EKONOMICKÁ FAKULTA TUL

Diplomová práce

Design a diagnostika uživatelského rozhraní průmyslových strojů

Studijní program: N0688A140016 Systémové inženýrství a informatika

Autor práce: **Bc. Matěj Kopecký**

Vedoucí práce: Ing. Dana Nejedlová, Ph.D.
Katedra informatiky

Liberec 2024

EKONOMICKÁ FAKULTA TUL

Zadání diplomové práce

Design a diagnostika uživatelského rozhraní průmyslových strojů

Jméno a příjmení:	**Bc. Matěj Kopecký**
Osobní číslo:	E22000442
Studijní program:	N0688A140016 Systémové inženýrství a informatika
Zadávající katedra:	Katedra informatiky
Akademický rok:	2023/2024

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s běžnými způsoby ovládání strojních zařízení.
2. Analýza problémů uživatelského rozhraní strojů v průmyslu.
3. Realizace vlastního návrhu vylepšení uživatelského rozhraní průmyslových strojů.
4. Návrh metodiky řešení poruch strojů.
5. Posouzení ekonomických efektů navržené metodiky.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy: 65 normostran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: čeština

Seznam odborné literatury:

- BEE, Liam, 2022. *PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal: Develop PLC and HMI programs using standard methods and structured approaches with TIA Portal V17*. Birmingham, UK: Packt Publishing. ISBN 978-1-80181-722-6.
- GAWRON, Valerie Jane, 2019. *Human Performance and Situation Awareness Measures*. 3^{rd} ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. ISBN 978-0-367-00231-2.
- MALEKAR, Avinash, 2021. *Learn everything about factory automation: Practical lessons on PLC, HMI, VFD, Servo programming & machine automation*. Updated edition. Independently published. ISBN 979-8458512527.
- PAUCEANU, Alexandrina Maria; RABIE Nada a MOUSTAFA Ayman, 2020. Employability under the Fourth Industrial Revolution. online. *Economics & Sociology*, vol. 13, no. 3, s. 269-283. ISSN 2071-789X. Dostupné z: https://doi.org/10.14254/2071-789X.2020/13-3/17.
- SCHWAB, Klaus, 2016. *The Fourth Industrial Revolution*. New York, USA: Crown Business. ISBN 978-1-5247-5886-8.

Konzultant: Michal Čermák – výkonný ředitel, Cermitech, spol. s r. o.

Vedoucí práce: Ing. Dana Nejedlová, Ph.D.
Katedra informatiky

Datum zadání práce: 1. listopadu 2023
Předpokládaný termín odevzdání: 31. srpna 2025

L.S.

doc. Ing. Aleš Kocourek, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Klára Antlová, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 1. listopadu 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

6. května 2024 Bc. Matěj Kopecký

Design a diagnostika uživatelského rozhraní průmyslových strojů

Anotace

Cílem diplomové práce je navrhnout úpravu designu uživatelských rozhraní průmyslových strojů, který bude přívětivější a docílí kratších prostojů v průmyslu, zvýší efektivitu práce se stroji díky intuitivnímu uživatelskému rozhraní a sníží faktor lidské chyby. Práce se zaměřuje na teoretické seznámení s typy programovatelných logických automatů (PLC), údržbou a běžnými typy ovládání strojů ve výrobním průmyslu a analyzuje zavedené uživatelské rozhraní. Výstupem diplomové práce je nově navržený design uživatelského rozhraní zobrazující poruchy v reálném čase přímo v rozhraní, dále metodika pro řešení poruch a standard zápisu kategorií alarmů do uživatelské příručky. V závěru práce je ekonomické zhodnocení nastavené metodiky na modelových příkladech.

Klíčová slova

Alarmy, ekonomické zhodnocení, programovatelné logické automaty (PLC), prostoje, údržba, uživatelské rozhraní

Design and Diagnostics of Human-Machine Interface of Industrial Machines

Annotation

The aim of the thesis is to propose a redesign of the user interfaces of industrial machines that will be more user-friendly and achieve shorter downtimes in industry, increase the efficiency of working with machines thanks to intuitive user interfaces and reduce the human error factor. This thesis focuses on the theoretical introduction of programmable logic controller (PLC), maintenance and common machine control types in the production industry and analyzes the established user interfaces. The output of the thesis is a newly proposed user interface design displaying real-time faults directly in the interface, as well as a fault handling methodology and a standard for writing alarm categories in the user manual. The thesis concludes with an economic evaluation of the set methodology using model examples.

Key Words

Alarms, downtime, economic evaluation, maintenance, programmable logic controllers (PLC), user interface

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat rodině a kamarádům, kteří mě ve studiu podporovali. I když není možné zmínit všechny, kteří mě provázeli, rád bych vyjádřil své díky ''vedlebydlícím'', kteří mě již od prváku motivovali ke studiu na ekonomické fakultě. Zažili jsme mnoho nezapomenutelných chvil a společně přežili ''lokální epidemie'' legionely a několik vln covidu. Také bych chtěl poděkovat třem svým spolužákům, kteří mě provázeli již od prvního dne na vysoké škole. Prožili jsme mnoho zábavy, sprintů i stresujících okamžiků ve zkouškovém období. Nejvíce díků patří naší společné spolužačce, která byla jako růže mezi trním. Velké díky patří Michalu Čermákovi za podporu ve studiu a poskytnuté příležitosti. V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit poděkování své vedoucí práce, Ing. Daně Nejedlové, Ph.D. za její cenné rady a nekonečnou trpělivost.

Obsah

Seznam ilustrací (obrázků) 14

Seznam tabulek 15

Seznam zkratek 16

Úvod 17

1. Průmyslová revoluce 19

1.1 První průmyslová revoluce 19

1.2 Druhá průmyslová revoluce 19

1.3 Třetí průmyslová revoluce 20

1.4 Čtvrtá průmyslová revoluce 21

2 Programovatelné logické automaty – PLC 23

2.1 Rozdělení PLC 23

2.1.1 Fixní typy PLC 24

2.1.2 Modulární typy PLC 24

2.2 Hlavní výhody modulárních PLC 27

2.3 Rozdělení PLC podle typu výstupu 28

2.3.1 Relé 29

2.3.2 Tranzistor 29

2.4 Analogové výstupy 30

2.5 Rozdělení podle velikosti 30

2.5.1 Mini PLC 30

2.5.2 Nano PLC 30

2.5.3 Safety PLC 32

3 Údržba 34

3.1 Preventivní údržba 35

3.2 Reaktivní údržba 36

3.3 Prediktivní údržba 37

4 Ovládání strojních zařízení 39

4.1 Rozhraní HMI 43

4.1.1 Princip fungování HMI 44

4.1.2 Přínos HMI v průmyslu 45

5 Analýza ovládání strojů 46

5.1 Rozložení HMI 47

5.1.1 Ergonomie ... 48
5.2 Využití barev u designu ... 49
5.2.1 Forma prezentování informací na HMI ... 50
5.3 Analýza HMI v provozu ... 50
5.3.1 HMI u stanice s elektromotory ... 50
5.3.2 HMI zobrazující diagnostiku ... 53
6 Návrh designu HMI ... 56
6.1 Rozvržení HMI ... 56
6.2 Výběr barevné palety ... 57
6.2.1 Temný režim ... 61
6.2.2 Úsporný režim ... 61
6.3 Vylepšení Layoutu HMI ... 62
6.3.1 Návrh na ovládání motorů ... 67
6.3.2 Návrh spořiče obrazovky ... 69
6.4 Nastavení alarmů ... 70
7 Řešení poruch strojů ... 73
7.1 Aktuální plán údržby ... 75
7.2 Školení personálu ... 76
7.3 Návrh metodiky řešení poruch strojů ... 76
7.3.1 Standard pro alarmy ... 77
7.3.2 Návrh průvodce alarmů v uživatelském manuálu ... 78
7.3.3 Integrace uživatelského manuálu do HMI ... 80
7.3.4 Integrace elektro plánů do HMI ... 81
7.3.5 Navržený design pro sledování stavu stroje v reálném čase ... 81
7.3.6 Využití prostředí S7 GRAPH ... 83
7.4 Shrnutí navržené metodiky a postupů ... 85
8 Ekonomický efekt navržené metodiky ... 86
8.1 Náklady lidských zdrojů ... 86
8.1.1 Náklady lidských zdrojů před zavedením navržené metodiky ... 86
8.1.2 Náklady lidských zdrojů po zavedení navržené metodiky ... 88
8.2 Nepřímé náklady a ušlý zisk ... 89
8.2.1 Náklady prostojů před zavedení navržené metodiky ... 89
8.2.2 Ušlý zisk po zavedení navržené metodiky ... 90
8.3 Posouzení ekonomických efektů navržené metodiky ... 91

Závěr **93**

Seznam použité literatury **94**

Seznam ilustrací (obrázků)

Obrázek 1: Modulární typ PLC 25
Obrázek 2: Modulární PLC z provozu 26
Obrázek 3: Nano PLC s LDC displejem 31
Obrázek 4: Kombinované zapojení Safety PLC 32
Obrázek 5: Ovládací panel s tlačítky 41
Obrázek 6: Ukázka HMI 43
Obrázek 7: Ovládací panel robotů KUKA určen k manipulaci 48
Obrázek 8: HMI výrobní stanice kontrolující těsnost elektromotorů 51
Obrázek 9: 3D vizualizace na HMI 52
Obrázek 10: HMI zobrazující diagnostiku ve firmě X 55
Obrázek 11: Teoretické rozložení HMI panelu 57
Obrázek 12: Paleta neutrálních barev 58
Obrázek 13: Paleta barev pro vizualizaci dat a informací 59
Obrázek 14: Paleta barev pro alarmy a základní stavy 60
Obrázek 15: Vyskakovací navigační menu 63
Obrázek 16: Navržený hlavní panel HMI v TIA Portal 64
Obrázek 17: Zobrazení alarmu na hlavní liště 67
Obrázek 18: Blok pro ovládání elektromotorů 68
Obrázek 19: Navržený design spořiče obrazovky 69
Obrázek 20: HMI stránka s ukázkou alarmů 71
Obrázek 21: Bokorys spirálového zásobníku 74
Obrázek 22: Metoda přidělování ID alarmům 77
Obrázek 23: Navržený design pro sledování stavu v reálném čase – Stav: Porucha 82
Obrázek 24: Navržený design pro sledování stavu v reálném čase – Stav: Připraven 83
Obrázek 25: Ukázka diagramu znázorňující problémové kroky 84

Seznam tabulek

Tabulka 1: Aktuální doporučená údržba od dodavatele 75
Tabulka 2: Indexování podle kategorií alarmů 77
Tabulka 3: Návrh průvodce informačními alarmy do uživatelského manuálu 79
Tabulka 4: Návrh průvodce chybovými alarmy do uživatelského manuálu 79
Tabulka 5: Náklady lidských zdrojů před implementací navržené metodiky na stabilní systém 87
Tabulka 6: Náklady lidských zdrojů před zavedením navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém 87
Tabulka 7: Náklady lidských zdrojů po implementaci navržené metodiky na stabilní systém 88
Tabulka 8: Náklady lidských zdrojů po zavedení navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém 89
Tabulka 9: Náklady způsobené prostoji před implementací navržené metodiky na stabilní systém 90
Tabulka 10: Náklady vyplývající z prostojů před zavedením navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém 90
Tabulka 11: Náklady způsobené prostoji po implementaci navržené metodiky na stabilní výrobní systém 91
Tabulka 12: Náklady způsobené prostoji po zavedení navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém 91

Seznam zkratek

AI	Artificial intelligence, umělá inteligence
CPU	Central processing unit, centrální procesorová jednotka
HMI	Human machine interface, rozhraní mezi člověkem a strojem
PLC	Programmable logic controllers, programovatelný logický automat
UI	User interface, uživatelské rozhraní

Úvod

Průmyslové stroje hrají klíčovou roli v moderní automatizované výrobě. Jejich bezproblémový provoz a efektivnost jsou nezbytné pro docílení maximální produktivity a minimalizaci prostojů. Jsou-li prostoje minimalizovány, je zaručen vyšší ekonomický výnos, jelikož jsou sníženy náklady spojené s opravou, lidské zdroje a stroj může pracovat. Důležitou roli hraje ovládání výrobních strojů pomocí uživatelského rozhraní, díky kterému je umožněno obsluze se stroji operovat a diagnostikovat vzniklé problémy. I přes snahu výrobců vytvořit intuitivní uživatelské rozhraní není operování se stroji vždy snadné. Lidský faktor obsluhy, zdlouhavé zaškolení a celkový diskomfort při práci operátorů naznačují, že v oblasti uživatelského rozhraní průmyslových strojů existuje prostor pro zlepšení.

Cílem této diplomové práce je seznámit se s běžnými metodami ovládání průmyslových strojů a analyzovat problémy, které nastávají v důsledku nedokonalých uživatelských rozhraní ovládacích panelů při běžném provozu. Na základě této analýzy je vypracován vlastní návrh vylepšení uživatelského rozhraní průmyslových strojů a výrobních stanic. Součástí tohoto návrhu je metodika řešení poruch, které se při běžném provozu vyskytují. Metodika má za cíl minimalizovat prostoje, které mají negativní vliv na produktivitu, efektivitu a celkové zisky.

Při tvorbě této diplomové práce byl využit program Gemini pro úpravu textu.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, kde teoretická je věnována programovatelným logickým automatům (PLC), které napomáhají řídit automatizovaný provoz v průmyslu. Je charakterizována jejich funkce včetně rozdělení podle různých typů, které jsou v průmyslu užívány. Následně je definována údržba včetně jejich typů, které jsou v praxi využívány spolu s analýzou ovládání strojních zařízení.

Praktická část je rozdělena do tří částí, kde první část je věnována návrhu vylepšení uživatelského rozhraní u výrobní stanice v reálném provozu firmy, která je v práci uváděna jako „firma X“. Je navržen design, který má za cíl maximalizovat efektivitu práce se stroji. Ve druhé části je navržena metodika řešení poruch strojů, která rozděluje alarmy dle jejich významnosti a přiděluje jim barevné označení spolu s indexem pro nejlepší orientaci a přehlednost. Následně je vytvořen standard, jak popisovat chybové hlášení v uživatelské příručce, která je následně implementována přímo do uživatelského rozhraní. Závěrem je navržen design, který zobrazuje poruchy na výrobní lince v reálném čase v uživatelském rozhraní a nabízí intuitivnost prostředí. Třetí část praktické části je

věnována ekonomickému zhodnocení navržené metodiky vylepšení uživatelského rozhraní, která má za cíl zvýšit efektivitu práce a minimalizovat prostoje, které mohou při provozu vznikat.

1. Průmyslová revoluce

Cesta k technologiím, které denně používáme, byla dlouhá, spletitá a sahala až do dob průmyslové revoluce. Od závislosti na lidské práci až po nástup mechanizace a automatizace. Každý krok připravil půdu pro inovace, které definují náš moderní svět.

1.1 První průmyslová revoluce

Počáteční fáze industrializace, často označovaná jako První průmyslová revoluce, znamenala hlubokou transformaci charakterizovanou rozsáhlou mechanizací a inovacemi. Vznikla ve Velké Británii v polovině 18. a na počátku 19. století, odkud se následně rozšířila do značné části světa. V srdci této revoluce ležela transformační síla páry. 18. století zažilo úsvit této éry, kdy dříve známá parní energie nalezla své nejvýznamnější uplatnění v pohonu továren. Přechod od tkalcovských stavů poháněných svalovou silou k parním strojům drasticky zvýšil lidskou produktivitu. (Schwab, 2016)

Revoluce také zažila nárůst mechanizace, a to zejména v textilním průmyslu. Jednoduché kolovraty byly nahrazeny mechanizovanými verzemi, které dosáhly osminásobného nárůstu produkce ve stejném časovém rámci. Další pokroky, jako parník a (o století později) parní lokomotiva, usnadnily přepravu lidí a zboží na velké vzdálenosti ve výrazně kratším čase. Průmyslovou revoluci lze koncepčně rozdělit do čtyř fází nebo období, z nichž každé se vyznačuje specifickým technologickým pokrokem, který vyvolal zásadní změny v oblasti industriální výroby a společnosti. (Schwab, 2016)

1.2 Druhá průmyslová revoluce

Druhá průmyslová revoluce, dosahující vrcholu na konci 19. století a trvající do počátku 20. století, položila základy nové éry technologického a vědeckého pokroku, která měla výrazný dopad na společnost a formovala moderní ekonomické a vědecké paradigma. V této fázi nejen přinesla technologické inovace, ale také významný vědecký rozvoj, formující průmyslovou výrobu a ovlivňující celou společnost. Vědecko-technologický kontext druhé průmyslové revoluce znamenal rozvoj vědeckých oborů, přičemž vědecké disciplíny v tomto období začaly definovat své vlastní předměty zkoumání a metody. Tento proces vedl k postupnému oddělení filozofie od vědeckého

bádání. Současně s tím vznikaly vědecké instituce, sdružení a nadace, kulminující v udělování Nobelovy ceny od roku 1901. (Tomek a Vávrová, 2017)

V oblasti vědy a techniky druhá průmyslová revoluce přinesla rozvoj chemie a položila základy organické a fyzikální chemie. Tyto nové disciplíny ovlivnily mnoho průmyslových odvětví, včetně textilního průmyslu, zemědělství a farmacie. Darwinova teorie evoluce organismů přirozeným výběrem ovlivnila biologii, zatímco objevy v buněčné stavbě a výzkum infekčních chorob měly zásadní dopad na oblast medicíny. (Tomek a Vávrová, 2017)

Další významné objevy a inovace v této éře zahrnovaly rozvoj dopravy, včetně suchozemské a námořní dopravy, elektrických a parních lokomotiv, vzducholodí, automobilů a letadel. Paralelně s tímto technologickým rozmachem vznikla finanční oligarchie z koncentrace průmyslového a bankovního kapitálu, ovlivňující vedení podniků a bank. Ekonomika liberalismu přešla k monopolizaci výroby, a rychlý obchodní cyklus vedl k růstu nabídky a poklesu poptávky. Toto podnítilo export kapitálu do kolonií a vyvolalo střety mezi velmocemi, včetně první světové války, která přesto přinesla i některé pozitivní aspekty na technologický pokrok a společenské změny. (Tomek a Vávrová, 2017)

1.3 Třetí průmyslová revoluce

Třetí průmyslová revoluce, transformační éra rozvíjející se v druhé polovině 20. století, znamenala paradigmatický posun v přístupu společnosti k moderním technologiím a inovacím. V návaznosti na druhou průmyslovou revoluci, toto období se vyznačovalo konvergencí digitálních, výpočetních a komunikačních technologií, což přineslo éru bezprecedentní konektivity, automatizace a výměny informací.

V samotném středu třetí průmyslové revoluce byl příchod digitálního věku. Vývoj mikroprocesorů a integrovaných obvodů položil základ pro exponenciální nárůst výpočetní síly. Tento nárůst výpočetních schopností, spolu s průlomovými úspěchy v telekomunikacích, znamenal nejen evoluci v zpracování informací, ale také redefinoval samotnou povahu práce, komunikace a každodenního života.

Hlavní charakteristikou tohoto období bylo široké rozšíření a rychlé přijetí internetu, což vedlo k počátku informačního věku. Globální konektivita usnadněná internetem změnila šíření znalostí,

transformovala obchodní praktiky a přetvořila sociální interakce. Elektronický obchod, sociální média a online platformy se staly nezbytnými pro moderní život, přetvářely odvětví a vytvářely nové ekonomické prostředí. (Tomek a Vávrová, 2017)

Třetí průmyslová revoluce také svědčila o významných pokrocích v automatizaci a umělé inteligenci. Robotika a strojové učení revolucionizovaly výrobní procesy, logistiku a odvětví služeb. Vznik internetu věcí (IoT) a průmyslového internetu věcí (IIoT), kteří integrují inteligentní technologie do každodenních předmětů a městské infrastruktury, vytvořil prostředí, kde zařízení komunikují a spolupracují pro zvýšení efektivity a pohodlí.

Obnovitelné zdroje elektrické energie a udržitelnost se dostaly do popředí během této éry, jelikož si lidé začali uvědomovat enviromentální problémy, které se začaly objevovat v důsledku rychlého průmyslového rozvoje. Prozkoumání složitostí třetí průmyslové revoluce ukázalo, že začlenění technologie do všech oblastí života přináší pro společnost zásadní dopady, od transformace trhu práce až po novou definici pojmů jako soukromí a bezpečnost. Tyto výzvy a možnosti, které éra představuje, si žádají promyšlený a flexibilní přístup, což je klíčové pro zajištění, že výhody technologického rozvoje budou sloužit společnému dobru. (Schwab, 2016)

1.4 Čtvrtá průmyslová revoluce

Čtvrtá průmyslová revoluce je charakterizována dalším rozvojem technologií zavedených během třetí průmyslové revoluce. Tato éra zdůrazňuje integraci fyzických, digitálních a biologických technologií, což vede k rozvoji pokročilé robotiky, umělé inteligence a internetu věcí na nové úrovni. Ve společnosti dochází k ustanovování standardů týkajících se obnovitelných zdrojů a původu energie, což výrazně ovlivňuje ekonomické struktury. Tyto změny v ekonomickém sektoru dali prostor ke vzniku technologických gigantů, kteří začali udávat tempo a trend nových technologických pokroků. (Schwab, 2016)

V této éře se stále více rozmělňují hranice mezi fyzickým a digitálním světem. Inovace v oborech, jako jsou nanotechnologie, biotechnologie a kvantová výpočetní technika, nejenže mění průmyslová odvětví, ale mají také dopad na lidské zdraví a životní prostředí. Šíření chytrých zařízení a další rozvoj technologií IoT a IIoT nebývalým způsobem posilují propojení a vzájemnou interakci komponentů. Toto rychlé tempo změn ovlivňuje také trhy práce, přičemž automatizace a umělá

inteligence přetvářejí pracovní sílu a vytvářejí nové požadavky na dovednosti a vzdělání. (Corporativa, 2024)

Se vším rychlým pokrokem přichází i nemálo problémů, které se týkají již zmíněného trhu práce, soukromí a kybernetické bezpečnosti a rozdílů v digitální gramotnosti. (Pauceanu, 2020)

V éře čtvrté průmyslové revoluce představuje umělá inteligence (artificial intelligence, dále AI) zásadní prvek, který definuje nové směry rozvoje a inovací ve všech odvětvích. Umělá inteligence (AI) zaujímá klíčovou pozici v rámci čtvrté průmyslové revoluce, neboť přináší inovace do různých oblastí od ekonomiky po průmysl. AI umožňuje nejen automatizaci procesů, ale také efektivní analýzu velkých objemů dat, což vede k optimalizaci pracovních postupů a rozvoji nových produktů a služeb. Důležitá je rovněž schopnost AI personalizovat služby, což ovlivňuje vztahy se zákazníky tím, že umožňuje cílený marketing a adaptabilní zdravotní péči. Navíc, využití AI pro podporu udržitelnosti a ekologických řešení nabízí nové možnosti pro řešení environmentálních výzev, čímž AI přispívá k ekonomické efektivitě a snižování dopadů na životní prostředí. (Corporativa, 2024)

2 Programovatelné logické automaty – PLC

Programovatelné logické automaty (programmable logic controllers, dále PLC) jsou robustní řídicí jednotky navržené k ovládání diskrétních i spojitých funkcí v průmyslovém prostředí. Původně vyvinuté jako alternativa k reléovým systémům v automobilovém průmyslu, PLC dnes nalézají uplatnění v různorodých oblastech, od chemických závodů až po komplexní výrobní linky. (Segovia a Theorin, 2012)

Od 80. let 20. století se termín "PLC" nebo také z němčiny "SPS" stal běžně používaným a postupně se vyvinul v synonymum pro 'programovatelný logický automat', podobně jako se "PC" stalo synonymem pro 'osobní počítač'. (Segovia a Theorin, 2012)

Tyto řídicí systémy se vyznačují vysokou odolností a schopností fungovat v náročných podmínkách, což je odlišuje od standardních počítačů a řídicích jednotek. Navíc je při výrobě kladen velký důraz na kvalitu, díky čemuž životní cyklus jednotky může přesahovat 20 let. PLC obsahují vstupní a výstupní moduly pro interakci se senzory a aktuátory, přičemž vstupní moduly zpracovávají signály od různých typů senzorů, a výstupní moduly řídí aktuátory, jako jsou motory nebo ventily. (Reese, 2022)

