

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Porovnání dynamických charakteristik soustav pohonů řízených PLC
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jiří Pavlíček**
Osobní číslo: **I22024**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Porovnání dynamických charakteristik soustav pohonů řízených PLC**
Zadávací katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cíl:

Porovnat dynamické charakteristiky soustav pohonů v laboratoři průmyslové automatizace. Základními regulovatelnými veličinami budou otáčky měřené.

Teoretická část:

- Vypracujte podrobnou analýzu současné nabídky na trhu s programovatelnými automaty používanými v průmyslu
- Popište použitý programovatelný automat Siemens Simatic S7-1200, jeho zapojení a vývojové prostředí TIA Portál použité při řešení.
- Navrhněte způsob ovládání a měření otáček čtyř dynamických soustav z jednoho místa v prostředí TIA Portál.

Praktická část:

- Sestavit program v prostředí TIA Portál pro ovládání čtyř propojených řídicích jednotek (PLC). Každá jednotka řídí dynamickou soustavu s pohonem.
- Navrhnout HMI panel pro ovládání pohonů a záznam naměřených dat. Z hlavního panelu bude probíhat sběr dat a ovládání všech pohonů. Z podružných panelů se bude ovládat pouze příslušný pohon.
- Pomocí vytvořeného rozhraní změřte přechodové charakteristiky dynamických soustav pro různé otáčky. Získané charakteristiky porovnejte.

Rozsah pracovní zprávy: **cca 40 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

CHLEBNÝ, Jan. *Automatizace a automatizační technika. 3, Prostředky automatizační techniky. 4.*, aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2523-6.
ŠMEJKAL, Ladislav a MARTINÁSKOVÁ, Marie. *PLC a automatizace. 1. díl, Základní pojmy, úvod do programování*. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-58-9.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Mgr. Václav Horčic, Ph.D.**
Katedra automatizace a matematiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2024**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. ledna 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem Porovnání dynamických charakteristik soustav pohonů řízených PLC jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že 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, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12. 05. 2025

Jiří Pavlíček v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Mgr. Václavu Horčicovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a konzultace při zpracování této práce. Také děkuji své rodině a přátelům za podporu během studia.

ANOTACE

Cílem této práce je porovnat dynamické charakteristiky soustav pohonů řízených PLC a IPC s dotykovým HMI panelem IFP 1500 PRO. Práce rozebírá problematiku PLC, jejich fungování, programování a aktuálně dostupné typy na trhu. Dále je popsán software TIA Portal a řídicí systém Simatic S7-1200. Práce také zahrnuje popis použitého hardwaru. Dále se práce zaměřuje na tvorbu programu pro ovládání čtyř dynamických soustav z jednoho centrálního pracoviště. Výsledky experimentálního měření a analýzy dynamických charakteristik jsou následně vyhodnoceny.

KLÍČOVÁ SLOVA

PLC, HMI panel, dynamická soustava, TIA Portal, Siemens, dynamická charakteristika

ANNOTATION

The aim of this work is to compare the dynamic characteristics of PLC and IPC controlled drive systems with the IFP 1500 PRO touch panel HMI. The thesis discusses the issues of PLCs, their operation, programming and currently available types on the market. Furthermore, the TIA Portal software and the Simatic S7-1200 control system are described. The work also includes a description of the hardware used. Furthermore, the thesis focuses on the development of a program for controlling four dynamic systems from one central workstation. The results of the experimental measurements and analysis of the dynamic characteristics are then evaluated.

KEYWORDS

PLC, HMI panel, dynamic system, TIA Portal, Siemens, dynamic characteristic

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM ZKRATEK	11
TERMINOLOGIE	12
ÚVOD	13
1 TEORETICKÁ ČÁST	14
1.1 Programovatelné logické automaty (PLC)	14
1.1.1 Historie.....	14
1.1.2 Norma IEC 61131	16
1.1.3 Konstrukce	17
1.1.4 Dělení PLC	19
1.2 Siemens SIMATIC S7-1200	21
1.2.1 Napájecí zdroj SITOP	22
1.2.2 Switch SCALANCE XB008.....	22
1.2.3 Switch SCALANCE XC224-4C.....	23
1.2.4 SIMATIC IPC227G	23
1.2.5 HMI SIMATIC IFP1500 PRO.....	24
1.3 TIA PORTAL	24
1.3.1 Programovací bloky	25
1.3.2 PLC Tags – uložení proměnných.....	26
1.4 Popis místnosti – Laboratoř průmyslové automatizace	26
1.4.1 Organizace průmyslové sítě v laboratoři	26
1.4.2 Schéma pracoviště a jeho popis	27
1.4.3 Dynamická soustava Modular Servo	28
1.5 Návrh ovládní a měření otáček čtyř dynamických soustav TIA Portal	29
1.5.1 Architektura řídicího systému v TIA Portal	30
1.5.2 Řízení motoru v TIA Portal	30
1.5.3 Vizualizace a ovládní na HMI panelu.....	30
1.5.4 Výhody navrženého systému	30
2 PRAKTICKÁ ČÁST	31
2.1 Popis zapojení použitého hardwaru	31
2.2 Popis softwarové struktury a programování v TIA Portal	31

2.2.1	Založení projektu	32
2.2.2	Výběr programovacího jazyka.....	33
2.2.3	Použitý PLC Tags v programu.....	33
2.2.4	Použité programové bloky	34
2.3	Vizualizace a ovládání	40
2.3.1	Lokální HMI panel.....	40
2.3.2	Centrální HMI panel	41
2.4	Měření přechodových charakteristik	45
2.5	Grafy a vizualizace výsledků.....	45
2.5.1	První pracoviště	46
2.5.2	Druhé pracoviště	49
2.5.3	Třetí pracoviště	52
2.5.4	Čtvrté pracoviště	54
2.6	Porovnání výsledků.....	56
2.7	Hodnocení HMI rozhraní.....	59
ZÁVĚR		60
POUŽITÁ LITERATURA		61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Kompaktní programovatelný logický automat EC4P (EATON, 2025)	14
Obr. 2 Nákres konfigurace PLC s rozšiřujícími rámy (plc-automatizace.cz, 2025).....	15
Obr. 3 Modicon 084, první PLC na světě (ceskestavby.cz, 2024)	15
Obr. 4 Ukázka jednotlivých jazyků (Kohout, 2025).....	17
Obr. 5 Vnitřní struktura PLC (Štursa, 2023)	17
Obr. 6 Vykonávání programu (Štursa, 2023)	18
Obr. 7 Mikro PLC Electrodepot ED12DC (Electrodepot, 2025)	19
Obr. 8 Kompaktní PLC Siemens Simatic S7-1200 (SIEMENS, 2025).....	20
Obr. 9 Modulární PLC Siemens Simatic S7-1500 (SIEMENS, 2025).....	20
Obr. 10 Popis Simatic S7-1200 CPU1215C (Jirčák, 2013).....	21
Obr. 11 Napájecí zdroj SITOP PSU4200 (SIEMENS, 2025).....	22
Obr. 12 Switch SCALANCE XB008 (SIEMENS, 2025).....	22
Obr. 13 Switch SCALANCE CX224-4C (SIEMENS, 2025).....	23
Obr. 14 SIMATIC IPC227G (SIEMENS, 2025).....	23
Obr. 15 HMI SIMATIC IFP1500 PRO (SIEMENS, 2025).....	24
Obr. 16 TIA Portál (TIA PORTAL, 2025)	25
Obr. 17 Menu programovacích bloků (Screenshot, TIA PORTAL V18)	25
Obr. 18 Dispozice místnosti (Talácko, 2024).....	26
Obr. 19 Přehledové schéma PROFINET (Talácko, 2024).....	27
Obr. 20 Rozvodový panel (Talácko, 2024).....	28
Obr. 21 Přehledové schéma pracoviště (Talácko, 2024)	28
Obr. 22 Dynamická soustava Modular Servo (INTECO, 2025).....	28
Obr. 23 Bühler Motor 1.13.044 (Buhlermotor.com, 2025)	29
Obr. 24 Optický enkodér HEDM-550X (Hewlett Packard, 2025)	29
Obr. 25 Grafický vzhled propojení přes PROFINET	31
Obr. 26 Grafické zobrazení nakonfigurovaného PLC	32
Obr. 27 PLC a jeho adresy vstupů a výstupů.....	32
Obr. 28 Vybraný programovací jazyk	33
Obr. 29 PLC Tags programu.....	33
Obr. 30 Seznam programových bloků v programu.....	34
Obr. 31 OB1 Main Program Cycle	35
Obr. 32 OB30 Cyclic interrupt	36

Obr. 33 FB1 Counter_To_Speed	37
Obr. 34 FB2 Tachogenerator_Speed	38
Obr. 35 FB3 Speed_Change_Control	39
Obr. 36 HMI Tags table lokálního panelu	41
Obr. 37 Workplace screen lokálního panelu.....	41
Obr. 38 HMI Tags table 1 centrálního panelu	42
Obr. 39 HMI Tags table 2 centrálního panelu	42
Obr. 40 HMI Tags table 3 centrálního panelu	42
Obr. 41 HMI Tags table 4 centrálního panelu	42
Obr. 42 HMI Tags table interní centrálního panelu.....	42
Obr. 43 Main Menu Screen centrálního panelu.....	43
Obr. 44 Main overview Screen centrálního panelu	43
Obr. 45 Workplace 1-4 Screen centrálního panelu.....	44
Obr. 46 Graph Screen centrálního a lokálního panelu.....	44
Obr. 47 Porovnání zadaných a reálných otáček prvního motoru při skokové změně	46
Obr. 48 Přejíhová charakteristika náběhu PLC1	46
Obr. 49 Přejíhová charakteristika poklesu PLC1	48
Obr. 50 Porovnání zadaných a reálných otáček druhého motoru při skokové změně.....	49
Obr. 51 Přejíhová charakteristika náběhu PLC2.....	50
Obr. 52 Přejíhová charakteristika poklesu PLC2	51
Obr. 53 Porovnání zadaných a reálných otáček třetího motoru při skokové změně	52
Obr. 54 Přejíhová charakteristika náběhu PLC3	52
Obr. 55 Přejíhová charakteristika poklesu PLC3	53
Obr. 56 Porovnání zadaných a reálných otáček čtvrtého motoru při skokové změně.....	54
Obr. 57 Přejíhová charakteristika náběhu PLC4.....	54
Obr. 58 Přejíhová charakteristika poklesu PLC4	55
Obr. 59 Porovnání ΔP z Excelu	57
Obr. 60 Porovnání ΔP z Matlabu	57
Obr. 61 Porovnání ΔT z Excelu.....	58
Obr. 62 Porovnání ΔT z Matlabu.....	58
Obr. 63 Porovnání K_s z Excelu	58
Obr. 64 Porovnání K_s z Matlabu	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vypočítané parametry pro náběh v Excelu.....	56
Tabulka 2 Vypočítané parametry pro pokles v Excelu.....	56
Tabulka 3 Vypočítané parametry pro náběh v Matlabu	56
Tabulka 4 Vypočítané parametry pro pokles v Matlabu.....	57

SEZNAM ZKRATEK

PLC – Programovatelný logický automat

IPC – Průmyslový počítač

HMI – Uživatelské rozhraní člověk-stroj

CPU – Centrální procesorová jednotka

I/O – Vstupy a výstupy

PWM – Pulzně šířková modulace

RTOS – Operační systém reálného času

TIA Portal – Totally Integrated Automation Portal

OB – Organizační blok

FB – Funkční blok

FC – Funkce

HSC – Vysokorychlostní čítač

QoS – Kvalita služby

ST – Jazyk strukturovaného text

LD – Reléová logika

FBD – Jazyk blokového programování

SFC – Jazyk sekvenčního programování

IL – Jazyk seznamu instrukcí

TERMINOLOGIE

Dynamická soustava:

Fyzikální systém, který reaguje na vstupní signál změnou stavu v čase. V rámci této práce jde o elektromotor s enkodérem, jehož otáčky se mění podle řídicího signálu.

PWM signál:

Signál s proměnnou šířkou pulzů, používaný pro řízení výstupního výkonu motorů.

TIA Portal:

Integrované vývojové prostředí od Siemensu určené pro programování a konfiguraci automatizačních systémů Simatic.

Inkrementální Enkodér:

Senzor převádějící mechanický pohyb (otáčení hřídele) na elektrický signál, který je dále zpracován v PLC.

PROFINET:

Průmyslový komunikační protokol založený na Ethernetu, umožňující propojení řídicích prvků v reálném čase.

PLC Tagy:

Proměnné reprezentující vstupy, výstupy a interní data používaná v programu PLC.

ÚVOD

V současné době se v průmyslové automatizaci stále více využívají programovatelné logické automaty (PLC) a průmyslové počítače (IPC) s dotykovými HMI panely. Tyto technologie umožňují efektivní řízení výrobních procesů, zvyšují produktivitu a zajišťují vysokou spolehlivost systémů. Vývoj v oblasti PLC vede k neustálému zlepšování jejich vlastností.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na porovnání dynamických charakteristik soustav pohonů řízených PLC a IPC s HMI panelem IFP 1500 PRO. Cílem je nejen teoreticky popsat problematiku PLC, jejich principy fungování a možnosti programování, ale také provést srovnání aktuálně dostupných modelů od tří různých výrobců. Součástí je také analýza softwaru TIA Portal a samotného PLC Siemens Simatic S7-1200, které patří mezi často používané nástroje pro programování a řízení automatizačních procesů.

Praktická část práce se věnuje návrhu a implementaci programu pro ovládání a měření čtyř dynamických soustav z jednoho centrálního pracoviště. Výsledky změřených soustav jsou následně podrobeny analýze a vzájemně porovnány.

Práce je rozdělena do několika částí. Nejprve se zabývá teoretickým základem, kde jsou popsány PLC, jejich funkce, dostupné typy, a rozdíly mezi nimi. Dále je rozebrán použitý hardware, zapojení systému a řídicí software. V praktické části je předveden vyvinutý program a metodika experimentálního měření. Závěr práce shrnuje dosažené výsledky.

Téma je aktuální, protože výběr vhodného řídicího systému hraje klíčovou roli při optimalizaci průmyslových procesů. Výsledky této práce mohou přispět k lepšímu pochopení možností moderních PLC při řízení dynamických soustav a jejich vhodnosti pro konkrétní aplikace.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Programovatelné logické automaty (PLC)

PLC je kompaktní průmyslový počítač (Obr. 1), řízený mikroprocesorem s vlastním operačním systémem, přizpůsobeným pro vykonávání úloh v reálném čase s minimální odezvou. Vyznačuje se vysokou spolehlivostí, přičemž střední doma mezi poruchami (MTBF) běžně dosahuje 10^4 až 10^5 hodin. Pro komunikaci s okolním prostředím je vybaveno vstupními a výstupními periferiemi, které zpracovávají analogové i binární (digitální) signály. (WIKIPEDIA, 2025)

Mezi vstupy a výstupy se nachází řídicí logika (CPU), která na základě uloženého programu vyhodnocuje vstupy a upravuje výstupy tak, aby minimalizovala odchylky od požadovaného stavu. Program je operačním systémem cyklicky vykonáván. PLC obsahuje také komunikační rozhraní umožňující spojení s obsluhou nebo dalšími zařízeními v síti. PLC se historicky vyvinuly od jednoduchých reléových logik po pokročilé mikroprocesorové jednotky. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)



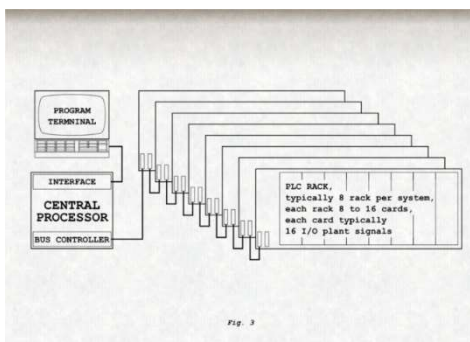
Obr. 1: Kompaktní programovatelný logický automat EC4P (EATON, 2025)

1.1.1 Historie

První programovatelné automaty se objevily kolem roku 1930. Skutečné automatizace dosáhla chemička Texaco v Port Arthuru v roce 1959 s číslicovým řízením. Širšímu rozšíření bránila vysoká cena a nároky na pracovní prostor. Průlom nastal kolem roku 1970 díky poklesu ceny a miniaturizace. První PLC vyžadovali podobné prostředí jako sálové počítače. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)

PRVNÍ PLC

Po roce 1960 začal General Motors hledat náhradu za reléové systémy flexibilnějším řízením. V roce 1968 byla vyhlášena soutěž, které se účastnily firmy Information Instruments, Inc. (Rockwell Automation), Digital Equipment Corp. (DEC), Century Detroit a Bedford Associates (Modicon). Vítězem se stala firma Bedford Associates a v roce 1969 vzniklo první PLC. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)



Obr. 2 Nákres konfigurace PLC s rozšiřujícími rámy (plc-automatizace.cz, 2025)

Jádrem systému byl mikroprocesor propojený s okolím přes rámy (racky) s rozšiřujícími vstupně/výstupními moduly (Obr. 2). Celková kapacita dosahovala 1024 signálů (8x8x16). Moduly bylo možné osazovat libovolně. První PLC bylo označeno 084, později uváděný pod značkou MODICON (MODdular DIGital CONTroller). Jeden z prvních exemplářů je dodnes vystaven v sídle Modiconu (Obr. 3). (PLCTECHNICIAN, 2025)



Obr. 3 Modicon 084, první PLC na světě (ceskestavby.cz, 2024)

Koncem 70. let vedl pokles cen mikroprocesorů k vývoji grafických programovacích zařízení, zprvu kompatibilních pouze s PLC konkrétních výrobců. V 80. letech se objevili softwarové balíčky třetích stran a norma IEC 61131-3 pro programování PLC. V 90. letech se začali vyvíjet interaktivní terminály pro sledování PLC software, což vedlo k vývoji rozhraní člověk — stroj (HMI). (C3CONTROLS, 2023)

Dnes jsou PLC menší, výkonnější a rychlejší díky pokroku v procesorech a paměťových čípech. Siemens například uvedl řadu S7-1200 v roce 2009 a S7-1500 v roce 2012. (SIEMENS, 2025)

1.1.2 Norma IEC 61131

Norma IEC 61131 je mezinárodně uznávaný standard pro řídicí systémy, nezávislý na konkrétních firmách. Skládá se ze sedmi částí, které určují požadavky na technické a softwarové vybavení. V ČR jsou tyto části označeny jako ČSN EN 61131. Norma IEC 61131-3 se zaměřuje na programování řídicích systémů, definuje společné prvky a programovací jazyky. (BALDA, 2022)

Společné prvky zahrnují základní datové typy (BOOL, BYTE, INT, REAL, STRING) a jejich odvozeniny. Data mohou být lokální (použitelné v rámci konkrétní programové jednotky) nebo globální (použitelné v celém projektu). (KOHOUT, 2025)

Konfigurace definuje nejvyšší softwarovou strukturu včetně hardwaru a OS.

Zdroje (např. CPU) vykonávají úlohy periodicky nebo na základě událostí.

Programově organizační jednotky (**POU**) zahrnují:

- Funkce – nejmenší programová jednotka, obsahující jednoduché operace (např. sčítání).
- Funkční bloky – obsahují algoritmy a data, uchovávající stav mezi voláními.
- Programy – propojení funkcí a bloků v různých jazycích.

