



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZPRACOVÁNÍ DAT Z ONLINE DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU

DATA PROCESSING FROM THE ONLINE DIAGNOSTIC SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Iva Cirhanová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Iva Cirhanová
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Daniel Zuth, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Zpracování dat z online diagnostického systému

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat možnostmi získání a zpracování dat z definovaného online diagnostického systému. Součástí práce bude tvorba aplikací v prostředí Matlab nebo Python, kde se provede analýza a vizualizace dat. Součástí práce bude popis možností získání dat a tvorba vzorových příkladů a aplikace pro konkrétní analýzu dat ve vibrodiagnostice.

Cíle diplomové práce:

Rešerše v oblasti technické diagnostiky a diagnostických systémů.
Popis vlastností vybraného diagnostického systému.
Popis možnosti sběru dat z vybraného diagnostického systému (popis protokolů).
Vytvoření aplikace pro sběr a vizualizaci dat.
Ověření funkce na sérii měření.
Dokumentace vytvořeného řešení.
Vlastní závěr a vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2997-5.

BROCH, Jens Trampe. Mechanical Vibration and Shock Measurements. 2nd Edition. Naerum: Brüel & Kjaer, 1984. ISBN 8787355361.

DANIŠ, Stanislav. Základy programování v prostředí Octave a Matlab. Praha: Matfyzpress, 2009. ISBN 978-80-7378-082-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zpracováním dat z online diagnostického systému. Teoretická část práce je rozdělena na tři kapitoly, první pojednává o technické diagnostice jako takové, je zde uvedena základní terminologie a pojmy spojené s technickou diagnostikou, jako jsou diagnostické metody, prostředky, modely a signály. Druhá část je zaměřena na diagnostické systémy a jejich rozdělení. Také je v této kapitole uvedeno několik příkladů on-line diagnostických monitorovacích systémů od třech různých firem. Poslední kapitola teoretické části je věnována popisu možností sběru dat z diagnostických systémů, tzn. popisu komunikačních sběrnic a protokolů. Praktická část této práce se zaměřuje na vytvoření aplikace pro sběr a vizualizaci dat.

ABSTRACT

This master thesis deals with data processing from an online diagnostic system. The theoretical part of the work is divided into three chapters, the first deals with technical diagnostics as such, there are basic terminology and concepts associated with technical diagnostics, such as diagnostic methods, tools, models and signals. The second part is focused on diagnostic systems and their division. This chapter also provides some examples of online diagnostic monitoring systems from three different companies. The last chapter of the theoretical part is devoted to the description of the possibilities of data collection from diagnostic systems, ie. description of communication buses and protocols. The practical part of this work focuses on creating an application for data collection and visualization.

KLÍČOVÁ SLOVA

Technická diagnostika, diagnostický systém, online diagnostický systém, zpracování dat, komunikační protokol, Python, OPC

KEYWORDS

Technical diagnostics, diagnostic system, online diagnostic system, data processing, communication protocol, Python, OPC

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CIRHANOVÁ, I. *Zpracování dat z online diagnostického systému*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2021, 82 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování bych chtěla věnovat vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné a přínosné rady a za trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu celého zpracování této práce věnoval.

Taktéž bych ráda poděkovala nejen své rodině, ale i svým blízkým za jejich podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Daniela Zutha, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 05. 2021

.....

Cirhanová Iva, Bc.

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA.....	17
2.1	Základní pojmy a terminologie.....	17
2.2	Diagnostické metody	18
2.2.1	Vibrodiagnostika	18
2.2.2	Tribodiagnostika.....	18
2.2.3	Termodiagnostika	19
2.2.4	Akustická diagnostika.....	19
2.2.5	Elektrodiagnostika	19
2.3	Diagnostické prostředky	19
2.4	Diagnostické modely	20
2.5	Diagnostické signály.....	20
2.5.1	Deterministické signály	20
2.5.2	Stochastické (náhodné) signály	20
3	DIAGNOSTICKÉ SYSTÉMY	23
3.1	Off-line systémy	23
3.2	On-line systémy	24
3.3	On-line diagnostické monitorovací systémy.....	24
3.3.1	Monitorovací systémy od firmy Adash	24
3.3.2	Monitorovací systémy od firmy SKF	27
3.3.3	Monitorovací systémy od firmy ifm electronic	30
3.4	Porovnání online diagnostických systémů.....	31
3.5	Klasifikace diagnostických systémů.....	31
3.5.1	Staniční diagnostické systémy	31
3.5.2	Palubní diagnostické systémy.....	32
3.5.3	Komplexní diagnostické systémy	32
3.5.4	Distribuované diagnostické systémy	33
3.5.5	Speciální diagnostické systémy	33
3.6	Automatizace diagnostických systémů.....	33
4	KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE/PROTOKOLY.....	35
4.1	OPC.....	35
4.1.1	OPC Classic	35
4.1.2	OPC UA.....	36
4.2	MQTT	37
4.3	Profibus.....	38
4.3.1	Profibus-DP	39
4.3.2	Profibus-FMS	39
4.3.3	Profibus-PA	40
4.4	Profinet.....	40
4.4.1	Profinet CBA	41
4.4.2	Profinet IO	41
4.5	Modbus	42
4.6	openSAFETY.....	43
5	PRAKTICKÁ ČÁST	45
5.1	Diagnostické měření	45

5.1.1	Obráběcí centrum MCV 754 QUICK	45
5.1.2	Snímače	46
5.2	SKF Multilog IMx-8.....	47
5.3	Software @ptitude Observer	47
5.3.1	Nastavení softwaru	48
5.4	dOPC DA Client.....	49
5.5	Program Python	49
5.5.1	Čtení a ukládání dat do souboru	49
5.5.2	Vizualizace dat	50
5.5.3	Načítání dat ze souboru	53
5.5.4	Analýza dat.....	53
6	ZHODNOCENÍ.....	57
7	ZÁVĚR.....	59
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	65
9.1	Seznam tabulek.....	65
9.2	Seznam obrázků.....	65
10	SEZNAM PŘÍLOH.....	67
11	SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH.....	69

1 ÚVOD

V současné době jsou ve výrobních společnostech kladeny stále vyšší požadavky na strojní zařízení z hlediska jejich produktivity a spolehlivosti. Za tímto účelem je zaváděna diagnostika, což je rozsáhlý obor obsahující mnoho metod a analýz souvisejících s údržbou zařízení, který napomáhá k včasnému odhalení nepříznivých jevů. Tyto jevy mohou způsobovat dlouhotrvající odstávky strojních zařízení a tím mít negativní dopad na produktivitu a následný zisk výrobních společností.

Díky postupnému technickému pokroku, se do popředí dostala online diagnostika poskytující informace o technickém stavu strojních zařízení bez nutnosti jejich odstavení mimo provoz, čímž dochází k eliminaci nežádoucích prostojů ve výrobě. Online diagnostické systémy nepřetržitě sbírají data a zabezpečují tak neustálý přehled o chodu strojů ve všech jejich provozních stavech. Při použití online diagnostického systému se pravidelný sběr dat ukládá na server, ke kterému je možné se připojit i na dálku. Na základě dat ze systému je také možné nastavit mezní hodnoty. V případě jejich překročení se spustí systémový alarm a uživatel dostane upozornění. Nejpoužívanější metodou technické online diagnostiky se ve strojním průmyslu stala vibrodiagnostika. Díky vibracím je totiž u strojů s rotačními částmi možné odhalit většinu problémů.

Společnosti si začínají čím dál více uvědomovat, že online diagnostika, vzájemné propojení strojů, sběr a včasná analýza měřených dat, dokážou zvýšit nejen jejich produktivitu a ziskovost, ale i konkurenceschopnost a postavení na trhu. Zmíněná analýza dat je prováděna nejlépe v cloudu, což s sebou nese i požadavky na spolehlivou komunikaci zaručující bezpečný přenos dat. V dnešní době existuje několik komunikačních protokolů umožňujících přenášet nejrůznější data ať už z průmyslových zařízení, nebo z celkového řízení výroby.

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na sběr a vizualizaci dat z online diagnostického systému. Práce je rozdělena na dvě hlavní části, přičemž každá z nich obsahuje několik kapitol. První hlavní částí je teoretická část, na jejímž začátku je pozornost věnována technické diagnostice, základním pojmům z této oblasti a terminologii zahrnující pojmy jako diagnostické metody, prostředky, modely a signály. Další kapitola obsahuje informace o diagnostických systémech. Je zde uvedeno jejich rozdělení, klasifikace a krátké pojednání o jejich automatizaci. Poslední kapitola z teoretické části se zaměřuje na komunikační sběrnice a popis několika zástupců komunikačních protokolů.

V rámci praktické části využívám komunikační protokol OPC (a teoretické poznatky o něm) ke sběru dat z online diagnostické jednotky. Vytvářím OPC klienta, který načte a vizualizuje data nasnímaná třemi senzory připevněnými na obráběcím centru ve školní laboratoři. Součástí je popis nastavení potřebných softwarů, postupu tvorby skriptu pro čtení a ukládání dat i postup analýzy naměřených dat. Práce je zakončena celkovým shrnutím.

2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

Technická diagnostika je samostatný vědní obor, který se zabývá bezdemontážními a nede-
struktivními metodami a prostředky určujícími technický stav diagnostikovaného objektu. Za-
měřuje se tedy na získávání informací o technickém stavu daného objektu pomocí rozsáhlého
množství metod, postupů a prostředků a jejím základním úkolem je detekce a lokalizace poruch
a zjišťování jejich případného rozsahu. V praxi je technická diagnostika hlavním nástro-
jem pro zjišťování technického stavu a opotřebení, rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných
oprav a patří k nástrojům a prostředkům autonomní údržby, kde ohodnocuje dodržování zásad
správného provozu. Svým způsobem je to základní atribut, který rozhodujícím způsobem ovliv-
ňuje bezpečnost provozu, tzn. je mimo jiné prostředkem ke snižování rizika v obecném
smyslu. [1]

Hlavním cílem technické diagnostiky je objektivní poznání a posouzení všech informací
o technickém stavu sledovaného objektu, získaných pomocí diagnózy, prognózy a geneze a za-
jištění schopnosti tohoto stroje vykonávat požadovanou funkci za předem stanovených podmí-
nek, a to jak v současnosti, tak i v budoucnosti. [2]

Rozdělení technické diagnostiky je možné dle mnoha hledisek, např. z hlediska řešení
úkolů, z hlediska nasazení, dle časového rozdělení nebo třeba z hlediska měřeného signálu.
Jako nejzákladnější rozdělení je možné považovat dělení na technickou bezdemontážní dia-
gnostiku (TBD), která se skládá ze dvou částí – testové diagnostiky a jejích hypotéz (testování
vybraných technických parametrů, tzn. funkční diagnostika) a provozní technické diagnostiky,
a technickou nedestruktivní diagnostiku (TND), která se zaměřuje na zjišťování vnitřních a po-
vrchových vad a nečelistvostí. [2]

2.1 Základní pojmy a terminologie

Jak již bylo zmíněno výše, k předejití možných poruch, případně havárií, využívá technická
diagnostika diagnózu, prognózu a genezi.

Diagnóza označuje vyhodnocení okamžitého technického stavu objektu. Jedná se o vy-
hodnocení provozuschopnosti objektu za daných podmínek. Základními úkoly diagnostiky
jsou:

- a) detekce vady nebo poruchy, kdy se jedná o identifikaci vady nebo identifikaci
úplné nebo částečné poruchy objektu,
- b) lokalizace vady nebo poruchy, což je určení místa vady nebo poruchy v objektu.

Prognóza je pojem, označující extrapolaci vývoje technického stavu do budoucnosti.
Cílem prognózy je např. stanovení na základě statistických vyhodnocení pravděpodobnost bez-
poruchového stavu v následujícím období nebo stanovení termínu dílčích a generálních oprav
nebo výměn komponentu objektu na základě vad.

Geneze pak označuje analýzu možných a pravděpodobných příčin vzniku poruchy
nebo vady, a tím předčasného zhoršení technického stavu objektu. [3]

2.2 Diagnostické metody

Jako diagnostické metody jsou označovány způsoby měření a vyhodnocení naměřených údajů prováděných za účelem technického posouzení stavu sledovaného objektu. Tyto metody mohou být:

- a) Subjektivní – založené na individualitě schopností lidí vnímat provozní projevy sledovaného objektu a rozpoznat, jestli došlo k odchýlení od normálního stavu. K takovýmto metodám se využívají především lidské smysly, případně podpořené různými pomůckami jako třeba stetoskop, mikroskop, lupa aj.
- b) Objektivní – založené na přesném měření dané fyzikální veličiny, které bývají ukazatelem technického stavu sledovaného objektu. U těchto metod je při vyhodnocování nutné znát rozpětí hodnot zvolených veličin, které charakterizuje vyhovující a nevyhovující technický stav. [4]

Technickou diagnostiku a její metody je možné rozdělit na několik odvětví dle toho, jaké veličiny jsou využívány pro stanovení technického stavu daného objektu, a to na: [5]

- Diagnostiku deformace
- Diagnostiku tlaku
- Diagnostiku teploty
- Diagnostiku výšky hladiny
- Diagnostiku množství tepla
- Diagnostiku průtoku
- Diagnostiku koncentrace
- Vibrodiagnostiku
- Hlukovou diagnostiku
- Defektoskopii
- Elektrodiagnostiku
- Tribodiagnostiku
- Multiparametrickou diagnostiku

Za základní rozdělení metod technické diagnostiky může být považováno rozdělení na vibrodiagnostiku, tribodiagnostiku, termodiagnostiku, akustickou diagnostiku a elektrodiagnostiku. [6]

2.2.1 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika patří mezi nejpoužívanější metody pro diagnostiku technického stavu strojních zařízení. Využívána je především kvůli široké možnosti aplikovat ji na strojní zařízení různých typů. K vyhodnocení stavu je u vibrodiagnostiky využíván vibrační signál, který se dále zpracovává a analyzuje. Měřenými veličinami pak může být rychlost, zrychlení nebo výchylka vibrací. [6]

2.2.2 Tribodiagnostika

U tribodiagnostiky jsou využívány informace obsažené v mazivu strojních zařízení. Nejprve se zjišťuje stav degradace samotného maziva a poté se z daného maziva určuje celkové poškození, respektive technický stav provozovaného strojního zařízení. [6]

2.2.3 Termodiagnostika

Termodiagnostika se zabývá měřením a analýzou teploty a teplotních obrazců. K měření teploty je možné použít nejrůznější druhy dotykových teploměrů (dilatační, elektrické, teplo-měrná tělíska atd.), měření lze také provádět bezdotykově, pomocí infračervených teploměrů, případně využít termovizní kamery pro zhotovení teplotních obrazců. Díky velkému rozvoji termovizních kamer, dochází k širšímu uplatnění termovizního měření v nejrůznějších oblas-tech, např. strojírenský, automobilový či stavební průmysl, zdravotnictví nebo třeba záchranné, policejní a vojenské složky. [6]

2.2.4 Akustická diagnostika

U akustické diagnostiky lze spatřovat určitou podobnost s vibrodiagnostikou. Tato me-toda sleduje projevy závad strojních zařízení na základě vyhodnocení akustického signálu. „*Po-hybující se části stroje budí vibrace a tyto vibrace způsobují pohyb částic vzduchu a tím k šíření akustického signálu, který je dále měřen, analyzován a vyhodnocen. Často je sledováno také působení hluku na lidský organizmus, hlučnost zařízení, hygienicko-technické hledisko.*“ [6, str. 5]

2.2.5 Elektrodiagnostika

Tato metoda je využívána jako technická diagnostika elektrických zařízení. Pro identi-fikaci poruch je často využíván elektrický proud, napětí, odpor apod. Elektrodiagnostika často využívá nejrůznější metody. Pro odhalení elektrických závad se využívají již zmíněné metody, např. termodiagnostika je využívána pro odhalení přechodového odporu ve spoji, vibrodiagnos-tika pak k odhalení nesymetrie elektromagnetického pole. [6]

2.3 Diagnostické prostředky

Pro analýzu a vyhodnocování stavu diagnostikovaného objektu slouží diagnostické prostředky, které tvoří soubor technických zařízení a pracovních postupů. Pracovními postupy je pak myš-len sled dílčích úkonů diagnostikování, včetně programového vybavení pro vyhodnocení dat, aplikace pokročilých metod zpracování signálů, metod výběru vhodných diagnostických para-metrů nebo například sestavení matematických modelů. Diagnostické prostředky mohou být pevně zabudovanou součástí objektu (vnitřní prostředky) nebo jsou realizovány samostatně (vnější prostředky). Co se dělení týče, rozdělují se tyto prostředky na ON-LINE a OFF-LINE. [3]

Diagnostika pomocí ON-LINE prostředků probíhá většinou při provozu daného objektu. Jde-li o měřicí systém, který je trvale nebo periodicky připojen ke sledovanému objektu, jedná se o tzv. monitorování. Pojem monitorování znamená průběžné nebo pravidelné sledování tech-nického stavu objektu a následné vyhodnocování trendu vad či mezních bezpečnostních stavů, za kterých je nutné objekt odstavit z provozu. [3]

Při použití OFF-LINE diagnostických prostředků probíhá diagnostikování většinou u objektu, který je mimo provoz (u některých metod může být i za plného provozu). Jednotlivé firmy mají ohledně OFF-LINE diagnostických prostředků odlišné strategie. Některé například používají malé přenosné přístroje (tzv. kolektory), se kterými se sběr dat provádí za provozu, načež podrobná analýza naměřených dat probíhá s časovým odstupem na externím praco-višti. [3]

2.4 Diagnostické modely

Pomocí diagnostických modelů se zobrazují bezporuchové a poruchové stavy prvků nebo bezporuchové a poruchové chování objektu. Jedná-li se o složité systémy, je prováděno dělení na dílčí subsystémy, které jsou modelovány postupně, tzv. víceúrovňové modelování. [7]

Základní dělení diagnostických modelů je na modely fyzikální, což jsou hmotné a reálné objekty, zhotovené buď na stejném fyzikálním principu jako je originál (jedná se např. o zmenšený model strojího zařízení) nebo na analogickém principu (např. elektrický model tepelného systému), a modely matematické (abstraktní), což jsou soustavy hypotéz o vztazích mezi diagnostikovanými parametry. Nejčastěji bývají vyjádřeny formou soustavy rovnic a nerovností. Matematické modely lze pak dále dělit na modely analytické, logické a topologické. [3][7]

2.5 Diagnostické signály

Diagnostické signály jsou diagnostické ukazatele nebo veličiny obsahující informace o stavu objektu (zařízení, stroje) nebo jeho části. Tyto informace závisí na typu diagnostické metody a veličiny, které jsou potřebné určit. Ke sledování změn, vývoje a určení hodnot jednotlivých veličiny jsou používány různé senzory (čidla) zaznamenávající změny a postupný vývoj těchto veličin. Ze zaznamenaných hodnot je pak vyhodnocován celková technický stav, opotřebení daného objektu a je odhadován možných vznik poruch. Diagnostický signál může být buďto detailní, ten popisuje vlastnosti a parametry prvku nebo skupiny prvků, anebo souhrnný, jenž popisuje vlastnosti a parametry celého sledovaného objektu či bloku. [8]

Signály lze podle různých hledisek rozdělit do několika skupin. Dělení diagnostických signálů je možné dle náhodnosti průběhu signálu na deterministické, pomocí kterých lze jednotlivé časové hodnoty přesně určit a celý signál tak popsat určitou rovnicí, a stochastické (náhodné), jejichž hodnoty nejsou ustálené a v čase se pohybují v určitém intervalu. [3]

2.5.1 Deterministické signály

Jedná se o signály, charakterizované funkčními předpisy. Mezi deterministické signály jsou řazeny signály periodické, kvaziperiodické, přechodné a pseudonáhodné. [3]

Periodické signály jsou složeny z harmonických signálů s frekvencemi, které tvoří celistvý násobek jedné základní frekvence. Kvaziperiodické signály jsou také složeny z harmonických signálů o daných frekvencích, ale jsou násobky alespoň dvou základních frekvencí a zároveň je jejich poměr určený iracionálním číslem. Přechodné signály mají, na rozdíl od předchozím dvou, časově omezenou nenulovou část. Typicky se jedná o přechodné děje, odezvy na impulzní vybuzení apod. Pseudonáhodné signály jsou periodické signály vytvořené tak, aby se svými statistickými vlastnostmi podobaly signálům náhodným, tzn. jejich perioda musí být dostatečně velká na to, aby se jevila jako stochastická. [3]

2.5.2 Stochastické (náhodné) signály

Náhodné signály jsou popisovány pomocí číselných charakteristik jako jsou obecné a centrované statistické momenty (např. střední hodnota a rozptyl) nebo mohou být popsány pomocí hustoty pravděpodobnosti či distribuční funkcí rozdělení. Pod náhodné signály spadají signály stacionární, nestacionární a cyklostacionární. [3]

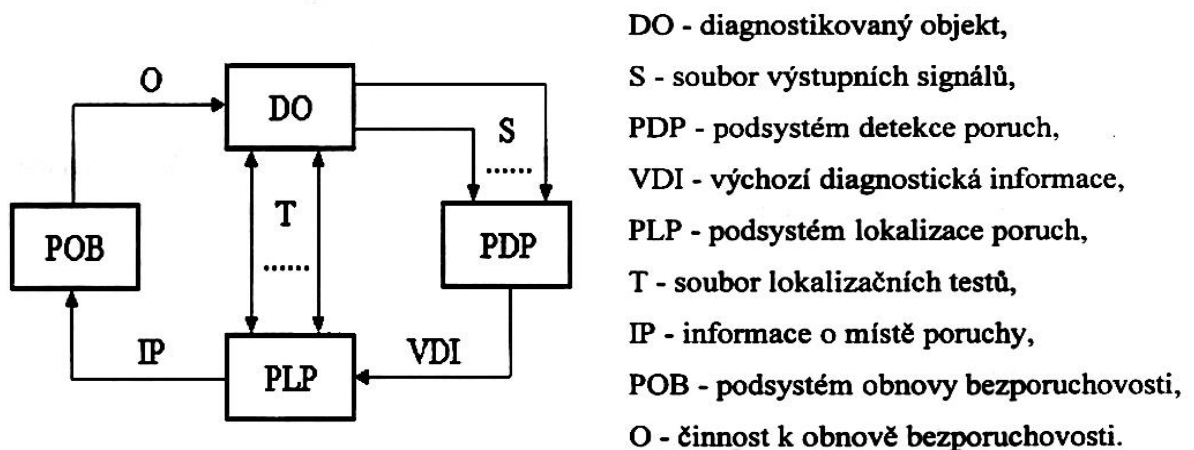
Stacionární signály jsou signály, jejichž statistické vlastnosti, tedy charakteristické veličiny, se s časem nemění. nejsou tudíž závislé na výběru vzorku. Jednou z podskupin stacionárních signálů jsou např. signály ergodické, u kterých se statistické parametry získané

z jednoho úseku signálu rovnají parametrům ze souboru mnoha úseků. U stacionárních signálů se naopak statistické vlastnosti v průběhu času mění. Hranice mezi stacionárním a nestacionárním signálem je určována s přihlédnutím na zkoumanou délku signálu. Cyklostacionární signály jsou pak takové signály, jejichž statistické vlastnosti se v průběhu času mění cyklicky (např. náhodné signály vibrací motorů). [3]

3 DIAGNOSTICKÉ SYSTÉMY

Diagnostické systémy jsou soubory technických prostředků (technická zařízení, počítačové programy určené ke stanovení diagnózy), metod, obsluhy a objektů (např. strojů), které jsou sledovány, schopné realizovat diagnostikování objektu a v případě zjištění poruchy uvést objekt do bezporuchového stavu. Kromě toho, že se tyto systémy skládají z čidel (snímačů, senzorů), které snímají určitou fyzikální veličinu, měřicího řetězce a zobrazovače naměřených hodnot, mohou také fungovat i jako podpůrný prostředek využívaný jinými systémy nebo procesy při provozu a správě technologických zařízení. Naměřené údaje pak procházejí mnoha diagnostickými testy, které je na základě diagnostických modelů zpracovávají a vyvozují z nich diagnostické závěry – prognózy a diagnózy. [9]

Diagnostické systémy mají za cíl určit aktuální technický stav diagnostikovaného objektu (diagnóza), na jehož základě je pak možné zhodnotit průběh předchozího technického stavu (geneze) a predikovat následný technický stav (prognóza). [10]



Obr. 1) Blokové schéma diagnostického systému [9]

Funkci diagnostických systémů lze na základě blokového schématu (Obr. 1) stručně popsat ve třech krocích: [9]

1. Výstupní signály jsou z diagnostikovaného objektu přivedeny do podsystému detekce poruch, který zjišťuje přítomnost poruchy. Provádí tak kontrolu bezporuchovosti. V případě detekce poruchy „vysílá“ tento podsystém výchozí diagnostickou informaci o poruše.
2. Tuto informaci „převezme“ podsystém, který lokalizuje poruchy a na jejím základě provádí soubor testů a kontrol za účelem lokalizace poruchy. Výsledkem činnosti tohoto podsystému je pak informace o místě poruchy.
3. Po zjištění místa poruchy provede podsystém obnovy bezporuchovosti opatření (opravu, seřízení), která vede k obnově provozuschopnosti daného objektu.