Programování PLC se často realizuje prostřednictví grafických programovacích jazyků, jako je Ladder Digram (také Ladder Logic, LD dle IEC61113-3) nebo Function Block Diagram (Také FBD dle IEC 61113-3). Tyto programovací jazyky umožňují intuitivní a přehledné vytváření logických sekvencí, jelikož vycházejí z reléové logiky, která jednotkám PLC předcházela. Přestože je tento proces programování přístupný, může být náročný na čas, zejména při řešení složitějších úloh nebo při integraci různých systémových komponentů. Efektivní využití PLC tak vyžaduje pečlivé plánování a testování zajišťující spolehlivou komunikaci a funkčnost všech částí systému. (Segovia a Theorin, 2012)

2.1 Rozdělení PLC

Stejně jako u každé technologie na světě musí každé zařízení dospět do bodu, ve kterém musí být schopno škálování, nebo musí být přizpůsobené pro specifické aplikace, včetně různých měřítek (velkoplošné, maloplošné či střední) a systémů (analogové, digitální, stejnosměrné střídavé). (Phillips, 2022)

Základní PLC se těmto technologickým pokrokům přizpůsobila tím, že se diverzifikovala do různých typů, které vyhovují každé specifické aplikaci, a tím optimalizují, maximalizují ekonomické zdroje každého spotřebitele nebo zákazníka. (Phillips, 2022)

Typy PLC lze klasifikovat podle mnoha parametrů. Velmi často se stává, že výrobci kombinují základní vlastnosti PLC, aby maximalizovali jejich účinnost a mohli tak svým zákazníkům poskytnout co největší komfort. Obecně lze PLC rozdělit do dvou typů: fixní (fixed) a modulární (modular). (Phillips, 2022)

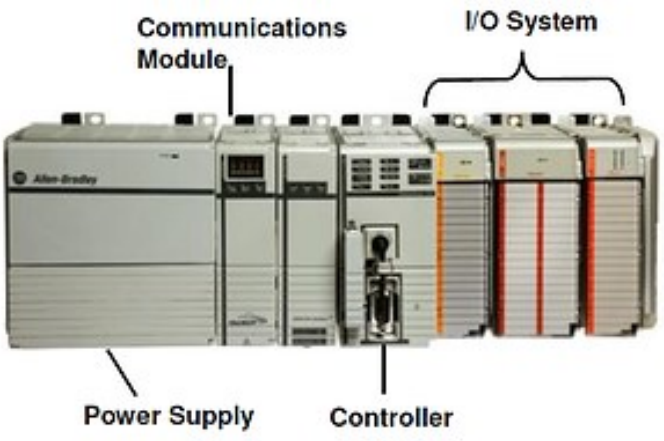
2.1.1 Fixní typy PLC

Fixní nebo také integrované/kompaktní PLC mají často přízvisko Fixní I/O PLC. Zkratka „I/O“ stojí za výrazy „Input/Output“. To znamená, že každý vstup z PLC nebo do PLC je pevně daný výrobcem a nemůže být nijak modifikován. Při nákupu PLC je tedy potřeba již dopředu počítat s maximálním počtem vstupů a výstupů. Dodatečná modifikace není možná. (Phillips, 2022)

2.1.2 Modulární typy PLC

Modulární typ PLC umožňuje uživatelům vícenásobné rozšíření systému pomocí jednotlivých samostatně prodejných modulů, a proto se používá označení "modulární". Tyto moduly rozšiřují PLC o další funkce, jako je například rozšířený počet vstupních a výstupních jednotek, které díky své nezávislé povaze nabízejí snadné použití. (Phillips, 2022)

Dále může být zařízení rozšířeno o bezpečnostní nebo komunikační modul. To vše záleží na konkrétním scénáři, kde bude řídící jednotka PLC instalována. (Malekar, 2021)



Obrázek 1: Modulární typ PLC
Zdroj: Gilbert, 2014

Každá komponenta, včetně napájecího zdroje, komunikačního modulu a vstupně-výstupního modulu, pracuje odděleně a nezávisle od hlavního mikrokontroleru. Sestavení řídicího PLC pro větší projekt vyžaduje ruční připojení těchto modulů podle potřeb projektu. (Phillips, 2022)

Specifickou variantou modulárních PLC jsou PLC montované do stojanu neboli "rackové PLC", které integrují komunikační modul do samotného stojanu, čímž centralizují všechna připojení do PLC. Obrázek 1 zobrazuje modulární typ PLC, kde se na levé straně nachází napájení řídicího systému a komunikační modul, uprostřed se nachází samotný kontrolér, na který jsou napojeny po pravé straně moduly se vstupy a výstupy do PLC. (Phillips, 2022)

Obrázek 2: Modulární PLC z provozu
Zdroj: Vlastní fotografie autora z průmyslu ve firmě X

Obrázek 2 je praktickou ukázkou, jak je zařízení zapojeno v provozu ve firmě X. Konkrétně se jedná o PLC od výrobce Siemens typem S7-1500. K tomuto PLC je dále připojeno dalších deset rozšiřujících modulů, které fungují jako vstupy, výstupy z PLC.

2.2 Hlavní výhody modulárních PLC

Modulární PLC je nejžádanější typ PLC především pro rozsáhlé průmyslové celky s velkým počtem zařízení, od kterých je třeba přijímat vstupní informace, nebo je ovládat. Modulární PLC mají oproti fixním mnoho výhod, které jsou přiblíženy níže.

Škálovatelnost

Díky modulární struktuře PLC, která umožňuje neustálé přidávání a obměňování modulů, dochází k výraznému rozšíření škálovatelnosti jak řídicího systému PLC, tak společností, které tyto řídicí systémy používají. Tato vlastnost dále usnadňuje centralizaci veškerých procesů, protože další moduly jsou začleněny do jediného programovatelného automatu. Modulární konstrukce tohoto typu PLC umožňuje společnostem rozšiřovat své montážní linky přidáváním dalších výstupních zařízení vykonávajících podobné funkce, přičemž všechna jsou řízena stejnou řídicí jednotkou. Tato úroveň rozšíření systému není možná u PLC s fixními vstupy a výstupy, které omezují možnosti jediného zařízení odpovědného za řízení a snímání vstupů v řídicím systému. Na druhou stranu PLC s pevnými vstupy/výstupy nabízejí ekonomickou výhodu pro řídicí systémy, které vyžadují pouze omezený počet zařízení s předpokladem, že se potřeby systému v příštích letech nebudou rozšiřovat. Tato ekonomická výhoda je podmíněna stabilitou systému a absencí potřeby dalších zařízení v budoucnosti. (Phillips, 2022)

Počet vstupů a výstupů

Škálovatelnost modulárních PLC znamená, že ve srovnání s fixními PLC s pevnými vstupy a výstupy modulárních PLC mohou zpracovávat podstatně větší počet vstupních zařízení a výstupních řídicích prvků. Přidáním pouhého jednoho modulu do modulárního PLC lze snadno překročit kapacitu vstupů a výstupů podobně velkého fixního PLC s pevnými vstupy a výstupy, což zvyšuje univerzálnost systému a jeho možnosti využití. (Phillips, 2022)

Detekce závad

Díky rozdělení funkcí mezi různé moduly v modulárním PLC je detekce poruch ve srovnání s PLC s pevnými vstupy a výstupy podstatně jednodušší. V případě fixních vstupů a výstupů je nutné porozumět vestavěným proprietárním obvodům používaného PLC. V případě modulárního PLC je však odstraňování závad zjednodušeno. Například pokud selžou všechny výstupy a ze vstupních

zařízení není přijímán žádný vstup, problém může spočívat v modulu I/O (vstupů a výstupů). Řešení problémů modulárního PLC je jednodušší, protože každý komponent lze testovat nezávisle na celém systému PLC. (Phillips, 2022)

Kratší prostoje

Jak již bylo výše uvedeno, modulární PLC se díky systému jednotlivých modulů jednodušeji opravují, což vede ke zkrácení prostojů na řízených montážních linkách, jelikož diagnostika problémů je rychlejší než u PLC s pevnými vstupy a výstupy. Samostatný nákup modulů umožňuje výhodně využít záložní sadu pro okamžitou výměnu vadných kusů. Přestože jsou moduly a samostatné PLC konstruovány tak, aby odolávaly náročným průmyslovým podmínkám, díky čemuž jsou poruchy vzácné, je záložní sada rozumným opatřením. Naproti tomu odstraňování poruch systému s fixním PLC je složitější, což vede k delším odstávkám a potenciálnímu ušlému zisku. Servisní zásah od výrobce by v krajním případě mohl znamenat výměnu celého PLC. Pro obnovení provozu systému s fixním PLC je nezbytné mít záložní PLC, které představuje značnou finanční investici. (Phillips, 2022)

Univerzalita

Díky možnosti libovolně kombinovat moduly u modulárního typu je výrazně zvýšena jeho všestrannost a stává se často první volbou, pokud se nabízí možnost budoucího rozšíření systému, který PLC řídí. Modulární PLC ze své podstaty nabízejí větší možnosti přizpůsobení, což umožňuje vytvářet komplexní systémy zařízení, které mohou provádět operace nad rámec toho, co lze od technologie PLC obvykle očekávat. (Phillips, 2022)

2.3 Rozdělení PLC podle typu výstupu

V počátečních fázích vývoje PLC byly spínací operace založeny především na relé, které zahrnovalo elektromechanický spínač řízený logickým automatem pro aktivaci výstupních zařízení. Postupem času vývojáři zjistili, že využití alternativních metod řízení výstupů, jako jsou triaky (triodový spínač střídavého proudu) a tranzistory, přináší značné výhody díky jejich účinnosti a spolehlivosti. Při výběru vhodného výstupního mechanismu pro PLC je však nezbytné nejprve zvážit typ zátěže, protože tato volba přímo ovlivňuje výkonnost a kompatibilitu celého systému.

2.3.1 Relé

Relé a stykače jsou elektrotechnické prvky, které galvanicky oddělují ovládací a ovládané napětí v jednom či více obvodech. Pracují s řídicím signálem, který je od řízených obvodů elektricky izolován. Existují různé kategorie relé a stykačů, ať už dle konstrukce nebo specifického použití. Zatímco tradiční modely fungují na principu elektromagnetu ovlivňujícího mechanické kontakty, moderní varianty využívají polovodiče, čímž se rozšiřuje jejich funkčnost a oblast využití. (Digi Key, 2024)

Reléové výstupy zvládají řídit jak střídavé, tak i stejnosměrné napětí. Jejich specifický provozní mechanismus, kdy spínání obvodů zajišťuje elektromagnetem spouštění PLC, umožňuje efektivní řízení, ale zároveň vystavuje relé opotřebení v důsledku neustálého spínání. Proto se optimálně hodí pro občasnou aktivaci, například v aplikacích pro udržování nepřetržitého provozu motorů. V porovnání s jinými spínacími zařízeními tak plní specifickou úlohu po delší dobu. (Digi Key, 2024)

2.3.2 Tranzistor

Tranzistor je miniaturní polovodič, který reguluje nebo řídí tok proudu či napětí a zároveň tyto elektrické signály zesiluje. Tranzistory jsou obvykle tvořeny třemi vrstvami nebo svorkami polovodičového materiálu, z nichž každá může vést proud. Když funguje jako zesilovač, malý vstupní proud se přemění na větší výstupní proud. Jako spínač může být ve dvou stavech (zapnuto nebo vypnuto) a může tak řídit tok elektronických signálů v elektrickém obvodu nebo v zařízení. (Awati, 2022)

Tranzistory jsou v digitálních výstupech PLC upřednostňovány pro řadu výhod oproti běžným elektromechanickým relé. Mezi tyto výhody patří vyšší rychlost spínání, delší životnost, vyšší spolehlivost, minimální hlučnost, nižší spotřeba energie a kompaktnější konstrukce. Kromě toho tranzistory poskytují ve srovnání s relé lepší flexibilitu a řízení, což umožňuje realizovat různé výstupní funkce, pulzně-šířková modulace a digitální výstup. Díky svému mimořádnému výkonu a přizpůsobivosti jsou tranzistory optimální volbou pro širokou škálu aplikací PLC. (Phillips, 2022)

2.4 Analogové výstupy

Výstupy PLC zmíněné v kapitole 2.1.1 jsou přizpůsobeny pro spínací operace, což je charakterizuje jako digitální, díky jejich binární funkci zapnuto nebo vypnuto. Naproti tomu analogové výstupy jsou odlišnou skupinou. PLC s analogovými výstupy obvykle regulují otáčky zařízení v nepřetržitém provozu, jako jsou motory nebo turbíny, přičemž rozsahy napětí nebo proudu se liší podle výrobce anebo konkrétních modulů. (Phillips, 2022)

2.5 Rozdělení podle velikosti

Větší PLC jsou obvykle konstruovány pro správu většího počtu zařízení, což platí jak pro modulární, tak pro pevné konfigurace. Nicméně volba těchto větších PLC nemusí být vždy tou nejefektivnější volbou pro řízení vašeho automatizovaného systému. Výrobci PLC vyvíjejí stále menší PLC přizpůsobené pro kompaktnější aplikace. Při výběru fixního typu PLC je tento aspekt často klíčovým faktorem, zejména proto, jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1.1, se PLC fixní typ ideálně hodí pro malé aplikace bez nutnosti podstatného budoucího rozšíření. (Phillips, 2022)

2.5.1 Mini PLC

Mini PLC obvykle nabízejí 128 až 512 vstupních/výstupních bodů, což pro řídicí systém představuje značnou kapacitu. Pro malý řídicí systém, u něhož se předpokládá jen mírné rozšíření, představují Mini PLC ideální řešení, které nabízí vhodnější alternativu než větším PLC, které přesahují 512 vstupních/výstupních bodů. Díky tomu jsou Mini PLC vhodné zejména pro úlohy, kde je prostor a škálovatelnost důležitým faktorem. (Phillips, 2022)

2.5.2 Nano PLC

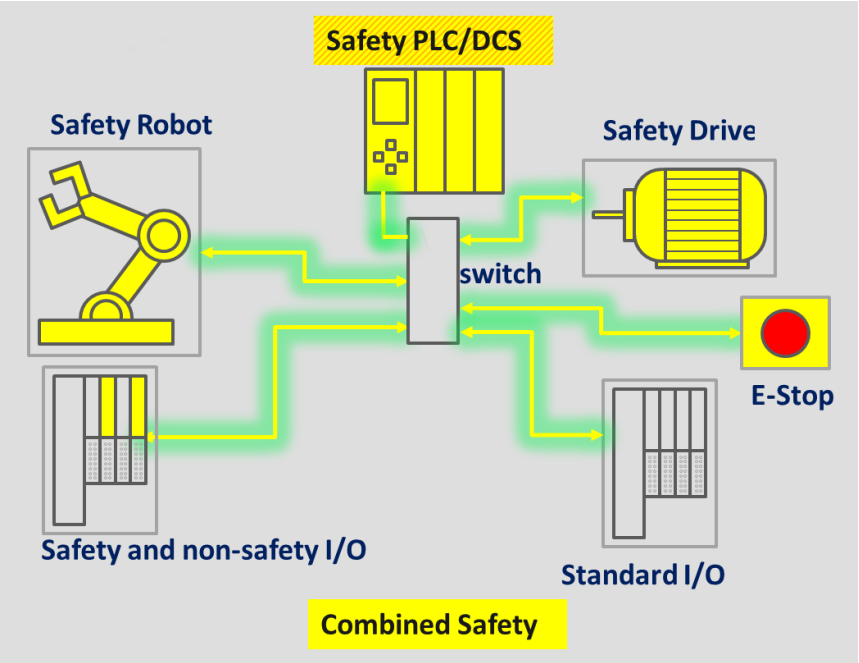
Nano PLC (viz Obrázek 3), často také Piko PLC, mají méně než 15 vstupně-výstupních bodů a běžně se používají ve výukových systémech PLC díky své uživatelské přívětivosti. Tyto PLC jsou často včetně zobrazovacího panelu, takže jsou méně náročné pro začátečníky, kteří se chtějí naučit základy PLC. Jejich výhodou je především jejich jednoduchost a kompaktní rozměry, přičemž mnoho zařízení Nano PLC se vejdou do lidské dlaně, tak nabízejí přístupný a jednoduchý úvod do technologie PLC pro začínající uživatele. (Phillips, 2022)

Obrázek 3: Nano PLC s LDC displejem
Zdroj: CONRAD, 2024.

2.5.3 Safety PLC

Safety PLC (viz Obrázek 4) je speciální typ PLC řídících systémů, který je určen pro bezpečnostní aplikace za účelem ochrany obsluhy i zařízení před újmou. Má redundantní hardwarové, softwarové a komunikační komponenty, které zajišťují vysokou spolehlivost, dostupnost a odolnost proti poruchám. Bezpečnostní PLC detekují a reagují na poruchy, chyby nebo nebezpečí v systému s reakcemi, jako je vypnutí procesu, aktivace alarmů, nebo přepnutí do bezpečného stavu. Nejzásadnější funkcí je především zbavení bezpečnostního okruhu energií při vybavení. Bezpečnostní PLC se řídí přísnými normami a předpisy, jako jsou IEC 61508 a ISO 13849, které definují úroveň integrity bezpečnosti (safety integrity level - SIL) a úroveň výkonu (performance level - PL) systému (PLC Programming, 2021)

Původní koncepce Safety PLC vyžadovala, aby standardní PLC a vstupy/výstupy nemohly být integrovány se Safety PLC a jejich komponenty v rámci jedné sítě. Tato separace vedla k nutnosti zdvojení kabeláže pro bezpečnostní i nebezpečnostní funkce, což přinášelo složitosti při koordinaci těchto rozdílných systémů. Tato tradiční metoda se často označuje jako "konvenční bezpečnost" a je znázorněna na specifickém schématu. (Swindall, 2017)



Obrázek 4: Kombinované zapojení Safety PLC
Zdroj: Swindall, 2017

Praxe ukázala, že udržování odlišných sběrnicových rozvodů pro standardní a safety PLC, včetně jejich příslušných vstupních/výstupních komponentů, je nákladné jak z důvodu nákupu většího množství HW, tak nutností nákupu licencí systémů a vyššího množství nákladů na inženýring (udržování dokumentace apod.). Využívání výhradně safety PLC a vstupů/výstupů, a to i pro standardní funkce, také znamenalo zvýšené náklady, vzhledem k tomu, že safety vstupy/výstupy jsou podstatně dražší než standardní. Nejefektivnější řešení pro úsporu nákladů přinesla koncepce využití sdílené sběrnice safety PLC a vstupů/výstupů jak pro safety, tak pro standardní operace z PLC. Těmi jsou například sběrnice ProfiSAFE splečnosti Siemens nebo Safety over EtherCAT společnosti Beckhoff, resp. EtherCAT Foundation. (Swindall, 2017)

3 Údržba

Údržba je nezbytnou součástí všech průmyslových odvětví, kde je provozováno jakékoliv zařízení (stroje a elektronické zařízení, roboti, motory…), které hraje klíčovou roli při zajišťování provozní efektivity, udržitelnosti a bezpečnosti. Terminologie údržby byla, vlivem vývoje, více sjednocena a rovněž byly zavedeny standardizované definice. Nejčastěji je údržba popisována jako vykonávání činnosti nezbytné pro udržení nebo obnovení provozuschopného stavu jednotky, kdy může plnit své nezbytné funkce. Patří sem široká škála úkolů, jako je testování, měření, výměny, úpravy, opravy a dlouhodobé sledování.

V České republice je podle normy ČSN EN 13460 (010662) údržbu definuje jako soubor aktivit, které zajišťují, aby komponenta nebo systém po celou dobu svého životního cyklu fungoval tak, jak má. Údržba je neodmyslitelně spjata s provozní etapou výrobku nebo technického systému, kde je koncept udržovatelnosti jeho nedílnou součástí. Udržovatelnost je vlastnost konstrukce a instalace, která umožňuje udržet předmět v provozuschopném stavu nebo jej do něj vrátit zpět. Toto obnovení nebo udržování se provádí za specifických podmínek, s použitím konkrétních postupů a prostředků. Právě účinnost a rychlost, s jakou lze tyto operace provádět, jsou základem udržovatelnosti systému. (Technické normy ČSN, 2009)

V průmyslové výrobě překračuje pojem údržba, opravy a generální opravy (anglicky MRO) rámec pouhého servisu. Zahrnuje důkladné kontroly, přestavby zařízení, úpravy a poskytování nezbytných náhradních dílů, nástrojů, surovin, maziv, těsnících materiálů a podobně. Tyto činnosti jsou nezbytné pro údržbu a efektivní provoz strojů ve fázi výroby. V tomto kontextu "údržba" zahrnuje širokou škálu úkolů nezbytných k zajištění trvalé provozní způsobilosti průmyslových zařízení. Patří sem provádění komplexních generálních oprav, běžných kontrol, výměna dílů, odstraňování závad a provádění modernizací nebo oprav, to vše je přizpůsobené přísným požadavkům průmyslového prostředí.

Přístupy k údržbě mohou být rozděleny do několika kategorií, které se liší v přístupu k opravám nebo údržbě zařízení obecně. Mezi hlavní typy údržby, které se v praxi využívají, patří preventivní údržba, která, jak již název napovídá, má za cíl předejít problému, než k němu samotnému dojde. Dalším typem je prediktivní údržba, která se snaží odhalit závadu během provozu přístroje a naplánovat výměnu pochybného komponentu, aniž by došlo k narušení provozu v důsledku vadného komponentu. Mezi nejčastěji využívaným typem údržby u ekonomicky nenáročných

komponentů, které nemají negativní vliv, je údržba po poruše. Nastavení údržby je velmi komplexní disciplína a vychází se z dlouholeté praxe, informací od výrobce a zkušeností pracovníků.

3.1 Preventivní údržba

Preventivní údržba představuje systematický přístup k péči o zařízení a infrastrukturu, jehož cílem je předcházet opotřebení, prodlužovat životnost a předcházet závažným poruchám. Tato proaktivní strategie se vyznačuje obvyklými neplánovanými zásahy v pravidelných intervalech, které jsou určeny statistickou mírou poruchovosti, případně provozními hodinami, nebo předem stanovenými kalendářními daty. Taková preventivní opatření jsou zvláště přínosná ve scénářích, v nichž jsou důsledky selhání systému významné a v nichž existují spolehlivé údaje korelující rutinní údržbu se sníženou mírou poruchovosti zařízení.

Výhody preventivní údržby jsou různé, především zvýšení životnosti zařízení a snížení pravděpodobnosti katastrofických poruch. Tento přístup nejenže přispívá k efektivnějšímu provozu strojů, což vede k úspoře energie a lepšímu výkonu, ale také posiluje bezpečnost, snižuje dopad na životní prostředí a zajišťuje nepřetržitou funkčnost zařízení.

Plánování a organizace preventivní údržby přispívají k proaktivnímu řízení údržby, zavedení standardních postupů, efektivnějšímu řízení skladových zásob náhradních dílů, minimalizaci doby provozních výpadků a provedení údržby efektivnějšími a flexibilnějšími způsoby. Z finančního hlediska se tyto přínosy projevují jako úspora nákladů díky snížení kapitálových výdajů, zkrácení četnosti výměny zařízení jako celků, minimalizování prostojů a někdy i díky snížení energetické náročnosti provozu.

