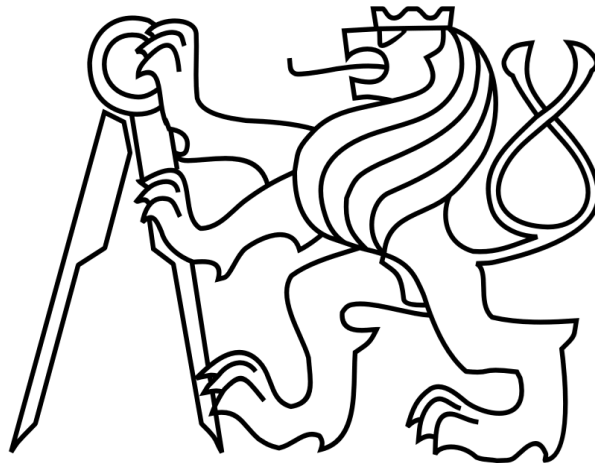


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Diplomová práce

Propojení konvenčních strojů se systémem řízení výroby  
Connection of conventional machines with production control system

2020

Bc. Alexandr Gurov



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Gurov** Jméno: **Alexandr** Osobní číslo: **438308**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Průmysl 4.0**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Propojení konvenčních strojů se systémem řízení výroby**

Název diplomové práce anglicky:

**Connection of conventional machines with production control system**

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Připojení konvenčních strojů do systému řízení výroby a sledování jejich provozu. Konkrétně se jedná o přípravu interface tří strojů (soustruh, frézka, stojanová vrtačka) pomocí PLC Simatic S7-1500 a rozhraní OPC-UA. Cílem je publikace základních stavů provozu strojů a případně sledování jejich energetické náročnosti; Osnova práce: 1) Rešerše v oblasti standardů průmyslové komunikace, 2) Návrh systému napojení konvenčních strojů pomocí průmyslového PLC, 3) Propojení strojů (popř. jejich modelů) s průmyslovým PLC, 4) Příprava software pro vyhodnocení stavů a logování ostatních dat, 5) Implementace OPC-UA komunikace, 6) Testování a verifikace; Rozsah grafické části: schémata propojení, návrhy uživatelských obrazovek; Rozsah textové části: 60-80 stran;

Seznam doporučené literatury:

MAHNKE, W., S.H.LEITNER a M. DAMM, 2009. OPC Unified Architecture. Springer, 339 s.. ISBN-13: 978-3540688983.;  
Firemní dokumentace: Siemens [online]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-CZ>;

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Jiří Švéda, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS**


Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

**Ing. Pavel Burget, Ph.D., Testbed CIIRC**

Datum zadání diplomové práce: **28.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**

  
Ing. Jiří Švéda, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1.07. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 17.07.2020

.....  
podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Švédovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc během vypracování celé práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu při celém mém studiu.

## Anotace

Autor:	Bc. Alexandr Gurov
Název DP:	Propojení konvenčních strojů se systémem řízení výroby
Rozsah práce:	79 str., 77 obr., 20 tab.
Školní rok vyhotovení:	2020
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Konzultant	Ing. Pavel Burget, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT FS
Využití:	Systém řízení a sledování provozu konvenčních strojů v laboratoře IPA v rámci CIIRC ČVUT v Praze.
Klíčová slova:	PLC, automatizace, simulace, virtuální zprovoznění, konvenční stroje, digitalizace
Anotace:	Tato práce se zabývá přípravou interface pro vyčítání dat z tří konvenčních strojů pomocí PLC a rozhraní OPC-UA. Součástí práce je tvorba virtuálních modelů strojů a tvorba plného programu pro sběr dat z virtuálního modelu.

## Annotation

Author:	Bc. Alexandr Gurov
Title of masters dissertation:	Connection of conventional machines with production control system
Extent:	79 p., 77 fig., 20 tab.
Academic year:	2020
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines
Supervisor:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Consultant	Ing. Pavel Burget, Ph.D.
Submitter of Theme:	CTU FME
Application:	System of control and monitoring of the operation of conventional machines in the laboratory IPA in The CIIRC CTU in Prague.
Key words:	PLC, automation, simulation, virtual operation, conventional machines, digitization
Annotation:	This work deals with the preparation of interface for reading data from three conventional machines using PLC and OPC-UA interface. Part of the work is the creation of virtual models of machines and the creation of a full program for collecting data from the virtual model.



## Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíle práce.....	12
3. Rešerše v oblasti sběru dat z konvenčních strojů.....	13
3.1. Konvenční obráběcí stroje.....	13
3.2. Sběr dat.....	14
3.2.1. Sběr dat z konvenčních strojů.....	15
3.3. Programovatelný logický automat.....	19
3.3.1. Topologie sítí ze strany PLC.....	20
3.3.2. Programovací jazyky PLC a programování.....	22
3.4. OPC.....	23
3.4.1. OPC Data Access.....	25
3.4.2. OPC Alarm & Events.....	26
3.4.3. OPC Historical Data Access.....	26
3.4.4. OPC Unified Architecture.....	27
3.4.5. UMATI.....	30
3.4.6. OPC Server.....	32
3.4.7. OPC klient.....	33
4. Návrh koncepce zapojení strojů.....	35
4.1. Technické parametry strojů.....	35
4.2. Komponenty pro realizaci systému.....	39
4.3. Sbíraná data.....	42
4.4. Koncepční schéma zapojení strojů s průmyslovým PLC.....	43
5. Software pro vyhodnocení stavů a logování dat.....	44
5.1. Siemens TIA Portal v.15.....	44
5.2. Vytvoření HW konfigurace.....	46
5.3. Vytvoření OPC-UA serveru.....	48
5.4. Nastavení klientu.....	49
5.5. Nastavení komunikace a simulace systému.....	50
5.6. Vytvoření programu pro zpracování dat ze strojů.....	52
5.6.1. Program pro frézku.....	53
5.6.2. Program pro soustruh.....	56
5.6.3. Program pro vrtačku.....	56
5.7. Ovládací panel HMI.....	57
6. Tvorba virtuálního modelu pracoviště.....	62



6.1.	Simulace senzorů .....	63
6.2.	Tvorba signálů pro virtuální PLC .....	64
6.3.	Připojení virtuálního modelu a PLC .....	66
6.4.	Testování simulace .....	67
6.5.	Publikace stavů provozu strojů .....	68
7.	Ekonomické posouzení .....	70
8.	Závěr .....	71
	Seznamy .....	73
	Seznam obrázků .....	73
	Seznam tabulek .....	74
	Seznam použité literatury .....	75
	Seznam použitého software .....	78
	Seznam příloh .....	79





## Seznam veličin

$E_P$	[kWh]	činná energie
$E_Q$	[kVArh]	jalová energie
$E_S$	[kVAh]	zdánlivá energie
$I$	[A]	celkový proud
$I_E$	[A]	efektivní hodnota proudu
$P$	[W]	činný výkon
$Q$	[var]	jalový výkon
$S$	[VA]	zdánlivý výkon
$U$	[V]	celkové napětí
$U_E$	[V]	efektivní hodnota napětí
$\varphi$	[-]	fázový posun



## **Seznam použitých zkratek**

API	Application Programming Interface
AE	Alarms and Events
CIIRC	Český Institut Informatiky, Robotiky a Kybernetiky
COM	Component Object Model
CPU	Central Processing Unit
CNC	Computer Numeric Control
DCS	Distribuovaný Řídicí Systém
DA	Data Access
DB block	Data Base block
DCOM	Distributed Component Object Model
FC	Function
FB	Function block
FW	Firmware
HW	Hardware
HDA	History Data Access
I/O	Input / Output
IT	Information Technology
M2M	Machine-to-Machine
MCD	Mechatronic Concept Designer
MES	Manufacturing Execution System
OPC	Open Platform Communications
OB	Operation block
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PLC	Programmable Logic Controller
PROFINET	Process Field Network
SW	Software
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TTL	Transistor-Transistor-Logic
UA	Unified Architecture
UMATI	Universal Machine Tool Interface
USB	Universal Serial Bus
WinCC	Windows Control Center

## 1. Úvod

V dnešní době dochází k velkému rozvoji Průmyslu 4.0. Čtvrtou průmyslovou revolucí vyvolalo především velké rozšíření vysokorychlostního internetu. Průmysl 4.0 přinese lidstvu zásadní změny ve výrobních procesech. Znamená to nejen technologické inovace, ale také změnu sociálního paradigmatu a kulturního kodexu.

Na rozdíl od předchozích se tato průmyslová revoluce nevyvíjí lineárně, ale exponenciálně. Základní rozdíl mezi touto revolucí a všemi předchozími je syntéza a interakce všech technologií. Vznik čtvrté průmyslové revoluce zásadně změní způsob, jakým lidé žijí. [2]

Obrábění konvenčními stroji je technologie minulých let. Navzdory velkému postupu rozvoje čtvrté průmyslové revoluce se bez konvenčních strojů v klasické strojní výrobě nelze obejít. Konvenční technologie obrábění jsou zaměřeny zejména na vývoj prototypů, na kusovou a malosériovou výrobu součástí a zároveň jejich využití umožňuje významně snížit náklady na výrobu oproti CNC technologii.

Konvenční stroje v dnešní době neposkytují příležitost změřit jejich současný stav ani jejich technické parametry v průběhu obráběcích operací.

Diplomová práce bude řešit implementaci nové technologie s vazbou na stávající zařízení. Hlavním cílem diplomové práce je realizace propojení konvenčních strojů se systémem řízení výroby prostřednictvím průmyslového PLC a rozhraní OPC UA.

Rešerše v oblasti sběru dat zahrnuje kapitoly věnující se sběru dat z konvenčních strojů, popsaní parametrů strojů, které lze měřit a způsoby jejich měření. Dále jsou zde kapitoly, věnující se průmyslovým PLC, rozdělení, možnostem programování, jejich roli při vývoji systému a topologii sítí. Závěrečnou kapitolou rešerše je kapitola OPC, popisující podrobně rozdělení OPC specifikací, funkčnost OPC UA a její použití v této práci.

V návrhové části jsou popsány technické parametry použitých strojů, seznam komponent nutných pro realizaci systému, budou stanovena data ke sbírání a vytvořeno koncepční schéma zapojení strojů s průmyslovým PLC.

Následující částí diplomové práce se věnují vytvoření hardware a software systému, nastavení OPC UA serveru, klientu a jejich vzájemnému propojení, tvorbě simulačního modelu strojů a propojení s PLC.

Výstupem práce je zprovoznění simulačního modelu tří konvenčních strojů, ze kterého budou sbírána a vyhodnocena data pomocí standardního PLC, které bude poskytovat základní stavové informace nadřazenému systému pomocí OPC UA komunikace.

## 2. Cíle práce

Cílem práce je příprava propojení konvenčních strojů do systému řízení výroby s cílem sledování jejich provozu. Provedení přípravy interface tří konvenčních strojů (soustruh, frézka, stojanová vrtačka) pomocí PLC Simatic S7-1500 a rozhraní OPC-UA, následně provedení publikace základních stavů provozu strojů a případně sledování jejich energetické náročnosti. Realizace systému řízení a sledování provozu se provádí v laboratoři Průmyslové výroby a automatizace (IPA) v rámci ČVUT CIIRC.

Pro naplnění cíle práce bylo nutné provést následující úkony:

- Rešerše v oblasti standardů průmyslové komunikace
- Návrh systému napojení konvenčních strojů pomocí průmyslového PLC
- Propojení strojů (popř. jejich modelů) s průmyslovým PLC
- Příprava software pro vyhodnocení stavů a logování ostatních dat
- Implementace OPC-UA komunikace
- Testování a verifikace

### 3. Rešerše v oblastí sběru dat z konvenčních strojů

Rešerše v oblasti sběru dat popisuje problematiku sběru dat z konvenčních strojů prostřednictvím automatizační techniky.

Automatizace procesu sběru dat zvyšuje produktivitu, kvalitu, bezpečnost a snižuje potřebný počet zaměstnanců. Zároveň ale automatizace pracovišť způsobuje nárůst požadavků na řízení procesů. Tím roste čas potřebný pro testování a zprovoznění celého zařízení.

#### 3.1. Konvenční obráběcí stroje

Konvenční obráběcí stroj je stroj s ručním řízením určený pro třískové obrábění obrobků. Zpracování se provádí převážně řezáním nožním nebo brusným nástrojem.

Obráběcí stroje jsou klasifikovány podle různých vlastností, v závislosti na druhu zpracování, použitém řezacím nástroji a uspořádání. [3]

Rozdělení obráběcích strojů:

- Podle specializace:
  - Univerzální – pro výrobu širokého sortimentu obrobků různými operacemi. Příkladem univerzálního stroje je univerzální hrotový soustruh, na němž je možné provádět řadu operací obrábění (vnějších a vnitřních válcových ploch, obrábění kuželů, tvarových rotačních součástí, řezání závitů, vrtání osových otvorů). Univerzální stroje se používají v jednotkové a sériové výrobě.
  - Speciální obráběcí stroje se používají pro obrábění stejného druhu ploch na různých dílech o různé velikosti.
  - Jednoúčelové stroje obrábějí obrobek stále stejnou operací. Používají se ve velkosériové výrobě. [4]
- Podle druhu řezného pohybu
  - Přímočarý (hoblovky, protahovačky)
  - Otáčivý (soustruhy, vrtačky, vyvrtávačky, frézky, brusky)
- Základní kategorií obráběcích strojů:
  - Soustruhy – hrotové, univerzální hrotové, čelní, svislé (karusely), revolverové
  - Frézky – konzolové, stolové, rovinné, portálové, speciální
  - Vrtačky a vyvrtávačky – stolní, sloupové, stojanové, otočné radiální, vodorovné vyvrtávačky, montážní otočné, souřadnicové. [5]

V této diplomové práci se bude jednat o sběru dat ze tří strojů nacházejících v laboratoři Průmyslové výroby a automatizace (IPA) v CIIRC ČVUT v Praze:

- Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV
- Univerzální hrotový soustruh TOS SV 18 RD
- Stojanová vrtačka TOS V 20 A

Technické parametry strojů jsou popsány v kapitole 4.1.

### 3.2. Sběr dat

V oblasti řízení výroby existuje důležitá oblast – sběr a vyhodnocování dat z výrobních procesů a pracovišť. Mezi klíčové důvody sběru dat z výroby patří:

- Zpřesnění přehledu spotřebovávaného materiálu,
- Měření výkonu a vyhodnocení efektivity jednotlivých procesů,
- Zlepšení efektivity výroby,
- Zlepšení řízení výrobních procesů. [6]

Při zavádění informačních systémů pro řízení výroby a sledování provozu jsou kladeny vysoké požadavky na úsporu času při pořizování dat a odstraňování chyb.