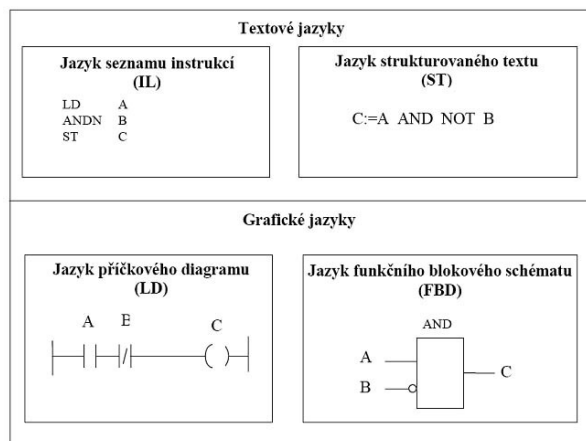
Norma rozlišuje textové a grafické programovací jazyky (Obr. 4):

Textové jazyky:

- IL (Instruction List) – jazyk seznamu instrukcí. Nejvíce připomínající assembler.
- ST (Structured Text) – jazyk podobný C/Pascalu s podporou cyklů a podmínek.

Grafické jazyky:

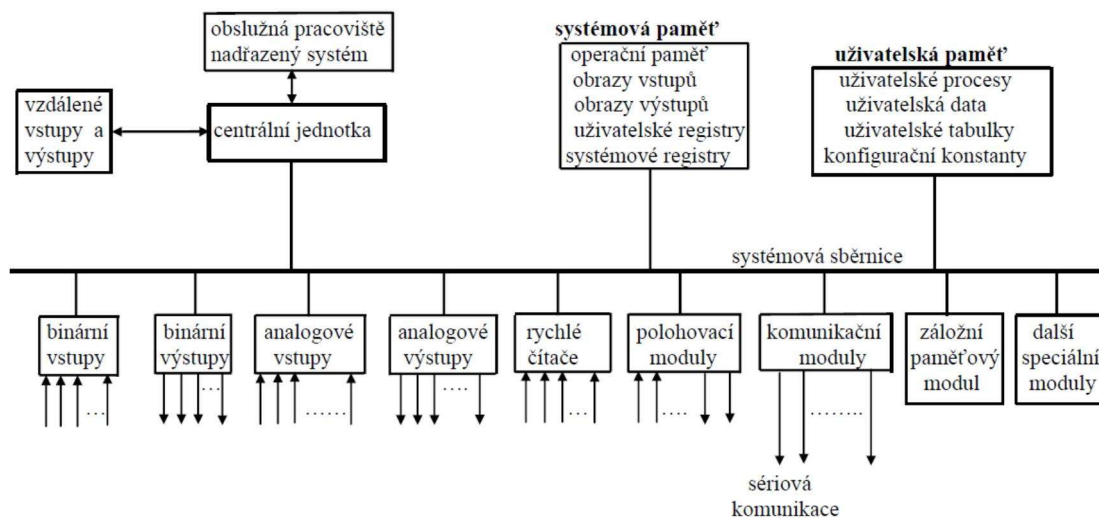
- LD (Ladder Diagram) – založený na reléové logice, používá kontakty a cívky.
 - FBD (Function Block Diagram) – síť grafických bloků, vhodná pro procesní řízení.
 - SFC (Sequential Function Chart) – sekvenční grafy modelující kroky a přechody.
- (KOHOUT, 2025)



Obr. 4 Ukázka jednotlivých jazyků (Kohout, 2025)

1.1.3 Konstrukce

Každé PLC se skládá z několika klíčových komponent (Obr. 5). Základem je centrální procesorová jednotka (CPU) pro zpracování instrukcí a řízení systému, doplněná systémovou a uživatelskou pamětí. Vstupní a výstupní jednotky (I/O) umožňují spojení s řízeným systémem, komunikační jednotky pak výměnu dat s ostatními zařízeními. (ŠTURSA, 2023)



Obr. 5 Vnitřní struktura PLC (Štursa, 2023)

Centrální procesorová jednotka CPU je klíčovým prvkem PLC, určujícím jeho výkonnost. Může obsahovat jeden nebo více procesorů. Operační rychlost se měří cyklem zpracování. Paměť je rozdělena na uživatelskou (program), systémovou (software), rozšiřující a datovou (registry I/O, časovače, čítače). (ŠTURSA, 2023)

Binární vstupní jednotky připojují zařízení s dvouhodnotovými signály (tlačítka, senzory) a zajišťují ochranu a galvanické oddělení. Podporují stejnosměrná napětí (5, 12, 24, 48 V) i střídavá napětí (24, 48, 115, 230 V).

Analogové vstupní jednotky pracují se spojitými signály (teplota, vlhkost) a pomocí A/D převodníků je převádějí na číselné hodnoty. Přesnost závisí na bitové hloubce převodníku (8, 10, 12 bitů). (ŠTURSA, 2023)

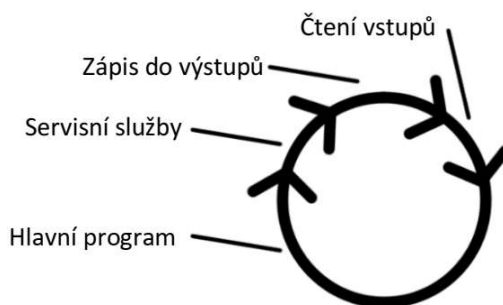
Binární výstupní jednotky ovládají akční členy (relé, stykače) a poskytují ochranu výstupů. Podporované výstupní jednotky: tranzistorové (stejnsměrné 24/48 V), triakové (střídavé napětí), reléové (střídavé do 250 V, stejnosměrné do 60 V).

Analogové výstupní jednotky řídí zařízení s kontinuálními signály (servopohony) pomocí D/A převodníků s rozlišením 8, 10 nebo 12 bitů. Výstupy mohou být napěťové nebo proudové. (ŠTURSA, 2023)

Komunikační jednotky propojují PLC s moduly, podsystémy a nadřazenými systémy přes sériová rozhraní nebo modemy.

Speciální jednotky rozšiřují funkce PLC o pokročilé úlohy jako jsou regulační moduly (moduly s fuzzy logikou a regulací), pneumatické výstupní moduly (vhodné do výbušného prostředí), obrazové vstupní moduly (zpracování obrazových dat z CCD kamer). (ŠTURSA, 2023)

Program PLC je sekvence instrukcí v podporovaném programovacím jazyce, která běží cyklicky (Obr. 6) v nekonečné smyčce. Po dokončení cyklu se automaticky restartuje bez potřeby manuálního zásahu. Cyklus zahrnuje spuštění uživatelského programu (provedení instrukcí), předání řízení systémovému programu (aktualizace vstupů, výstupů, časovačů a komunikace) a zahájení nového cyklu. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)



Obr. 6 Vykonávání programu (Štursa, 2023)

1.1.4 Dělení PLC

PLC se dělí podle velikosti, výkonu, rozšiřitelnosti a použití v automatizaci. Hlavní typy zahrnují mikro, kompaktní, modulární a soft PLC. Každý typ má své výhody i nevýhody, a proto je při výběru důležité zohlednit požadavky a cíle zařízení. (BEZCHLEBA, 2023)

Mikro PLC

Mikro PLC jsou cenově dostupné kompaktní systémy (Obr. 7) s pevně daným počtem digitálních vstupů a výstupů. Nabízejí základní funkce a rychlou implementaci. (STOJAN, 2025)

Vlastnosti a využití:

- Nejjednodušší typ PLC, ideální pro malé aplikace a jednoduché řízení.
- Nahrazují reléovou logiku v dopravnících, balících linkách, řízení čerpadel a ventilů.
- Nízká cena, snadná instalace a údržba, nenabízí pokročilé komunikační rozhraní.



Obr. 7 Mikro PLC Electrodepot ED12DC (Electrodepot, 2025)

Kompaktní PLC

Kompaktní PLC (Obr. 8) jsou střední třídou mezi mikro a modulárními systémy s integrovaným CPU a pevně danými I/O a základní komunikační možností. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)

Vlastnosti a využití:

- CPU, I/O moduly, někdy i napájecí zdroj v jednom těle.
- Rychlejší signálové zpracování, možnost připojit rozšiřovací moduly.
- Vhodné pro malé výrobní linky, balící a dávkovací stroje.
- Vyšší výkon a paměť než mikro PLC, nižší cena než modulární



Obr. 8 Kompaktní PLC Siemens Simatic S7-1200 (SIEMENS, 2025)

Modulární PLC

Modulární PLC (Obr. 9) jsou určeny pro složité průmyslové aplikace. Systém se skládá z jednotlivých modulů, které lze kombinovat a rozšiřovat dle potřeby. (PLC-AUTOMATIZACE, 2025)

Vlastnosti a využití:

- Skládají se z jednotlivých modulů dle potřeby aplikace.
- Vyšší paměť a podpora velkého množství I/O signálů.
- Vhodné pro automobilový průmysl, energetiku, logistiku, SCADA a DCS
- Existují varianty pro nebezpečná prostředí



Obr. 9 Modulární PLC Siemens Simatic S7-1500 (SIEMENS, 2025)

Soft PLC

Soft PLC je softwarové řešení běžící na PC, které kombinuje funkce PLC, HMI a dataloggeru v jednom zařízení. Původně byl Soft PLC provozován na průmyslových PC, což vedlo k několika mylným představám o jeho možnostech. (ISA, 2022)

Mýty a realita

1. Dříve běžely na klasických OS, dnes používají RTOS (QNX, VXWorkds, FreeRTOS).
2. Moderní Soft PLC na průmyslových PC splňují přísné bezpečnostní standardy.

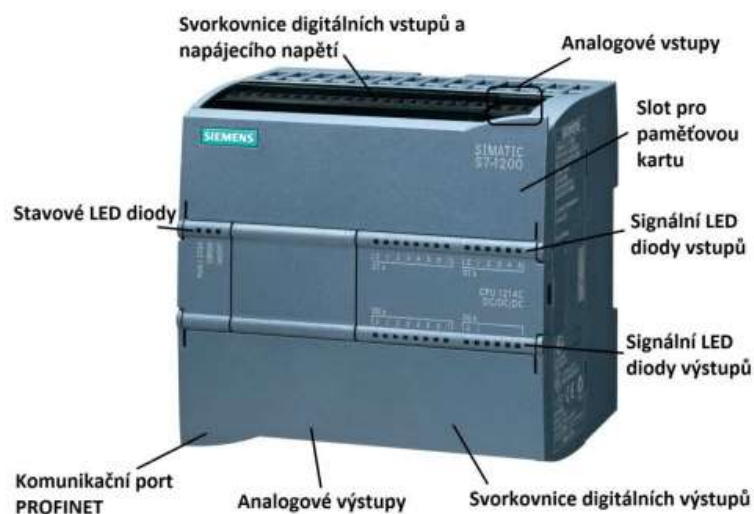
Výhody Soft PLC:

- Rychlejší vývoj a snadná aktualizace díky oddělení SW a HW.
- Flexibilita nasazení na různé HW i OS.
- Podpora IEC 61131-3 a průmyslových protokolů.
- Redundance, distribuované řízení, možnost cloudového provozu.

Budoucnost: Soft PLC se stávají důležitou součástí moderní automatizace, zejména díky certifikovaným RTOS a splnění normy IEC 61508. (ISA, 2022)

1.2 Siemens SIMATIC S7-1200

PLC Siemens Simatic S7-1200(Obr. 10) s CPU 1215C je kompaktní řídicí jednotka s 14 digitálními vstupy, 10 digitálními výstupy, dvěma analogovými vstupy (0-10V) a dvěma analogovými výstupy (4-20mA). Nabízí dva PROFINET porty pro komunikaci s PC nebo HMI panelem a vyžaduje napájení 24 V. Programovatelná paměť má kapacitu 200 kB. Model je vhodný pro menší a středně velké automatizační aplikace s možností rozšíření. (SIEMENS, 2025)



Obr. 10 Popis Simatic S7-1200 CPU1215C (Jirčák, 2013)

- PROFINET porty pro komunikaci s PC/HMI.
- Stavové LED diody (RUN/STOP, ERROR, MAINT).
- Svorkovnice pro vstupy, výstupy a napájení.
- Analogové vstupy a výstupy.
- Slot pro paměťovou kartu.
- Signální LED diody vstupů a výstupů.

1.2.1 Napájecí zdroj SITOP

SITOP PSU4200 (Obr. 11) je průmyslový napájecí zdroj od firmy Siemens určený pro automatizační systémy. Poskytuje stabilní výstupní 24 V DC s maximálním proudem 5 A pro spolehlivý provoz připojených zařízení. (SIEMENS, 2025)



Obr. 11 Napájecí zdroj SITOP PSU4200 (SIEMENS, 2025)

Hlavní vlastnosti:

- Vstup: 1fázový AC 120-230 V, výstup: 24 V DC \pm 3 %.
- Maximální proud: 5 A, účinnost přes 90 %.
- Ochrana proti přetížení, zkratu a přepětí.
- Kompaktní rozměry pro montáž na DIN lištu.
- Provozní teplota: -25 °C do +70 °C.
- Možnost paralelního provozu pro zvýšení výkonu.

1.2.2 Switch SCALANCE XB008

SCALANCE XB008 (Obr. 12) je průmyslový switch pro propojení zařízení v automatizačních sítích. Zajišťuje efektivní a stabilní komunikaci mezi PLC, HMI, senzory a dalšími síťovými prvky. (SIEMENS, 2025)



Obr. 12 Switch SCALANCE XB008 (SIEMENS, 2025)

Hlavní vlastnosti:

- 8x RJ45 port s podporou 10/100 Mbps.
- Nepřepínatelná propustnost – nízká latence.
- Kompaktní provedení a robustní konstrukce odolná vůči průmyslovému rušení.
- Napájení 24 V DC, kompatibilní s průmyslovými zdroji.
- Plug & Play – automatické přizpůsobení připojení.

1.2.3 Switch SCALANCE XC224-4C

SCALANCE XC224-4C (Obr. 13) je průmyslový switch určený pro náročné automatizační aplikace. Podporuje efektivní připojení zařízení a různé síťové topologie. (SIEMENS, 2025)



Obr. 13 Switch SCALANCE CX224-4C (SIEMENS, 2025)

Hlavní vlastnosti:

- 24x RJ45 port a 4x Combo port (RJ45/SFP) pro flexibilní připojení.
- Podpora redundantních sítí (STP/RSTP/MSTP) pro vyšší spolehlivost.
- Quality of Service pro optimalizaci datových toků, diagnostika a správa sítě přes SNMP.
- Robustní konstrukce pro náročné podmínky s možností montáže na DIN lištu.

1.2.4 SIMATIC IPC227G

SIMATIC IPC227G (Obr. 14) je průmyslový počítač určený pro náročné podmínky, vyznačující se vysokou spolehlivostí, kompaktním provedením a dlouhou životností. (SIEMENS, 2025)



Obr. 14 SIMATIC IPC227G (SIEMENS, 2025)

Hlavní vlastnosti:

- Kompaktní rozměry a pasivní chlazení – bez ventilátorů.
- Výkonný procesor Intel Atom nebo Intel Core.
- Provozních teplota: -20 °C do +60 °C, odolnost proti vibracím a rušení.

1.2.5 HMI SIMATIC IFP1500 PRO

SIMATIC IFP1500 PRO (Obr. 15) je robustní dotykový panel navržený pro náročné průmyslové aplikace. Nabízí vysoký výkon, širokou konektivitu a intuitivní uživatelské rozhraní pro monitorování a řízení procesů. (SIEMENS, 2025)



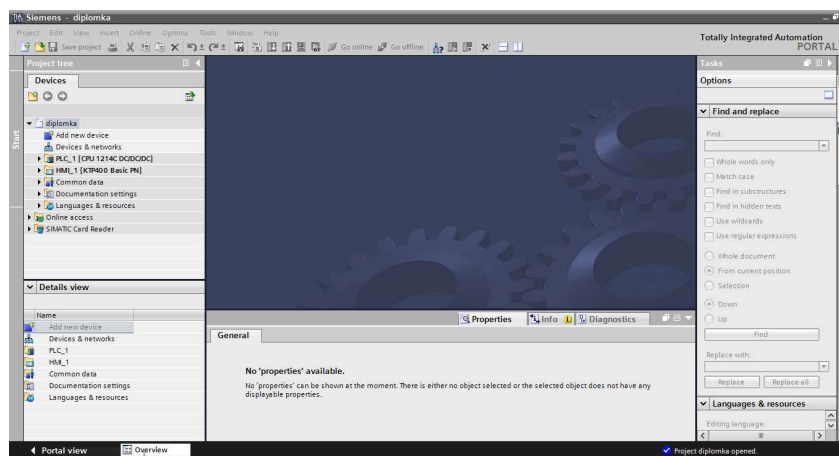
Obr. 15 HMI SIMATIC IFP1500 PRO (SIEMENS, 2025)

Hlavní vlastnosti:

- 15“ multitouch displej s podporou gest.
- Rozlišení 1366 x 768 pixelů pro ostrý obraz.
- Krytí IP65 – odolnost proti prachu a vlhkosti.
- Podpora průmyslových protokolů (PROFINET, Ethernet).

1.3 TIA PORTAL

TIA Portal (Obr. 16) je vývojové prostředí Siemens pro konfiguraci, programování a diagnostiku zařízení Simatic. Integruje nástroje pro správu PLC, HMI a dalších komponent v jednom prostředí. Podporuje rozšíření o moduly a umožňuje efektivní vývoj aplikací pro S7-1200, včetně vizualizace, komunikace a pokročilých funkcí automatizace. (SIEMENS, 2025)



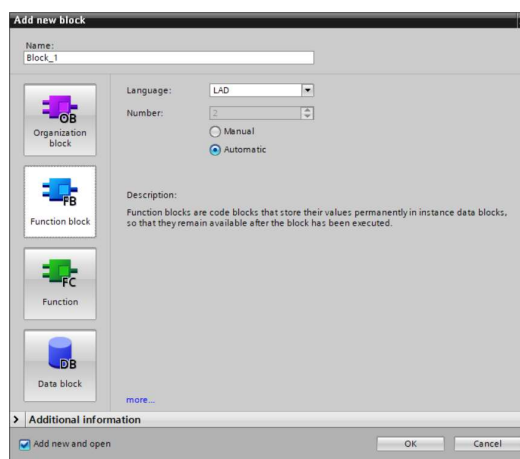
Obr. 16 TIA Portál (TIA PORTAL, 2025)

Hlavní funkce:

- Programování PLC (LAD, FBD, STL, SCL) a simulace pomocí nástroje PLCSIM.
- Konfigurace vizualizačních panelů (HMI), diagnostika a monitoring PLC.
- Ochrana přístupu, správa bezpečnostních standardů a integrace s cloudovými službami.