3.1 Off-line systémy

Systém off-line neboli testovací diagnostiky je založen na tom, že se diagnostikování provádí:

- a) testem, kdy je diagnostikovaný objekt mimo provoz a provádí se připojení k testovacím signálům, snímání odezev a vyhodnocování. Je potřeba získat soubor výpovědi schopných signálů, a proto se sleduje více odezev a parametrů diagnostikovaných zařízení. [11]
- b) zvláštním případem je pak diagnostikování rozdělené do dvou časových etap:
 - v první fázi je prováděno měření na objektu za provozu a zjišťuje se případné překročení mezních hodnot
 - ve fázi druhé probíhá vlastní zpracování a vyhodnocení hodnot na centrálním počítači, kdy se porovnává současný stav objektu se stavem minulým a podobně jako u on-line systému je vytvořena databanka technického stavu daného objektu, která se pak využívá ke stanovení prognózy technického stavu. [11]

3.2 On-line systémy

Princip on-line (funkční) diagnostiky spočívá v připojení diagnostikovaného objektu k on-line systému za jeho plného provozu. Daný objekt je podroben provozním vlivům, které diagnostický systém zpracovává jako provozní signály. Diagnostický systém získává ze sledovaného zařízení jeho odezvy a reakce na tyto vlivy. Na základě získaných signálů jsou pak systémem porovnávány odezvy daného zařízení s dovolenými odchylkami a je prováděna diagnóza technického stavu. Jedním z případů on-line systému jsou monitorovací systémy, které jsou trvale připojeny ke sledovanému objektu, nepřetržitě sledují jeho stav a průběžně vyhodnocují diagnostické signály. [11]

Velkou výhodou on-line diagnostiky je již zmíněné nepřetržité sledování objektu, díky kterému je možné zaznamenat náhlé zhoršení stavu a naplánovat tak zásah údržby. Zvolené on-line systémy, které monitorují stroje, by měly splňovat dvě obecná kritéria, jimiž jsou: [12]

- možnosti komunikace – každý on-line systém by měl obsahovat komunikační rozhraní (např. protokol TCP/IP), který zprostředkuje zařazení vyhodnocovací jednotky do sítě či nadřazených systémů a který umožní vzdáleně spravovat nahromážděná data [12]
- integrace do existujícího systému – tj. externí vyhodnocovací jednotka (většinou dodatečně instalovaná), kterou je možno začlenit do existujícího řídicího systému stroje a která dovoluje obousměrnou komunikaci. Ta je důležitá pro řízení vyhodnocovací jednotky a pro snadné posílání potřebných informací k vyhodnocení. [12]

3.3 On-line diagnostické monitorovací systémy

V předkládané diplomové práci je zmíněno pouze pár příkladů těchto systémů od firem SKF, ADASH a ifm electronic. On-line diagnostický monitorovací systém Multilog IMx-8 od firmy SKF byl použit v praktické části této diplomové práce a je popsán v samostatné kapitole.

3.3.1 Monitorovací systémy od firmy Adash

Adash je česká soukromá společnost založená v roce 1991 zabývající se vývojem a výrobou zařízení a softwaru pro oblast vibrační diagnostiky a monitorování provozního stavu strojů. Jako první na světě vydali software na správu dat o vibracích pod operačním systémem Windows nesoucí název DDS. Tento software je používán dodnes. První vibrační analyzátor

vydali na trh již v roce 1995 a rok poté vyvinuli jejich první online vibrodiagnostický systém. Dnes nabízí firma Adash tři online měřicí systémy. [13]

A3716

Monitorovací a diagnostické systémy A3716, jejichž technické parametry shrnuje tabulka Tab 1), jsou šestnácti kanálové jednotky, které mohou být využívány jako samostatné monitorovací systémy nebo jako nadstavba již stávajícího ochranného systému. Využívají se také jako výkonné vícekanálové analyzátoři a dají se stavebnicově skládat, tzn. je možné z nich vytvořit mnohakanálové systémy. [14]

Zadní panel těchto jednotek obsahuje šestnáct AC vstupů pro měření střídavého signálu, které po zapojení snímače zrychlení měří vibrace a šestnáct DC vstupů pro měření signálu stejnosměrného, které slouží pro měření procesních veličin jako je teplota, tlak či průtok. Na zadním panelu je také umístěno šestnáct výstupů proudových smyček 4-20 mA. Vedle těchto výstupů jsou pak umístěny relé výstupy (také šestnáct). [15]

Na čelním panelu jsou umístěny bufferované výstupy, které umožňují zapojení přenosných vibrodiagnostických přístrojů a také provádění následné analýzy na zvoleném kanálu. Šestnáct kanálů této jednotky je rozděleno do skupin, označených písmeny A, B, C, D, z nichž každá obsahuje právě čtyři kanály měřené jednou Adash čtyř kanálovou měřicí deskou. [15]

Všechna nastavení a správa systému je prováděna přes software DDS. V tomto softwaru je nutné nejprve vytvořit schéma strojů, měřících bodů a požadovaných měření. Po stisku tlačítka START pak probíhá měření automaticky. [14]

Tab 1) Technické parametry monitorovací jednotky A3716 [14]

A3716	
Vstupy AC	16 AC, ICP® napájení ZAP/VYP vstupní impedance 100kΩ jednoduchá a dvojitá integrace high pass filtr 1 Hz - 12 800 Hz low pass filtr 25 Hz - 25 600 Hz
Vstupy DC	16 DC pro procesní veličiny vstupní impedance 100 kΩ (VDC), 250 Ω (mADC)
TACHO vstupy	4 nezávislé TACHO vstupy pro externí trigger rozsah otáček 0,8 Hz - 1000 Hz
Vstupní rozsah	AC +/- 12 V špička-špička DC +/- 24 V nebo 4–20 mA TACHO +10 V
AD převodník	24 bit, 64 bitů zpracování signálu nevyžaduje AutoGain
Dynamický rozsah S/N	120 dB
Frekvenční rozsah	max. 25,6 kHz (16 Ch, 65,5 kHz vzorkování)
FFT rozlišení	min. 100 čar max. 25 600 čar

Pokračování Tab 1) Technické parametry monitorovací jednotky A3716

Zpracování dat	Širokopásmové hodnoty Časové signály FFT v reálném čase DEMOD – ENVELOPE analýza ACMT – analýza pomaloběžných ložisek Řadová analýza Uživatelská definice pásem Měření otáček Měření DC signálů Orbity
Rekordér signálu	64 kHz vzorkovací frekvence 4 Ch – spotřeba paměti 3 GB/hod 4 Ch celková doba nahrávání 10 hodin
Trigger (spouštění)	manuální, TACHO, externí (napětí)
Komunikace	Ethernet 1GB RJ45

A3800

A3800 je čtyř až šestnácti kanálový kompaktní on-line monitorovací a diagnostický systém, které je možné díky jeho rozměrům umístit přímo na DIN lištu¹ v rozvaděči. Obsahuje čtyři, osm, dvanáct nebo až šestnáct samostatných AC a DC vstupních kanálů, přičemž jsou jednotlivé čtveřice kanálů mezi sebou přepínány díky multiplexu. Počet vstupních kanálů lze rozšiřovat dokoupením doplňující licence. [16]

I u této řady systémů probíhá veškeré nastavení a správa v softwaru DDS. Přibyl ale adaptivní inteligentní systém sběru dat, díky kterému probíhá měření spojitě a nepřerušovaně a adaptivní algoritmus ukládá veškerá měření do databáze. [16]

A3900-II

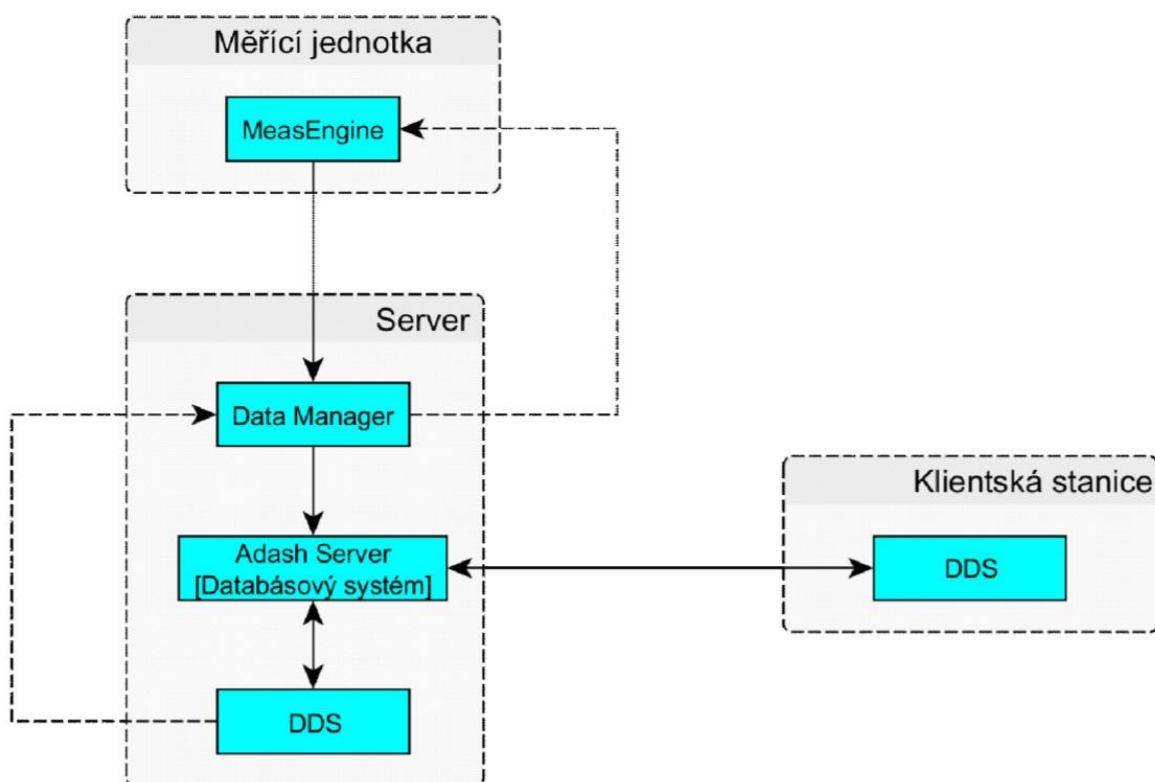
Modul A3900-II je jednotka uplatňující se především při on-line monitorování stavů točivých strojů, kterými jsou např. malé turbíny, motory, ventilátory, čerpadla nebo převodovky. Obsahuje dva výstupy – proudovou smyčku 4-20 mA sloužící jako výstup měřené hodnoty, a prepínací kontakt relé, který signalizuje překročení nastavené limitní hodnoty (ALARM). Limitní hodnoty (ALERT a ALARM), měřící rozsah proudové smyčky a další nastavitelné parametry se přes sériové rozhraní RS232 konfiguruje v programu Hyper Terminal. Pokud dojde k překročení nastavené hodnoty ALARM, relé sepne kontakty COM-1, které jsou za normálních podmínek rozepnuty a rozepne kontakty COM-0, které jsou naopak při běžném chodu sepnuty. Naměřená data je pro pozdější analýzu možné ukládat na PC, pokud je měřící soustava rozšířena o modul A3600 MEMORY. [17]

¹ Nosná kovová lišta v elektrotechnice normalizovaného tvaru a rozměrů. Lišty slouží k upevňování elektrických přístrojů v rozvodnicích, rozvaděcích, ovládacích skříních a podobných zařízeních. Na nosnou lištu mohou být přístroje nasunuty z boku nebo nacvaknuty zepředu a zaaretovány.

Software Adash Online Server

Adash Online Server pracuje díky logické architektuře (Obr. 2) následujících programů pro on-line sběr dat: [15]

- *Databázový systém (MySQL)* – program, který se stará o fyzické uložení a poskytování naměřených dat; je součástí balíku Adash server a instaluje se na server
- *Data Manager* – program, který sbírá naměřená data z měřících jednotek a předává je k uložení databázovému systému; je součástí programu DDS a měl by být spuštěn pouze na serveru
- *Software DDS* – diagnostický software určený na analýzu naměřených dat; v souvislosti s online měřením je využíván i pro konfiguraci měření
- *Meas Engine* – software v měřících jednotkách; provádí zadaná měření a poskytuje naměřená data programu Data Manager



Obr. 2) Logická architektura softwaru Adash Online Server [15]

3.3.2 Monitorovací systémy od firmy SKF

SKF je švédská společnost zabývající se výrobou ložisek a těsnění. Společnost celosvětově vyrábí a dodává ložiska, těsnění, mazací systémy a mnoho dalšího. Vedle toho jsou ale v jejich portfoliu také výrobky pro údržbu a systémy monitorování stavu a s tím související služby. [18]

Na trhu má tato společnost širokou škálu online vibrodiagnostických systémů. Současné inteligentní monitorovací systémy, obsažené v Tab 2), nesou název reprezentovaný anglickou

zkratkou IMx (Intelligent Monitoring (generation) x). První jednotka nesoucí tento název byla jednotka IMx-T, vyvinutá v roce 2007. [18]

Tab 2) Přehled IMx systémů od společnosti SKF [18]

IMx	Aplikace, možnost využití
16Plus	16kanálová jednotka s Wi-Fi a mobilní komunikací
8	8kanálová jednotka
B	Bogie podvozky; monitorování vlaků a jiných vozidel
C	Customised přizpůsobivý; k integraci do kontrolních skříní a řešení na míru
M	Machinery protection ochrana a monitorování stavu strojů
R	Railway vlaky a metra
P	Portable přenosný; řešení problémů pro všechny typy strojů
W	Wind větrné turbíny
S	Standard monitorování stavu pro všeobecné účely, např. papírenské a tiskařské stroje
T	Turbo dohled nad stoji, funkčně nahrazený řadou IMx-M

On-line systém SKF Multilog IMx-C

Měřicí jednotky této řady jsou vybaveny šestnácti vstupy analogového signálu, z nichž je každý možné nakonfigurovat pro různé typy snímačů. Analogové vstupy mají samostatné 24 V napájení a výkon senzoru pro každý kanál je řízený přepínači DIP. Vedle analogových kanálů mohou být použity také kanály digitální, které slouží k měření rychlosti nebo zobrazení stavu ukazujícího právě probíhající měření. Jednotka Multilog IMx-C může mít k jednomu kanálu připojeno několik měřících bodů, z nichž má každý stanovitelné poplachové a alarmové podmínky, které jsou řízené rychlostí nebo zatížením stroje. Na jednom kanále pak může probíhat střídavé (AC) i stejnosměrné (DC) měření. [19]

Jednotky z řady IMx-C mají zabudovaný hardware s automatickým diagnostickým systémem, který nepřetržitě kontroluje všechny senzory, elektroniku i kabeláž a zachycuje veškeré poruchy, přerušení signálu, selhání napájení nebo zkraty. [19]

On-line systém SKF Multilog IMx-S

Systém SKF Multilog IMx-S je vyráběn ve dvou provedeních – SKF Multilog IMx-S 16 a SKF Multilog IMx-S 32. Tyto dvě verze se od sebe liší počtem vstupů analogového signálu. Jak je již z názvu patrné, verze Multilog IMx-S 16 má vstupů šestnáct a verze IMx-S 32 je vybaven třiceti dvěma vstupy analogového signálu. [20]

Klíčovou vlastností řady IMx-S je možnost současného měření všech kanálů s využitím šestnácti dynamických nebo stejnosměrných vstupů a osmi digitálních nebo rychlostních vstupů u modelu SKF Multilog IMx-S 16. U modelu SKF Multilog IMx-S 32 je to pak třicet dva

dynamických nebo stejnosměrných a šestnáct digitálních nebo rychlostních vstupů. Základní technické parametry této jednotky shrnuje tabulka Tab 3). [20]

Tab 3) Technické parametry monitorovací jednotky IMx-S 16 [20]

IMx-S 16	
Počet analogových vstupů	16
Počet digitálních vstupů	8
Vstupní rozsah	Digitální vstupy: 4 kanály pro samostatné napájení 24 V, maximálně 30 mA / kanál Analogové vstupy: ± 25 V
Dynamický rozsah	120 dB
Frekvenční rozsah	od DC do 40 kHz
FFT	100 až 6 400 čar
Komunikační rozhraní	Ethernet: 100 Mbit RJ45
Protokol	TCP/IP

On-line systém SKF Multilog IMx-W

Řada systémů Multilog IMx-W je určena k instalaci do větrných elektráren jak na pevnině, tak na moři. Každá jednotka této řady obsahuje šestnáct vstupů analogového signálu nastavitelných pro různé typy senzorů, např. standardní akcelerometry či bezdotykové sondy. Kromě kanálů analogového signálu obsahuje také dva kanály digitální. Ke každému z nich lze připojit několik měřících bodů a měření AC a DC proudu má možnost probíhat na stejném kanále. [21]

Stejně jako předchozí řady, i tato poskytuje společně se softwarem SKF @ptitude Observer kompletní systém pro včasnou detekci a prevenci poruch, automatické sdělování stávajících nebo blížících se poruch a pokročilou údržbu založenou na nepřetržitém monitorování stavu daného objektu. Navíc má ale ochranu před bleskem. [21]

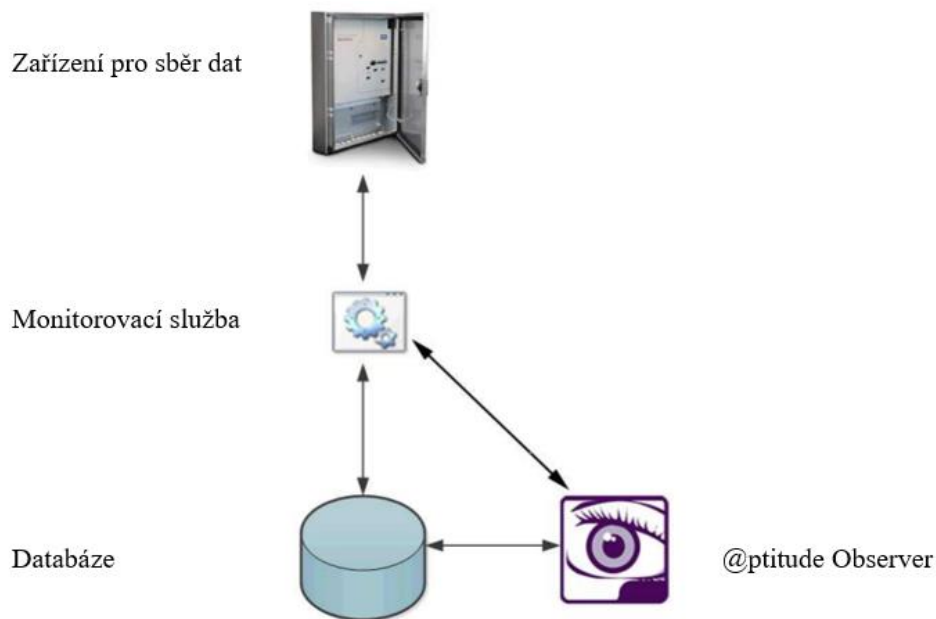
Software @ptitude Observer

Software @ptitude Observer poskytuje uživatelům všech úrovní inteligentní diagnostické nástroje potřebné na nastavení a spuštění online monitorovacích programů. @ptitude Observer je založen na systému Microsoft Windows® a podporuje všechny systémy na něm založené. Tento program podporuje všechny zařízení z řady IMx. [22]

Program pracuje ve spojení s databázovým serverem Microsoft SQL a při plné verzi softwaru je prakticky neomezená velikost databáze. Veškerá uložená data jsou označena datumem a časem. [22]

Komunikační možnosti jsou téměř neomezené. Standardní rozhraní TCP/IP umožňuje snadno použitelnou komunikaci prostřednictvím kabelu, optických vláken, dvou vodičového měděného drátu nebo bezdrátové sítě. Systém pracuje v samostatné síti i ve stávající tovární síti. [22]

Software @ptitude Observer podporuje rychlé ukládání údajů na stovkách monitorovacích počítačích a umožňuje neomezený počet hierarchických úrovní. Logickou architekturu tohoto softwaru zobrazuje Obr. 3).



Obr. 3) Logická architektura SKF @ptitude Observer [22]

3.3.3 Monitorovací systémy od firmy ifm electronic

Ifm electronic je německá společnost, která vyrábí a distribuuje automatizační systémy a komponenty pro průmyslové podniky. Vyvíjí, vyrábí a prodává senzory, ovládací prvky a systémy pro průmyslovou automatizaci. Společnost poskytuje techniku rozdělitelnou do dvou kategorií – jednoduché akcelerometry s analogovým a digitálním výstupem, a senzory s vyhodnocovací jednotkou VSExxx.

Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100

Vyhodnocovací jednotky VSE002 a VSE100 obsahují dva analogové a čtyři dynamické vstupy (viz. tabulka Tab 4)) a dva spínací vstupy pro předběžný a hlavní poplach. Analogové vstupy slouží k připojení analogových proudových či impulzních signálů, využívaných jako vstupy rychlosti pro diagnostiku vibrací, spouštěče měření nebo se pomocí nich sledují hodnoty procesu. Analogový proudový signál je pak možné připojit i k dynamickým vstupům, čímž lze monitorovat další čtyři hodnoty procesu. Jednotka VSE100 ještě navíc disponuje osmi konfigurovatelnými digitálními vstupy a výstupy, určenými k přepínání měření nebo k signalizaci vybraných alarmů. [23][24]

Tab 4) Technické parametry monitorovací jednotky VSE100 [24]

VSE100	
Počet analogových vstupů	2
Počet dynamických vstupů	4
Vstupní rozsah	Analogový vstup 0...20 mA Dynamický vstup 0...10 mA IEPE / 0...20 mA
Výstupní signál	spínací signál; analogový signál
Frekvenční rozsah	0...12000 Hz
Komunikační rozhraní	Ethernet
Protokol	PROFINET IO

Vyhodnocovací jednotky VSE150, VSE151 a VSE153

Stejně jako předchozí dvě jednotky, obsahují i tyto dva analogové a čtyři dynamické vstupy. Kromě toho jsou vybaveny jedním digitálním výstupem a jedním výstupem analogovým či digitálním. Tyto jednotky mají také jedno rozhraní pro nastavení parametrů TCP/IP, které je využíváno ke komunikaci mezi diagnostickou jednotkou a počítačem, tzn. je možné nastavovat parametry zařízení, sledovat data online, číst historii z paměti nebo např. aktualizovat firmware. [25]

Jednotky VSE150, VSE151 a VSE153 se mezi sebou liší druhem portů, které slouží ke komunikaci mezi diagnostickou jednotkou a příslušným modulem (např. PLC). Jednotka VSE150 má PROFINET IO porty, jednotka VSE151 EtherNet/IP porty a jednotka VSE153 Modbus TCP porty. [26]

Software VES004

Software VES004 je parametrizační software pro vyhodnocovací jednotku vibračních senzorů ke snadnému nastavení parametrů a nastavení systémů pro hlídání vibrací. Díky tomuto softwaru je možné srovnání naměřených hodnot z různých zdrojů dat pomocí grafů, vizualizace hrubých údajů ze senzoru vibrací a jednoduché vytváření monitorovacích úkolů. Slouží ke konfiguraci a zobrazení dat diagnostické elektroniky VSE. Valivá ložiska a objekty, které mají být monitorovány, jsou definovány pomocí softwaru a poté přeneseny jako sada parametrů do diagnostické elektroniky VSE. [27]

3.4 Porovnání online diagnostických systémů

Porovnání výše zmíněných online diagnostických systémů je provedeno na základě jejich technických parametrů. Vzhledem k tomu, že se technické parametry jednotlivých systémů v rámci katalogu jednoho výrobce mezi sebou prakticky nelišily, byl pro porovnání od každého výrobce vybrán vždy jeden systém, a to A3716 od firmy Adash, IMx-S 16 od firmy SKF a VSE100 od firmy ifm electronic.

Z tabulek technických parametrů jednotlivých systémů v kapitole 3 (přesněji podkapitole 3.3) vyplývá, že každý z vybraných výrobců má ve své nabídce systémy s podobnými parametry.

3.5 Klasifikace diagnostických systémů

Klasifikace diagnostických systémů popisuje rozdělení diagnostických systémů do skupin podle vnějších hledisek nebo podle charakteristických hodnot a znaků. Je to důležitý podklad, který pomáhá k vhodnému výběru diagnostického systému přesně podle konkrétního diagnostického objektu a požadavků na účel a využití diagnostických informací. K optimálnímu výběru diagnostického systému je potřeba vypracování kvalifikovaného rozvahy, která musí vyhodnotit cíle diagnostikování, vlastnosti diagnostikovaného objektu a ekonomické náklady. [10]

Dle konfigurace technického zabezpečení systémů, se diagnostické systémy rozdělují na staniční, palubní, komplexní, distribuované a speciální. [10]

3.5.1 Staniční diagnostické systémy

Hlavním znakem staničních diagnostických systémů je diagnostikování mimo provoz objektu, tzn. systémy pracují pouze v režimu off-line. Nezjišťují se tak provozní parametry, ale pouze se vyhodnocuje stav zařízení. Což znamená, že pomocí staničních diagnostických

systemů není možné sledovat parametry, které se projevují pouze během provozu zařízení, např. vibrace, hluk, teplota apod. Daný sledovaný objekt reaguje na testovací podněty diagnostického prostředí, které se následně vyhodnocují. [10]

Tyto systémy je možné rozdělit na tři skupiny – stacionární, mobilní a kombinované. Stacionární diagnostické systémy mají výhodu díky většímu rozsahu možností zjišťovaných veličin a programového vybavení, sledovaný objekt je ale nutné k nim dopravit. Mobilní diagnostický systém je přenosné zařízení a „dopravuje“ se tak k diagnostikovanému objektu. Oproti stacionárním zařízením je ale omezeno menší kapacitou. Staniční diagnostické systémy kombinované jsou pak tvořeny kombinací stacionárního a mobilního staničního systému, tzn. část diagnostického zařízení je stacionární a u části je umožněn jeho mobilní přesun. [10]

3.5.2 Palubní diagnostické systémy

Diagnostikování pomocí palubních diagnostických systémů probíhá za provozu sledovaného objektu, v jeho přirozeném provozním režimu. Odezvy, které diagnostický systém od sledovaného objektu získává, tak odpovídají jeho aktuálnímu provoznímu zatížení. Palubní diagnostický systém tvoří měřicí, autodiagnostická a monitorovací část. Dále obsahuje registrační modul, určený pro uložení naměřených hodnot parametrů diagnostikovaného zařízení. Novější systémy mívají také sledování prvků daného zařízení pro možný automatický zásah do jeho činnosti. Palubní diagnostické systémy mohou pracovat třemi způsoby: [10]

- a) nepřetržitě během provozu,
- b) přetržitě, podle pokynů obsluhy sledovaného objektu nebo pracovníka provádějícího diagnostické prověrky,
- c) přetržitě automaticky, dle předem nastavených požadavků.

Palubní diagnostické systémy bývají často doplněny o sledování havarijních stavů důležitých prvků sledovaného objektu. Výsledkem takového sledování bývá např. výstraha pro obsluhu (signalizace, alarm atd.), automatický zásah do činnosti sledovaného objektu nebo odstavení objektu mimo provoz (především u zařízení, u kterých je velké riziko následků možné havárie a delší čas na vyhodnocování situace by byl spíše na obtíž). [10]

Dle způsobu nakládání s naměřenými daty se palubní diagnostické systémy dělí na adaptivní a neadaptivní. Adaptivní diagnostické systémy zaznamenávají a vyhodnocují změny sledovaných parametrů a ukládají pouze hodnoty důležité pro identifikaci případných změn stavu objektu (tzn. ukládají pouze informace o hodnotách, které jsou mimo toleranční meze odpovídající správné funkci daného sledovaného zařízení). Systémy tak zpracovávají méně dat, čímž ušetří výpočetní výkon a kapacitu paměti. Činnost neadaptivních systémů (včetně měření) je předem přesně určená a má pevný neměnný postup. Tento typ systémů zpracovává a ukládá všechny hodnoty zjištěné v zařízení, čímž využívá celý výpočetní výkon a pro vyhodnocení stavu zařízení je tak potřeba připojení počítače, který všechna zjištěná data zpracuje. [10]

3.5.3 Komplexní diagnostické systémy

Komplexní diagnostické systémy využívají výhody předchozím dvou typů, tedy staničních a palubních diagnostických systémů. Jak je již zmíněno v předchozích podkapitolách, staniční diagnostické systémy zpracovávají parametry diagnostikovaného objektu, které lze hodnotit jen tehdy, je-li daný objekt mimo provozní činnost a systémy palubní zjišťují změny v provozních parametrech. Měření diagnostických veličin pomocí komplexních diagnostických systémů tedy neprobíhá ve stejných časech, jelikož obě diagnostická zařízení nepracují současně. Funkční je vždy pouze jen jedna část těchto systémů. Komplexní diagnostické systémy mohou

být provozovány samostatně, kdy vyhodnocování probíhá ve staniční části, nebo je možné je doplnit o samostatné vyhodnocovací zařízení. [10]

3.5.4 Distribuované diagnostické systémy

Distribuované (rozdělené) diagnostické systémy jsou rozděleny na samostatné části, a to jak z prostorového hlediska, tak i z hlediska časového. Informace mezi jednotlivými částmi těchto systémů mohou být přenášeny kartami, ze kterých si jedna část diagnostického systému načte zjištěná data z předchozí části, nebo tato data zadá ručně obsluha. Dělení distribuovaných diagnostických systémů je dle jejich použití možné na dvě základní skupiny – opravárensko-výrobního typu a provozně-údržbářského typu. Rozdělené diagnostické systémy jsou vhodné především pro firmy, které mají více diagnostických zařízení a vyhodnocovací zařízení soustředěné v jiné místnosti či výrobní hale. [10]

3.5.5 Speciální diagnostické systémy

Speciální diagnostické systémy zjišťují technický stav diagnostikovaného objektu pomocí diagnostických informací obsažených v jeho energetických projevech (mechanické kmitání, tepelné záření, radioaktivní záření apod.) Pro zaznamenávání a vyhodnocování energetických změn potřebují speciální diagnostické systémy odpovídající, většinou složité a drahé měřicí a vyhodnocovací zařízení. Naměřená data jsou pak většinou vyhodnocována dodatečně. [10]

3.6 Automatizace diagnostických systémů

V dnešní době se na diagnostické systémy čím dál častěji klade požadavek automatického určení diagnózy, případně automatického odvozování prognózy či geneze vady nebo poruchy. Do popředí se dostávají především snahy o: [3]

- automatizování činností dosud prováděných člověkem,
- vyloučení subjektivních faktorů lidského hodnocení,
- kompenzování omezené schopnosti člověka zpracovat složitá případně rozsáhlá data,
- konstruování systémů schopných dosahovat doposud nedostupné aplikační možnosti.

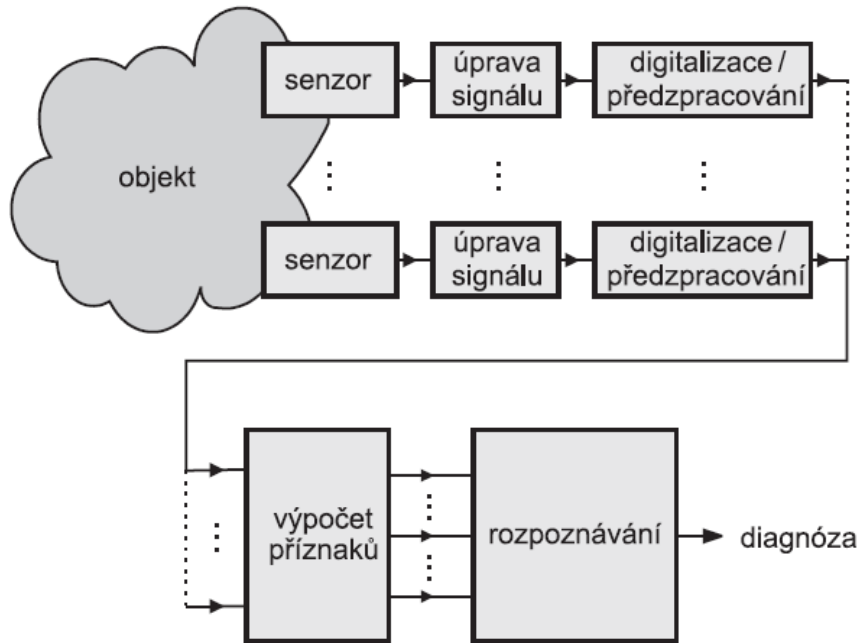
Typické obecné schéma automatizovaného řetězce diagnostického systému je zobrazeno níže, na obrázku č. 4. Senzory nasnímané diagnostické (fyzikální) veličiny jsou převedené na signály. Následně probíhá jejich úprava v podobě přenosu, zesílení, případně analogové filtrace a převodu do číslicové podoby. Data v číslicové podobě pak často procházejí předzpracováním pomocí různých metod, např. segmentace, číslicová filtrace (průměrování, vyhlazování, potlačení šumu apod.), normalizace a vyloučení vychýlených hodnot. [3]

Z předpracovaných naměřených dat se v dalším bloku (nazvaném výpočet příznaků) provádí výpočet relevantních popisných charakteristik objektu. Za předpokladu, že po předpracování „vznikne“ signál, k jehož vyhodnocení bude stačit jen použití např. porovnání amplitudy s prahovou hodnotou, není blok výpočtu příznaků využit. [3]

Poslední částí řetězce je blok rozpoznávání, jehož úkolem je rozpoznat stav objektu nebo procesu na základě naměřených dat. Častým případem je také řešení speciálního případu rozpoznávání nazývaného klasifikace, kdy je stav objektu popsán třídou z konečné množiny

tříd možných stavů. Podobnou úlohou, kterou tento blok řeší, je odhad parametrů nebo odhad stavu objektu. [3]

Přestože jsou spolu bloky výpočtu příznaků a rozpoznávání úzce spjaty, je užitečné je správně oddělovat. Metody rozpoznávání jsou totiž do velké míry aplikačně nezávislé, kdežto blok příznaků je aplikačně závislý. [3]



Obr. 4) Obecné uspořádání automatizovaného diagnostického řetězce [3]

4 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE/PROTOKOLY

Průmyslová komunikace je mezi zařízeními umístěnými v průmyslových podmínkách uskutečňována pomocí průmyslových sběrnic. Ty představují již nenahraditelnou součást průmyslových aplikací ať už se jedná o jednoduché získávání dat z průmyslových zařízení nebo například řízení výroby. Ke všem těmto účelům je vždy zapotřebí minimálně jedno řídicí zařízení a senzor. [28]

Samotná komunikace se provádí za použití různých průmyslových komunikačních protokolů, které jsou sadou pravidel umožňující komunikaci a určující parametry přenosu a výměny dat mezi jednotlivými zařízeními. Průmyslových protokolů existuje několik a každý z nich poskytuje vlastní sadu pravidel k realizaci komunikace. [28]

V následujících podkapitolách je stručně popsáno několik vybraných sběrnic/protokolů, včetně protokolu OPC použitého v praktické části této diplomové práce.

4.1 OPC

OPC je standart interoperability² definovaný organizací OPC Foundation využívaná pro bezpečnou a spolehlivou výměnu dat v prostoru průmyslové automatizace a v dalších průmyslových odvětvích. Zajišťuje plynulý tok informací mezi zařízeními od různých dodavatelů a není závislý na žádné platformě. Je založený na komunikaci klient/server, to znamená, že jeden či dva servery čekají na požadavek od několika různých klientů. Jakmile server požadavek obdrží, odpoví na něj a následně se vrací do statusu čekání. Standart OPC je řada specifikací, které definují rozhraní mezi klientem a serverem, včetně přístupu k datům v reálném čase, sledování alarmů a událostí nebo přístupu k historickým datům. K přenosu dat má OPC dvě specifikace – OPC Classic a OPC UA. [29]

4.1.1 OPC Classic

Specifikace OPC Classic jsou založeny na technologii Microsoft Windows, která pro výměnu dat mezi softwarovými komponenty využívá model COM/DCOM. Jedná se o původní verzi OPC, která využívá třech základních protokolů (OPC DA, OPC AE, OPC HDA), z nichž má každý své vlastní příkazy pro čtení, zápis atd. Jednotlivé protokoly jsou soběstačné a zcela nezávislé na ostatních dvou. [30]

OPC Data Access (OPC DA) je protokol definující výměnu dat včetně hodnot, času a informací o kvalitě. Data získává z řídicích systémů a následně je předává do dalších systémů provozu. Nejzákladnější jsou samotná data (včetně jejich názvu), která se nazývají hodnota. K nim pak přichází řada dalších popisných informací. První takovou informací je časové razítko udávající přesný čas, kdy byla hodnota přečtena. Poslední částí je pak kvalita, která poskytuje základní informace o tom, zda jsou data platná nebo nikoliv. [31]

Druhým protokolem je OPC Alarms & Events (OPC AE), který definuje výměnu informací o zprávách typu alarm a událost a stejně tak i zprávy o stavu proměnných. Od protokolu OPC DA se liší tím, že probíhající událost nemá žádnou aktuální hodnotu. To znamená, že klienti získávají veškeré události, které na protokol působí. Co se dat týče, na rozdíl od protokolu

² interoperabilita je schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat, poskytovat si služby a dosáhnout vzájemné součinnosti

OPC DA, obsahují pouze časové razítko. Server také neobsahuje žádné úložiště, což znamená, že poté, co je událost zpracována (přenesena), server na ní zapomene. [31]

OPC Historical Data Access (OPC HDA) je posledním protokolem spadajícím pod OPC Classic. Tento protokol definuje metody dotazu na analytiku, které lze použít na historická, časově označená data. Rozdíl mezi tímto protokolem a předchozími dvěma je v tom, že HDA poskytuje přístup k historickým datům s tím, že jich může zpětně vyvolat i velké množství. Protokol HDA není dnes již tak široce využíván a díky zavedení OPC UA je prakticky zastaralý. [31]

4.1.2 OPC UA

Novější a v současné době používanější verzí je standart OPC UA. Je to platformově nezávislá architektura orientovaná na služby, která integruje všechny funkce stávajících specifikací OPC Classic. Hlavním rozdílem a také přínosem je to, že oproti původní verzi specifikace OPC, která je založena na technologii COM/DCOM, je OPC UA technologie založená na obecně používaných komunikačních standardech jako jsou TCP/IP, HTTP nebo SOAP. Z toho plyne, že OPC UA není vázána na platformu Windows, ale může fungovat například i na platformě macOS, Android či jakékoliv verzi od Linuxu. Vedle možnosti spuštění tohoto protokolu na počítačích s jiným operačním systémem, je i možnost zabudování OPC UA komunikace přímo do řídicího systému a jiných zařízení, čímž odpadá nutnost přítomnosti hardwaru (pro spuštění OPC serveru) navíc. [32]

Komunikace tohoto standardu probíhá skrze komunikační model/zásobník (stack), kde jsou využívány tři vrstvy:

- **Transportní** (Transport Layer) – je vrstva, která obstarává samotné odesílání a příjem zpráv (paketů), tzn. vytváří a obsluhuje komunikační protokol. Součástí této vrstvy jsou šifrovací a ověřovací mechanismy sloužící k zajištění bezpečnosti zprávy poslané po síti (mají zabránit přečtení či modifikaci zprávy třetí stranou). Transportní vrstva je při navazování spojení vytvořena ihned po připojení. [32]
- **Komunikační** (Secure Channel Layer + Serialization Layer) – reprezentuje zabezpečený kanál mezi serverem a klientem. Tento kanál musí být vytvořen bezprostředně po navázání komunikace s tím, že způsob vytvoření je závislý na použitém komunikačním protokolu. Poté, co je vytvořen zabezpečený kanál, se vytvoří identifikátor kanálu, který je trvalý a bezpečnostní známka (Security-Token), kterou je nutné v pravidelných intervalech obměňovat. Tímto se pak kanál dále prokazuje. Spojení je ukončeno po vypršení životnosti poslední bezpečnostní známky. [32]
- **Aplikační** (Application Layer) – která představuje relaci, v níž probíhá veškeré volání a zpracování služeb. Je využívána pro vnitřní identifikaci komunikace a může poskytovat i autorizaci. „Při vytváření relace předá klient serveru přihlašovací údaje a server po ověření údajů označí klienta jako specifického uživatele, který může mít práva na provedení některých akcí.“ [12] Každému zabezpečenému kanálu náleží nanejvýš jedna relace. Tu je nutné vytvořit a následně i aktivovat, aby se s aktivním zabezpečeným kanálem svázala. Po předem určené době nečinnosti se pak relace uzavře. Jestliže od klienta nedochází k odesílání žádných požadavků, je nutné pravidelné zasílání dotazů, kterými udrží relaci aktivní. [32]

Zabezpečení komunikace OPC UA je navrženo tak, aby odolalo „moderním“ hrozbám napadení. Je rozděleno na zabezpečení vnitřní a vnější s tím, že vnějším zabezpečením může být například šifrování a podepisování zpráv nebo využití zabezpečeného kanálu. Za vnitřní opatření je pak považováno zavírání neúčinných či přebytečných spojení nebo auditing³. Každý účastník komunikace (tj. každá aplikace) musí mít vlastní aplikační certifikát jednoznačně identifikující aplikaci a stroj (počítač), na kterém daná aplikace běží. Standard OPC UA definuje čtyři základní úrovně zabezpečení: [32]

- **Úroveň 1 (bez autentizace)** – veškeré platné certifikáty jsou považovány za důvěryhodné, komunikace je od klienta a serveru umožněna komukoliv. Pro poskytování neověřitelných informací o druhé straně jsou pak využívány aplikační certifikáty. Příjemce není schopen žádným způsobem ověřit, zda je poskytovatel legitimní držitel certifikátu. Na této úrovni jsou automaticky oběma stranami uznávané platné certifikáty, a to i za předpokladu, že nejsou zařazené do seznamu certifikátů důvěryhodných. [32]
- **Úroveň 2 (serverová autentizace)** – server umožňuje připojení libovolnému klientovi. Pokud je požadováno klientovo ověření, provádí se pomocí ověřovacích údajů jako je jméno a heslo. Ověřovací údaje jsou zaslány na server až po vytvoření zabezpečeného kanálu. Každý klient musí důvěřovat serverovému certifikátu. O toto nastavení se stará Administrátor na straně klienta s tím, že je nutné, aby byl serverový veřejný klíč explicitně uveden v seznamu důvěryhodných certifikátů nebo musí být serverový certifikát vydán důvěryhodnou certifikační autoritou. Za předpokladu, že není serverový certifikát explicitně na seznamu důvěryhodných certifikátů, musí klient porovnat DNS jméno uvedené na serverovém certifikátu s DNS jménem počítače, ke kterému se právě připojuje. Takovýto způsob ale nezajistí připojení klienta ke správnému serveru (OPC UA), zajistí pouze připojení ke správnému počítači. [32]
- **Úroveň 3 (klientská autentizace)** – stejně jako u předchozí autentizace, je klientovi povoleno připojit se k libovolnému serveru. Rozdíl je ale v tom, že připojení je povoleno pouze důvěryhodným klientům. Tato úroveň je používána u služeb, které vyžadují přístup pouze důvěryhodných klientů a kde zároveň není požadována legitimita serveru.
- **Úroveň 4 (oboustranná autentizace)** – na této úrovni umožňuje server a klient připojení jen důvěryhodným partnerům. Jde o způsob poskytující nejvyšší úroveň zabezpečení a vyžadující nastavení na obou stranách (klient a server). Jestliže není serverový certifikát explicitně důvěryhodný, klient server ověří jako na úrovni 2. Vzhledem k zajištění nejvyšší míry zabezpečení, je tento přístup doporučen OPC Foundation jako implicitní pro všechny klienty i servery. [32]

4.2 MQTT

Protokol MQTT (dříve Message Queuing Telemetry Transport, dnes MQ Telemetry Transport) je mimořádně jednoduchý a nenáročný M2M nebo IoT komunikační protokol navržený pro jednoduchá zařízení, úzkou šířku pásma, sítě s vysokou latencí (ping) nebo nespolehlivé či poruchové sítě. Byl navržen jako nadstavba protokolu TCP/IP pro předávání zpráv mezi klienty prostřednictvím centrálního bodu – brokeru. Základním principem protokolu