Sběr dat z výroby se provádí několika technologiemi:

- Stacionární terminály,
- Mobilní terminály,
- Technologie různých kódů (QR, čárové apod.),
- Sběr dat z výrobních linek. [6]

Pro řešení sběru dat je v současné době na trhu několik druhů softwarových aplikací, které mají své výhody a nevýhody a jsou zaměřeny na různé úkoly. Tyto softwarové aplikace lze rozdělit do několika základních skupin podle charakteru používání.

První skupinou jsou off-line aplikace, které se používají na přenosných počítačích. Tyto aplikace umožňují jednoduchý záznam pořizovaných dat přímo do paměti počítače a následně přenášejí data do informačního systému pomocí interface. Pro přenosy dat mezi systémy se používají jednoduché textové soubory. Aplikace první skupiny se používají v těch sférách průmyslu, kde není potřeba okamžitá zpětná informace o vyhodnocení dat.

Druhou skupinou jsou on-line systémy pro sběr dat z počítačů propojených pomocí distribuční sítě. Takový systém má vybudovaný robustní interface do základního informačního systému, který umožňuje přenos dat (základní systém – systém sběru dat) v krátkých časových intervalech. Podrobné popsání této skupiny je uvedeno v kapitole 3.3.1.

Třetí skupinou sběru dat je použití čárových kódů. Personál skenováním čárových kódů z výrobních linek nebo pracovních příkazů eviduje zahájení a ukončení každé provedené operace. Evidovaná data pak poskytují nejen přehled o výrobním procesu, ale také umožňují vyhodnocování efektivity jednotlivých pracovišť, zaměstnanců a celé výroby v reálném čase. Tato možnost sběru dat je požadována nejvíce v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, avšak stejné požadavky se objevují i ve strojírenství a automobilovém průmyslu. Množství pořizovaných dat v případě těchto řešení sledování výroby je již tak velké, že bez podpory čárových kódů nebo jiných způsobů automatické evidence je jen těžko realizovatelné. [7]

### 3.2.1. Sběr dat z konvenčních strojů

Na rozdíl od CNC obráběcích strojů, které obsahují velký výběr možností sběru dat, konvenční stroje vstupní a výstupní konektory nemají. Při výrobě konvenčních strojů se často na ovládacích panelech umisťují analogové ampérmetry, voltmetry a otáčkoměry (viz. Obr. 1 a Obr. 2), které měří aktuální parametry stroje během procesu výroby. Takto naměřené hodnoty je obtížné ukládat, sdílet a analyzovat, pokud je potřeba vzdáleně sledovat parametry stroje. Proto se používá automatizační technika, pomocí které jsou prostřednictvím různých externích čidel sbírána data, která jsou následně určena pro další zpracování. Externí čidla se připojují ke strojům a umožňují měřit proud, napětí, otáčky vřetene, síly, vibrace, pohyby jednotlivých os atd.



Obr. 1 Ampérmetr na ovládacím panelu frézky



Obr. 2 Ampérmetr a otáčkoměr na ovládacím panelu soustruhu

Důležitými parametry pro definování rozjezdu stroje jsou hodnoty proudu a napětí, ze kterých lze zjistit okamžitý příkon (1) stroje a následně stanovit, zda stroj obrábí nebo je vypnutý.

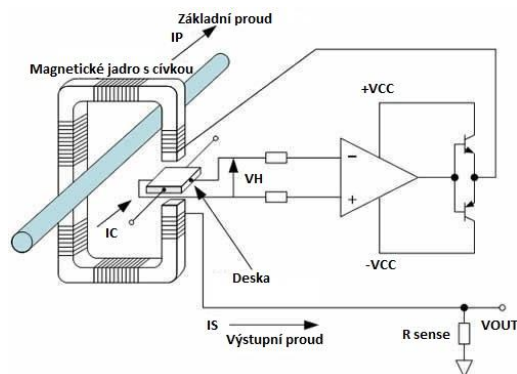
$$P = U * I; [W]; \quad (1)$$

kde  $U$  je napětí [V] a  $I$  je proud [A] v síti, měřené voltmetrem a ampérmetrem. [8]

#### 1. Měření proudu a napětí

Klíčovými senzory pro tento úkol jsou senzory proudu s Hallovoú sondou, které jsou namontovány ke každé fázi stroje.

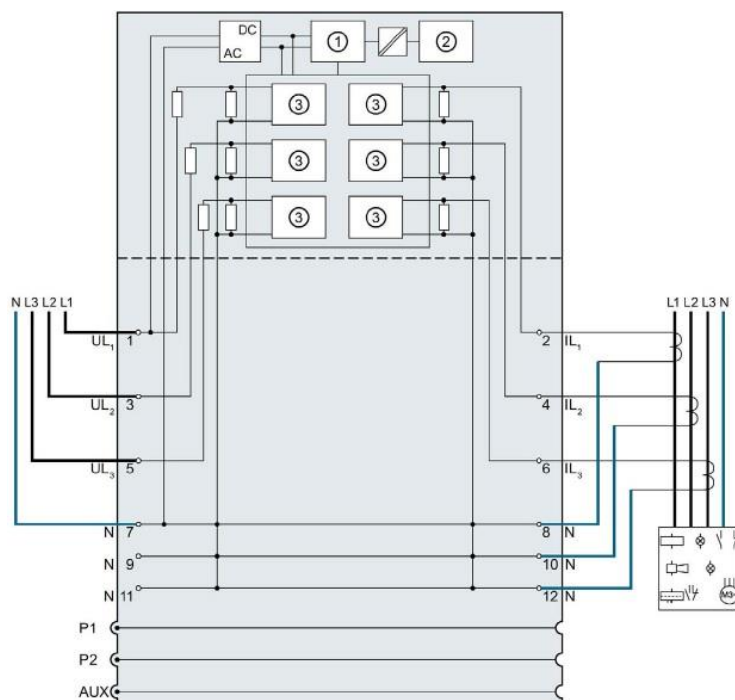
Hallova sonda je snímač magnetického pole. Byla pojmenována podle principu jeho práce – Hallově jevu: jestliže je v magnetickém poli umístěna deska s protékajícím proudem, pak se elektrony v desce odkloní ve směru kolmém ke směru proudu, přičemž směr odchylování elektronů závisí na polaritě magnetického pole (Obr. 3). [9]



Obr. 3 Senzor proudu s Halloovou sondou [9]

Při realizaci systému sledování provozu strojů byly použity senzory značky Siemens, modelu 3NJ6920-3BD11, umožňující sbírat proud a následně poskytují data PLC pro další zpracování.

Na Obr. 4 je uvedeno schéma připojení senzorů proudu a měření napětí s kartou na měření energie, která je podrobněji popsána v kapitole 4.2.



Obr. 4 Blokové schéma připojení senzoru k modulu měření energie [10]

Ke konektorům 1, 3, 5 se připojují fáze stroje pro měření napětí, ke konektoru č. 7 se připojuje nulový vodič. Konektory 2, 4, 6, 8, 10, 12 jsou určeny pro připojení senzorů proudu, které se umísťují na každou fázi stroje. [10]

Další variantou měření parametrů v elektrických sítích je multifunkční zařízení Siemens SENTRON PAC3200 (Obr. 5), které je určeno pro identifikaci a zobrazení všech parametrů sítě. Toto zařízení může být použito k měření jednofázového, dvoufázového a třífázového proudu a může být použito ve dvou, třech nebo čtyřvodičových sítích s uzemňovacími systémy TN, TT a IT.





Obr. 5 Siemens SENTRON PAC3200 [11]

PAC3200 zaznamenává více než 50 elektrických parametrů, jako je napětí, proud, výkon, hodnota energie, frekvence, fázový posun atd. Zařízení má velké množství funkcí kontroly, umožňuje provádět diagnostiku a servis, má sčítače aktivní a reaktivní energie, univerzální sčítač a sčítač počtu hodin cyklu provozu zařízení pro sledování spotřeby elektřiny.

Pro komunikaci se používá integrované rozhraní Ethernet. Nastavení PAC3200 lze provádět přímo na zařízení nebo prostřednictvím komunikačního rozhraní toto zařízení se propojuje s PLC a pak se provádí nastavení ve vývojovém prostředí. [11]

## 2. Odměrování poloh a indikace pohybu os

Odměrování poloh a indikace pohybu os frézovacích strojů je možné realizovat optickými nebo magnetickými snímači lineární polohy (Obr. 6), které se montují ke každé ose stroje. Frézovací stroj, ze kterého se bude sbírat data, již obsahuje odměrovací pravítka.

Základem optického snímače světelný paprsek, který prochází stupnicí vytvořenou na měřítku nebo se od ní odráží a přes masku se stupnicí s identickým dělením dopadá na fotodetektory, které generují elektrický signál. Maska obsahuje políčka se čtyřmi stupnicemi vzájemně fázově posunutými, při pohybu pravítka proti masce vzniká dvojice signálů vzájemně fázově posunutých o 90 stupňů, s periodou úměrnou dělení stupnice. Lineární snímače generují TTL nebo 1Vpp signály.

Analogový signál z optického pravítka přichází do digitálního zobrazovacího zařízení (Obr. 7), převádí se na digitální signál a je vizualizován na displeji jako číselné hodnoty pohybu os po každé ose. Některé druhy zobrazovacích displejů obsahují porty pro propojení s průmyslovým PLC, což usnadňuje proces sběru dat. [12]



Obr. 6 Optický lineární snímač polohy [13]



Obr. 7 Displej pro zobrazení poloh jednotlivých os frézky [14]

Pro zpracování informací z optických snímačů je potřeba připojení speciální karty s PLC, která je určena pro vyhodnocování dat z enkodérů a pravítek. Používá se pro vstupy, které se přepínají tak vysokou rychlostí, že skenování cyklu programu bude příliš pomalé. Modul typu TM PosInput značky Siemens (viz. Obr. 8) je určen na zpracování TTL a 1Vpp signálů, je kompatibilní s průmyslovým PLC série S7-1500 a vyhovuje pro připojení pravítek. [15]



Obr. 8 SIMATIC ET 200SP, TM POSINPUT 1 [15]

Vzhledem k tomu, že soustruh nemá snímači lineární polohy, sledování pohybu stolu je možné realizovat pomocí koncového spínače.

Koncový spínač (Obr. 9) je elektrické zařízení používané v řídicích systémech jako snímač tvořící signál v případě určité události, obvykle změnou polohy dvojice mechanických pohyblivých kontaktů.



Obr. 9 Mechanický koncový spínač [52]

Koncový spínač se montuje v oblasti pohybu páky realizující zapnutí pohybu stolu. Přepínáním páky se změni její poloha a spínač sepne nebo rozezne. Takovým způsobem spínač indikuje přítomnost nebo nepřítomnost páky v určité poloze a následně posílá elektrický řídicí signál řídicímu kontroléru, který pak zaznamená stav rozjezdu nebo zastavení stolu. [16]

V praxi jsou koncové spínače často připojeny prostřednictvím ovládacích relé jako vstup programovatelného logického automatu.

Další možností sledování pohybu stolu soustruhu je využití bezkontaktních indukčních snímačů přiblížení (Obr. 10). Tyto senzory umožňují bezkontaktně vyhodnocovat přítomnost kovového materiálu. Jejich hlavní výhodou je možnost bezchybně dlouhodobě pracovat v prašném průmyslovém prostředí. [17]



Obr. 10 Induktivní senzor přiblížení [53]

Bezkontaktní snímače mají velké množství variant použití ve strojírenském průmyslu:

- Řízení svářecích robotů
- Detekce natočení, otáčení, pohybu, posuvu a dorazů u dopravníků a soustruhů
- Měření a detekce přiblížení kovového předmětu, detekce tloušťky materiálu. [17]

Pro propojení spínačů s průmyslovým PLC je nutné mít modul analogových vstupů, který je určen na zpracování signálů ze spínačů a poskytuje signály PLC. Tento modul je podrobněji popsán v kapitole, věnující komponentům pro realizaci systému (4.2).

### 3.3. Programovatelný logický automat

Programovatelný logický automat neboli PLC (*angl. Programmable Logic Controller*) je speciální druh elektronického výpočetního stroje neboli průmyslový počítač, který se používá k automatizaci technologických procesů v reálném čase. Jako hlavní provozní režim PLC slouží jeho dlouhodobé autonomní použití, často v nepříznivých podmínkách prostředí, bez vážné údržby a bez lidského zásahu. [18]

Na rozdíl od počítačů, které jsou řízené operátorem a zaměřené na rozhodování, PLC jsou zaměřeny na práci se stroji prostřednictvím rozvinutých vstupních signálů ze senzorů a výstupů signálů na výkonné mechanismy.

V moderních PLC jsou číselné operace v jejich programovacích jazycích realizovány na stejné úrovni jako logické. Všechny programovací jazyky PLC mají snadný přístup k manipulaci s bity ve strojním kódu, na rozdíl od většiny programovacích jazyků vysokých úrovní moderních počítačů. [18]

Uspořádání PLC:

- Centrální CPU
- Subsystém hodin v reálném čase;
- Energeticky nezávislá paměť;
- Rozhraní sériových vstupů a výstupů (RS-485, RS-232, Ethernet)
- Obvody ochrany a přeměny napětí na vstupy a výstupy PLC.

Vstup nebo výstup PLC nelze okamžitě připojit k příslušnému výstupu centrálního CPU. Tyto výstupy jsou charakterizovány nízkými úrovněmi napětí, obvykle 3,3 až 5 voltů. Vstupy a výstupy PLC by obvykle měly pracovat s napětím 24 V DC nebo 220 V AC. Proto je mezi výstupem PLC a výstupem čipu nutné zajistit ochranné prvky. [18]

Existují dva druhy struktury řídicích systémů PLC:

- Centralizovaná: do sjednocovacího panelu PLC jsou instalovány moduly procesoru, I/O a komunikace. V případě potřeby rozšíření systému nad rámec omezení stávajícího panelu, se do něj přidávají rozšiřující moduly, které rozšiřují funkcionalitu v rámci jedné skříně. Sensory a výkonné zařízení se připojují jednotlivými dráty přímo do modulů vstupů a výstupů.
- Distribuovaná: vzdálené od skříně s PLC senzory a výkonné zařízení jsou spojeny s PLC prostřednictvím komunikačních kanálů (přes moduly nebo komunikační procesory) nebo pomocí využití vazby typu *Master-Slave*.