1.3.1 Programovací bloky

TIA Portal využívá programovací bloky (Obr. 17) pro lepší organizaci, přehlednost a udržitelnost řídicích programů. Modulární struktura zjednodušuje správu, úpravy a opětovné použití kódu. Programovací bloky se dělí na organizační bloky (OB), které řídí hlavní strukturu programu, cyklické úlohy a přerušení. Funkční bloky (FB) obsahují komplexní sekvence a uchovávají stavové informace. Funkce (FC) provádějí operace bez trvalého uchování dat. Datové bloky (DB) ukládají data potřebná pro běh programu. Každý OB, FB a FC blok lze programovat v různých jazycích, což umožňuje kombinaci podle potřeb aplikace. (SIEMENS, 2025)



Obr. 17 Menu programovacích bloků (Screenshot, TIA PORTAL V18)

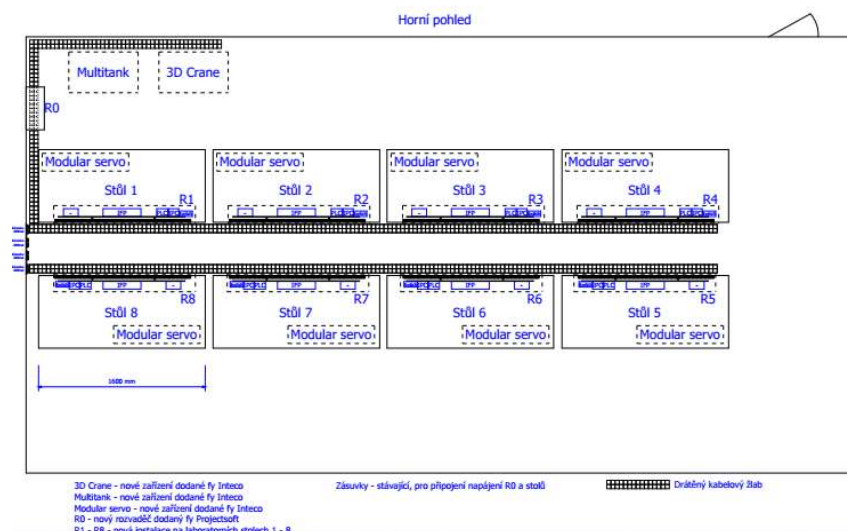
1.3.2 PLC Tags – uložení proměnných

PLC Tags jsou seznamy proměnných používaných v programu, mimo interní proměnné funkčních bloků. Každá proměnná má unikátní název, datový typ a adresu, která se přiřazuje například při měření hodnoty na vstupu. Adresy slouží k identifikaci vstupů, výstupů i interních proměnných v paměti PLC.

TIA Portal umožňuje využití různých datových typů, včetně čísel, polí a uživatelsky definovaných datových struktur. Správný výběr typu je klíčový pro efektivní využití paměti a spolehlivý chod programu.

1.4 Popis místnosti – Laboratoř průmyslové automatizace

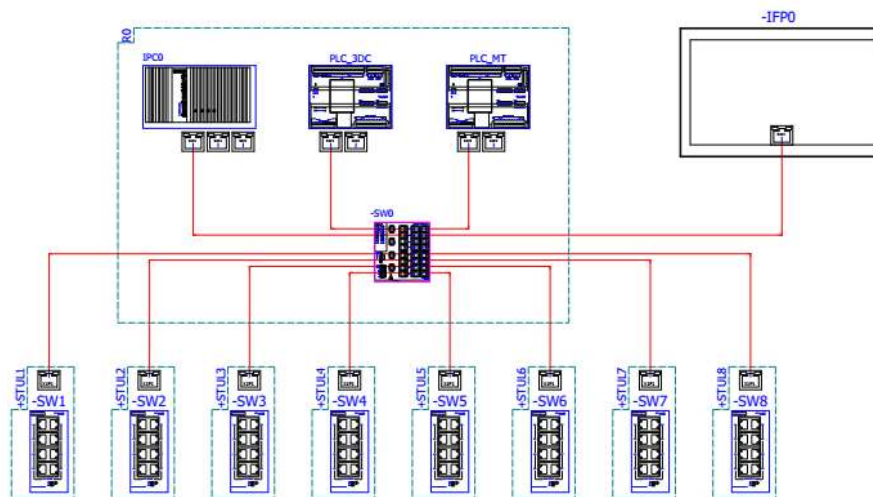
Laboratoř průmyslové automatizace (Obr. 18) slouží jako výukový prostor pro praktická cvičení a experimenty v oblasti řízení průmyslových procesů. Je vybavena osmi pracovišti s dynamickými soustavami Modular Servo (INTECO) a pracovišti pro simulaci elektromechanických a hydromechanických procesů, například 3D Crane System a Multi Tank System. Součástí laboratoře je také hlavní rozvaděč R0 s centrálním napájením, hlavním komunikačním switchem a bezpečnostním stop spínačem pro nouzové vypnutí celé laboratoře. (TALÁCKO, 2024)



Obr. 18 Dispozice místnosti (Talácko, 2024)

1.4.1 Organizace průmyslové sítě v laboratoři

V laboratoři je využita komunikační síť PROFINET propojující všechna pracoviště, PLC, IPC, HMI a centrální rozvaděč R0. Zajišťuje přenos řídicích signálů, komunikaci mezi zařízeními, vzdálený přístup k datům přes IPC a synchronizaci mezi pracovišti. (TALÁCKO, 2024)



Obr. 19 Přehledové schéma PROFINET (Talácko, 2024)

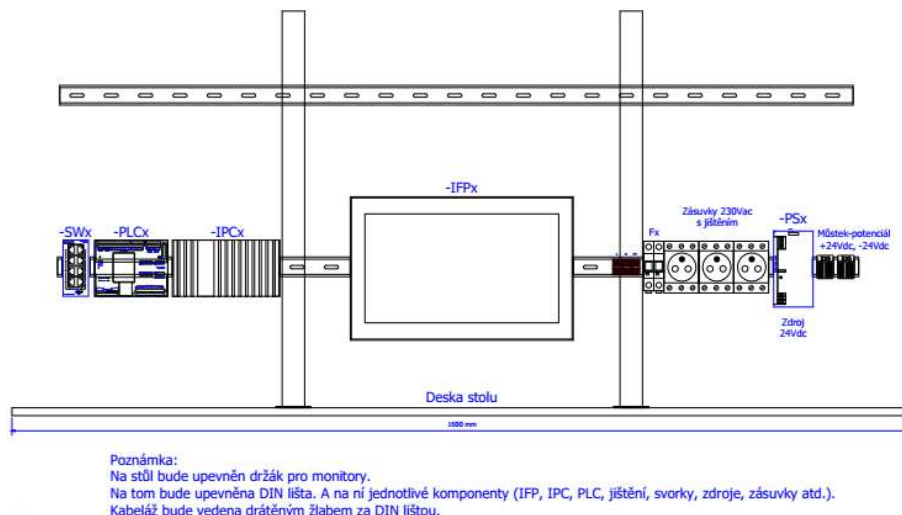
Síť PROFINET je uspořádána do hvězdicové topologie s centrálním switchem v rozvaděči R0. Každé pracoviště má vlastní místní switch propojený s hlavním switchem, což umožňuje autonomní provoz i centrální monitoring a řízení z IPC.

1.4.2 Schéma pracoviště a jeho popis

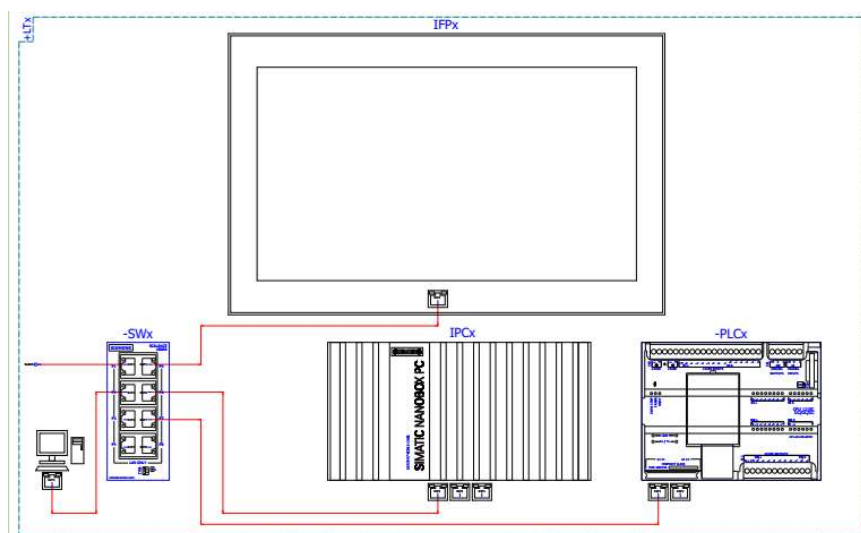
Každé pracoviště (Obr. 20) je samostatná experimentální jednotka pro ovládání a monitorování dynamické soustavy Modular Servo. Zařízení jsou propojena přes síť PROFINET (Obr. 21) a umožňují řízení motoru, sledování dynamiky i analýzu poruch. (TALÁCKO, 2024)

Prvky pracoviště:

- **PLC Siemens S7-1200** (viz. kapitola 1.2) – řídí dynamickou soustavu.
- **HMI panel** (viz. kapitola 0) – zadávání parametrů a vizualizaci dat.
- **IPC** (viz. kapitola 0) – vývojové a diagnostické rozhraní.
- **Školní počítač** – programování PLC a HMI.
- **Dynamická soustava Modular Servo** – DC motorem a optickým enkodérem.
- **Lokální PROFINET switch** – propojení zařízení s centrálním switchem.
- **Napájení a ochranné prvky** – individuálním napájením a odpojováním.



Obr. 20 Rozvodový panel (Talácko, 2024)



Obr. 21 Přehledové schéma pracoviště (Talácko, 2024)

1.4.3 Dynamická soustava Modular Servo

Dynamická soustava (Obr. 22) je experimentální model určený k výuce řízení pohybu a regulace otáček motoru, Umožňuje testování různých řídicích algoritmů, stavového a adaptivního řízení. Obsahuje DC motor, optický enkodér a další komponenty, které společně simulují průmyslové aplikace (např. dopravníky, robotiku). Motor je napájen a řízen výkonovým výstupem PLC pomocí PWM signálu, zatímco enkodér poskytuje data o otáčkách přes rychlé čítače PLC. (INTECO, 2025)



Obr. 22 Dynamická soustava Modular Servo (INTECO, 2025)

Hlavní komponenty:

1. DC motor – Bühler Motor 1.13.044

Kartáčový motor s permanentními magnety (Obr. 23), řízený změnou napětí přes PWM. Napájecí napětí 24 V. Jmenovitý moment 150 mNm. Jmenovité otáčky 3000 otáček/min. Proud při zátěži 3,1 A. Momentová konstanta 28-56 mNm/A. (BÜHLER MOTOR, 2022)



Obr. 23 Bühler Motor 1.13.044 (Buhlermotor.com, 2025)

2. Optický enkodér – HEDM-550X

Dvoukanálový inkrementální enkodér s rozlišením až 1024 pulzů na otáčku (Obr. 24). Napájecí napětí 5 V. Komunikační výstup tvoří TTL signály ve formátu kvadrurního kódování. Díky kvadrurnímu signálu je možné určit směr otáčení a přesně spočítat počet otáček. (HEWLETT-PACKARD, 1999)



Obr. 24 Optický enkodér HEDM-550X (Hewlett Packard, 2025)

3. Mechanická konstrukce a uchycení

Motor a enkodér jsou upevněny na stabilní základně s minimalizací vibrací, propojené Oldhamovou spojkou. Sestavu lze rozšířit o momentovou brzdu nebo setrvačnick pro simulaci dalších aplikací.

1.5 Návrh ovládání a měření otáček čtyř dynamických soustav TIA Portal

System tvoří čtyři pracoviště propojená přes PROFINET a switche. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na HMI panelu, který umožňuje centralizované řízení a monitoring všech soustav, přičemž každá soustava má vlastní jednotku pro zpracování a vizualizaci dat.

1.5.1 Architektura řídicího systému v TIA Portal

Modulární řídicí systém obsahuje:

- PLC Siemens S7-1200: řízení motoru (PWM), zpracování signálu z enkodéru a tachogenerátoru, komunikace přes PROFINET.
- HMI panel Siemens SIMATIC IFP: zadávání otáček a zobrazování aktuálních hodnot.
- Enkodér HEDM-550X: generuje kvadrurní signál pro přesné měření rychlosti.
- Tachogenerátor: poskytuje analogový signál úměrný otáčkám
- PROFINET síť: propojení PLC, HMI a IPC, umožňuje vzdálenou diagnostiku.

1.5.2 Řízení motoru v TIA Portal

1. Ovládání motoru pomocí PWM

Motor je ovládán PWM signálem generovaným z PLC, kde šířka pulzu určuje otáčky. PWM řízení umožňuje plynulé nastavení otáček a snižuje zahřívání motoru.

2. Zpracování signálu z enkodéru

Kvadrurní signál z enkodéru je zpracován pomocí vysokorychlostního čítače (HSC) pro přesné měření otáček. Díky dekódování x4 lze zvýšit rozlišení až na 4096 pulzů na otáčku.

3. Výpočet otáček z tachogenerátoru

Analogový signál tachogenerátoru (0-10 V) je v PLC znormován a následně přepočtem na otáčky. Tento způsob je rychlý, ale méně přesný při nízkých rychlostech.

1.5.3 Vizualizace a ovládání na HMI panelu

1. Funkce: Zapnutí vypnutí motoru, změna směru otáčení, zadávání vstupních otáček a zobrazení aktuálních otáček.
2. Implementace: Vytvoření ovládacího rozhraní v TIA Portal (WinCC) s tlačítky pro start/stop, přepínačem pro změnu směru, zadávacími poli a grafy historických dat.

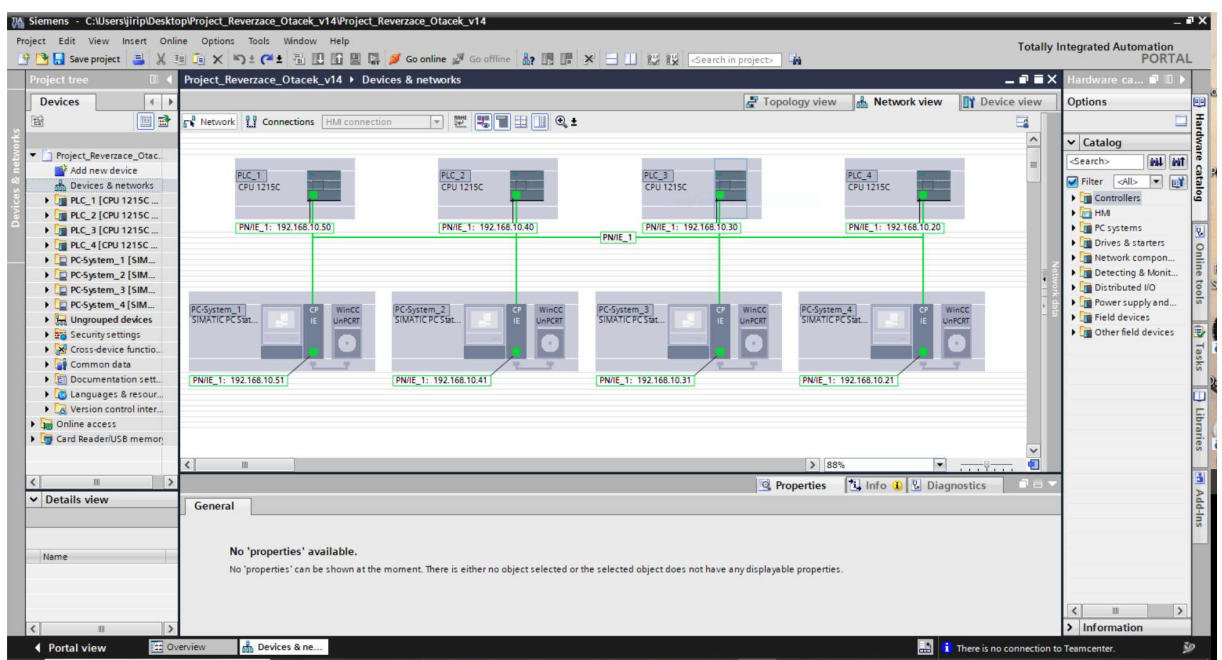
1.5.4 Výhody navrženého systému

- Modulární architektura → snadné rozšíření o další prvky.
- Intuitivní HMI → vizualizace všech klíčových parametrů.
- Vzdálený monitoring přes PROFINET → možnost správy systému z IPC.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Popis zapojení použitého hardwaru

Praktická část byla realizována na pracovištích s PLC Siemens Simatic S7-1200, které řídily čtyř samostatné soustavy s elektrickými pohony. Každé PLC ovládalo jednu soustavu a zajišťovalo její stabilní provoz. Řízení probíhalo přes centrální s lokální HMI panely. Otáčky motoru byly snímány tachogenerátorem, jehož signál byl zpracován pomocí analogových vstupů PLC pro vyhodnocení stavu systému. Zařízení spolu komunikovala prostřednictvím sběrnice PROFINET (Obr. 25). Napájení 24 V DC a výměn dat v reálném čase umožňovaly sledování dynamických změn.



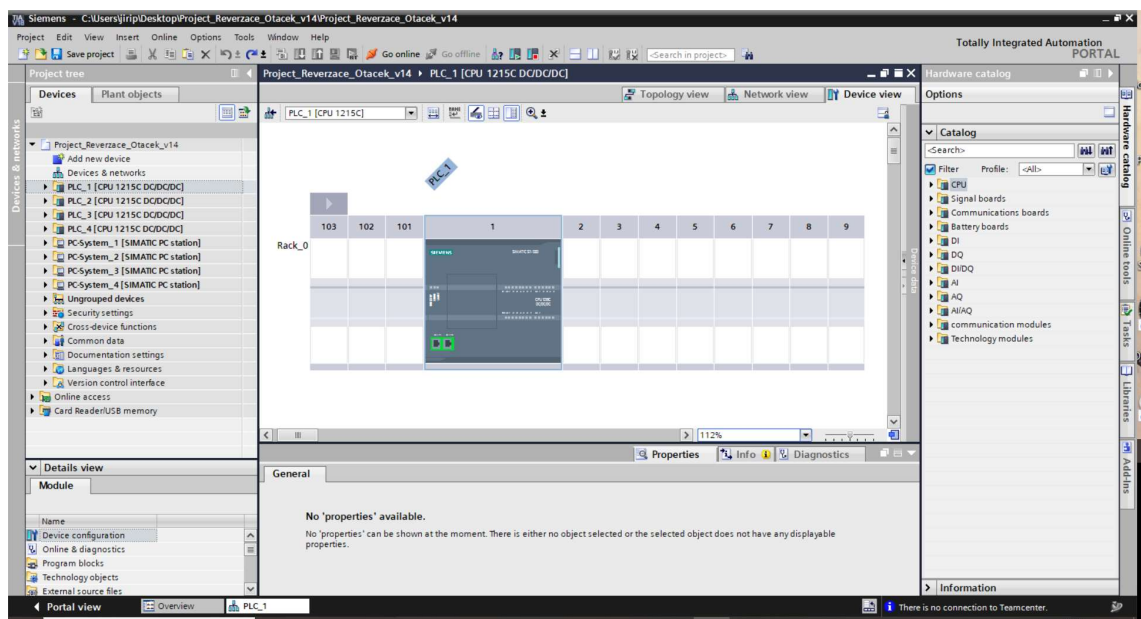
Obr. 25 Grafický vzhled propojení přes PROFINET

2.2 Popis softwarové struktury a programování v TIA Portal

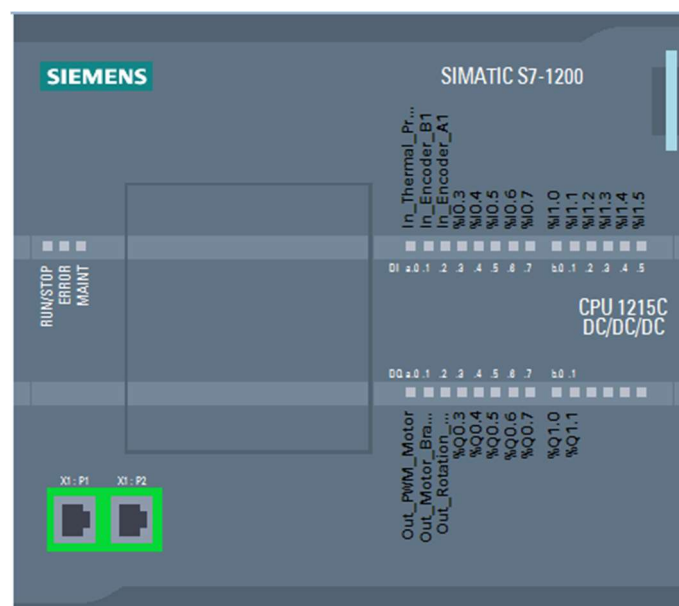
Program pro řízení dynamické soustavy byl vytvořen ve vývojovém prostředí TIA Portal verze V18. Toto prostředí slouží k programování PLC, zpracování dat, výpočty proměnných i tvorbě vizualizace pro HMI panely.