Navzdory mnoha výhodám není preventivní údržba ideálním řešením. Jednou z hlavních nevýhod je stálá pravděpodobnost výskytu náhlých poruch, které nelze jakkoliv predikovat. Tyto poruchy mohou vyžadovat mimo běžné údržby větší zásahy. Rozsáhlé údržbové programy si žádají významnou pracovní náročnost a někdy se může stát, že údržbové práce, nebo zásahy jsou prováděny bez patřičného efektu, čímž paradoxně mohou bránit bezporuchovému chodu zařízení. Určení optimálního plánu preventivní údržby je často složitý úkol, který může vyžadovat rozsáhlou analýzu dat za dlouhá období, aby byla správně nastavena a odladěna. (Technické normy ČSN, 2009)

Postupy preventivní údržby nejsou univerzální a mohou se značně lišit v závislosti na komplexnosti zařízení. Mohou vyžadovat různé typy činností, od základních preventivních činností až po aktivity zaměřené na výměnu. Akce zaměřené na výměnu zvyšují spolehlivost dílů, jelikož se jejich opotřebení vrátí na nulovou hladinu, zatímco základní preventivní činnosti nabízejí pouze minimální snížení pravděpodobnosti na výskyt poruchy. Zavádění plánů preventivní údržby se obvykle řídí pěti základními cíli: kontinuitou provozu, prodloužením životnosti zařízení, sledováním degradace, prevencí prostojů/ztrát a dodržováním regulačních norem. Všechny tyto cíle úzce souvisejí s širokými výhodami, které mají tyto plánované úkony přinést.

Spuštění preventivní údržby nejprve vyžaduje vybrat zařízení/díly, které vyžadují pravidelnou údržbu. Dále se přechází ke stanovení priorit u toho typu dílů, u nichž dochází k vysokým prostojům, nebo častým opravám. Následující etapy zahrnují posouzení současného stavu vybraných zařízení a jeho seřazení na základě různých faktorů, jako jsou kritičnost, bezpečnostní dopady a související náklady.

Jakmile jsou stanoveny priority zařízení, je třeba vymezit konkrétní činnosti údržby, obvykle včetně stanovené frekvence, popisu úkolu, požadovaných nástrojů a vybavení a bezpečnostních protokolů. Kromě toho preventivní údržba zahrnuje celou škálu činností – od kontrol a testů, přes seřízení a kalibrace, až k optimalizaci provozu a výměnu dílů. Občas může být součástí i přestavba celého systému k docílení lepší efektivity a spolehlivosti komponent.

3.2 Reaktivní údržba

Reaktivní údržba po poruše (často také "údržba po poruše") zahrnuje opravu komponentů pouze v případě, že dojde k jejich poškození, nebo selhání. Lze ji také nazvat jako nouzová údržba, protože se zaměřuje na řešení problémů poté, co nastanou. Namísto dalších typů údržby se řídí přístupem "run to failure", tedy řešit problém, až nastane.

Tento přístup je účinný u komponentů, které jsou levné a nekritické (nemají důležitou roli nezbytnou k provozu systému). Metoda údržby komponentů po poruše je výhodná, pokud náklady na údržbu součástky převyšují hodnotu její náhrady a pokud je pravděpodobnost poruchy nízká. Hodí se zejména pro malé provozy s omezenými personálními zdroji a u elementů systému, které při poruše nemají vliv na chod systému.

Údržba po poruše má však i své nevýhody. Řešení neplánovaných poruch je spojené se značnými výdaji a často bývají velmi časově náročné. Zastavení produkce z důvodů nuceného stopnutí jen nadále zvyšuje náklady. Porucha jednoho zařízení navíc může způsobit vedlejší škody na jiných systémech. I když se zpočátku zdá, že je údržba po poruše efektivní z pohledu nákladů, v dlouhodobém horizontu se ukazuje jako neefektivní, což vede k vyšším výdajům ve srovnání s jinými strategiemi údržby. Záleží také na strategii náhradních dílů, jelikož poruchy mohou být často náhodné, a tak může být potřeba držet větší množství dílů na skladě, aby mohlo dojít k jejich výměně.

Vyskytují se případy, kdy kumulující se problémy způsobí, že je výrobní linka je prakticky stále nefunkční a v prostojích. To vede k zacyklení v neprovozuschopném stavu. Údržba po poruše může tedy být pouze provizorním a dočasným řešením u systému, ve kterém jsou díly náchylnější k selhání. Tato obtížná situace upozorňuje na nutnost zavedení preventivní nebo prediktivní údržby.

3.3 Prediktivní údržba

Prediktivní údržba představuje poslední vývoj ve strategiích preventivní údržby. Jejím cílem je optimalizovat výkonnost a efektivitu výrobního procesu prodloužením životnosti zařízení a zajištěním udržitelného provozu stroje. To je promítnuto do několika klíčových výhod. Za prvé, prediktivní údržba snižuje prostoje a zbytečné odstávky zařízení, což vede ke snížení nákladů na opravy. Toho je dosaženo předvídáním potenciálních poruch a plánováním zásahů dříve, než k nim dojde. Za druhé, inteligentní strategie prediktivní údržby, které v současné době zavádějí přední výrobci, zahrnují vyhodnocování zbývající životnosti kritických komponentů a umožňují vzdálené monitorování stavu zařízení v reálném čase. Toto nepřetržité sledování umožňuje včas predikovat, odhalit a diagnostikovat potenciální problémy a zajistit optimální funkci zařízení. (Achouch, a kol., 2022)

Mnoho měřicích zařízení se používá ke sledování fyzikálních veličin zařízení, zejména k dlouhodobému sledování a následnému vyhodnocování, a to i pomocí modelů umělé inteligence, která v posledních letech zažívá exponenciální nárůst zájmu a rozvoje. Tato zařízení shromažďují údaje o různých parametrech, jako je teplota, tlak, vibrace a elektrické proudy, a hodnotí tak stav a výkonnost zařízení. Pokročilé snímače vybavené funkcemi IoT usnadňují sběr dat v reálném čase a jejich přenos do centralizovaných monitorovacích systémů. To umožňuje obsluze a pracovníkům údržby vzdálený přístup ke stavu strojního zařízení a předvídání potenciálních problémů dříve, než

přerostou v nákladné poruchy. Ovšem nestačí pouhé shromažďování a sledování dat. Data musejí být porovnávána se zdravým chodem komponentů, aby byla údržba ekonomicky výhodná. (Achouch, a kol., 2022)

4 Ovládání strojních zařízení

Průmyslové provozy jsou do značné míry závislé na sofistikovaných strojích a složitých řídicích systémech, které řídí jejich provoz. Tato kapitola se zabývá základními principy těchto systémů, které tvoří technologickou podstatu současných výrobních procesů v průmyslu. Prostřednictvím souhry hardwaru a softwaru tyto systémy efektivně řídí a dohlížení na plynulou přeměnu surovin na hotové výrobky.

Celý výrobní proces v moderních průmyslových závodech si lze představit jako dynamický ekosystém, který spolupracuje za jediným cílem, a to co nejefektivněji vyrábět dané produkty. Pracují robotická ramena, jež vykonávají přesné úkoly, nádoby s řízenou teplotou, které řídí chemické reakce, a montážní linky fungující v koordinovaném pohybu a řízenou rychlostí. Průmyslové řídicí systémy zajišťují efektivní a konzistentní provoz těchto složitých strojů.

Průmyslové stroje jsou řízeny pomocí řídících systémů, které se skládají ze softwarových částí a hardwarových komponentů. Software v řídicím systému řídí a rozhoduje o jeho základních funkcích. Dále umožňuje splnit specifické požadavky stroje, které mají být vykonány. Skládá se ze dvou hlavních částí: operačního systému a aplikačního softwaru. (Gawron, 2019)

Operační systém je systém zařazený do oblasti systémového softwaru, slouží jako základní správce všech prostředků počítače. Slouží jako klíčové rozhraní mezi softwarovými aplikacemi a složitými součástmi řídícího hardwaru a jeho struktura složitě organizuje komplexní správu zdrojů a operací v rámci výpočetního prostředí. (GreekforGeeks, 2021)

Aplikační software zahrnuje různorodé programy navržené tak, aby plnily různé funkce v rámci stroje nebo systému. Tyto programy jsou důmyslně navrženy tak, aby plnily úkoly, jako je přesné řízení poloh, regulace rychlostí motorů pro splnění provozních požadavků, diagnostika poruch pro zajištění bezproblémové funkčnosti a poskytování intuitivních uživatelských rozhraní pro bezproblémovou interakci a použitelnost stroje pro operátora. (GreekforGeeks, 2021)

Do hardwarových komponentů, které pomáhají ovládat systém, patří:

Senzory a čidla fungují jako vstupní zařízení pro řídící jednotku, která tyto informace zpracovává a vyhodnocuje. Následně se na základě těchto vstupů rozhoduje. Senzory a čidla mohou měřit nejrůznější fyzikální veličiny, určovat polohu, snímat rychlost, tlak nebo teplotu. Senzory mohou být

přirovnány k lidských smyslovým orgánům, díky kterým člověk dokáže vnímat okolní svět. Místo očí má řídící jednotka kamerové systémy, nebo laserová čidla, pro vnímání hmatu jsou využívána čidla vnímající vibrace či přímo čidla snímající dotek.

Akční členy, také často nazývané z angličtiny aktuátory, představují klíčovou součást mechatronických systémů. Tyto systémy integrují elektroniku a mechaniku, čímž umožňují strojové operace řízené informačními technologiemi. Akční člen plní v tomto tandemu nezastupitelnou roli – přeměňují informační signály z řídící jednotky na mechanické akce. Za akční členy jsou považovány motory, hydraulické válce, ventily. Tyto prvky zajišťují pohyb celého systému.

Ovládací prvky, jak již z názvu vyplývá, napomáhají uživatelům zasahovat, nebo ovlivňovat chod celého systému. Lze říci, že ovládací prvky slouží jakožto spojení mezi operátorem a strojem. Nejčastěji se využívá ovládacích panelů, které na sobě mají několik ovládacích prvků. Mezi klasické a nejrozšířenější ovládací komponenty patří tlačítka, páky/páčky, pedály či dotykové panely. (Penta servis, 2001)

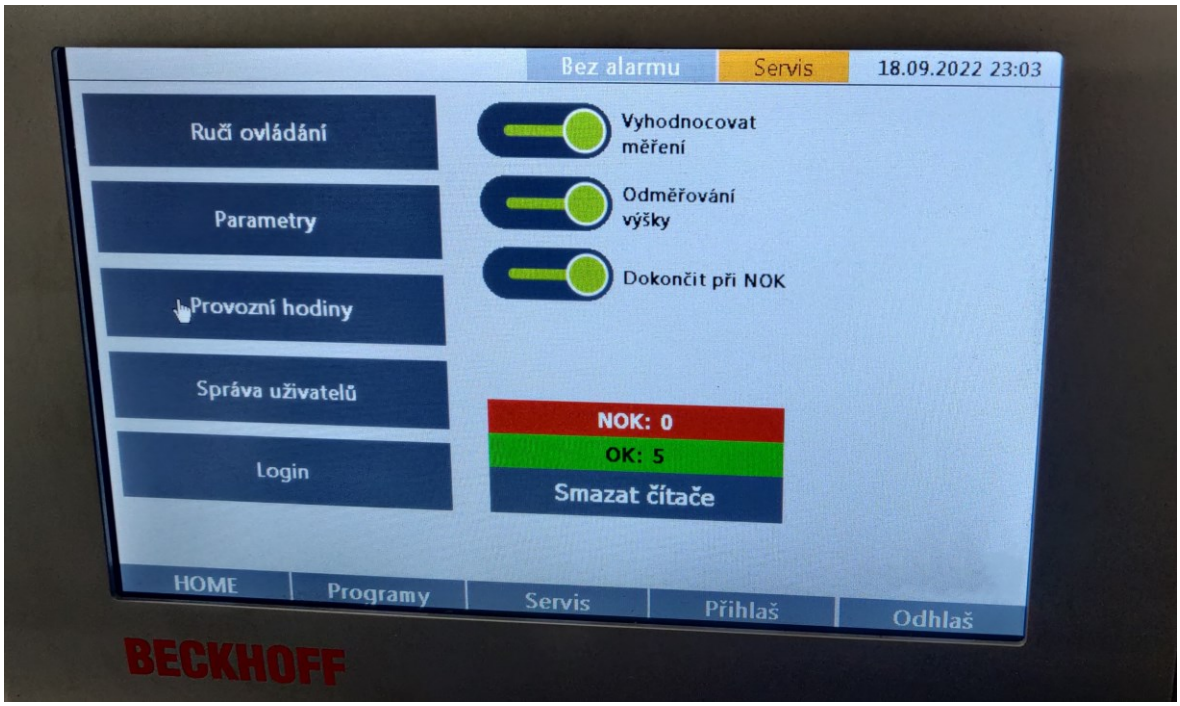
Obrázek 5: Ovládací panel s tlačítky
Zdroj: Penta servis, 2001

V praxi se často využívá kombinace tlačítek a dotykových obrazovek, nicméně fyzická tlačítka mají omezenou funkčnost, protože obvykle slouží k jedinému účelu. Naproti tomu dotykové obrazovky nabízejí komplexní ovládání celého stroje prostřednictvím programovatelných rozhraní a poskytují univerzálnost ovládání na základě jejich naprogramování. Obrázek 5 zobrazuje kontrolní panel, na němž má každé tlačítko svou vlastní funkci, pomocí níž mohou operátoři komunikovat s přístroji. Toto ovládání se nejčastěji skládá z restartu cyklu, vrácení do startovní pozice, potvrzování ke startu další fáze cyklu a takzvaný „E-STOP“. (Penta servis, 2001)

Anglicky Emergency stop, v češtině nouzové zastavení, často také havarijní zastavení, jsou základními bezpečnostními prvky, které zaručují bezpečnost strojního zařízení i personálu. Jejich hlavní funkcí je zajistit spolehlivou a předvídatelnou bezpečnostní reakci pro různá elektrická zařízení. V nouzové situaci stisknutí E-STOP okamžitě zastaví provoz stroje, aniž by vzniklo další nebezpečí. Tato specializovaná zařízení splňují mezinárodní bezpečnostní předpisy pro pracoviště a stroje. (Altech corp, 2022)

V České republice se pro E-stopy v průmyslu používá norma ČSN EN 60204-1: Bezpečnost strojních zařízení – Elektrické zařízení strojů – Část 1: Obecné požadavky. Tato norma stanovuje potřebné požadavky jako jsou rozměry tlačítka, jeho umístění, funkčnost a odolnost proti vibracím, vlhkosti, teplotě a prachu.

Je třeba brát v potaz, že spínače E-stop nejsou stejné jako běžné vypínače nebo tlačítka pro zastavení provozu. Spínače E-stop představují spolehlivý bezpečnostní mechanismus pro zastavení provozu zařízení, který vyžaduje ruční zásah pro resetování systému. Tyto spínače často vyžadují další úkon, jako je otočení, zatažení tlačítka nebo použití klíče, aby se před opětovným spuštěním stroje spojily elektrické kontakty. Standardní spínače E-stop jsou obvykle rozpoznatelné podle červené barvy se žlutým pozadím, což zvyšuje jejich viditelnost v nouzových situacích. Přestože spínače v jiných, než červených barvách plní podobné funkce jako E-stop, nejsou oficiálně označovány jako nouzové spínače. Například černé spínače fungují jako strojní stopky, které vyžadují ruční resetování tlačítka "OFF" před opětovným spuštěním stroje. Modré spínače jsou určeny k zastavení vodovodních nebo sprinklerových systémů, zatímco žluté spínače jsou určeny k vypnutí plynových rozvodů. Tato řada barevně odlišených spínačů vyhovuje různorodým potřebám a aplikacím zákazníků, nicméně není pravidlem.



Obrázek 6: Ukázka HMI
Zdroj: Autorova vlastní fotografie zařízení ve firmě X

Obrázek 6 je ukázkou využití HMI panelu v praxi. Tento typ HMI je instalován v automobilovém průmyslu. Na obrazovce se nacházejí jednoduché ovládací prvky, které jsou rozděleny na levé straně a uprostřed. Tyto tlačítka umožní operátorům jednoduše ovládat konkrétní část výrobní linky, aniž by museli využít fyzických tlačítek. Další důležitou výhodou je, že v případě budoucí modifikace výrobní linky není nutné kupovat nebo instalovat modifikaci na fyzický kontrolní panel s tlačítky. Pouze se softwarově upraví stávající HMI a přidají se nově požadované funkce. Konkrétní panel navíc obsahuje gramatické chyby, které působí velmi neprofesionálně. V dolní liště si lze všimnout tlačítka „Přihláš“ a zároveň se na levém menu nachází „Login“. Je tedy patrné, že jedno z tlačítek je umístěno duplicitně.

4.1 Rozhraní HMI

HMI je označení pro (Human Machine Interface), v překladu rozhraní člověka-stroje. Tato zařízení se rovněž někdy označují jako Man Machine Interface (MMI), Operator Interface Terminal (OIT), Local Operator Interface (LOI) či Operator Terminal (OT). V praxi se však nejčastěji objevuje označení HMI. (Anaheim automation, 2021)

Jak již název napovídá, HMI je grafické rozhraní, které umožňuje obsluze komunikovat se strojním zařízením daného systému. S rozvojem technologií se HMI stále častěji používají v každodenních spotřebitelských úlohách. Příkladem mohou být samoobslužné pumpovací stanice, bankomaty, samoobslužné kiosky a samoobslužné pokladny. Veškerá tato zařízení využívají HMI pro zpracování uživatelských vstupů, jejich konverzi do podoby srozumitelné strojům a provádění úloh bez nutnosti lidské obsluhy, pokladníka nebo zaměstnance. (Anaheim automation, 2021)

Ve výrobních a procesních řídicích systémech poskytuje HMI vizuální zobrazení řídicího systému a nabízí data v reálném čase. To může výrazně zvýšit produktivitu, protože nabízí uživatelsky přívětivé, centralizované zobrazení vybraného řídicího procesu. (Anaheim automation, 2021)

U výrobních linek mohou HMI monitorovat a řídit procesy nezávisle na centrální procesorové jednotce (CPU). Mohou být také vybaveny funkcemi, jako jsou datové recepty, záznam událostí, videopřenosy, spouštění událostí, případně historií událostí. To uživatelům umožňuje optimalizovat systémové procesy, aniž by museli měnit jakýkoli hardware. Aby mohla výrobní linka pracovat s HMI, musí být nejprve integrována s programovatelným automatem (PLC). PLC provádí veškeré procesy na pozadí. Přijímá informace ze vstupů například z analogových senzorů, kamer kontrolující kvalitu nebo příkazů z HMI a transformuje je do výrobních procesů. Zatímco tyto vstupy a procesy probíhají, HMI zobrazuje přijaté vstupy a výstupy řídicích procesů, které PLC poskytuje a všechny proměnné definované uživatelem, které se používají k provádění úloh. (Bee, 2022)

4.1.1 Princip fungování HMI

HMI pracuje ruku v ruce s PLC při řízení a monitorování procesů v automatizovaných systémech. HMI v zásadě funguje jako uživatelsky přívětivý most mezi obsluhou a PLC. Poskytuje grafické rozhraní, často dotykovou obrazovku, která umožňuje posílat příkazy do PLC a zobrazovat informace, které PLC předává ve formě zpracovaných výstupů zpět. Tyto informace se na obrazovce zobrazují v přehledném a srozumitelném formátu. Lze si jsi jej představit jako ovládací panel konkrétního stroje. Dobrým příkladem HMI je například tablet nebo chytrý telefon s dotykovou obrazovkou, který umožňuje přímou interakci s programováním stroje. (Anaheim automation, 2021)

4.1.2 Přínos HMI v průmyslu

Základní výhodou HMI může být uživatelsky přívětivé grafické rozhraní, které využívá barevné prvky pro snadnější rozpoznávání. Například v široké veřejnosti je zažité, že červená barva značí problémy. Dále může obsahovat obrázky a ikony, které jsou všeobecně srozumitelné. Díky tomu je lze používat jako primární funkci HMI i přes jazykové bariéry, které by jinam mohly způsobovat problémy při ovládání průmyslového zařízení. (Bee, 2022)

HMI také přispívá ke zvýšení efektivity systému, což může potenciálně snížit prostoje a tím zvýšit účinnost výrobního zařízení. Moderní zařízení HMI jsou vybavena inovativními funkcemi a nabízejí větší výpočetní výkon a interaktivnější a komplexnější funkce, než bývalo zvykem. Některé z technologických vymožeností, které HMI nabízejí, zahrnují možnost nahradit hardwarové funkce softwarem, eliminovat potřebu myši s klávesnicí, a dokonce podporovat nové formy interakce, jako jsou dotykové obrazovky či gesta. (Machan a kol, 2022)

Komfort, který při komunikaci s PLC HMI přináší, je neocenitelný a funkčnost dosažená digitalizací systému pomocí HMI je bezkonkurenční. Obrazovky hravě zobrazí veškeré potřebné funkce, zároveň však zajišťují snadný provoz výroby a okamžitý dohled nad výrobní linkou.

Jednou z nejcennějších vlastností HMI je možnost přizpůsobení rozhraní. HMI může plně podporovat nejsložitější aplikace s více obrazovkami a několika spuštěnými procedurami. Pokud chce uživatel naprogramovat HMI s něčím jednodušším, může napsat pokyny pro řídicí jednotku přímo do HMI. Každé HMI je vybaveno různými funkcemi: některé může přehrávat zvuk nebo video, jiné nabízí ovládání pomocí vzdáleného přístupu. Uživatelského rozhraní daného HMI by mělo být optimalizováno pro konkrétní úlohu. Uživatelské rozhraní HMI by mělo respektovat řadu faktorů, které mají za cíl zjednodušovat úkony a dělat vše přehledné.

5 Analýza ovládání strojů

Nedostatečné přizpůsobení ovládání strojů na úrovni obsluhy představuje významný problém. Zaměstnanci obsluhující stroje často nemají dostatečnou znalost systému a kapacity pro jeho přesné ovládání a obsluhu dle představ programátorů/konstruktérů, kteří systém navrhli. Tato problematika pramení z mnoha faktorů. Programátoři například mohou mít omezené praktické zkušenosti a postrádat komplexní pochopení celého výrobního procesu z perspektivy obsluhy. Jinými slovy si programátor nemusí plně uvědomovat, jak bude stroj obsluhován z pohledu operátora. I když programátor zná cykly stroje a navrhne ovládání s ohledem na ně, požadavky na obsluhu se mohou lišit od jeho záměru. (Adámek, 2022)

Rozdílná znalost programátora a obsluhy: Programátoři mohou navrhovat ovládací rozhraní, která jsou příliš složitá, nebo neberou v úvahu pracovní postupy operátorů, kteří zařízení obsluhují. Tato pomyslná propast znalostí mezi programátory a operátory může často vést k návrhu uživatelských rozhraní pro ovládání strojů, která jsou obtížně obsluhovatelná nebo se s nimi těžko pracuje. Pro překlenutí této propasti je zásadní, aby došlo ke zlepšení komunikace a spolupráce mezi programátory a operátory. Pravidelná setkání a konzultace mohou programátorům pomoci nabýt lepší představy o specifických potřebách a preferencích operátorů. Zapojení obsluhy do fáze vývoje, ať už formou uživatelských testů nebo konzultací během návrhu ovládacího rozhraní, může mít nesporný přínos pro uživatelskou přívětivost a efektivitu ovládání. Pozorováním interakce operátorů s rozhraním a získáváním jejich zpětné vazby mohou programátoři včas identifikovat problémy s přívětivostí a učinit potřebné změny, které mohou vést ke zlepšení přívětivosti uživatelského prostředí.

Nedostatečné proškolení obsluhy zařízení: V některých případech se stává, že obsluha zařízení není dostatečně proškolena ohledně ovládání stroje a jeho komplexnosti. Toto nedostatečné proškolení může mít za následek to, že se operátoři mohou cítit přetížení, nebo si nejsou jistí, jak zařízení náležitě obsluhovat. V důsledku toho může dojít k chybám při výrobě, neefektivitě pracovní směny, bezpečnostním rizikům ve výrobním procesu pro zaměstnance a neúplnému využití výrobních kapacit zařízení. Častokrát následuje časový tlak a na zaměstnance je kladen čím dál tím větší tlak z pohledu norem, díky čemuž může problém eskalovat. Pro řešení tohoto problému je nezbytné zavést vhodné proškolující postupy a programy, které odpovídají úrovni dovedností operátorů. Školení by se měla týkat nejen základních funkcí ovládacích prvků stroje, ale také pokročilejších možností přístroje a technik řešení problémů. Praktické školení s reálnými scénáři může

operátorům pomoci získat jistotu, cenné zkušenosti a nezbytné dovednosti pro plynulý a bezpečný provoz zařízení a jak co nejvíce využít výrobní kapacitu směny díky efektivnímu ovládání zařízení.