V rámci této práce byl vybrán průmyslový PLC značky Siemens s centrálním CPU sérii 1512, který je podrobněji popsán v kapitole 4.2.

### 3.3.1. Topologie sítí ze strany PLC

Propojení výrobních zařízení s PLC může být realizováno pomocí kabelu nebo routeru (bezdrátově). Bezdrátové propojení může vést ke snížení rychlosti přenosu dat, proto se využívá kabelové propojení. Pro fyzickou vrstvu sítě se nejčastěji používá ethernet. Kabelem je kroucená dvojlinka nebo optický kabel. Mezi protokoly, které využívají ethernet, patří TCP/IP, UDP, Profinet, EtherCAT a další.

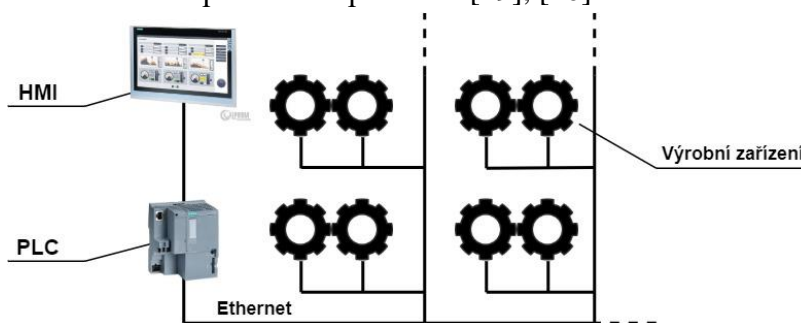
Pomocí kabelů lze vytvořit různé topologií sítí. V principu lze budovat sběrnice, hvězdicové a kruhové sítě. Každá topologie má své vlastní výhody a nevýhody.

- **Topologie sběrnice (BUS)**

Sběrnice topologie sítě (*Obr. 11*) se realizuje s relativně nízkými náklady. Nevýhodou sítě sběrnice typu je její spolehlivost v případě poruchy. Když dojde k přerušení propojení mezi PLC sítěmi, všechny PLC sítě budou odpojeny, a proto se tento typ topologie považuje za nevhodný.

Výhody sběrnice topologie: Snadná realizace a rozšíření sítě; Pro realizaci je potřeba méně kabeláže než u jiných typů topologií; Vhodná pro malé sítě, které nevyžadují velké rychlosti přenosu.

Nevýhody sběrnice topologie: Odstranění závad není zcela jednoduché, v případě poruchy mezi PLC sítěmi budou všechny PLC sítě odpojeny; Výkon celé sítě klesá při větších počtech stanic nebo při velkém provozu. [19], [20]

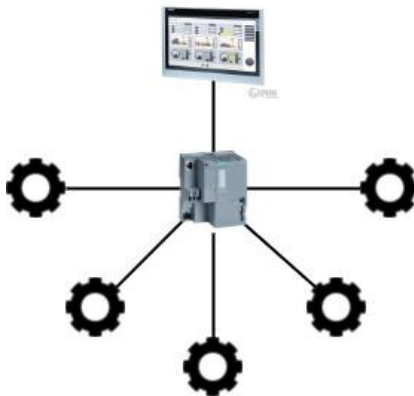


Obr. 11 Topologie sběrnice

- **Topologie typu Hvězda**

Svůj název tato typologie dostala díky vzhledu jejího schématu (*Obr. 12*). Síť je napájena z jednoho místa a z téhož místa vychází paprskovitě vedení ke spotřebičům. V tomto případě při přerušení jednoho spojení dojde k odpojení pouze jediné PLC sítě. Hvězdicová topologie má lepší výkonnost v porovnání se sběrniceovou topologií. Tento fakt je dán tím, že na jednom kabelu je připojen pouze jeden počítač. Nedochází tak jednak ke kolizím mezi pakety a je možné současně přenášet data více počítačů.

Výhody hvězdicové topologie: V případě poruchy přestane fungovat spojení pouze pro jednu stanici, ostatní prvky sítě budou v provozu; Lepší výkonnost v porovnání se sběrniceovou topologií; Snadno nastavitelná a rozšiřitelná; Snadná detekce míst porušení. Nevýhody hvězdicové topologie: Potřeba velkého množství kabeláže; V případě poruchy centrálního síťového prvku přestane fungovat celá síť; Potřeba externího HW. [19], [20]



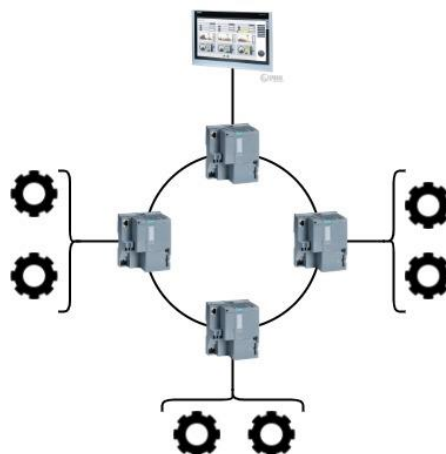
*Obr. 12 Topologie hvězda*

- **Kruhová topologie**

Kruhová topologie (*Obr. 13*) je nejspolehlivější díky zabezpečení napájení ze dvou stran. Při porušení dojde k odpojení pouze části kruhu, nikoliv k odpojení všech spotřebičů a v tomto případě výsledkem je rekonfigurace topologie na dvě sítě typu *hvězda* (*Obr. 12*).

Výhody kruhové topologie: Jednoduchý přenos dat; Přidání dalšího uzlu má malý dopad na šířku pásma; Nejvyšší průchodnost sítě v porovnání s ostatními typy topologií; Snadná možnost implementace záruk na množství přenesených dat za jednotku času.

Nevýhody kruhové topologie: Vysoké riziko poruchy kvůli procházení dat přes všechny prvky kruhové topologie; Při závadě jedné stanice přestávají fungovat další stanice; Nutnost přerušení kruhu v případě potřeby přidání dalšího uzlu. [19], [20]

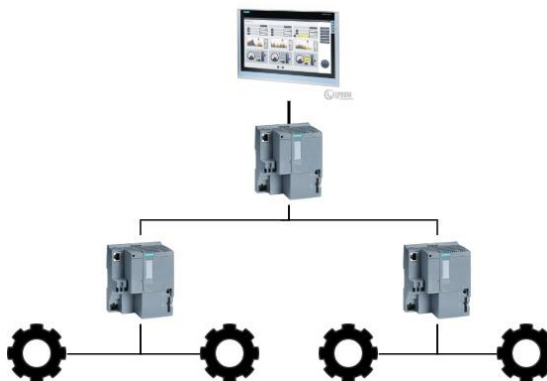


Obr. 13 Topologie kruh

- **Topologie Strom**

Stromová síť vychází z hvězdicové topologie spojením aktivních síťových prvků, které jsou v centrech jednotlivých hvězd (Obr. 14). Takovéto propojení se používá především v rozsáhlých sítích.

Výhodami stromové topologie jsou: Při porušení jedné větve sítě nedojde k porušení ostatních propojení; Snižuje se potřebné množství kabelů a zvyšuje se bezpečnost sítě v závislosti na rozšíření stromu.



Obr. 14 Topologie strom

### 3.3.2. Programovací jazyky PLC a programování

Pro programování PLC se používají standardizované jazyky standardu IEC61131-3, které jsou rozděleny do grafických a textových.

Grafické jazyky:

- LAD (*Ladder Diagram*) - jazyk reléových schémat. Syntaxe jazyka je vhodná pro nahrazení logických schémat provedených na reléové technice. Poskytuje vizuální rozhraní logiky ovládaní, které usnadňuje programovací úkoly, uvedení do provozu a řešení problémů s hardwarem připojeným k PLC.



- FBD (*Function Block Diagram*) - jazyk funkčních bloků. Při programování se používají sady bloků z knihoven a vlastních naprogramovaných bloků, které jsou napsány v FBD nebo jiných jazycích IEC 61131-3. Blok je funkce nebo funkční jednotka (AND, OR, NOT, trigery, časovače, čítače, bloky pro zpracování analogového signálu, matematické operace atd.).
- SFC (*Sequential Function Chart*) - jazyk určený k psaní programů sekvenčního řízení technologického procesu, který jej popisuje ve formě blízké stavovému diagramu. V každém stavu systém provádí akce s určitými modifikátory. Přechod ze stavu do následujícího stavu se provádí splněním podmínek. [20]

Textové jazyky:

- IL (*Instruction List*) – syntaxí IL je shodná s Assemblerem.
- ST (*Structured Text*) - Široce používán v SCADA / HMI / SoftLogic balíčcích. Strukturou a syntaxí se nejvíce podobá programovacímu jazyku Pascal. Je vhodný pro psaní rozsáhlých programů, ve kterých se řeší aritmetické operace s čísly s plovoucí desetinou čárkou. [21]

Při programování PLC ve vývojovém prostředí TIA Portal od firmy Siemens často se používá jazyk SCL (*Structured Control Language*). SCL je programovací vysokoúrovňový jazyk pro SIMATIC S7, založený na standardu DIN EN 61131-3. Jazyk obsahuje prvky jazyka Paskal spolu s prvky typickými pro PLC. SCL je vhodný zejména pro programování složitých algoritmů, pro úkoly týkající se oblasti správy dat. SCL podporuje blokovou strukturu pro STEP 7 a také umožňuje vytvářet programy S7, které obsahují části jazyků ST, LAD a FBD. SCL je implementace jazyku ST do programovacího prostředí značky Siemens. V rámci diplomové práce je systém řízení a sledování stavů strojů realizován prostřednictvím jazyku SCL. [22]

PLC se podle možností programování dělí na dva druhy:

- Konfigurovatelné – v PLC je uloženo několik programů a pomocí klávesnice se vybírá požadovaná verze programu
- Programovatelné – program je načten do PLC prostřednictvím rozhraní z osobního počítače pomocí SW výrobce nebo pomocí programátoru.

PLC zajišťují nekonečnou posloupnost programových cyklů, z nichž každý čte vstupní signály (např. z čidel), provádí výpočty vstupujících signálů a kontrolu logických podmínek, a výsledkem cyklu je výstup signálů pro řízení agregátů výrobního procesu. V případě této práce je výstupem data, která je poskytována klientu přes server OPC-UA. Podrobněji je tento proces popsán v následnících kapitolách.

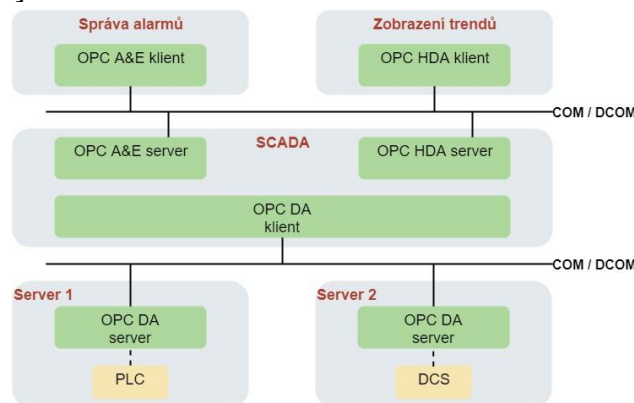
### 3.4. OPC

V posledních letech Nadace OPC definovala řadu softwarových rozhraní pro standardizaci informačního toku z úrovně procesu na úroveň řízení. Hlavními případy použití jsou rozhraní pro aplikace průmyslové automatizace, jako jsou HMI a SCADA systémy, které sbírají aktuální data ze zařízení a poskytují aktuální a historická data a události pro aplikaci. [23]

Podle různých požadavků v průmyslových aplikacích byly vyvinuty čtyři hlavní specifikace OPC: [24], [25]

- Data Access (DA) – hlavní a nejvíce vyžadovaný standard. Poskytuje sadu funkcí pro výměnu dat v reálném čase s PLC, DCS, HMI, CNC atd.
- Alarm&Events (A&E) - poskytuje funkce oznámení pro havarijní události, činnosti operátora a informační zprávy.
- Historical Data Access (HDA) - poskytuje možnost přístupu k uloženým datům.
- Unified Architecture (UA) - kombinuje všechny výhody předchozích specifikací. Všechna rozhraní nabízejí způsob, jak procházet adresním prostorem a poskytovat informace o dostupných datech.

Na Obr. 15 je uveden případ použití OPC klientů a serverů, který se používá pro výměnu informací. [24], [25]



Obr. 15 Použití OPC klientů a serverů [24]

Většina protokolů OPC je založena na technologiích Microsoft (*OLE*, *ActiveX*, *COM/DCOM*). Protokoly OPC XML DA a OPC UA jsou nezávislé na platformě.

Výhodou tohoto přístupu je snížení specifikace práce na definici různých API pro různé specializované potřeby bez nutnosti definovat síťový protokol nebo mechanismus pro meziprocesovou komunikaci. COM a DCOM poskytují klientu transparentní mechanismus volání metod na COM objekty na serveru spuštěném ve stejném procesu, v jiném procesu nebo v jiném síťovém uzlu. Použitím této technologie se zkracuje doba vývoje specifikací a produktů. [24], [25]

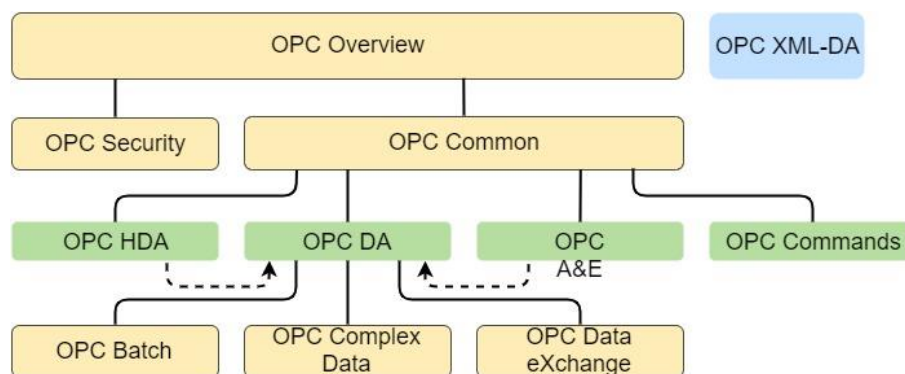
Podstatou OPC je poskytnout vývojářům průmyslových programů univerzální pevné rozhraní pro výměnu dat s jakýmkoli zařízením.