³ zaznamenávání aktivity na serveru [12]

MQTT je minimalizování zátěže sítě a omezení požadavků na zdroje jednotlivých zařízení. Mimo to jde také o snahu zajistit spolehlivost a určitý stupeň zajištění doručení zprávy. [33]

Základem komunikace tohoto protokolu je systém založený na principu publish/subscribe (zveřejnit/odebírat). Součástí je vlastní centrum (již zmíněný broker) a klienti, kterými mohou být různé aplikace, senzory, webové služby či samotná zařízení v síti, která data vytváří nebo je zpracovávají. Broker přijímá zprávy od poskytovatele (tzv. publisher) a následně je předává k přečtení klientům, odběratelům (tzv. subscribers), kteří se přihlásili k jejich odběru. V teoretické rovině může být každý klient jak publisher (poskytovatel zpráv), tak subscriber (příjemce, odběratel zpráv). Ve většině případů jsou ale tyto role rozděleny. Publisher bývá reprezentován nějakým snímačem, či měřicí jednotkou, která vysílá naměřené hodnoty na server (broker) a subscriber je pak tvořen například řídicí jednotkou, která hodnoty přijímá (odebírání) a dále je zpracovává nebo zobrazuje. [33] [34]

Veškerá data (zprávy), která broker přenáší, jsou tříděna do témat (topic), přičemž tato témata definuje přímo publisher, tedy generátor zpráv. Pokud se chce subscriber přihlásit u brokeru k odběru nějakého tématu, musí předem znát jeho označení. Broker následně subscriberovi přeposílá jen ta témata, k jejichž odběru se přihlásil. Subscriber tedy nemusí znát umístění ani komunikační adresu publisheru, ale pouze umístění brokeru. Jednotlivá témata mají hierarchické uspořádání a jsou oddělena lomítky. [34]

MQTT protokol také podporuje zabezpečení komunikace. Od určité verze (verze 3.1) je možné do paketu přidat uživatelské jméno a heslo a vytvořit tím požadavek na zadání uživatelských údajů. Komunikace může být dále šifrována pomocí SSL⁴, což ovšem významně zatěžuje vlastní síť. Dodatečně je také možné zajistit zabezpečení na aplikační vrstvě s použitím šifrování dat. Kvůli úmyslu udržet protokol jednoduchý ale není šifrování jeho součástí. Pokud tedy není nutné, nevyužívá se. [33]

4.3 Profibus

Sériová průmyslová komunikační sběrnice Profibus (Proces Field BUS) představuje jeden z velmi rozšířených komunikačních standardů v oblasti průmyslové automatizace. Tento standard je postaven na základech otevřeného komunikačního protokolu ISO/OSI (referenční model propojování otevřených systémů), z kterého však využívá pouze vrstvy 1, 2 a 7, tedy vrstvu fyzickou, linkovou (spojovou) a aplikační. Základním úkolem fyzické vrstvy je fyzické propojení mezi zařízeními a současně se zde definuje topologie sítě. Linková vrstva je protokol přístupu ke sběrnicevému systému MAC, definuje mechanismus přístupu účastníka na přenosové médium a zabezpečuje tvorbu zprávy. Ve vrstvě aplikační pak dochází k propojení sběrnice s procesem a aplikačnímu programování určitých funkcí, poskytuje jednotlivé služby nezbytné pro realizaci komunikace z hlediska uživatele. [35] [36]

Profibus je určen pro všechny oblasti automatizace od automatizace výrobních linek (výroba automobilů, plnicí linky či skladové systémy), přes domovní automatizaci (klimatizace, vytápění), procesní automatizaci (chemický a petrochemický průmysl, papírenský průmysl nebo čističky odpadních vod) až po automatizaci pro řízení výroby a distribuci energie. [35]

V současné době existují tři varianty komunikačního standardu Profibus, rozlišené dle speciálního použití, pro které jsou určeny: [36]

⁴ SSL je protokol, resp. vrstva vložená mezi vrstvu transportní (např. TCP/IP) a aplikační (např. http), která poskytuje zabezpečení komunikace šifrováním a autentizací komunikujících stran.

Datová komunikace:

- Profibus-FMS – určený pro datovou komunikaci mezi PLC a field zařízeními.

Procesní a field komunikace:

- Profibus-DP – určený do běžného průmyslu pro rychlý cyklický přenos dat s field zařízeními.
- Profibus-PA – určený do náročných prostředí v procesní automatizaci (např. tam, kde hrozí výbuch).

4.3.1 Profibus-DP

U varianty Profibus-DP (Decentralized Periphery – decentralizované periférie) se jedná o nejjednodušší a nejrozšířenější variantu tohoto standardu. Je určena především pro rychlou komunikaci typu master-slave mezi řídicími jednotkami (master) a decentralizovanými perifériemi (slave). Výměna dat probíhá mezi PLC (master) a jednotlivými zařízeními (slave) cyklicky. Vzhledem k tomu, že je orientovaná především na rychlost (může dosahovat maximální rychlosti komunikace 12 Mbit/s), využívá se hlavně tam, kde je kladen důraz na krátkou dobu odezvy, např. v automatizaci na nižší úrovni řízení pro rychlý přenos signálů z procesů od decentralizovaných jednotek k řídicím zařízením. [36]

Přenosovým médiem u Profibus-DP bývá stíněný kroucený pár s rozhraním RS-485⁵ nebo optické vlákno. Komunikace pak probíhá skrze protokol, který existuje ve třech verzích – DP-V0, DP-V1 a DP-V2. [36]

- DP-V0 poskytuje základní funkce Profibusu, jako je cyklická datová komunikace mezi master a slave zařízeními, či diagnóza. Komunikace mezi více mastery probíhá pomocí tokenu.
- DP-V1 je rozšíření směrem k automatizaci procesů, tzn. přibyla komunikace dat, přenos alarmů a FailSafe komunikace.
- DP-V2 znamenal rozšíření o slave-to-slave komunikaci, časovou synchronizaci a možnost redundance zařízení a linek.

4.3.2 Profibus-FMS

Tato varianta umožňuje, díky široké skupině služeb, práci s daty, alarmy a programy a je tak vhodná především pro komunikaci složitějších systémů na vyšší úrovni řízení. Oproti Profibus-DP má kvůli svému většímu rozsahu a složitosti omezenou rychlost na 500 kbit/s, což je ideální pro aplikace, které nemají tak velkou časovou náročnost. Komunikace je u tohoto protokolu typu master-slave a Token passing (předávání pověření, tokenu, v kruhu). Přenosové médium je pak shodné, tzn. stíněný kroucený pár a optické vlákno. [36]

Profibus-FMS je původní podoba technologie Profibus, která poskytovala multifunkční komunikaci cílenou na úroveň jednotlivých buněk či ovladačů. Kvůli složitosti a náročnosti na implementaci ale vznikla po několika letech zkušeností zjednodušená a vylepšená specifikace Profibus-DP. Protokol Profibus-FMS je plně kompatibilní s ostatními verzemi technologie Profibus, a tak někteří výrobci ale stále poskytují jeho funkce. [37]

⁵ Stíněný kroucený pár s rozhraním RS-485 je fyzické médium, jehož výhodou je vysoká přenosová rychlost, která bývá vyžadována v real-time aplikacích. Jeho přenosová rychlost se pohybuje od 9,6 kbit/s do 12 Mbit/s a je nepřímo úměrná na délce vedení. [36]

4.3.3 Profibus-PA

Profibus-PA byl vyvinut speciálně pro automatizaci ve výbušném prostředí. Prakticky je to mírně rozšířená varianta Profibus-DP s tím, že systém PA umožňuje současný přenos digitálních dat a napájení pomocí jednoho kabelu. Tato varianta je vhodná pro jednodušší aplikace a řízení pomalých procesů. Protokol Profibus PA se od protokolu Profibus DP odlišuje pouze fyzickou vrstvou a částí vrstvy linkové, která upravuje přenášené znaky pro danou fyzickou vrstvu. Komunikace tohoto protokolu je typu master-slave (stejně jako u předešlých dvou) či Token passing. [36] [37]

4.4 Profinet

Profinet je otevřený, na výrobci či dodavateli nezávislý průmyslový komunikační standard vycházející ze standardu Ethernet. Byl navržen a vyvinut mezinárodní organizací Profibus International jako nadstavba TCP/IP a je to orientovaný následovník sběrníkových a komunikačních systémů Profibus a průmyslový Ethernet. Je standardizovaný normami IEC 61158 a IEC 61784 a slouží především pro automatizaci v průmyslové výrobě. Komunikační protokol Profinet je schopen zajistit odezvu v reálném čase a umožňuje i izochronní přenosy dat (např. pro řízení pohybu). Tento protokol je dostupný ve dvou provedení Profinet IO a Profinet CBA: [15]

- Profinet IO (Input, Output) je určený ke komunikaci s decentralizovanými periferiemi (vstupy a výstupy).
- Profinet CBA (Component Based Automation) představuje nový koncept komunikace pro distribuované řízení, jehož komponenty jsou autonomní řídicí systémy s vlastní inteligencí, které tvoří celek, např. části výrobní linky.

Jako komunikační médium využívá Profinet Ethernet. K tomu, aby mohl být Ethernet využíván, je potřeba implementovat spoustu protokolů, které definuje standard IEEE 803.2. Pro základní komunikaci a přenos dat jsou implementovány protokoly TCP, UDP nebo IP. Tyto protokoly však reprezentují pouze základní výměnu dat a k jejich zpracování nestačí. Z toho důvodu je nutné použít tzv. aplikační protokoly, které zajistí spolupráci aplikací. Profinet dokáže rozlišovat tři typy komunikace s různými výkonnostními třídami. [38]

Standartní komunikace (NRT)

Jde o komunikaci využívanou pro časově nekritické (nedůležité) přenosy dat jako je parametrizace a konfigurace. Při tomto typu komunikace jsou využívány standartní protokoly TCP/IP a UDP/IP Ethernetu mezinárodního standardu. Adresace pak probíhá prostřednictvím IP (při komunikaci mezi sítěmi) nebo MAC (při komunikaci zařízení v rámci jedné sítě) adres. Časová odezva se pohybuje řádově v 100 ms. Standartní komunikace se využívá v procesní automatizaci. [39]

Komunikace v reálném čase (RT)

Komunikace v reálném čase je využívána pro přenos časově kritických procesních dat, např. cyklická uživatelská data nebo událostmi řízená přerušení. Může být dvojího typu – cyklická nebo acyklická. Cyklická RT komunikace slouží pro výměnu dat mezi IO-Controllerem (řídicí účastník sítě) a IO-Device (poskytuje distribuované vstupy-výstupy) a acyklická pro odesílání poruchových hlášení nebo k časové synchronizaci. Real-time komunikaci je možno implementovat jak do Profinetu CBA, tak i do Profinetu IO. Časová synchronizace zpoždění se pohybuje řádově v intervalu 5 až 10 ms. [39]

Izochronní komunikace (IRT)

Používá se v případech, kdy je potřeba velmi rychlá komunikace s krátkou dobou odezvy, např. řízení pohonů. Komunikační cyklus je rozdělen na deterministickou a otevřenou (standartní) část. Deterministická část obsahuje cyklická IRT data a otevřená je tvořena RT a NRT daty. Aplikováním této komunikace v Profinetu IO je možné dosáhnout časového cyklu sběrnice pod 1 ms s časovou nejistotou (jitter) menší jak 1 μ s. K použití izochronní komunikace je ale zapotřebí speciální hardware sloužící k synchronizaci zařízení. [39]

4.4.1 Profinet CBA

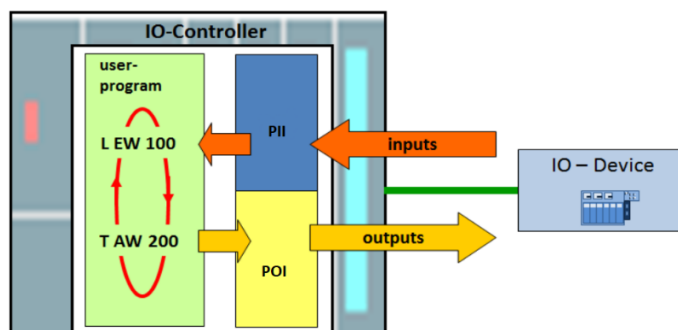
Koncept Profinet CBA spočívá v rozdělení celého automatizovaného prvku na samostatně pracující komponenty, jejichž funkce je popsána pomocí použití jazyka XML. Tyto komponenty jsou uloženy jako databáze souborů PDC, ve kterých jsou zahrnuty veškeré potřebné údaje o komunikujících přístrojích či zařízeních důležité pro komunikaci. Tvorba komunikačního systému poté spočívá jen v konfiguraci spojení jednotlivých komponent s využitím databáze PCD a již není potřeba komunikaci nijak programovat. Systém Profinet je postaven na principu producent-konzument, kdy je producentem vysílací a konzumentem přijímací uzel a je určen především pro NRT komunikaci na vyšší úrovni automatizovaných systémů. [40]

4.4.2 Profinet IO

Na rozdíl od předchozího, je Profinet IO uzpůsoben ke komunikaci v nejnižší vrstvě systému. Je to vlastně průmyslový Ethernet uzpůsobený tak, aby byl deterministický. Profinet IO rozlišuje tři druhy zařízení – IO-Controller, IO-Device a IO-Supervisor.

IO-Controller

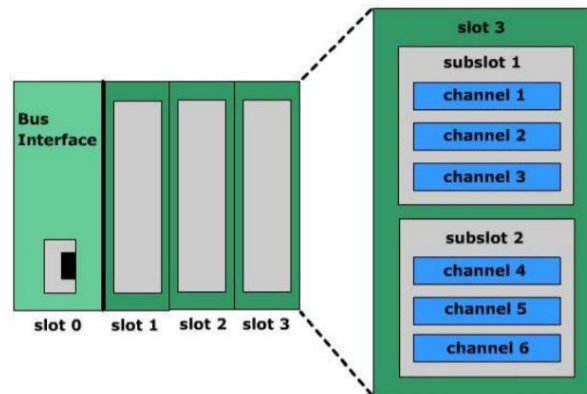
IO-Controller je centrální zařízení profinetové sítě obsahující řídicí program, který je spouštěn cyklicky. Ve většině případů se jedná o PLC nebo jiný řídicí počítač, jehož úkolem je starost o řízení sítě a datové výměny mezi jejími účastníky. Každý cyklus řídicího programu začíná načtením vstupních dat z IO-Device do obrazu procesních vstupů (PII). Odtud jsou pak během zpracování cyklu čteny hodnoty vstupních signálů. Během zpracování jsou v programu generována výstupní data, která se ukládají do paměti zvané obraz procesních výstupů (POI). Na konci celého cyklu se hodnoty z POI zapisují do IO-Device. Obrazy PII a POI zajišťují jednoznačnost vstupů a výstupů během jednoho cyklu. Uživatelský program IO-Controlleru přijímá a zpracovává alarmy a data procesu a je odpovědný za organizaci komunikačních kanálů během systémového bootování. Strukturu IO-Controlleru je možné vidět na obrázku č. 5. [41]



Obr. 5) Struktura IO-Controlleru [42]

IO-Device

Jedná se o zařízení představující decentralizované periferie. Jsou to distribuovaná vstupně-výstupní zařízení, která mimo to, že zprostředkovávají data pro IO-Controller, poskytují také diagnostické informace a zprávy s alarmy. IO-Device (viz. Obr. 6) jsou zařízení s třístupňovou strukturou, přičemž první úroveň tvoří sloty, do kterých se vkládají fyzické I/O moduly. Sloty v první úrovni se pak dále dělí na subsloty (úroveň druhá) s tím, že každý slot musí obsahovat alespoň jeden subslot. Kromě objektů cyklických dat, nesou subsloty také objekty alarmů a datových záznamů. Třetí a poslední úroveň tvoří kanály, které jsou součástí subslotů a obsahují namapované vstupy a výstupy. [43]



Obr. 6) Model zařízení IO-Device [44]

IO-Supervisor

IO-Supervisor bývají zařízení na síti s přístupem ke všem procesům a parametrům paralelně s IO-Controllerem. Jejich úkolem je monitorování a diagnostika dat z IO-Controllerů a IO-Device a také jeho zprovoznění. IO-Supervisor bývá také využíván jako inženýrská (programátorská) stanice. [43]

4.5 Modbus

Modbus je komunikační protokol vytvořený firmou MODICON, který umožňuje komunikaci typu master-slave (klient-server) mezi zařízeními na různých typech sítí a sběrnic. V referenčním modelu ISO/OSI zastává aplikační vrstvu. Podporuje celou řadu komunikačních médií, mezi které spadají např. sériové linky několika typů, optické a rádiové sítě nebo síť Ethernet s využitím protokolu TCP/IP. Komunikace u tohoto protokolu probíhá na principu žádost-odpověď s tím, že požadavek je specifikován pomocí tzv. kódu funkce. Ten má rozsah od 1 do 255, přičemž jsou kódy 128-255 vyhrazeny pro záporné odpovědi, tzn. jsou vyhrazeny pro oznamování chyby. Kód funkce serveru udává, jaký typ operace se má uskutečnit. [45]

Od roku 2000 se jedná o jeden z otevřených standardů, což znamená, že ho výrobci (firmy) mohou do svých zařízení zabudovat bez toho, že by museli platit licenční poplatky. Je široce využíván mnohými výrobci v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Obvykle se používá k přenosu signálů z přístrojových a řídicích zařízení do hlavního controlleru (řadiče) nebo do systému, který sbírá data. Často je také využíván na spojení kontrolního počítače se vzdálenou terminálovou jednotkou (RTU) v systémech dohledu a získávání údajů (SCADA). Modbus existuje v několika verzích – pro sériové linky (Modbus RTU a Modbus ASCII) a pro Ethernet Modbus TCP). [45]

Modbus je přenášén přes sériové linky mezi zařízeními. Nejjednodušším způsobem nastavení by měl být jeden sériový kabel spojující sériové porty na dvou zařízeních, Master a Slave. Data jsou pak odesílána jako série jedniček a nul, nazývané bity. Každý bit je odeslán v podobě změny napětí s tím, že nuly jsou odesílány jako kladné napětí a jedničky jako napětí záporné. Bity jsou odesílány velmi rychle, typickou přenosovou rychlostí je 9600 bitů za sekundu. [45]

4.6 openSAFETY

I přes poměrně rozsáhlou nabídku komunikačních protokolů, si některé společnosti vyvíjejí protokoly vlastní. Jednou z těchto společností je společnost B&R a její openSAFETY protokol.

OpenSAFETY je stoprocentně nezávislý komunikační protokol použitelný pro všechna řešení průmyslového Ethernetu. Tato technologie usnadňuje implementaci bezpečnostních opatření nejen podle platné normy 2006/42/ES. Při použití principu Black Channel⁶ dokáže jako jediný přenášet zabezpečená data prostřednictvím jakékoli sběrnice. V kombinaci s vysokým stupněm interoperability, tento protokol zajišťuje, že zprávy jsou přijaty a zpracovány všemi příjemci ve stejnou dobu. [46]

Vedle digitálních v/v (vstupy/výstupy) poskytuje i analogové nebo teplotní rozhraní, bezpečné rychlosti měření až do SIL3⁷ a úrovně PLe⁸. Díky kombinaci rychlejších odpovědních časů s menší bezpečnostní vzdáleností dochází ke zvýšení produktivity. Velkou výhodou pro provozovatele systémů je také rychlejší uvedení do provozu, zapříčiněné automatickou parametrizací a konfiguračními službami. [46]

Zapojení bezpečnostních snímačů a akčních členů je díky openSAFETY značně zjednodušeno, protože je lze připojit k síti ve stejných decentralizovaných v/v uzlech používaných paralelně se standardními v/v kanály. Bezpečnostní prvky již bývají vybaveny vlastním rozhraním a lze je zapojit přímo do sítě. V plně integrovaném systému tak již není nutné propojovat alarmové kontakty z bezpečnostního systému do standardního systému. [46]

⁶ Princip Black Channel spočívá ve vřazení bezpečné vrstvy do sedmé vrstvy komunikačního modelu nebo nad ni. V principu by měl protokol s vnořenou bezpečnostní vrstvou eliminovat všechny možné chyby přenosu způsobené např. náhodným elektromagnetickým rušením působícím na přenosový kanál, poruchami a chybami komunikačního hardwaru nebo systematickým chybami některých komponent standardního provozního HW a SW. [47]

⁷ SIL3 je jedna z úrovní integrity bezpečnosti (Safety integrity level – SIL). Úroveň integrity bezpečnosti je jedna ze čtyř diskretních úrovní pro stanovení požadavků na integritu bezpečnosti bezpečnostních přístrojových funkcí, které mají být přiděleny do bezpečnostních přístrojových systémů. Nejvyšší úrovní integrity bezpečnosti je 4, nejnižší 1. [48]

⁸ Schopnost bezpečnostních částí vykonávat bezpečnostní funkci je vyjádřena úrovní vlastností PL (performance level), která se označuje písmeny a, b, c, d nebo e. Jednotlivá písmena pak odpovídají vyšší úrovni. [49]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části své diplomové práce se zabývám tvorbou systému pro sběr a vizualizaci dat, respektive vytvořením OPC klienta, který sbírá a vizualizuje data získaná z online diagnostické jednotky pomocí komunikace přes OPC protokol. Vytvářený OPC klient je software, který přijímá data z OPC serveru a předává je uživatelům v podobě reportů či grafů. Z předchozí věty plyne, že pro to, aby mohl OPC klient sbírat a následně prezentovat data, je zapotřebí, aby existoval příslušný OPC server. To je software komunikující s připojeným zařízením (v tomto případě s diagnostickou jednotkou) pomocí komunikačního protokolu.

Jako první se věnuji popisu diagnostického měření a prvků, které při něm byly použity. Následně krátce popisuji diagnostickou jednotku SKF Multilog IMx-8 využitou při zkušebním měření a software @ptitude Observer, který poskytuje diagnostické nástroje potřebné na nastavení a spuštění online monitorovacích programů. Zaměřuji se především na vytvoření měřicího bodu a na nastavení Observeru jakožto OPC serveru. Dalším krokem, který popisuji, je vytvoření aplikace pomocí programovacího jazyka Python, která zastupuje roli OPC klienta. Jedna z podkapitol (5.5.1) je věnována vytvoření skriptu, který přečte data z OPC serveru a uloží je do souboru. V další podkapitole se věnuji vytvoření skriptu, přes který je možné uložená data načíst a provést jejich analýzu. V závěru praktické části je pak popis postupu při analýze naměřených hodnot.

5.1 Diagnostické měření

Diagnostický systém použitý při zkušebním měření zahrnoval kromě diagnostické jednotky SKF Multilog IMx-8, softwaru @ptitude Observer a klienta vytvořeného pomocí programovacího jazyka Python, také tři snímače (akcelerometry od firmy Connection technology Center) a obráběcí centrum MCV 754 QUICK, na jehož komponentách byly snímače připevněny. Měření pak probíhalo ve školní laboratoři, přičemž byl na obráběcím centru zpracováván obrobek tvaru kostky (obrobku byla frézována kontura obruby a kapsa).