Zanedbávání zásad designu: Ovládání strojů navržené pouze s ohledem na funkčnost zanedbává ergonomii, uživatelskou přívětivost a preference obsluhy stroje. Výsledkem tohoto přehlížení mohou být rozhraní, která jsou matoucí, neintuitivní a jejich používání je frustrující. Pro překonání tohoto problému je důležité začlenit do procesu vývoje zásady designu zaměřeného na uživatele. To zahrnuje kladení velkého důrazu na pochopení potřeb, preferencí a omezení koncových uživatelů/operátorů. Upřednostněním použitelnosti a uživatelského komfortu mohou návrháři vytvořit rozhraní, která jsou intuitivní, vizuálně přitažlivá a snadno ovladatelná. Jasné a výstižné označení, logické uspořádání a interaktivní mechanismy zpětné vazby jsou některé klíčové prvky designu zaměřeného na uživatele, které mohou výrazně zlepšit zkušenosti a efektivitu práce operátorů. Pravidelné testování použitelnosti a sezení pro shromažďování zpětné vazby mohou pomoci identifikovat oblasti, které je třeba zlepšit, a zajistit, aby rozhraní efektivně splňovalo potřeby operátorů. Bohužel v praxi se děje přesný opak. Design a uspořádání je nelogické, spolupráce s uživateli je téměř nulová, jelikož tato komunikace znamená další finanční výdaje. Častokrát je tedy design letmo představen operátorovi, který je následně nucen učit se v průběhu směny formou pokus, omyl.

5.1 Rozložení HMI

Co se týče rozložení uživatelského rozhraní HMI, úspěšný návrh závisí na několika klíčových faktorech. Tyto faktory jdou nad rámec estetiky a zajišťují, aby HMI efektivně sloužilo svému účelu a zároveň optimalizovalo uživatelský komfort. Jedním z rozhodujících faktorů je fyzická velikost panelu HMI. Omezený prostor na obrazovce vyžaduje upřednostnění klíčových informací a funkcí, případně využití nabídek nebo vrstvených rozvržení pro navigaci v různých funkcích. Naopak větší panely nabízejí větší flexibilitu pro zobrazení podrobných informací a využití vizuálních pomůcek, jako jsou například grafy a diagramy.

Dalším důležitým faktorem je četnost interakce s ovládacím panelem. U HMI, které vyžadují časté zásahy obsluhy, by měly být kritické ovládací prvky a vizualizace dat umístěny na viditelném místě, rychle a snadno přístupné. Naopak HMI používané pro méně časté monitorovací úlohy mohou upřednostňovat komplexnější či jednoduché zobrazení grafů nebo výrobních informací, i přestože interakce může vyžadovat určité pozdržení.

Při návrhu uspořádání HMI je třeba zohlednit také možnost fyzické manipulace během provozu. To je zvláště důležité u aplikací, jako jsou ovládací panely průmyslových robotů (viz Obrázek 7). V případech, kdy operátoři nemohou stroj přímo pozorovat kvůli vzdálenosti či vizuálním překážkám, vznikají bezpečnostní rizika, pokud se spoléhají pouze na vizuální potvrzení prostřednictvím HMI. Fyzická interakce s tlačítky na HMI se může stát nutností, což může vést k bezpečnostním rizikům, pokud není vhodně navržena. Průmyslové předpisy často nařizují specifická bezpečnostní opatření pro umístění HMI a tyto faktory musí být zahrnuty do procesu návrhu.

Obrázek 7: Ovládací panel robotů KUKA určen k manipulaci
Zdroj: KUKA AG, 2024

5.1.1 Ergonomie

Návrh uspořádání HMI by měl zohledňovat pohodlí uživatele a minimalizovat fyzickou zátěž při ovládání. Klíčovým faktorem pro dosažení tohoto cíle je brát v úvahu způsob, jakým bude operátor s panelem fyzicky pracovat. Pokud jsou ruce uživatele zaměstnány především obsluhou stroje, musí tomu návrh HMI vyhovět. V ideálním případě, pokud je s panelem nutné manipulovat, tak by měl být HMI situován a velikostně uzpůsoben tak, aby umožňoval pohodlné boční uchopení s minimálním pohybem nebo kroucením rukou.

Kromě toho je v tomto případě obzvláště důležité umístění klíčových ovládacích prvků. Kritické funkce a často používané ovládací prvky by měly být umístěny v dosahu palců uživatele, nebo by měly být ovladatelné pouze jednou rukou. Tím se minimalizuje nutnost uživatelů měnit

polohu rukou, nebo uvolňovat úchop přenosného HMI pro provedení základních činností a operací přístroje. Dodržování těchto zásad napomáhá svižnému provozu, snižuje nepohodlí obsluhy, zejména při delším používání, a zvyšuje komfort. Zároveň se i snižuje riziko náhodného upuštění při neopatrné manipulaci. (Buckenmaier, 2023)

5.2 Využití barev u designu

Barvy mají zásadní význam pro design obrazovek HMI a výrazně ovlivňují uživatelský komfort a celkovou efektivitu práce na těchto zařízeních. Strategické použití barev zlepšuje vizuální vnímání, zefektivňuje zpracování informací a optimalizuje zapojení obsluhy. Naopak nesprávné použití barev přináší problémy, jako je snížená čitelnost a potenciální vizuální zkreslení, což ohrožuje efektivitu a bezpečnost provozu.

HMI využívají barvy ke sdělování informací, indikaci stavu systému a podněcování uživatele k interakci. Uplatněním psychologie barev a ergonomických principů může být navrženo intuitivní rozhraní, které s uživateli souzní a podporují bezproblémový chod zařízení. Například kontrastní barvy, pozadí a velikost textu zvyšují čitelnost v různých světelných podmínkách. Konzistentní barevné kódování různých prvků rozhraní navíc pomáhá vytvářet kognitivní asociace s ovládáním, což uživatelům umožňuje rychle interpretovat zobrazené informace a reagovat na ně mnohem rychleji a především spolehlivěji.

Jedním z hlavních faktorů při výběru palety barev pro návrh HMI je pravidlo vizuální struktury. To spočívá v přiřazení různých barev prvkům na základě jejich celkové významnosti nebo naléhavosti, čímž se usměrňuje pozornost operátorů a usnadňuje se určování priorit a důležitosti úloh. Například výrazné barvy, jako je červená, mohou být použity k označení kritických výstrah nebo poruch systému, což vybízí k okamžitému zásahu obsluhy, zatímco jemnější tóny, jako je zelená nebo modrá, mohou označovat normální provozní podmínky nebo ukončené procesy, což navozuje pocit jistoty a stability z pohledu operátora.

Při návrhu ovládacího rozhraní také nelze přehlížet různé kulturní a jiné související významy barev. To, co může být v jednom kulturním prostředí vnímáno jako logické, automatické nebo dávající význam, může mít v jiném kulturním kontextu odlišnou interpretaci nebo výklad. Proto je nezbytné, aby programátor při výběru a zavádění barevných schémat do HMI provedl průzkum jakými operátory bude zařízení obsluhováno. Důležité je rovněž respektovat kulturní specifika, aby bylo

zajištěno správné porozumění systému a minimalizovala se rizika nedorozumění způsobená chybovými hláškami, nebo neúmyslnými chybami při manipulaci s ovládáním.

5.2.1 Forma prezentování informací na HMI

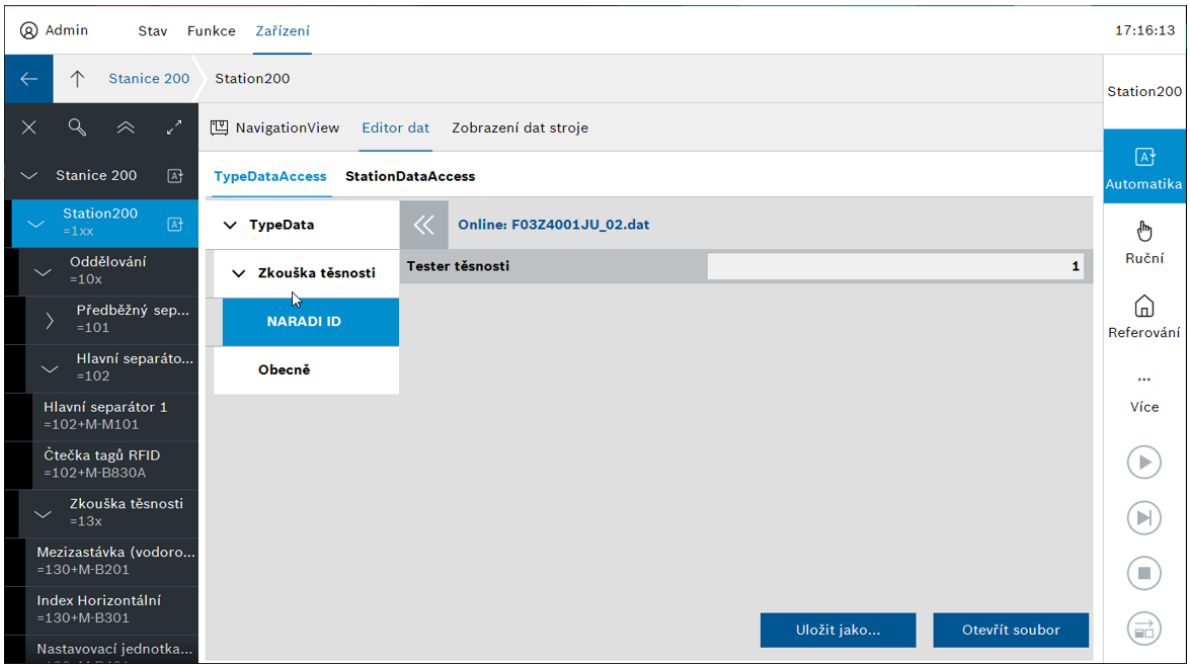
Výběr položek a dat poskytovaných uživatelům prostřednictvím HMI je velmi důležitým aspektem pro zajištění účinné interakce, porozumění a maximalizování výkonu systému. Samotné zobrazování objemného množství dat nestačí. Ona zobrazená data musí být vybrána přímo pro relevantní potřeby operátora a jeho pracovní úkony. Držení se zásad návrhu zaměřeného na uživatele je klíčové. To zahrnuje pochopení potřeb obsluhy, jejich schopností vnímat zobrazované informace a to, jak s nimi je nakládáno.

5.3 Analýza HMI v provozu

Jak je popsáno v kapitole 5, proces návrhu efektivního rozhraní HMI obsahuje mnoho zásadních až kritických rozhodnutí, které programátoři musí důkladně posoudit. Tato podkapitola je věnována praktickým ukázkám a rozboru chyb, které se v praxi dějí.

5.3.1 HMI u stanice s elektromotory

Obrázek 8 představuje HMI, které je využíváno k ovládání stanice odpovědné za regulaci a kontrolu tlaku u elektromotorů. Ovládání stanice probíhá kombinovaně pomocí fyzického ovládacího panelu, na kterém je umístěno několik málo akčních prvků v podobě mechanických tlačítek. K těmto tlačítkům jsou přiřazeny funkce, které jsou při obsluhování stanice nejvíce využívány a operátor je může využít u každého cyklu. Dále se na ovládacím panelu nachází fyzické tlačítko E-STOP, které je kritickým bezpečnostním prvkem, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.



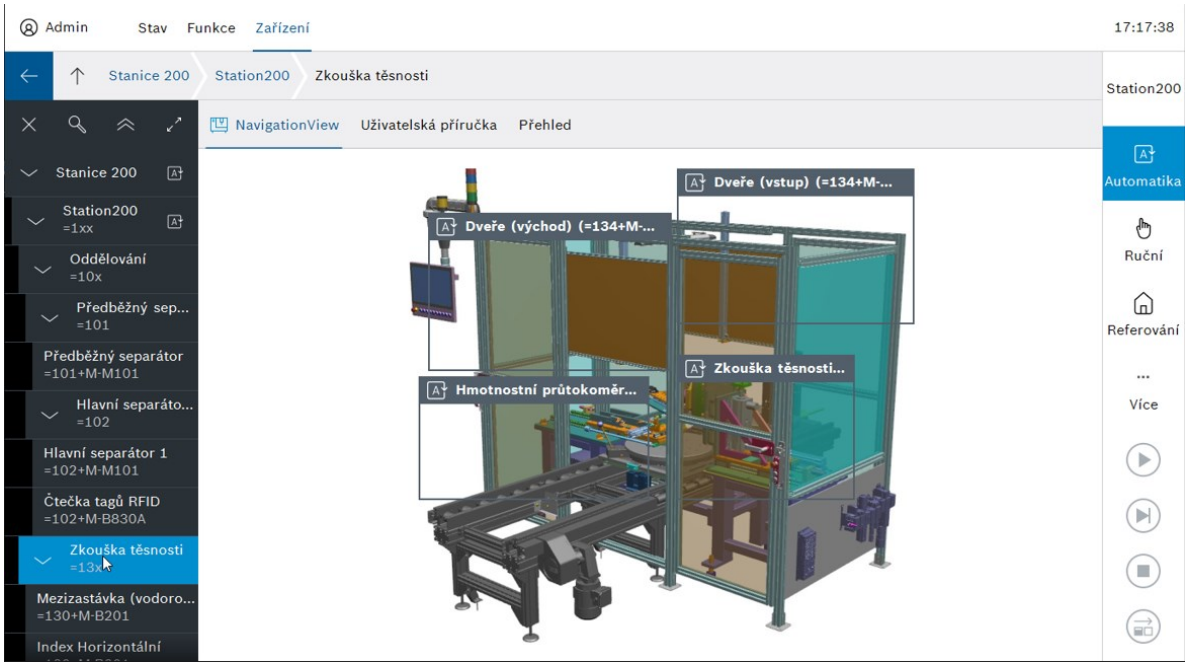
Obrázek 8: HMI výrobní stanice kontrolující těsnost elektromotorů
Zdroj: Autorův vlastní obrázek HMI ve firmě X

Rozložení ovládacího panelu je univerzálně řešeno. V horním rohu se nachází hlavní panel, který nese základní prvky jako přihlášení uživatele, datum s časem a základní přepínání mezi hlavními obrazovkami stanice. Na ovládacím sloupci, který je zakotvený na pravé straně, se nachází přepínání mezi základními pracovními stavy stanice jako je manuální ovládání, automatický provoz a navrácení mechanických částí stanice do startovací pozice. Na levém menu se nachází rolovací seznamy určitých fází stanice a uprostřed se zobrazují ony detaily k vybraným fázím stanice.

Největší problém je menu umístěné na levé straně obrazovky, jelikož operátor, který potřebuje například zkontrolovat výsledek čtečky RFID tagu, tak je nucen více jak sedmkrát kliknout, aby onu potřebnou informaci zobrazil. Takové členění může působit hekticky a naprosto neintuitivně. Kdyby došlo k výměně směny a stroj by obsluhoval někdo, kdo se strojem ještě nemá úplně zkušenosti, tak nebude vědět, kde informace hledat.

Obrázek 9 zobrazuje 3D vizualizaci stanice na HMI, což nabízí mnohostranné přínosy. Především zlepšuje prostorové povědomí tím, že obsluze poskytuje realistické zobrazení součástí strojního zařízení a jejich vzájemné polohy, což napomáhá k porozumění procesů, které stroj vykonává. Dále živý 3D model umožňuje rozšířené monitorování a diagnostiku díky údajům ze senzorů a v reálném čase je může přenést na zobrazený model, což usnadňuje rychlou identifikaci potenciálních poruch a potíží. Kromě toho 3D vizualizace zjednodušuje postupy údržby zobrazením pokynů step-by-step ve vizuální podobě, což zvyšuje efektivitu a přesnost. Kromě toho slouží jako

cenný nástroj pro školení a simulaci, protože umožňuje účastníkům školení interakci s modelem a seznámení se s provozem stroje. To probíhá naprosto bez rizika, jelikož simulace nemá na chod systému vliv. V neposlední řadě 3D vizualizace podporuje lepší komunikaci mezi operátory a pracovníky údržby tím, že HMI dokáže poskytovat společný vizuální pohled, který je vhodný pro diskusi o komponentech, defektech a budoucích postupech k optimalizaci, což přináší zlepšení spolupráce a pochopení.



Obrázek 9: 3D vizualizace na HMI
Zdroj: autorův vlastní obrázek HMI ve firmě X

Názory operátora na HMI od stanice u elektromotorů

Pro účel této diplomové práce byl proveden rozhovor s operátorem, který na stanici pracuje, aby byla zajištěna věrohodnost informací. Operátor, který pracuje na pozici, v rámci níž obsluhuje 3 stanice, které kontrolují elektromotory, nemá s obsluhou stanic větší problémy. Pouze poukázal na fakt, že pro provedení běžných úkonů, které provádí na běžné bázi, je nutné procházet mnoho úrovní v menu a frekventovaně klikat, aby zobrazil data, které potřebuje. Bohužel tento fakt snižuje efektivitu a může vést k drobným prostojům ve výrobě. Jako další lehký nedostatek uživatel zmínil pozadí. Dle jeho názoru bílé pozadí může při delší pracovní směně působit namáhavě na oči, a navíc černý text na bílém pozadí působí nepříjemně. Nicméně hodnocení nebylo jen záporné a uživatel vyzdvihl několik bodů, se kterými je při obsluhování stroje spokojený. Především bylo zmíněno intuitivní uspořádání grafických prvků, které jsou na obrazovce umístěny. Jsou logicky rozděleny, až na ono menu v levé části. Toto rozložení obrazovky napomáhá ke snadné orientaci v základních

funkcí a přepínání mezi funkcemi přístroje. Kladně zhodnotil i jednotlivé podrobné informace, které panel zobrazuje. V závěru měl operátor návrhy na zlepšení, mezi které patří například předělání menu, které by usnadnilo operování a orientaci v určitých fázích projektu. Dále by byl vděčný za barevnou kombinaci, která by nebyla při delším užívání na obtíž.

5.3.2 HMI zobrazující diagnostiku

Obrázek 10 je ukázkou HMI, které obsahuje stránku s diagnostickým a seřizovacím systémem. Toto rozhraní zobrazuje několik prvků, kterým jsou přiřazeny různé indexy a skládají se z určitých kroků, které na stanici probíhají. Konkrétně se jedná o stanici, která automatizovaně nasazuje matici s podložkou na šroub. Tento proces obsahuje několik na sebe navazujících cyklů, které musejí být precizně vykonány. Na obrazovce se opět nachází horní banner, který nese nejdůležitější informace jako je:

- Název stanice
- Datum s časem
- Režim (manuální nebo automatický)
- Typ uživatele
- Aktuální typ receptu (typ dílu, který se právě vyrábí nebo používá)
- Obrázky LED (napomáhají zobrazení stavu)
    - Tlak vzduchu
    - Výchozí pozice
    - Bezpečnostní dveře
    - Bezpečnostní stop
    - Požadavek na vstup

Simulované LED prvky napomáhají k rozpoznání stavu, ve kterém právě zařízení je, jako například výchozí pozice, nebo jestli je tlak vzduchu v OK stavu.

V dolním rohu se nachází spodní lišta, která slouží k přepínání jednotlivých obrazovek jako je již zobrazená diagnostika, produkce, nastavení nebo informace o stanici pro management. Jednotlivé obrazovky ovšem nejsou přístupné všem. K rozlišení těchto podmínek napomáhá oprávnění uživatele, které je rozpoznáváno pomocí jednoduchého přihlášení pomocí hesla. V praxi se lze také setkat s modernějšími variantami jako je přihlašování uživatelů pomocí RFID čipů nebo

karet či dokonce pomocí otisků prstů. Tato forma je nicméně značně omezena, jelikož se dá využít pouze v místech, kde operátoři nemohou přijít do styku s nečistotami, nebo nenosí ochranné pomůcky, jako například rukavice.

V centru obrazovky se již nachází daný obsah (viz Obrázek 10), který zobrazuje kroky přístroje s časem. Tento režim usnadňuje diagnostiku stanice a napomáhá k sledování, odhalování chyb a případnému seřizování.

Při rozhovoru s obsluhou stanice bylo zjištěno, že pracovníci jsou s rozložením spokojeni a nemají větších námitek. Pouze se jim dvakrát nepozdává, že není správně zobrazen typ uživatele, který je právě přihlášen. Dále poukázali na komické pozicování textu, to je ale dle jejich slov pouze drobná kosmetická vada, která nemá na provoz či práci se strojem sebemenší vliv. Kámen úrazu se ale nachází v zobrazovaní simulace LED žárovek. Ty jsou podle personálu přiliž drobné. Uvítali by tedy, kdyby LED žárovky byly větší, nebo byly umístěny jinak, pro lepší orientaci.

V porovnání s HMI zobrazenými na Obrázek 8 a Obrázek 9 vykazuje design tohoto panelu jisté rysy staršího provedení. Hlavním nástrojem pro jeho tvorbu byl Siemens TIA Portal, jehož možnosti v oblasti grafického designu by mohla být zařazena mezi průměr. Na druhou stranu je nutné zdůraznit, že PLC od firmy Siemens patří mezi nejrozšířenější v průmyslové automatizaci a benefity, které tato platforma přináší, v mnoha případech převáží. Nicméně je důležité zdůraznit, že design záleží z velké části na programátorovi, který daný design vytvářel.

Obrázek 10: HMI zobrazující diagnostiku ve firmě X
Zdroj: Autorův snímek z aplikace Bosch OpCo

6 Návrh designu HMI

Prvním krokem k zahájení procesu návrhu HMI bylo nutné vybrat vhodné vývojové prostředí. Pro účel této diplomové práce byl tedy vybrán TIA Portal, populární vývojové prostředí od společnosti Siemens, které se široce využívá pro programování jejich vlastních typů PLC. Vývojové prostředí od Siemensu bylo vybráno právě díky svým integrovaným možnostem návrhu HMI, širokému zastoupení na trhu a využití ve firmě X.

6.1 Rozvržení HMI

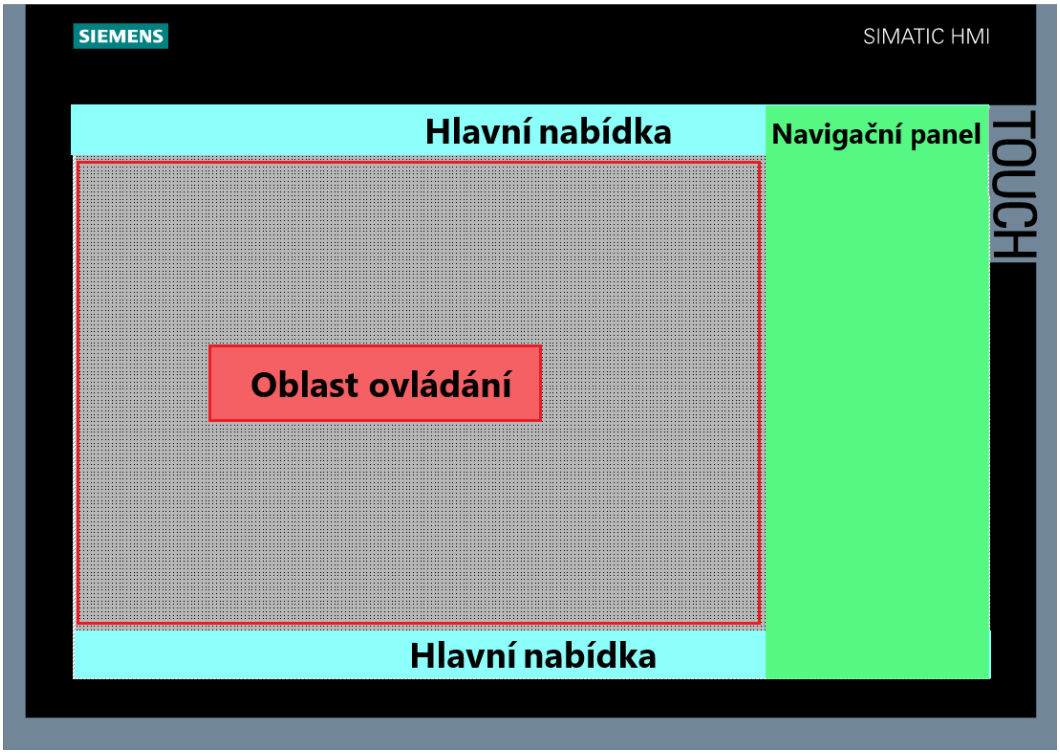
Druhým krokem k návrhu efektivního uživatelského rozhraní pro HMI panel je promyslet rozmístění zobrazovaných prvků. Bohužel každý provoz je jedinečný a neexistuje forma, která by šla využít k ovládání každé stanice. Specifické provozy vyžadují individuální sadu zobrazovaných prvků. Tato část je zaměřena na rozvržení univerzálních prvků, které lze v případě potřeby nahradit funkcemi či objekty relevantními pro daný provoz.