V dnešní době existuje několik dalších OPC standardů: [24], [26]

- OPC Batch – poskytuje funkce recepturního řízení technologickými procesy
- OPC DX (*Data eXchange*) – poskytuje funkce pro organizaci výměny dat mezi servery přes Ethernet rozhraní
- OPC Security – definuje funkce organizace práv přístupu klientů k datům systému řízení přes server
- OPC XML-DA (*XML – Data Access*) – poskytuje flexibilní, datově řízený formát pro výměnu dat přes SOAP a http.



Na Obr. 16 je uveden přehled všech klasických OPC specifikací.



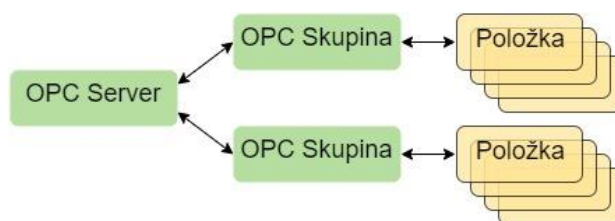
Obr. 16 Klasické standardy rozhraní OPC [24]

Příkazy OPC definují mechanismy vyvolávání metod nebo provádění programů prostřednictvím OPC. Obsah a funkčnost této specifikaci je začleněna do UA.

### 3.4.1. OPC Data Access

Rozhraní OPC Data Access umožňuje čtení, zápis a monitorování proměnných obsahujících aktuální procesní data. Hlavním případem použití je přesun dat v reálném čase z PLC, DCS a dalších řídicích zařízení do rozhraní HMI a dalších zobrazovacích klientů. OPC DA je nejdůležitější rozhraní OPC. [26]

Klienti OPC DA explicitně vyberou proměnné, které chtějí číst, zapisovat nebo sledovat na serveru. Klient OPC naváže připojení k serveru vytvořením objektu *OPC Server*. Objekt serveru nabízí způsoby procházení adresového prostoru a vyhledání položek a jejich vlastností (typy dat a přístupová práva). Pro přístup k datům klient seskupí OPC položky se stejným nastavením. Na Obr. 17 jsou uvedeny objekty, které OPC klient vytváří na serveru.



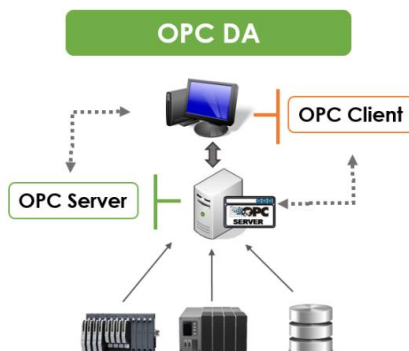
Obr. 17 Objekty vytvořené OPC klientem pro přístup k datům [26]

Po přidání do skupiny může klient číst a zapisovat položky. Upřednostňovaným způsobem cyklického čtení dat klientem je však sledování změn hodnot na serveru. Klient definuje míru aktualizace pro skupinu obsahující položky zájmu. Rychlost aktualizace se v serveru používá k cyklické kontrole změn. Po každém cyklu server odešle klientu pouze změněné hodnoty.

OPC poskytuje v reálném čase data, která nemusí být trvale přístupná, například při dočasném přerušení komunikace se zařízením. [26]

Dnes je OPC DA v. 2.05a nejpoužívanější verze. V tomto standardu je kromě synchronní výměny dat zavedena podpora asynchronní výměny dat, která umožňuje pokračovat

vykonání programu bez čekání na odpověď zařízení a snižuje zatížení sítě. Sběr dat je implementován pomocí funkce *callback* uživatelského programu, který je vyvolán, když přijde odpověď ze zařízení. V současné době nejnovější verzi specifikace OPC DA je verze 3.0 (Obr. 18).



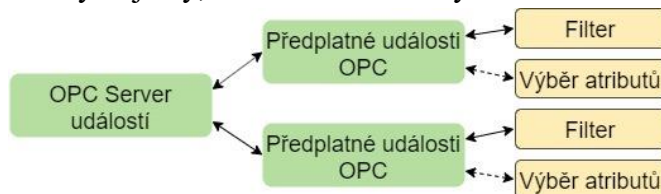
Obr. 18 Struktura OPC DA v.3.0 [26]

### 3.4.2. OPC Alarm & Events

Rozhraní OPC A&E umožňuje příjem oznámení událostí a alarmů. Událost je jednotlivé oznámení informující klienta o výskytu události. Alarmy jsou oznámení, která informují klienta o změně stavu v procesu. OPC A&E tak poskytuje flexibilní rozhraní pro přenos procesních alarmů a událostí z různých zdrojů událostí. [25]

Pro přijímání oznámení se klient OPC A&E přihlásí k odběru oznámení na serveru a poté obdrží všechna spuštěná oznámení. Pro omezení počtu oznámení může OPC klient použít filtr a odfiltrovat pouze požadovaná oznámení. [26]

Na Obr. 19 jsou uvedeny objekty, které OPC klient vytváří na serveru.



Obr. 19 Objekty vytvořené OPC klientem pro příjem událostí [23]

Na rozdíl od OPC DA neexistuje žádná výslovná žádost o konkrétní informace, jako například čtení hodnot; jsou však dodávány všechny procesní události a klient může omezit množství událostí nastavením filtru.

### 3.4.3. OPC Historical Data Access

OPC HDA umožňuje vyhledávat historické archivy v jednoduchých systémech protokolování sériových dat i v komplexních systémech SCADA.

OPC klient se připojí vytvořením objektu *OPC HDA Server* na HDA-serveru. Tento objekt nabízí všechna rozhraní a metody pro čtení a aktualizaci historických dat. Pro procházení adresového prostoru HDA-serveru se definuje druhý objekt – *OPC HDA Browser*. [25]

Čtení historických dat se provádí třemi způsoby: [26]

- 1) Čtení nezpracovaných dat z archivu, kde klient definuje jednu nebo více proměnných a časovou doménu, kterou chce číst. Server vrátí všechny hodnoty archivované pro zadaný časový rozsah až do maximálního počtu hodnot definovaných klientem.
- 2) Čtení hodnot jedné nebo více proměnných pro zadané časové intervaly.
- 3) Počítání agregovaných hodnot z dat v historii databázi pro zadanou časovou doménu pro jednu nebo více proměnných.

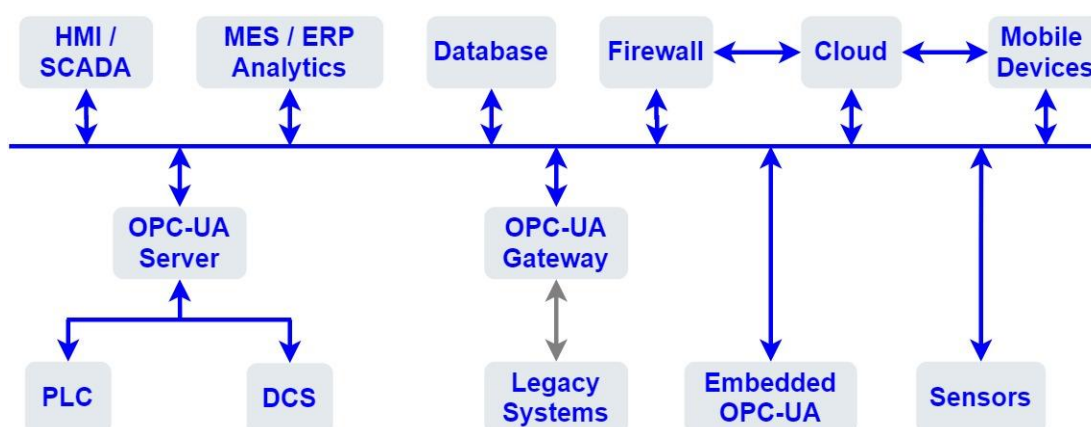
Kromě metod čtení OPC HDA umožňuje provedení operací s daty: vkládání, nahrazování a mazání dat v historii databáze.

#### 3.4.4. OPC Unified Architecture

OPC UA vznikla z cíle vytvořit náhradu všech stávajících specifikací založených na COM, aniž by došlo ke ztrátě jakýchkoli funkcí nebo výkonu. Kromě toho, že musí pokrývat všechny požadavky na systémová rozhraní je OPC UA nezávislá na platformě a má rozšiřitelné možnosti modelování, které jsou schopny popsat složité systémy. Široké spektrum aplikací vyžaduje škálovatelnost od vestavěných systémů napříč SCADA a DCS až po systémy MES a ERP. [27]

UA kombinuje všechny výhody předchozích specifikací a nabízí nové možnosti rozvoje pro použití OPC-technologií. OPC UA standard poskytuje vyšší úroveň zabezpečení dat než OPC DA. Tato specifikace navíc umožňuje organizovat přenos informací přes internet. [27]

OPC UA je bezpečnější, otevřenější, pružnější a spolehlivější mechanismus pro přenos informací mezi podnikovými systémy a druhy ovladačů, monitorovacích zařízení a senzorů, které interagují s daty v reálném čase (*Obr. 20*).



Obr. 20 OPC UA [27]

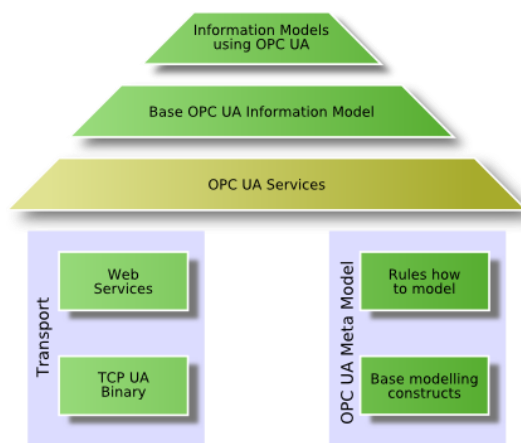
Požadavky OPC UA se dělí podle komunikace mezi distribuovanými systémy, které jsou schopny si vyměňovat informace a požadavky na modelování dat popisujících systém a dostupné informace. Nejdůležitějšími požadavky jsou: [27]

- **Komunikace mezi distribuovanými systémy**
  - Podle spolehlivosti: Robustnost a odolnost proti poruchám;
  - Redundance
  - Nezávislost na platformě
  - Škálovatelnost
  - Vysoký výkon
  - Internet a firewall
  - Zabezpečení a kontrola přístupu
  - Interoperabilita
- **Modelovací data**
  - Společný model pro všechna data OPC
  - Objektová orientace
  - Rozšířitelný typ systému
  - Meta informace
  - Složitá data a metody
  - Abstraktní základní model
  - Základ pro jiné standardní datové modely

Standard OPC UA sjednocuje sadu funkcí pro protokolování událostí, výměnu, ukládání a zabezpečení dat. Tyto specifikace lze rozdělit do třech základních částí: [27]

- Fyzická komunikace a předávání dat klient-server. Obsahuje mapování, kde je specifikován způsob navazování spojení, zabezpečení komunikace a struktura dat, která je dána použitým protokolem.
- Služby poskytované serverem. Vytváří abstraktní komunikační model. Po navázání fyzického spojení se pomocí služeb vytváří a udržuje zabezpečený kanál (*Secured Channel*) a relace (*Session*). Zabezpečený kanál musí být aktivní pro komunikaci. Relace musí být vytvořena pro dotazování klienta na služby serveru.
- Popis adresního prostoru pomocí uzlů, popis využití těchto uzlů k vytváření informačního modelu a popis přístupu k datům včetně jejich monitorování.

Aby bylo dosaženo stanovených cílů je UA poskládán z různých vrstev uvedených na Obr. 21.

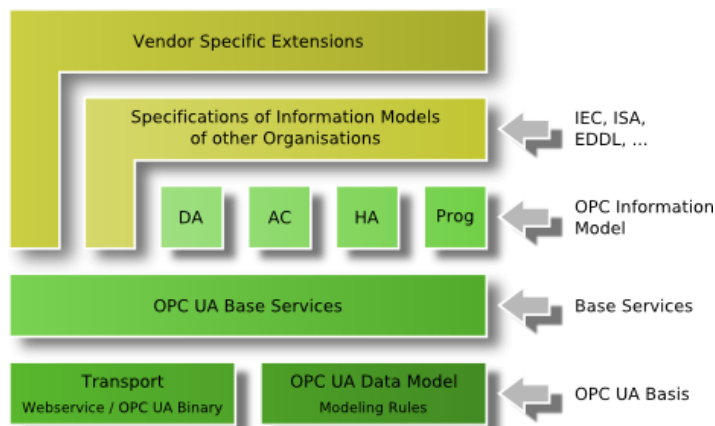


Obr. 21 Základ OPC UA [26]

Základními součástmi OPC UA jsou transportní mechanismy a modelování dat. Transport definuje různé mechanismy optimalizované pro různé případy použití. První verze OPC UA definuje optimalizovaný binární protokol TCP pro vysoce výkonnou intranetovou komunikaci. Druhá verze definuje mapování na přijaté internetové standardy pro internetovou komunikaci. Oba přenosy používají stejný model zabezpečení založený na zprávách. Abstraktní komunikační model nezávisí na konkrétním mapování protokolů a umožňuje přidávání nových protokolů. [26]

Modelování dat definuje pravidla a základní stavební bloky nezbytné k stanovení informačního modelu. Také definuje vstupní body do adresního prostoru a základní typy používané k vytváření hierarchie typů.

Tato základní koncepce umožňuje OPC UA klientu přistupovat k potřebným datům bez nutnosti porozumět celému modelu vystavenému složitými systémy. Klienty OPC UA, kteří také rozumí konkrétním modelům, mohou používat vylepšené funkce definované pro speciální domény a případy použití. Na *Obr. 22* jsou uvedeny informační modely definovaných OPC UA.



*Obr. 22* Architektura vrstev OPC UA [26]

*DA* definuje rozšíření specifická pro automatizační data. Alarm & Condition (*AC*) určuje pokročilý model pro správu procesních alarmů a monitorování stavů. Historický přístup (*HA*) definuje mechanismy přístupu k historickým datům a událostem. Programy (*Prog*) určují mechanismus pro spouštění, manipulaci a sledování provádění programů.

## OPC UA Specifikace

Specifikace OPC UA jsou rozděleny na dvě části: základní specifikace a typ přístupu, které specifikují informační modely OPC UA (*Obr. 23*).