5.1.1 Obráběcí centrum MCV 754 QUICK

Zkušební měření bylo provedeno na obráběcím centru MCV 754 QUICK od české firmy Kovosvit MAS založené v roce 1939, která je i nositelem zlaté medaile v kategorii inovace, získané na Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně. [51]

Jedná se o vertikální tříosé obráběcí CNC centrum s rámem ve tvaru C, vyznačující se vysokou pracovní přesností a dynamikou zajištěnou lineárním a valivým vedením os X, Y a Z. Výměna nástrojů je u tohoto centra zajišťována automaticky a její rychlost obstarává zásobník nástrojů s mechanickou rukou na 24 poloh. Ovládání zmíněného zásobníku a uvolňování nástrojů je pneumatické. Co se bezpečnosti týče, je konstrukčně řešena vodotěsným kabinovým zakrytím pracovního prostoru. [52] [53]

CNC obráběcí centrum MCV 754 QUICK je vyrobeno pro práci jak v kusové, tak i sériové výrobě. Je uzpůsobeno pro řadu obráběcích operací jako je vrtání, vyvrtávání, vystružování, frézování či řezání závitů. Standartně je určeno na obrábění materiálů z litin, ocelí, neželezných (barevných) kovů, případně plastických hmot upnutých na pracovním stole. Vřeteno je vybavené upínacím kuželem ISO 40, středovým upínáním nástrojů a ložisky s ocelovými

kuličkami. Pohony vřetena a posuvů jsou uskutečňovány pomocí regulačních motorů. Základní technická data obráběcího centra obsahuje tabulka Tab 5). [52] [53]

Tab 5) Základní technická data [53]

Popis		Rozměr	Jednotka
Stůl	Upínací plocha stolu	100 × 500	mm
	Maximální zatížení stolu	400	kg
Pracovní rozsah	Osa X	754	mm
	Osa Y	500	mm
	Osa Z	550	mm
Vřeteno	Maximální otáčky vřetena	10 000	min ⁻¹
	Kuželová dutina vřetena	ISO 40	
Přesnost ČSN ISO 230-2	Přesnost nastavení polohy	0,012	mm
	Opakovatelnost nastavení polohy	0,005	mm

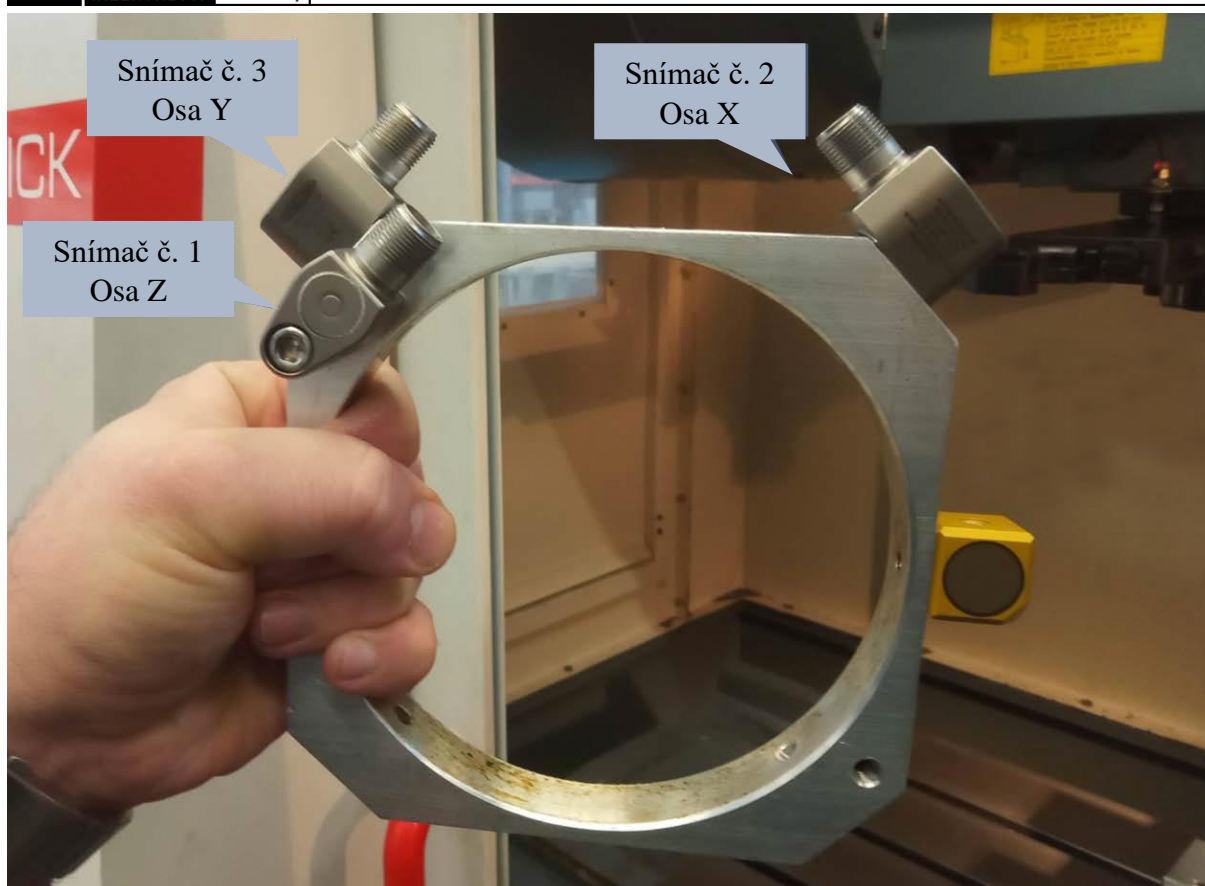
Obráběcí centrum, zakoupené v roce 2012, je umístěno v budově C1 Fakulty strojího inženýrství. Slouží především k výuce, i přesto se ho ale výrobce snaží neustále vylepšovat se záměrem testování nových technologií. Stroj je využíván především ve výuce, kdy na něm probíhají nejrůznější měření. V rámci projektů nebo závěrečných prací jsou na něm obráběny polotovary. Z těchto důvodů je vytížení stroje zhruba 10 hodiny měsíčně. Stroj je ovládaný jedním hlavní operátorem, ve výjimečných případech mohou stroj ovládat další dva operátoři. [54]

5.1.2 Snímače

V diagnostickém systému byly pro snímání vibrací použity tři malé prémiové vysokofrekvenční akcelerometry AC244-1D přišroubované na objímku (viz. Obr 7), která byla připevněna na vřetenu obráběcího stroje.

Tab 6) Základní vlastnosti senzoru AC244-1D [55]

Citlivost	100 mV/g (± 5 %)
Frekvenční odezva	36-900 000 CPM
Frekvenční rozsah	2 až 7 000 Hz (± 5 %)
Dynamický rozsah	± 50 g, peak
Teplotní rozsah	-51 až 121 °C



Obr. 7) Umístění snímačů na objímce [56]

5.2 SKF Multilog IMx-8

Jednotka IMx-8, použitá při zkušebním měření, obsahuje 8 analogových a 2 digitální kanály. Tuto jednotku je možné připojit k mobilním zařízením nebo přenosným počítačům a tím se připojit na SKF Cloud, kde je možné ukládat a sdílet data. Pro delší ochranu v náročných průmyslových prostředích se instaluje na DIN lištu a umísťuje do skříňky s krytím IP65. Je možné ji přepnout do autonomního režimu, ve kterém lze SKF Multilog IMx-8 používat bez připojení na centrální softwarový systém nebo externí datovou komunikaci. V tomto režimu jsou trvale měřena a ukládána data k pozdější analýze. Firma SKF nabízí také aplikaci IMx manager pro konfiguraci a monitorování přímo z iOS nebo Android zařízení.

5.3 Software @ptitude Observer

Přes software @ptitude Observer probíhá veškeré nastavování jednotky IMx-8. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3.2, software @ptitude Observer poskytuje uživatelům všech úrovní inteligentní diagnostické nástroje potřebné pro nastavení a spuštění online monitorovacích programů. Ve spojení s OPC může software @ptitude Observer pracovat jako klient, který posílá data do nějakého externího serveru, nebo založí vlastní OPC server, do kterého se pak klienti připojují. Jinak řečeno, existují dva způsoby toho, jak pracuje OPC ve spojení s SKF @ptitude Observer, a to:

- pomocí interního vestavěného OPC serveru, kdy je v @ptitude Observeru integrovaný OPC UA server, který, pokud je povolen, může automaticky publikovat všechna data, která systém zachycuje,
- za využití externích OPC serverů.

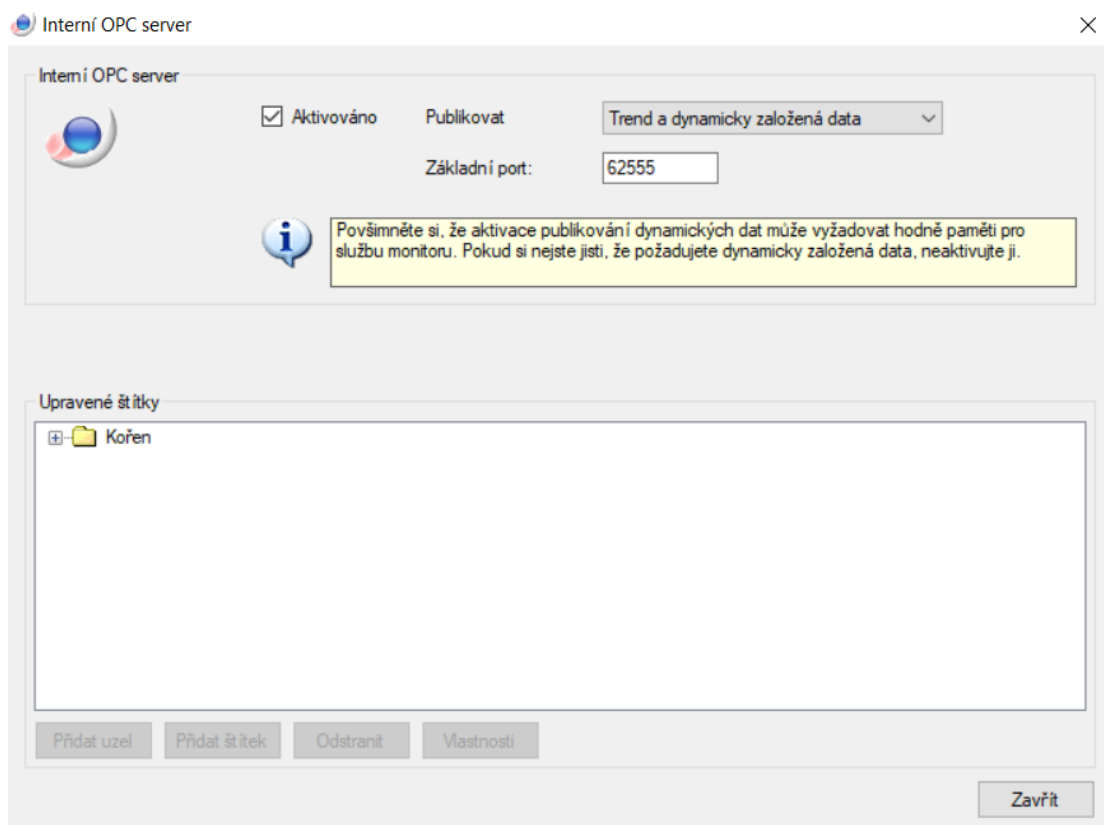
V této diplomové práci byla využita první varianta, tzn. varianta vestavěného (interního) OPC serveru.

5.3.1 Nastavení softwaru

Jako první bylo založeno několik měřicích bodů, které slouží k vytváření dlouhodobých záznamů, viz. příloha A. Jednotlivé měřicí body byly nastaveny tak, aby každý měřil jinou hodnotu rychlosti a zrychlení. Software nabízí měření třech různých hodnot a to špičky (peak), efektivní hodnoty (RMS) a hodnoty peak to peak (PtP). Celkem tak bylo založeno šest měřicích bodů.

Aby @ptitude Observer zastával roli OPC serveru, je potřeba povolit interní server OPC UA:

- On-line » Servery OPC » Interní servery OPC » Zaškrtnout „Aktivováno“ a v sekci „Publikovat“ vybrat jaká data chceme, aby byla publikována viz. Obr. 8).



Obr. 8) Povolení interního OPC serveru

V možnostech jednotlivých měřicích bodů se pak v sekci „Provozní a paměťové podmínky“ (viz. příloha A) nastavují intervaly ukládání a publikování dat. Jinými slovy, nastavuje se, jak rychle má Observer ukládat data do OPC.

5.4 dOPC DA Client

dOPC DA Client je komponenta od společnosti Kassl GMBH, sloužící k připojení, ovládání, procházení, čtení či zápis dat z jakýchkoli nainstalovaných serverů OPC DA, OPC UA nebo OPC Classic.

Chceme-li vytvořit klientské programy OPC, je potřeba se nejprve připojit skrze dOPC DA Client k OPC serveru, což následně umožňuje o něm získávat obecná data a vytvořit a manipulovat s tzv. objektem dOPCGroups, přes který jsou zjišťovány požadované informace.

Postup připojení k OPC serveru je popsán v příloze A.

5.5 Programovací jazyk Python

Python je objektově orientovaný programovací jazyk použitelný na všech běžných platformách (Windows, Linux, Unix, MacOS). Je vhodný k datové analýze, má mnoho knihoven pro vizualizaci dat a používá se také v oblasti testování, pro vývoj webových aplikací nebo např. vědecké výpočty. Slouží k rychlému prototypování. [50]

Při programování v jazyce Python lze využít zmíněné knihovny, což jsou v podstatě soubory funkcí a konstant, které se naprogramují jednou a mohou se pak dále využívat v na sobě nezávislých programech. V praxi to znamená, že pokud existuje knihovna z oblasti, kterou zrovna řešíme, není nutné programovat „od nuly“. Popis jednotlivých funkcí, vstupních parametrů, výstupů a popis využití jednotlivých komponentů z konkrétních knihoven bývá nejčastěji v dokumentaci nebo aplikačním rozhraní.

5.5.1 Čtení a ukládání dat do souboru

V rámci předkládané diplomové práce a tvorby aplikace pro sběr a vizualizaci dat bylo využito hned několik knihoven, konkrétně knihovny datetime, time, matplotlib, pandas, numPy a SciPy. Datetime se využívá pro práci s datem a časem a podporuje objektový přístup, což znamená, že od sebe můžeme jednotlivá data například odečítat nebo je navzájem porovnávat. Knihovna time pak poskytuje informaci o aktuálním čase a datu. Další použitou knihovnou je matplotlib, což je komplexní knihovna pro vytváření statických, animovaných a interaktivních vizualizací v Pythonu, která umí vytvářet jak 2D, tak i 3D grafy. Čtvrtou použitou knihovnou je pandas využívána nejčastěji pro zpracování tabulkových dat. Umožňuje načítat data z několika formátů, upravovat je, sledovat některé statistické ukazatele a vizualizovat výsledky. Knihovna numPy poskytuje infrastrukturu pro práci s vektory a maticemi a obsahuje řadu matematických funkcí. Poslední využitou knihovnou je SciPy, což je základní referenční knihovna, která obsahuje nástroje pro vědecké výpočty (např. speciální funkce, interpolace a mnoho dalšího).

Pro vytvoření aplikace, respektive OPC klienta, byla mimo výše zmíněných knihoven, využita také klientská a serverová knihovna opcua, kterou bylo potřeba nejprve nainstalovat pomocí příkazu `pip install opcua`, zadaného do příkazového řádku aplikace Anaconda Prompt. Z této knihovny byl následně využit příkaz pro vytvoření klienta.

Všechny výše zmíněné knihovny je potřeba na začátku programu naimportovat:

```
from opcua import Client
import datetime
import time
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
```

Dalším krokem bylo načtení dat z OPC Multilogu:

```
def ReadOPC():  
    connString1 = 'opc.tcp://147.229.136.9:62557/MultiLog_skf/DataAccess-  
Server'  
    try:
```

Čtení z OPC serveru:

```
OPC_Client = Client(connString1)  
OPC_Client.connect()  
  
print(datetime.datetime.now(), '- Čtení dat z OPC MultiLog')  
  
Temp = OPC_Client.get_node("ns=2;s=1:MOX36?5. Celková")  
X_Peak_a = Temp.get_value()  
Temp = OPC_Client.get_node("ns=2;s=1:MOY36?5. Celková")  
Y_Peak_a = Temp.get_value()  
Temp = OPC_Client.get_node("ns=2;s=1:MOZ36?5. Celková")  
Z_Peak_a = Temp.get_value()
```

Pomocí tohoto kódu se načtou data z jednoho měřicího bodu. Jelikož bylo založeno šest měřicích bodů, je tato část kódu v konečném skriptu šestkrát. Níže uvádím vždy pouze část kódu. Celý skript je pak součástí elektronických příloh.

Zápis záhlaví do souboru:

```
f = open('DP_Data.txt', 'w')  
f.write("Čas\t")  
f.write("Peak_X_a [m/s^2]\t")  
f.write("Peak_Y_a [m/s^2]\t")  
f.write("Peak_Z_a [m/s^2]\t")
```

Zápis a ukládání dat do souboru:

```
for i in range(0,200):  
    data=ReadOPC()  
  
    cas.append(data[1])  
    Px_a.append(data[2])  
    Py_a.append(data[3])  
    Pz_a.append(data[4])  
  
    Prikaz=f'{data[1]}\t {data[2]}\t {data[3]}\t {data[4]}\n'  
    f.write(Prikaz)  
  
    time.sleep(6)
```

Vzhledem k tomu, že nejnižší možnou hodnotou intervalu ukládání dat je v softwaru @ptitude Observer šest sekund a měření probíhalo po dobu dvaceti minut, je výsledkem měření soubor dat o dvě stě řádků.

5.5.2 Vizualizace dat

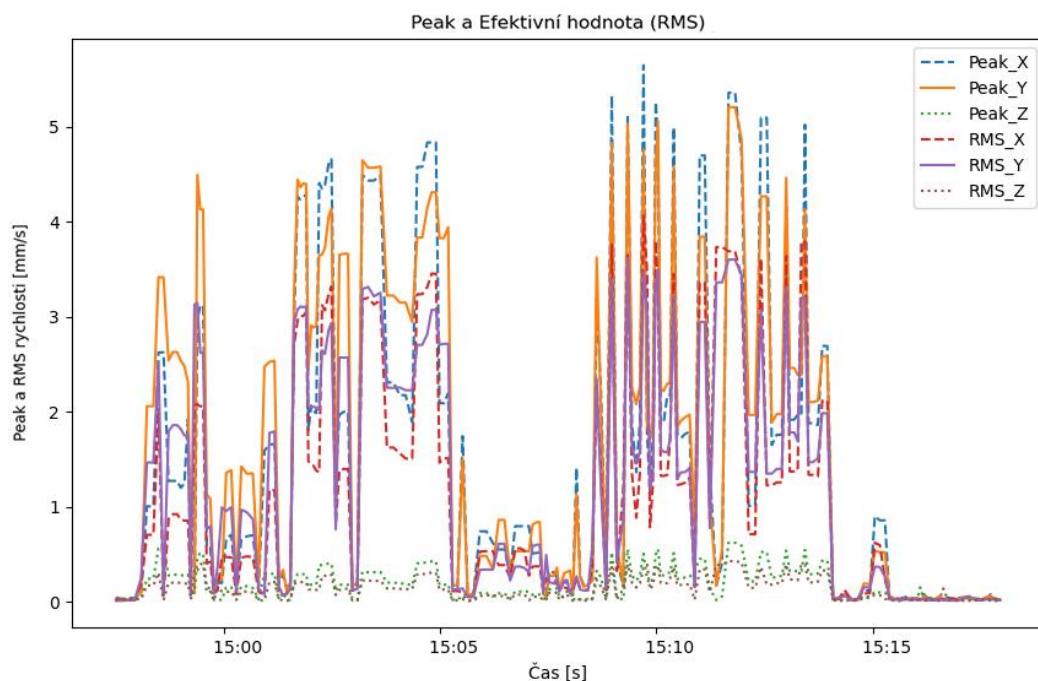
V rámci vizualizace byla pomocí následujícího kódu vynesena naměřená a uložená data do grafů.

Vykreslení grafů:

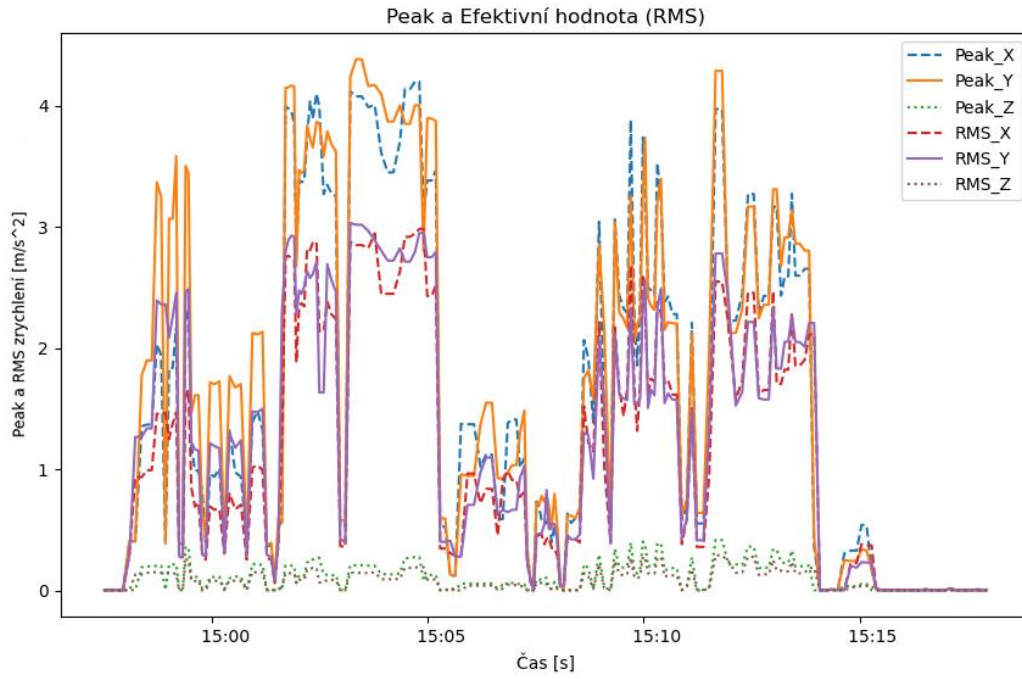
```

plt.figure(1)
casova_znacka=pd.to_datetime(cas)
plt.plot_date(casova_znacka, Px_a,'--', label="Peak_X")
plt.plot_date(casova_znacka, Py_a,'-', label="Peak_Y")
plt.plot_date(casova_znacka, Pz_a,':', label="Peak_Z")
plt.plot_date(casova_znacka, RMSx_a,'--', label="RMS_X")
plt.plot_date(casova_znacka, RMSy_a,'-', label="RMS_Y")
plt.plot_date(casova_znacka, RMSz_a,':', label="RMS_Z")
plt.title('Peak a Efektivní hodnota (RMS)')
plt.xlabel('Čas [s]')
plt.ylabel('Zrychlení [m/s^2]')
plt.legend()
    
```

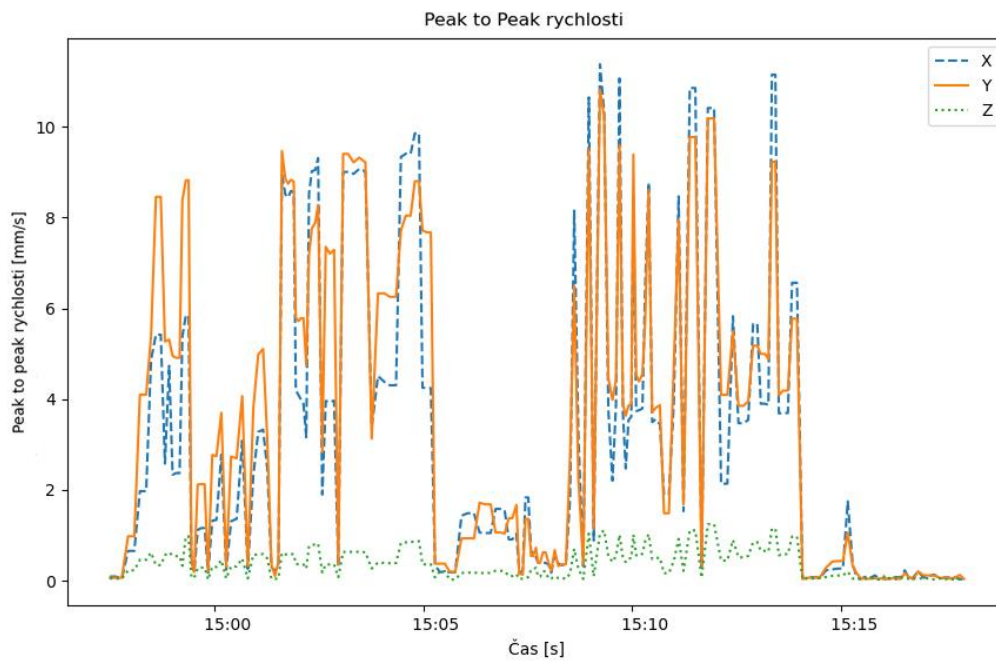
Na obrázcích č. 9-č. 12 jsou příklady vykreslení jednotlivých hodnot rychlosti a zrychlení.



