



Fakulta elektrotechnická  
Katedra materiálů a technologií

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TVORBA PLC PROGRAMŮ PRO MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ DAT

Autor práce: Petr Pelc  
Vedoucí práce: Ing. Jan Leffler

Plzeň 2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2021/2022

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

Jméno a příjmení: **Petr PELC**  
Osobní číslo: **E19B0060P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Tvorba PLC programů pro měření a vyhodnocování dat**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

### Zásady pro vypracování

1. Provedte rešerši k problematice online diagnostického šetření.
2. Identifikujte obecně klíčové diagnostické signály a analyzujte jejich informační hodnotu.
3. Vytvořte PLC programy pro měření a vyhodnocení zvolených diagnostických signálů.
4. Vytvořte vizualizaci měření a nastavte alarmy pro zvolené mezní hodnoty.




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

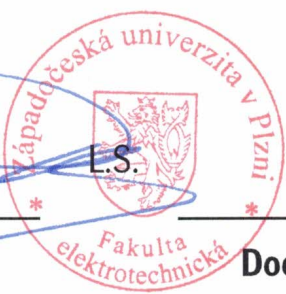
Seznam doporučené literatury:

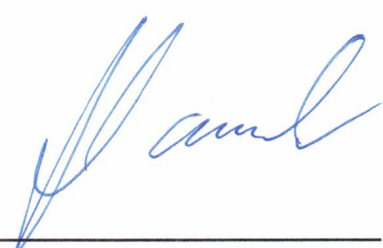
- MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. Praha: BEN – technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- MENTLÍK, Václav. *Spolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN – technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-412-5.
- Internetové zdroje, odborné a vědecké publikace.
- Průvodní dokumentace výrobců PLC a datové listy jednotlivých komponent.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Leffler**  
Katedra materiálů a technologií

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

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

  
**Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.**  
vedoucí katedry



# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou programů pro měření a vyhodnocování naměřených dat. Práce byla zpracována v kontextu on-line diagnostiky pro elektrické stroje, přičemž jejím hlavním cílem je akvizice klíčových provozních veličin, jejich vizualizace a následné vyhodnocení. Práce obsahuje základní informace o technické diagnostice v oblasti elektrických strojů a možných přístupech jejího provádění. Dále jsou diskutovány modely stárnutí za účelem určení zbývající životnosti zařízení v závislosti na různých degračních faktorech. Jako hlavní degrační faktor byla zvolena teplota, čímž byly určeny jako hlavní provozní signály průběhy teplot v různých lokacích elektrického stroje. Akvizice a vizualizace těchto signálů i jejich vyhodnocení formou alarmů byla provedena prostřednictvím PLC systému sestaveného v požadovaném rozsahu s vhodně zvolenými senzory. Nad rámec zadání byla určována zbytková životnost v reálném čase na základě mocinného modelu tepelného stárnutí a byla provedena příprava ukládání záznamu dat.

## Klíčová slova

On-line diagnostika, degrační faktor, tepelné stárnutí, PLC systém, vizualizace měření

# Abstract

This thesis deals with the creation of programs for measuring and evaluating measured data. The work was processed in the context of real-time diagnostics for electrical machines, while its main goal is the acquisition of key operating variables, their visualization and subsequent evaluation. The thesis contains basic information about technical diagnostics in the field of electrical machines and possible approaches to its implementation. Next, aging models are discussed to determine the remaining useful life depending on various degradation factors. The temperature was chosen as the main degradation factor. Therefore, the main operating signals were temperatures, measured in various locations of the electric machine. Acquisition and visualization of these signals, as well as their evaluation in the form of alarms, was performed by means of a PLC system assembled to the required scope with suitable selected sensors. In addition to the assignment, the residual life in real time was determined on the basis of a power model of thermal aging, and the preparation of data recording was performed.

## Keywords

On-line diagnostics, degradation factor, thermal aging, PLC system, measurement visualization

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že při řešení této bakalářské práce byl použit výhradně legální software.

V Plzni dne 25. května 2022

Petr Pelc

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janovi Lefflerovi za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce. Rovněž děkuji Katedře materiálů a technologií za zapůjčení hardwaru a zprostředkování studentské licence.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Diagnostika</b>	<b>13</b>
1.1 Diagnostika v etapě výroby . . . . .	13
1.2 Diagnostika v etapě provozu . . . . .	13
1.3 Diagnostický systém a diagnostikovaný objekt . . . . .	14
1.4 Diagnostický model . . . . .	14
1.5 Části diagnostického systému . . . . .	15
1.6 Diagnostický systém off-line a on-line . . . . .	16
1.6.1 Diagnostika off-line . . . . .	16
1.6.2 Diagnostika on-line . . . . .	18
<b>2 Životnost a spolehlivost</b>	<b>19</b>
2.1 Modely stárnutí . . . . .	19
2.1.1 Model tepelného stárnutí . . . . .	19
2.1.2 Model elektrického stárnutí . . . . .	20
2.1.3 Model mechanického stárnutí . . . . .	21
2.1.4 Model stárnutí při působení více faktorů současně . . . . .	21
2.2 Časová spolehlivost . . . . .	22
2.3 Vanová křivka . . . . .	24
<b>3 Měřicí systém</b>	<b>26</b>
3.1 Senzory . . . . .	26
3.1.1 NTC termistor . . . . .	26
3.1.2 PTC termistor . . . . .	26
3.1.3 Termočlánek . . . . .	27
3.1.4 RTD . . . . .	27
3.2 PLC systém . . . . .	28
3.2.1 Modul CPU a zdroj napětí . . . . .	29
3.2.2 Modul pro měření teploty . . . . .	30
3.2.3 Rozvod energie . . . . .	31
<b>4 Realizace monitoringu a evaluace</b>	<b>32</b>
4.1 Výběr konkrétních senzorů . . . . .	32
4.2 Volba programovacího jazyka . . . . .	32
4.3 Vizualizace . . . . .	33
4.4 Nastavení alarmů . . . . .	34



---

4.5	Model stárnutí . . . . .	36
4.6	Záznam měření . . . . .	37
4.7	Testování . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>44</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>45</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$a$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$a_k$	[-]	konstanta závislá na koncentraci vzniklých aktivních molekul
$A$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$b$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$B$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$E$	[V · m <sup>-1</sup> ]	intenzita elektrického pole
$f(t)$	[-]	relativní četnost poruch, hustota pravděpodobnosti poruch
$F(t)$	[-]	distribuční funkce
$I$	[A]	elektrický proud
$k$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$k_B$	[J · K <sup>-1</sup> ]	Boltzmannova konstanta
$n$	[-]	empiricky určená konstanta pro konkrétní materiál
$R$	[Ω]	elektrický odpor
$R(t)$	[-]	pravděpodobnost bezporuchového provozu
$R_j$	[-]	množina signálů v bezporuchovém stavu objektu
$R_j^+$	[-]	skutečné výsledky dílčích kontrol
$R_j^i$	[-]	množina signálů v i-tém poruchovém stavu
$T$	[°C]	teplota
$U$	[V]	elektrické napětí
$W_a$	[eV]	aktivační energie degradačního procesu
$\lambda(t)$	[-]	intenzita poruch, hazardní funkce
$\tau$	[h]	životnost
$\tau_n$	[h]	životnost při nominální teplotě
$\tau_a$	[h]	aktuální životnost

## Zkratky

CPU	Central Processing Unit
CSV	Comma Separated Values
DIN	Deutsches Institut für Normung
FTP	File Transfer Protocol
I/O	Input/Output
IEC	International Electrotechnical Commission
NTC	Negative Temperature Coefficient
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
PDF	Portable Document Format
PLC	Programmable Logic Controller
PTC	Positive Temperature Coefficient
RAM	Random-Access Memory
RRS	relativní rychlost stárnutí
RTD	Resistance Temperature Detector
USB	Universal Serial Bus

# Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá on-line diagnostikou a životností elektrických strojů a jejím hlavním úkolem je zobrazení a následné vyhodnocení provozního signálu, teploty, pomocí PLC systému.

Práce je členěna do dvou hlavních částí. První touto částí je teoretická část, na kterou posléze navazuje část praktická. Práce je členěna do čtyř hlavních kapitol.

Důležitou částí této bakalářské práce je její teoretická část. V první kapitole jsou uvedeny základní pojmy a teorie ohledně diagnostiky elektrických strojů. Je zde podrobněji vysvětlen rozdíl mezi off-line diagnostikou, která se provádí na vypnutém zařízení, a on-line diagnostikou. Diagnostika on-line se provádí na zařízení, které je v provozu. Právě on-line diagnostice se věnuje i praktická část této bakalářské práce.

Díky diagnostice je možné zjistit aktuální stav zařízení. Na základě diagnostiky jsme schopní odhadnout budoucí vývoj zařízení. Obor zabývající se tímto odhadem se nazývá prognostika. Toto téma je rozebráno v druhé kapitole této práce a jsou zde popsány dva možné způsoby prognostiky. Budoucí vývoj zařízení lze odhadnout například statistickým přístupem, kde se budoucí stav odhaduje pomocí statických a pravděpodobnostních funkcí. Dalším způsobem je odhad na základě působících degradačních faktorů jako je například teplota, mechanické namáhání, vliv elektrického pole atd. Pro tento odhad se používají různé modely, získané převážně pomocí laboratorních pokusů nebo díky znalosti fyzikální podstaty degradačního mechanismu. Teoretické znalosti ohledně životnosti byly následně využity pro vytváření PLC programu a zobrazení zbytkové životnosti v druhé kapitole bakalářské práce.

Nedílnou součástí bakalářské práce je i popis celého měřicího systému použitého pro splnění cílů zadání této bakalářské práce, který je proveden ve třetí kapitole. Popsány zde jsou vhodné senzory pro měření teploty a dále i systém PLC a jeho součásti.

V poslední kapitole, která zakončuje praktickou část, jsou popsány vytvořené PLC programy pro měření a vyhodnocení teplot v elektrickém stroji, které byly pro účely této práce zvoleny jako klíčový degradační činitel. Jsou zde popsány důvody pro výběr konkrétních senzorů a výběr programovacího jazyka pro tvorbu PLC programů. Důležitou částí je vizualizace výstupu vytvořených programů. Popsány jsou zde všechny funkce použité pro zmíněnou vizualizaci. V případě překročení mezní hodnoty teploty je zde popsáno nastavení a vizualizace alarmů.

# 1 Diagnostika

Pojem diagnostika se používá v různých oborech. Obecně se jedná o disciplínu, která má za úkol určit stav objektu. Předmětem této bakalářské práce je v obecné rovině elektrické zařízení, proto se jedná o oblast elektrotechnologické diagnostiky. Diagnostiku můžeme použít v etapě výroby i v etapě provozu elektrického zařízení. [1]

## 1.1 Diagnostika v etapě výroby

Diagnostika má výrobě velký dopad hlavně na ekonomickou stránku výroby. Diagnostické šetření lze ve výrobě dělit dle [1] na vstupní, mezioperační a výstupní kontroly.

U vstupní kontroly se kontrolují materiály potřebné k výrobě stroje. Zároveň je třeba materiály přizpůsobit a modifikovat podle požadavků na výrobu. [1]

Mezioperační kontroly probíhají v daných úsecích výroby a jejich hledání je důležitá oblast. Je třeba nalézt vždy ta správná místa zkoušek tak, aby zachytila podstatnou část výroby. Díky tomu je možné včas vyřadit poškozené díly. Dále je důležité určit typ zkoušky tak, aby sama nijak nepoškodila výrobek. Tomu je například nutno věnovat pozornost při provádění zkoušek přiloženým napětím. [1]

V poslední, výstupní fázi výroby je třeba hotový výrobek odzkoušet. i zde je vidět jistý ekonomický efekt, neboť jsme schopni omezit množství reklamací a oprav na minimum nebo je dokonce úplně odstranit. [1]

## 1.2 Diagnostika v etapě provozu

Ve fázi provozu má diagnostika také mnoho výhod. V první řadě lze v této fázi použít diagnostiku k rozboru příčin poruch. V tomto případě je úkolem diagnostiky zaznamenávat, třídit a archivovat informace o vzniklých poruchách na stroji během provozu. Tyto informace jsou velmi cenné a dokáží ukazovat na různé nedostatky stroje. Díky této diagnostice je tedy možné zdokonalit produkt například eliminací nebo modifikací součástí, jež opakovaně zaviňují poruchy stroje. [1]

Další výhodou diagnostiky v této fázi je její schopnost vydat instrukce pro údržbu. v tomto případě je diagnostika vybavena aparátem, který v případě odhalení poruchy oznámí její místo a může navrhnout postup jejího odstranění. Právě díky rychlosti, kterou jsme schopni na poruchu zareagovat, nám diagnostika v tomto bodě omezuje další možné ekonomické ztráty. [1]

V poslední řadě je možné využít elektrotechnologickou diagnostiku k pozorování života elektrických zařízení. Jedná se o tzv. provozní diagnostiku. Ta sleduje vývoj parametrů

a ukládá data. Tyto data můžeme dále zpracovat a předpovědět tak z nich budoucí chování systému. Předpověď chování elektrického zařízení se také nazývá elektrotechnologická prognostika. [1]

### 1.3 Diagnostický systém a diagnostikovaný objekt

Diagnostický systém je systém, jehož úkolem je získat informace o stavech diagnostikovaného objektu.