2.2.1 Založení projektu

Po spuštění TIA Portalu je možné otevřít nebo založit projekt. Následně se přidají všechna použitá zařízení a provede se jejich konfigurace (Obr. 26). TIA Portal graficky zobrazuje vzhled PLC včetně přidávaných modulů a při přiblížení zobrazuje dostupné vstupy a výstupy s jejich adresami (Obr. 27). Výběr PLC lze provést přes pravý panel „Catalog“ nebo levý panel „Add new device“. Pro správnou komunikaci je potřeba v záložce „Properties“ nastavit IP adresu PLC do stejného rozsahu jako má PC (např. 192.168.10.x).



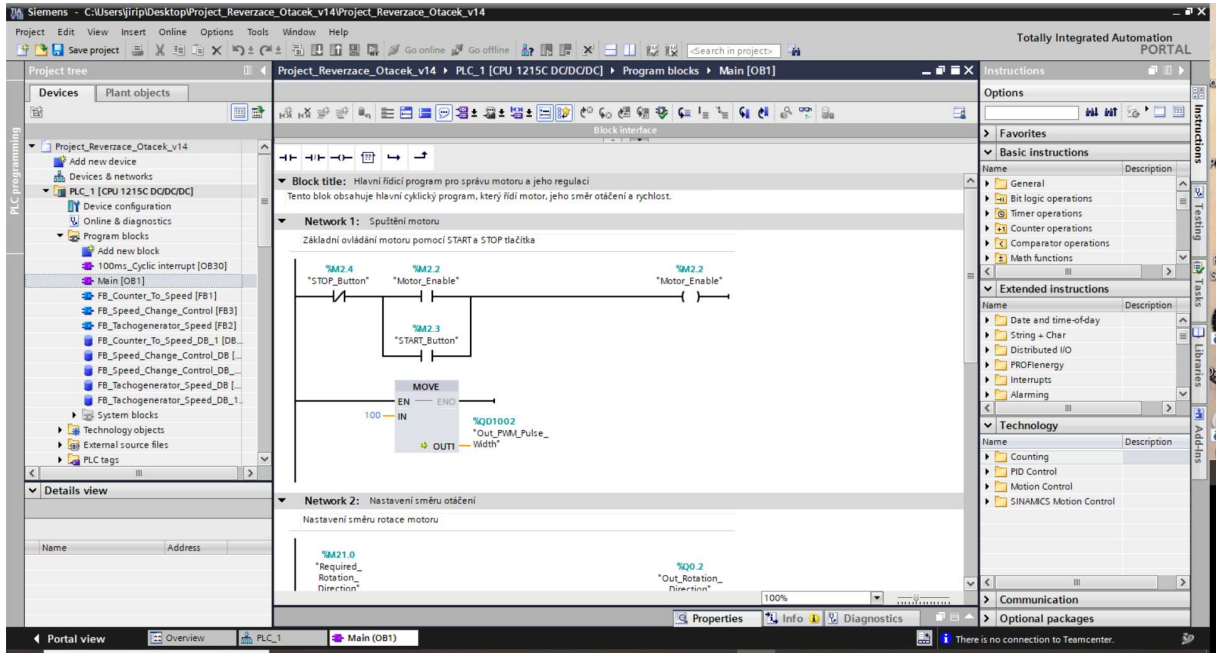
Obr. 26 Grafické zobrazení nakonfigurovaného PLC



Obr. 27 PLC a jeho adresy vstupů a výstupů

2.2.2 Výběr programovacího jazyka

Pro programování byl zvolen jazyk LD (Ladder diagram) kvůli své jednoduchosti a přehlednosti (Obr. 28). Vychází z reléové logiky, což usnadňuje čtení, ale omezuje použití u složitějších úloh. TIA Portal umožňuje strukturovat program do tzv. „Networks“, tedy jednotlivých logických bloků.



Obr. 28 Vybraný programovací jazyk

2.2.3 Použitý PLC Tags v programu

PLC tags									
Name	Data type	Address	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Supervision		Comment
In_Tachogenerator	Word	%IW64	False	True	True	True			Vstup tachogenerátoru - rychlost 0-27648
Tachogenerator_Speed	Real	%MD30	False	True	True	True			Naměřené otáčky z tachogenerátoru
Computed_Motor_Speed	Real	%MD34	False	True	True	True			Vypočtené otáčky motoru
Desired_Speed	Int	%MW4	False	True	True	True			Požadované otáčky motoru
Required_Rotation_Direction	Bool	%M21.0	False	True	True	True			Požadovaný směr otáčení
Target_Speed	Int	%MW38	False	True	True	True			Požadovaná hodnota otáček
Speed_for_PWM	Int	%MW18	False	True	True	True			Otáčky použité pro PWM regulaci
Out_PWM_Pulse_Signal	Int	%QW1000	False	True	True	True			PWM pulzní výstup
In_Encoder_Value	DInt	%ID1000	False	True	True	True			Hodnota enkodéru
Encoder_Counter	DInt	%MD22	False	True	True	True			Počítadlo enkodéru
START_Button	Bool	%M2.3	False	True	True	True			Tlačítko Start
STOP_Button	Bool	%M2.4	False	True	True	True			Tlačítko Stop
Motor_Enable	Bool	%M2.2	False	True	True	True			Stav motoru
Out_PWM_Pulse_Width	DInt	%QD1002	False	True	True	True			Délka PWM cyklu
Out_Rotation_Direction	Bool	%Q0.2	False	True	True	True			Směr otáčení motoru
Out_Motor_Brake	Bool	%Q0.1	False	True	True	True			Brzda motoru
Out_PWM_Motor	Bool	%Q0.0	False	True	True	True			PWM výstup pro DC motor
Encoder_Speed	Real	%MD14	False	True	True	True			Naměřené otáčky z enkodéru
Current_Speed	Int	%MW0	False	True	True	True			Aktuální otáčky motoru

Obr. 29 PLC Tags programu

V řídicím programu byly definovány různé PLC Tags (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), které obsahují název, datový typ, paměťovou adresu a komentář s popisem funkce.

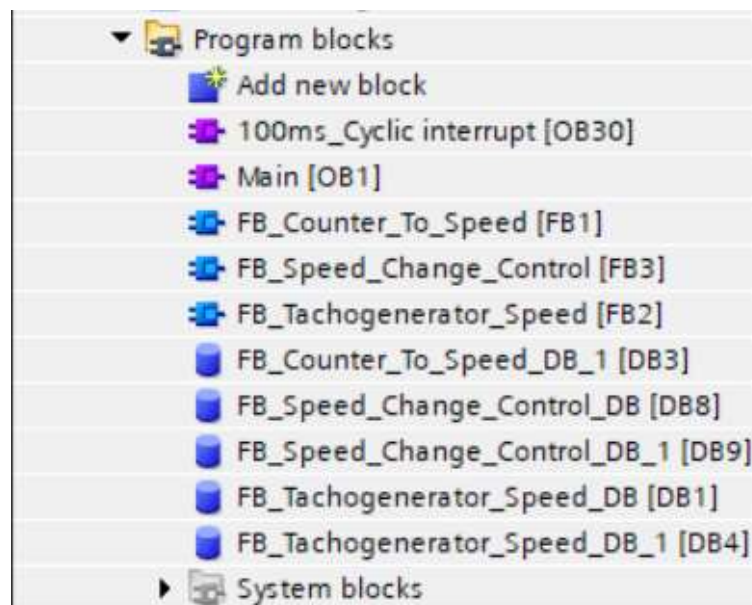
Typy proměnných:

- Vstupní – např. In_Encoder_Value, In_Tachogenerator (snímají hodnoty z procesu).
- Výstupní – např. Out_PWM_Motor, Out_Motor_Brake (řídí motor a příslušenství).
- Ovládací – např. START_Button, STOP_Button (spuštění/zastavení provozu).
- Řídicí/diagnostické – např. Desired_Speed, Target_Speed (stav a parametry soustavy).

Tagy jsou přehledně navrženy pro snadnou integraci s HMI panelem a rychlou orientaci v programu.

2.2.4 Použité programové bloky

Program je rozdělen do několika programových bloků, které přehledně strukturalizují funkce řídicího systému (Obr. 30). Hlavní organizačním blokem je Main [OB1], který zajišťuje základní ovládání motoru. Dále je využíván blok 100ms_Cyclic interrupt [OB30], který cyklicky spouští vybrané úlohy v pevném intervalu 100 ms – typicky tam, kde je nutné zachovat konstantní čas mezi výpočty.



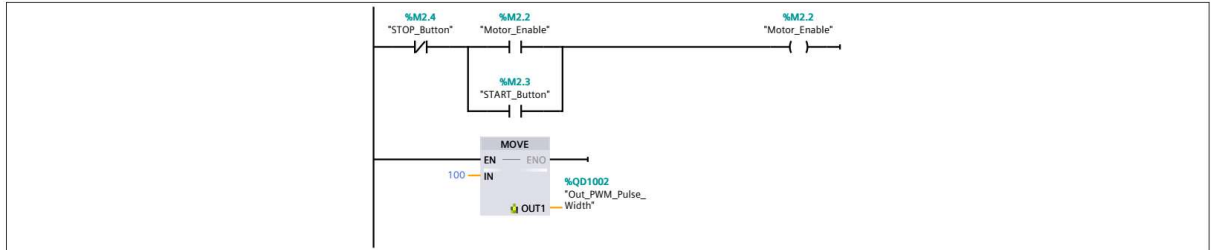
Obr. 30 Seznam programových bloků v programu

OB1 (Main Program Cycle)

Hlavní blok zajišťuje základního cyklus programu. Zpracovává data z HMI, nastavuje výstupy pro ovládání motoru (spuštění, směr) a volá blok pro generování PWM signálu (Obr. 31).

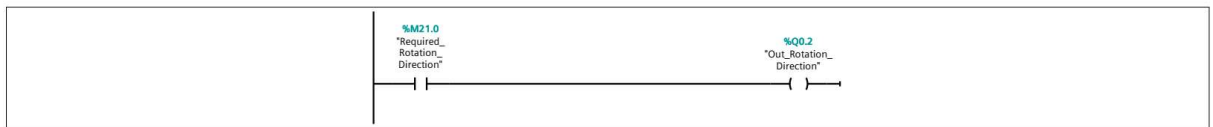
Network 1: Spuštění motoru

Základní ovládání motoru pomocí START a STOP tlačítka



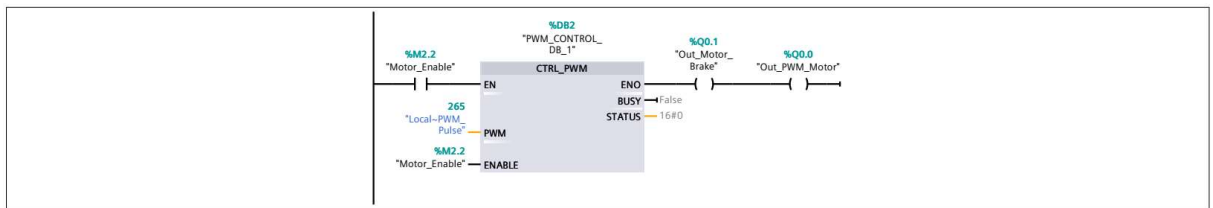
Network 2: Nastavení směru otáčení

Nastavení směru rotace motoru



Network 3: PWM řízení motoru

Použití PWM signálu pro řízení motoru



Obr. 31 OB1 Main Program Cycle

Struktura OB1 je rozdělena do tří přehledných sítí (Networks):

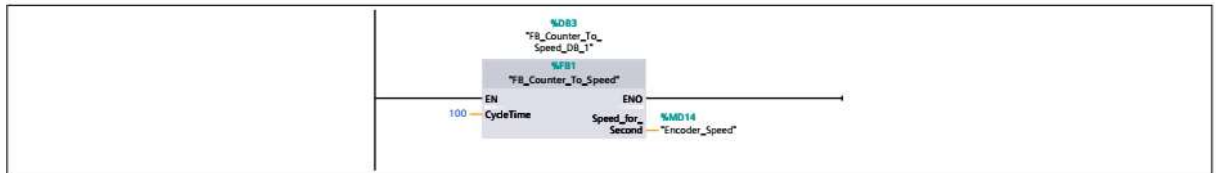
- Network 1: Spuštění motoru – zajišťuje ovládání motoru pomocí tlačítek START a STOP. Po stisknutí START se aktivuje motor a nastaví se hodnota PWM.
- Network 2: Nastavení směru otáčení – umožňuje změnu směru podle vstupního signálu.
- Network 3: PWM řízení motoru – obsahuje volání bloku PWM_CONTROL, který generuje PWM signál pro řízení výkonu motoru.

OB30 (100ms_Cyclic interrupt)

Tento přerušovací blok zajišťuje periodické zpracování dat. Postupně volá jednotlivé funkční bloky, které vypočítávají otáčky a směr otáčení, vypočítává a nastavuje PWM signál a počítá pulzy z enkodéru (Obr. 32).

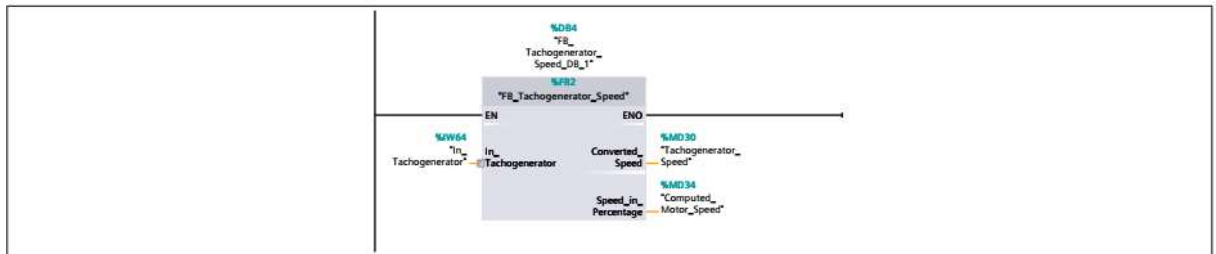
Network 1: Výpočet otáček z enkodéru

Převádí impulzy enkodéru na otáčky za sekundu



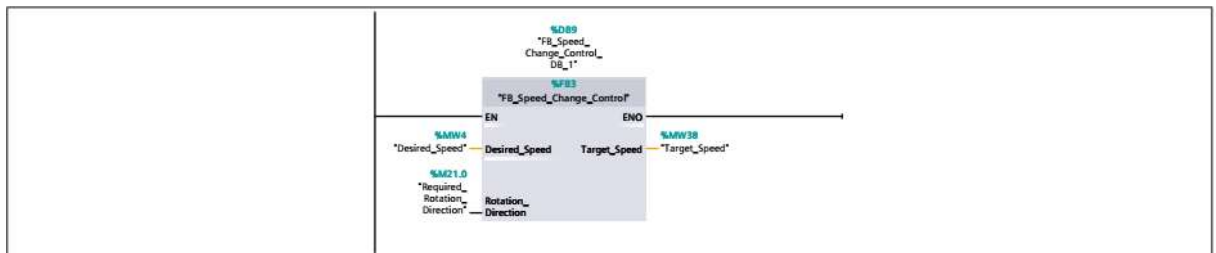
Network 2: Převod hodnoty tachogenerátoru

Převádí analogovou hodnotu tachogenerátoru na otáčky



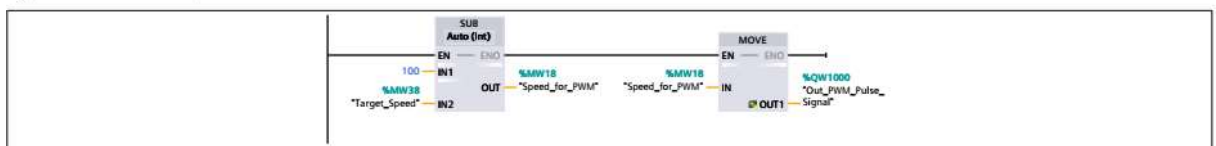
Network 3: Řízení změny otáček

Porovnání požadovaných a aktuálních otáček



Network 4: Generování PWM signálu

Výpočet a nastavení PWM pro motor



Network 5: Čtení enkodéru

Převod dat z enkodéru na hodnotu počítadla



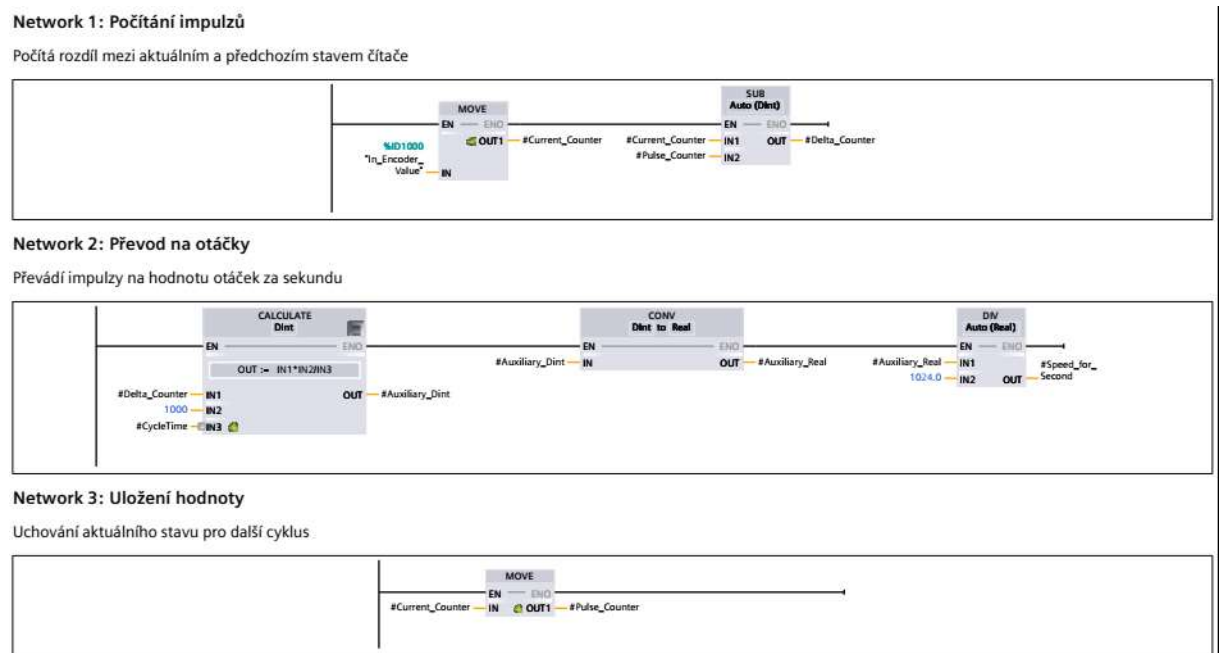
Obr. 32 OB30 Cyclic interrupt

OB30 je rozdělen do pěti přehledných částí (Networks):

- Network 1: Výpočet otáček z enkodéru – využívá FB_Counter_To_Speed pro převod impulzů na otáčky.
- Network 2: Převod hodnoty tachogenerátoru – pomocí FB_Tachogenerator_Speed převádí analogový signál na otáčky.
- Network 3: Řízení změny otáček – FB_Speed_Change_Control porovnává aktuální a vstupní zadanou rychlost a směr a určuje cílovou hodnotu.
- Network 4: Generování PWM signálu – výpočet a nastavení PWM výstupu na základě cílové rychlosti.
- Network 5: Čtení enkodéru – zajišťuje přenos hodnoty z enkodéru do proměnné Encoder_Counter.