- **Hlavní nabídka:** Umožňuje uživateli přístup k různým funkcím a sekcím HMI. Měla by být intuitivní a vždy snadno přístupná
- **Navigační panel:** Poskytuje uživateli rychlou navigaci mezi hlavními sekcemi
- **Oblast ovládání:** Obsahuje prvky pro interakci s procesem, jako jsou tlačítka, posuvníky a vstupní pole

Rozvržení prvků:

- Uspořádání prvků by mělo být logické a intuitivní. Uživatel by měl snadno najít požadované informace a funkce
- Důležité prvky by měly být umístěny na prominentní místa. Například hlavní nabídka a informační panel by měly být vždy viditelné
- Mezi prvky by mělo být dostatek prostoru, aby se zabránilo přeplněnosti a zmatku. (nutno řešit
- Barvy a fonty by měly být zvoleny tak, aby byly snadno čitelné a nerušivé

Obrázek 11 ilustruje univerzální rozvržení HMI obrazovky, kde se hlavní lišta nachází buď v horní nebo dolní straně. Nabízí se i možnost zachování obou hlavních nabídek a například nahradit tak úplně navigační panel, který zabírá téměř 1/3 obrazovky.



Obrázek 11: Teoretické rozložení HMI panelu
Zdroj: Vlastní zpracování simulace v programu TIA Portal

6.2 Výběr barevné palety

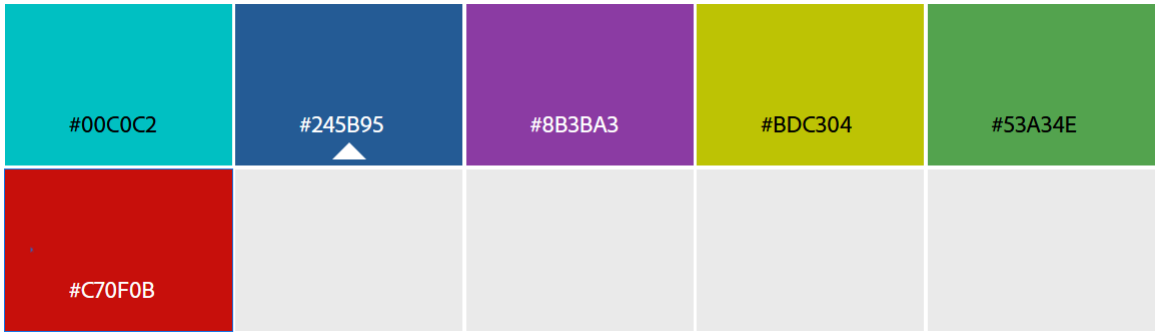
Dalším důležitým krokem je nezbytné navrhnutí palety barev, která bude v designu využívána. Onu paletu lze rozdělit do tří skupin dle jejich funkcí: neutrální, data & vizualizace, alarmy & statusy. Pomocí těchto tří skupin je možné rozdělit barvy tak, aby každá barva měla jen jednu funkci a nedocházelo k chybné interpretaci, která by mohla mít za následek chybu operátora a případné prostoje, které jsou v automatizované výrobě naprosto nežádoucí.

Neutrální barvy

Obrázek 12: Paleta neutrálních barev
Zdroj: Vlastní zpracování s využitím programu Color Adobe

Pro návrh tohoto rozhraní HMI byla zvolena neutrální paleta barev skládající se z černé, bílé a různých odstínů šedé (viz Obrázek 12). Tento výběr upřednostňuje minimalizaci namáhání očí obsluhy při dlouhodobém používání. Je všeobecně známo, že jasné barvy a vysoký kontrast mohou časem způsobit únavu očí, zejména v prostředí se slabým osvětlením, které se může v průmyslu vyskytovat. Kromě toho mohou palety odstínů šedé přispět k delší životnosti samotného panelu HMI. Ačkoli přesný dopad barev závisí na použité technologii, u některých displejů HMI může časem dojít ke snížení vypalování jasnějších barev. Paleta odstínů šedé pomáhá tento potenciální problém zmírnit. A konečně, odstíny šedé nabízejí profesionální a nenápadnou estetiku, která doplňuje barvu běžných průmyslový prostředí a zároveň působí esteticky a elegantně.

Data a vizualizace



Obrázek 13: Paleta barev pro vizualizaci dat a informací
Zdroj: Vlastní zpracování s využitím programu Color Adobe

Na základě neutrální barevné palety využívá skupina dat a vizualizace výběr tmavších a více kontrastnějších odstínů (viz Obrázek 13), které byly vybrány speciálně pro zvýšení přehlednosti a minimalizaci chybné interpretace informací. Tento důraz na čitelnost je obzvláště důležitý v prostředí se slabým osvětlením, kde může docházet k únavě a namáhání zraku.

Základní barvy této skupiny tvoří tmavě modrá, tmavě zelená a sytě fialová. Každá barva spolu s jejími různými odstíny slouží k odlišnému účelu při reprezentaci dat. Tmavě modrá, známá pro svůj význam klidu a chladnosti, nachází uplatnění v textových zobrazeních a různém typu grafů. Její asociace s klidem dále podporuje soustředění uživatele při delším sledování. Tmavě zelená, evokující pocit bezpečí a stability, se dobře hodí pro znázornění nominálních provozních rozsahů nebo bezpečných zón v rámci dat. A konečně sytě fialová barva, která dodává nádech elegance a lze ji strategicky využít ke zvýraznění datových bodů mimo rozsah nebo anomálií, které nevyžadujících okamžitou pozornost. Využitím této základní palety a jejích variací skupina "Data a vizualizace" efektivně sděluje komplexní informace a zároveň zachovává uživatelsky přívětivou a profesionální estetiku.

Ačkoli základní paleta "Data a vizualizace" upřednostňuje přehlednost a vyhýbá se barvám typicky spojovaným s alarmy, obsahuje kontrolované použití zelené a výrazný odstín červené. Zelená barva je často všeobecně uznávána jako označení bezpečného nebo základního stavu. V tomto kontextu je specifický odstín zelené použit k jemnému znázornění platných datových bodů v rámci vizualizace. Podobně lze pečlivě zvolený odstín červené barvy strategicky použít ke zvýraznění specifických datových bodů vyžadujících pozornost, aniž by se spustila okamžitá alarmová reakce spojená se skupinou "Alarmy a základní stavy". Základem je výběr dostatečně odlišných odstínů těchto barev, aby bylo zajištěno jasné odlišení a uživatel nebyl zmaten.

Součástí palety je i červená barva spolu s zelenou barvou. Tyto barvy jsou často asociovány se správností nebo nebezpečím. Základním pravidlem je tyto barvy nekombinovat, jelikož se nachází ve skupině "Alarmy a základní stavy". Nicméně i data je potřeba zvýraznit, zda jsou informace správné či špatné. V tom případě je potřeba využít jiný odstín těchto barev, a to dostatečně odlišný, aby nedocházelo k přímé asociaci. Další možností je barvy využívat v drobném zastoupení, například bodově v grafech, nebo pomocí zvýraznění určitých hodnot.

Alarmy a základní stavy

Obrázek 14: Paleta barev pro alarmy a základní stavy
Zdroj: Vlastní zpracování s využitím programu Color Adobe

V návaznosti na zavedený barevný základ využívá skupina "Alarmy a základní stavy" odlišnou paletu pro jasné sdělení kritických informací a stavu systému (viz Obrázek 14). Zde je nejdůležitější stanovení priorit a informovaní uživatele. K označení potenciálních problémů nebo varování je použita zářivě žlutá barva. Tato barva účinně upoutá pozornost, aniž by vyvolávala naléhavost spojenou s červenou barvou. Sytě červená je vyhrazena pro kritické alarmy vyžadující okamžitou akci. Je to nejvýraznější barva v rámci rozhraní HMI, která zdůrazňuje závažnost situace. Pro základní stavy je navržena klidná zelená, která označuje normální provoz nebo bezpečné zóny. Tato zelená barva doplňuje zelenou barvu používanou v části "Data a vizualizace", ale s jasnějším odlišením, aby nedocházelo k záměně. Toto strategické rozdělení barev v rámci skupiny "Alarmy a základní stavy" zajišťuje uživatelům rychlou identifikaci a reakci na kritické situace při zachování jasného rozlišení mezi normálními provozními stavy a potenciálními problémy. Kromě toho byla paleta barev rozšířena o oranžovou (#FD7E14), která slouží jako mezistupeň mezi jednotlivými úrovněmi alarmu. Tato barva označuje situace, které vyžadují pozornost v blízké budoucnosti, ale nepředstavují bezprostřední ohrožení provozu zařízení. Překlenuje tak prostor mezi žlutými výstrahami a kritickými červenými alarmy a nabádá uživatele, aby řešili potenciální problémy dříve, než k nim opravdu dojde.

Jako poslední dvě barvy, které byly vybrány jsou odlišné odstíny modré (#000FF) a zelené (#00BD00), které zobrazují specifické stavy/režimy systému. Specifický odstín modré bude použit pro znázornění manuálního provozu, zatímco zelená (#00BD00) označuje automatický provoz. Toto jasné rozlišení umožňuje uživatelům rychle pochopit aktuální režim ovládání stroje. Toto strategické rozdělení barev v rámci skupiny "Alarmy a základní stavy" zajišťuje uživatelům rychlou identifikaci a reakci na kritické situace při zachování jasného rozlišení mezi určitými provozními stavy, alarmy,

potenciálními problémy vyžadujícími pozornost v blízké budoucnosti a aktuálním režimem řízení systému.

6.2.1 Temný režim

V posledních letech se v digitálním prostředí odehrála revoluce v designu – vzestup tmavého režimu. Tato uživatelsky orientovaná funkce umožňuje aplikacím přejít z tradičního světlého rozhraní do tmavšího, tlumenějšího estetického vzhledu. Nicméně tento posun nejenže přesahuje pouhou estetiku, ale i nabízí potenciální výhody pro uživatelský komfort i životnost zařízení. Základní výhoda tmavého režimu spočívá v jeho potenciálu snížit namáhání očí, zejména v prostředí se sníženou úrovní osvětlení.

Tradiční rozhraní se světlým pozadím a jasným textem mohou při delším používání způsobovat značnou únavu a diskomfort. Tmavý režim tento scénář obrací a zobrazuje obsah na tmavém plátně se světlejším textem. Tím se sníží celková svítivost obrazovky, což vytváří příjemnější atmosféru při sledování. Tento režim se ukázal jako výhodný, zejména pro ranní a odpolední směny**,** kdežto u nočních směn je žádoucí, aby operátoři nebyli ospalí. Ačkoliv noční směny mohou negativně ovlivňovat cirkadiánní rytmus a zdraví, je snaha blokování melatoninu u těchto operátorů**.** Kromě snížení namáhání očí může tmavý režim přispět ke zlepšení kvality spánku. Expozice jasným světlu, zejména modrému světlu z digitálních obrazovek, může potlačit produkci melatoninu – hormonu, který reguluje náš spánkový cyklus. Snížením celkové intenzity obrazovky by tmavý režim mohl potenciálně zmírnit tento efekt a podpořit lepší spánkovou hygienu operátorů, kteří často pracují v trojsměnném provozu.

Při návrhu barevné palety byla zároveň zohledněna implementace tmavého režimu. Neutrální barvy určené primárně jako pozadí jsou proto zastoupeny tmavšími tóny. Tato záměrná volba vytváří ucelené vizuální pozadí, které ladí s tmavými prvky rozhraní a zajišťuje bezproblémový, elegantní a tím pádem také příjemný uživatelský zážitek.

6.2.2 Úsporný režim

Pro optimalizaci spotřeby energie a potenciální prodloužení životnosti zařízení lze pro ovládací panel zavést režim úspory v době nečinnosti, a to i během automatizovaného provozu stanice. I když se dopad na životnost liší v závislosti na specifických ovládacích panelech, režim úspory energie

obecně nepředstavuje žádné nevýhody. Pokud se panel aktivně nepoužívá, lze tento režim spustit, snížit jas obrazovky a zobrazit na vybrané obrazovce pouze významné provozní údaje. Tento přístup sníží spotřebu energie, aniž by došlo k omezení důležitých informací.

6.3 Vylepšení Layoutu HMI

Jak bylo uvedeno v části 5.1, uspořádání prvků na obrazovce HMI hraje rozhodující roli pro efektivitu práce uživatele. Problém však spočívá ve vytvoření efektivního uspořádání, pokud se jedná o HMI s různou velikostí obrazovky. Ve výrobním průmyslu se používá řada panelů HMI, od větších modelů, jako je řada Siemens Panel SIMATIC TP1500 s komfortní úhlopříčkou 15,4 palce, až po menší panely, jako je řada SIMATIC HMI KTP400 s kompaktnějším displejem o úhlopříčce 4 palce.

Tento rozdíl ve velikosti obrazovek představuje pro programátory HMI specifickou výzvu. U větších displejů, lze realizovat rozsáhlejší uspořádání, které může zahrnovat zobrazení podrobných informací a širší škálu snadno přístupných ovládacích prvků. Programátoři pracující s menšími displeji (úhlopříčka 4 palce) však čelí značnému omezení dostupného prostoru na obrazovce.

Jednou z těchto možností je použití vysouvací nabídky umístěné na okraji obrazovky pro orientaci. Tento přístup nabízí významnou výhodu, jelikož šetří cenné místo na obrazovce u menších HMI. Na rozdíl od statických menu, která trvale zabírají část displeje, jsou výsuvná menu ve výchozím nastavení skrytá. Lze je dynamicky zobrazit kliknutím na ikonku menu a opět zavřít, když už nejsou potřeba. Tato funkce na vyžádání zajišťuje čisté a přehledné rozhraní a zároveň poskytuje přístup k širšímu spektru funkcí. Proto byl návrh navržen tak, aby byl univerzální a použitelný pro všechny typy HMI panelů.

Ovládací menu

Obrázek 15: Vyskakovací navigační menu
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 15 znázorňuje dva navrhované vyskakovací panely, které zlepší navigaci uživatele v rozhraní HMI. Tento panel nabízí prostorově úsporné řešení pro menší obrazovky, kde je omezený prostor. Polohu menu lze flexibilně konfigurovat na pravou nebo levou stranu displeje HMI v závislosti na preferencích uživatele nebo požadavcích konkrétní funkce panelu. Na levé straně se nachází orientační menu, které má pozadí z navržené barevné palety z kapitoly 6.2 a je kombinací tmavého režimu. Na pravé straně je znázornění, přičemž i při ponechání barevného pozadí je na zvolené modré barvě zřetelně vidět a na první pohled nedochází ke splynutí s okolím.

Hlavní lišta

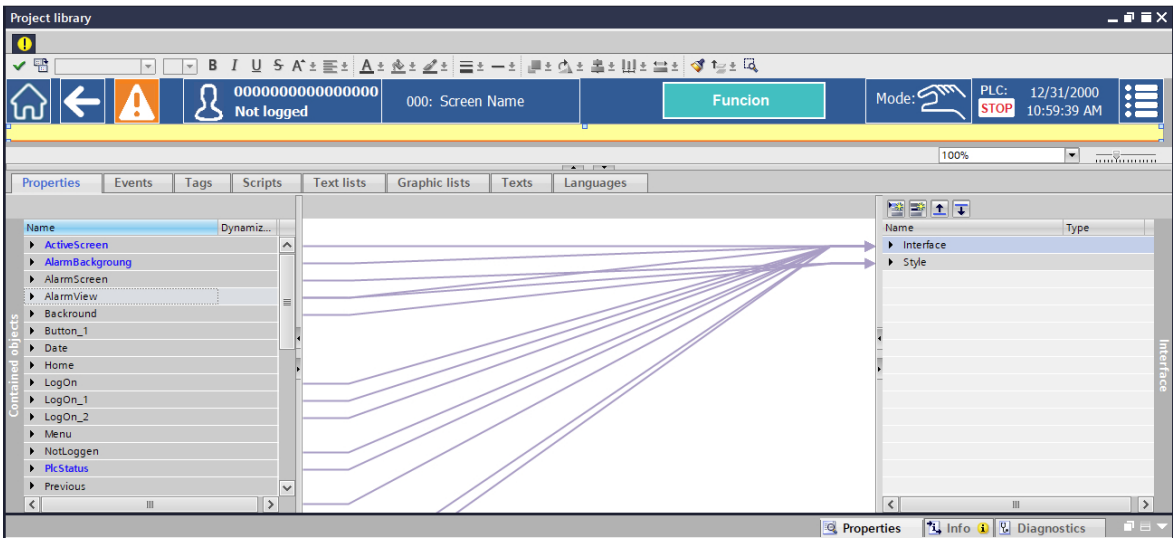
Hlavní lišta nebo také záhlaví, hlavička má při návrhu HMI zásadní význam, protože slouží jako stálá přítomnost na všech obrazovkách aplikace. Tato všudypřítomnost vyžaduje pečlivé zvážení informací zobrazených v této hlavičce. Měla by zobrazovat alarmy, které PLC hlásí, přihlášeného

uživatele, čas s datumem a status PLC. Tím by mělo být zaručeno, že operátoři mají vždy jasný a stručný přehled o činnosti stroje, bez ohledu na to, kde se v rámci HMI právě pohybují.

Hlavní panel lze navíc strategicky využít ke zvýšení efektivity práce operátorů. Integrace často používaných tlačítek nebo funkcí přímo do hlavičky poskytne uživatelům okamžitý přístup k základním ovládacím funkcím. Tím se eliminuje potřeba zbytečné navigace a zjednodušuje se interakce uživatele s HMI. Začleněním těchto klíčových principů se záhlavní panel stává základním kamenem uživatelského prostředí a nabízí centrum pro důležité informace a základní funkce.

Hlavní lišta nebo také záhlaví, hlavička má při návrhu HMI zásadní význam, protože obsahuje základní informace spolu se základními navigačními prvky a je přítomna na všech obrazovkách. Tato všudypřítomnost vyžaduje pečlivé zvážení informací zobrazených v této hlavičce. Měla by zobrazovat alarmy, které PLC hlásí, přihlášeného uživatele, čas s datumem a status PLC. Tím by mělo být zaručeno, že operátoři mají vždy jasný a stručný přehled o činnosti stroje, bez ohledu na to, kde se v rámci HMI právě pohybují.

Další roli, kterou lišta zastává je funkce reprezentační. Z tohoto důvodu se přidává logo firmy, kde je HMI panel umístěn. Některé firmy ovšem nemají o umístění loga zájem, většinou tuto možnost využívají větší korporátní firmy, které provozu větší výrobní závody. Nejčastěji se jedná o drobné jednobarevné zobrazení znaku společnosti. Dále zákazníci mohou požadovat vlastní řešení, dle jejich barevného schématu. To je řešeno zadáním primární barvy hlavní lišty, dle dohody se společností.



Obrázek 16: Navržený hlavní panel HMI v TIA Portal
Zdroj: Autorův snímek obrazovky z programu TIA Portal

Obrázek 16 představuje navržený design a provázání funkčních prvků s tagy PLC, které lišta nabízí. Pro snadnější orientaci je využito grafických značení podle normy ČSN ISO 7000 - (018024), která byla sice zrušena bez náhrady, nicméně pro grafické značení více než stačí. V levém horním rohu se nachází navigační tlačítko, které má ikonku domečku. Tomuto tlačítku je přidělena funkce přepnutí se na hlavní obrazovku HMI. Vedle něj se nachází šipka, která má funkci navrácení se na předchozí stránku. Tato jednoduchá funkce napomůže k efektivnější práci s ovládacím panelem. Dále se na panelu nachází ikonka alarmů. Tato ikona je nativně ve stejné barvě jako všechny ostatní tlačítka. Mění barvu podle alarmu, který se zobrazí ve spodní liště žluté barvy. Kliknutím na ikonu se zobrazí aktivní alarm, který přístroj zahlásil nebo primární chyba (viz kapitola 6.4). Barevné blikání ikony má zacílit, že žádný alarm nebude přehlédnut. Toto řešení po dlouhodobé praxi ukázalo jako nejefektivnější.

Efektivní návrh HMI vyžaduje informovanost uživatelů a transparentnost systému. K tomuto cíli přispívají dva klíčové prvky: identifikace přihlášeného uživatele a přehlednost stránek.

Identifikace přihlášeného uživatele

Klíčovým prvkem pro zaručení transparentnosti uživatelů a bezpečnosti informací je zobrazení aktuálně přihlášeného uživatele. Tato informace je zobrazena ve vyhrazeném textovém poli, které umožňuje uživatelům snadno identifikovat sebe a svou přidělenou roli (např. operátor, pracovník údržby, technolog). Díky tomuto zobrazení lze rychle identifikovat, proč některé funkce mohou být na stroji omezeny. Důvod může být, že aktuálně přihlášený uživatel nemá k daným funkcím pravomoc.

Přehlednost stránek

Ztratit přehled nebo orientaci v HMI je jednoduší, než se může zdát, a právě z toho důvodu je vhodné poskytnout uživatelům přehled, aby se předešlo možným zmatkům a práce se strojem byla efektivnější. K tomuto účelu účinně slouží textové pole zobrazující identifikační číslo aktuální stránky spolu s odpovídajícím názvem (např. "Hlavní stránka"). Tento postup zajišťuje uživatelům kontextové porozumění jejich umístění v hierarchii systému, což jim nabízí efektivní navigaci a zabraňuje tomu, aby se ve složitých strukturách HMI ztratili.

Skupiny uživatelů

Rozhodujícím aspektem návrhu HMI je vytvoření systému diferencovaných uživatelských rolí a oprávnění. Tím je zaručeno, že uživatelé mají přístup pouze k funkcím a informacím, které jsou nezbytné pro jejich specifické činnosti a úkony, což zvyšuje bezpečnost a provozní efektivitu. Hlavní odlišnost mezi typy uživatelů HMI je dána přiřazenými funkcemi a oprávněním, která jsou jednotlivým rolím přidělována.

Mezi nejčastější typy uživatelů patří:

- Operátor
- Údržba
- Seřizovač
- Technolog
- Administrátor

Operátor má HMI panel k běžné obsluze výroby a PLC. Využívá základních funkcí, ale v případě potřeby zákazníka, lze i této skupině uživatelů přiřadit rozšířené oprávnění. U dalších typů uživatelů velmi záleží na požadavcích zákazníka a jak mají vnitřně nastavená práva a důvěru v zaměstnance. Další skupinou jsou technologové, kteří zodpovídají za kvalitu vyráběného dílu na stanici. V neposlední řadě je na každém systému administrátor, který má ty nejvyšší možné práva a přiděluje pravomoci ostatním uživatelům.

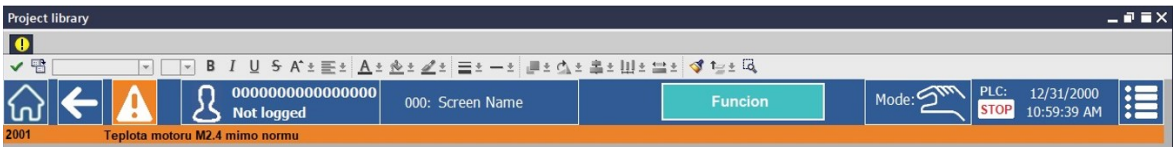
V záhlaví (viz

Obrázek 16 a Obrázek 17) se v pravém horním rohu nachází tlačítko, které má funkci spuštění vysouvacího menu, které zobrazuje Obrázek 15. Vedle tlačítka s menu se na liště nachází identifikátor datumu spolu s časem. Tato informace je pro uživatele naprosto nezbytná. Další nezbytná informace pro uživatele je symbolika, zdali PLC běží nebo je zastaveno. Tato funkce slouží především k diagnostice závad. Jedná se o jednoduchou indikaci pomocí dvou barev, červené a zelené, které byly zahrnuty do palety (viz Obrázek 14). Nutnou informací pro operátory je fakt, v jakém provozním módu se stanice nachází. Primárním rozlišením jsou dva stavy: manuální a automatický, které jsou rozlišeny pomocí měnících se ikonek podle normy ISO 7000.