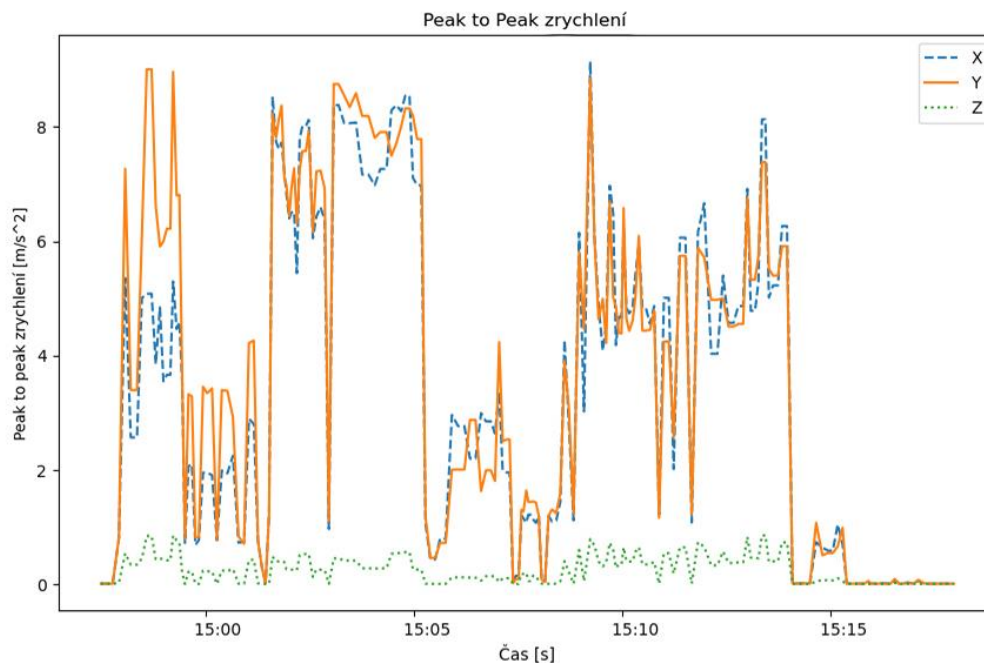
Obr. 9) Vykreslení špičky (peak) a RMS rychlosti [mm/s]



Obr. 10) Vykreslení špičky (peak) a RMS zrychlení [m/s²]



Obr. 11) Vykreslení peak to peak rychlosti [mm/s]



Obr. 12) Vykreslení peak to peak zrychlení [m/s²]

5.5.3 Načítání dat ze souboru

V předchozí kapitole bylo nastíněno, jakým způsobem je možné naměřená data uložit do souboru. Pokud chceme následně s uloženými daty pracovat (např. provést zpětně analýzu), je potřeba je opět načíst. Stejně jako existuje několik možností, jak data ukládat, existuje i několik možností, jak data načíst. V tomto případě byla data načítána z .txt souboru s využitím již zmíněné knihovny pandas a příkazu:

```
S_Data = pd.read_csv('DP_Data.txt', delimiter = "\t", encoding="unicode_escape")
```

jehož výstupem je po „vykreslení“ pomocí funkce `print()` matice o 200 řádcích a 19 sloupcích (viz. Obr 13). Takto načtená data jsou připravena k následné analýze.

	Cas	Peak_X_a [m/s ²]	...	PtP_Y_v [mm/s]	PtP_Z_v [mm/s]
0	2021-05-14 14:57:30	0.008056	...	0.066876	0.051229
1	2021-05-14 14:57:38	0.008172	...	0.066876	0.051229
2	2021-05-14 14:57:47	0.007892	...	0.065721	0.040120
3	2021-05-14 14:57:56	0.007892	...	0.980149	0.229326
4	2021-05-14 14:58:05	0.407999	...	0.980149	0.229326
..
195	2021-05-14 15:17:30	0.008046	...	0.074631	0.036020
196	2021-05-14 15:17:37	0.008183	...	0.043180	0.035541
197	2021-05-14 15:17:44	0.014300	...	0.071740	0.030141
198	2021-05-14 15:17:51	0.008902	...	0.129751	0.045008
199	2021-05-14 15:17:57	0.007718	...	0.040196	0.038631

[200 rows x 19 columns]

Obr. 13) Matice z načtených data

5.5.4 Analýza dat

Analýza probíhala pomocí kódu, který je součástí skriptu pro načítání dat ze souboru (tento skript je součástí elektronických příloh). Vzhledem k tomu, že se pomocí OPC protokolu

podářilo z diagnostické jednotky získat pouze trendová data, bylo možné s naměřenými daty provádět jen statistické operace.

K prvotnímu posouzení naměřených, resp. načtených dat, je využívána popisná statistika, mezi jejíž nejčastěji používané charakteristiky patří aritmetický průměr, minimální a maximální hodnota nebo medián. Kromě průměru nebo např. střední hodnoty se využívá také šikmost a špičatost, které popisují rozdělení. Některé zmiňované charakteristiky byly vypočteny pomocí následujícího kódu:

```
Peak_X_a = S_Data['Peak_X_a [m/s^2]']  
  
print('Peak zrychlení v ose X:')  
print('Maximální hodnota: ', Peak_X_a.max())  
print('Maximální hodnota: ', Peak_X_a.min())  
print('Průměr: ', Peak_X_a.mean())  
print('Medián: ', Peak_X_a.median())  
print('Koeficient špičatosti: ', Peak_X_a.kurtosis())
```

Příklad výpisu hodnot pro peak (špičku) zrychlení v ose X:

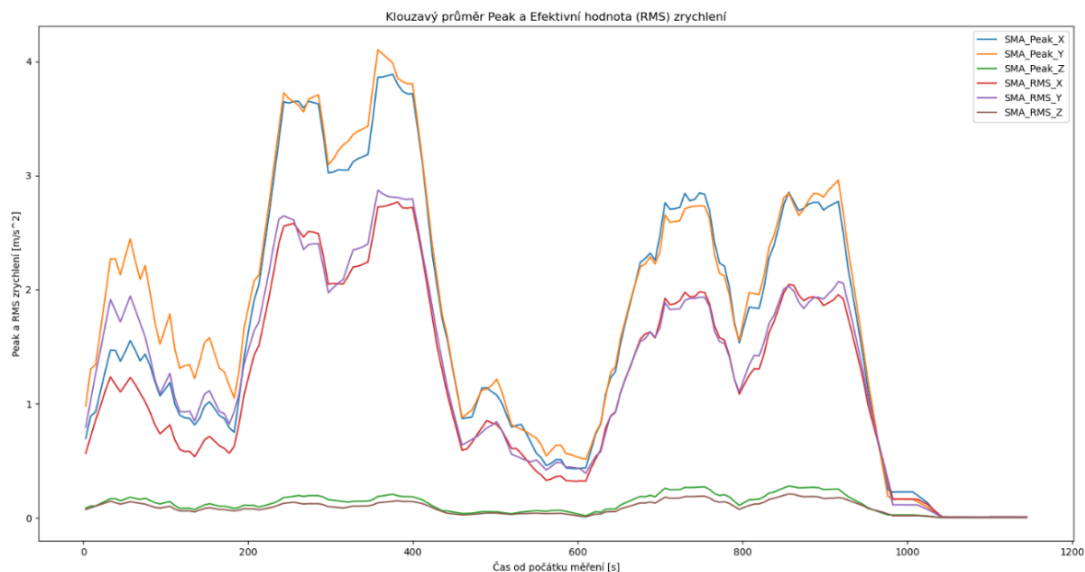
```
Peak zrychlení v ose X:  
Maximální hodnota: 4.197558879852295  
Maximální hodnota: 0.007136011496186256  
Průměr: 1.5798690586863087  
Medián: 1.2644166350364685  
Koeficient špičatosti: -1.2184559547236156
```

Dalším nástrojem pro analýzu dat je klouzavý průměr využívající se pro jednodušší odhalování trendu časové řady. Pomocí klouzavého průměru se křivka vyhladí a lze tak lépe určit trend nebo změnu trendu.

Klouzavý průměr pro peak a efektivní hodnotu zrychlení:

```
S_Data['SMA_Peak_X_a'] = S_Data.iloc[:,1].rolling(window=10).mean()  
S_Data['SMA_Peak_Y_a'] = S_Data.iloc[:,2].rolling(window=10).mean()  
S_Data['SMA_Peak_Z_a'] = S_Data.iloc[:,3].rolling(window=10).mean()  
S_Data['SMA_RMS_X_a'] = S_Data.iloc[:,4].rolling(window=10).mean()  
S_Data['SMA_RMS_Y_a'] = S_Data.iloc[:,5].rolling(window=10).mean()  
S_Data['SMA_RMS_Z_a'] = S_Data.iloc[:,6].rolling(window=10).mean()
```

Výsledné hodnoty byly vyneseny do grafů, na obrázku č. 14 je příklad vykreslení klouzavého průměru špičky (peak) a efektivní hodnoty (RMS) zrychlení. Grafy klouzavý průměrů ostatních hodnot jsou uvedeny v přílohách této práce.



Obr. 14) Graf klouzavého průměru špičky a efektivní hodnoty zrychlení

Během analýzy dat se často využívá výpočet derivací, například při hledání optima hodnot funkcí. Pomocí derivace se určuje maximální a minimální hodnota (např. náklady, pevnost, množství materiálu, ztráta atd.). S derivacemi je možné se setkat v mnoha technických a vědeckých problémech, zejména při modelování pohybujících se objektů. Mohou být totiž využity k popisu toho, jak moc se funkce mění – jestli funkce stoupá nebo klesá, případně o kolik. V tomto případě byla derivace aplikována na vypočtené hodnoty klouzavých průměrů.

Příklad aplikování derivace na klouzavý průměr peaku zrychlení (celý kód, včetně převodu času na sekundy od počátku měření, je součástí skriptu *DP_Načítání dat.py*, přiloženého jako elektrická příloha):

```

S_DataArr=S_Data.to_numpy() #převod na pole
x=S_DataArr[9:199,0] #osa x
y1=S_DataArr[9:199,19] #osa y pro snímač umístěný v ose x
y2=S_DataArr[9:199,20] #osa y pro snímač umístěný v ose y
y3=S_DataArr[9:199,21] #osa y pro snímač umístěný v ose z

x=np.array(x)
y1=np.array(y1)
y2=np.array(y2)
y3=np.array(y3)

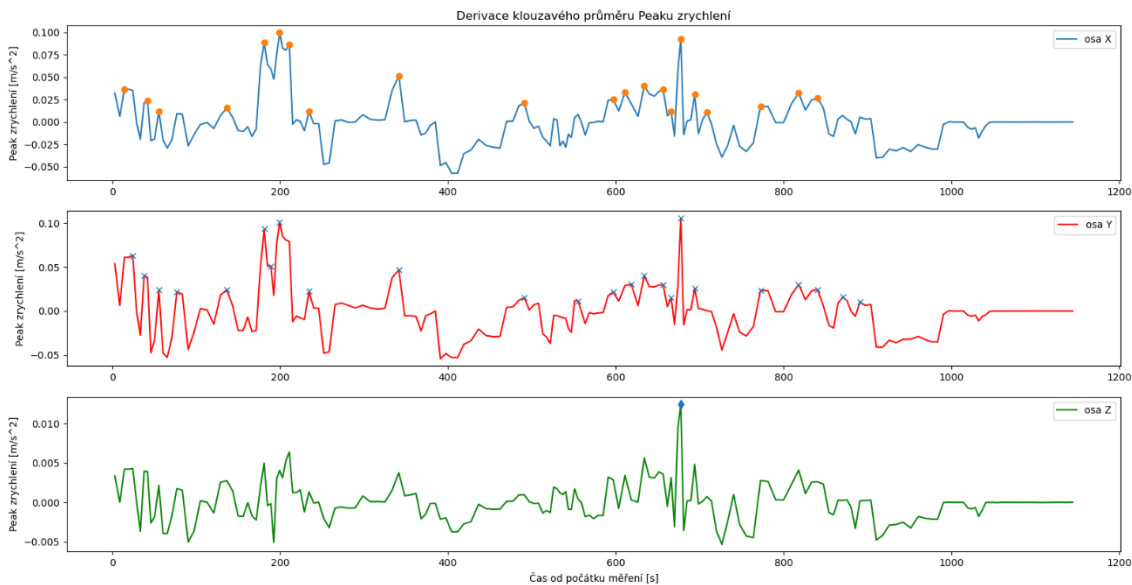
dx=np.diff(x)
dy1=np.diff(y1)
dy2=np.diff(y2)
dy3=np.diff(y3)

dy1_dx=dy1/dx
dy2_dx=dy2/dx
dy3_dx=dy3/dx
  
```

Na takto upravená (derivovaná) data byla následně aplikována funkce *find_peaks()* z vědecké knihovny SciPy, která na základě porovnání sousedních hodnot a zadaných podmínek najde všechna lokální maxima (peaky).

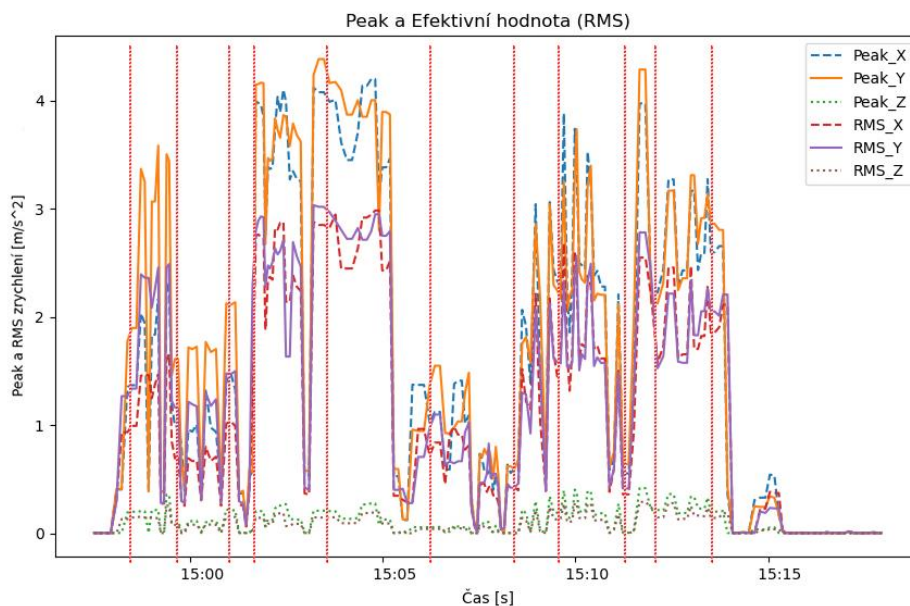
Důvodem použití této funkce a nalezení peaků bylo definování hranic jednotlivých operací při obrábění. Obecně platí, že čím větší peak, tím zásadnější změna signálu. V tomto případě znamenala změna signálu změnu výrobní operace.

Hodnoty derivací a nalezené peaky byly opět vyneseny do grafů. Na obrázku č. 15 je příklad vykreslení grafu derivace klouzavého průměru s nalezenými peaky pro peak zrychlení ve všech třech osách. Grafy zbylých hodnot jsou v přílohách práce.



Obr. 15) Graf derivace klouzavého průměru peaku zrychlení

Časy u nalezených peaků odečtené z grafů derivací klouzavých průměrů byly poté zaneseny do původních grafů v podobě kolmých čar, které by měly kopírovat zmíněné změny výrobních operací. Na obrázku č. 16 je příklad grafu se zanesenými časy změn ve výrobní operaci. Zbylé grafy jsou v přílohách práce.



Obr. 16) Graf peaku a efektivní hodnoty zrychlení se zanesenými časy změn ve výrobní operaci

6 ZHODNOCENÍ

V diplomové práci je pozornost věnována online diagnostickým systémům a možnostem získávání dat z těchto systémů. V tomto případě byla zprostředkovávána výměna dat mezi diagnostickou jednotkou Multilog IMx-8 přes OPC protokol, což je mechanismus využívaný převážně v průmyslových aplikacích pro komunikaci a výměnu dat mezi jednotlivými zařízeními. Měřená data jsou ukládána na OPC server a odtud na základě zaslání požadavku, odesílána do jiných databází, tzv. OPC klientů.

Hlavním cílem této diplomové práce byla tvorba právě zmiňovaného OPC klienta, který měl za úkol „vytáhnout“ data z diagnostické jednotky a uložit je do souboru pro případnou pozdější analýzu. OPC klient byl tvořen v programovacím jazyku Python, výsledkem je skript *DP_Ukládání dat* s koncovkou .py, který je součástí elektronických příloh této práce. Celý postup tvorby skriptu je popsán v kapitole 5.5.1. Funkčnost skriptu byla ověřena při měření vibrací u obrábění na obráběcím centru MCV 754 QUICK od české firmy Kovosvit MAS, umístěném ve školní laboratoři. Měření trvalo dvacet minut, přičemž data byla ukládána vždy po šesti sekundách. Výstupem z tohoto konkrétního měření je tedy soubor o devatenácti sloupcích (čas a tři měřené hodnoty ve třech osách, každá vždy pro zrychlení a rychlost) a dvě stě řádků.

V rámci analýzy takto naměřených dat byl vytvořen druhý skript *DP_Načítání dat.py*, který data ze souboru načte a připraví pro analýzu. Vzhledem k charakteru naměřených dat byla provedena analýza pomocí statistických operací, kdy byla určena vždy maximální a minimální hodnota, aritmetický průměr, medián a koeficient špičatosti. Dále byl použit příkaz na vytvoření klouzavého průměru, kterým se křivka jednotlivých hodnot vyhladí, čímž lze lépe určit trend a jeho změnu. Z hodnot klouzavého průměru bylo následně pomocí derivace zjištěno, jakým způsobem se daná funkce mění. U grafů derivací klouzavého průměru pak byly nalezeny peaky, které definují hranice operací. Posledním krokem bylo přenesení nalezených hranic, respektive časů, do původních grafů s tím, že nejvyšší peaky se vyskytovaly kolem 180, 630 a 870 sekund od počátku měření.

7 ZÁVĚR

V první kapitole této předkládané diplomové práce se nachází úvod do technické diagnostiky. Jsou zde uvedeny základní pojmy z této oblasti, jako je diagnóza, prognóza a geneze. Dále tato část obsahuje vysvětlení pojmu diagnostické metody, jejich rozdělení a krátký popis vybraných diagnostických metod, konkrétně vibrodiagnostiky, tribodiagnostiky, termodiagnostiky, akustické diagnostiky a elektrodiagnostiky. Taktéž je tato kapitola věnována diagnostickým prostředkům, modelům a diagnostickým signálům, včetně jejich rozdělení.

Druhá kapitola je věnována diagnostickým systémům a jejich popisu. Je zde uvedeno rozdělení diagnostických systémů a větší důraz je kladen na online systémy, kterým se věnuje podstatně větší část celé druhé kapitoly. Zahrnuty jsou i příklady konkrétních online diagnostických systémů od třech různých firem, včetně krátkého popisu a porovnání z hlediska technických parametrů. Popsána je také klasifikace diagnostických systémů a jejich automatizace.

Poslední kapitola z teoretické části pojednává o komunikačních sběrnicích, respektive o komunikačních protokolech používaných při průmyslové komunikaci. Komunikace v průmyslu probíhá za použití průmyslových komunikačních protokolů, které plní požadavky stanovené výrobními procesy. Průmyslový komunikační protokol je sada pravidel, která určuje parametry přenosu dat mezi zařízeními. Jednotlivé komunikační protokoly jsou zde popsány z hlediska jejich dělení, stavby (struktury) a zabezpečení komunikace.

Praktická část volně navazuje na kapitolu o komunikačních protokolech, kdy je hlavním bodem tvorba aplikace (skriptu) pro sběr a vizualizaci dat z diagnostické jednotky SKF Multi-log IMx-8. Vytvořeny byly dva skripty, jeden pro sběr a ukládání dat do souboru a druhý pro načítání dat k pozdější analýze. Skript pro sběr a ukládání dat byl součástí diagnostického systému skládajícího se z obráběcího centra, na němž byly měřeny vibrace, snímačů (akcelerometrů), diagnostické jednotky a již zmíněného skriptu pro ukládání dat. Všechny komponenty jsou v této diplomové práci postupně popsány, včetně potřebného nastavení veškerých softwarů.

Data získaná při měření, na kterém se ověřila funkčnost vytvořeného skriptu, byla uložena do souboru. Z tohoto souboru byla poté načtena pomocí druhého skriptu pro načítání dat a byla provedena analýza. Vzhledem k tomu, že se pomocí OPC protokolu povedlo získat pouze trendová data, byla provedena analýza pomocí statistických operací. Výstupem této analýzy jsou grafy s vyznačenými časy, ve kterých došlo ke změnám ve výrobních operacích při obrábění.