Diagnostikovaný objekt je základem celého diagnostického dění a jeho parametry jsou ovlivňovány jak při výrobě, tak i při provozu. Při výrobě na něj mají vliv například technologie výroby, podmínky při procesu a lidský činitel. Při provozu objekt ovlivňují navíc také provozní podmínky. [1]

Obecně se jedná o objekt, jehož struktura je tvořena funkčními prvky a podsystémy. Při jeho diagnostice musíme zohlednit zda je jeho struktura přístupná nebo nepřístupná. U objektů s nepřístupnou strukturou je možné sledovat jen vstup a výstup celého systému a jeho správnost reakce na zkušební signál. U těchto objektů je možné využít fenomenologický přístup. Pokud je struktura přístupná, nesledujeme pouze vstupy a výstupy systému, ale také vstupy a výstupy prvků ve struktuře. V tomto případě lze využít strukturální přístup. [1]

Stav diagnostikovaného objektu určuje jeho schopnost plnit funkce. Plní-li funkce způsobem, jakým je předpokládáno, nachází se objekt v bezporuchovém stavu. Naopak neplní-li objekt dané funkce, nachází se v poruchovém stavu. V případě, že funkce plní jen částečně objekt je v provozuschopném stavu. [1]

### 1.4 Diagnostický model

Důležitou částí vývoje diagnostického systému je sestavení diagnostického modelu objektu. Diagnostický model je systém, díky kterému jsme schopni simulovat poruchové a bezporuchové stavy objektu. Drahé nebo někdy neuskutečnitelné experimenty na originálním objektu jsou prováděny na simulovaném modelu, což je výhodné jak z ekonomického tak praktického hlediska. Dále je díky simulaci možné provádět analýzu objektu nebo simulovat nové a vylepšené originální objekty. [1][2]

Diagnostický model je možné dle [1] rozdělit na dva základní druhy, fyzický a matematický model.

Fyzický model je hmotná kopie objektu. Může být vytvořen na stejném fyzikálním principu (např. zmenšená verze velkého stroje) nebo na jiném fyzikálním principu (např. elektrický model hydraulického nebo tepelného objektu). [1][2]

Matematický model je abstraktní model. Vlastnosti a chování objektu při poruchovém i bezporuchovém stavu jsou nejčastěji popsány pomocí soustavy rovnic a nerovností.

Jednotlivé typy matematických modelů lze dle [2] dále dělit na:

- analytické modely
- logické modely
- topologické modely.

Analytický model popisuje objekt soustavou algebraických, diferenciálních nebo diferenciálních rovnic. [2]

Logické modely popisují objekt pomocí binárních hodnot. Chování modelu je simulováno na základě funkčnosti jeho subsystémů. Každý subsystém má přiřazen hodnotu logická 1 (provozoschopný) nebo logická 0 (neprovozoschopný). Pro bezporuchový stav celého objektu musí mít všechny systému hodnotu logické 1. [2]

V případě složitějšího objektu je popis pomocí analytického nebo logického modelu příliš náročný a používají se topologické modely. Ty lze popsat formou orientovaného grafu. [2]

## 1.5 Části diagnostického systému

Při tvorbě diagnostického systému je nutné splnění několika podmínek a určení různých postupů zobrazených na pravé straně obrázku 1.1.

Diagnostický systém musí obsahovat různé instrumentální vybavení. Sem patří různá měřidla s převodníky, které mají za úkol převádět množinu stavů na množinu signálů. Dále je možné sem zařadit čidla. Ta, v případě ekonomického odůvodnění, mohou být součástí diagnostikovaného objektu a jsou zavedena do stroje již ve fázi výroby. [1]

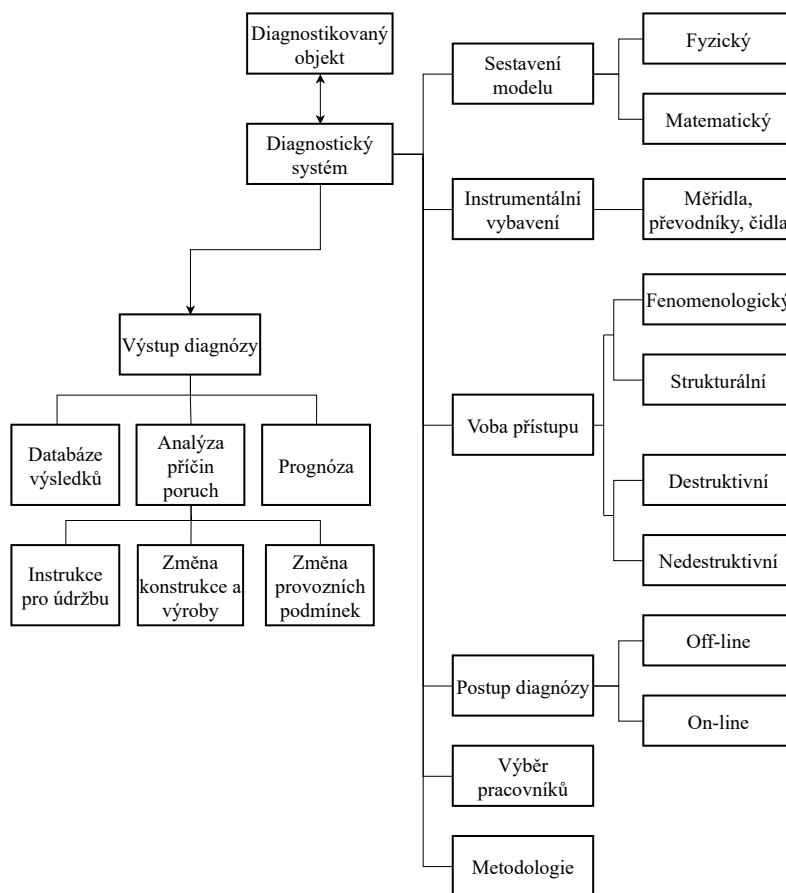
Další důležitou částí diagnostického procesu je volba přístupu k řešení diagnostického problému. Ten můžeme rozdělit z hlediska sledování děje na fenomenologický, kde sledujeme jen reakci výstupních signálů na vstupní signály objektu a strukturální, kde je třeba pozorovat činnosti přímo ve struktuře objektu. Strukturální přístup je mnohem přesnější, avšak struktura zařízení není vždy přístupná. Strukturální přístup je zároveň nákladnější a náročnější na obsluhu. [1]

Při volbě přístupu je také třeba zohlednit destruktivnost nebo nedestruktivnost prováděných zkoušek. Výhodou destruktivních zkoušek je jeho dobrá výpovědischopnost, avšak mnoho materiálu je tak zničeno a to přináší velké ekonomické ztráty. Nedestruktivní zkoušky jsou proto často výhodnější a v některých případech je lze používat pro on-line diagnostiku. [1]

Ke každé diagnostice je třeba určit i postup diagnózy. Ten se dělí na diagnostiku on-line (zařízení je v provozu) a off-line (zařízení je mimo provoz). [1]

Výběr pracovníků je zásadní část diagnostického postupu. Je třeba vybrat pracovníky se zkušenostmi a kvalifikací odpovídající složitosti diagnostického procesu. [1]

Při vytváření metodologie určujeme jednotlivé kroky diagnózy, jejich optimalizaci a zároveň i jejich pořadí. Při jejím vytváření je třeba respektovat ekonomickou stránku produktu. [1]



Obrázek 1.1: Procesy při tvorbě technické diagnostiky a její dopady dle [1]

## 1.6 Diagnostický systém off-line a on-line

Základní rozdělení diagnostických systému je podle toho, zda je diagnostikovaný objekt při diagnostice v provozu (on-line, popřípadě funkční diagnostika) nebo mimo provoz (off-line, popřípadě testovací diagnostika). [1]

### 1.6.1 Diagnostika off-line

Off-line diagnostika se provádí na diagnostikovaném objektu mimo provoz. Realizuje se prostřednictvím různých testů, z toho také vychází druhý název, testovací diagnostika. Princip spočívá v tom, že na diagnostikovaný objekt necháme působit různé testovací signály a vyhodnocujeme jeho odezvu na tyto signály. [3]

Na obrázku 1.2 je zobrazeno blokové schéma popisující princip testovací diagnostiky. Důležitým článkem diagnostiky je řídicí blok, v něm je uložen algoritmus, kterým je ovládán zdroj signálů. Tyto algoritmy mohou být dle [3]:

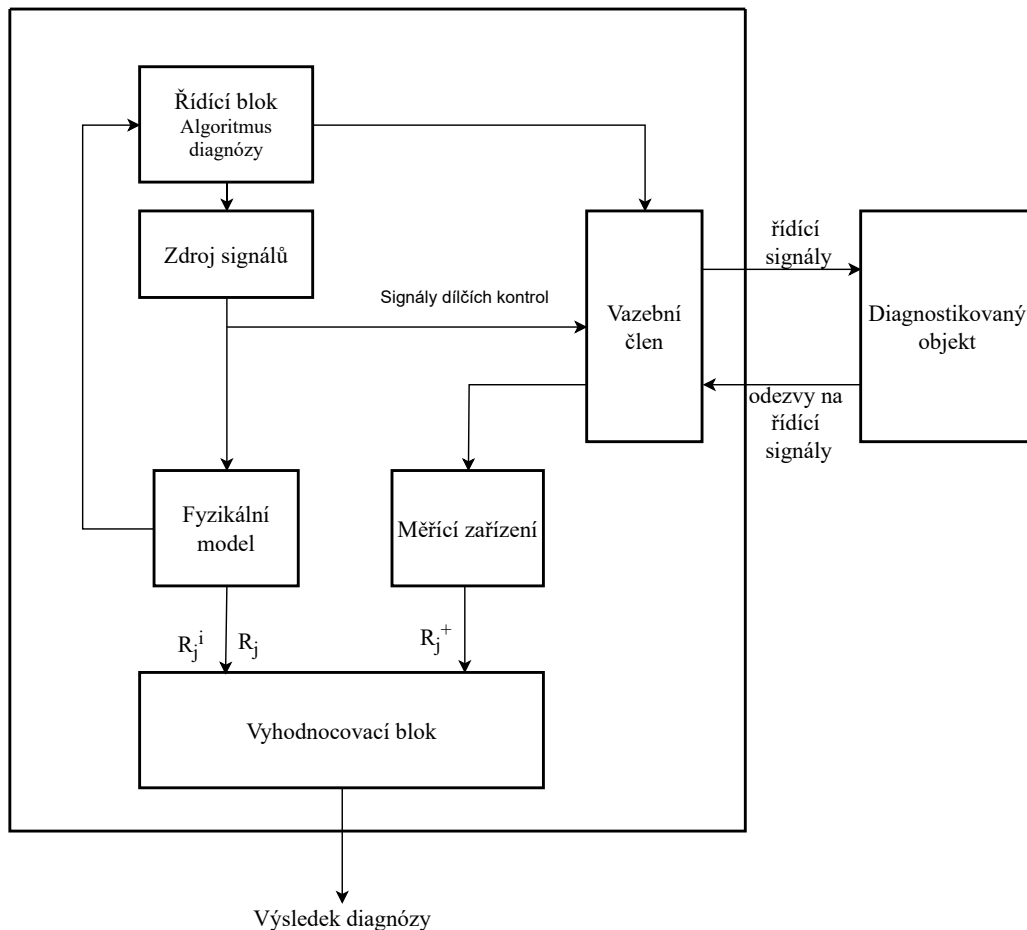


- kombinační (nezávislé) - v případě posloupnosti kroků nezáleží na výsledcích předchozích kroků
- sekvenční (závislé) - v případě posloupnosti kroků záleží na výsledcích předchozích kroků.

Zdroj signálů generuje signály, které jsou posílány zároveň do fyzikálního modelu a do diagnostikovaného objektu (přes vazební člen). Fyzikální model má za úkol vytvořit funkci, která simuluje různé stavy objektu. V tomto případě  $R_j^i$  značí množinu signálů v i-tém poruchovém stavu a funkce  $R_j$  značí množinu signálů v bezporuchovém stavu objektu. [1]

Diagnostikovaný objekt reaguje na řídicí signály. Tyto odezvy putují přes vazební člen do měřicího zařízení, kde probíhá jejich transformace. Z měřicího zařízení odcházejí skutečné výsledky dílčích kontrol  $R_j^+$  do vyhodnocovacího bloku. [1]

Ve vyhodnocovacím bloku se dále porovnávají skutečné výsledky s těmi simulovanými fyzikálním modelem. Pomocí těchto hodnot je vyhodnocovací zařízení schopno získat výsledek diagnózy. [1]



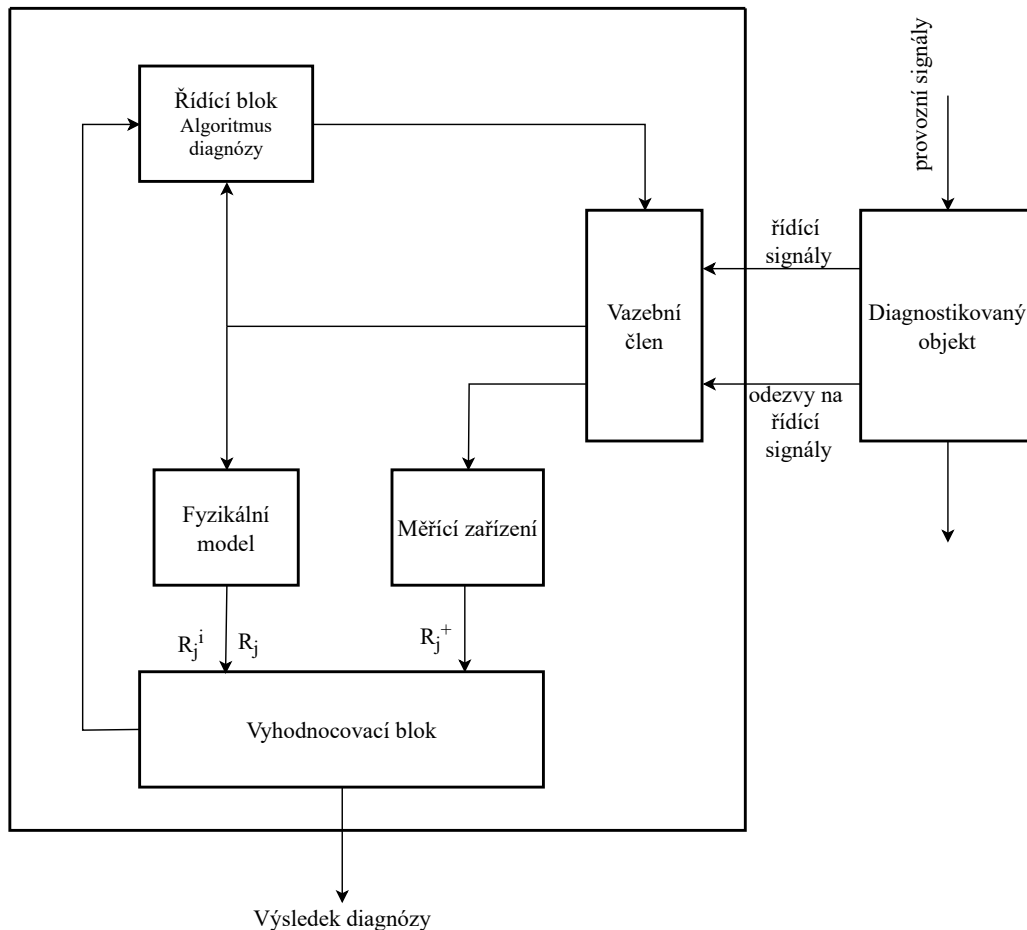
Obrázek 1.2: Blokové schéma off-line diagnostiky dle [1]