Snaha o univerzálně použitelný design HMI sice přináší praktické výhody, je však nutné vzít v úvahu dopad různých velikostí obrazovek na uživatelský zážitek. Univerzální přístup nemusí vždy optimalizovat efektivitu. Občas je potřeba rozložení panelu přizpůsobit přímo pro účely pracovníků.

U panelů HMI se standardní velikostí může dobře navržené rozhraní vyhovět potřebám většiny projektů. U větších panelů HMI však představuje dodatečný prostor příležitost ke zvýšení efektivity uživatelů. V této variantě je začleněno nejčastěji používaná funkce přímo do záhlaví. Tento přístup poskytuje uživatelům okamžitý přístup k základním ovládacím prvkům, minimalizuje potřebu navigace a zefektivňuje interakci uživatele s HMI.

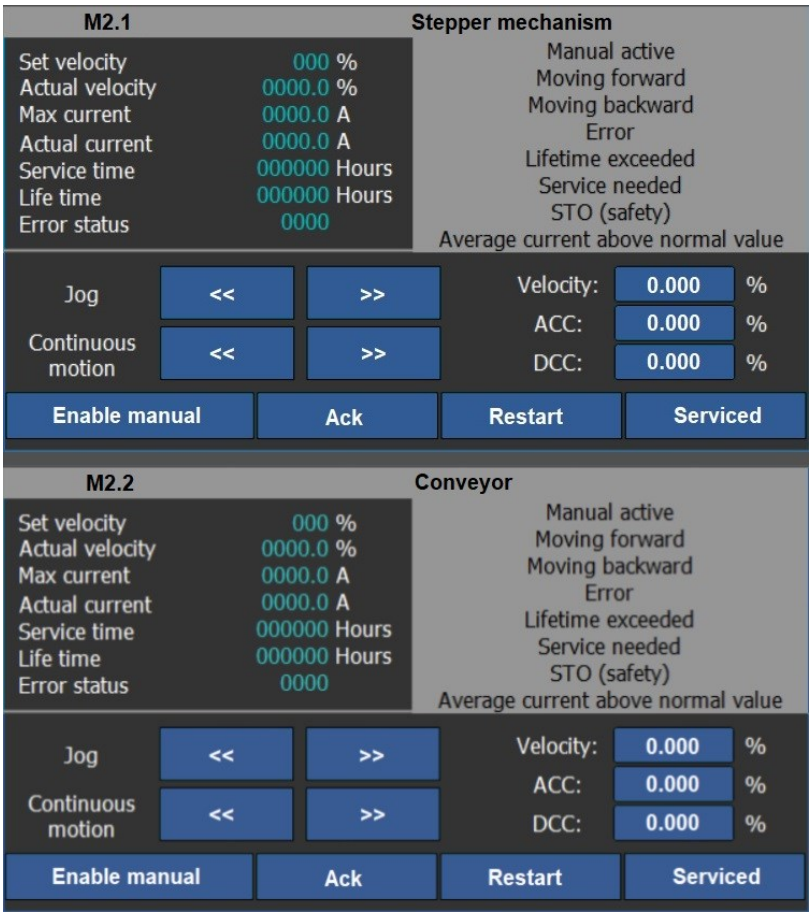
Poslední položka, která se na liště nachází, je hlášení alarmu/ chyby. Jedná se o drobný, ale dobře viditelný řádek, který nezabírá mnoho prostoru (viz Obrázek 17). Tento styl informování uživatele byl zvolen, jelikož při testování se ukázal jako velmi efektivní s kombinací s barevným zobrazením symbolu alarmu, který se na liště také nachází. Zvažováno bylo i vyskakovací okno, ale vzhledem k informační povaze některých alarmů by to mohlo operátory zdržovat.



Obrázek 17: Zobrazení alarmu na hlavní liště
Zdroj: Vlastní zpracování v programu TIA Portal

6.3.1 Návrh na ovládání motorů

Efektivní návrh rozhraní HMI hraje zásadní roli při optimalizaci uživatelského komfortu, a proto se tato část zaměřuje na návrh bloku ovládání elektromotoru pro rozhraní HMI ve společnosti X, který slouží jako názorný příklad zásad návrhu zaměřeného na uživatele v praxi.



Obrázek 18: Blok pro ovládání elektromotorů
Zdroj: Vlastní zpracování v programu TIA Portal

Obrázek 18 obsahuje snímek obrazovky rozhraní HMI, na kterém je vidět blok ovládání elektromotoru. Obsah bloku je strategicky rozvržen tak, aby uživatelům poskytoval veškeré potřebné informace o elektromotoru. Blok je vizuálně výrazný podle barevné palety, aby umožňoval uživatelům ideální viditelnost klíčových prvků. Mimo základní informace o stavu motoru obsahuje zobrazení otáček a proud motoru. Díky tomuto zobrazení je možné sledovat životní cyklus motoru.

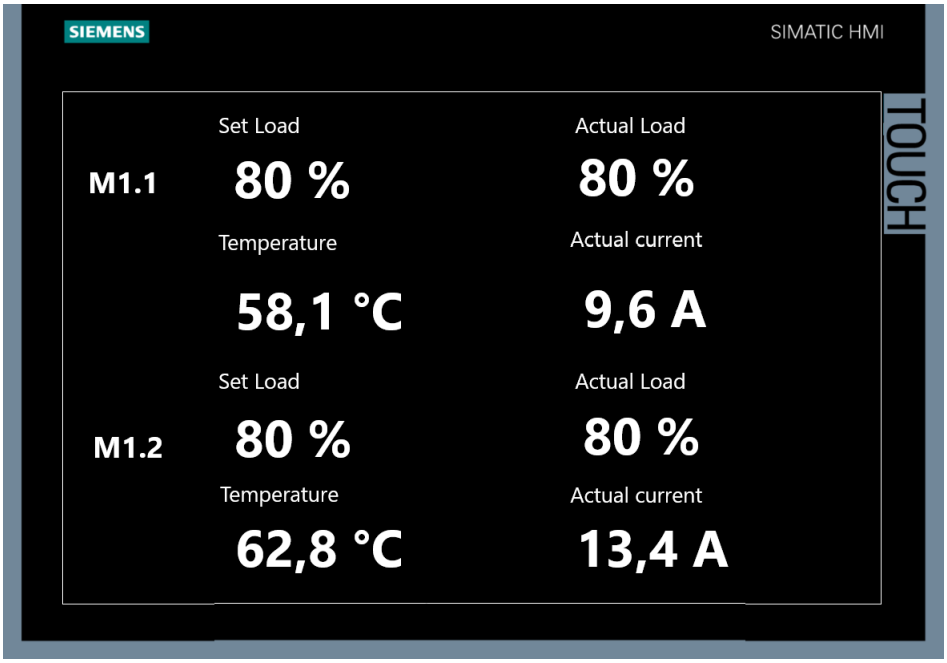
Nezbytnou funkcí k obsluze, servisu a seřizování slouží takzvané joggování motoru neboli otáčení po jednotkách a ve stálém pohybu. Ve spodní části je tlačítko k přepínání na manuální nebo automatický režim, potvrzení alarmu (Ack), tlačítko pro restart neboli vrácení do výchozího nastavení a funkci pro servis.

Vytvořený blok dále zobrazuje "Life time", tedy čas v hodinách, který motor pracuje. K této informaci se přidává i řádek "Service time", který určuje, za jakou dobu bude muset proběhnout servisní kontrola motoru. Tento čas by měl být zadáván podle doporučení výrobce od dodaného

zařízení (v tomto případě konkrétně asynchronní motor). Tento parametr napomáhá k nastavení a dodržování preventivní údržby pro asynchronní motor.

6.3.2 Návrh spořiče obrazovky

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.2.2, úsporný režim dokáže spořit elektrickou energii. Z toho důvodu byl navržen design úsporného režimu, který k úsporám napomůže.



Obrázek 19: Navržený design spořiče obrazovky
Zdroj: Vlastní zpracování simulace v programu TIA Portal

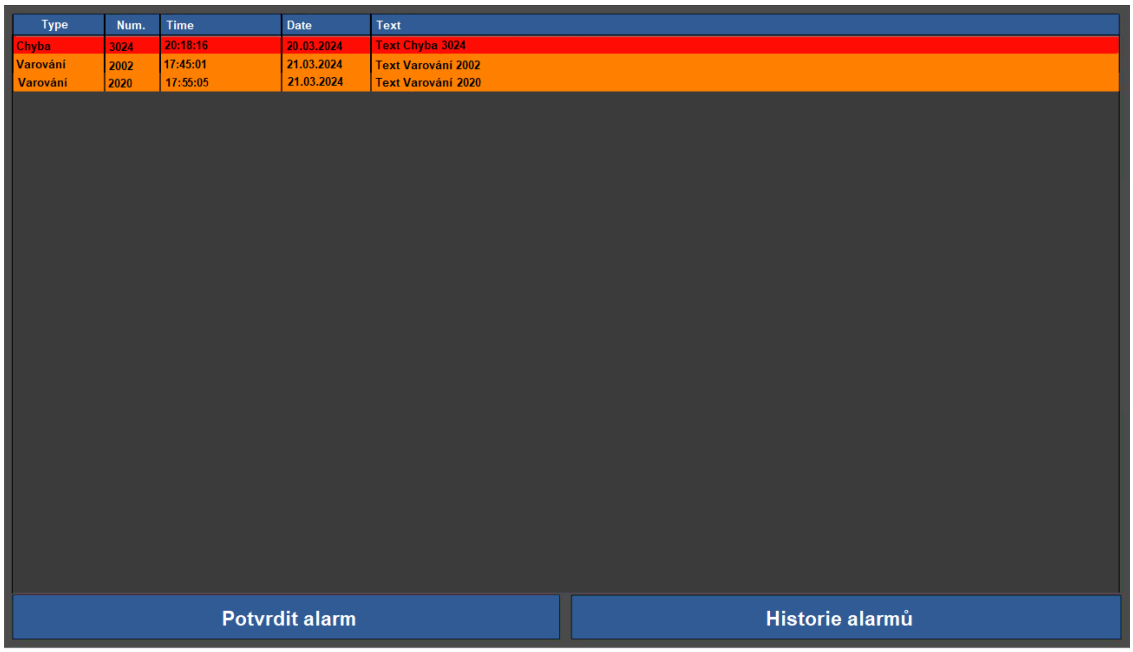
Obrázek 19 znázorňuje navrhovaný design spořiče obrazovky pro ovládací panel. Tento minimalistický design upřednostňuje základní provozní údaje během období nečinnosti obsluhy ovládacího panelu. Je zobrazena nastavená a skutečná zátěž, spolu s teplotou a aktuální spotřebou proudu. Pro zvýšení kontrastu je použito černé pozadí, zatímco bílý text zajišťuje optimální čitelnost. Pro zajištění energetické úspory systém aktivuje spořič obrazovky po uplynutí předem stanovené doby nečinnosti uživatele (např. 10 minut). Po aktivaci se jas displeje automaticky sníží na 20 % (nastavitelné podle podmínek okolního osvětlení, aby byla zachována čitelnost). Kliknutím na obrazovku se displej vrátí k původní obrazovce, před přepnutí do úsporného režimu.

6.4 Nastavení alarmů

Alarmové hlášky jsou nezbytnou součástí všech HMI a strojů v průmyslu obecně. I sebelépe navržený systém má vždy své mouchy, a proto je potřeba uživatele skrze HMI informovat o stavu stroje. K této komunikaci mezi PLC a uživatelem slouží právě HMI skrze alarmové hlášení. Obrázek 17 zobrazuje řádek, ve kterém se uživateli zobrazí nezbytné informace o stroji. Pro lepší orientaci, jsou alarmové hlášky rozděleny do čtyř kategorií, které usnadňují práci a zvyšují povědomí o stavu stroje a efektivitu. Kategorie alarmů:

- Informační – modrá barva
- Varování – oranžová barva
- Chyba – červená barva
- Porucha – blikající červená, oranžová

Informační alarmy slouží k informování uživatele o určité skutečnosti, ke které došlo, například k úspěšné změně receptu, který se na stanici bude vyrábět. Varování mají také informační funkci, nicméně slouží jako překlenutí mezi dobrý stavem a poruchou. Například informují, že se teplota motoru zvyšuje, ale stále není nutné zastavit provoz. Je dobré tedy naplánovat kontrolu na co nejdříve. Alarm chyby je oznámení o chybě automatického provozu zařízení a že automatický cyklus nebyl dokončen. Závisí tedy na typu chyby, která nastala, zdali může být cyklus výroby postupně pokračovat, až do ukončení cyklu. Posledním alarmem je porucha. Jedná se o fatální chybu, která má negativní vliv na chod stanice a není možné pokračovat. Přístroj vyžaduje úplné zastavení a kontrolu, protože bez vyřešení poruchy není dovoleno automatický provoz stanice opět spustit.



Obrázek 20: HMI stránka s ukázkou alarmů
Zdroj: Vlastní zpracování

Obrázek 20 zobrazuje příklad navrženého způsobu řešení obrazovky alarmů. Návrh zahrnuje barvy strategicky vybrané z palety barev. Tento výběr barev podporuje uživatelskou srozumitelnost a potenciálně zvyšuje důležitost kritických informací.

Když se během provozu spustí alarm, má obsluha dvě možnosti přístupu k němu:

- Stisknutím tlačítka "Alarmy" v navigačním menu
- Pomocí interakce s ikonou alarmu umístěnou na hlavní liště

Bez ohledu na zvolenou metodu je obsluha přesměrována na vyhrazenou stránku se seznamem aktuálních alarmů. Potvrzení těchto alarmů má zásadní význam pro to, aby se zabránilo jejich přehlédnutí a zajistila se informovanost obsluhy o možných problémech.

Ve spodní části stránky jsou umístěna dvě tlačítka, která usnadňují správu alarmů:

Potvrdit alarm:

Stisknutím tohoto tlačítka obsluha potvrdí, že si je vědoma uvedených alarmových hlášení nebo varování.

Historie alarmů:

Po interakci s tímto tlačítkem je uživatel přesměrován na stránku, kde se nachází historie všech alarmů potvrzených i nepotvrzených uživatelem.

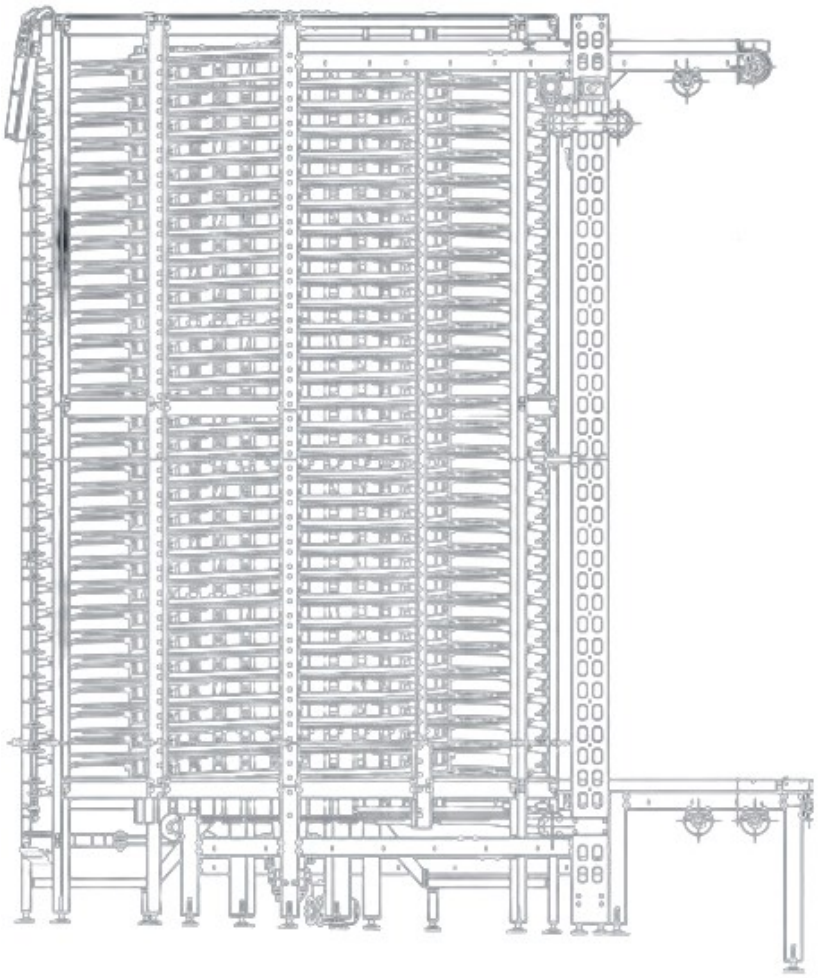
7 Řešení poruch strojů

Automatizovaný provoz představuje vyvrcholení důkladně promyšlené sekvence pohybů a příkazů. Tyto procesy se skládají z řady přesně definovaných kroků, které musí být provedeny v jasně stanoveném pořadí a v jednotné úrovni kvality, aby bylo dosaženo úspěšného zakončení produkčního cyklu. Rozsáhlejší výrobní linky, které zahrnují více strojů, se obvykle dělí na stanice. Každá stanice plní specifickou úlohu v rámci výrobního cyklu, ať už se jedná o část procesu nebo o samostatnou operaci.

Kromě složité souhry pohonů a mechanických součástí, se robustní automatizovaná operace do značné míry spoléhají na síť senzorů, strategicky rozvržených napříč celou výrobní stanicí. Tyto snímače fungují jako bdělé oči systému a nepřetržitě monitorují širokou škálu parametrů, které jsou potřeba. Tyto senzory poskytují kritická data nezbytná pro přesné řízení a seřizování v reálném čase – od pečlivého vyhodnocování kvality výrobků až po zajištění funkčnosti mechanických prvků, jako jsou například válce, dopravníkové pásy, ventily a elektromotory.

Bezproblémovou integrací složité sítě akčních členů, senzorů a přesně definovaných kroků dosahují automatizované operace v moderních výrobních prostředích pozoruhodné úrovně efektivity a přesnosti, nicméně i sebelepší systém se neobejde bez poruch. Strategie řešení a předcházení poruchám je zmíněno v kapitole 3. Tyto strategie bohužel nelze řešit univerzálně, jelikož každý systém obsahuje jiné technické řešení.

Pro návrh metodiky řešení poruch strojů v průmyslu byla vybrána stanice z výrobní linky ve společnosti X. Tato část se zaměřuje na stanoviště vybavené spirálovými dopravními pásy (Spirálový zásobník). Primární funkcí této stanice je efektivní pohyb pečiva po kontinuální spirálové dráze v uzavřeném prostředí určeném pro šokové zmrazování nebo vychladnutí. Stanice využívá k pohonu dopravníkového pásu dva elektromotory, které zajišťují rovnoměrný a spolehlivý pohyb výrobků v jednom směru (viz Obrázek 21). Dále stanice obsahuje 3 senzory, které hlásí stav napínání nebo prověšení řetězu, který kolosem pohybuje.



Obrázek 21: Bokorys spirálového zásobníku
Zdroj: Vlastní zpracování

Pro vytvoření efektivní metodiky je nejprve potřeba zjistit, jak je problematika aktuálně řešena, aby mohla být nastavena nová metodika, která potencionálně navýší spolehlivost výrobní stanice. Momentálně výrobní stanice funguje tak, že byl provoz linky zobrazován na starém návrhu HMI a s nastavenou údržbou po poruše a doporučenou preventivní údržbou doporučenou výrobcem/ dodavatelem. Ta se nejčastěji skládá ze série kroků a postupů, které jsou prováděny v pravidelných intervalem údržbářským týmem. Aktuálně nastavený plán údržby popisuje Tabulka 1.

7.1 Aktuální plán údržby

Tabulka 1: Aktuální doporučená údržba od dodavatele

Typ zařízení	Typ kontroly	Interval provádění kontrol	Popis a součást kontroly
Elektromotor M1.1	Vizuální kontrola	Měsíčně	Vizuální kontrola motorů a jeho příslušenství. Hledání prasklin, vnějšího poškození, úniky oleje, kvalita připojených kabelů a další viditelné vady
	Měření teploty	Měsíčně	Vyhodnocení a analýza teploty motorů při běžném provozu pomocí integrovaného teploměru
	Měření odporu izolace	Ročně	Měření odporu izolace vinutí elektromotoru pomocí megohmmetru, za cílem zjištění možných vad izolace
	Měření napětí a proudu	Čtvrtletně	Analýza napětí a proudu motoru pro zjištění možných anomálií v napájení motoru
	Kontrola ložisek	3500 h / 180 dní	Kontrola stavu ložisek motoru pro zjištění stavu opotřebení
	Kontrola chladícího mechanismu	Měsíčně	Kontrola chladícího ventilátoru a případné čištění
	Analýza oleje	3500 h / 180 dní	Analýza oleje pro zjištění jeho opotřebení, degradace a případná kontaminace
	Čištění	Měsíčně	Očištění motoru od prachu a jiných nečistot
Senzory	Vizuální kontrola	Měsíčně	Kontrola fyzického stavu prvku výrobní linky
	Test funkčnosti	Čtvrtletně	Kontrola test funkčnosti senzoru pomocí simulace vstupního signálu
	Čištění	Měsíčně	Očištění senzoru od prachu a jiných nečistot
Stanice	Test funkčnosti	Měsíčně	Provedení všech výrobních receptů a možností, které výrobní stanice nabízí
	Kontrola akčních prvků	Měsíčně	Komplexní údržba všech mechanických i nemechanických částí, mazání, seřizování, výměna opotřebených dílů
	Čistění	Měsíčně	Čistění celé výrobní stanice od nečistot a prachu

Zdroj: Vlastní zpracování dle doporučení od výrobce

Tabulka 1 zobrazuje nastavený plán údržby, který je doporučen dodavatelem dílů a stanice. Kombinací těchto prvků lze dosáhnout pravidelného chodu, nicméně nastavený plán údržby nabízí mnoho prostoru pro zlepšení.

Aktuální Identifikace poruch na této stanici se opírá především o dvě metody: chybová hlášení na rozhraní HMI a detekci během preventivní údržby (viz Tabulka 1).

HMI zobrazuje kód poruchy a příslušný popis. Popis však nemusí přesně určit místo problému. To si vyžádá zastavení výroby (pokud není závada natolik kritická, aby způsobila automatické vypnutí) ze

strany týmu údržby. Servisní tým pak následně musí diagnostikovat zdroj a příčinu poruchy. V případě poruchy senzoru může být nutné lokalizovat a opravit vadnou jednotku. To obvykle zahrnuje výměnu poškozeného snímače za nový.

7.2 Školení personálu

Pro optimální chod výrobní stanice je nutnost personál řádně proškolit. Častokrát se stává, že zaměstnanci jsou přesouváni mezi jednotlivými pracovišti a ovládání výrobních stanic jim je vysvětleno během několika málo minut. Zvládají základní funkce = zvládnou stroj obsluhovat. Tato úvaha je do značné míry pravdivá, ale vyskytne-li se komplexnější problém, operátor, který stanici nezná do detailů, nebude vědět, jak problém řešit. Bude následovat přivolání týmu, zabývajícího se opravami a ten bude muset problém řešit místo operátora. Díky tomu budou vznikat prostoje a dodatečné náklady na lidské zdroje.

Pro minimalizaci prostojů výroby a souvisejících nákladů je nejdůležitější komplexní školení personálu. Takové školení by mělo zahrnovat nejen základní provozní postupy, ale také schopnost diagnostikovat a řešit běžné poruchy. Důkladné pochopení všech aspektů stroje umožní obsluze zvládnout běžné problémy a minimalizovat nucené odstávky. Tím, že se operátoři naučí zvládat běžné poruchy, se sníží potřeba zapojení interních techniků, což vede ke snížení souvisejících nákladů a efektivnějšímu využití expertních kapacit provozu.