*Obr. 23* OPC UA Specifikace [26]



- 1) Část 1 poskytuje přehled o OPC UA
- 2) Část 2 popisuje bezpečnostní požadavky a bezpečnostní model pro OPC UA
- 3) Část 3 - specifikuje stavební bloky k zjištění informací o instancích a typech.
- 4) Část 4 představuje možné interakce mezi klientem UA a serverovými aplikacemi UA.
- 5) Část 5 poskytuje rozsah pro všechny informační modely používající OPC UA
- 6) Část 6 obsahuje zprávy a bezpečnostní mechanismy
- 7) Část 7 definuje užitečné podmnožiny funkcí OPC UA. Taková podmnožina musí být plně implementována aplikací UA, aby byla zajištěna interoperabilita pro definovanou podmnožinu. Specifikace definuje podmnožiny na dvou úrovních:
  - Na první úrovni jsou jednotky, definující malou sadu funkcí, které se vždy používají společně
  - Na druhé úrovni jsou profily složené ze seznamu jednotek. Profil musí být implementován kompletně a bude ověřen jako kompletní sada během certifikace produktů OPC UA.

Seznam podporovaných a použitých profilů je sdílen během navazování spojení mezi klientem a serverem a umožňuje aplikacím určit, zda jsou potřebné funkce podporovány komunikačním partnerem.

- 8) Část 8 definuje jak používat automatizační data.
- 9) Část 9 specifikuje alarmy a monitorování stavu stavových strojů a typů událostí.
- 10) Část 10 definuje základní stavový stroj pro provádění, manipulaci a monitorování programů.
- 11) Část 11 specifikuje použití služeb přístupu k historii a zobrazení informací o konfiguraci dat a historii událostí.
- 12) Část 12 definuje, jak najít servery v síti a jak může klient získat potřebné informace, aby mohl navázat spojení s určitým serverem.
- 13) Část 13 obsahuje specifikaci agregátů používaných k výpočtu hodnot ze vzorků nezpracovaných dat. Agregáty se používají pro historický přístup a monitorování aktuálních hodnot.

OPC UA nabízí abstraktní, modulární a jednoduché základní koncepty ve všech oblastech standardu, což umožňuje snadnou migraci stávajících funkcí OPC Classic na OPC UA.

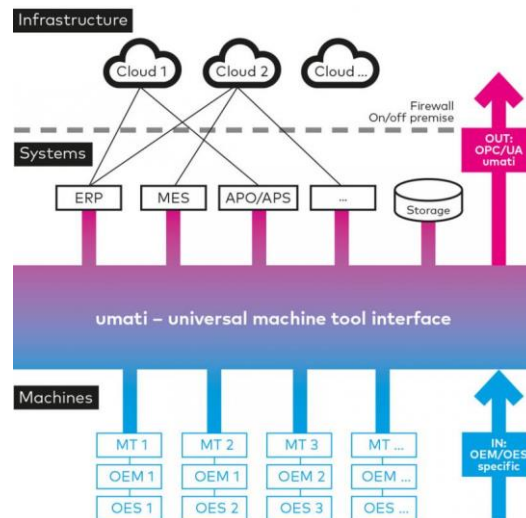
### 3.4.5. UMATI

UMATI (z *angl. Universal Machine Tool Interface*) je nové univerzální rozhraní obráběcích strojů na bázi OPC UA. Technologie byla prezentována na veletrhu EMO Hannover 2019 v Německu.

Hlavním cílem rozhraní UMATI (*Obr. 24*) je vedení dat z výrobních zařízení otevřeným standardizovaným rozhraním vybaveným různými řídicími prvky podobně jako USB flash disk. Cílem společnosti UMATI je transformovat specializované znalosti v oblasti obráběcích strojů do sémantického a informačního modelu, jehož cílem je poskytnout:

- Specifikace OPC UA Companion pro definování globálně použitelné strojové sémantiky.

- Požadavky na komunikaci pro implementaci prostředí OPC UA (například šifrování, ověřování, nastavení serveru (porty, protokoly), aby byla zajištěna možnost připojení mezi počítači a softwarem na principu „plug and play“.
- Zajištění kvality pomocí testovacích specifikací a nástrojů.
- Marketing pro podporu trhu prostřednictvím globální komunity výrobců strojů, dodavatelů komponent a služeb. [33]



Obr. 24 UMATI [36]

UMATI pracuje na OPC-UA standardu pro otevřené rozhraní připojení obráběcích strojů přes nadřazené IT systémy, který zjednoduší digitalizaci a umožní firmám využívat potenciály moderního výrobního prostředí. První verze se zaměřuje na data, která vyžadují nízkou rychlost aktualizace (cca. jednou za sekundu): [34], [35]

- Identifikace stroje různých výrobců
- Identifikace spouštění výrobního procesu
- Přehled výrobků ve výrobě
- Přehled doby provedení operace
- Přehled stavů obráběcích strojů
- Přehled manipulačních operací
- Přehled alarmů a hlášení
- Poskytování informací pro výpočty klíčových ukazatelů výkonnosti
- Poskytování údajů pro statistiku využití energie
- Poskytování přehledu údajů o nástrojích

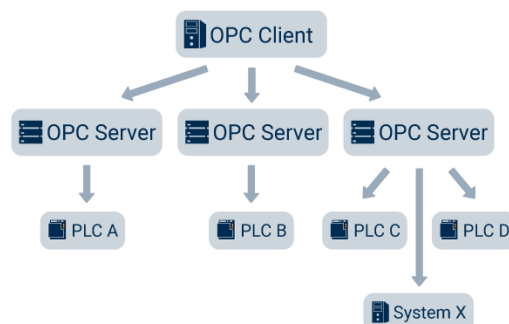
U budoucích verzí se předpokládají vyšší rychlost aktualizace dat: [34], [35]

- Provozní stav
- Informace o součástech / materiálech
- Správa kontrolních dat
- M2M komunikace (automatizační systémy)
- Správa souborů úloh
- Informace o životním cyklu

- Procesní analýza
- Indikace opotřebení

### 3.4.6. OPC Server

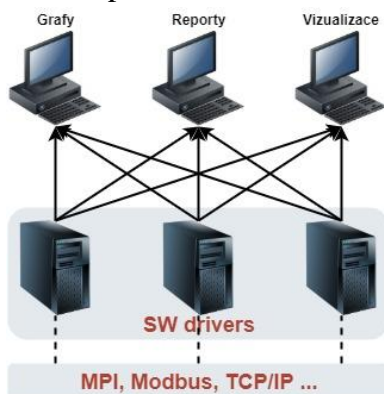
OPC server (*Obr. 25*) je základem komunikace OPC. Jedná se o software, který implementuje standard OPC a poskytuje tak standardizované rozhraní OPC pro vnější svět. Uvnitř je implementován komunikační protokol pro řízení, který je založen na architektuře «Klient – Server».



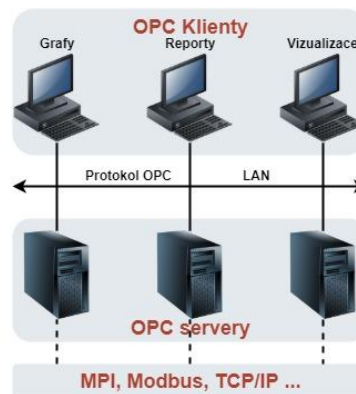
*Obr. 25 OPC server [29]*

Základní myšlenkou OPC je, že výrobce hardwaru poskytuje OPC server pro svůj systém, a tedy poskytuje standardizovaný přístup. OPC server zapouzdřuje zdroj procesních informací jako zařízení a zpřístupňuje tyto informace prostřednictvím svého rozhraní. OPC klient se připojí k serveru a může přistupovat k nabízeným datům a zpracovávat je. Server OPC od výrobce může být dodáván jako samostatný software nebo jako vestavěný server OPC na průmyslovém PLC.

Hlavní výhodou OPC je využití pouze jednoho komunikačního rozhraní mezi hardware i software. Na *Obr. 26* a *Obr. 27* jsou uvedeny dvě možnosti propojení – s OPC serverem a bez OPC serveru. Jeden OPC server může komunikovat současně s několika klienty najednou a naopak. [29]



*Obr. 26 Propojení bez OPC serveru [30]*



*Obr. 27 Propojení s OPC serverem [30]*

Kromě OPC serverů od samotných výrobců existují poskytovatelé, kteří vyvíjejí nezávislé servery. Tyto servery se vyznačují širší podporou komunikačních protokolů,

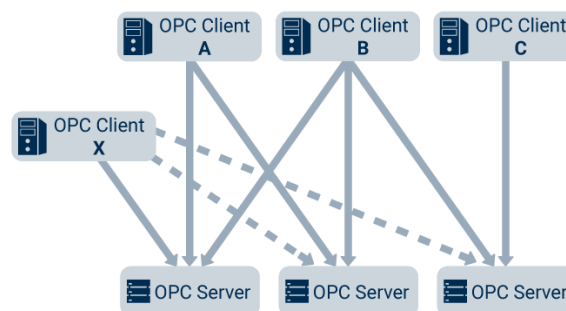


umožňujících připojení OPC se systémy, pro které výrobce neposkytuje svůj vlastní OPC server. Kromě toho výrobci nezávislých OPC serverů nabízejí více funkcí, někdy jednodušší správu a lepší stabilitu.[29]

V případě této práce server OPC-UA je vestavěn na průmyslovém PLC, kde se nastavují jeho vlastní parametry a parametry pro připojení s OPC klientem (*kapitola 5.3*).

### 3.4.7. OPC klient

OPC klient se připojuje k OPC serveru a čte data poskytnutá serverem. Jelikož servery OPC realizují předdefinované rozhraní standardu OPC, každý klient může přistupovat k libovolnému serveru OPC a stejným způsobem vyměňovat data se serverem (*Obr. 28*).



*Obr. 28 OPC klient [29]*

Typickými klienty OPC jsou aplikace, které jsou zaměřeny na sdílení dat s průmyslovými systémy. Operace prováděné s daty v klientu závisí na konkrétní aplikaci.

Mezi nejrozšířenější aplikace patří vizualizační a SCADA systémy (WinCC, InTouch, FAS inMOVE) nebo MES systémy. [29]

MES je systém, který tvoří vazbu mezi podnikovými informačními systémy (*např. typu ERP*) a systémy pro automatizaci technologických procesů. MES posílá požadavky na server, přijímá data z OPC serveru a ukládá přijatá data. Obstarává následující funkce: správa výrobních zdrojů a postupů, plánování výroby, funkce řízení, sběr dat, sledování výrobků a výkonnostní analýzy.

Klientem OPC serveru může být MES systém SIDAS, který nabízí dvě varianty řešení. První variantou je platforma OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), která umožňuje sledování výroby a vyhodnocování výrobních ukazatelů pro zjištění efektivity výroby. Druhou variantou systému je řešení IEM, které je zaměřeno na monitoring a poskytování reportů spotřeby energií, sběr dat a následné provedení výkonnostní analýzy. [31]

Jedním z úkolů pro splnění cílů diplomové práce je otestování funkcí OPC serveru a jeho propojení s OPC klientem.

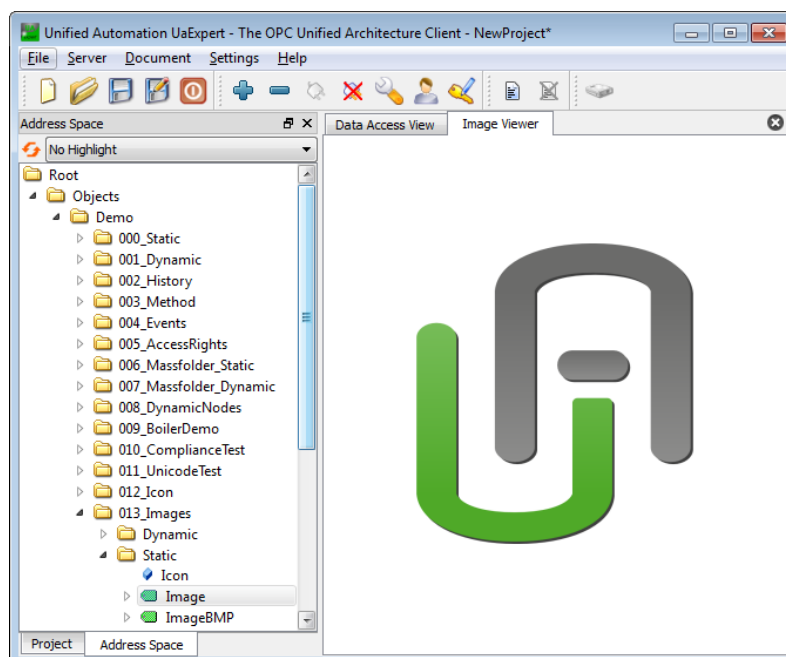
Na trhu existuje mnoho bezplatných zkušebních OPC klientů, pomocí kterých lze snadno otestovat funkci a konfiguraci serveru. Existující datové body lze rychle nalézt, připojit se k nim a zobrazit aktuální hodnoty.

V testovacím provozu je velmi důležité otestovat funkci zdroje dat OPC prostřednictvím nezávislé aplikace a tím ji abstrahovat z vysokoúrovňové aplikace.

Populárním testovacím klientem je Test-Klient *UAexpert* od OPC UA, který lze použít pro testování spojení OPC serveru s nadřazeným systémem. [32]

UaExpert je plně vybavený OPC UA klient a je navržen jako multiplatformní testovací klient pro všeobecné účely podporující funkce OPC UA (DA, A&E, HDA atd.). Využívá sofistikovanou knihovnu GUI QT, kterou vytváří Nokia a tvoří základní rámec, který je rozšiřitelný pomocí pluginů (*Obr. 29*). [32]

Nastavení klientu UAexpert je popsáno v kapitole 5.4.



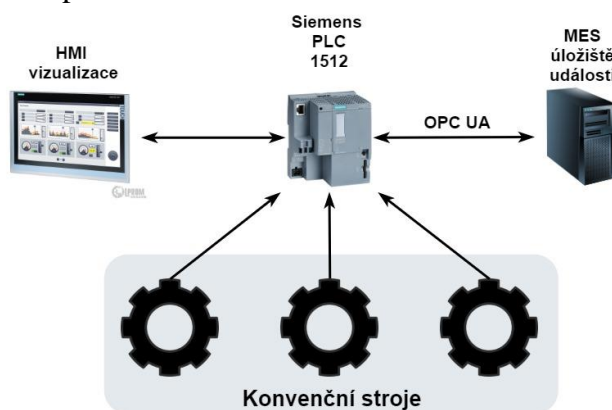
*Obr. 29* Hlavní okno klientu UAexpert [32]

## 4. Návrh koncepce zapojení strojů

Tato kapitola se zabývá návrhem koncepčního schématu zapojení konvenčních strojů do systému řízení a sledování provozu strojů pomocí průmyslového PLC a rozhraní OPC-UA.