## 1.6.2 Diagnostika on-line

On-line diagnostika, nebo také funkční diagnostika, se provádí na diagnostikovaném objektu, který je v provozu. Je možné tak sledovat stav objektu a vyhodnocovat signály objektu v reálném čase. Princip funkční diagnostiky je zobrazen na obrázku 1.3. [1]

Na rozdíl od testovací diagnostiky, řídicí signály není třeba generovat zdrojem signálu, protože je zde zastupují přímo signály z provozu zařízení. Do diagnostického systému tak vstupují jako řídicí signály a odezvy na řídicí signály. Řídicí signály jsou stejné jako ty provozní a jsou vysílány dále přes vazební člen do fyzikálního modelu, který má za úkol simulovat poruchové a bezporuchové stavy. Odezvy na řídicí signály putují přes vazební člen do měřicího zařízení, kde už vystupují transformované přímo do vyhodnocovacího bloku. [1][3]

Vyhodnocovací blok už poté jen porovná výstupy fyzikálního modelu a měřicího zařízení a tímto způsobem je možné získat výsledek diagnózy. [1]



Obrázek 1.3: Blokové schéma on-line diagnostiky dle [1]

## 2 Životnost a spolehlivost

Pro určování stavu sledovaného zařízení v reálném čase je možné používat dva základní způsoby. První způsob spočívá v počítání zbytkové životnosti na základě úrovně působících degradačních faktorů. Druhý způsob spočívá ve statistickém přístupu sledování spolehlivosti v čase.

### 2.1 Modely stárnutí

Při diagnostice elektrického zařízení je třeba diagnostikovat jeho jednotlivé podsystémy. Nejdůležitějším podsystémem elektrického zařízení je jeho izolační systém. Monitorováním stavu izolačního systému a vyhodnocováním získaných dat a trendů lze přistoupit k prognostice a je možné předurčit budoucí vývoj jeho parametrů, jeho životnost a schopnost plnit svou funkci. Pro určení budoucího vývoje parametrů je zároveň třeba znát všechny důležité informace o degradačních faktorech působících na izolační systém. Mezi hlavní degradační faktory patří tepelné, mechanické a elektrické faktory. Mezi další faktory ovlivňující proces stárnutí izolačního systému patří vlhkost, kyslík, chemikálie, mikroorganizmy, povětrnostní vlivy, znečišťující látky a radiace. Data získaná při měření degradace materiálu on-line diagnostickým systémem lze dále využít k určení zbylé životnosti izolačního systému. [1][4]

Pro zjištění životnostní charakteristiky izolačního systému je třeba různých modelů stárnutí. Úkolem měření klíčových degradačních faktorů je zajistit data potřebná do modelů stárnutí. Tyto modely je možné získat urychleným laboratorním stárnutím. V laboratořích se používají degradační mechanismy, které se snaží co nejvíce přiblížit podmínkám v reálném prostředí. Tyto mechanismy však využívají násobně vyšší namáhání a je možné tak dojít ke konci životnosti materiálu rychleji. Nejčastěji se v laboratorních podmínkách používá namáhání teplem, elektrickým polem nebo vibracemi, což jsou hlavní degradační faktory. [4]

Modely stárnutí matematicky popisují životnostní křivku izolačního materiálu. Podle druhu degradačního faktoru je možné je rozdělit na modely stárnutí při působení jednoho faktoru a na modely stárnutí při působení více faktorů. Nejdůležitější jedno faktorové modely jsou modely tepelného, elektrického a mechanického stárnutí. [4]

#### 2.1.1 Model tepelného stárnutí

Nejslabším článkem spolehlivostního řetězce elektrického zařízení je právě jeho izolační systém. Z toho vyplývá, že odolnost celého elektrického zařízení se odvíjí také od tepelné odolnosti izolačního systému. Působením tepelného namáhání na izolační systémy dochází

k nenávratným chemickým a fyzikálním procesům. Tyto procesy mohou postupně zhoršovat stav dielektrika. To se projeví například zvýšenou vodivostí nebo ztrátového činitele. Pro určení třídy tepelné odolnosti izolačního systému se využívá výsledků urychleného laboratorního stárnutí. [5]

Účinky tepelného stárnutí identifikoval a empiricky vyčíslil Montsinger. Ten experimentálně zjistil, že rychlost degradace elektroizolačního systému olej-papír v transformátoru se zdvojnásobí s každým navýšením teploty o 8 °C proti provozní teplotě transformátoru. Toto zjištění je známo jako Montsingerovo pravidlo. Z tohoto empirického pravidla je možné určit vztah popisující souvislost mezi životností izolace a teplotou. [6]

$$\tau_T = A \cdot e^{-BT} \quad (2.1)$$

V rovnici 2.1 představuje  $\tau$  životnost izolace,  $T$  teplotu a členy  $A$  a  $B$  jsou empiricky určené konstanty pro konkrétní materiál. [7]

Další způsob určení životnosti je pomocí Arrheniovy rovnice. Tento způsob uvedl Dakin v roce 1948 a vychází z toho, že stárnutí je způsobeno chemickými reakcemi, jako například oxidace, což má za důsledek změnu chemické struktury materiálu. [6]

$$\tau_T = a_k \cdot e^{\frac{W_a}{k_B \cdot T}} \quad (2.2)$$

V rovnici 2.2 představuje  $\tau$  životnost izolace,  $W_a$  aktivační energii procesu,  $T$  teplotu.  $k_B$  je Boltzmannova konstanta,  $a_k$  je konstanta závislá na koncentraci vzniklých aktivních molekul. [7]

V praxi se Dakinův model, společně se zkouškami urychleného stárnutí, používá k určení teplotních tříd materiálů. Teplotní třída materiálu je definována jako maximální teplota, při které životnost materiálu překročí 20 000 hodin. [6]

Na obrázku 2.1 je šedou čarou zobrazen Arrheniův graf určující životnost materiálu. Červeně je zde vyznačena třída materiálu, ta má hodnotu 90 °C a její životnost se tedy z definice musí rovnat 20 000 hodinám. Černými čtverci jsou zde označeny výsledky zkoušek urychleného stárnutí při třech různých teplotách. [6][7]

### 2.1.2 Model elektrického stárnutí

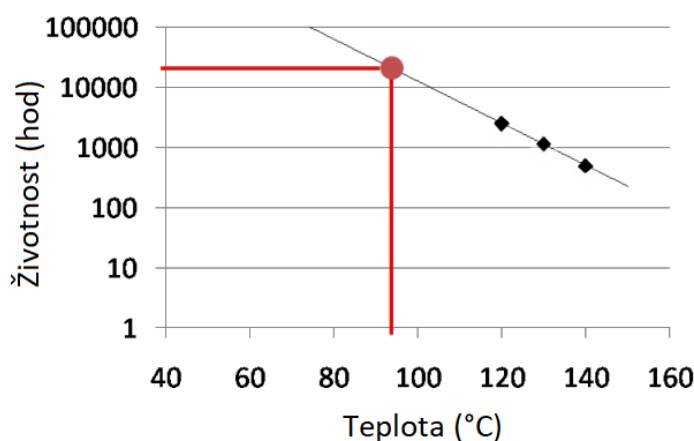
Změnu struktury izolačního systému a jeho stárnutí může způsobit také vliv elektrického pole. Studium čistě elektrického stárnutí je velice komplikované a do dnes není známo mnoho zákonitostí. Většina znalostí byla zjištěna pomocí různých experimentů. Zde je pro kalkulaci životnosti materiálu možné použít tyto modely:

Mocninný model:

$$\tau_E = k \cdot E^{-n} \quad (2.3)$$

Exponenciální model:

$$\tau_E = e^{-bE}. \quad (2.4)$$



Obrázek 2.1: Arrheniův graf pro určení životnosti materiálu, převzato z [6]

V rovnicích 2.3 a 2.4 představuje  $\tau$  životnost izolace,  $E$  intenzitu elektrického pole a  $a$ ,  $k$ ,  $n$ ,  $b$  jsou empiricky určené konstanty. [7]

Tyto modely jsou odvozené empiricky, a proto je možné je použít bez znalostí všech procesů, jimiž elektrické pole působí na izolační materiál. Není třeba znát ani další vedlejší záležitosti, například přítomnost částečných výbojů, rozložení elektrického pole nebo struktura systému. Nevýhodou těchto modelů je však jejich nepřesnost určování životnosti při nižších hladinách elektrického pole. Tato nevýhoda se vysvětluje existencí prahové mezní hodnoty elektrického pole, kdy již neprobíhá stárnutí materiálu vlivem elektrického pole. [7]

### 2.1.3 Model mechanického stárnutí

Mechanické namáhání je jedním z hlavních degradačních faktorů a přispívá ke stárnutí izolačního systému. Mechanické stárnutí je zaviněno relativním pohybem izolačních materiálů, to je způsobeno mechanickými a elektromagnetickými silami, nedostatečným zajištěním pozice materiálu, napínáním materiálu, třením, obroušováním nebo zde mají vliv venkovní faktory ovlivňující mechanické vlastnosti materiálu. [8]

Modelů mechanického stárnutí existuje mnoho. Každý model je odvozen od jiných vlastností materiálů a jiných druhů mechanického namáhání. Je možné použít například model založený na teorii dle Odonga. Ta říká, jakým způsobem se bude měnit struktura materiálu při tahovém napětí. Mezi další modely stárnutí patří například modely Dechtárův a Usipovovův. [7]

### 2.1.4 Model stárnutí při působení více faktorů současně

Elektrické stroje se v praxi většinou nacházejí v prostředí, kde na ně působí více než jeden degradační faktor současně. Interakce mezi degradačními faktory může být komplexní a může mít nečekané důsledky. V případě, že je materiál vystaven více faktorům současně,

dochází většinou ke konci jeho životnosti rychleji, než kdyby na něj působil každý faktor zvlášť. Dle [1] je možné rozlišovat dva druhy interakce: přímé a nepřímé. [1][8]

Při přímé interakci se zvětší míra ovlivnění materiálu jedním degradačním faktorem vlivem působení dalších faktorů. Při působení více faktorů současně jsou jejich degradační schopnosti naprosto rozdílné, než při působení každého faktoru zvlášť. Jako příklad lze uvést vzájemné ovlivnění degradačních faktorů, teploty a oxidace. Působení vysoké teploty, bez přítomnosti kyslíku, materiál degraduje jen velmi málo. Degradace materiálu při pokojové teplotě není příliš významná. V přítomnosti kyslíku je však vysokou teplotou oxidace velmi urychlená a životnost materiálu je tak mnohonásobně snížena. [1]

Při nepřímé interakci se při působení více faktorů současně míra ovlivnění degradačním faktorem nemění. Ovlivnění dochází přímo v materiálu vlivem kombinovaných účinků faktorů. Příkladem nepřímé interakce jsou mechanické namáhání a elektrické pole. Mechanické namáhání může porušit strukturu materiálu, to vlivem elektrického pole způsobí nárůst částečných výbojů a rychlejší degradaci materiálu. [1]

Pro popis chování stárnutí materiálu během interakce více degradačních faktorů současně se používají různé matematické modely. Nejpoužívanější modely dle [1] jsou Simoniho model, Ramuův model, Fallouův model a model podle Crinea. Simoniho, Ramuův a Fallouův model potřebují k jejich výpočtu empiricky zjištěné konstanty. Model podle Crinea je čistě fyzikální, není třeba zjišťovat jeho parametry laboratorním měřením. [1]

## 2.2 Časová spolehlivost

Na každý výrobek působí náhodné jevy, jejichž podstata není dokonale známa. Pro jejich popis je tak možné použít matematickou statistiku a pravděpodobnost. Výsledky stanovení spolehlivosti výrobku jsou důležité zejména pro jeho návrh nebo pro vzájemné porovnání několika alternativ výrobků. Z těchto výsledků je také možné sestavit optimální strategii údržby výrobků. [9]

Pro modelování časové spolehlivosti se dle [10] používají čtyři základní veličiny:

- $f(t)$  - relativní četnost poruch, hustota pravděpodobnosti poruch, frekvenční funkce poruch
- $F(t)$  - distribuční funkce
- $\lambda(t)$  - intenzita poruch, hazardní funkce
- $R(t)$  - pravděpodobnost bezporuchového provozu, funkce bezporuchovosti.

Každá z těchto základních veličin se dá vždy odvodit pomocí zbylých tří.

