovány z aplikace ve formě XLSX souborů. Pro jednotlivé zkoušky jsou prezentovány v tabulkách Tabulka 1- Tabulka 3.

Tabulka 1 Výsledky výpočtu pro zkoušku 2,5 Hz

	<b>U<sub>1</sub> (V)</b>	<b>U<sub>2</sub> (V)</b>	<b>U<sub>3</sub> (V)</b>	<b>I<sub>1</sub> (A)</b>	<b>I<sub>2</sub> (A)</b>	<b>I<sub>3</sub> (A)</b>
<b>Základní frekvence (Hz)</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>Maximum</b>	24.23	24.15	24.24	173.31	172.35	171.02
<b>RMS</b>	17.13	17.07	17.14	122.55	121.87	120.93
<b>Fáze (rad)</b>	1.89	-0.21	-2.30	0.45	-1.66	2.54
<b>Fáze (°)</b>	108.01	-11.91	-131.92	25.57	-95.12	145.50
	<b>Fáze 1</b>	<b>Fáze 2</b>	<b>Fáze 3</b>			
<b>Max příkon (W)</b>	276.0	246.2	267.9			
<b>Účinník</b>	0.1315	0.1183	0.1293			

Tabulka 2 Výsledky výpočtu pro zkoušku 7,5 Hz

	<b>U<sub>1</sub> (V)</b>	<b>U<sub>2</sub> (V)</b>	<b>U<sub>3</sub> (V)</b>	<b>I<sub>1</sub> (A)</b>	<b>I<sub>2</sub> (A)</b>	<b>I<sub>3</sub> (A)</b>
<b>Základní frekvence (Hz)</b>	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
<b>Maximum</b>	16.28	16.19	16.25	74.24	73.17	72.69
<b>RMS</b>	11.51	11.45	11.49	52.50	51.74	51.40
<b>Fáze (rad)</b>	2.22	0.12	-1.97	1.62	-0.49	-2.56
<b>Fáze (°)</b>	127.11	7.11	-112.77	92.95	-27.96	-146.77
	<b>Fáze 1</b>	<b>Fáze 2</b>	<b>Fáze 3</b>			
<b>Max příkon (W)</b>	500.1	484.9	489.5			
<b>Účinník</b>	0.8274	0.8185	0.8290			

Tabulka 3 Výsledky výpočtu pro zkoušku 10 Hz

	<b>U<sub>1</sub> (V)</b>	<b>U<sub>2</sub> (V)</b>	<b>U<sub>3</sub> (V)</b>	<b>I<sub>1</sub> (A)</b>	<b>I<sub>2</sub> (A)</b>	<b>I<sub>3</sub> (A)</b>
<b>Základní frekvence (Hz)</b>	10	10	10	10	10	10
<b>Maximum</b>	21.04	20.94	21.00	81.02	79.96	79.59
<b>RMS</b>	14.88	14.80	14.85	57.29	56.54	56.28
<b>Fáze (rad)</b>	1.19	-0.91	-3.00	0.63	-1.48	2.73
<b>Fáze (°)</b>	68.14	-51.85	-171.72	36.09	-84.64	156.38
	<b>Fáze 1</b>	<b>Fáze 2</b>	<b>Fáze 3</b>			
<b>Max příkon (W)</b>	722.4	703.7	709.6			
<b>Účinnost</b>	0.8476	0.8407	0.8490			

## Zhodnocení a závěr

Hlavním cílem práce bylo vytvoření SW aplikace pro zpracování dat z SKŘ RICE. Aplikace byla vytvořena pro prostředí MATLAB, což umožnilo využít široké možnosti tohoto systému jak v oblasti práce s rozsáhlými datovými soubory, tak i integrovaný matematický aparát pro převod dat do frekvenční oblasti pomocí Fourierovy transformace. V neposlední řadě byly využity i integrované funkce pro vykreslování grafů a práce s nimi.

Podářilo se vytvořit komplexní nástroj, který může být využit pro zpracování a dokumentaci prováděných měření a experimentů. Základem je schopnost importu datových souborů, jejich transformace a vykreslení v grafech. Využití nemusí být omezeno pouze na zkušebnu RICE, ale díky schopnosti importovat soubory typu TDMS, které jsou v oblasti měřicích aplikací často využívány, je možné ho využít i jinde.

V oblasti následných výpočtů nad zpracovanými daty byly implementovány pouze funkce potřebné pro vyhodnocení vybraného experimentu, ale příslušná část aplikace je připravena na další rozšíření funkčnosti podle potřeb realizátorů měření. Může se tím využít již hotový soubor funkcí jako například importů, exportů a vykreslování do grafů a doplnit pouze další způsoby zpracování.