Jak skript pro ukládání dat do souboru, tak i skript pro jejich načtení a následnou analýzu, jsou vhodnější spíše jako vzorový příklad pro výukové účely.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost: Vibrodiagnostika*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0650-9.
- [2] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost: Provoz a údržba strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [3] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0158-6.
- [4] LEGÁT, Václav a Radislav ŠMÍD. *Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. Senzory neelektrických veličin. ISBN 978-80-02-01949-7.
- [5] HAMMER, Miloš. Přednášky z předmětu: Technická diagnostika (CTD). Vysoké učení technické v Brně, 2018
- [6] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [7] VDOLEČEK, František. *Spolehlivost a technická diagnostika*. Brno, 2002. Učební text. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] POŠTA, J. *Diagnostické metody, základ preventivní údržby podle technického stavu*. Technická fakulta ČZU Praha [online]. 2012 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikyuly/artykul/article/diagnostickemetodyzaklad-preventivni-udrzby-podle-technickeho-stavu>
- [9] PAŘÍZEK, Jiří a Radislav ŠMÍD. *Spolehlivost a technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Brno: Univerzita obrany, 2007. Senzory neelektrických veličin. ISBN 978-80-7231-206-1.
- [10] KUKLA, P. *Diagnostické systémy a spolehlivost dopravních prostředků*. VŠB-TU Ostrava, Univerzita Pardubice [online]. 2013 [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: www.vvvd.cz/doc/cms_library/op-vvvd-2012_m17-dsasdp-391.pdf
- [11] TŮMOVÁ, Olga a Dušan PIRICH. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. V Plzni: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-704-3247-0.
- [12] ZATLOUKAL, Jan a Lukáš HEISIG. On-line vibrační diagnostika obráběcích strojů. *Automa* [online]. 2013, 2013(8-9), 63-65 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10619.pdf
- [13] Adash [online]. Czech Republic: Adash spol. s r.o, b.r. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://adash.com>
- [14] A3716 – On-line monitorovací systém | Adash. *Master the Language of Your Machinery* | Adash [online]. Copyright © 2021 Adash [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/online-merici-systemy/a3716>

- [15] Uživatelský manuál: A3716, A3800 On-Line monitorovací systémy. In: *Adash* [online] Czech Republic: Adash spol. s r.o, b.r. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: https://adash.com/documents/A3800/A3716_A3800_man_cz.pdf
- [16] A3800 – Kompaktní on-line monitorovací systém | Adash. Master the Language of Your Machinery | Adash [online]. Copyright © 2021 Adash [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/online-merici-systemy/a380>
- [17] ADASH s. r. o. [online]. A3900-II. ©2021 [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: <https://adash.com/documents/A3900/Adash-A3900-manual-cz.pdf>
- [18] SKF. *SKF* [online]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group>
- [19] SFK IMx-C User Manual Part No. 32264900-EN. In: SKF [online]. Sweden: SKF Reliability systems, ©2016 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://skftechnicalsupport.zendesk.com/hc/en-us/articles/360034436353-SKF-Multilog-On-line-System-IMx-C-User-Manual-rev-C->
- [20] SKF IMx-S User Manual Part No. 32087700-EN. In: SKF [online]. Sweden: SKF Reliability systems, ©2019 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196805b1699-IMx-S-User-Manual_320877s0_UM-EN_tcm_12-285057.pdf
- [21] SKF IMx-W User Manual Part No. 32146100-EN. In: SKF [online]. Sweden: SKF Reliability systems, ©2016 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <https://skftechnicalsupport.zendesk.com/hc/en-us/articles/360034436553-SKF-Multilog-On-line-System-IMx-W-User-Manual-rev-T->
- [22] User Manual. In: SKF [online]. Sweden: SKF Reliability Systems, ©2014 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: https://www.skf.com/binary/87-158307/0901d19680326e0b-Aptitude-Observer-v9_1-User-Manual.pdf
- [23] ifm electronics [online]. *Operating instructions Diagnostic electronics for vibration sensors VSE002*. ©2015 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80226772UK.pdf>
- [24] ifm electronics [online]. *Operating instructions Diagnostic electronics for vibration-sensors VSE100*. ©2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80227555UK.pdf>
- [25] ifm electronics [online]. *Installation instructions Diagnostic electronics for vibration sensors VSE151*. ©2017 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80270678UK.pdf>
- [26] VSE151 - Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory – ifm electronic. *ifm – automation made in Germany* [online]. Copyright © ifm electronic gmbh 2021 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/VSE151>
- [27] Software Manual: VES004 V2.07 or higher. In: *ifm* [online] Germany. 2019 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/80288056UK.pdf>
- [28] IDboxRT. *IDboxRT* [online]. Copyright © IDboxRT a [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://idboxrt.com/industrial-communications/>

- [29] What is OPC? - OPC Foundation. *Home Page - OPC Foundation* [online]. Copyright © 2021 Copyright. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>
- [30] Classic - OPC Foundation. *Home Page - OPC Foundation* [online]. Copyright © 2021 Copyright. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-classic/>
- [31] OPC and OPC UA explained | Novotek. [online]. Copyright © 2020 Novotek Group. All Rights Reserved. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z: <https://www.novotek.com/uk/solutions/kepware-communication-platform/opc-and-opc-ua-explained/>
- [32] Průmyslová komunikace OPC UA - 1.díl - popis protokolu | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prumyslova-komunikace-opc-ua-1dil-popis-protokolu.html>
- [33] MQTT – IoT portál. *IoT portál – Brána do světa internetu věcí* [online]. Copyright © 2021 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/05/24/mqtt/>
- [34] IoT MQTT prakticky v automatizaci - 1.díl - úvod | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/iot-mqtt-prakticky-v-automatizaci-1dil-uvod.html>
- [35] KRYŠTŮFEK, Jan. *Profibus*. In: fs.cvut.cz [online]. Učební text ČVUT. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/site/profibus/>
- [36] DRÁBEK, Jakub. *Sběrnice používané v oblasti programovatelných automatů*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [37] *PROFIBUS-Pokyny pro instalaci* [PDF dokument].[cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://www.profibus-profinet.cz/images/Dokumenty/PROFIBUS/uvod-k-technologiei-PPROFIBUS-cz_FOXON.pdf
- [38] KOSEK, Rostislav. *Profinet – standard pro průmyslový Ethernet v automatizaci*. *Automa* [online]. 2005, (04) [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/profinet-standard-pro-prumyslovy-ethernet-v-automatizaci-2005_04_30419_715/
- [39] *CoNeT Mobile Lab 3 – Profinet on Phoenix Contact Platform* [PDF dokument].[cit. 2021-03-08]. Dostupné z: http://ipnet.agh.edu.pl/Materials1/Module3/CML3_profinet_engineering_students_checked.pdf
- [40] ZEŽULKA, F. – HYNČICA, O. Průmyslový Ethernet VIII: Ethernet Powerlink, Profinet. *Automa*. 2008, č. 5, s. 62-66
- [41] *Adresování procesního obrazu vstupů/výstupů* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/periferie/pristup/adresovani-procesniho-obrazu.htm>
- [42] *PROFINET Handbuch* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://www.profinet.fel-ser.ch/>
- [43] KROUPA, Jiří. *Návrh ovladače pro PROFINET bus coupler*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.

- [44] CoNeT Mobile Lab 3 – Profinet on Phoenix Contact Platform [PDF dokument]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: http://ipnet.agh.edu.pl/Materials1/Module3/CML3_profinet_engineering_students_checked.pdf
- [45] What is it used for? *Simply Modbus* [online]. Canada: Simply Modbus ©2020 [cit. 2021-03-]. Dostupné z: <https://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm#Used>
- [46] openSAFETY | *B&R Industrial Automation*. [online]. Copyright © 2021 B [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/technologie/opensafety/>
- [47] ZEZULKA, František a Ondřej HYNČICA. Průmyslový Ethernet V: Bezpečná komunikace po Ethernetu. *Automa* [online]. 2007, 13(12), 59 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36338.pdf
- [48] BABINEC, František. K úrovni integrity bezpečnosti. *Automa* [online]. 2008, 14(6), 8 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/37395.pdf
- [49] RADA, V. *Teorie měření a regulace [přednáška]*. Brno: VUT v Brně, 2012
- [50] SUMMERFIELD, Mark. *Python 3: výukový kurz*. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2737-7
- [51] O společnosti | KOVOSVIT MAS. *Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy | KOVOSVIT MAS* [online]. Copyright © KOVOSVIT MAS 2016 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/o-spolecnosti.html>
- [52] MCV 754 QUICK. *Strojimport: Toshulin group* [online]. Strojimport, c2017 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.strojimport.cz/maschinen/mcv-754/>
- [53] MCV 754 QUICK. KOVOSVIT MAS [online]. Sezimovo Ústí: KOVOSVIT MAS, © 2016 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-754-quick-p3.html#main>
- [54] RÁZGOVÁ, Benedikta. *Online diagnostika obráběcího stroje MCV 754*. Brno, 2020. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Daniel Zuth.
- [55] CTC [online]. USA: Connection Technology Center, Inc, b.r. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.ctconline.com/ctc_100_mv_g_small_size_accelerometers.aspx?prd=AC244
- [56] ZUTH, Daniel. *Fotodokumentácia poskytnutá vedúcim práce*. VUT FSI, 2020.

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Technické parametry monitorovací jednotky A3716 [14]	25
Tab 2)	Přehled IMx systémů od společnosti SKF [18]	28
Tab 3)	Technické parametry monitorovací jednotky IMx-S 16 [20]	29
Tab 4)	Technické parametry monitorovací jednotky VSE100 [24]	30
Tab 5)	Základní technická data [53]	46
Tab 6)	Základní vlastnosti senzoru AC244-1D [55]	46

9.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Blokové schéma diagnostického systému [9]	23
Obr. 2)	Logická architektura softwaru Adash Online Server [15]	27
Obr. 3)	Logická architektura SKF @ptitude Observer [22]	30
Obr. 4)	Obecné uspořádání automatizovaného diagnostického řetězce [3]	34
Obr. 5)	Struktura IO-Controlleru [42]	41
Obr. 6)	Model zařízení IO-Device [44]	42
Obr. 7)	Umístění snímačů na objímce [56]	47
Obr. 8)	Povolení interního OPC serveru	48
Obr. 9)	Vykreslení špičky (peak) a RMS rychlosti [mm/s]	51
Obr. 10)	Vykreslení špičky (peak) a RMS zrychlení [m/s ²]	52
Obr. 11)	Vykreslení peak to peak rychlosti [mm/s]	52
Obr. 12)	Vykreslení peak to peak zrychlení [m/s ²]	53
Obr. 13)	Matice z načtených data	53
Obr. 14)	Graf klouzavého průměru špičky a efektivní hodnoty zrychlení	55
Obr. 15)	Graf derivace klouzavého průměru peaku zrychlení	56
Obr. 16)	Graf peaku a efektivní hodnoty zrychlení se zanesenými časy změn ve výrobní operaci	56

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Dokumentace k použitému systému

Příloha B Grafy klouzavého průměru

Příloha C Grafy derivace klouzavého průměru

Příloha D Grafy se zanesenými hranicemi změn výrobních operací

11 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

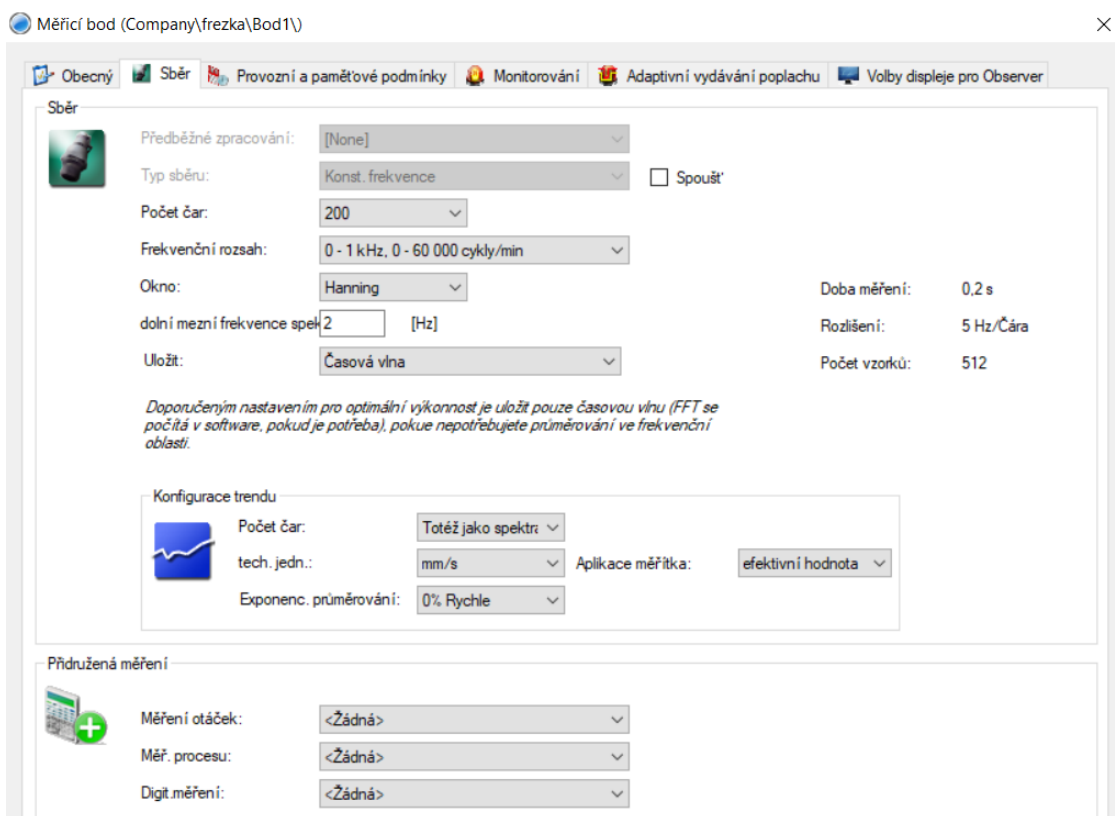
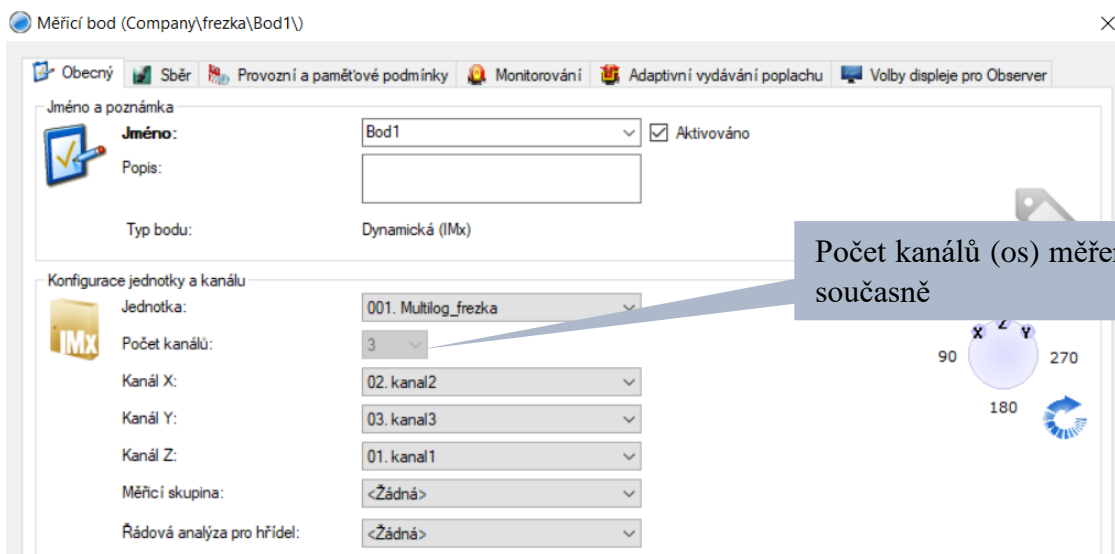
1. Soubor naměřených dat *DP_Data.txt*
2. Skript *DP_Načítání dat.py*
3. Skript *DP_Ukládání dat.py*

A DOKUMENTACE K POUŽITÉMU SYSTÉMU

@ptitude Observer

1. Vytvoření měřicího bodu

- Pravým tlačítkem myši kliknout v hierarchii na stroj » Přidat » Měřicí bod » Z nabídky vybrat, jaký typ má měřicí bod mít (v tomto případě „Dynamická“) » Ok » Vypsat všechny potřebné informace viz. následující obrázky



Obecný Sběr Provozní a pamětové podmínky Monitorování Adaptivní vydávání poplachu Volby displeje pro Observer

Provozní podmínka
Typ: Vše
Typ: Vše

Platný měřicí rozsah
 Aktivováno Min: 0 [mm/s efektivní hodn Max.: 0 [mm/s efektivní hodnota]
Platí pro hodnoty v celkovém pásmu

Plánované uložení trendu
 Aktivováno IMx/MasCon Výběr trendu: První Databáze Vyrovnávací pamě První
Interval: 0,1 Minuty Intervalový poplach: 0,1 Minuty

Filtr "Spike"
 Aktivováno 0 [g PTP]

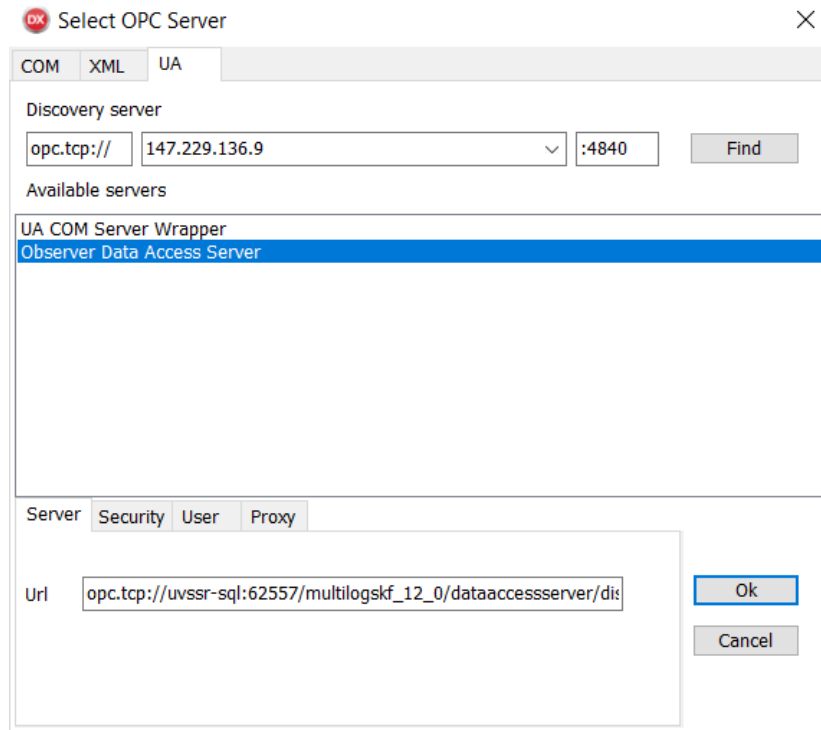
Uložení plánovaných dynamických dat
 Aktivováno
Typ: Stejně jako provozní podmi
Typ: Stejně jako provozní podmi
Průměr: Frekvence Počet: 1
Interval: 6 Sekundy Intervalový poplach: 6 Sekundy

Intervaly ukládání dat

dOPC DA Client

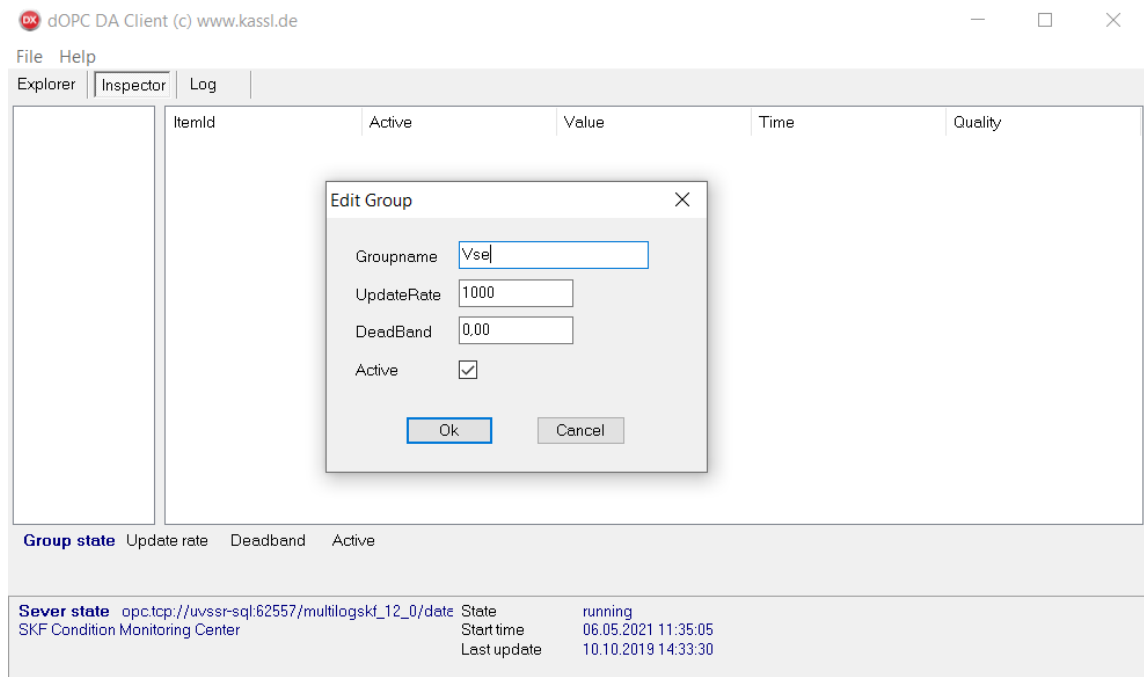
1. Připojení k serveru

- File » Connect to Server » UA » Zadat IP adresu serveru » Find » Z nabídky v okně „Available server“ vybrat požadovaný server » Ok



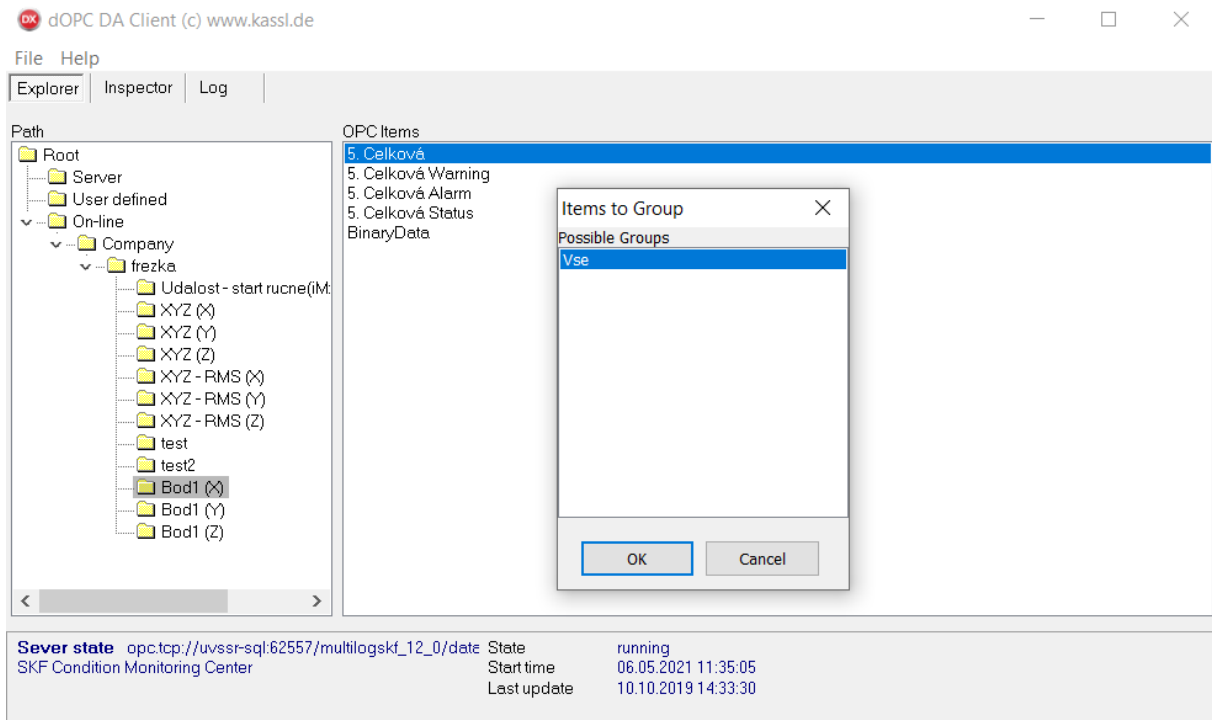
2. Vytvoření skupiny

- Inspector » Právě tlačítko myši » Add Group » Vyplnit potřebné informace (viz. následující obrázek) » Ok