Zařízení začne pracovat v čase  $t = 0$ . v čase  $t = t_1$  dojde k poruše. Doba od začátku provozu do času poruchy se nazývá doba do poruchy. Pravděpodobnost, že v intervalu  $< 0, t_1 >$  dojde k poruše, lze vyjádřit distribuční funkcí. [10]

$$F(t) = P(t_1 < t) \quad (2.5)$$

V případě, že se počítá s náhodnými spojitými veličinami, distribuční funkce lze dle [10] vyjádřit jako

$$F(t_1) = \int_0^{t_1} f(t) dt \quad (2.6)$$

a relativní četnosti poruch  $f(t)$  je

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \quad (2.7)$$

Důležitou veličinou je funkce bezporuchovosti. Ta vyjadřuje pravděpodobnost  $P$  toho, že v intervalu  $< 0, t_1 >$  k poruše nedojde. [10]

$$R(t) = P(t_1 \geq t) \quad (2.8)$$

V případě, že  $t = 0$ , platí  $R(0) = 1$ . Pro  $t \rightarrow \infty$ , platí  $R(\infty) = 0$ . Pravděpodobnost bezporuchového chodu lze dle [10] vyjádřit jako

$$R(t) = 1 - F(t_1) = \int_{t_1}^{\infty} f(t) dt \quad (2.9)$$

Často používaným ukazatelem bezporuchovosti zařízení je dle [10] intenzita poruch  $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.10)$$

Přehledně sepsané vzájemné převody mezi veličinami  $f(t)$ ,  $F(t)$ ,  $\lambda(t)$  a  $R(t)$  jsou uvedeny na obrázku 2.2. [9][10]

	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	$R(t)$	$1 - F(t)$	$1 - \int_0^t f(x) dx$	$\exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$
$F(t)$	$1 - R(t)$	$F(t)$	$\int_0^t f(x) dx$	$1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dF(t)}{dt}$	$f(t)$	$\lambda(t) \cdot \exp\left[-\int_0^t \lambda(x) dx\right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{d(\ln R(t))}{dt} = -\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dF(t)}{dt}}{1 - F(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(x) dx}$	$\lambda(t)$

Obrázek 2.2: Převodní vztahy mezi základními ukazateli bezporuchovosti, převzato z [9]

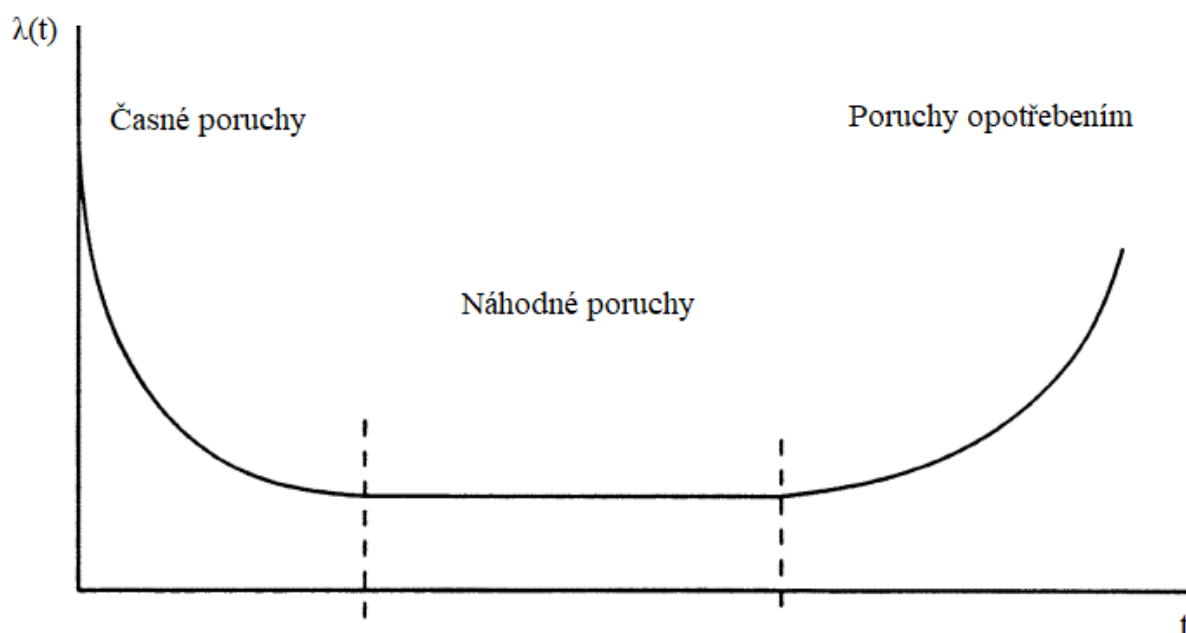
## 2.3 Vanová křivka

Typickým tvarem grafického vyjádření intenzity poruch je vanová křivka. Ta je uvedena na obrázku 2.3. Hlavní myšlenkou vanové křivky je rozdělení provozního života zařízení do třech časových úseků. [11]

V prvním úseku je intenzita poruch vysoká a postupně klesá. Tato část křivky se nazývá období časných poruch, popřípadě období záběhu, období počátečního provozu nebo také období dětské úmrtnosti. Vysoká intenzita poruch je zde odůvodněna například jako důsledek výrobních vad, nesprávné montáže, různých chyb při návrhu nebo při výrobě.[9]

V druhém úseku se křivka ustálí na téměř konstantní hodnotě. V tomto období se zařízení porouchává vlivem náhodných poruch způsobených vnějšími podmínkami. Tato část křivky se nazývá období normálního užití, období konstantních, či náhodných poruch nebo ustálený režim provozu. [9][10]

Ve třetím úseku intenzita poruch vzrůstá a nastávají poruchy opotřebením. Poslední část křivky se nazývá období poruch. [9]



Obrázek 2.3: Vanová křivka, převzato z [11]

Tato křivka není stejná pro všechny výrobky. Některé výrobky nemají úsek dětské úmrtnosti. To je například v případě, že je výroba objektu přísně kontrolována a časná porucha by tak neměla vzniknout. U některých výrobků chybí třetí úsek. To platí v důsledku vyřazení výrobku ještě před jeho značným zestárnutím. [9]

Při výpočtu spolehlivosti zařízení se dle [10] řeší zejména období konstantních poruch.

V článku [11] je uvedeno několik zdrojů, ve kterých se každý liší tvrzením o možném využití vanové křivky. Zatímco některé zdroje tvrdí, že vanová křivka je typickým tvarem průběhu intenzity poruch, další tvrdí, že pouze malé množství produktů projevuje



pokles intenzity poruch v první fázi a její vzrůst ve třetí fázi křivky. Další zdroj uvádí, že vanová křivka popisuje pouze 10 % až 15 % produktů. V článku je citován také zdroj, který popisuje, že vanová křivka může zobrazit poruchovou charakteristiku jednotlivých prvků zařízení, ne však celého systému nebo obvodu. Autoři článku vytvořili model, který dokazuje, že v čase 0 intenzita poruch neklesá, ale naopak roste. Hazardní funkce tak nenabývá podoby vanové křivky. [11]

## 3 Měřicí systém

Měřicí systém se skládá z vhodně zvolených senzorů a PLC řídicího systému, jenž obsahuje moduly s převodníky pro zpracování měřených signálů.

Společnost B&R Industrial Automation GmbH vyvinula PLC řídicí systém, a to pod označením X20 [12]. Tento systém byl vybrán, neboť se jedná o standardizované a dobře implementovatelné řešení pro průmysl. Zároveň je toto PLC dostupné na Katedře materiálů a technologií Západočeské univerzity v Plzni.

### 3.1 Senzory

Pro měření teploty je možné využít mnoho druhů teplotních senzorů. Mezi čtyři hlavní typy teplotních senzorů lze dle [13] zařadit:

- NTC termistor
- PTC termistor
- Termočlánek
- Odporové senzory.

#### 3.1.1 NTC termistor

Elektrický odpor NTC termistoru společně se zvyšující teplotou klesá. Z toho vyplývá i jeho název NTC, negative temperature coefficient, v překladu negativní teplotní koeficient. [13]

NTC termistor je tradičně užíván tam, kde je třeba nízká cena a jednoduchost. Měřená teplota je relativně omezená, často se pohybuje od  $-50\text{ °C}$  do  $150\text{ °C}$ . Už několik desetiletí se používá v nezměněné formě a tak je jeho výhodou jeho známost použití. Je považován za nejlevnější variantu všech teplotních senzorů a je možné ho připojit do obvodu přímo přes externí zařízení, jako například elektronické relé, a v tom případě není třeba užití mikrokontroléru. [13]

#### 3.1.2 PTC termistor

PTC (positive temperature coefficient) termistor je vyráběn z polykrystalické sloučeniny, která po určité prahové teplotě rapidně zvýší svůj odpor. Z tohoto důvodu je PTC termistor vhodný pro blokování vysokého proudu a zamezení přetížení obvodu. [13]

### 3.1.3 Termočlánek

Tento senzor je složen z dvou vodičů. Každý vodič je z jiného materiálu a na jednom konci jsou spojeny. Rozdílné termoelektrické vlastnosti dvou drátků způsobí vznik rozdílného elektrického potenciálu na nespojených koncích. Termočlánek mají největší teplotní rozsah ze všech teplotních senzorů. Některé jsou schopny měřit až 1800 °C. Jsou jednoduché, odolné a díky nulové spotřebě energie, termočlánek netrpí samozahříváním. Jejich odezva na změnu teploty je velmi rychlá, ale i velmi nelineární. Odchylka nepřesnosti měření může být až 0,5 °C. Termočlánek se často používají v laboratořích nebo v průmyslu, například při monitorování teploty ve vysoké peci. [13]

### 3.1.4 RTD

RTD je akronym pro resistance temperature detector, případně resistive temperature device. Stejně jako PTC termistor jeho teplotní koeficient je kladný. Jeho elektrický odpor s rostoucí teplotou tedy roste. RTD se od PTC termistoru liší použitým materiálem. Zatímco v PTC termistoru se používá polovodič, RTD je vyroben z čistého kovu. [13]

RTD senzory jsou velmi přesné. Jejich odchylka často nabývá maximálně hodnoty 0,01 °C. Výstupem senzorů je téměř lineární funkce teploty na rezistivitě. Senzory jsou imunní vůči elektrickému šumu a jejich odezva na změnu teploty je relativně rychlá (okolo 1 až 10 sekund). Při měření odporu je třeba propustit senzorem proud, to zvyšuje pravděpodobnost samozahřívání. Tyto senzory jsou relativně drahé. [13]

RTD senzory jsou často vyráběny z platiny, neboť odezva na teplotu je pro tento kov ve velkém rozsahu lineární. Senzory vyšší kvality jsou složeny z platinového drátku omotaného kolem skleněného nebo keramického jádra. Výroba menších senzorů probíhá nanosením tenké vrstvy platina na izolační materiál. Jako substituci za platinu lze použít nikl, ten má citlivější, ale méně lineární odezvu na teplotní změnu. Senzory z platinového drátku lze využít pro měření teplot až do 1000 °C. Některé varianty dokáží měřit až k hodnotě -250 °C. [13]

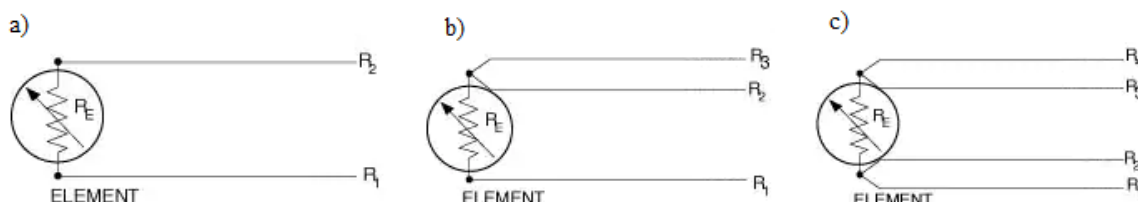
V případě dvou vodičového zapojení může nastat chyba v měření. Odpor vodičů, stejně jako odpor materiálu uvnitř senzoru, je ovlivňován teplotou. Výsledná hodnota odporu při měření se bude rovnat součtu neznámých odporů vodičů  $R_1$ ,  $R_2$  a odporu elementu v senzoru  $R_E$ . [13][14]

Ke kompenzaci této chyby je možné použít třívodičové nebo čtyřvodičové zapojení. Na obrázku 3.1 b) je zachycen princip třívodičového zapojení. Dva vodiče jsou připojeny na jednu stranu a jeden vodič na druhou stranu senzoru. Za předpokladu, že jsou všechny vodiče identické, platí  $R_1 + R_2 = R_2 + R_3$ . Hodnotu  $R_2 + R_3$  je možné naměřit mezi vodiči 2 a 3. Mezi vodiči 1 a 2 je hodnota  $R_E + R_1 + R_2$ . Známý odpor  $R_1 + R_2$  je třeba odečíst a výsledkem je relativně přesná hodnota odporu na senzoru. [14]

Čtyřvodičové zapojení je zobrazeno na obrázku 3.1 c). Mezi vnějšími vodiči 1 a 4

prochází proud. Úbytek napětí je měřen mezi vnitřními vodiči 2 a 3. Jelikož platí  $U = R \cdot I$ , je možné získat odpor pouze na senzoru. Toto zapojení měří správnou hodnotu i v případě, kdy jednotlivé přívodní vodiče nemají stejný odpor. [14]

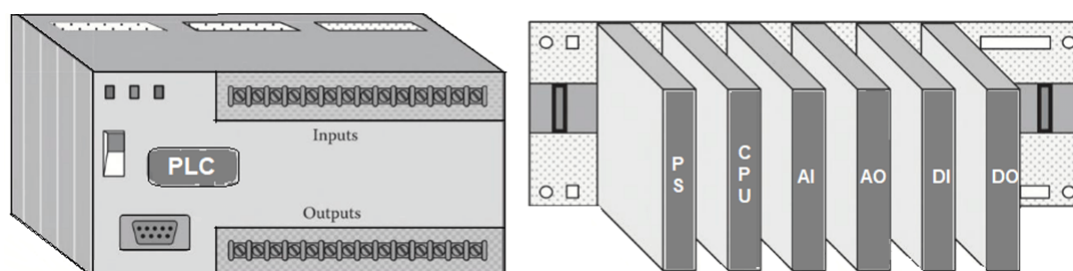
Pro měření byly zvoleny tyto senzory, typu PT1000.