Prvním krokem návrhu koncepčního schématu je sestavení základního blokového schématu systému propojení strojů s PLC (*Obr. 30*). Následně je třeba zjistit, jaké technické parametry má každý stroj (počet motorů, rozsah otáček, napětí, proud atd.), která z těchto dat budou určena ke sbírání a jaké komponenty jsou k tomu potřebny. Dalším krokem je navržení koncepčního schématu propojení všech strojů s průmyslovým PLC.

Pro potřeby této práce byl použit PLC, který prostřednictvím různých senzorů sbírá data z konvenčních strojů, poskytuje je operátorovi HMI panelu a klientu OPC-UA pomocí OPC-UA serveru, který se nachází v průmyslovém PLC. Jednotlivé komponenty jsou podrobněji popsány v kapitole 4.2.



*Obr. 30 Návrh základního schématu systému napojení konvenčních strojů s PLC*

### 4.1. Technické parametry strojů

Do systému řízení jsou zapojeny tři konvenční stroje, jmenovitě:

- Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV,
- Univerzální hrotový soustruh TOS SV 18 RD,
- Stojanová vrtačka TOS V 20 A.

#### 1) Tříosá frézka Heckert FUW 250/IV

Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV (*Obr. 31*) je vyrobena v sedmdesátých letech 20. století v Německu. Obráběcí pohyby se realizují ve třech lineárních osách – X (400 mm), Y (220 mm) a Z (400 mm). Frézka má tři motory: třífázový motor hlavního pohonu, motor posuvu a motor olejového čerpadla. Technické parametry motorů jsou uvedeny v *Tab. 1*. [37]

*Tab. 1 Technické parametry frézky [37]*

Pracovní napětí	380 ± 5% [V]
Řídicí napětí	220 [V]
Pomocné napětí	24 [V]
Pracovní frekvence	50 ± 2% [Hz]
Příkon	7 [kW]
Výkon hlavního motoru	4,6 [kW], 15,69 [Nm], 270 [V], 2900 [ot/min]
Ventilátor hlavního motoru	0,025 [kW], 2800 [ot/min]
Převod podávání	0,56 [kW], 1,76 [Nm], 270 [V], 200-3000 [ot/min]
Tachogenerátor podávacího převodu	0-6000 [ot/min] Napěťová konstanta – 20 V/1000 min
Chladicí čerpadlo	0,16 [kW], 380 [V], 2800 [ot/min]
Rychlostní vrtací/frézovací hlava	0,55 [kW], 380[V] / 60 [Hz], 3000 [ot/min]

Frézka má ovládací panel a je na ní namontováno indikační zařízení BC3001 společnosti Jirka s.r.o. (Obr. 32), které detekuje a sleduje pohyby os stroje pomocí optických lineárních odměřovačů značky SINA a typu KA TTL. Ty jsou namontovány ke každé ose frézky. Pro propojení odměřovačů s průmyslovým PLC je potřeba připojit k PLC modul vyhodnocování dat z pravítek (Obr. 8, kapitola 3.2.1).



Obr. 31 Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV



Obr. 32 Ovládací panel frézky a zařízení na sledování pohybů os BC3001

## 2) Soustruh TOS Trenčín SV18RD

Univerzální hrotový soustruh TOS Trenčín SV18RD (Obr. 33) je vyroben v šedesátých letech 20. století. Obsahuje tři motory: hlavní motor, motor ventilátoru a motor olejového čerpadla. [38]. Pohon vřetene je realizován asynchronním třífázovým elektromotorem řízeným frekvenčním měničem Emerson MP45A4R značky Control Techniques (Obr. 34), který lze připojit k PLC prostřednictvím rozhraní PROFINET.

Frekvenční měnič je umístěn ve skříni (Obr. 35), na ní je umístěn ovládací panel pohonu vřetene. Technické parametry motorů jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Technické parametry soustruhu [38]

Rozsah otáček vřetena	56–2800 ot/min
Výkon hlavního motoru při 2800 ot/min	10 [kW]
Motor ventilátoru MEZ SKF 71-28	0.18 [kW], 2800 [ot/min]
Motor olejového čerpadla MEZ 2CZAZ-PO	0.115 [kW], 2800 [ot/min]



Obr. 33 Soustruh TOS Trenčín SV18RD



Obr. 34 Frekvenční měnič Emerson MP45A4R



Obr. 35 Ovládací skříň pohonu vřetene soustruhu

Pro zobrazení proudu a otáček je na ovládacím panelu (Obr. 36) ampérmetr a otáčkoměr. Dále jsou zde přítomny tlačítka a indikátory pro zobrazení aktuálního stavu motoru a měniče: tlačítko havarijního zastavení Total Stop, zapnutí a vypnutí čerpadla chlazení, povolení připojení měniče na síť, indikátor připravenosti měniče, povolení spouštění rozjezdu motoru vřetene, indikátor rozjezdu motoru a tlačítko resetování.



Obr. 36 Ovládací panel hlavního pohonu soustruhu

### 3) Stojanová vrtačka TOS V20A

Stojanová vrtačka TOS V20A (Obr. 37) obsahuje dva motory: [39]

- Elektromotor AP90L-4/M3L3 – otáčení vřetena,
- Elektromotor 2AP63-2S/M362 – motor chladicího čerpadla.

V Tab. 3 jsou uvedeny technické parametry motorů.

Tab. 3 Technické parametry motorů vrtačky [39]

Elektromotor AP90L-4/M3L3	1.5 [kW], 1420 [ot/min], 380/220 [V]
Elektromotor 2AP63-2S/M362	0.18 [kW], 2700 [ot/min], 380/220 [V], 50 [Hz]



Obr. 37 Sloupová vrtačka TOS V20A

Oproti frézce a soustruhu, které mají ovládací panely s velkou sadou tlačítek a indikátorů, vrtačka obsahuje pouze tlačítko zapnutí a vypnutí stroje.

Kvůli různému konstrukčnímu uspořádání a technickým parametrům každého stroje bude přístup ke sběru dat odlišný. Popis dat, která budou měřena na strojích, je uvedena v kapitole 4.3.

## 4.2. Komponenty pro realizaci systému

Po sestavení blokového schématu a zjištění technických parametrů strojů je nutné stanovit typ PLC, počet senzorů a jejich typy, moduly, a další potřebné zařízení, které jsou nezbytné pro vytvoření systému řízení výroby a sledování provozu.

Systém je realizován na stanici Siemens SIMATIC ET 200SP (*Obr. 38*). Jedná se o multifunkční stanice I/O systémů určených pro připojení vzdálených senzorů a výkonných zařízení k řídicímu systému. Stanice má flexibilní možnosti rozšíření a přizpůsobení se široké škále požadavků a nejrůznějších úkolů.

ET200SP se vyznačuje snadným používáním, má kompaktní rozměry a vyžaduje pro svou instalaci minimální montážní úkony. Stanice podporuje výměnu dat prostřednictvím sítě PROFINET, která umožňuje používat vysokou rychlost výměny dat. [40]

Konstrukce stanice je modulární, a proto umožňuje flexibilní přizpůsobení hardwaru stanice požadavkům na řešení nejrůznějších problémů.



*Obr. 38 Stanice Siemens SIMATIC ET 200SP [40]*



*Obr. 39 Siemens PLC ET 200SP CPU 1512SP-1 PN [41]*

Seznam komponent stanice a používaných senzorů je uveden v *Tab. 4*.

*Tab. 4 Seznam komponent systému*

<b>Typ komponenty</b>	<b>Specifikace komponenty</b>	<b>Počet [ks]</b>
Průmyslový PLC	Siemens PLC ET 200SP CPU 1512SP-1 PN	1
Modul pro měření energie	Siemens AI Energy Meter 480VAC ST	3
Svorkovnice pro měřicí modul	Siemens Base Unit BU20-P12+A0+0B	3
Modul digitálních vstupů	Siemens DI 8x24VDC ST	3
Svorkovnice pro DI modul	Siemens Base Unit BU15-P16+A0+2B	3
Modul analogových vstupů	Siemens AI 2xU/I 2-4 wire HS	1
Svorkovnice pro AI modul	Siemens Base Unit BU15-P16+A0+2B	1
Senzor proudu	Siemens 3NJ6920-3BD11	9
Ovládací panel	Siemens KTP700 Basic	1

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3, hlavní jednotkou systému je průmyslový PLC ET 200SP značky Siemens (*Obr. 39*). Centrálním procesorem PLC je CPU 1512-1 PN, který je určen pro aplikace se středními požadavky na rychlost zpracování informací a odezvy, orientovaný na uplatnění automatizace procesů. CPU lze použít v režimu kontroléru nebo inteligentního I/O zařízení PROFINET IO. Vestavěné rozhraní PROFINET IO IRT je vybaveno tří-kanálovým konektorem, který umožňuje přímé připojení modulu k sítím PROFINET přes porty 1 a 2 síťového adaptéru a rovněž produkovat připojení k počítači nebo HMI přes port 3. [41]

V režimu inteligentního zařízení I/O CPU provádí zpracování informací na lokální úrovni stanice a poskytuje kontroléru pouze ta data, která je potřebná pro jeho práci. Díky tomu umožňuje:

- Snížit vytížení CPU kontroléru a sítě
- Získat minimální reakční časy pro změnu vstupních signálů stanice.
- Urychlit uvedení stanice do provozu pomocí předem testovaných bloků a paralelního spuštění úprav
- Získat podrobnou konfigurace řídicích systémů.

Procesor je schopen fungovat nezávisle na centrálním kontroléru. Při selhání centrálního kontroléru CPU může pokračovat v obsluze funkcí, které mu byly přiděleny. [41]

Pro sběr analogových hodnot (proudu a napětí) jsou určeny moduly na měření energie AI Energy Meter 480VAC ST značky Siemens (*Obr. 40*).



*Obr. 40 Modul měření energie Siemens AI Energy Meter 480VAC ST [42]*



*Obr. 41 Blok sběrnice Siemens Base Unit BU20-P12+A0+0B [43]*

Výhodou tohoto modulu je automatické převedení analogových signálů ze strojového kódu do hodnot typu *REAL*, díky čemuž není nutné při programování převádět vstupní hodnoty, což značně šetří čas vývoje programu. Další možností modulu měření energie je implementace knihoven při programování PLC, které v kombinaci s tímto modulem usnadňují realizaci složitých úkolů pro zpracování analýzy spotřebovaného množství energie. [42]

Ke každému modulu měření energie se montuje blok sběrnice Siemens Base Unit BU20-P12+A0+0B (*Obr. 41*), určený pro napájení přívodních vodičů pro senzory. [43]

Modul digitálních vstupů Siemens DI 8x24VDC ST (*Obr. 42*) je určen pro přivedení digitálních signálů z ovládacích panelů strojů na PLC. Ke každému modulu je připojen blok sběrnice Siemens Base Unit BU15-P16+A0+2B (*Obr. 43*). Stejným způsobem je blok sběrnice připojen k modulu analogových vstupů.





*Obr. 42 Modul digitálních vstupů Siemens DI 8x24VDC ST [44]*



*Obr. 43 Blok sběrnice Siemens Base Unit BU15-P16+A0+2B [45]*

Modul analogových vstupů Siemens AI 2xU/I 2-4 wire HS (*Obr. 44*) je součástí stanice SIMATIC ET 200SP, ale v popisovaném systému se nepoužívá. Tento modul je určen pro přivedení analogových signálů na PLC a bude využit v případě rozšíření funkcí celého systému řízení (např. zavedení funkcí detekce sepnutí koncových spínačů pro sledování pohybu stolu soustruhu).



*Obr. 44 Modul analogových vstupů Siemens AI 2xU/I 2-4 wire HS [46]*



*Obr. 45 Senzor proudu Siemens 3NJ6920-3BD11 [47]*

Senzor proudu Siemens 3NJ6920-3BD11 (*Obr. 45*) je určen na pro měření proudů strojů. Senzory se montují ke každé fázi strojů. Princip fungování je popsán v kapitole 3.2.1. HMI rozhraní tvoří ovládací panel Siemens SIMATIC KTP700 Basic (*Obr. 46*), jedná se o barevný dotykový sedmipalcový panel, jenž je možné ovládat rovněž pomocí tlačítek. Panel má PROFINET interface. Nastavení se provádí v prostředí WinCC Basic, STEP7 Basic a ve vývojovém prostředí TIA Portal.

Panel je navržen s ochrannou třídou IP65. Rozhraní USB umožňuje připojení klávesnice a myši. [48]



*Obr. 46 Ovládací panel Siemens KTP700 Basic [48]*

Po zjištění všech komponent systému a možností sběru dat je vybrána data, která potřebná pro definování stavů strojů.

### 4.3. Sbíraná data

Kombinováním sbíraných dat se provádí zjištění a sledování aktuálních stavů strojů. V závislosti na technických parametrech stroje se měření a sledování pracovních parametrů každého stroje liší. V *Tab. 5* je uveden seznam dat potřebných pro stanovení stavů strojů.

*Tab. 5 Sbíraná data*

	<b>Frézovací stroj Heckert FUW 250/IV</b>	<b>Soustruh TOS Trenčín SV18RD</b>	<b>Vrtačka TOS V20A</b>
<b>Analogové hodnoty</b>	Elektrické napětí Elektrický proud	Elektrické napětí Elektrický proud	Elektrické napětí Elektrický proud
<b>Digitální signály</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tlačítko <i>Total Stop</i></li><li>• Tlačítko <i>Zap/Vyp</i> stroje</li><li>• Tlačítko <i>Zap/Vyp</i> zrychleného pohybu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tlačítko <i>Total Stop</i></li><li>• Tlačítko <i>Zap/Vyp</i> stroje</li><li>• Tlačítko <i>Zap/Vyp</i> čerpadla chlazení</li><li>• Indikátor připravení frekvenčního měniče</li><li>• Indikátor motoru</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tlačítko <i>Zap/Vyp</i> stroje</li></ul>

Navzdory tomu, že data o pohybech a polohování os strojů podávají doplňující informace o stavech strojů, nejsou v tomto systému sledována z důvodu nedostatku modulu na zpracování signálů z pravítek frézky a z důvodu nedostatku koncového spínače pro sledování pohybu stolu soustruhu.