FB1 (Counter_To_Speed)

Tento blok slouží k převodu impulzů z enkodéru na hodnoty rychlosti v otáčkách (Obr. 33). Výpočet je založen na rozdílu mezi aktuálním a předchozím stavem čítače v rámci časového cyklu.



Obr. 33 FB1 Counter_To_Speed

Blok je rozdělen do tří částí:

- Network 1: Počítání impulzů – zjišťuje rozdíl mezi aktuální a předchozí hodnotou čítače. Tento rozdíl odpovídá počtu zaznamenaných impulzů za cyklus.
- Network 2: Převod na otáčky – vypočítá rychlost motoru v otáčkách. Převod využívá počet impulzů a délky cyklu.
- Network 3: Uložení hodnoty – ukládá aktuální stav čítače do paměti jako výchozí stav pro další cyklus.

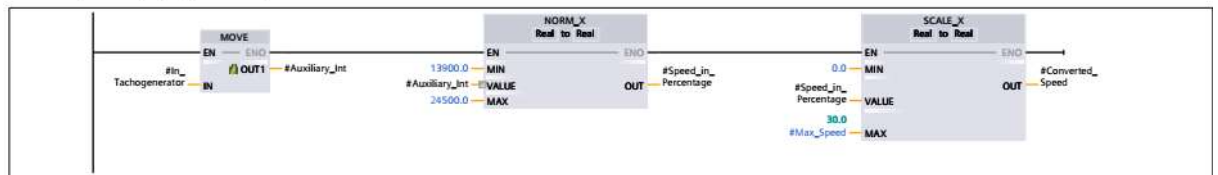
Výstupem bloku je hodnota rychlosti, která je dále využívána např. při vizualizaci na HMI.

FB2 (Tachogenerator_Speed)

Tento blok zpracovává analogový signál z tachogenerátoru a převádí jej na aktuální rychlost motoru v otáčkách, případně i na procentuální hodnotu vzhledem k maximální rychlosti (Obr. 34).

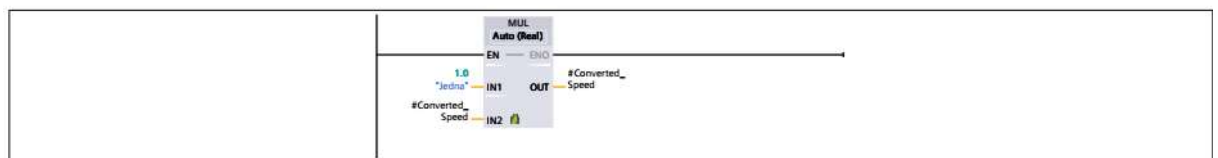
Network 1: Normalizace signálu

Normalizuje analogový signál tachogenerátoru



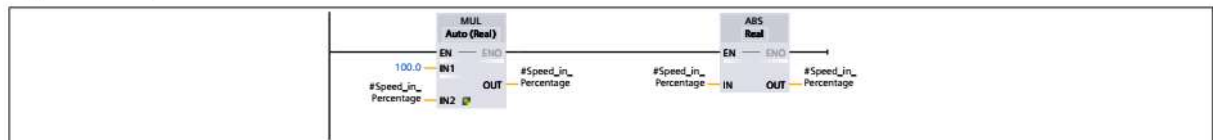
Network 2: Inverze otáček

Korekce polarity otáček pro správné zobrazení



Network 3: Převod na procenta

Přepočet otáček na procentuální hodnotu



Obr. 34 FB2 Tachogenerator_Speed

Blok je rozdělen do tří částí:

- Network 1: Normalizace signálu – analogový signál je převeden na škálu 0–100 % pomocí NORM_X, poté pomocí funkce SCALE_X přepočítán na reálnou hodnotu rychlosti. Pro každé pracoviště je potřeba upravit MIN a MAX v NORM_X dle skutečného stavu.
- Network 2: Inverze otáček – v případě potřeby dochází ke změně směru otáčení, např. při reverzaci směru, aby zobrazená hodnota odpovídala skutečnému pohybu motoru.
- Network 3: Převod na procenta – přepočítává hodnotu otáček na procentuální hodnotu vůči maximální rychlosti.

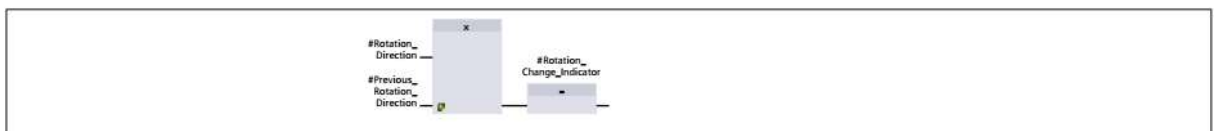
Tento blok je klíčový pro přesné a stabilní měření rychlosti motoru při použití tachogenerátoru.

FB3 (Speed_Change_Control)

Tento blok slouží k bezpečnému řízení změny otáček a směru otáčení motoru. Chrání motor a mechaniku před náhlými přechody mezi směry otáčení, zejména při vyšších rychlostech (Obr. 35).

Network 1: Detekce změny směru

Kontroluje změnu směru a nastavuje příznak



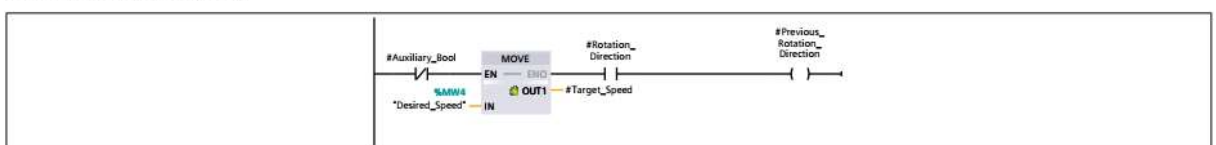
Network 2: Redukce otáček při změně směru

Zabránění prudkému přepnutí směru otáčení



Network 3: Obnovení otáček

Vrací motor na požadované otáčky



Obr. 35 FB3 Speed_Change_Control

Blok je rozdělen do tří částí:

- Network 1: Detekce změny směru – porovnává aktuální a předchozí směr otáčení. Pokud dojde ke změně, nastaví příznak `Rotation_Change_Indicator`, který aktivuje bezpečnostní sekvenci.
- Network 2: Redukce otáček při změně směru – při detekci změny směru je nejprve nastavena nulová rychlost. Časovač určuje bezpečnou prodlevu před opětovným rozběhem.
- Network 3: Obnovení otáček – po uplynutí bezpečnostní prodlevy a potvrzení směru se obnoví na vstupu zadaná rychlost.

Každý FB má přiřazen vlastní datový blok, který slouží k uchování parametrů a stavových veličin potřebných pro jeho činnost. Komunikace s HMI panelem je realizována pomocí globálních proměnných navázaných na symbolické tagy.

2.3 Vizualizace a ovládání

Centrální HMI panel poskytuje přehled o celém systému – zobrazuje stav všech čtyř řízených pohonů, umožňuje nastavit vstupní zadané otáčky, směr otáčení a spouštět či vypínat motory. Uživatel si může zvolit zobrazení všech soustav nebo jen jedné konkrétní. Každý pohon má navíc vlastní lokální HMI panel umístěný přímo u zařízení, což usnadňuje diagnostiku a ladění. Pomocí těchto panelů lze nastavovat základní parametry jako rychlost, směr nebo aktivaci pohonu. Tato koncepce centrálního a lokálního řízení se osvědčila zejména při testování – umožňuje samostatné ladění jednotlivých částí bez narušení chodu ostatních pohonů a zároveň zachovává globální dohled nad celým systémem.

2.3.1 Lokální HMI panel

Lokální HMI panel slouží k přímému ovládání a monitorování jednotlivého pohonu. Umístění v blízkosti motoru umožňuje rychlou diagnostiku, ruční zásahy a bezpečné ladění bez nutnosti přístupu k centrálnímu panelu. Panel využívá sadu specifických HMI proměnných (Obr. 36), které jsou propojeny s PLC a zajišťují obousměrnou komunikaci. Díky těmto proměnným může obsluha snadno řídit konkrétní pohon a současně sledovat jeho stav v reálném čase.

Current_Speed	Default tag table	Int	HMI_Connectio...	PLC_2
Desired_Speed	Default tag table	Int	HMI_Connectio...	PLC_2
Encoder_Speed	Default tag table	Real	HMI_Connectio...	PLC_2
Motor_Enable	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2
Required_Rotation_Direction	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2
START_Button	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2
STOP_Button	Default tag table	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2
Tachogenerator_Speed	Default tag table	Real	HMI_Connectio...	PLC_2

Obr. 36 HMI Tags table lokálního panelu



Obr. 37 Workplace screen lokálního panelu

Hlavní obrazovka lokálního HMI panelu zobrazuje klíčové ovládací prvky a aktuální stav řízeného motoru (Obr. 37). Obsahuje tlačítka Start a Stop, přepínač směru otáčení, sloupcové ukazatele (aktuální otáčky z enkodéru, aktuální otáčky z tachogenerátoru, vstupní zadané otáčky), graf (průběh reálných otáček v čase) a tlačítko „Zobrazení grafu“ pro detailní přehled. Tato obrazovka umožňuje přímé ovládání motoru a zároveň poskytuje přehledné vizuální informace o průběhu řízení.

2.3.2 Centrální HMI panel

Centrální HMI panel slouží jako hlavní rozhraní pro dohled a ovládání všech čtyř ovládaných pracovišť. Umožňuje operátorovi sledovat aktuální stav jednotlivých motorů, přepínat mezi pracovišti, nastavovat parametry a zobrazovat trendové grafy. Pro každé pracoviště je vytvořena samostatná sada HMI proměnných (Obr. 38 – Obr. 42). HMI panel zajišťuje plnou obousměrnou komunikaci s jednotlivými PLC jednotkami a umožňuje tak kompletní řízení každého pohonu z jednoho místa.

Current_Speed_(PLC1)	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	Current_Speed
Desired_Speed_(PLC1)	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	Desired_Speed
Encoder_Speed_(PLC1)	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	Encoder_Speed
Motor_Enable_(PLC1)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	Motor_Enable
Required_Rotation_Direction_...	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	Required_Rotation_Direct..
START_Button_(PLC1)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	START_Button
STOP_Button_(PLC1)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	STOP_Button
Tachogenerator_Speed_(PLC1)	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	Tachogenerator_Speed

Obr. 38 HMI Tags table 1 centrálního panelu

Current_Speed_(PLC2)	Int	HMI_Connectio...	PLC_2	Current_Speed
Desired_Speed_(PLC2)	Int	HMI_Connectio...	PLC_2	Desired_Speed
Encoder_Speed_(PLC2)	Real	HMI_Connectio...	PLC_2	Encoder_Speed
Motor_Enable_(PLC2)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2	Motor_Enable
Required_Rotation_Direction_...	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2	Required_Rotation_Direct..
START_Button_(PLC2)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2	START_Button
STOP_Button_(PLC2)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_2	STOP_Button
Tachogenerator_Speed_(PLC2)	Real	HMI_Connectio...	PLC_2	Tachogenerator_Speed

Obr. 39 HMI Tags table 2 centrálního panelu

Current_Speed_(PLC3)	Int	HMI_Connectio...	PLC_3	Current_Speed
Desired_Speed_(PLC3)	Int	HMI_Connectio...	PLC_3	Desired_Speed
Encoder_Speed_(PLC3)	Real	HMI_Connectio...	PLC_3	Encoder_Speed
Motor_Enable_(PLC3)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_3	Motor_Enable
Required_Rotation_Direction_...	Bool	HMI_Connectio...	PLC_3	Required_Rotation_Direct..
START_Button_(PLC3)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_3	START_Button
STOP_Button_(PLC3)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_3	STOP_Button
Tachogenerator_Speed_(PLC3)	Real	HMI_Connectio...	PLC_3	Tachogenerator_Speed

Obr. 40 HMI Tags table 3 centrálního panelu

Current_Speed_(PLC4)	Int	HMI_Connectio...	PLC_4	Current_Speed
Desired_Speed_(PLC4)	Int	HMI_Connectio...	PLC_4	Desired_Speed
Encoder_Speed_(PLC4)	Real	HMI_Connectio...	PLC_4	Encoder_Speed
Motor_Enable_(PLC4)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_4	Motor_Enable
Required_Rotation_Direction_...	Bool	HMI_Connectio...	PLC_4	Required_Rotation_Direct..
START_Button_(PLC4)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_4	START_Button
STOP_Button_(PLC4)	Bool	HMI_Connectio...	PLC_4	STOP_Button
Tachogenerator_Speed_(PLC4)	Real	HMI_Connectio...	PLC_4	Tachogenerator_Speed

Obr. 41 HMI Tags table 4 centrálního panelu

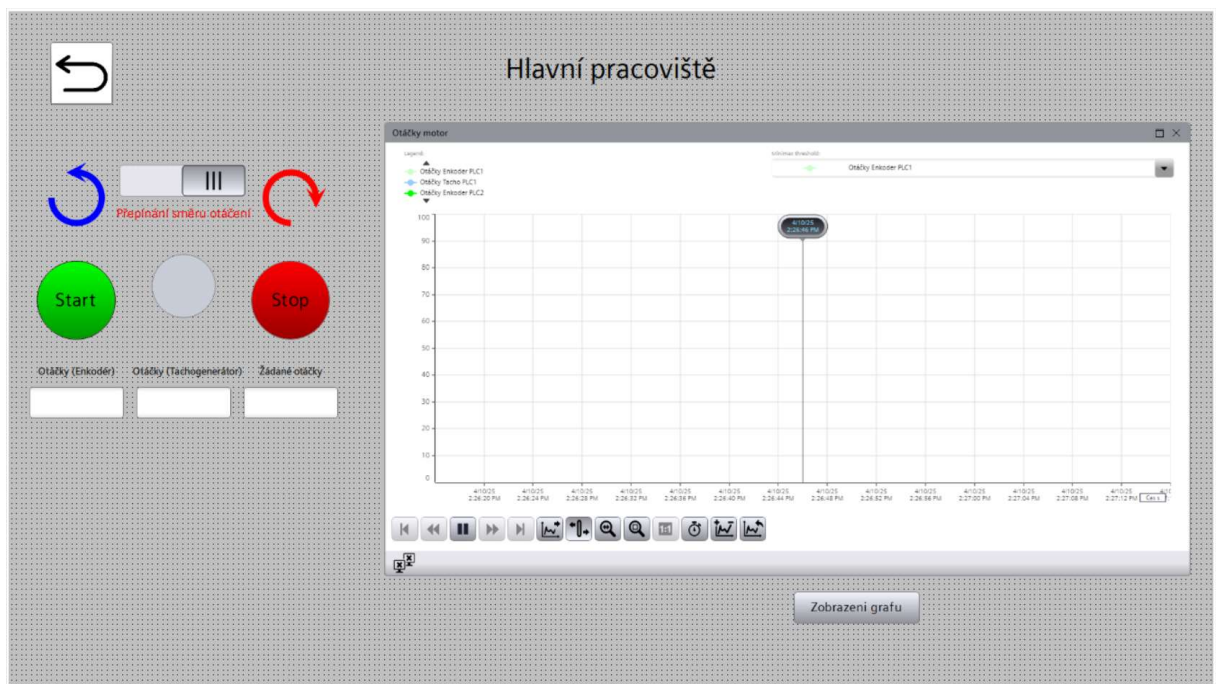
Desired_Speed	Int	<Internal tag>	
Required_Rotation_Direction	Bool	<Internal tag>	

Obr. 42 HMI Tags table interní centrálního panelu



Obr. 43 Main Menu Screen centrálního panelu

Startovací obrazovka (Obr. 43) slouží k výběru konkrétního pracoviště nebo přechodu do centrálního přehledu. Pracoviště 1–4 a hlavní přehled jsou reprezentovány barevně odlišenými tlačítky pro snadnou orientaci.



Obr. 44 Main overview Screen centrálního panelu

Hlavní přehledová obrazovka (Obr. 44) zobrazuje v reálném čase otáčky z více zdrojů. Levá část obrazovky obsahuje základní ovládací prvky. Umožňuje rychlý zásah bez nutnosti přepínat mezi jednotkami.



Obr. 45 Workplace 1-4 Screen centrálního panelu

Obrazovky jednotlivých pracovišť (Obr. 45) jsou identické s rozhraním lokálních HMI panelů. Uživatel zde může ovládat motor, nastavovat otáčky a směr, sledovat aktuální stav i zobrazit graf. Jednotlivé rozhraní zajišťují přehlednost a snadné ovládání.



Obr. 46 Graph Screen centrálního a lokálního panelu

Každá obrazovka pracoviště je rozšířena o samostatnou stránku s detailním grafickým zobrazením průběhu otáček v čase (Obr. 46). Lokální panel zobrazuje detailní graf výhradně pro svůj pohon, zatímco centrální HMI umožňuje zobrazit buď jednotlivé pracoviště samostatně, nebo všechny pohony současně v jednom společném grafu.