Obrázek 3.1: a) dvouvodičové, b) třívodičové, c) čtyřvodičové zapojení RTD senzoru, převzato z [14]

## 3.2 PLC systém

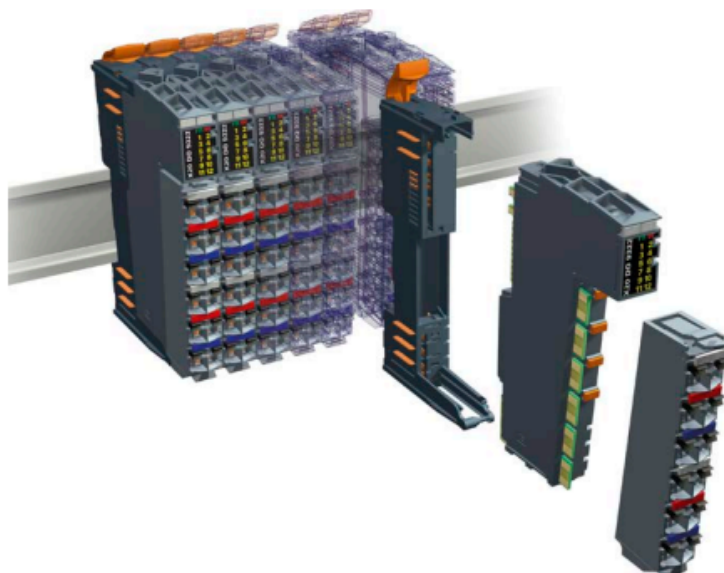
Dle [15] je možné PLC systémy rozdělit na kompaktní a modulární. Kompaktní systém je dodáván jako jeden celek. To znamená, že procesor (CPU), zdroj napájení a všechny vstupy a výstupy jsou integrovány. Modulární systém se skládá z individuálního zdroje napětí, procesoru a vstupních a výstupních modulů (I/O), které jsou instalovány na montážní lištu (například DIN lišta). Zatímco kompaktní PLC je zpravidla levnější, výhoda modulárního systému spočívá v možnosti jeho úpravy a rozšíření. [15]



Obrázek 3.2: Kompaktní (vlevo) a modulární (vpravo) PLC systém, převzato z [15]

Systém X20 je modulární PLC, takže je rozdělen na moduly. Každý modul je rozdělen na tři vrstvy, jak je zobrazeno v obrázku 3.3 - sběrnice modul, elektronický modul a terminálový modul. Sběrnice modul slouží k rozvodu napájení a dat, elektronický modul vykonává potřebné funkce a terminálový modul se používá k připojení vodičů. Výhodou tohoto rozdělení je například možnost zapojit vodiče do terminálního modulu zvlášť a ten následně vsadit do elektronického modulu. Při poruše elektronického modulu je možné ho bez obtíží vyměnit a zapojení zůstane stejné díky oddělenému terminálnímu bloku. [12]

Společnost B&R nabízí velké množství modulů. Pro potřeby této práce je třeba použít CPU modul, napájecí modul a modul pro měření teploty.



Obrázek 3.3: Rozdělení modulů, převzato z [12]

### 3.2.1 Modul CPU a zdroj napětí

Důležitou částí každého řídicího systému je jeho procesor. V systému X20 je na výběr více modulů CPU. Každý modul má své výhody a nevýhody. Zde je třeba sledovat ekonomickou stránku, ale i požadavky na výkonnost procesů. Všechny procesory jsou kompatibilní s I/O moduly a je možné je tak přímo spojit dohromady. [12]

Pro zvolené měření byl použit CPU modul pod označením Compact-S, přesněji model X20CP0484. Se šířkou 37,5 mm je tento procesor velmi kompaktní, ale zároveň i relativně výkonný. Procesor se používá v oblastech, kde je dostačující doba cyklu až v jednotkách milisekund a zároveň je třeba sledovat poměr nákladů a užítkovost. [12]

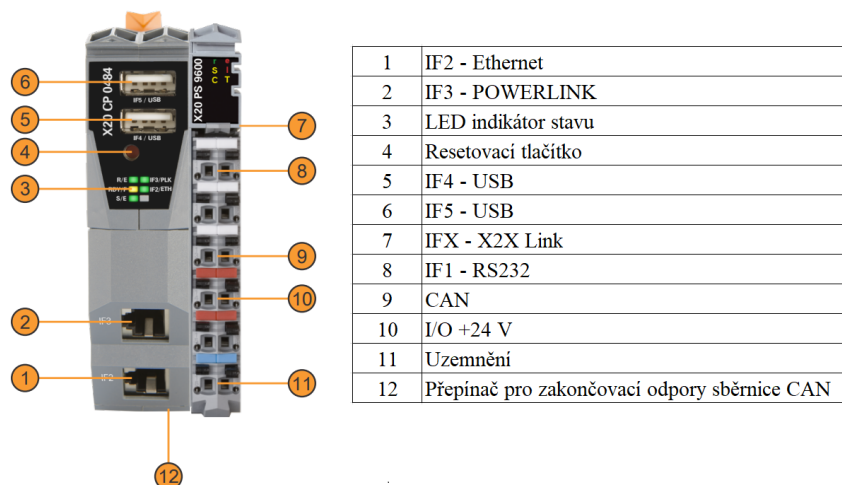
Frekvence procesorů Compact-s se pohybuje mezi 166 MHz a 667 MHz. Model s označením X20CP0484 patří mezi výkonnější CPU moduly v této kategorii a hodinový takt jeho procesoru nabývá 667 MHz. Procesor je vybaven pamětí RAM o velikosti 256 MB flash pamětí o velikosti 2 GB. Doba cyklu tohoto modelu nabývá až 0,4 ms. Modul je navržen bez baterie a chladiče. [12]

Funkčnost modulu je omezena provozními podmínkami. Hodnoty maximálních teplot pro správnou funkčnost modulu se odvíjí od horizontální či vertikální montáže. v případě horizontálního připevnění se okolní teploty pohybují od -25 do 60 °C, v případě vertikálního připevnění jsou hodnoty od -25 do 50 °C. Při instalaci zařízení nad 2000 m nadmořské výšky se okolní teploty redukuje o 0,5 °C na každých 100 m. Okolní teplota pro převoz nebo skladování se pohybuje od -40 do 85 °C. Vlhkost okolí pro správnou funkčnost zařízení se při provozu, skladování i transportu musí pohybovat v intervalu 5 až 95 % a zároveň nesmí nastat kondenzace. Stupeň krytí je IP20, zařízení je tedy vhodné k montáži do rozvaděče. [12]

Společnost B&R nabízí i moduly X20c s možností operace v horších podmínkách. Tyto

moduly obsahují ochrannou vrstvu pro elektrické komponenty. Vrstva chrání X20c moduly před kondenzačními vlivy a korozivními plyny. X20c moduly jsou plně kompatibilní s X20 moduly. [12]

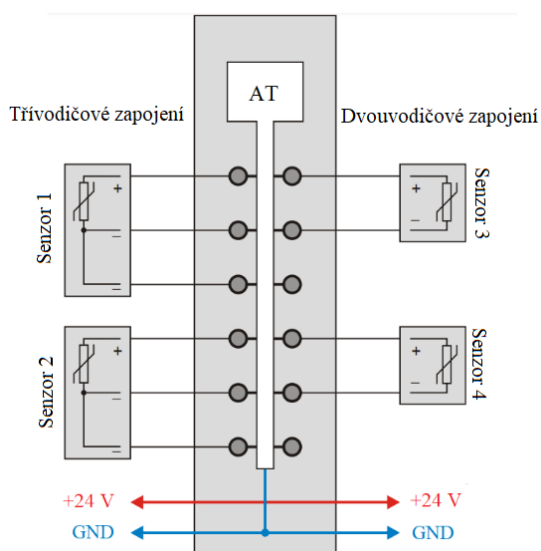
Společně s procesorem Compact-s se používá modul zdroje napětí X20PS9600. Ten slouží k napájení procesoru, X2X sběrnice a I/O modulů. [12]



Obrázek 3.4: CPU společně se zdrojem napětí, převzato z [12]

### 3.2.2 Modul pro měření teploty

Pro měření teploty byly zvoleny RTD senzory typu PT100 nebo PT1000. Pro připojení těchto senzorů je zapotřebí modul pro měření teploty. V této bakalářské práci byl konkrétně použit modul X20AT4222. Ten je vybaven vstupy až pro čtyři senzory. Sensory PT100 i PT1000 je možné do modulu zapojit dvouvodičově nebo třívodičově.



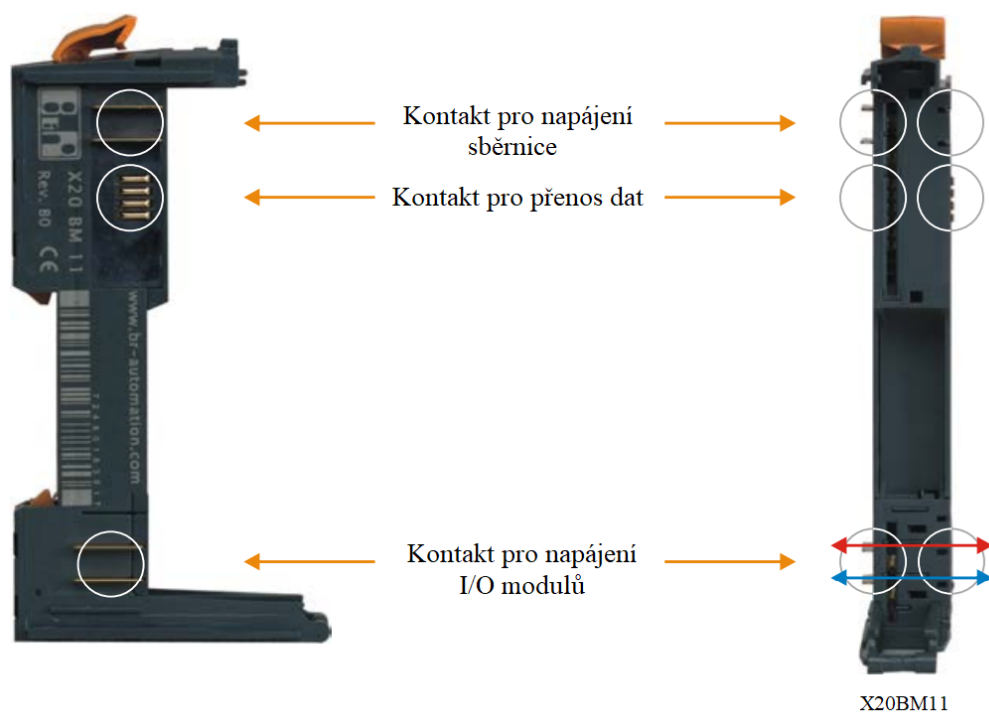
Obrázek 3.5: Ukázka zapojení modulu na měření teploty, převzato z [12]

### 3.2.3 Rozvod energie

Za základ celého X20 systému lze považovat sběrnice modul. Ten dokáže fungovat samostatně, i bez připojení elektronického modulu. Úkolem těchto modulů je rozvádět napájení a data mezi ostatními moduly. Na obrázku 3.6 jsou zobrazeny kontakty sběrnice modulu. Horní kontakt slouží k napájení integrované X2X Link sběrnice. Kontakt těsně pod ním zajišťuje přenos dat mezi I/O moduly a procesorem. Dolní kontakt slouží k napájení I/O modulů. [12]

Napájení sběrnice a I/O modulů jsou navzájem izolované, to přináší výhodu. V případě poruchy na straně I/O modulu, sběrnice nadále pracuje, díky tomu je případně možné i odhalit porouchaný I/O modul. [12]

Pro správnou funkčnost X2X Link sběrnice je třeba po každých 30 modulech přidat modul zdroje napětí. [12]



Obrázek 3.6: Sběrnice modul, převzato z [12]

## 4 Realizace monitoringu a evaluace

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo vytvořit PLC programy pro měření a vyhodnocení zvolených provozních signálů. Dále bylo třeba toto měření vizualizovat a nastavit alarmy pro zvolené mezní hodnoty. V této kapitole jsou popsány všechny důležité části a postup při plnění tohoto úkolu.

### 4.1 Výběr konkrétních senzorů

Pro měření byly použity senzory RTD. Tyto senzory jsou velmi přesné, imunní vůči elektrického šumu a jejich odezva na změnu teploty je relativně rychlá. Pro měření bylo třeba zvážit výhody a nevýhody různých typů RTD senzorů a jejich zapojení.

Standardně se používají senzory vyrobené z platiny, jejichž nominální odpor při teplotě  $0\text{ °C}$  je 100 nebo 1000  $\Omega$ . Tyto senzory jsou známé pod zkratkou PT100 a PT1000. Linearita teplotní křivky, teplotní rozsah, odezva na změnu teploty jsou pro PT100 i PT1000 stejné. Kvůli rozdílné nominální rezistivitě jsou senzory PT1000 přesnější pro čtení menších tepelných rozdílů. Rozdíl je evidentní například při použití dvou vodičového zapojení, kde vzniká chyba kvůli odporu vodičů mezi senzorem a zařízením. Zatímco u senzoru PT100 může být chyba  $\pm 1,0\text{ °C}$ , chyba na PT1000 bude při stejném zapojení  $\pm 0,1\text{ °C}$ . Hlavní výhodou PT100 senzorů je jejich dostupnost. Vyrábějí se drátově navíjené i jako tenkovrstvé. Zatímco PT1000 senzory jsou téměř vždy vyráběné pouze tenkovrstvě. [16]

Senzory je možné zapojit dvou, tří nebo čtyřvodičově. Způsob zapojení ovlivňuje chybu měření způsobenou odporem vodičů. Dvou vodičové zapojení je nejjednodušší, ale dochází zde k největší chybě. V třívodičovém zapojení je chyba omezena, za předpokladu, že jsou všechny vodiče stejné. U čtyřvodičového zapojení se měří pouze odpor senzoru a nezáleží tak na délce přívodních vodičů. Tato zapojení jsou detailněji popsána v kapitole 3.1.4.