Na základě získaných dat se stanoví aktuální stavy strojů. Pro účely této práce definujeme následující stavy:

- 1) Vypnuto – stroj je vypnutý.
- 2) Čekání – stroj je připraven, neobrábí.
- 3) Výroba – stroj je zapnutý, provádí se obrábění.
- 4) Alarm – chybný stav, např. v případě zmačknutí tlačítka zastavení *Total Stop*.

Uživatelské stavy definují tzv. poznámky pro uživatele, které podrobněji popisují operace probíhající na strojích v každém jednotlivém stavu stroje. Tyto stavy jsou k dispozici operátorovi ovládacího panelu a se zavádějí operátorem. Pro účely této práce definujeme uživatelské stavy pouze pro stavy čekání a alarmů (*viz. Tab. 6*).

*Tab. 6 Uživatelské stavy strojů*

<b>Stav stroje</b>	<b>Uživatelské stavy</b>
Čekání	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Příprava – provádí se příprava výroby</li><li>2. Čekání na obrobek – vkládání obrobku na stůl, upnutí obrobku atd.</li><li>3. Servis – např. výměna oleje, čištění olejových trubic</li><li>4. Jiné – ostatní příčiny</li></ol>
Alarm	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Porucha</li><li>2. Servis</li><li>3. Údržba – čištění stroje, uklizení pracoviště, kontrola stavu stroje atd.</li><li>4. Příprava</li><li>5. Jiné.</li></ol>

#### 4.4. Koncepční schéma zapojení strojů s průmyslovým PLC

Po zjištění všech technických parametrů a měřených veličin jsou stanovena potřebná data a následně je navrženo konceptní schéma propojení strojů s PLC včetně HW konfigurace (Obr. 47).

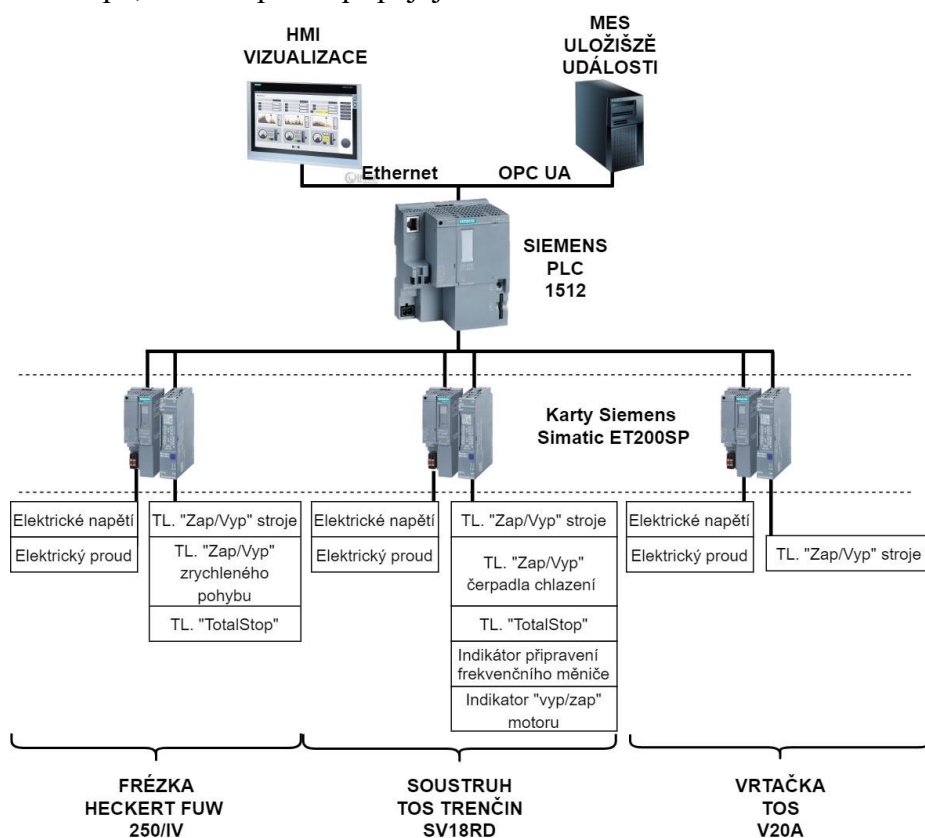
Prvním krokem je realizace sběru analogových hodnot, důležitých pro stanovení stavů strojů. Ke každému stroji jsou připojeny snímače proudu, napětí je měřeno na kartách pro měření energie. Na základě sbíraných dat se vyhodnocují stavy strojů, konkrétně, zdali stroj vyrábí či nevyrábí.

Dalším krokem je sběr digitálních signálů, pomocí kterých se přesně určují stavy strojů a vyhodnocují se uživatelské stavy. Digitálními signály jsou signály z ovládacích panelů strojů.

V horní části konceptního schématu jsou umístěné HMI (ovládací panel) a MES systém (uložiště dat). Přístup k datům je možný dvěma způsoby. První možností je sledování aktuálního stavu výroby v ovládacím panelu. Druhým způsobem jsou online publikace dat, které jsou poskytovány do nadřazeného systému.

Uprostřed se nachází PLC, které zpracovává vstupující data a poskytuje je uživateli pomocí serveru OPC UA a Ethernet rozhraní.

V dolní části konceptního schématu jsou uspořádané karty pro měření energie a karty digitálních vstupů, které se přímo připojují k PLC.



Obr. 47 Konceptní schéma propojení strojů s průmyslovým PLC

Podrobný popis nastavení hardwarové konfigurace systému je uveden v kapitole 5.2.

## 5. Software pro vyhodnocení stavů a logování dat

Na základě navržených parametrů systému se provádí příprava software pro vyhodnocení stavů a logování dat. Tato kapitola obsahuje podrobný popis vytvoření hardwarové konfigurace systému, nastavení OPC-UA serveru a klientu a zprovoznění jejich vzájemné komunikace. Následně je uveden popis realizace programu pro zprovoznění dat ze strojů včetně realizace HMI vizualizace.

Software byl vytvořen ve vývojovém prostředí TIA Portal V15.

### 5.1. Siemens TIA Portal v.15

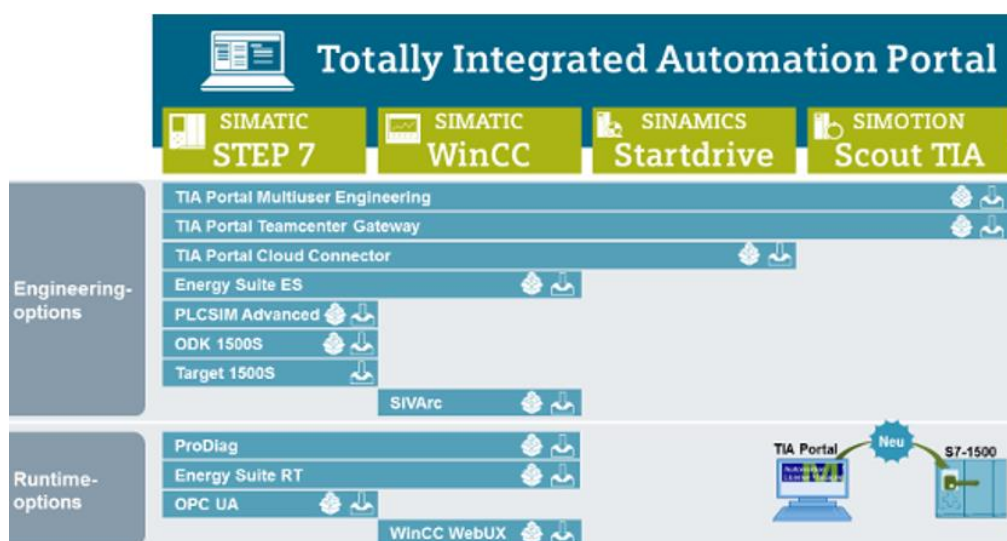
TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) — integrované vývojové prostředí softwarových systémů pro automatizaci a údržbu technologických procesů umožňuje automatizovat široký sortiment komponent výroby, od pohonů až po HMI rozhraní, a uplatňuje se v nejrůznějších sférách průmyslu.

Hlavní výhodou pro uživatele TIA Portálu je to, že z jednoho prostředí lze integrovat veškeré nástroje potřebné k projektování a konfiguraci řídicích systémů, HMI rozhraní, komunikačních sítí a elektrických pohonů a zajistit konzistenci dat ve vytvořeném projektu. To umožňuje snadno měnit a doplňovat strukturu systému, díky čemuž je umožněno rychle provést diagnostiku, údržbu a servis za provozu. [49]

TIA Portal integruje v jednom rozhraní software STEP 7, WinCC, SINAMICS StartDrive, SIMOCODE ES, SIMOTION SCOUT TIA, Multiuser Engineering a kontrolu spotřeby energie.

Pro realizaci systému byl použit SW SIMATIC STEP-7, určený pro programování kontrolérů. Základní verze STEP 7 obsahuje FBD, LD a STL jazyky standardizované podle DIN EN 61131-3. Stávající verze obsahuje navíc SCL jazyk, pomocí kterého byl program realizován.

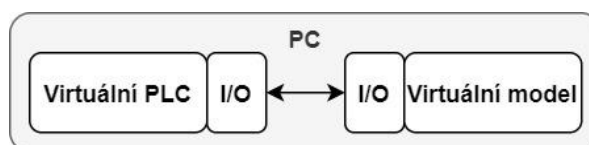
Následující obrázek ukazuje přehled druhů software implementované v TIA Portal. [49]



Obr. 48 Druhy SW v TIA Portal [49]]

Použité SW TIA:

- **STEP 7** - software pro vývoj automatizačních systémů založených na programovatelných logických kontrolérech. V první řadě jde o programování kontroléru. V procesu konfigurace se určuje složení hardwaru, rozdělení na moduly, způsoby připojení, použité sítě a nastavení použitých modulů. Systém kontroluje správné používání a propojení jednotlivých komponent. Konfigurace je dokončena nahráním konfigurace do hardwaru. Konfigurační nástroje umožňují provádět diagnostiku hardwaru, detekci hardwarových chyb nebo nesprávnou instalaci zařízení. [49]
- **SIMATIC WinCC** (*Windows Control Center*) – systém řízení a sběru dat (SCADA) a rozhraní člověk-stroj (HMI). Systémy SCADA se používají k monitorování a kontrole fyzických procesů souvisejících s průmyslem a infrastrukturou. Prostřednictvím WinCC jsou vytvořeny obrazovky pro dotykový ovládací panel, který se používá pro sledování dat a stavů strojů v daném systému.[49]
- **SIMATIC Energy Suite** – software, který umožňuje používat automatizační systémy pro řízení spotřeby energie, což usnadňuje sledování spotřeby energie ve výrobním systému. Zdrojem dat může být libovolná proměnná PLC (hodnota výkonu, energie atd.) nebo jakékoliv měřicí zařízení, podporovanou knihovnou EnSL, například zařízení Siemens Sentron PAC3200, které bylo popsáno v kapitole 3.2.1. Dále pro každý energetický objekt může být nastavena možnost výpočtu a doba archivace dat pro výpočet hodnot. Z knihovny EnSL byly zkopírovány základní vrstvy pro tvorbu obrazovek HMI panelu, které v sobě zahrnují přednastavená tlačítka a proměnné pro usnadnění práce s daty. Zároveň byly z knihovny vzaty a připraveny několik DB bloků na měření energie, které usnadňují práce s neměřenými hodnoty, pro případné budoucí rozšíření funkcionality systému. Po dokončení konfigurace všech energetických zařízení Energy Suite automaticky generuje energetickou část programu pro PLC. Po kompilaci může být tento program načten do kontroléru a použit ke shromažďování a předběžnému zpracování hodnot energetických parametrů. [49]
- **SIMATIC PLCSIM Advanced** umožňuje komplexní modelování funkcí během konfigurace a návrhu systému pomocí STEP 7 bez nutnosti fyzického vybavení. Program umožňuje kompletní přístup k uvedení do provozu a poskytuje flexibilní systém *Software in Loop* (Obr. 49). Tato metoda umožňuje na jednom počítači otestovat řídicí program bez potřeby dalšího hardwaru.



Obr. 49 Metoda *Software in Loop* [28]

S7-PLCSIM Advanced má otevřené API a OPC UA, které mu umožňují interakci s jiným softwarem a hardwarem. V kombinaci se softwarem Siemens NX MCD PLCSIM se používá pro propojení virtuálních modelů strojů s virtuálním PLC a umožňuje sbírat data prostřednictvím OPC-UA serveru a posílat jejich klientu.

## 5.2. Vytvoření HW konfigurace

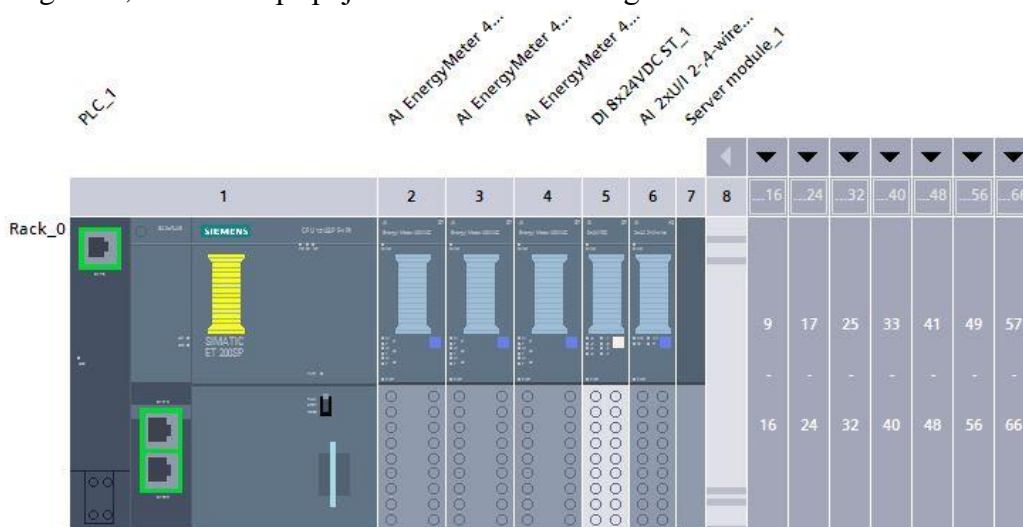
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, prvním krokem vytvoření systému je nastavení složení hardwaru, způsoby připojení a nastavení použitých modulů.