7.3 Návrh metodiky řešení poruch strojů

Tradiční plány preventivní údržby zahrnují pravidelné kontroly, které mohou být časově náročné a nemusí vždy zachytit drobné problémy dříve, než se vystupňují ve větší. Ideálním řešením, jak pozvednout preventivní údržbu na proaktivnější přístup, by byla integrace funkcí prediktivní údržby. Toho lze dosáhnout přímým sledováním kritických fyzikálních veličin motorů, jako jsou vibrace, teplota a odběr proudu, prostřednictvím rozhraní HMI. Využitím těchto datových toků v reálném čase může tým údržby získat hlubší přehled o stavu a výkonu motorů i snímačů. V rámci rozhraní HMI lze implementovat algoritmy pro detekci anomálií, které analyzují tyto datové toky a identifikují případné odchylky od běžných provozních parametrů. To umožňuje včasné odhalení potenciálních problémů, což umožňuje týmu údržby naplánovat cílené zásahy dříve, než se rozvinou v plnohodnotné poruchy. Tím se nejen sníží neplánované prostoje a související ztráty ve výrobě, ale

také se minimalizuje riziko katastrofických poruch zařízení a potenciálních bezpečnostních rizik. Kromě toho lze údaje o prediktivní údržbě využít k optimalizaci plánů údržby a soustředit zdroje na zařízení, která budou s největší pravděpodobností vyžadovat pozornost. Tento přístup založený na datech může výrazně zlepšit celkovou efektivitu zařízení a přispět k dlouhodobým úsporám nákladů.

7.3.1 Standard pro alarmy

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.4, byly navrhnuty celkem 4 třídy alarmů (viz Tabulka 2), podle jejich významnosti. Proto další možností, jak zvýšit efektivitu práce a jak využít potenciál HMI naplno je správné určení kódu alarmu. Jelikož jsou třídy právě, bude vhodné kódy indexovat pomocí tisíců.

Tabulka 2: Indexování podle kategorií alarmů

Kategorie alarmu	Indexování
Informační	**1**xxx
Varování	**2**xxx
Chyba	**3**xxx
Porucha	**4**xxx

Zdroj: Vlastní zpracování

Díky tomuto indexování je možné hned od začátku rozeznat, o jakou kategorii alarmu se jedná. Tento navržený formát indexování napomáhá pracovníkům jasně rozlišit různé typy alarmů na základě indexu mimo potřeby povědomí o barevné indikaci.

Poté, co jsou alarmům přiřazeny indexy, může jim být následně uděleno přesné ID (viz Obrázek 22).

Discrete alarms

ID	Name	Alarm text	Alarm class	Trigger tag	Trigge..
1000	GlobalInfo_1	Global Info	Info	GlobInfos	0
1001	GlobalInfo_2	Global Info	Info	GlobInfos	1
1002	GlobalInfo_3	Global Info	Info	GlobInfos	2
1003	GlobalInfo_4	Global Info	Info	GlobInfos	3
1004	GlobalInfo_5	Global Info	Info	GlobInfos	4
1005	GlobalInfo_6	Global Info	Info	GlobInfos	5
1006	GlobalInfo_7	Global Info	Info	GlobInfos	6
1007	GlobalInfo_8	Global Info	Info	GlobInfos	7
1008	GlobalInfo_9	Global Info	Info	GlobInfos	8

Obrázek 22: Metoda přidělování ID alarmům
Zdroj: Vlastní zpracování z programu TIA Portal

Dřívější systémy rozhraní HMI často zobrazovaly pouze kódy alarmů bez doprovodných popisů. Tento přístup vyplýval z kapacitní náročnosti integrace podrobných chybových hlášení přímo do PLC nebo taková možnost jednoduše byla. V důsledku toho byli operátoři nuceni nahlížet do samostatné

dokumentace dodavatele, aby rozluštili význam každého kódu alarmu, což ztěžovalo orientaci v situaci a prodlužovalo dobu reakce. Tato praxe převládala ve starších systémech, které postrádaly moderní funkce HMI.

Ideální řešení pro prezentaci alarmů v HMI kombinuje výhody obou přístupů. To zahrnuje zobrazení jak stručného a snadno identifikovatelného kódu chyby, tak jasného a informativního popisu chyby přímo na obrazovce HMI. Podrobný popis lze dále rozvést v doprovodné dokumentaci pro účely hloubkového řešení problémů. Tento kombinovaný přístup poskytuje operátorům okamžitý kontext týkající se povahy alarmu, což jim umožňuje rychle a efektivně reagovat.

Zobrazený popis alarmů by měl být stručný a obsahovat kritické informace. Měl by jasně definovat problém a poskytnout uživatelům potřebné informace k okamžitému pochopení situace. Tím se eliminuje jejich nutnost nahlížet v kritických okamžicích do externí dokumentace, což umožňuje rychlejší a efektivnější reakci.

Jednoduché zobrazení kódu alarmu však nabízí dodavateli programu univerzálnost, protože nemusí ručně zapisovat jednotlivé alarmy, ale pouze upravovat dokumentaci. Má-li se však zvýšit efektivita práce, je třeba tyto možnosti kombinovat, aby se dosáhlo co nejlepší efektivity.

7.3.2 Návrh průvodce alarmů v uživatelském manuálu

Dodávaný manuál nebo také návod na provoz linky musí splňovat řadu kritérií. Jednoznačně musí být přehledný a výstižný. Z tohoto důvodu byl vytvořen návrh seznamu alarmů v uživatelské příručce, díky které může být zvýšeno povědomí o funkčnosti a zvýšena efektivita.

- **Levý sloupec:** Typ alarmu, kód/index, příčina, následek a řešení
- **Prostřední sloupec:** Stručný popis alarmu, jeho příčiny, dopadu na zařízení a způsob řešení alarmu
- **Pravý sloupec:** Přiřazená barva, která se zobrazuje na HMI

Tato struktura umožňuje rychlou a snadnou identifikaci typu alarmu, jeho příčiny, následků a také poskytuje jasný návod na jeho řešení. Seznam alarmů tak slouží jako cenný nástroj pro operátory linky, kteří tak mohou lépe reagovat na případné problémy a minimalizovat prostoje.

Tabulka 3: Návrh průvodce informačními alarmy do uživatelského manuálu

Informační alarmy		Barva
1001	Spuštění výrobní stanice	
Příčina	Spouštění PLC	
Následek	Stanici nelze ručně ovládat	
Řešení	Vyčkejte na spuštění PLC	
1002	Nutné potvrzení pro spuštění automatického provozu	
Příčina	Nebylo stisknuto potvrzovací tlačítko	
Následek	Stanice čeká na potvrzení	
Řešení	Stiskněte potvrzovací tlačítko	
1003	Nutné potvrzení pro spuštění manuální provoz	
Příčina	Nebylo stisknuto potvrzovací tlačítko	
Následek	Stanice čeká na potvrzení	
Řešení	Stiskněte potvrzovací tlačítko	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 3 napomůže uživatelům efektivně vyhledávat zobrazené alarmové hlášky spadajících do kategorie informačních alarmů, o kterých si mohou přečíst rozšiřující informace a jak postupovat.

Tabulka 4: Návrh průvodce chybovými alarmy do uživatelského manuálu

Chybové alarmy		Barva
3012	Chyba přepěťové ochrany v RM1	
Příčina	V blízkosti PLC systému mohlo dojít k bleskovému výboji, který způsobil prudký nárůst napětí	
Následek	Ztráta přepěťové ochrany v RM1 zařízení	
Řešení	Nutno vyměnit moduly přepěťové ochrany u zařízení RM1	
3014	Vypadlý proudový jistič F1 měniče FM1 v RM1 – Pohon pásového dopravníku M1A	
3015	Vypadlý proudový jistič F2 měniče FM2 v RM1 – Pohon pásového dopravníku M1B	
Příčina	Příčinou vypadnutí jističe může být elektrický zkrat v zařízení, jeho poškození nebo manuální vypnutí jističe osobou	
Následek	Ztráta napájení u daného zařízení	
Řešení	Manuálně zapněte proudový jistič na zařízení a proveďte kontrolu	
3018	Teplota motoru M1.1 příliš vysoká	
Příčina	Teplota motoru dosáhla kritických hodnot a motor není schopný provozu	
Následek	Vypnutí pohonu motoru M1.1 a zastavení systému	
Řešení	Proveďte kontrolu na motoru M1.1	

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 4 jsou podrobně popsána kritická chybová hlášení, která při výskytu brání automatizovanému provozu stanice. Tyto alarmy vyžadují okamžitou pozornost operátora nebo týmu údržby, aby se problém vyřešil a výroba se obnovila. Pro účinnou identifikaci a řešení těchto alarmů, zejména ve stanicích obsahujících více stejných komponent (snímače, akční členy), byl

navržen standardizovaný systém indexování pro kódování programu PLC. Tento indexovací systém přiřazuje každé komponentě jedinečný identifikátor. Například frekvenční měnič může být označen jako "FM", za kterým následuje pořadové číslo (např. FM1, FM2).

Ve scénářích, kdy výrobní linka využívá dvě podobné nebo identické stanice řízené jedním PLC, se stává nezbytným dvoustupňový systém indexace s čísly stanic a pořadovými čísly komponent. Tento přístup zajišťuje jednoznačnou identifikaci každé součásti, a to i na identických stanicích. Například motor umístěný ve stanici jedna s pořadovým číslem tři by byl v manuálu alarmových zprávách označen jako M1.3.

7.3.3 Integrace uživatelského manuálu do HMI

Základním zdrojem informací pro údržbu a provoz výrobních stanic je příručka od výrobce. Tento uživatelský manuál, který obvykle obsahuje množství informací od bezpečnostních protokolů až po pokyny k údržbě (viz Tabulka 1), umožňuje pracovníkům efektivně pracovat se systémem. Integrace této příručky přímo do rozhraní HMI nabízí významnou výhodu: možnost přístupu ke kritickým informacím přímo z ovládacího panelu, což zefektivňuje procesy servisu a odstraňování problémů.

Proveditelnost manuálů integrovaných do HMI však závisí na kombinaci softwaru a hardwaru, která se na stanici používá. Vývojové prostřední TIA Portal od verze V16 a vyšší nabízí uživatelům zobrazit PDF přímo v HMI, pokud používají hardwarové obrazovky HMI Comfort Panel nebo HMI Pro Panel. Tento typ panelů se již přestal vyrábět, ale stále je velmi často k vidění v praxi. Proto při koupi často dodavatelé holí možnost Unified panelů, které jsou levnější a nabízejí skvělý HW výkon a širokou podporu SW.

U starších verzí, tedy V15 a starší není integrována možnost prohlížení PDF dokumentů, ale pouze webový prohlížeč. Toto řešení může být příliš komplikované, jelikož je potřeba vytvořit webovou vizualizaci a v integrovaném prohlížeči zobrazit webovou stránku, kde se nachází nahraný manuál. Takové řešení nemusí být přímo problém, ale může být v rozporu s interním nařízením nebo směrnicí, jelikož veškeré průmyslové výrobny mají vlastní síť, která je z bezpečnostních důvodů odpojena od přístupu na internet.

Vyvážení funkčnosti a bezpečnosti:

Proto se nabízejí dvě možnosti: požádat o výjimku pro přístup k příručce na internetu nebo nahrát webovou stránku na interní server. Ačkoli se druhý přístup zdá být proveditelný, při testování často docházelo k přerušení komunikace s interním serverem, na kterém byl PDF soubor nahrán. Integrace uživatelských příruček do HMI se jeví jako bezpečnější volba pro novější verze TIA Portalu, zohledňující nestabilitu a bezpečnostní rizika spojená s alternativními přístupy.

7.3.4 Integrace elektro plánů do HMI

V návaznosti na navrhovanou integraci uživatelské příručky do rozhraní HMI tato práce zkoumá potenciální výhody začlenění souboru PDF obsahujícího plán elektroinstalace vybraného pracoviště. Tato funkce by poskytla týmu údržby okamžitý přístup k důležitým schématům přímo na ovládacím panelu, což by výrazně zefektivnilo procesy odstraňování problémů a oprav.

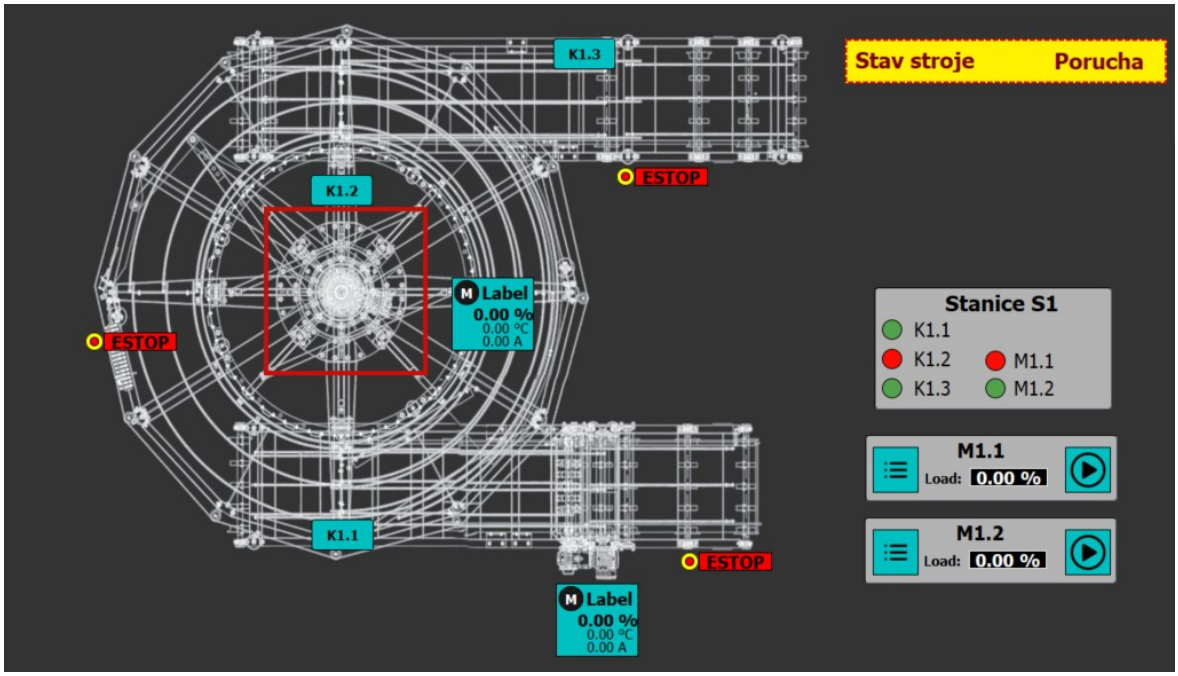
Je však důležité si uvědomit omezení spojená se začleněním takových funkcí do starších verzí portálu TIA Portalu (jak je uvedeno v kapitole 7.3.3). Podobné problémy týkající se kompatibility softwaru a potenciálních bezpečnostních obav bude třeba řešit i při implementaci integrace elektrických plánů pro pracovní stanice ovládané staršími verzemi softwaru.

7.3.5 Navržený design pro sledování stavu stroje v reálném čase

Navrhovaný design HMI přesahuje pouhé zobrazování alarmových zpráv. Umožňuje operátorům sledovat kritické činnosti v reálném čase přímo na rozhraní. Tento přístup zaměřený na uživatele podporuje hluboké porozumění funkcím systému u osob přímo odpovědných za provoz stanice. Design upřednostňuje přehlednost a intuitivní navigaci, čímž zajišťuje jasnou orientaci ve výrobní stanici. Základní funkce jsou viditelně zobrazeny na hlavní obrazovce spolu s lokací tlačítek ESTOP okolo schématu stanice. Dále se na schématu stanice nachází funkční bloky s informacemi ohledně motorů. Poskytují uživateli informace ohledně teploty motoru, jeho zátěže a využití proudu.

Design funkčního bloku pro motory byl navržen tak, aby nezabíral mnoho místa na obrazovce a schéma bylo přehledné. Stejně tak zobrazení senzorů na schématu. V pravém horním rohu se nachází popis stavu stanice, který je v konkrétním příkladě v módu poruchy a signalizován blikáním červené a žluté (pro lepší viditelnost). Grafické pole se senzory, pojmenované jako "Stanice S1" zobrazuje pomocí barevné signalizace chybu na čidle K1.2 a motoru M1.1. Tato chyba následně

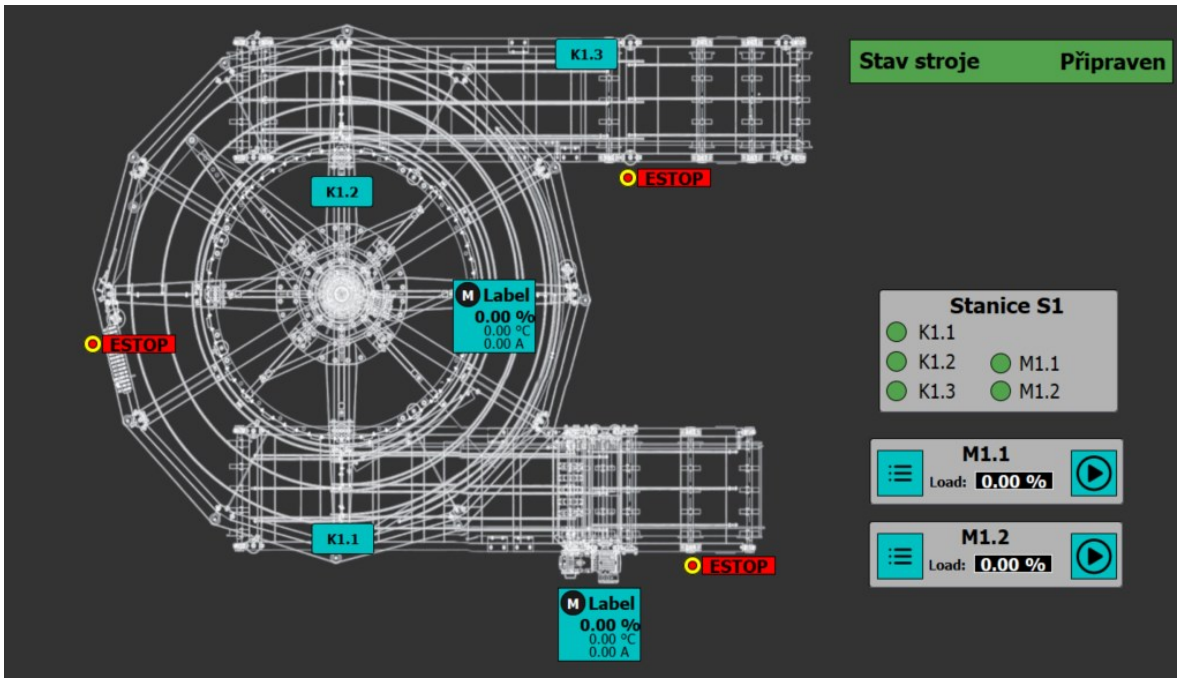
spouští funkci zobrazení červeného čtverce na schématu stanice, který napomáhá lokalizování chyby (viz Obrázek 23).



Obrázek 23: Navržený design pro sledování stavu v reálném čase – Stav: Porucha
Zdroj: Vlastní zpracování v prostředí TIA Portal

Navrhovaný design HMI upřednostňuje prostorově úsporné uspořádání a zároveň nabízí potenciál pro přizpůsobení ještě složitějším systémům, než je zde prezentovaný. Řízení motorů je realizováno prostřednictvím vyhrazených funkčních bloků přiřazených jednotlivým motorům. Tyto funkční bloky poskytují zjednodušené rozhraní s jedinou funkcí "start" symbolizovanou tlačítkem se šipkou. Stisknutím a podržením tohoto tlačítka se spustí postupné zrychlování motoru a předem nastavenou hodnotu. Pro zastavení motoru uživatelé jednoduše znovu stisknou stejné tlačítko, kterému se při běhu motoru změní symbolika na "stop". Pro detailnější možnosti ovládání slouží speciální tlačítko "menu" (symbolizované třemi vodorovnými čárkami), které uživatelům umožňuje přejít na samostatnou stránku s podrobnými parametry ovládání motoru. (viz Obrázek 18)

Pokud je stav v bezporuchovém stavu, červený čtverec není na schématu zobrazen a LED značení pro senzory a motory svítí zeleně (viz Obrázek 24).



Obrázek 24: Navržený design pro sledování stavu v reálném čase – Stav: Připraven
Zdroj: Vlastní zpracování v prostředí TIA Portal V17

7.3.6 Využití prostředí S7 GRAPH

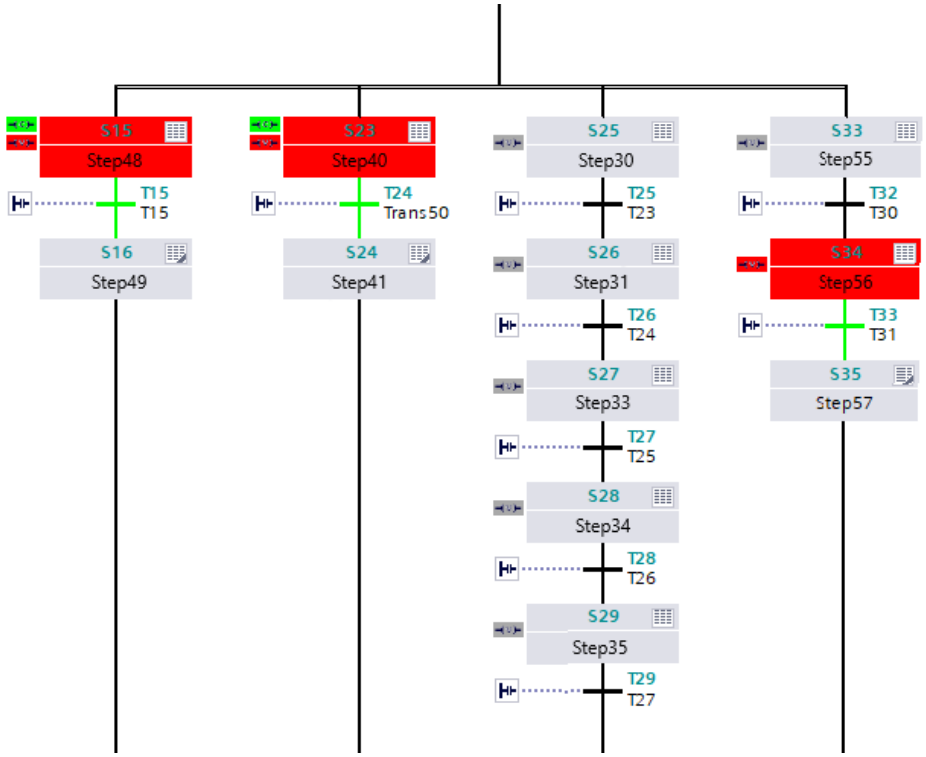
S7 GRAPH, grafický programovací jazyk společnosti Siemens, umožňuje uživatelům vytvářet robustní diagnostické programy pro PLC. Tento uživatelsky přívětivý přístup nabízí několik klíčových výhod pro efektivní monitorování a odstraňování problémů v průmyslovém prostředí:

- **Komplexní monitorování**: S7 GRAPH usnadňuje monitorování široké škály procesních proměnných, včetně analogových a digitálních signálů, alarmů a stavů zařízení. Tento komplexní sběr dat poskytuje operátorům ucelený pohled na stav stroje a procesu
- **Vizualizace v reálném čase:** uživatelům je umožněno vizualizovat sledovaná data a diagnostické informace přímo na panelech rozhraní HMI nebo na webových stránkách. Tato vizualizace v reálném čase umožňuje rychlou identifikaci problému a usnadňuje informované rozhodování při procesech odstraňování problémů
- **Přehledná logická reprezentace:** Program využívá přehledné logické diagramy pro znázornění průběhu diagnostického programu. Tyto diagramy zlepšují pochopení logiky programu a zjednodušují odstraňování problémů pro uživatele všech úrovní dovedností
- **Zjednodušené ladění:** S7 GRAPH poskytuje sadu ladicích funkcí, které zjednodušují proces vyhledávání a odstraňování chyb v diagnostickém programu. Tato funkce minimalizuje

prostoje spojené s odstraňováním problémů a zajišťuje, že diagnostický program pracuje s maximální efektivitou

Komplexní monitorování, vizualizace v reálném čase a efektivní možnosti ladění systému S7 GRAPH nabízejí přesvědčivé řešení pro optimalizaci průmyslové diagnostiky. Využitím těchto funkcí mohou výrobci umožnit operátorům proaktivně identifikovat a řešit potenciální problémy, což vede k výraznému zlepšení celkové provozní efektivity a snížení prostojů.