Jelikož délka přívodních vodičů použitých v této bakalářské práci není příliš velká, bylo vhodné použít nejjednodušší, dvou vodičové zapojení. Odpor PT1000 byl vybrán kvůli jeho přesnosti a menší chybě měření.

### 4.2 Volba programovacího jazyka

Pro veškeré programování a vizualizace PLC systému byl použit vývojový software od společnosti B&R Industrial Automation GmbH, Automation Studio. Tento software nabízí využití mnoha různých programovacích jazyků, kde každý má své výhody a nevýhody. Mezi tyto jazyky patří:

- ANSI C/C++



- Structured text - strukturovaný text
- Continuous function chart - jazyk kontinuálního funkčního obvodu
- Instruction list - jazyk mnemokódů
- Function block diagram - diagram funkčních bloků
- Ladder diagram - reléové schéma
- Sequential function chart - jazyk sekvenčního programování
- B&R Automation basic.

Structured text je společně s jazyky instruction list, function block diagram, ladder diagram a sequential function chart, součástí normy IEC 61131-3. Tato norma se zabývá základní softwarovou architekturou a programovacími jazyky pro PLC. [17]

Nejpoužívanějším jazykem pro programování PLC je dle [17] ladder diagram. Jedná se o grafický programovací jazyk a připomíná sérii elektrických obvodů, kde u každého je třeba připojit vstupy. Podobným jazykem je function block diagram. Ten se skládá z bloků připojených za sebe do sekvence. Výhodou tohoto jazyku je ještě větší přehlednost, a to i pro uživatele bez větších programátorských zkušeností.

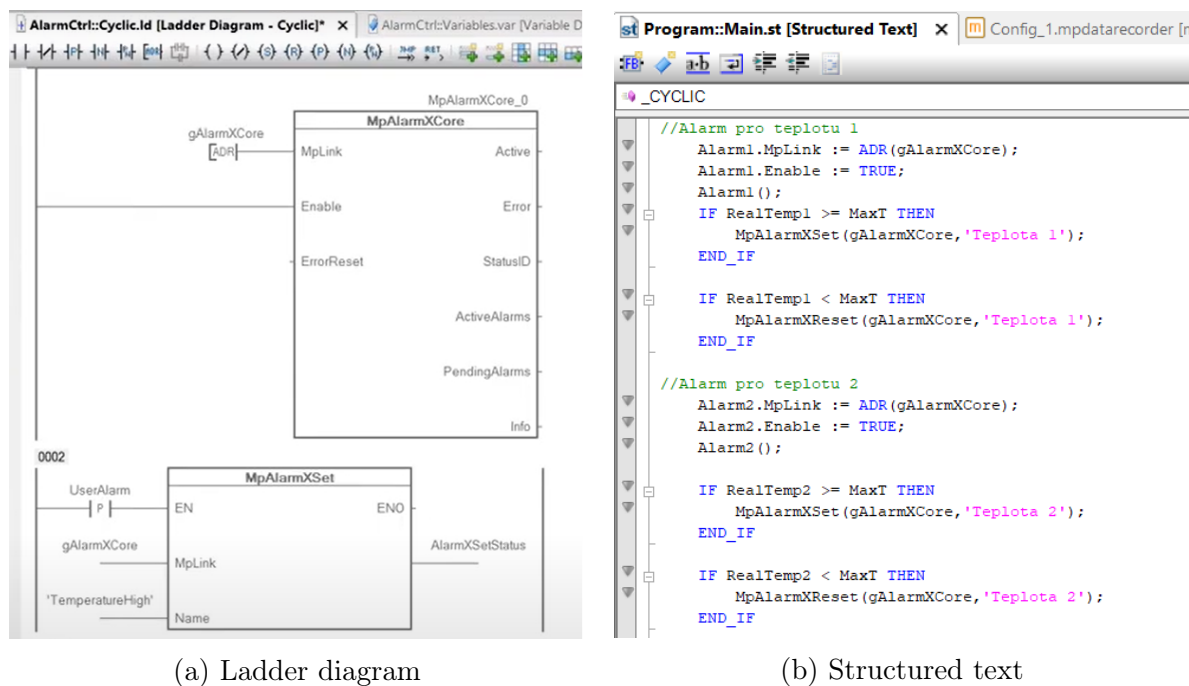
Mezi jeden z nejznámějších a nejvíce používaných jazyků patří právě jazyk C, popřípadě od něj odvozený programovací jazyk C++. Výhodou ANSI C/C++ je jeho široká možnost využití a flexibilita. Tento jazyk lze implementovat do většiny různých zařízení bez potřeby větší změny a zásahu v kódu. Tento jazyk byl vhodným kandidátem při volbě programovacího jazyka, avšak díky jednoduchosti, lepší přizpůsobenosti pro programování PLC a většímu množství dostupných pomocných podkladů byl vybrán structured text, v překladu strukturovaný text. Structured text je zároveň velmi podobný jazyku C, se kterým už má autor této bakalářské práce zkušenosti.

## 4.3 Vizualizace

Vizualizace byla provedena v Automation Studiu pomocí nástroje mapp View. Různé vizuální prvky se nazývají widgety. Ty je možné umisťovat jednoduše pomocí operace drag and drop (táhní a pusť) na požadované místa ve vizualizovaném okně. Komunikace mezi widgety a proměnnými hodnotami z PLC je zprostředkována pomocí protokolu OPC UA. Vizualizace následně probíhá ve webovém prohlížeči. Ukázka první stránky vizualizace je zobrazena na obrázku 4.2.

Ve vizualizaci byly využity widgety NumericOutput, Image, AlarmList, AlarmListItem, OnlineChart, Label, Line, Ellipse.

Pro vizualizaci měřených teplot byl použit číselný výstup. Tento widget se nazývá NumericOutput. Zde je možné nastavit jednotky, počet desetinných míst, velikost widgetu



Obrázek 4.1: Ukázka programu psaná různými programovacími jazyky

a mnoho dalších. NumericOutput byl dále použit pro zobrazení relativní rychlosti stárnutí, životnosti při zvolené nominální teplotě 100 °C a aktuální nejvyšší teploty.

Widget Image, nebo-li obraz, byl použit pro umístění obrázků do vizualizace. Mezi podporované formáty patří .png, .jpg, .svg, .gif a .bmp. Obrázky použité v této bakalářské práci jsou ve formátu .png. Tento widget byl použit k vyobrazení části statoru elektrického točivého stroje a jako legenda pro rozeznání aktivního a neaktivního alarmu.

Všechny grafy vložené do vizualizace byly vytvořeny pomocí widgetu OnlineChart. Ten zobrazuje aktuální průběh hodnot pomocí časového grafu. Délka časové osy lze nastavit pouze jako konstantní hodnotu. Měřítko osy y lze nastavit buď jako proměnné nebo jako neproměnné.

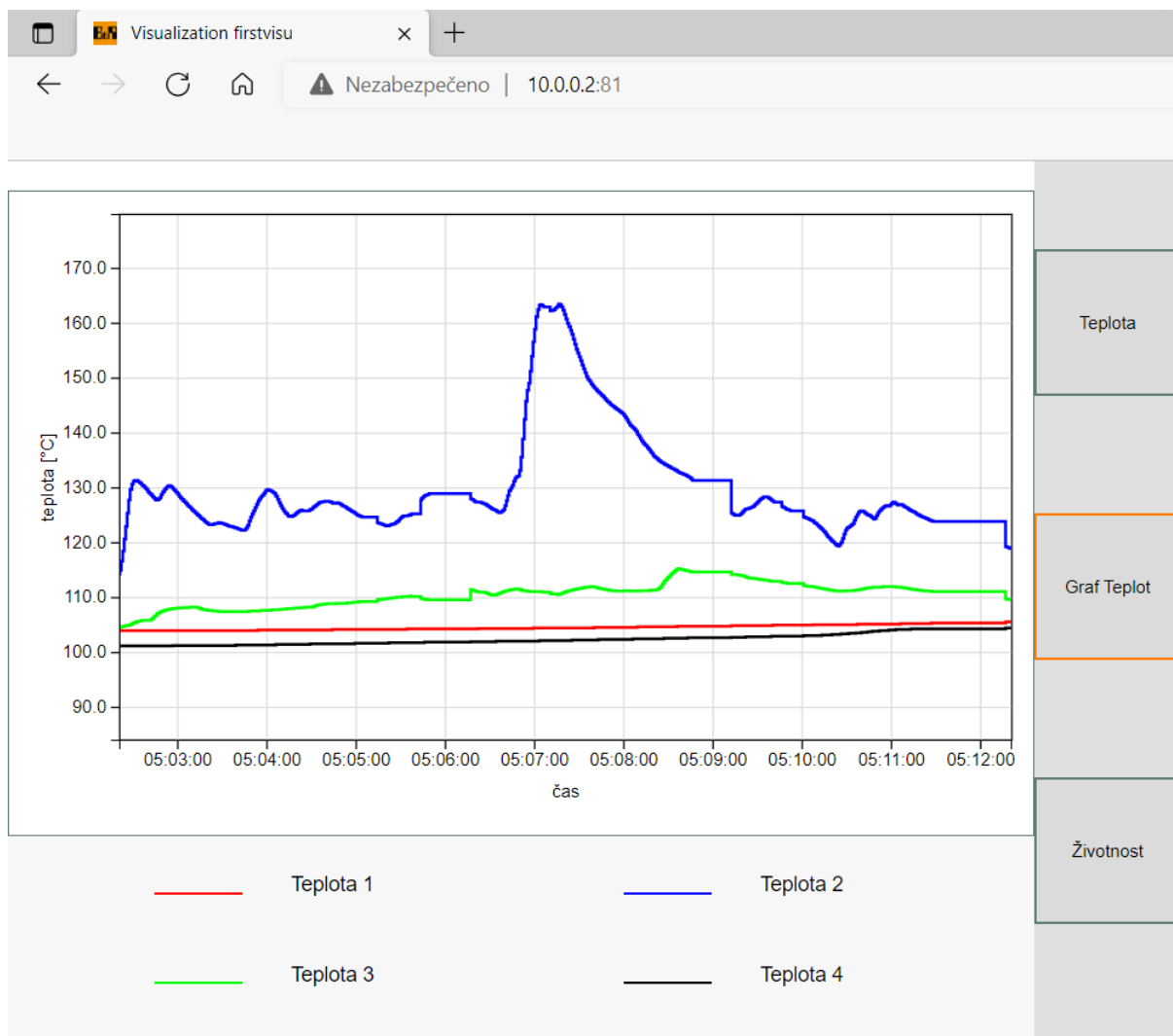
Pro zobrazení všech popisků byl použit widget Label. Ten slouží jako jednoduchý nástroj pro zobrazení různě naformátovaného textu.

Widgety AlarmList a AlarmListItem byly použity pro nastavení alarmů. Více informací k nastavení alarmů je uvedeno v sekci 4.4.

Zbylé widgety, Line (čára) a Elipse (elipsa), jsou použity k detailním úpravám vizualizace.

## 4.4 Nastavení alarmů

Nastavení alarmů bylo provedeno v Automation Studiu pomocí komponentu mapp AlarmX. Pro správnou funkčnost alarmu bylo třeba přidat konfigurační prvek s názvem mpAlarmX-Core. MpAlarmXCore obsahuje odkaz (MpLink), který unikátně identifikuje tento prvek a pomocí tohoto odkazu jej lze v programu nebo vizualizaci volat. Dále je zde možné



Obrázek 4.2: Ukázka vizualizace grafu teplot

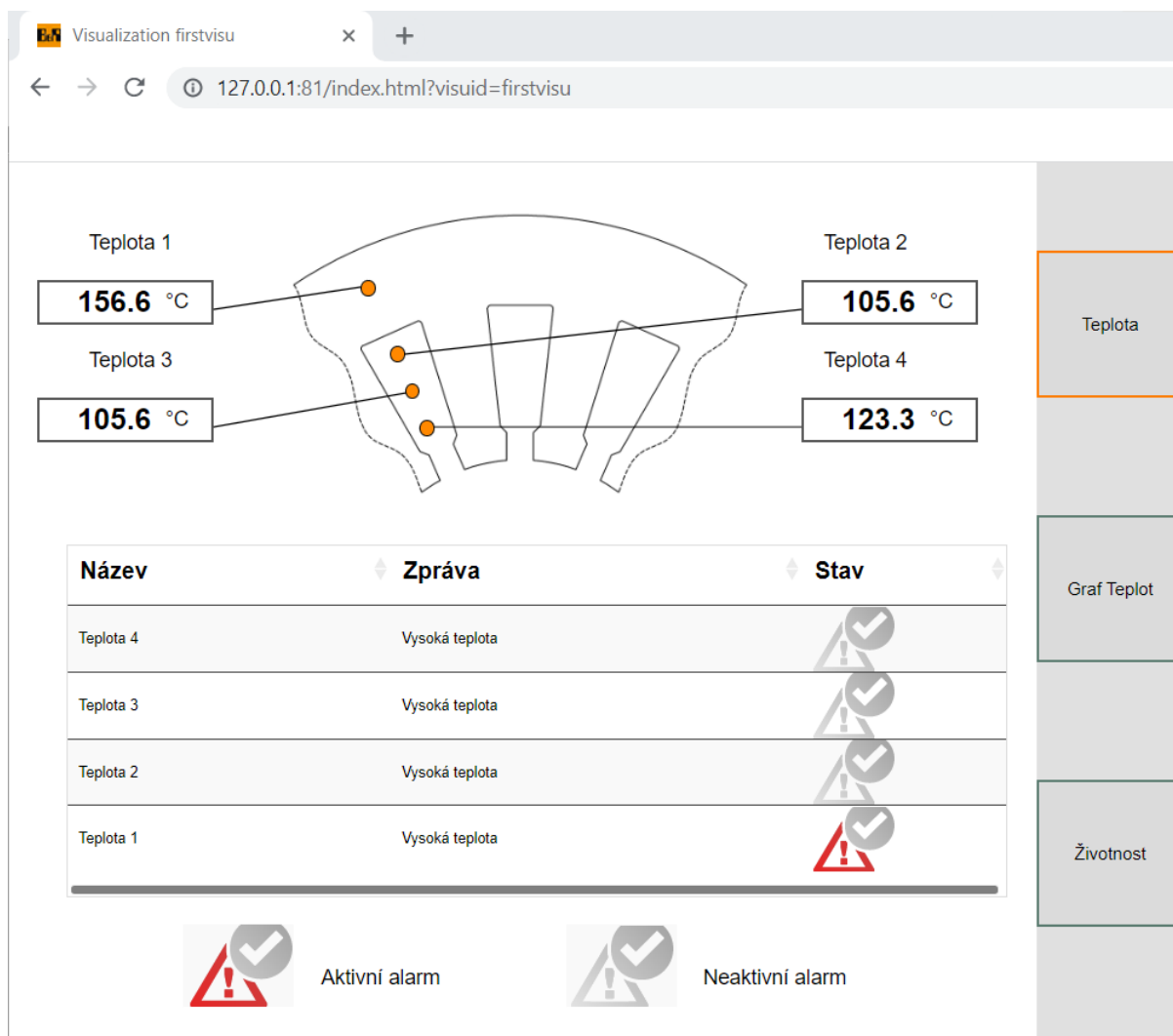
nastavit další alarmy pro různé proměnné hodnoty.