Pomocí vytvořené aplikace byla na závěr úspěšně zpracována naměřená data vybraná z archivu zkušebny RICE.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] **Humphreys, Brad.** ConvertTDMS (v10). [Online] 2022. [Citace: 7. Duben 2022.] <https://github.com/humphreysb/ConvertTDMS>.
- [2] **The MathWorks, Inc.** Help Center for MATLAB. [Online] 2022. [Citace: 15. Květen 2022.] <https://www.mathworks.com/help/index.html>.
- [3] **The MathWorks, Inc.** MATLAB Answers. [Online] 2022. [Citace: 15. Květen 2022.] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/index>.
- [4] **National Instruments Corp.** The NI TDMS File Format. [Online] 1. Červen 2021. [Citace: 15. Květen 2022.] <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/06/the-ni-tdms-file-format.html#>.
- [5] **National Instruments Corp.** TDMS File Format Internal Structure. [Online] 1. Září 2021. [Citace: 18. duben 2022.] <https://www.ni.com/cs-cz/support/documentation/supplemental/07/tdms-file-format-internal-structure.html>.
- [6] **ECMA International.** ECMA-376. [Online] Prosinec 2021. [Citace: 15. Květen 2022.] <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-376/>.

## Seznam obrázků

Obr. 1	Hlavní okno aplikace .....	- 8 -
Obr. 2	Ovládací lišta .....	- 8 -
Obr. 3	Výběr souboru pro import .....	- 9 -
Obr. 4	Časový průběh signálu před FFT.....	- 10 -
Obr. 5	Porovnání spekter signálu pro původní a zkrácený rozsah dat.....	- 11 -
Obr. 6	Stavový řádek .....	- 14 -
Obr. 7	Sekce Výběr dat.....	- 14 -
Obr. 8	Sekce Grafy – časová oblast – časový průběh.....	- 16 -
Obr. 9	Sekce Grafy – časová oblast – XY graf.....	- 16 -
Obr. 10	Sekce Grafy – frekvenční oblast.....	- 17 -
Obr. 11	Sekce Data a nastavení – informace o importu .....	- 17 -
Obr. 12	Sekce Data a nastavení – tabulky dat .....	- 18 -
Obr. 13	Data a nastavení – tabulka výsledků - základní.....	- 18 -
Obr. 14	Sekce Data a nastavení – tabulka výsledků - celkové .....	- 18 -
Obr. 15	Sekce Data a nastavení – nastavení globálních parametrů .....	- 19 -
Obr. 16	Sekce Data a nastavení – nastavení grafů.....	- 20 -
Obr. 17	Struktura ConvertedData .....	- 22 -
Obr. 18	Struktura souboru typu XLSX.....	- 23 -
Obr. 19	Schéma konfigurace pro měření naprázdno a nakrátko.....	- 24 -
Obr. 20	Náhled vstupního souboru – charakteristika naprázdno.....	- 25 -
Obr. 21	Náhled vstupního souboru – charakteristika nakrátko .....	- 25 -
Obr. 22	Časový průběh měření charakteristiky naprázdno - napětí .....	- 26 -
Obr. 23	Charakteristika naprázdno .....	- 27 -
Obr. 24	Časový průběh měření charakteristiky nakrátko – proudy .....	- 27 -
Obr. 25	Charakteristika nakrátko .....	- 28 -
Obr. 26	Oteplovací zkouška - časový průběh periody.....	- 29 -
Obr. 27	Oteplovací zkouška - amplitudové spektrum bez ořezu dat .....	- 29 -
Obr. 28	Oteplovací zkouška - amplitudové spektrum s ořezem dat .....	- 30 -
Obr. 29	Oteplovací zkouška - fázové spektrum s ořezem dat .....	- 30 -
Obr. 30	Oteplovací zkouška - výsledky základních výpočtů.....	- 31 -
Obr. 31	Oteplovací zkouška - výsledky celkových výpočtů .....	- 31 -
Obr. 32	Závislost podélné indukčnosti na otáčkách .....	- 32 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Výsledky výpočtu pro zkoušku 2,5 Hz.....	- 32 -
Tabulka 2 Výsledky výpočtu pro zkoušku 7,5 Hz.....	- 32 -
Tabulka 3 Výsledky výpočtu pro zkoušku 10 Hz.....	- 33 -

## Seznam příloh

Příloha A Programový kód aplikace RICEdataView (soubor RICEdataView.m)

Příloha B Programový kód funkce convertTDMS (soubor convertTDMS.m)