Přestože systém S7 GRAPH nabízí uživatelsky přívětivé rozhraní, je nezbytné před implementací posoudit úroveň dovedností obsluhy. Zatímco samotný systém je relativně jednoduchý na ovládání, jeho plný potenciál by mohl být běžnými operátory bez silného zázemí v oblasti PLC nedostatečně využit.



Obrázek 25: Ukázka diagramu znázorňující problémové kroky
Zdroj: Vlastní zpracování v S7 GRAPH

Pomocí barevného zobrazení jsou operátoři schopni rychle odhalit, v které části cyklu k problému došlo a jak chybu odstranit co nejrychleji. Obrázek 25 ilustruje problém na stanici, konkrétně u bloků S15, S23 a S34. Toto grafické zobrazení operátorům nebo zaměstnancům, snažící se problém na stanici vyřešit, okamžitě prozradí, který krok nebyl proveden a mohou problém dále analyzovat a řešit.

7.4 Shrnutí navržené metodiky a postupů

Navržené postupy, implementace a systémy diagnostiky by zaručeně zvýšily produktivitu práce a snížily prostoje, které mohou vznikat při běžném provozu výrobních strojů ve výrobním průmyslu. Pomocí navržené metodiky přidělování indexů pro alarmy se uživatel lépe orientuje v případných alarmových hláškách. V případě, že operátor potřebuje nahlédnout do uživatelského manuálu má možnost využít tuto možnost přímo v rozhraní HMI spolu s elektro plánem. Uživatelskému manuálu byl navržen standard, jak popisovat příčinu, důsledek a řešení daného alarmu/ problému, který na systému může nastat. Odhalování poruch na stanici je jednoduší, jelikož byl vytvořen návrh HMI, který zobrazuje akční prvky a senzory v reálném čase a nabízí tak uživateli přehled všech strojů, nacházejících se na výrobní stanici. V neposlední řadě byl analyzován systém S7 GRAPH, který při implementaci nabízí efektivní zjišťování stavu a problémů na výrobní stanici. Při kombinace výše zmíněných doporučení a návrhů bude ovládání stanice operátory pohodlnější a zároveň se sníží čas nechtěných prostojů.

8 Ekonomický efekt navržené metodiky

Pro posouzení ekonomických efektů navrhované metodiky byl vytvořen modelový příklad, u kterého bylo vycházeno z praktických zkušeností a poznatků z oboru. Byl zvolen přístup rozlišení na přímé náklady (ve formě lidských zdrojů) a nepřímé náklady, do kterých spadá ušlý zisk, tvořený prostoji a případné sankce za nedodržení smluvních norem.

Za účelem ekonomického zhodnocení vybrány dva scénáře, kdy první představuje výrobní stanici, která je již delší dobu v provozu a funguje do značné míry efektivně. K tomu scénáři byl následně přidělen protipól, tedy typ stanice, která funguje jen chvíli nebo se potýká se značnými problémy s efektivitou.

8.1 Náklady lidských zdrojů

Pro následující příklady je uvažován náklad 230 Kč/h pro člena údržbářského týmu nebo seřizovače, kteří obvykle jsou schopni problém na stanici vyřešit v intervalu od 35 až do 65 minut. Průměr odstranění poruchy je brán 50 minut. Dále nejsou zohledněny další náklady spojené s prostoji, jako jsou ztráty produkce, náklady na náhradní díly, náklady na energie a externí zdroje.

8.1.1 Náklady lidských zdrojů před zavedením navržené metodiky

Tabulka 5 nabízí relativně nízkou frekvencí poruch (0,75krát za směnu), čímž vznikají nízké dodatečné náklady na lidské zdroje. Tyto náklady zahrnují mzdy údržbářů nebo seřizovačů, kteří musí být odkloněni od svých běžných povinností a věnovat se řešení vniklého problému na výrobní stanici. Náklady na jednu směnu jsou počítány součinem frekvence poruch, doby odstraňování poruchy a nákladem na zaměstnance.

Tabulka 5: Náklady lidských zdrojů před implementací navržené metodiky na stabilní systém

Časový interval	Počet směn	Frekvence poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady na zaměstnance	Celkem
Směna	1	0,75	50 min	230 Kč/ h	~ 144 Kč
Den	2	1,5	50 min	230 Kč/ h	~ 288 Kč
Týden	10	7,5	50 min	230 Kč/ h	~ 1 438 Kč
Měsíc	40	30	50 min	230 Kč/ h	~ 5 750 Kč
Rok	480	360	50 min	230 Kč/ h	~ 69 000 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

Nadměrné vytížení údržbářského týmu v důsledku častých poruch může mít řadu negativních důsledků, a to:

- **Zanedbávání plánu údržby**: Údržbáři a seřizovači, kteří jsou neustále nuceni řešit akutní problémy, nemají dostatek času na provádění plánovaných údržeb. To může vést k častějšímu výskytu poruch a prostojů v budoucnu, jelikož nemusí být prováděna preventivní údržba dle doporučení výrobce.
- **Snížení produktivity**: Časté prostoje vedou k poklesu produktivity a ztrátám ve výrobě.
- **Zvýšení rizika úrazů**: Únava a stres z nadměrné práce mohou vést ke zvýšení rizika úrazů u údržbářů a seřizovačů.
- **Zhoršení morálky zaměstnanců**: Neustálý stres a tlak na výkon mohou vést k demotivaci a zhoršení morálky zaměstnanců v údržbářském týmu.

V případě častější frekvence poruch na neoptimalizované výrobní stanici nebo může počet poruch dosahovat i třech poruch za směnu. Náklady by mohly vypadat takto:

Tabulka 6: Náklady lidských zdrojů před zavedením navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Dodatečné náklady na zaměstnance	Celkem
Směna	1	3	50 min	230 Kč/ h	~ 575 Kč
Den	2	6	50 min	230 Kč/ h	~ 1 150
Týden	10	30	50 min	230 Kč/ h	~ 5 750 Kč
Měsíc	40	120	50 min	230 Kč/ h	~ 23 000 Kč
Rok	480	1440	50 min	230 Kč/ h	~ 276 000 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 6 je ukázkou extrémní situace, kdy pracovníci, kteří mají na starost odstraňování závad, musejí odhalovat 3 poruchy za směnu. To znamená, že z 8hodinové směny dochází k 2,5hodinovým prostojům. Taková výrobní stanice přináší dodatečné náklady a svým vytížením lidských zdrojů ohrožuje provoz celého výrobního komplexu. Bohužel takovýto stav není ojedinělost a mnoho podniků se potýká s podobnými problémy. Náklady lidských zdrojů spojené s odhalováním a řešením poruch na stanici tak jsou na konci roku přiblíženy částce 276 tisíc Kč.

8.1.2 Náklady lidských zdrojů po zavedení navržené metodiky

V této kapitole jsou uvedeny modelové příklady z kapitoly 8.1.1, na které byl aplikován soubor metod řešení poruch z kapitoly 7.3. Zejména navržený design, který zobrazuje poruchy s jejich umístěním v reálném čase (viz Obrázek 23), barevné rozlišení alarmů spolu, včetně jejich kategorizace, integrace uživatelského manuálu, elektroinstalace a možnost zobrazení diagnostickém systému nabízeného S7 GRAPH, dokáží přinést úsporu prostojů.

Komplexní systém alarmů eliminuje nutnost obsluhy zastavovat provoz stanice a informovat tým údržby pokaždé, když se objeví chybové hlášení. Díky kategorizaci alarmů mohou operátoři samostatně určit, zda je nutné věnovat jim okamžitou pozornost, nebo zda lze problém řešit během plánované odstávky stroje nebo například v mezičase čekání na výrobní materiál.

Ve stabilním výrobním prostředí s nízkou frekvencí objevování problémů zkrátí implementace především dobu potřebnou k identifikaci a řešení poruch. To se projeví v rychlejším řešení problémů, minimalizaci prostojů a zvýšení celkové efektivity.

Tabulka 7: Náklady lidských zdrojů po implementaci navržené metodiky na stabilní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady na zaměstnance	Celkem
Směna	1	0,75	25 min	230 Kč/ h	~ 72 Kč
Den	2	1,5	25 min	230 Kč/ h	~ 144 Kč
Týden	10	7,5	25 min	230 Kč/ h	~ 719 Kč
Měsíc	40	30	25 min	230 Kč/ h	~ 2 875 Kč
Rok	480	360	25 min	230 Kč/ h	~ 34 500 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 7 zobrazuje nižší celkové náklady lidských zdrojů, jelikož doporučená metodika potenciálně urychlí uvedení stroje zpět do provozu.

Výrobní stanice, které se dlouhodobě potýkají s nedostatky z pohledu spolehlivosti komponent, které generují značné hodiny prostojů, nabízí navržená metodika možnost snížení nuceného počtu zastavení provozu.

Tabulka 8: Náklady lidských zdrojů po zavedení navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Dodatečné náklady na zaměstnance	Celkem
Směna	1	2	25 min	230 Kč/ h	~ 192 Kč
Den	2	4	25 min	230 Kč/ h	~ 383 Kč
Týden	10	20	25 min	230 Kč/ h	~ 1 917 Kč
Měsíc	40	80	25 min	230 Kč/ h	~ 7 667 Kč
Rok	480	960	25 min	230 Kč/ h	~ 92 000 Kč

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 8 ukazuje, že snížení počtu poruch a doby k jejich odstranění výrazně ovlivní náklady na lidské zdroje. Oproti stavu bez zavedení vytvořené metodiky (viz Tabulka 6) budou finanční náklady téměř třetinové.

8.2 Nepřímé náklady a ušlý zisk

Pro modelové příklady je uvažováno, že výrobní linka vyrobí za jednu směnu, tedy za 8 hodin 25 000 ks pečiva. Marže z jednoho kusu pečiva činí 1,3 Kč. Pokud výrobní linka stojí více jak 4 hodiny, jsou navíc účtovány penále za nedodržení smluvních závazků se zákazníkem. Z důvodu nedostatku statistických dat poruch a celkového počtu vyrobených kusů, nejsou penále účtovány.

$$\frac{\frac{Ks\ pečiva\ vyrobených\ za\ směnu}{Délka\ jedné\ směny\ (h)}}{60} * Marže\ za\ kus = Zisk\ za\ minutu \quad (1)$$

8.2.1 Náklady prostojů před zavedení navržené metodiky

V této části je opět uvažováno, že na modelovém příkladu dochází k poruše 0,75krát za směnu a odstranění chyby trvá 50 minut. Je vypočteno, že cena jedné minuty, kdy stroj nevyrábí je ~ 67,71 Kč. K výpočtu byl použit vzoreček (1)

$$\frac{\frac{25\,000}{8}}{60} * 1{,}3 = \sim 67{,}71\ Kč/min \quad (2)$$

Dle vzorce (2) vycházejícího ze vzorce (1) cena jedné minuty, kdy stroj nevyrábí, je ~ 67,71 Kč.

Tabulka 9: Náklady způsobené prostoji před implementací navržené metodiky na stabilní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady prostoje každou minutu	Celkem
Směna	1	0,75	50 min	~ 67,71	**~ 2 539 Kč**
Den	2	1,5	50 min	~ 67,71	**~ 5 078 Kč**
Týden	10	7,5	50 min	~ 67,71	**~ 25 391 Kč**
Měsíc	40	30	50 min	~ 67,71	**~ 101 565 Kč**
Rok	480	360	50 min	~ 67,71	**~ 1 218 780 Kč**

Zdroj: Vlastní zpracování

Následně byla vytvořena Tabulka 9 znázorňující scénář, ve kterém dochází k prostoji průměrně na každé směně po dobu 37,5 minut a následně je počet minut vynásoben s cenou prostoje za jednu minutu. Výsledek poté tvoří 2 539 Kč jako nepřímý náklad za prostoje výrobní linky.

Tabulka 10: Náklady vyplývající z prostojů před zavedením navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady prostoje každou minutu	Celkem
Směna	1	3	50 min	~ 67,71	**~ 10 157 Kč**
Den	2	6	50 min	~ 67,71	**~ 20 313 Kč**
Týden	10	30	50 min	~ 67,71	**~ 101 565 Kč**
Měsíc	40	120	50 min	~ 67,71	**~ 406 260 Kč**
Rok	480	1440	50 min	~ 67,71	**~ 4 875 120 Kč**

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 10 shrnuje situaci, kdy náklady způsobené prostoji tvoří více než 10 tisíc Kč za směnu, jelikož dochází průměrně k 2,5 hodinám prostojům. Tyto náklady tvoří ročně téměř 5 miliónů Kč, což může být důvodem finanční nestability provozu.

8.2.2 Ušlý zisk po zavedení navržené metodiky

Rovněž jako u kapitoly 8.1.2 byl spočítán potenciální ekonomický efekt po zavedení metodiky řešení poruch.

Tabulka 11: Náklady způsobené prostoji po implementaci navržené metodiky na stabilní výrobní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady prostoje každou minutu	Celkem
Směna	1	0,75	**25 min**	~ 67,71	**~ 1 270 Kč**
Den	2	1,5	**25 min**	~ 67,71	**~ 2 537 Kč**
Týden	10	7,5	**25 min**	~ 67,71	**~ 12 696 Kč**
Měsíc	40	30	**25 min**	~ 67,71	**~ 50 783 Kč**
Rok	480	360	**25 min**	~ 67,71	**~ 609 390 Kč**

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 11 zachycuje situaci, kdy díky zavedení metodiky byl výrazně snížen čas odstraňování defektů, které brání automatizované produkci. Následkem kratších prostojů jsou tvořeny dodatečné náklady za 609 tisíc Kč ročně.

Tabulka 12: Náklady způsobené prostoji po zavedení navržené metodiky na nestabilní nebo krátce zavedený výrobní systém

Časový interval	Počet směn	Počet poruch	Doba odstraňování poruchy	Náklady prostoje každou minutu	Celkem
Směna	1	**2**	**25 min**	~ 67,71	**~ 3 386 Kč**
Den	2	**4**	**25 min**	~ 67,71	**~ 6 771 Kč**
Týden	10	**20**	**25 min**	~ 67,71	**~ 33 855 Kč**
Měsíc	40	**80**	**25 min**	~ 67,71	**~ 135 420 Kč**
Rok	480	**960**	**25 min**	~ 67,71	**~ 1 625 040 Kč**

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 12 znázorňuje scénář, ve kterém byl čas výrazně zkrácen díky efektivnější detekci chyb. Dále nastavení metodiky vedlo ke snížení celkového počtu poruch. Operátoři nyní lépe identifikují situace, kdy lze výrobu pokračovat bez nutnosti zastavení provozu. Tím došlo k redukci nepřímých nákladů spojených s nechtěnými prostoji na novou hodnotu 1,625 milionu Kč oproti původním nákladům 4,875 milionu Kč, takže došlo k jejich snížení o 3,25 milionu Kč.

8.3 Posouzení ekonomických efektů navržené metodiky

Navrhovaná metodika popsaná v kapitole 7.3 má jednoznačně pozitivní účinky na výrobní systémy bez ohledu na jejich současný stav.

U zavedených, dobře vyladěných výrobních linek, které již dosahují vysoké účinnosti, může zavedení této metodiky dále optimalizovat výkonnost a zvyšovat komfort práce. Zjednodušený proces identifikace a řešení poruch minimalizuje prostoje a umožňuje operátorům činit informovaná rozhodnutí na základě kategorizovaných alarmů. To jim umožňuje řešit drobné problémy bez

zastavení výroby, čímž se maximalizuje celková efektivita. Navíc navržený design s možností sledování stavu v reálném čase, usnadňuje práci na stanici a snižuje riziko lidské chyby.

U systémů, u nichž dochází k častým závadám, jsou přínosy ještě výraznější. Zavedení navrhované metodiky může vést k výraznému zvýšení efektivity, kvality práce a dramatickému snížení prostojů a lidským chybám. Zlepšené diagnostické možnosti umožňují rychlejší a přesnější identifikaci problémů, což umožňuje cílené zásahy údržby a v konečném důsledku vyšší úspěšnosti stanice.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo seznámit se s metodami běžného ovládání průmyslových strojů ve výrobním průmyslu a vypracovat návrh vylepšení uživatelského rozhraní, s čímž souviselo seznámení se s běžnými metodami ovládání průmyslových strojů. Byla provedena analýza chyb a poruch, které nastávají u nevhodně navržených uživatelských rozhraní ovládacích panelů. Následně byla navržena metodika řešení poruch objevujících se v běžném provozu, která má za cíl minimalizovat prostoje a usnadnit uživatelům operování se strojem.

V průběhu teoretické části byly definovány programovatelné logické automaty (PLC), řídící automatizovaný provoz výrobních stanic, a druhy údržeb, které se v provozu využívají k maximalizaci efektivnosti.

Praktická část práce se zaměřila na analýzu různých druhů uživatelských rozhraní, které jsou zavedeny v praxi. Na základě jejich nedostatků byl navržen vlastní vylepšený design. Byla analyzována problematika alarmů, které byly rozděleny do čtyř kategorií podle závažnosti, čímž je docíleno efektivnějšího provozu. Výsledkem vlastního návrhu je uživatelské rozhraní, které je schopno zobrazovat poruchy na výrobní lince v reálném čase a usnadňuje uživatelům ovládání a diagnostiku problémů stroje. Následně byla vytvořena metodika pro zápis uživatelských manuálů, které výrobce přikládá spolu s uživatelským rozhraním, která napomůže uživatelům řešit chyby efektivněji a zkrátí prostoje. V závěrečné části práce byl spočítán ekonomický efekt navržené metodiky a vylepšeného designu uživatelského rozhraní, kde bylo na modelových příkladech zjištěno, že nastolené rozhraní a metodika, která usnadní práci se zařízením, zkrátí dobu odstraňování poruch a sníží dobu prostojů. Minimalizováním prostojů jsou sníženy náklady spojené s lidskými zdroji a ušlým ziskem.

Celkově lze říci, že diplomová práce splnila nastavené cíle a představila praktické řešení analyzovaných problémů. Implementace navržených změn povede k usnadnění práce ve výrobním průmyslu, snížení prostojů díky rychlejšímu odhalování poruch a snazšímu plánování preventivní údržby. Zároveň dojde ke snížení lidské chyby při ovládání průmyslových strojů.

Seznam použité literatury

ADÁMEK, Milan, 2022. *Moderní přístupy v měření pro průmyslové a bezpečnostní aplikace = Modern approaches in measurement for industrial and security applications*. Pořadí vydání: první. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. ISBN 978-80-7678-072-9.

ACHOUCH, Mounia; Mariya DIMITROVA; Khaled ZIANE; Sasan SATTARPANAH KARGANROUDI; Rizck DHOUIB; Hussein IBRAHIM a Mehdi ADDA, 2022. On Predictive Maintenance in Industry 4.0: Overview, Models, and Challenges. Applied Sciences [online]. vol. 12, no. 16, 8081. ISSN 2076-3417. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/app12168081.

ALTECH CORP, 2022. *Understanding and Using E-Stops*. [online]. Design FAQ. Dostupné z: https://www.altechcorp.com/PDFS/Altech_FAQ_E-Stops.pdf.

ANAHEIM AUTOMATION, 2021. *HMI Guide* [online]. Dostupné z: https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php.

AWATI, Rahul, 2022. *What is a transistor and how does it work?*. [online]. Dostupné z: https://www.techtarget.com/whatis/definition/transistor.

BEE, Liam, 2022. *PLC and HMI Development with Siemens TIA Portal: Develop PLC and HMI programs using standard methods and structured approaches with TIA Portal V17*. Birmingham, UK: Packt Publishing. ISBN 978-1-80181-722-6.

BUCKENMAIER, Rainer, 2023. *Ergonomie na pracovišti - definice a příklady z průmyslu*. Online. Beewatec. Dostupné z: https://www.beewatec.com/cs/blog/ergonomie-na-pracovisti.

CONRAD, 2024, Crouzet 88981133 Nano PLC PLC řídicí modul 24 V/DC | Conrad Electronic [online]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/cs/p/crouzet-88981133-nano-plc-plc-ridici-modul-24-v-dc-2104590.html.

CORPORATIVA, IBERDROLA, 2024. I*ndustry 4.0: which technologies will mark the Fourth Industrial Revolution?*. Iberdrola [online]. Dostupné z: https://www.iberdrola.com/innovation/fourth-industrial-revolution.

DIGI KEY, 2024. *About Relays*, [online]. Dostupné z: https://www.digikey.cz/en/products/category/relays/14.

GAWRON, Valerie Jane, 2019. *Human Performance and Situation Awareness Measures*. 3rd ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press. ISBN 978-0-367-00231-2.

GILBERT, Camille, 2014. *Advantages of a Modular PLC Over a Fixed PLC?* Online. In: Idaho State University. Dostupné z: https://blog.cetrain.isu.edu/blog/bid/353287/advantages-of-a-modular-plc-over-a-fixed-plc.

GREEKFORGEEKS, 2021. *What is an Operating System?* GeeksforGeeks [online]. Dostupné z: https://www.geeksforgeeks.org/what-is-an-operating-system/.

KUKA AG, 2024. *KUKA smartPAD pro* [online]. Dostupné z: https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/robot-controllers/kuka-smartpad-pro.

MACHAN, Jaroslav, Jaromír. TOBIŠKA, David LEHET a Jan NOVOTNÝ, 2022. *Metody kvality užívané ve fázi vývoje výrobku: aplikace v automobilovém průmyslu*. III. aktualizované a rozšířené vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-07091-8.

MALEKAR, Avinash, 2021. *Learn everything about factory automation: Practical lessons on PLC, HMI, VFD, Servo programming & machine automation*. Updated edition. Independently published. ISBN 979-8458512527.

PAUCEANU, Alexandrina Maria; RABIE Nada a MOUSTAFA Ayman, 2020. Employability under the Fourth Industrial Revolution. online. *Economics & Sociology*, vol. 13, no. 3, s. 269-283. ISSN 2071-789X. Dostupné z: https://doi.org/10.14254/2071-789X.2020/13-3/17.

PENTA SERVIS, 2001. *Ovládací panel.* PENTA – servis s.r.o. [online]. Dostupné z: https://www.pentaservis.cz/pojem/ovladaci-panel/.

PHILLIPS, Rick, 2022. *What are the different types of PLC?* PLC Basics [online]. Dostupné z: https://basicplc.com/different-types-of-plc/.

PLC PROGRAMMING, 2021. *How do you choose between Safety PLC and Standard PLC for your project?* [online]. Dostupné z: https://www.linkedin.com/advice/0/how-do-you-choose-between-safety-plc-standard-your.

REESE, Byron, 2022. *Čtvrtý věk: inteligentní roboti, myslící počítače a budoucnost lidstva*. Vydání první. Přel. Jakub GONER. Brno: Zoner Press. ISBN 978-80-7413-490-6.

SEGOVIA, Vanessa Romero a THEORIN, Alfred., 2012. *History of Control History of PLC and DCS* [online]. Dostupné z: https://archive.control.lth.se/media/Education/DoctorateProgram/2012/HistoryOfControl/Vanessa_Alfred_report.pdf.

SCHWAB, Klaus, 2016. *The fourth industrial revolution*. First U.S. edition. New York: Crown Business. ISBN 978-1-5247-5886-8.

SWINDALL, John, 2017. *Safety Basics - Conventional vs Combined Safety.* PROFINET University [online]. Dostupné z: https://profinetuniversity.com/functional-safety/safety-basics-conventional-vs-combined-safety/.

TECHNICKÉ NORMY ČSN, 2009. ČSN EN 13460 (010662), *Údržba – Dokumentace pro údržbu*.

TOMEK, Gustav a Věra VÁVROVÁ, 2017. *Průmysl 4.0, aneb, Nikdo sám nevyhraje*. První vydání. Průhonice: Professional Publishing. ISBN 978-80-906594-4-5.