V programovací části bylo zapotřebí vytvořit proměnné hodnoty typu MpAlarmX-Core. Vytvořeny byly čtyři proměnné, každá pro jiný senzor. Ty se dále propojily pomocí MpLinku s konfiguračním prvkem. Podmínky spouštění a vypínání alarmů byly naprogramovány pomocí funkce MpAlarmXSet a MpAlarmXReset. Dále byla použita funkce IF, jenž slouží k vykonání příkazu na základě nastavené podmínky. Ukázka programu pro nastavení alarmů je na obrázku 4.1 b).

Vizualizace byla provedena pomocí prvku mapp View. Pro zobrazení alarmů bylo třeba použít widgety AlarmList a AlarmListItem. AlarmList je možné vložit do vizualizace a nastavit jeho formát, vzhled, počet alarmů na stránku a mnoho dalšího. Zároveň je třeba nastavit MpLink, tedy způsob komunikace mezi programem a vizualizací. AlarmListItem slouží k přidání sloupců informací, jako například název, zpráva, stav, čas, popřípadě doplňující informace alarmu atd.

Nastavení alarmu bylo provedeno takovým způsobem, aby došlo k jeho aktivaci v případě, že teplota v daném místě přesáhne hodnotu 150 °C. V tomto případě se v seznamu

zobrazí alarm a jeho stav bude znázorněn červeným trojúhelníkem s vykřičníkem. V případě, že teplota zase klesne pod hodnotu 150 °C, alarm nadále zůstane v seznamu, ale jeho stav bude zobrazen šedým trojúhelníkem. Legenda byla doplněna pomocí widgetů Image a Label, AlarmList nenabízí možnost legendy.



Obrázek 4.3: Ukázka vizualizace teploty a alarmů

## 4.5 Model stárnutí

Nad rámec zadání této bakalářské práce byl do měřicího systému implementován model tepelného stárnutí, díky kterému je možné určit zbytkovou životnost zařízení na základě měřených hodnot teploty za předpokladu, že sledované zařízení stárne vlivem zvýšené teploty nad nominální hodnotu.

Zbytková životnost je počítána pomocí rovnice:

$$\tau = 2 \cdot 10^{20} \cdot T^{-7,686}, \quad (4.1)$$

kde  $\tau$  je zbytková životnost,  $T$  je teplota a hodnoty  $2 \cdot 10^{20}$  a  $-7,686$  jsou empiricky získané konstanty. Tyto konstanty byly poskytnuty Katedrou materiálů a technologie na Západočeské univerzitě v Plzni.

Pro výpočet zbytkové životnosti bylo třeba naprogramovat dvě rovnice. První rovnice udává hodnotu životnosti při nominální teplotě  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , jedná se tedy o konstantní hodnotu, která byla zvolena za účelem testování algoritmu. Druhá rovnice představuje aktuální životnost. Zde se místo nominální teploty dosazuje nejvyšší aktuální naměřená teplota v zařízení, která je určována samostatnou částí programu. Pokud jsou výsledky obou rovnic vzájemně porovnány, je získána hodnota relativní rychlosti stárnutí:

$$RRS = \frac{\tau_n}{\tau_a}, \quad (4.2)$$

kde RRS je relativní rychlost stárnutí,  $\tau_n$  je životnost při nominální teplotě a  $\tau_a$  je aktuální životnost dle aktuálně změřené teploty.

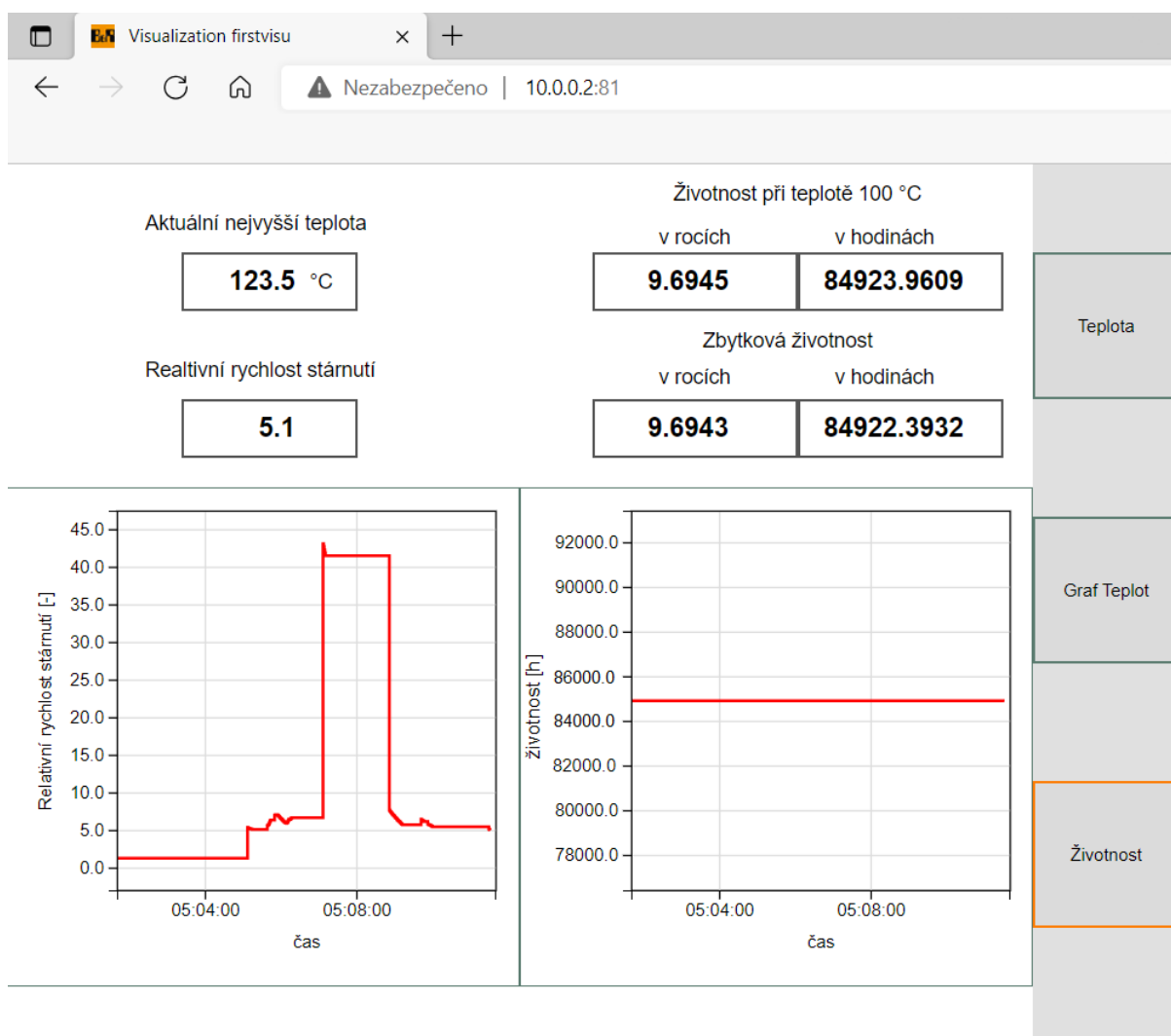
Zároveň byla přidána podmínka, která zaručila, aby relativní rychlost neklesla pod hodnotu 1, v případě, že nominální teplota nabývá vyšších hodnot než aktuální nejvyšší hodnota. V takovém případě nedochází k degradaci vlivem zvýšené teploty, ale přesto je nutno uvažovat úbytek navržené životnosti zařízení alespoň v reálném čase, což právě zajistí zmíněná podmínka.

PLC program probíhá v cyklech, délka cyklu byla nastavena na jednu sekundu, což je v případě měření teploty dostačující časový interval, jelikož se teplota nemění dynamicky, ale pozvolna. Výpočet zbytkové životnosti probíhal tak, že se v každém cyklu programu odečetl uplynulý čas přenásobený aktuální hodnotou relativní rychlosti stárnutí.

K výpočtům životnosti byla přidána i vizualizace. Ve vizualizaci je možné sledovat aktuální hodnoty zbytkové životnosti, nominální životnost, aktuální relativní rychlost stárnutí a aktuální nejvyšší teplotu. Zbytková životnost a relativní rychlost stárnutí jsou navíc zobrazeny i pomocí grafu.

## 4.6 Záznam měření

Pro záznam měření byl, obdobně jako pro nastavení alarmů, použit komponent z balíku mapp Services, mapp Data. Do Automation Studia byl přidán konfigurační prvek MpDataRecorder. Zde je možné nastavit maximální velikost souboru (v případě dosažení maximální velikosti souboru se hodnoty ukládají do nově vytvořeného souboru) a maximální počet souborů. Dále je možné nastavit formát souboru (CSV nebo PDF). MpDataRecorder obsahuje název MpLinku. MpLink je použit jako odkaz pro identifikaci MpDataRecorderu v programu. Maximální velikost souboru byla nastavena na 1000 kB a počet souborů na 1000. Soubor se ukládá ve formátu CSV a název MpLinku je gDataRecorder. MpDataRecorder obsahuje i různá další nastavení, která nejsou však pro účel této bakalářské práce podstatné.



Obrázek 4.4: Ukázka vizualizace životnosti

V programu byly použity dva funkční bloky pro nastavení ukládání, MpDataRecorder a MpdataRegPar. MpDataRecorder slouží například k nastavení adresy úložiště souborů a výběru režimu ukládání. Mezi režimy ukládání patří například časový režim (mpDATA\_RECORD\_MODE\_TIME), kde se hodnoty ukládají v daném časovém intervalu, nebo hodnotový režim (mpDATA\_RECORD\_MODE\_VALUE), kde se hodnoty ukládají při každé změně hodnoty. MpDataRegPar byl použit k výběru proměnných, které bylo třeba ukládat. Pro správnou funkci obou funkčních bloků je třeba nastavit adresu MpLinku.

Záznam měření byl nakonfigurován pro ukládání do úložiště v osobním počítači, kde se hodnoty proměnných ukládají každou sekundu ve formátu CSV. Ukládání bylo nakonfigurováno a otestováno v simulačním režimu ve vývojovém prostředí Automation Studio. Pro nastavení ukládání v rámci skutečného provozu by bylo zapotřebí zvolit, zda se mají data ukládat do vnitřní paměti PLC, na USB disk či na FTP server, což by bylo provedeno v závislosti na konkrétní požadavky a případnou síťovou konfiguraci pracoviště.

## 4.7 Testování

Za účelem testování byly použity různé běžně dostupné zdroje tepla v místnosti. Jeden senzor byl položen na topné těleso, druhý do blízkosti PLC zařízení, kde byla teplota mírně vyšší než teplota okolí. Zbylé dva senzory snímaly teplotu na rozdílných stranách místnosti. Pro dosažení teploty, jenž spustí alarm je možné použít například fén. K naměřeným hodnotám byla v programu přidána konstanta 80 °C, za účelem simulace potenciální skutečné teploty, která se může v elektrickém stroji objevit. Hodnoty lze mimo jiné měnit v simulačním režimu Automation Studia.

Ve vizualizaci by bylo vhodné uskutečnit několik úprav, které však Automation Studio neumožňuje nebo se tyto funkce nepodařilo nalézt. Online grafy začínají zobrazovat hodnoty až v momentě, kdy se spustí okno vizualizace. Zároveň není možné nastavit proměnnou časovou osu, nelze tak vidět celý průběh sledovaných veličin, ale pouze poslední časový úsek.

## 5 Závěr

Bakalářská práce se věnuje on-line diagnostice elektrických strojů a tvorbě programů pro měření a vyhodnocování zvoleného degradačního faktoru, teploty. Práce je rozdělena na čtyři kapitoly, z toho první dvě se věnují teorii ohledně diagnostiky a životnosti elektrického zařízení a ve zbylých dvou kapitolách je popsán způsob realizace, vizualizace a vyhodnocení teploty v elektrickém stroji. Zároveň je zde popsán PLC systém a použité senzory.

V první kapitole této bakalářské práce jsou popsány základní pojmy diagnostiky. Jsou zde popsány dvě základní etapy použití diagnostiky. V etapě výroby má diagnostika dopad hlavně z ekonomického hlediska. V etapě provozu je možné diagnostiku použít navíc jako nástroj ke sledování zvolených parametrů a ukládání dat s jejichž pomocí lze predikovat budoucí stav zařízení. Dále je zde popsán rozdíl mezi on-line a off-line diagnostikou a vysvětleny všechny základní části pro vytvoření diagnostického systému.