2.4 Měření přechodových charakteristik

V rámci praktické části bylo provedeno měření přechodových charakteristik řízených pohonů s cílem posoudit jejich reakci na náhlou změnu vstupních zadaných otáček. Test spočíval ve skokové změně z 30 % na 70 % na vstupu zadaných otáček a zpět ze 70 % na 30 %. Změna byla zadávána přes HMI panel a řízena PLC. Aktuální rychlost byla měřena tachogenerátorem a zpracovávána v softwaru. Měření proběhlo za jednotných podmínek pro všechny čtyři pohony, aby bylo možné výsledky mezi sebou porovnat. Naměřené hodnoty byly zaznamenány, následně zpracovány do tabulek a vizualizovány pomocí grafů znázorňujících časový průběh otáček při jednotlivých skokových změnách. Pro detailní analýzu dynamického chování jednotlivých soustav byl dále proveden odhad jejich matematického modelu. K tomuto účelu byly využity dva nástroje:

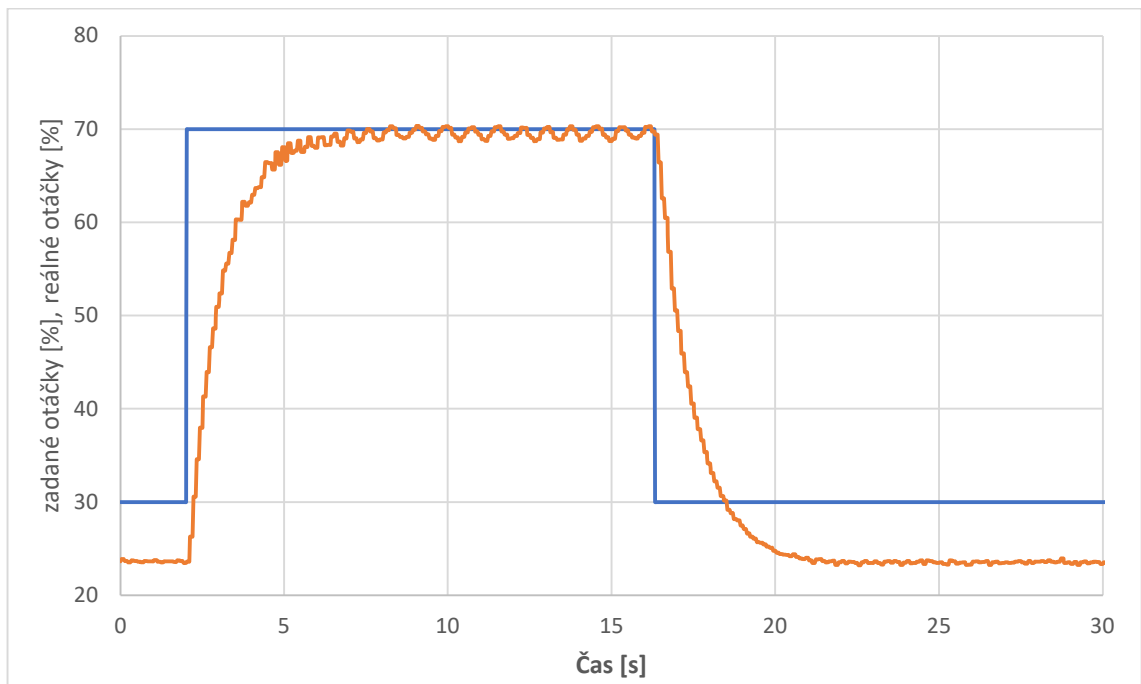
- MATLAB – System Identification Toolbox (ident): umožnil výpočet parametrů přenosové funkce na základě importovaných dat a jejich porovnání s reálnou odezvou systému.
- Vlastní script v Excelu: sloužil k numerickému výpočtu parametrů přenosu přímo z naměřených hodnot.

Obě metody mají svá opodstatnění a výsledky, přestože vykazují odlišné hodnoty parametrů.

2.5 Grafy a vizualizace výsledků

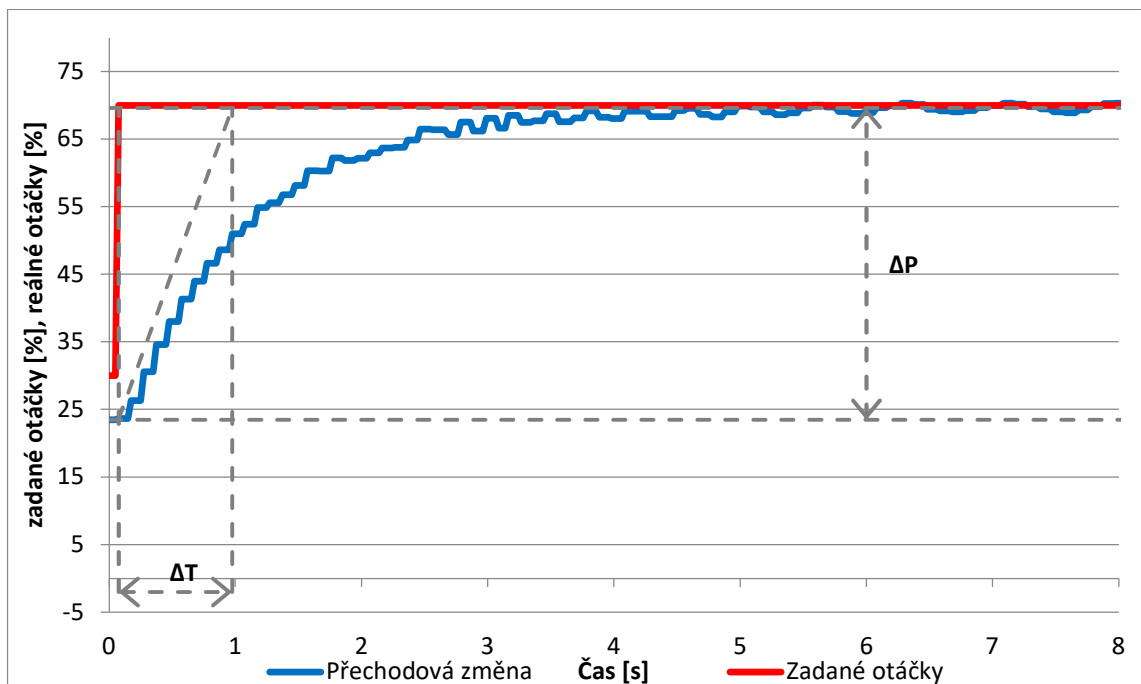
Pro každou z řízených soustav byly zaznamenány klíčové průběhy vstupních a výstupních signálů. Sledovány byly jak vstupní veličiny systému, tak výstupní odezva v podobě skutečných otáček motoru získaných z tachogenerátoru. Cílem bylo zachytit dynamickou odezvu systému na změnu řídicího vstupu a následně vyhodnotit její parametry.

2.5.1 První pracoviště



Obr. 47 Porovnání zadaných a reálných otáček prvního motoru při skokové změně

Graf porovnává zadané (modře) a skutečně dosažené otáčky (oranžově). Změna řízení ve 2. s způsobí náběh s mírným překmitem, zatímco snížení ve 14. s vede k doběhu. Průběh umožňuje analyzovat dynamiku řízené soustavy



Obr. 48 Přechodová charakteristika náběhu PLC1

Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup zvýšen z přibližně 30 % na 70 % maximálních otáček. Pomocí pomocných konstrukcí jsou vyznačeny klíčové parametry ΔP – změna výstupu (rozdíl mezi výchozí a ustálenou hodnotou otáček a ΔT – doba mezi začátkem odezvy a průsečíkem tečny s ustálenou hodnotou (časová konstanta systému).

Výpočet v Excelu (script)

Na základě analýzy přechodové charakteristiky v Excelu byly získány následující hodnoty:

$$T_1 = 0,075 \text{ s}; T_2 = 0,974 \text{ s}; P_1 = 23,629 \%; P_2 = 69,617 \%; \Delta z = 40$$

Výpočet doby náběhu:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 0,974 - 0,075 = 0,899 \text{ s}$$

Výpočet změny otáček:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 69,617 - 23,629 = 45,988 \%$$

Výpočet zesílení:

$$K_s = \frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{45,988}{40} = 1,1497$$

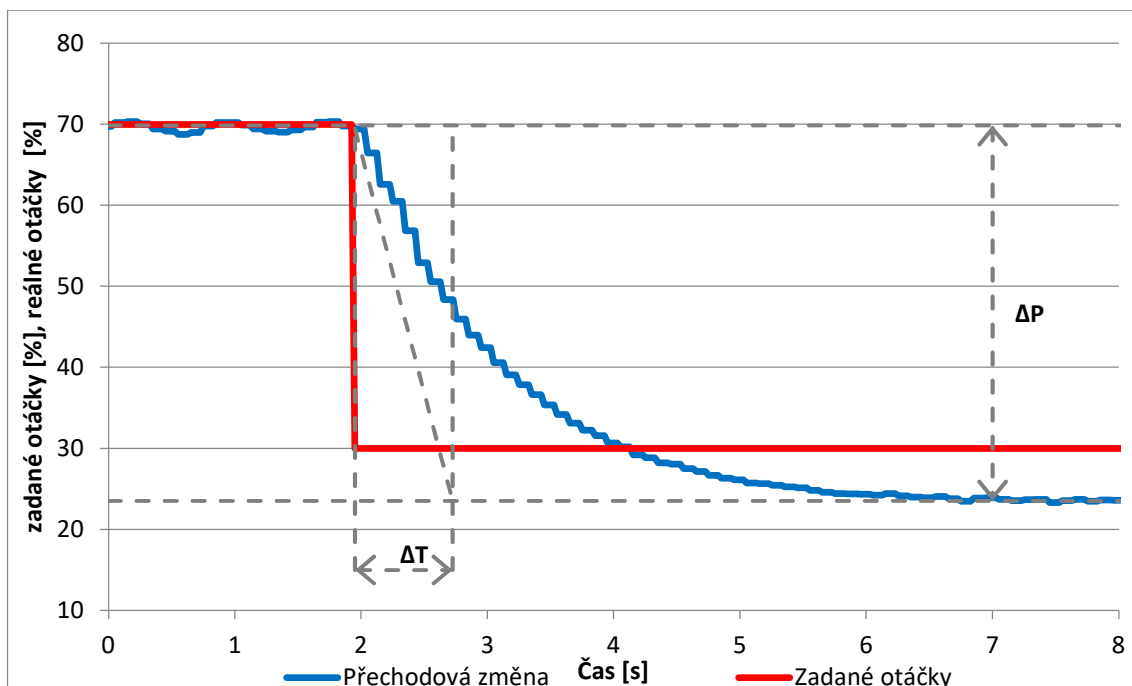
Výpočet přenosu:

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,1497}{0,899 \cdot s + 1}$$

Výpočet pomocí MATLAB Toolboxu

Na základě datového průběhu byla pomocí nástroje Systém Identification Toolbox určena přenosová funkce automaticky jako:

$$G(s) = \frac{0,4931}{s + 0,4958}$$



Obr. 49 Přechodová charakteristika poklesu PLC1

Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup snížen z přibližně 70 % na 30 % maximálních otáček. Pomocí pomocných konstrukcí jsou vyznačeny klíčové parametry ΔP – změna výstupu (rozdíl mezi výchozí a ustálenou hodnotou otáček), ΔT – doba mezi začátkem odezvy a průsečíkem tečny s ustálenou hodnotou (časová konstanta systému).

Výpočet v Excelu (script)

Na základě analýzy přechodové charakteristiky v Excelu byly získány následující hodnoty:

$$T_1 = 1,951 \text{ s}; T_2 = 2,723 \text{ s}; P_1 = 69,414 \text{ %}; P_2 = 23,533 \text{ %}; \Delta z = 40$$

Výpočet doby náběhu:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2,723 - 1,951 = 0,772 \text{ s}$$

Výpočet změny otáček:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 23,533 - 69,414 = -45,881 \text{ %}$$

Výpočet zesílení:

$$K_s = \frac{\Delta P}{\Delta z} = \frac{45,881}{40} = 1,147$$

Výpočet přenosu:

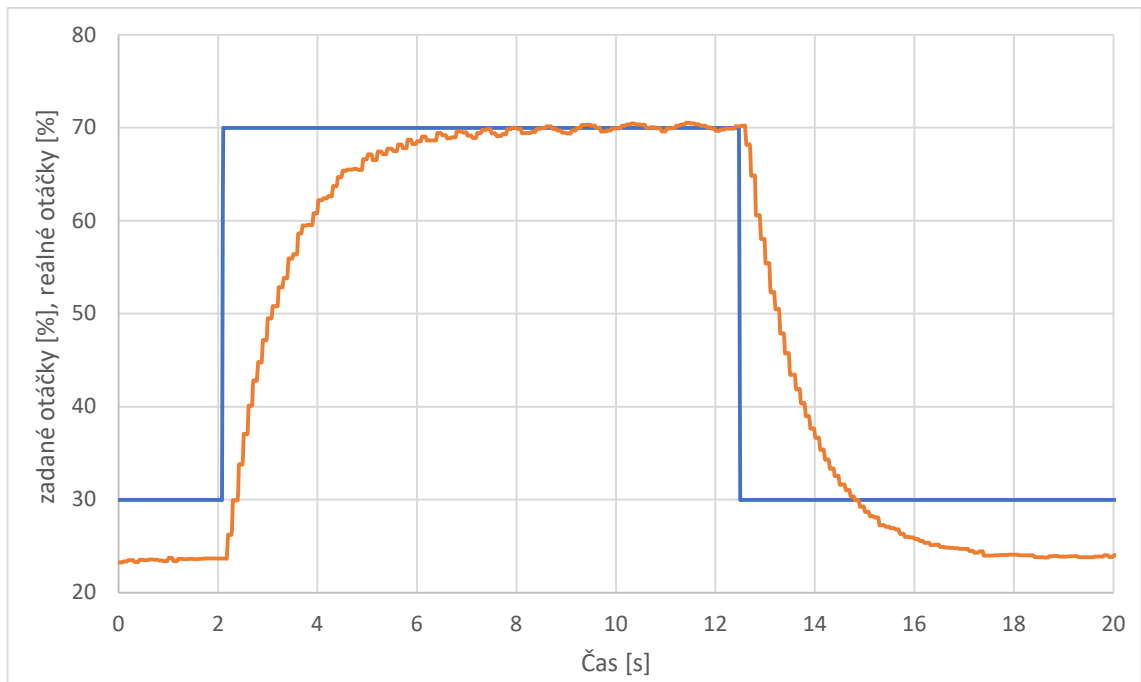
$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,147}{0,772 \cdot s + 1}$$

Výpočet pomocí MATLAB Toolboxu

Na základě datového průběhu byla pomocí nástroje Systém Identification Toolbox určena přenosová funkce automaticky jako:

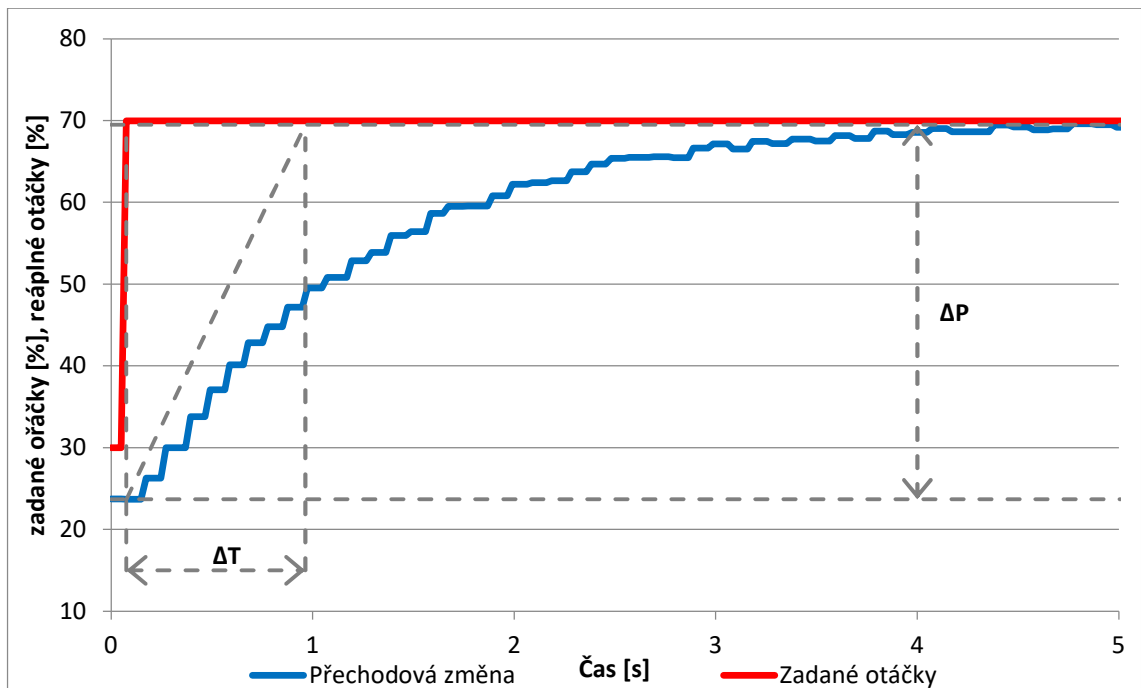
$$G(s) = \frac{0,3246}{s + 0,3882}$$

2.5.2 Druhé pracoviště



Obr. 50 Porovnání zadaných a reálných otáček druhého motoru při skokové změně

Graf porovnává zadané (modře) a skutečně dosažené otáčky (oranžově). Změna řízení ve 2. s způsobí náběh s mírným překmitem, zatímco snížení ve 12,5. s vede k doběhu. Průběh umožňuje analyzovat dynamiku řízené soustavy



Obr. 51 Přebodová charakteristika náběhu PLC2

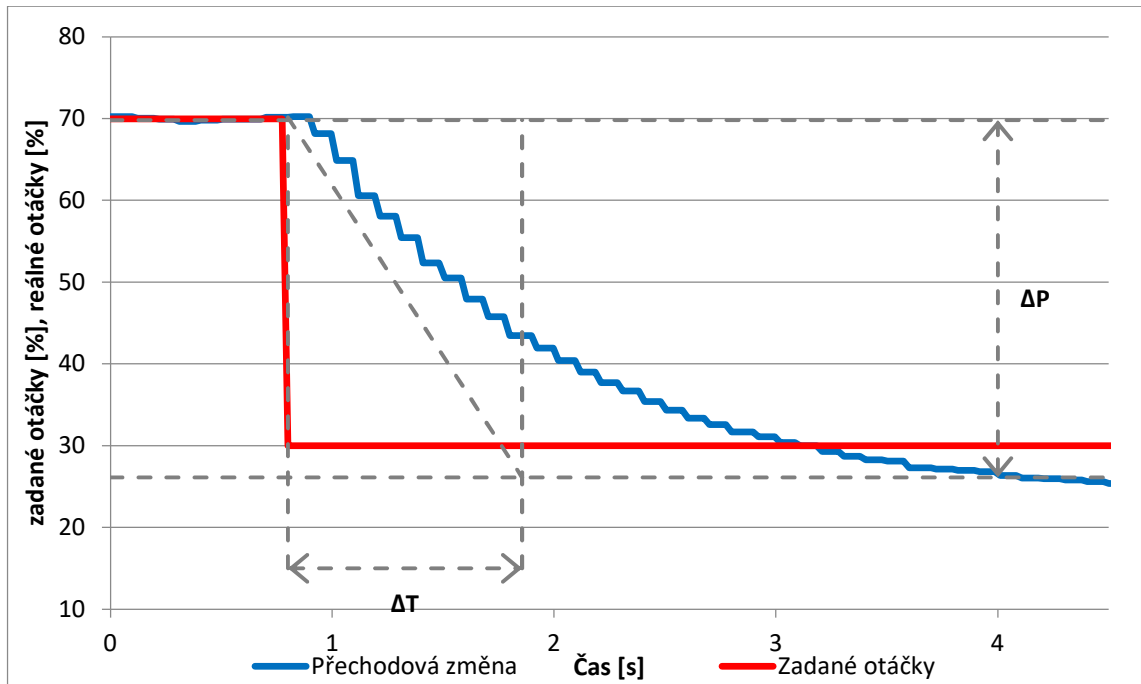
Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup zvýšen z přibližně 30 % na 70 % maximálních otáček.

Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,145}{0,889 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

$$G(s) = \frac{0,4322}{s + 0,4319}$$



Obr. 52 Přechodová charakteristika poklesu PLC2

Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup snižen z přibližně 70 % na 30 % maximálních otáček.

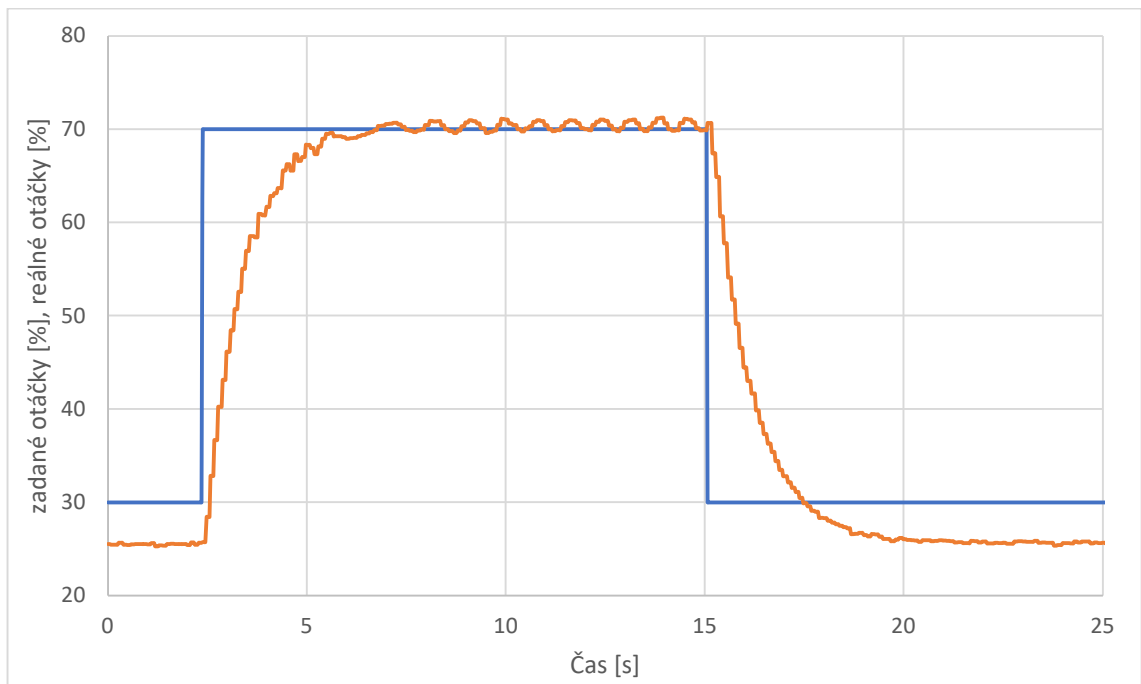
Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,10}{1,055 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

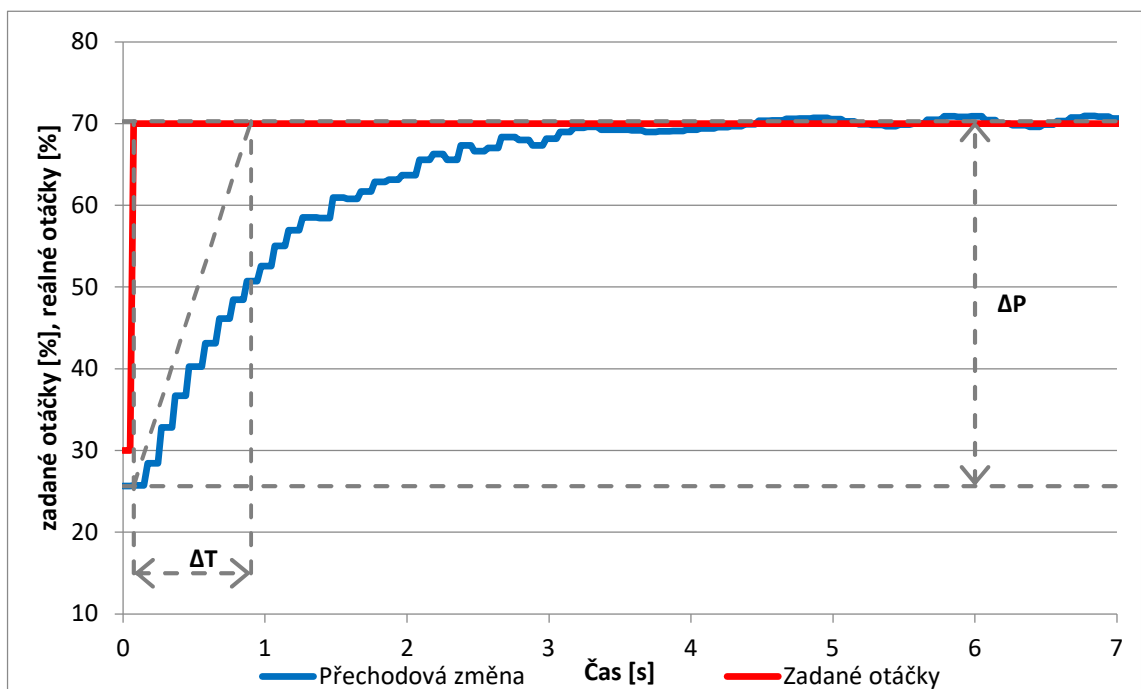
$$G(s) = \frac{0,3007}{s + 0,3726}$$

2.5.3 Třetí pracoviště



Obr. 53 Porovnání zadaných a reálných otáček třetího motoru při skokové změně

Graf porovnává zadané (modře) a skutečně dosažené otáčky (oranžově). Změna řízení ve 2. s způsobí náběh s mírným překmitem, zatímco snížení ve 15. s vede k doběhu. Průběh umožňuje analyzovat dynamiku řízené soustavy



Obr. 54 Přechodová charakteristika náběhu PLC3

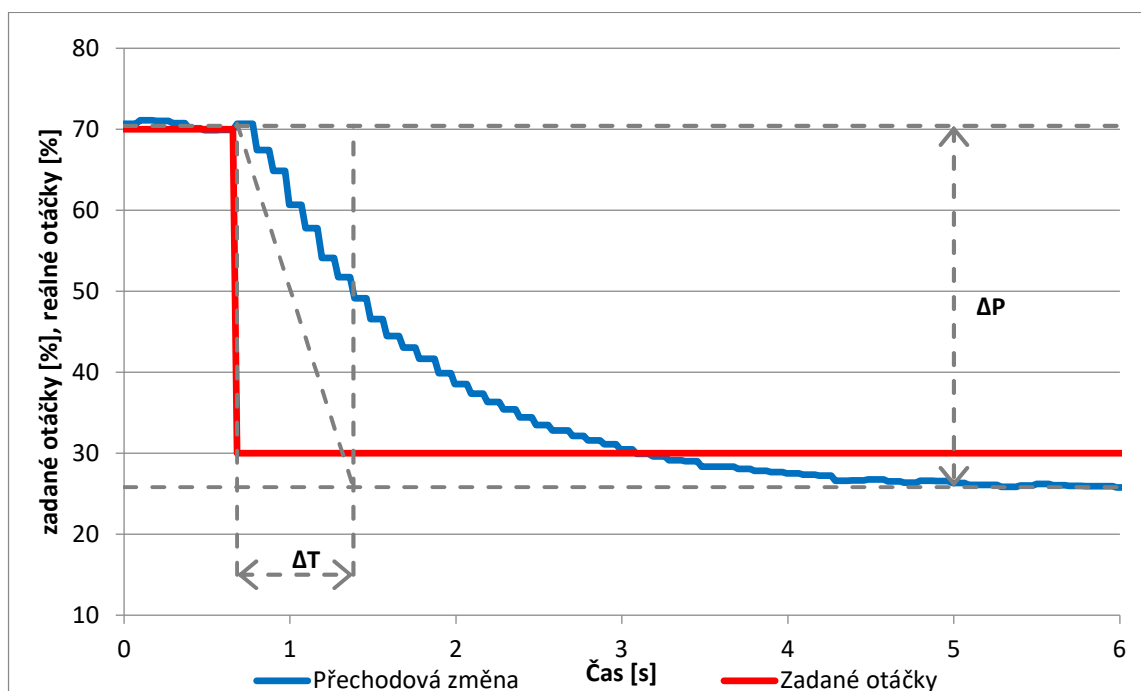
Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup zvýšen z přibližně 30 % na 70 % maximálních otáček.

Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,113}{0,826 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

$$G(s) = \frac{0,5054}{s + 0,5019}$$



Obr. 55 Přechodová charakteristika poklesu PLC3

Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup snížen z přibližně 70 % na 30 % maximálních otáček.

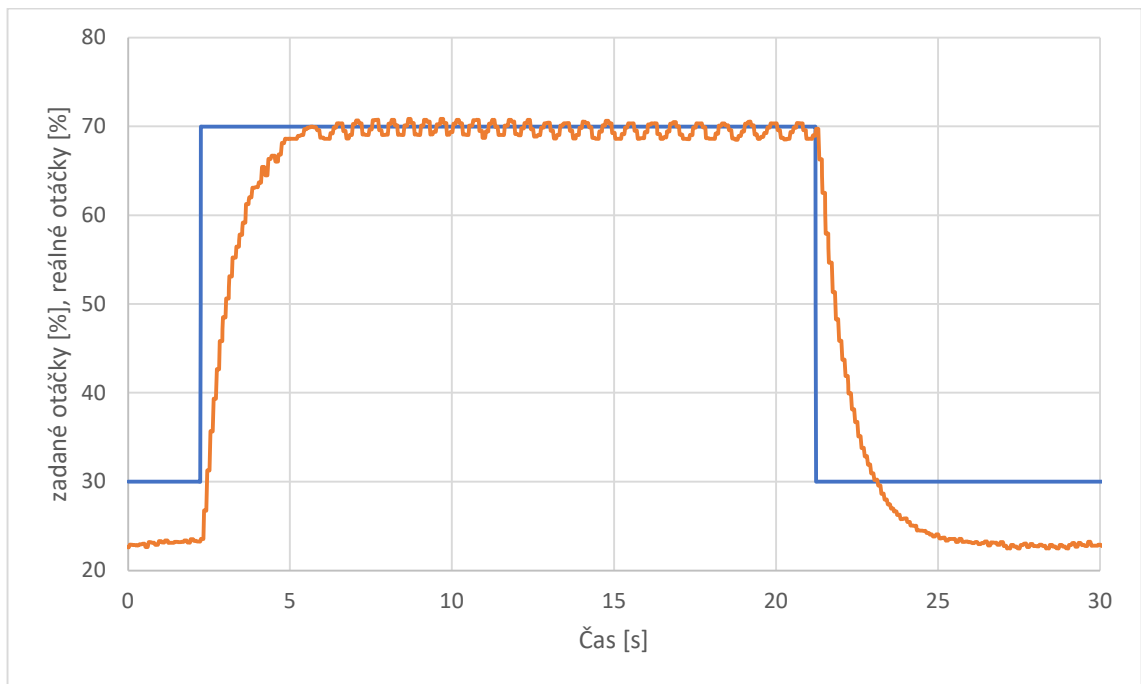
Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,121}{0,7 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

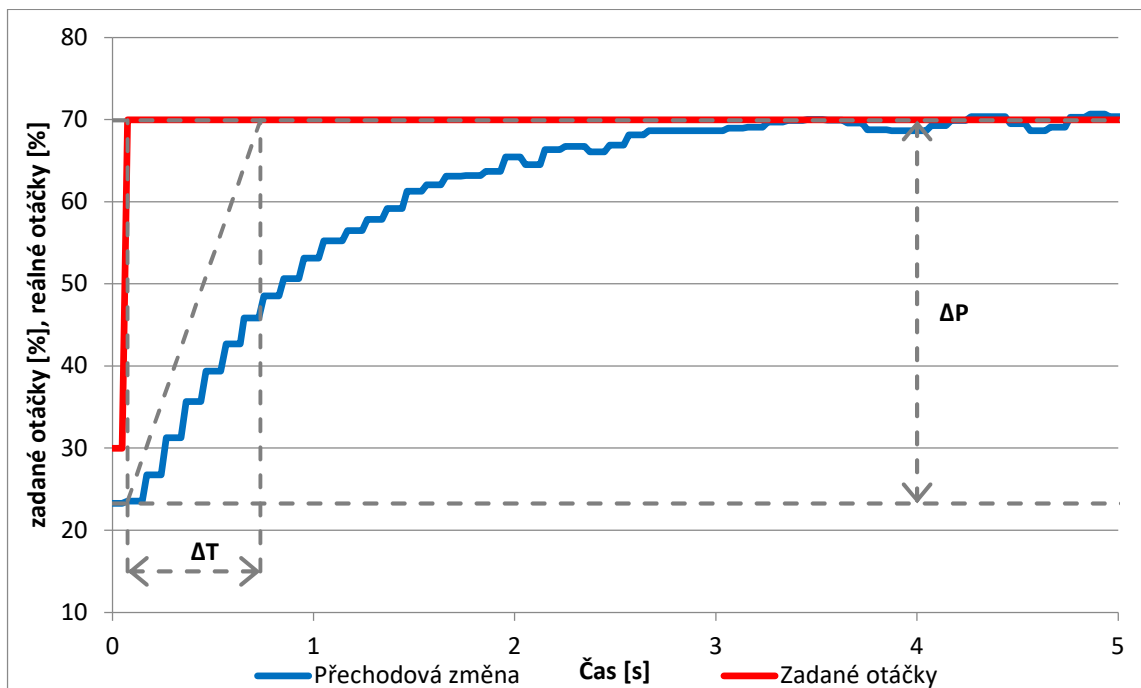
$$G(s) = \frac{0,348}{s + 0,4103}$$

2.5.4 Čtvrté pracoviště



Obr. 56 Porovnání zadaných a reálných otáček čtvrtého motoru při skokové změně

Graf porovnává zadané (modře) a skutečně dosažené otáčky (oranžově). Změna řízení ve 2. s způsobí náběh s mírným překmitem, zatímco snížení ve 22. s vede k doběhu. Průběh umožňuje analyzovat dynamiku řízené soustavy



Obr. 57 Přechodová charakteristika náběhu PLC4

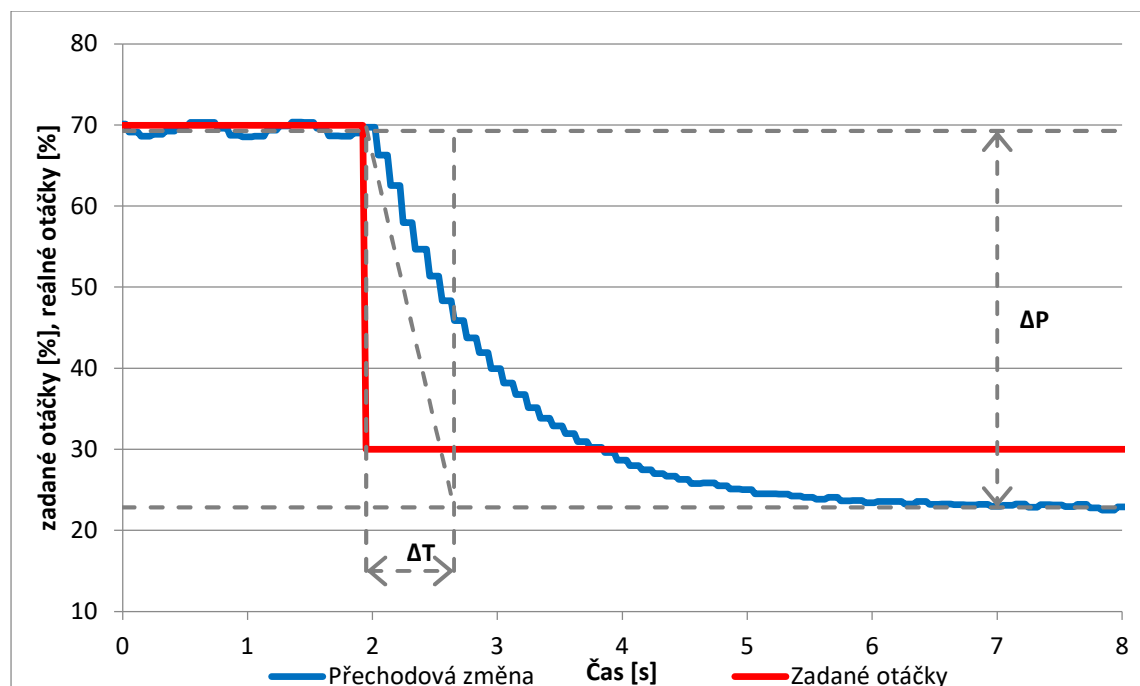
Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup zvýšen z přibližně 30 % na 70 % maximálních otáček.

Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,159}{0,66 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

$$G(s) = \frac{0,5525}{s + 0,5507}$$



Obr. 58 Přechodová charakteristika poklesu PLC4

Graf znázorňuje průběh reálných otáček motoru (modrá křivka) v reakci na skokovou změnu zadané vstupní hodnoty (červená křivka). Změna nastává na počátku grafu, kdy je vstup snížen z přibližně 70 % na 30 % maximálních otáček.

Výpočet přenosu v Excelu (script)

$$G(s) = \frac{K_s}{\Delta T \cdot s + 1} = \frac{1,171}{0,703 \cdot s + 1}$$

Výpočet přenosu pomocí MATLAB Toolboxu

$$G(s) = \frac{0,3853}{s + 0,4511}$$

2.6 Porovnání výsledků

Výsledky obou metod se liší, protože Excel vychází z ručně určených bodů v grafu a zjednodušených výpočtů. MATLAB využívá numerické optimalizační algoritmy nad celým průběhem. Obě metody jsou platné – Excel poskytuje přehledný a vizuálně kontrolovatelný výsledek, zatímco MATLAB nabízí přesnější model na základě datové regrese. Na základě změřených dat bylo provedeno porovnání přechodových charakteristik čtyř různých soustav řízených samostatnými PLC. Kritérii hodnocení byly zejména doba přechodu ΔT , velikost změny ΔP a velikost zesílení K_s .