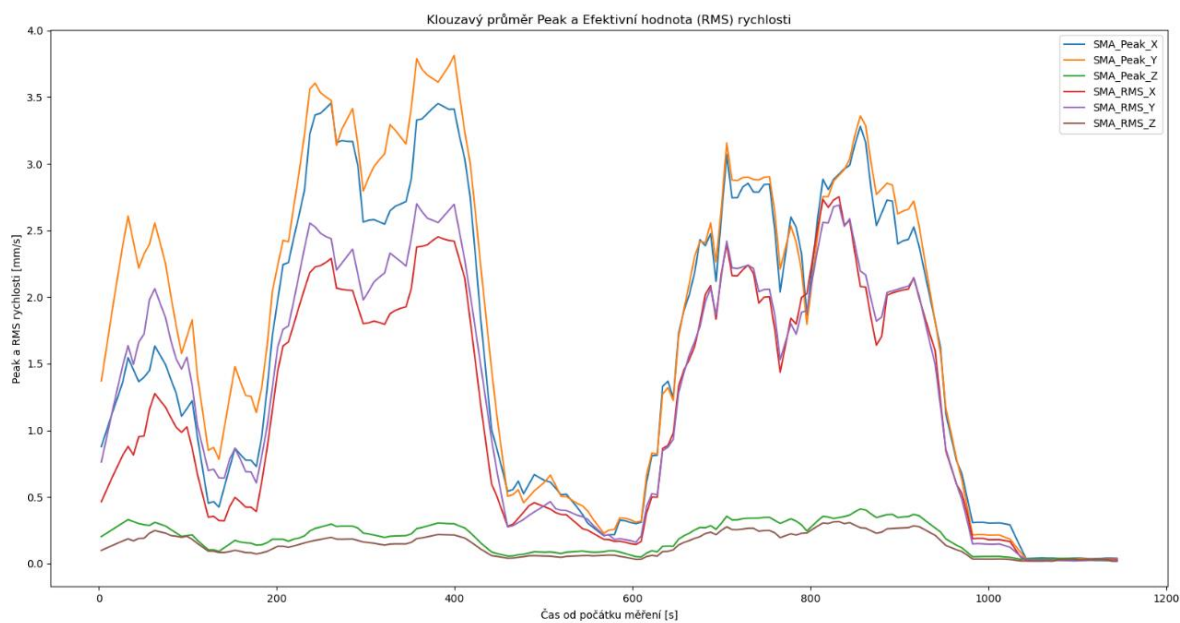
3. Přidání položek do skupiny

- Explorer » Okno „Path“ » On-line » Company » Název stroje » Najít požadovaný měřicí bod a označit ho » Okno „OPC Items“ » Pravým tlačítkem (nebo dvojklikem myši) označit „Celková“ » Vybrat skupinu » Ok
- Totéž uděláme pro všechny kanály požadovaných měřicích bodů

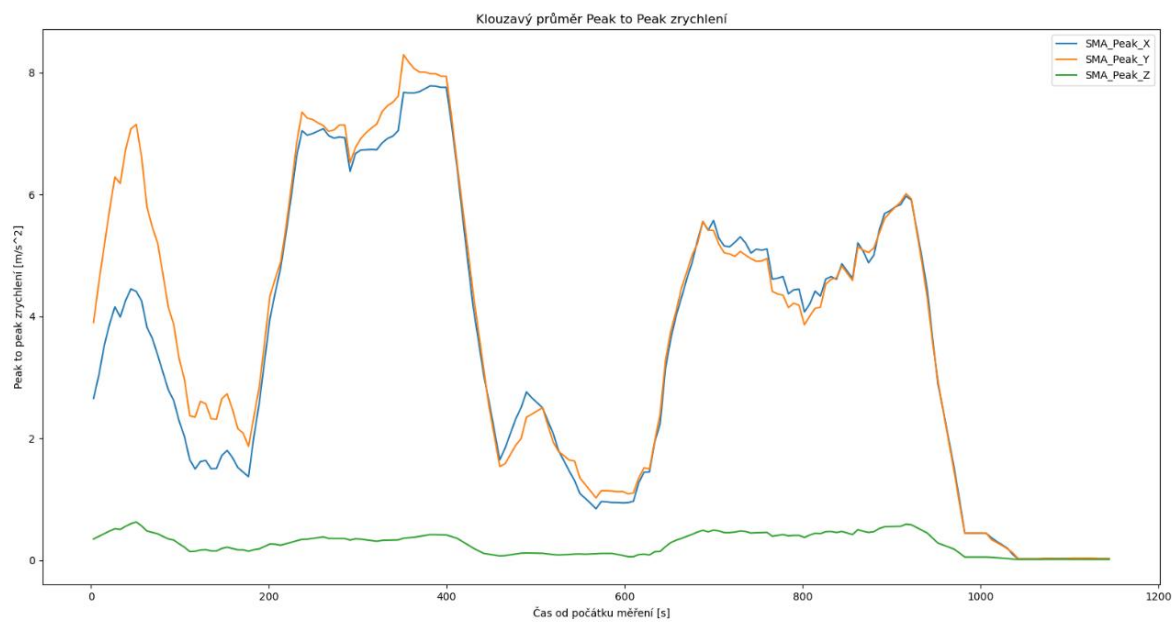


B GRAFY KLOUZAVÉHO PRŮMĚRU

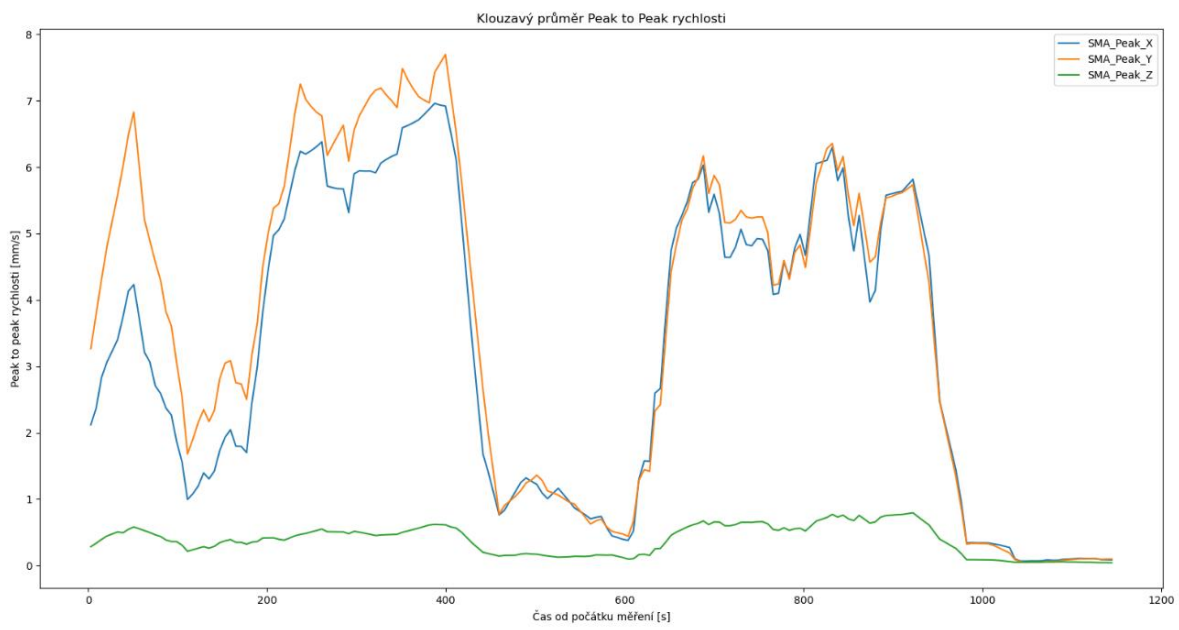
Graf klouzavého průměru peaku (špičky) a efektivní hodnoty rychlosti



Graf klouzavého průměru peak to peak zrychlení

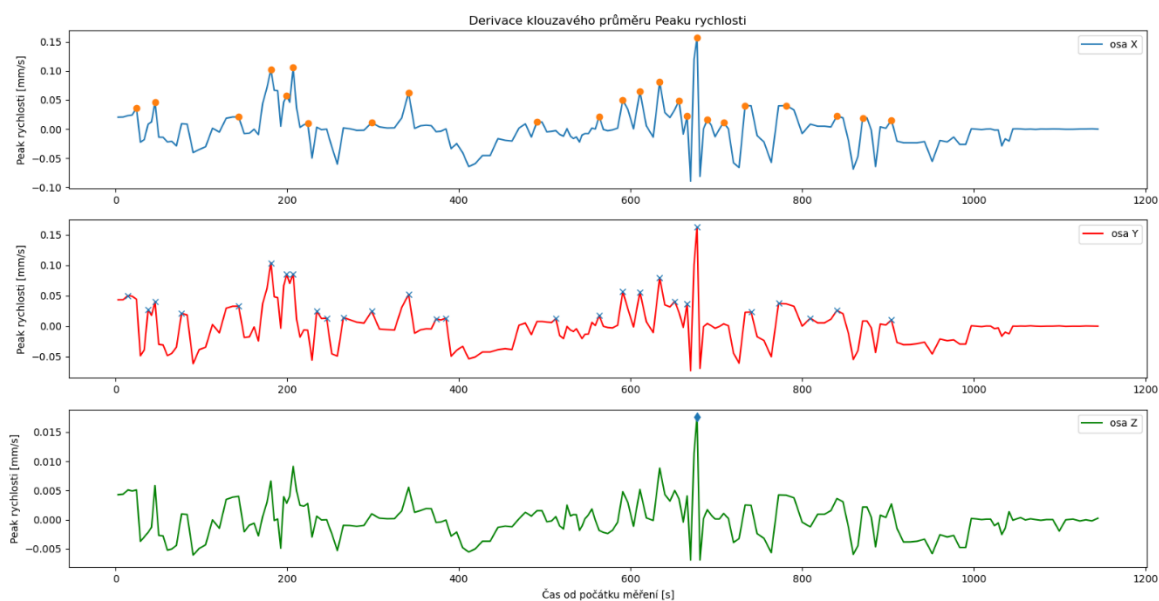


Graf klouzavého průměru peak to peak rychlosti



C GRAFY DERIVACE KLOUZAVÉHO PRŮMĚRU

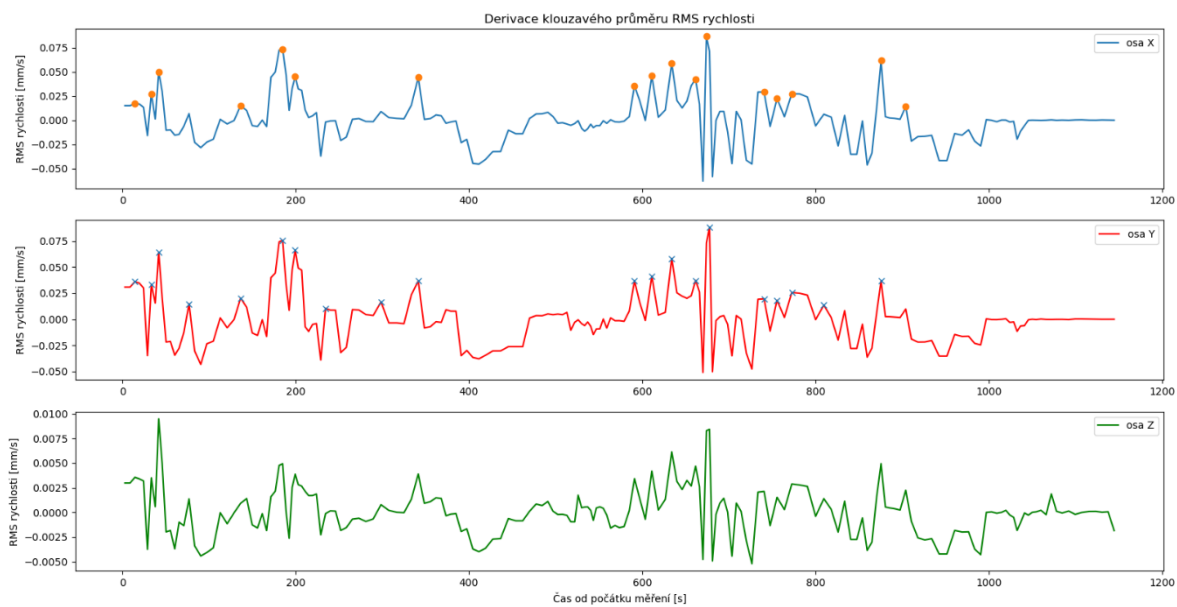
Graf derivace klouzavého průměru peaku (špičky) rychlosti



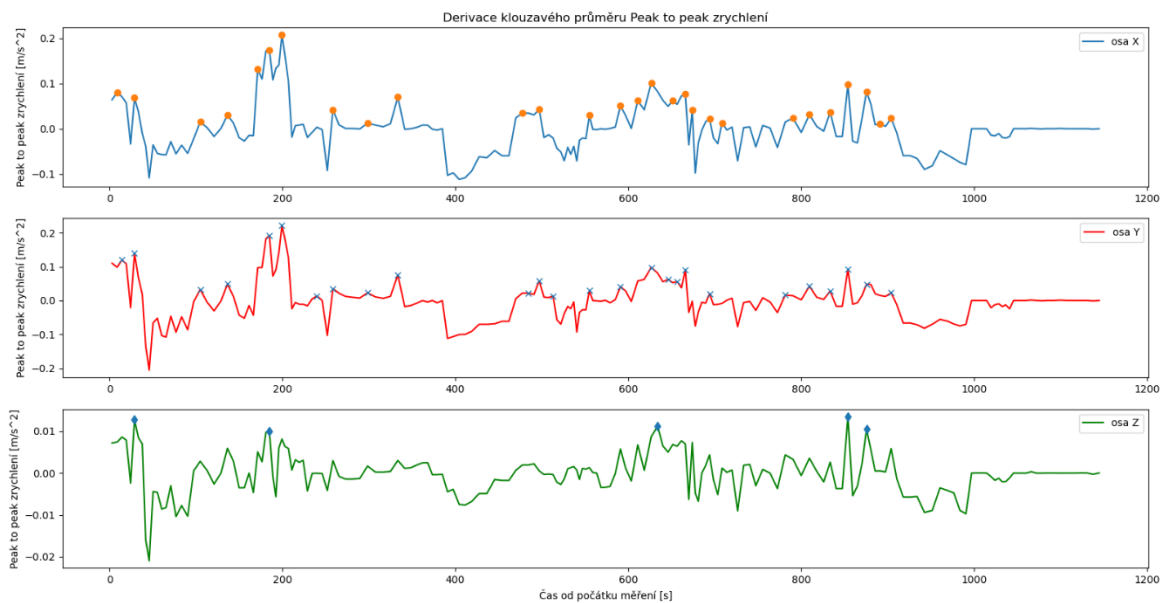
Graf derivace klouzavého průměru efektivní hodnoty zrychlení



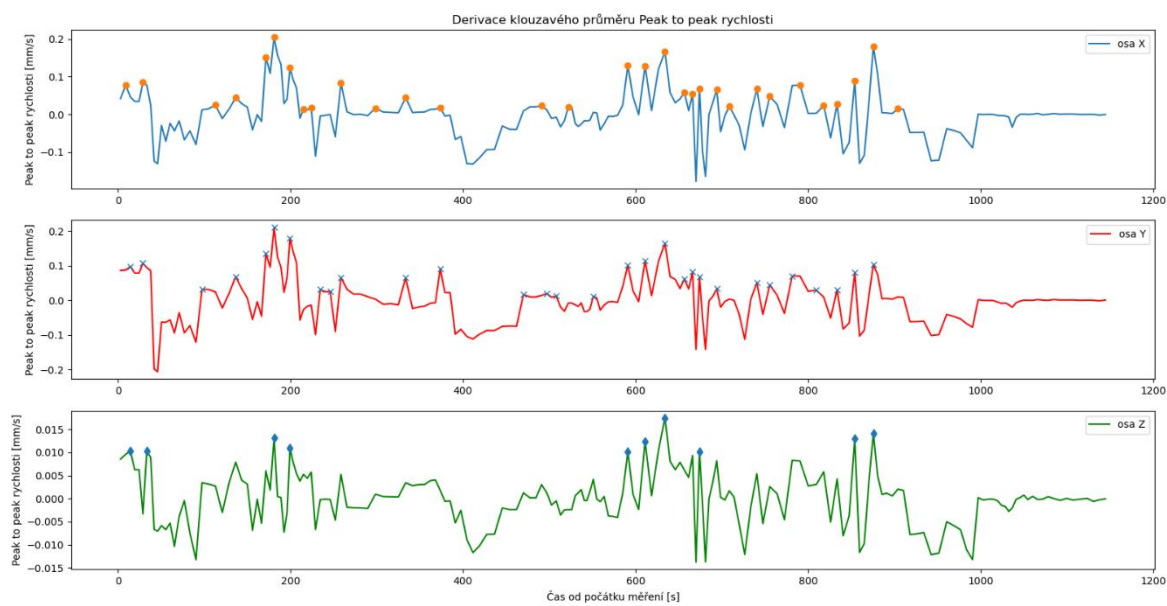
Graf derivace klouzavého průměru efektivní hodnoty rychlosti



Graf derivace klouzavého průměru peak to peak zrychlení

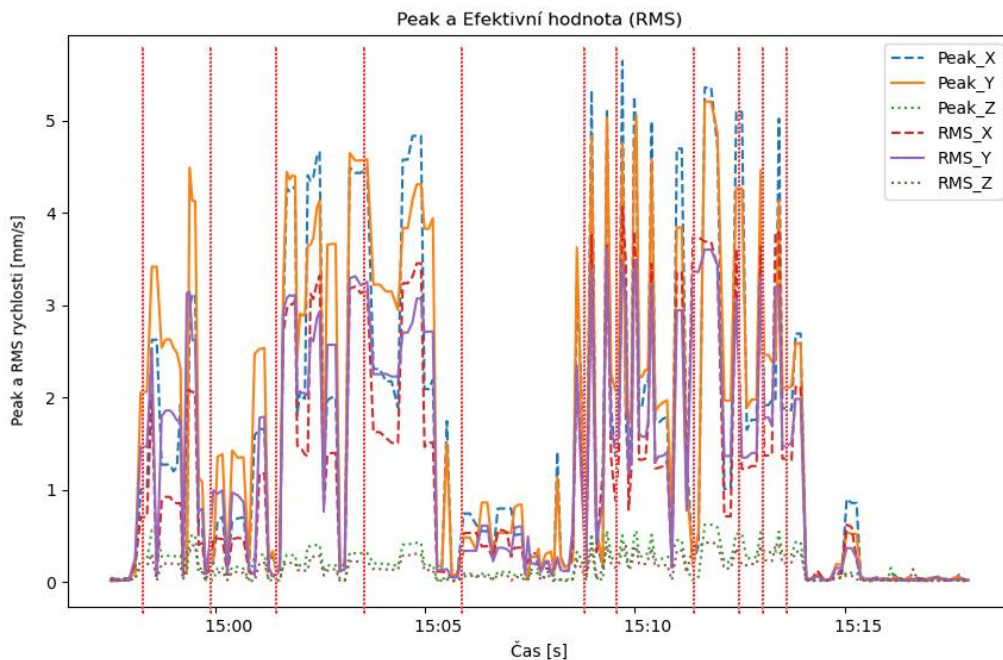


Graf derivace klouzavého průměru peak to peak rychlosti

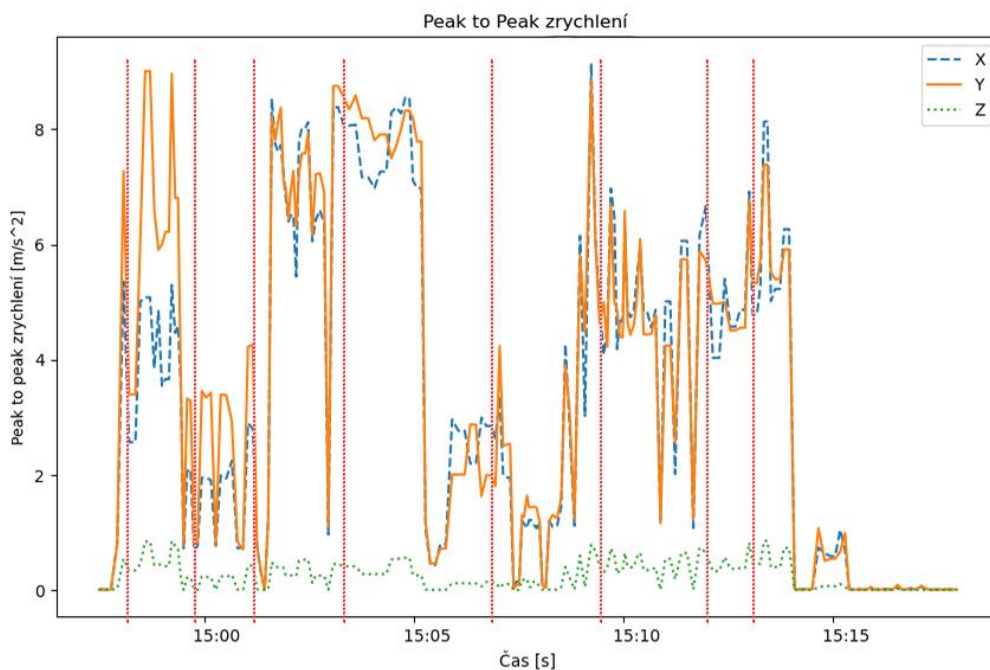


D GRAFY SE ZANESENÝMI HRANICEMI ZMĚN VE VÝROBNÍCH OPERACÍCH

Graf peaku a efektivní hodnoty rychlosti se zanesenými časy změn ve výrobní operaci



Graf peak to peak zrychlení se zanesenými časy změn ve výrobní operaci



Graf peak to peak rychlosti se zanesenými časy změn ve výrobní operaci