Druhá, stále teoretická, kapitola se již věnuje určování životnosti a spolehlivosti elektrického zařízení. Zde jsou rozebrány dva možné přístupy určování životnosti, a to pomocí statistiky a pravděpodobnosti nebo na základě úrovně působících degradačních faktorů. Pro určování životnosti na základě úrovně působících degradačních faktorů se používají modely stárnutí. V kapitole jsou modely stárnutí popsány a rozděleny dle druhu degradačního faktoru. Velký důraz byl kladen především na model tepelného stárnutí. Pro určení spolehlivosti pomocí statistiky se používají různé funkce, ty jsou v kapitole přehledně vypsané a vysvětleny. Zmíněna je i vanová křivka, která slouží ke grafickému zobrazení intenzity poruch výrobku v celé provozní fázi životního cyklu. Teoretická část splňuje dva první ze stanovených cílů této bakalářské práce.

Třetí kapitola se zabývá praktickou částí bakalářské práce. Je zde popsán měřicí systém použitý pro získání teploty. Jsou zde uvedeny základní druhy senzorů a jejich výhody a nevýhody, na jejichž základě se pak vybíraly senzory použité v této práci. Dále je zde popsán PLC systém použitý pro účely splnění cílů této bakalářské práce, a to včetně jeho vlastností, součástí a funkcí.

Poslední, čtvrtá, kapitola popisuje realizaci měření a vizualizace. V první části jsou popsány RTD senzory, které jsou použité pro měření. Důvod pro jejich výběr spočíval hlavně v jejich relativně velké přesnosti a menší chybě měření. Dále jsou zde popsány programovací jazyky, které bylo možné využít při tvorbě PLC programů. Zvoleným jazykem pro psaní kódů byl structured text, kvůli jednoduchosti a množství dostupných pomocných podkladů. Jedním z hlavních úkolů této bakalářské práce byla tvorba vizualizace. Ta probíhala v prostředí Automation Studia pomocí takzvaných widgetů, které jsou v této části popsány. Další podkapitola se zabývá nastavením alarmů a jejich vizualizací. Je zde popsán postup nastavení a způsob funkce alarmů. V závěru této kapitoly byl popsán způ-



sob testování celého systému. Tato kapitola obsahuje popis naplnění třetího a čtvrtého cíle zadání této práce v požadovaném rozsahu.

Nad rámec zadání bakalářské práce byl do měřicího systému implementován model tepelného stárnutí, který určoval zbytkovou životnost zařízení na základě měřených teplot a zároveň bylo nakonfigurováno ukládání dat prováděného měření.

# Seznam použité literatury

- [1] MENTLÍK, Václav. *Diagnostika elektrických zařízení*. BEN - technická literatura, 2008. ISBN 978-80-7300-232-9.
- [2] KREIDL, Marcel. *Diagnostické systémy*. Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02349-4.
- [3] TŮMOVÁ, Olga; PIRICH, Dušan. *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7043-247-0.
- [4] SVOBODA, Michal; TRNKA, Pavel; SOUČEK, Jakub. Electric material model aging for online diagnostic systems. In: *2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*. 2012, s. 987–990. Dostupné z DOI: 10.1109/CMD.2012.6416320.
- [5] SOUČEK, Jakub; TRNKA, Pavel. A new statistical-physical model to the description of aging of electroinsulating systems. In: *Proceedings of the 2014 15th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. 2014, s. 463–466. Dostupné z DOI: 10.1109/EPE.2014.6839532.
- [6] TOMMASINI, Davide. Dielectric insulation and high-voltage issues. *CAS 2009 - CERN Accelerator School: Magnets, Proceedings*. 2011.
- [7] TRNKA, P. Elektrické a kombinované stárnutí izolačních materiálů. 2007.
- [8] TAVNER, P.J.; RAN, Li; PENMAN, Jim; SEDDING, Howard. *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*. 2008. ISBN 978-0-86341-741-2.
- [9] BRIŠ, Radim; LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Statistika II*. 2007. Dostupné také z: <https://home1.vsb.cz/~bri10/Teaching/Statistika/20II/skriptum/>. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita.
- [10] MENTLÍK, Václav; TRNKA, Pavel; TRNKOVÁ, Magdaléna; ŠAŠEK, Lumír. *Spoolehlivostní aspekty elektrotechnologie*. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-412-5.
- [11] KLUTKE, G.A.; KIESSLER, P.C.; WORTMAN, M.A. A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on Reliability*. 2003, roč. 52, č. 1, s. 125–129. Dostupné z DOI: 10.1109/TR.2002.804492.
- [12] *X20 System | B&R Industrial Automation*. Dostupné také z: <https://www.br-automation.com/en-gb/products/plc-systems/x20-system/>.

- [13] PLATT, Charles. *Encyclopedia of Electronic Components Volume 3: Sensors*. 1st. Sebastopol, CA, USA: Maker Media, Inc, 2016. ISBN 1449334318.
- [14] *What is the difference between a 2, 3, and 4 wire rtd?* Omega Engineering Inc, 2021-11. Dostupné také z: <https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-2-3-4-wire-connections>.
- [15] *Difference between Compact PLC and Modular PLC*. Dostupné také z: <https://instrumentationtools.com/difference-between-compact-plc-and-modular-plc/>.
- [16] *Pt100 and Pt1000 Sensors: Important Facts and Differences*. Dostupné také z: <https://blog.wika.us/products/temperature-products/pt100-and-pt1000-sensors-important-facts-and-differences/>.
- [17] *Understanding the IEC61131-3 Programming Languages*. Dostupné také z: [https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products\\_13/product\\_groups\\_1/electric\\_drives\\_and\\_controls\\_/pdfs\\_1/BRC\\_Controller\\_Programming.pdf](https://dc-us.resource.bosch.com/media/us/products_13/product_groups_1/electric_drives_and_controls_/pdfs_1/BRC_Controller_Programming.pdf).

# Seznam obrázků

1.1	Procesy při tvorbě technické diagnostiky a její dopady dle [1] . . . . .	16
1.2	Blokové schéma off-line diagnostiky dle [1] . . . . .	17
1.3	Blokové schéma on-line diagnostiky dle [1] . . . . .	18
2.1	Arrheniův graf pro určení životnosti materiálu, převzato z [6] . . . . .	21
2.2	Převodní vztahy mezi základními ukazateli bezporuchovosti, převzato z [9] . . . . .	23
2.3	Vanová křivka, převzato z [11] . . . . .	24
3.1	a) dvouvodičové, b) třívodičové, c) čtyřvodičové zapojení RTD senzoru, převzato z [14] . . . . .	28
3.2	Kompaktní (vlevo) a modulární (vpravo) PLC systém, převzato z [15] . . . . .	28
3.3	Rozdělení modulů, převzato z [12] . . . . .	29
3.4	CPU společně se zdrojem napětí, převzato z [12] . . . . .	30
3.5	Ukázka zapojení modulu na měření teploty, převzato z [12] . . . . .	30
3.6	Sběrníkový modul, převzato z [12] . . . . .	31
4.1	Ukázka programu psaná různými programovacími jazyky . . . . .	34
4.2	Ukázka vizualizace grafu teplot . . . . .	35
4.3	Ukázka vizualizace teploty a alarmů . . . . .	36
4.4	Ukázka vizualizace životnosti . . . . .	38

# Přílohy

## Seznam příloh

Příloha 1 - Inicializační program pro zvolení horní meze teploty alarmu a nastavení rekorderu pro ukládání dat

Příloha 2 - Cyklický program pro dodatečné nastavení rekorderu a ukládání hodnot

Příloha 3 - Cyklický program pro nastavení alarmů a určení aktuální maximální teploty

Příloha 4 - Program pro výpočet zbytkové životnosti elektrického stroje

**Příloha 1** Inicializační program pro zvolení horní meze teploty alarmu a nastavení rekorderu pro ukládání dat

```
PROGRAM _INIT

//Horni mez teploty
    MaxT := 150;
//DataRecorder
    MpDataRecorder_0.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRecorder_0.Enable := TRUE;
    MpDataRecorder_0.DeviceName := ADR('HD');
//RealTemp1 DATA
    MpDataRegPar_0.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_0.Enable := TRUE;
//RealTemp2 DATA
    MpDataRegPar_1.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_1.Enable := TRUE;
//RealTemp3 DATA
    MpDataRegPar_2.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_2.Enable := TRUE;
//RealTemp4 DATA
    MpDataRegPar_3.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_3.Enable := TRUE;
//RelLife DATA
    MpDataRegPar_4.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_4.Enable := TRUE;
//LifeinHours DATA
    MpDataRegPar_5.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_5.Enable := TRUE;
//MaxTemp DATA
    MpDataRegPar_6.MpLink := ADR(gDataRecorder);
    MpDataRegPar_6.Enable := TRUE;

END_PROGRAM
```

**Příloha 2** Cyklický program pro dodatečné nastavení rekorderu a ukládání hodnot

```
PROGRAM _CYCLIC
```

```
//Volani rekorderu
```

```
    MpDataRecorder_0();
```

```
//Nastaveni modu ukladani dat
```

```
    MpDataRecorder_0.RecordMode := mpDATA_RECORD_MODE_TIME;
```

```
//Nastaveni intervalu ukladani dat
```

```
    MpDataRecorder_0.SamplingTime := T#00d_00h_00m_01s_000ms;
```

```
//Zvoleni ukladanych hodnot
```

```
    MpDataRegPar_0();
```

```
    MpDataRegPar_0.PVName := ADR('Program:RealTemp1');
```

```
    MpDataRegPar_1();
```

```
    MpDataRegPar_1.PVName := ADR('Program:RealTemp2');
```

```
    MpDataRegPar_2();
```

```
    MpDataRegPar_2.PVName := ADR('Program:RealTemp3');
```

```
    MpDataRegPar_3();
```

```
    MpDataRegPar_3.PVName := ADR('Program:RealTemp4');
```

```
    MpDataRegPar_4();
```

```
    MpDataRegPar_4.PVName := ADR('RelLife');
```

```
    MpDataRegPar_5();
```

```
    MpDataRegPar_5.PVName := ADR('LifeinHours');
```

```
    MpDataRegPar_6();
```

```
    MpDataRegPar_6.PVName := ADR('TempMax');
```

**Příloha 3** Cyklický program pro nastavení alarmů a určení aktuální maximální teploty

```
//Int na Real prevod + pridana hodnota 80 stupnu
//pro simulaci elektrickeho stroje
    RealTemp1 := INT_TO_REAL(Temp1)/10 + 80;
    RealTemp2 := INT_TO_REAL(Temp2)/10 + 80;
    RealTemp3 := INT_TO_REAL(Temp3)/10 + 80;
    RealTemp4 := INT_TO_REAL(Temp4)/10 + 80;
//Alarm pro teplotu 1
    Alarm1.MpLink := ADR(gAlarmXCore);
    Alarm1.Enable := TRUE;
    Alarm1();
    IF RealTemp1 >= MaxT THEN
        MpAlarmXSet(gAlarmXCore, 'Teplota 1');
    END_IF

    IF RealTemp1 < MaxT THEN
        MpAlarmXReset(gAlarmXCore, 'Teplota 1');
    END_IF
//Alarm pro teplotu 2
    Alarm2.MpLink := ADR(gAlarmXCore);
    Alarm2.Enable := TRUE;
    Alarm2();

    IF RealTemp2 >= MaxT THEN
        MpAlarmXSet(gAlarmXCore, 'Teplota 2');
    END_IF

    IF RealTemp2 < MaxT THEN
        MpAlarmXReset(gAlarmXCore, 'Teplota 2');
    END_IF
```



```
//Alarm pro teplotu 3
    Alarm3.MpLink := ADR(gAlarmXCore);
    Alarm3.Enable := TRUE;
    Alarm3();

    IF RealTemp3 >= MaxT THEN
        MpAlarmXSet(gAlarmXCore, 'Teplota 3');
    END_IF

    IF RealTemp3 < MaxT THEN
        MpAlarmXReset(gAlarmXCore, 'Teplota 3');
    END_IF

//Alarm pro teplotu 4
    Alarm4.MpLink := ADR(gAlarmXCore);
    Alarm4.Enable := TRUE;
    Alarm4();

    IF RealTemp4 >= MaxT THEN
        MpAlarmXSet(gAlarmXCore, 'Teplota 4');
    END_IF

    IF RealTemp4 < MaxT THEN
        MpAlarmXReset(gAlarmXCore, 'Teplota 4');
    END_IF

//Nejvyšší teplota ze 4 senzorů
    TempMax := MAX(RealTemp4, RealTemp3, RealTemp2, RealTemp1);

END_PROGRAM
```

**Příloha 4** Program pro výpočet zbytkové životnosti elektrického stroje

```
PROGRAM _INIT
```

```
//Konstanty
```

```
TempNom := 100;  
Const1 := 2*EXPT(10,20);  
Const2 := -7.686;
```

```
//Pocatecni hodnoty
```

```
NomLife := Const1*EXPT(TempNom, Const2)*3600;  
NomLifeYears := NomLife/3600/24/365;  
NomLifeHours := NomLife/3600;  
Time := 0;  
LifeinSeconds := NomLife;
```

```
END_PROGRAM
```

```
PROGRAM _CYCLIC
```

```
Time := Time + 1;  
ActLife := Const1*EXPT(TempMax, Const2) * 3600;  
IF NomLife < ActLife THEN  
    ActLife := NomLife;  
END_IF  
IF TempMax = 0 THEN  
    ActLife := NomLife;  
END_IF  
RelLife := NomLife/ActLife;  
LifeinSeconds := LifeinSeconds - (RelLife*1);  
LifeinHours := LifeinSeconds/3600;  
LifeinYears := LifeinHours/24/365;
```

```
END_PROGRAM
```