Tabulka 1 Vypočítané parametry pro náběh v Excelu

PLC	ΔP [%]	ΔT [s]	K_s
PLC1	45,988	0,899	1,149
PLC2	45,828	0,889	1,145
PLC3	44,544	0,826	1,113
PLC4	46,366	0,660	1,159
Průměr	45,682	0,819	1,142
Směrodatná odchylka	0,791	0,110	0,020

Tabulka 2 Vypočítané parametry pro pokles v Excelu

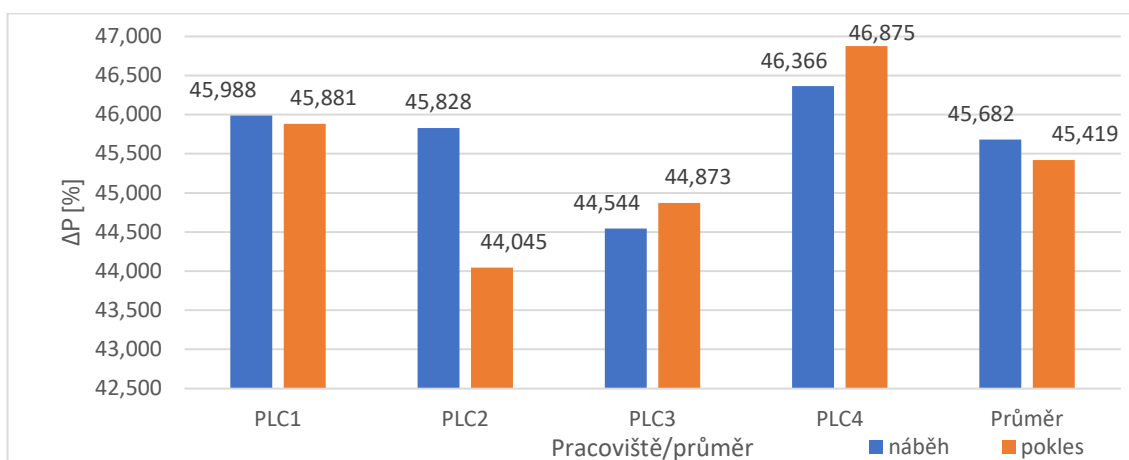
PLC	ΔP [%]	ΔT [s]	K_s
PLC1	45,881	0,772	1,147
PLC2	44,045	1,055	1,100
PLC3	44,873	0,700	1,121
PLC4	46,875	0,703	1,171
Průměr	45,419	0,808	1,135
Směrodatná odchylka	1,227	0,168	0,031

Tabulka 3 Vypočítané parametry pro náběh v Matlabu

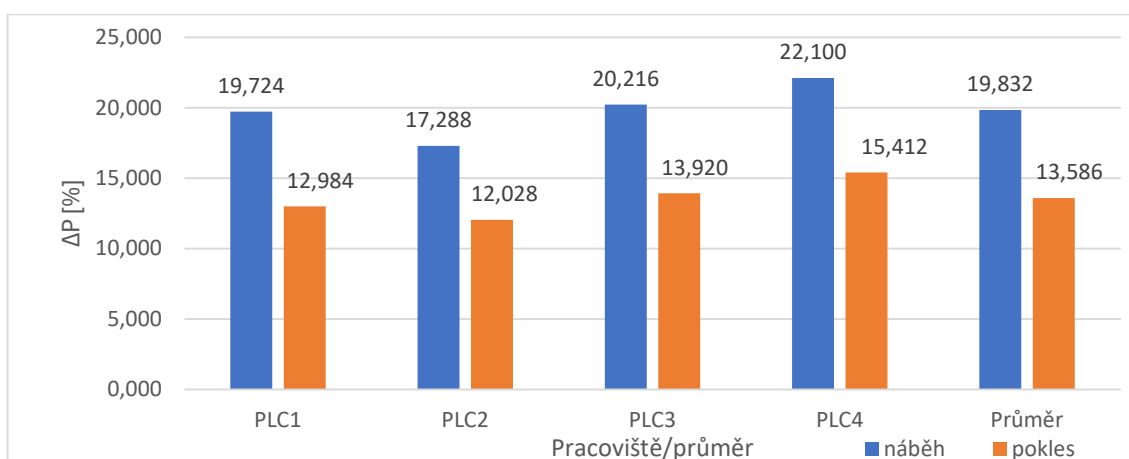
PLC	ΔP [%]	ΔT [s]	K_s
PLC1	19,724	2,017	0,493
PLC2	17,288	2,315	0,432
PLC3	20,216	1,992	0,505
PLC4	22,100	1,816	0,553
Průměr	19,832	2,035	0,496
Směrodatná odchylka	1,981	0,207	0,050

Tabulka 4 Vypočítané parametry pro pokles v Matlabu

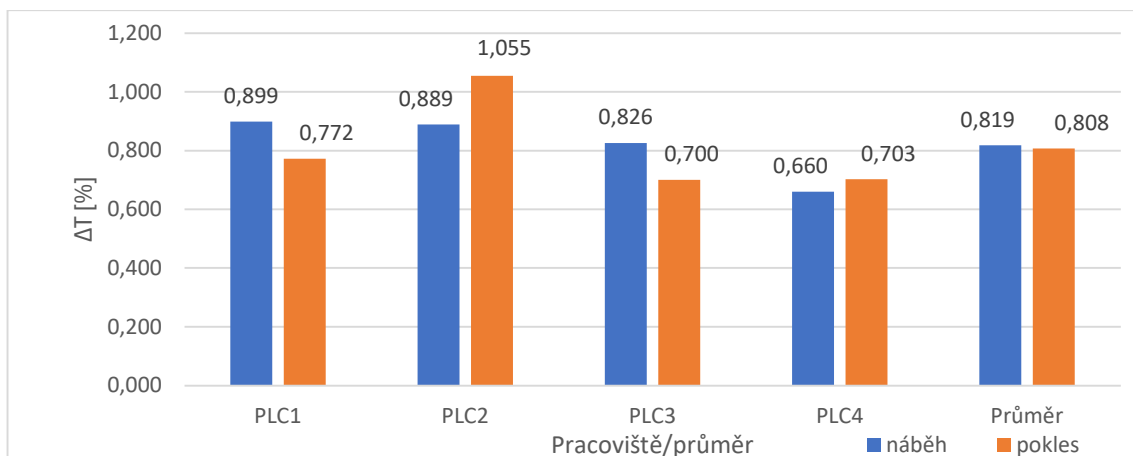
PLC	ΔP [%]	ΔT [s]	Ks
PLC1	12,984	2,576	0,325
PLC2	12,028	2,684	0,301
PLC3	13,920	2,437	0,348
PLC4	15,412	2,217	0,385
Průměr	13,586	2,478	0,340
Směrodatná odchylka	1,442	0,202	0,036



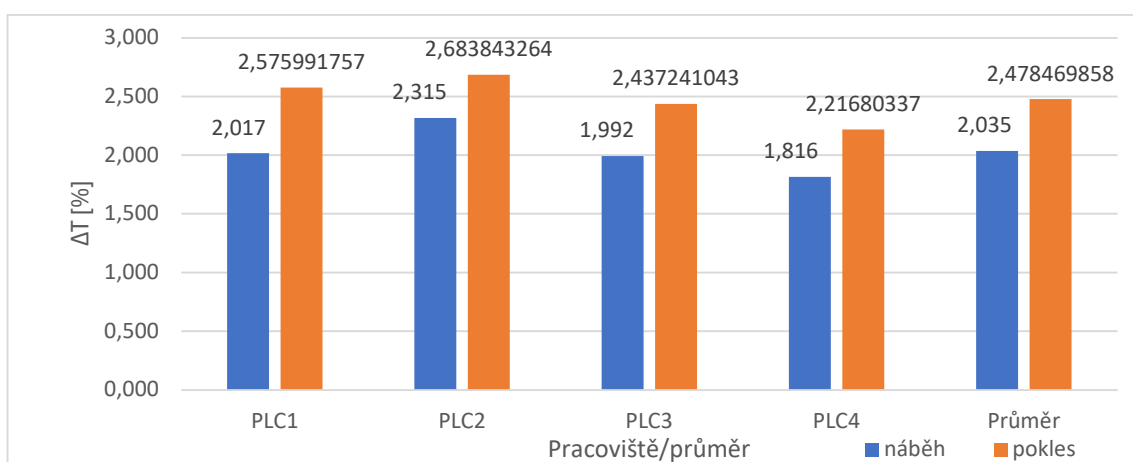
Obr. 59 Porovnání ΔP z Excelu



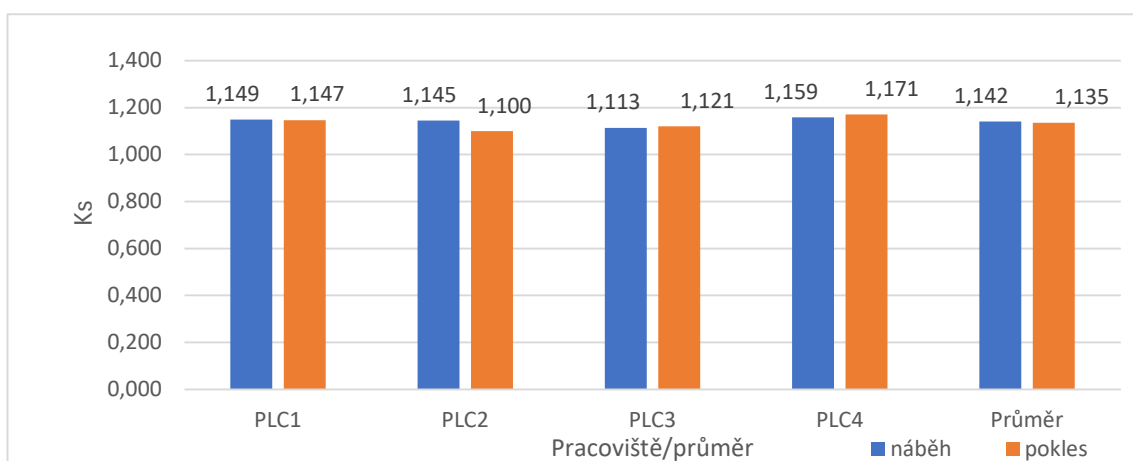
Obr. 60 Porovnání ΔP z Matlabu



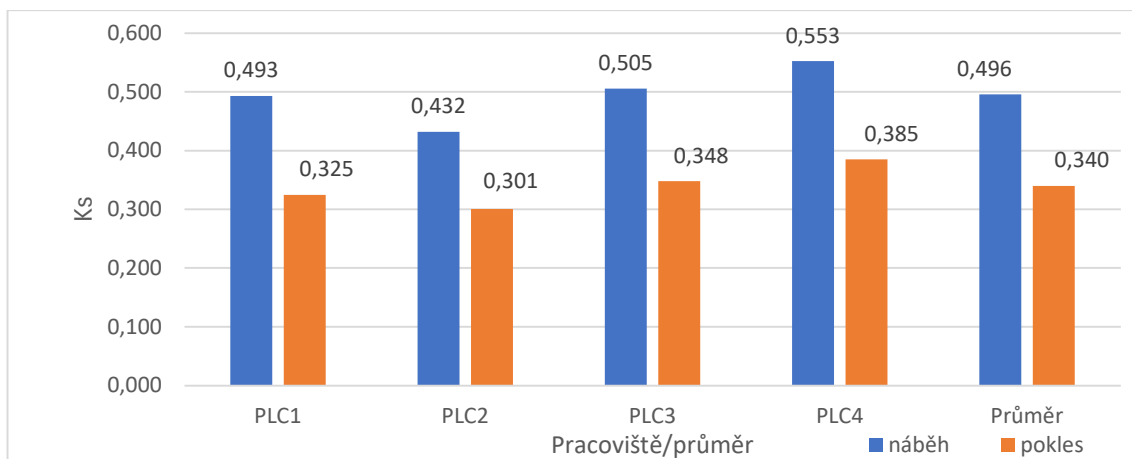
Obr. 61 Porovnání ΔT z Excelu



Obr. 62 Porovnání ΔT z Matlabu



Obr. 63 Porovnání K_s z Excelu



Obr. 64 Porovnání Ks z Matlabu

Z výsledků měření je patrné, že obě metody přinášejí rozdílné hodnoty přechodových charakteristik. Nejrychlejší odezva systému (nejnižší hodnota ΔT) byla zaznamenána pomocí Excelu u soustavy PLC4 při náběhu (0,660 s), zatímco nejpomalejší reakce byla identifikována v MATLABu u PLC2 při poklesu (2,684 s). MATLAB obecně vykazuje delší časy díky tomu, že analyzuje celý průběh odezvy včetně pozvolného ustalování.

Velikost změny výstupu (ΔP) byla nejvyšší v Excelu (46,875 % u PLC4), zatímco v MATLABu dosahovala výrazně nižších hodnot, např. 12,028 % u PLC2. To odpovídá rozdílnému přístupu – Excel pracuje s reálnými hodnotami z grafu, zatímco MATLAB modeluje odezvu na základě optimalizace.

Zesílení soustavy (K_s) vyšlo nejvyšší rovněž v Excelu (1,171 u PLC4), zatímco MATLAB uvedl nejnižší hodnotu 0,301 (PLC2). Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že jako nejrychlejší a nejcitlivější se chovala soustava PLC4 dle Excelu, zatímco nejpomalejší a nejméně dynamická byla PLC2 dle MATLABu. Zjištěné rozdíly potvrzují, že volba vyhodnocovací metody významně ovlivňuje výsledky a že pro komplexní hodnocení řízené soustavy je výhodné využít obě – grafickou i modelovou – analýzu.

2.7 Hodnocení HMI rozhraní

Použití centrálního dotykového panelu IFP 1500 PRO se ukázalo jako velmi efektivní. Panel umožňuje rychlé přepínání mezi soustavami, nastavování vstupů a sledování odezvy v reálném čase. Lokální panely poskytly důležitou funkčnost při testování – odlehčení operátorovi při ladění každého pohonu. Výrazně zjednodušily detekci problémů v konkrétní části systému. Doporučuje se doplnit systém o datalogging – archivaci změřených údajů do souborů CSV pro další zpracování v analytickém softwaru (např. MATLAB, Excel).

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat dynamické charakteristiky čtyř elektrických pohonů řízených pomocí PLC Siemens SIMATIC S7-1200. K tomu byl navržen a realizován kompletní systém zahrnující hardwarovou i softwarovou část – od měření až po vizualizaci v reálném čase.

V prostředí TIA Portal byl vytvořen softwarový projekt obsahující programové bloky pro:

- měření otáček pomocí tachogenerátoru a enkodéru,
- výpočet aktuální rychlosti,
- řízení směru a velikosti vstupních otáček,
- vizualizaci dat přes centrální a čtyři lokální HMI panely.

Každý motor má vlastní PLC, což umožnilo nezávislé ovládání jednotlivých soustav. Systém byl doplněn o bezpečnostní funkce, jako je blokování přímého reverzu za chodu nebo plynulý rozběh.

Důležitou součástí úlohy byla konfigurace průmyslové sítě PROFINET. Byla provedena správa přístupových práv k jednotlivým podsítím a konfigurace směrování dat, což umožňuje vytvářet pokročilé úlohy pro sběr, přenos a zpracování dat z reálném čase.

V experimentální části byly všechny soustavy testovány pomocí skokové změny zadané rychlosti na vstupu. Z naměřených dat byly určeny klíčové přechodové parametry – ΔT , ΔP a K_s . Vyhodnocení proběhlo dvěma způsoby: graficky v Excelu a pomocí modelové identifikace v MATLABu.

Výsledky ukázaly odlišnosti mezi jednotlivými soustavami i mezi použitými metodami. Nejrychlejší a nejcitlivější odezvu měla soustava PLC4 (Excel), zatímco nejpomalejší reakci vykázal model PLC2 v MATLABu. MATLAB obecně udával delší přechodové časy, protože zohledňuje celý průběh odezvy.

Zjištěné poznatky mohou sloužit jako základ pro další vývoj a optimalizaci řízení pohonů. Do budoucna se nabízí implementace pokročilejších algoritmů (např. PID), analýza vlivu zatížení a provozních podmínek, rozšíření vizualizace o dlouhodobé trendy, nebo přechod na komplexní SCADA řešení.

Práce tak nejen splnila svůj cíl, ale zároveň vytvořila pevný základ pro další zkoumání a zdokonalování řízených soustav v průmyslové automatizaci.

POUŽITÁ LITERATURA

1. AUTOMATION COMMUNITY, 2025. *History and Applications of PLC* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://automationcommunity.com/history-and-applications-of-plc/>
2. BALDA, Pavel, 2022. *Programování PLC I. – IEC 61131-3*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd.
3. BEZCHLEBA, Zbyněk, 2024. *Úvod do programovatelných automatů – přednášky 1–4*. Pardubice: Univerzita Pardubice.
4. BOHÁČ, Adam. *Řízení laboratorního modelu pomocí Siemens Simatic S7-1200*. Pardubice, 2023. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
5. BÜHLER MOTOR, 2022. *DC PM Motor Standard 1.13.044 – technický list*. Norimberk. Dostupné z: <http://www.buehlermotor.com>
6. C3CONTROLS, 2023. *History of Programmable Logic Controllers* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.c3controls.com/white-paper/history-of-programmable-logic-controllers/>
7. KOHOUT, Luděk, 2025. *Norma IEC 61131-3* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.edumat.cz/normaiec/>
8. HEWLETT-PACKARD, 1999. *HEDM-550x – Optical Incremental Encoders*. USA: HP.
9. INTECO, 2025. *Modular Servo Systems* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.inteco.com.pl/products/modular-servo/>
10. ISA, 2022. *What You May Not Know About SoftPLCs* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.isa.org/intech-home/2022/february-2022/departments/what-you-may-not-know-about-softples>
11. JIRČÁK, Ondřej. *Řízení stejnosměrného motoru pomocí PLC Simatic S7-1200*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

12. PLC-AUTOMATIZACE.cz, 2025. *PLC Automatizace* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/index.htm>
13. PLCTECHNICIAN.com, 2025. *Evolution of PLCs* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <https://www.plctechnician.com/news-blog/evolution-plcs>
14. PROCESS SOLUTIONS, 2025. *A Brief History of Programmable Logic Controllers (PLCs)* [online]. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://processsolutions.com/a-brief-history-of-programmable-logic-controllers-plcs/>
15. SIEMENS, 2025. *SCALANCE XB008 – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z:
<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6GK50080BA101AB2>
16. SIEMENS, 2025. *SCALANCE XC224-4C – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6GK52244GS002FC2>
17. SIEMENS, 2025. *SIMATIC IFP1500 PRO – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z:
<https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6AV74665MA010AA0>
18. SIEMENS, 2025. *SIMATIC IPC227G – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6ES76478CF323AC0>
19. SIEMENS, 2025. *SIMATIC S7-1200 – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6ES72151AG400XB0>
20. SIEMENS, 2025. *SITOP PSU4200 – Technický list* [online]. [cit. 2025-04-13].
Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/pv/6EP33333SB000AX0>
21. STOJAN, Jiří, 2016. *Co je programovatelný logický automat PLC – 1. část* [online].
ElektroPrůmysl.cz, [cit. 2025-05-05]. Dostupné z:
<https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/co-je-programovatelný-logický-automat-plc-1-cast>
22. ŠTURSA, Dominik, 2023. *Základy logického řízení*. Pardubice: Univerzita Pardubice.
23. ŠULC, Martin, 2024. *Vývojové postupy – Laboratoř průmyslové automatizace*.
Pardubice: Univerzita Pardubice.