Nastavení HW se provádí virtuálně. Funkcí virtuálního HW je simulace jeho reálného protějšku. Reálné PLC není zapotřebí. Programátor může průběžně do určité míry ověřovat funkčnost řídicího programu bez potřeby reálné sestavy.

Prvním krokem k vytvoření hardwarové konfigurace je přidání PLC do profilové lišty DIN v položce *Zařízení a sítě*. Z katalogu zařízení se přidává zařízení podle typu modelu, čísla artiklu a zvolí se jeho verze firmwaru.

Počínaje verzí firmware V2.5 poskytuje řídicí systém SIMATIC S7-1500 metody OPC UA prostřednictvím vestavěného serveru OPC UA. Díky tomu je možné číst, zapisovat proměnné OPC UA řídicího systému a spouštět složité funkční sekvence přes OPC UA. To poskytuje plnou komunikaci M2M přes OPC UA, pro organizaci sítí nebo pro řízení výroby z úrovně ERP/MES. [51]

Dále se montují na lištu moduly na měření energie, modul digitálních vstupů, modul analogových vstupů a modul rozhání *Siemens 155-6PN Standard*, který je určen pro připojení stanice ET 200SP k síti PROFINET a podporu sdílení dat mezi periferní moduly stanice. U všech zařízení se nastavuje potřebná nebo jediná z možných verzí firmware. Připravený HW je zobrazen na *Obr. 50*. Na *Obr. 51* je zobrazen pohled reálné HW konfigurace, konkrétně připojení karet měření energie s PLC.



Obr. 50 Konfigurace virtuální sestavy HW systému v programu TIA Portal



Obr. 51 Připojení karet měření energie s PLC

Po nastavení HW konfigurace následuje propojení ovládacího panelu se stanicí. Z katalogu zařízení byly přidány panel KTP700 Basic a switch, dále se provádí nastavení podsítí a přiřazují se IP-adresy pro stanice a panel (Tab. 7). Následně byl panel propojen s PLC (Obr. 52).

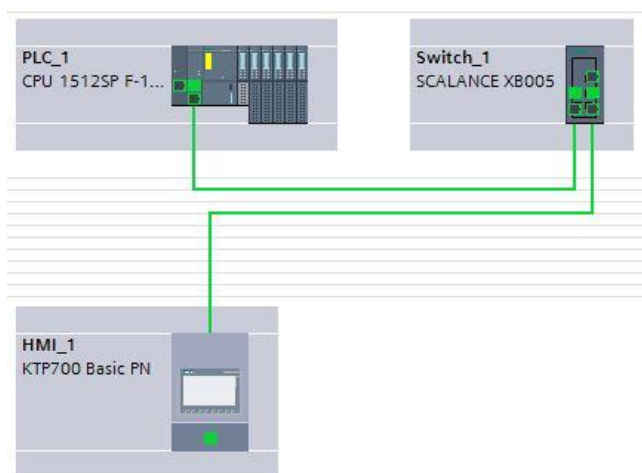


Obr. 52 Přehled propojení stanice Simatic ET200SP a HMI

Tab. 7 IP adresa v podsítí

	IP adresa
Průmyslový PLC	192.168.0.1
HMI panel	192.168.0.25
Maska podsítí	255.255.255.0

Switch Scalance je určen pro připojení několika ovládacích zařízení ke stanici. Přehled topologií všech komponent systému je uveden na Obr. 53.



Obr. 53 Přehled topologií komponent systému



Pro každý modul se nastavují vstupy, ke kterým následně budou připojeny senzory měření a signály z ovládacích panelů strojů, a zároveň se nastavují výstupy. Z výstupů se odesílají řídicí signály pohonům a dalším řídicím prvkům ve výrobním procesu.

V případě této práce je většina výstupů paměťové proměnné, určené pro správu dat z PLC nadřazenému systému. V *Tab. 8* je uveden přehled komponent systému, jejich artikly, verze firmware a nastavené I/O.

*Tab. 8 Artikly a firmware modulů*

Typ Jednotky	Popis	Vstupy	Výstupy	Artikl	FW
ET 200SP CPU 1512SP-1 PN	PLC			6ES7 512-1SK01-0AB0	V2.5
AI Energy Meter 480VAC ST	Modul měření energie	100–147	100–111	6ES7 134-6PA20-0BD0	V4.0
AI Energy Meter 480VAC ST	Modul měření energie	200–247	200–211	6ES7 134-6PA20-0BD0	V4.0
AI Energy Meter 480VAC ST	Modul měření energie	300–347	300–311	6ES7 134-6PA20-0BD0	V4.0
DI 8x24VDC ST	Modul digitálních vstupů	0		6ES7 131-6BF01-0BA0	V0.0
AI 2xU/I 2-4 wire HS	Modul analogových vstupů	10–13		6ES7 134-6HB00-0DA1	V2.0
155-6PN Standard	Modul rozhraní			6ES7 193-6PA00-0AA0	V1.1
KTP700 Basic	HMI panel			6AV2 123-2GB03-0AX0	V15. 0.0.0
SCALANCE XB005	Switch			6GK5 005-0BA00-1AB2	V1.0

### 5.3. Vytvoření OPC-UA serveru

Nastavení OPC UA serveru bylo provedeno ve vývojovém prostředí TIA Portal.

Prvním krokem je aktivace serveru (*Activate OPC UA server*), která se provádí v nastavení PLC v položce *OPC UA*. Dále je nutné nastavit IP adresu serveru a číslo portu. Adresa je odpovídá adrese PLC, číslo portu je generováno automaticky. Potom adresa je ve formátu *opc.tcp://192.168.0.1:4840*, kde *4840* je číslo portu. Následujícím krokem je zapnutí povolení standardního rozhraní serveru Simatic.

Certifikát serveru se používá k ověření identity serverů při přístupu a k zabezpečení koncových bodů. Certifikát ovšem není nutné přiřazovat, jelikož nastavená adresa serveru bude zavedena do nastavení OPC UA klientu, která umožní bezproblémové propojení klientu se serverem. Dále je nutné aktivovat parametr *Automaticky přijímat certifikáty klientů během běhu* – tímto je povolen přístup klientu k serveru.

Ke spuštění serveru OPC UA na CPU sérii S7-1500 je nutná licence, která je spravována v položce *Runtime licenses*. Typ požadované licence závisí na výkonu příslušného CPU. Rozlišují se následující typy licencí:

- SIMATIC OPC UA S7-1500 small (vyžadováno pro CPU 1511, CPU 1512, CPU 1513, procesory ET 200SP, PC 1515SP)



- SIMATIC OPC UA S7-1500 medium (vyžadováno pro CPU 1515, CPU 1516, CPU 1507 a CPU 1516pro-2PN)
- SIMATIC OPC UA S7-1500 large (vyžadováno pro CPU 1517, CPU 1518).

Pro CPU 1512 byla vybrána licence *SIMATIC OPC UA S7-1500 small*.

Kompletní nastavení parametrů pro funkčnost serveru jsou uvedeny v *Tab. 9*.

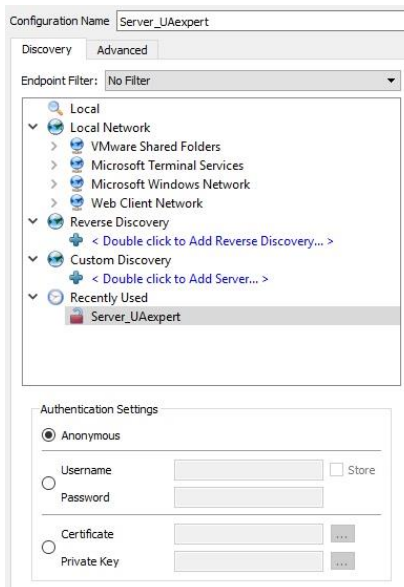
*Tab. 9 Nastavení OPC UA serveru*

<b>Nastavení</b>	<b>Parametr</b>
OPC UA application name	SIMATIC.S7-1500.OPC-UA.Application:PLC_1
Accessibility of the server	Activate OPC server
Server addresses	<i>opc.tcp://192.168.0.1:4840</i>
Standard SIMATIC server interface server	Enable
Port	4840
Max. session timeouts	30 s
Max. OPC UA sessions	10
Max. number of registered nodes	10000
Minimum sampling interval	100 ms
Minimum publishing interval	500 ms
Max. number of monitored items	2000
Server certificate	-
Trusted clients	Automatically accept client certificates during runtime
Runtime license	SIMATIC OPC UA S7-1500 small

#### 5.4. Nastavení klientu

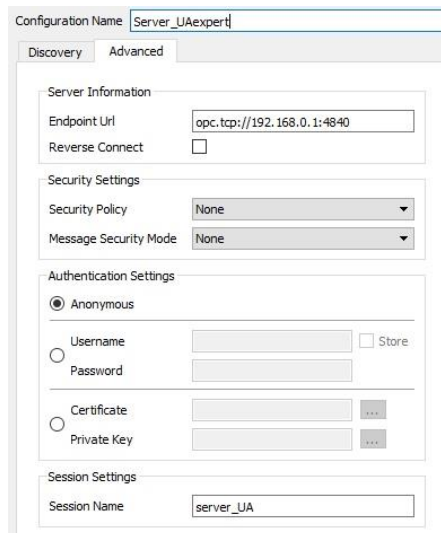
Klientem serveru je multiplatformní testovací klient UAexpert v.1.5.1. (*viz. kapitola 3.4.7, Obr. 29*).

V levé části hlavního okna *Project Window* kliknutím na ikonu *servers* se otevře okno nastavení připojení se serverem (*Obr. 54*). Kliknutím na tlačítko «+» na panelu nástrojů je otevřeno okno, ve kterém je nutné z nabídky vybrat *server*.



*Obr. 54 Seznam dostupných připojení*

V okně rozšířených parametrů (*Obr. 55*) je nutné zavést URL adresu serveru a číslo portu, jelikož každý server UA musí poskytnout koncový bod připojení. V tomto případě se zadává `opc.tcp://192.168.0.1:4840`.



*Obr. 55 Rozšířené nastavení*

Hlavním parametrem pro realizaci propojení klientu se serverem je nastavení adresy serveru, čísla portu, jména serveru a relace. Nastavení bezpečnostních a přihlašovacích údajů je možné stanovit dle potřeb.

UA server nabízí dvě možné varianty přihlášení:

- Anonymous – uživatel, který vidí strukturu serveru, ale nevidí žádná data
- Operátor UA – má oprávnění číst a zapisovat data.

UAexpert umožňuje přiřadit uživateli *Anonymous* práva pro čtení dat a díky tomu v rámci této diplomové práce přihlášení k serveru probíhá bez hesla a loginu.

Po nastavení všech parametrů je nutné nastavení potvrdit a uložit změny – tímto je klient připraven.

## 5.5. Nastavení komunikace a simulace systému

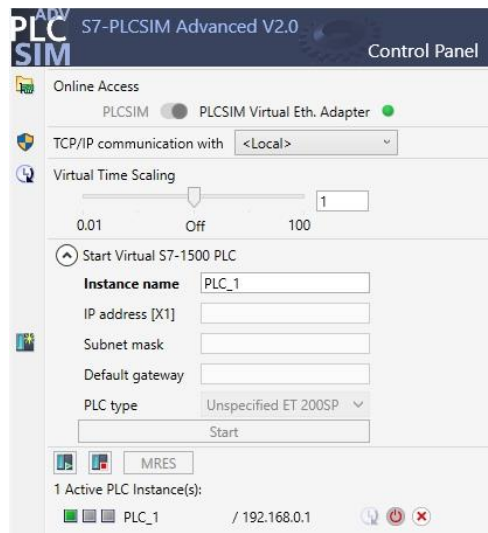
Po nastavení serveru a klienta následuje kapitola popisující zprovoznění jejich vzájemné komunikace. Pro realizaci komunikace a následné zprovoznění simulace systému řízení výroby a sledování provozu se používá Siemens PLCSIM Advanced (*viz. kapitola 5.1*). V rámci diplomové práce je použit PLCSIM Advanced V2.0, podporující firmware V2.5 a umožňující simulovat propojení prostřednictvím Ethernet rozhraní, které vyžaduje OPC UA server.

Pro zprovoznění simulace byl vytvořen jednoduchý program, který umožní posílat data přes server OPC UA klientu. Díky tomu lze jednoduše otestovat propojení «Klient-Server». Pro testování se vytvoří několik výstupních proměnných (*Ao\_senzor\_1* a *Ao\_senzor\_2*). Ve složce projektu *Watch Table* se vytvoří tabulka, kde lze přiřadit proměnným libovolné hodnoty, které pak lze sledovat (*Obr. 56*).

12	Output		
13	Ao_senzor_1	Int	27648
14	Ao_senzor_2	Int	18135

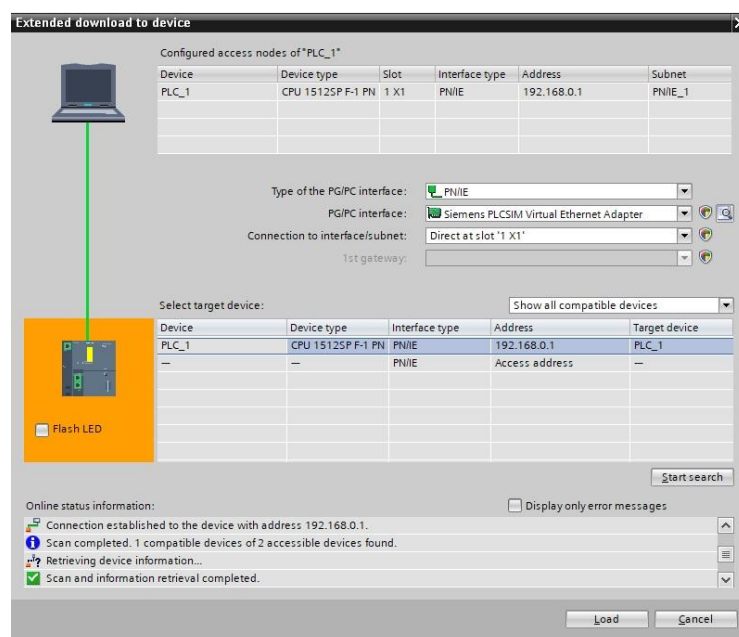
Obr. 56 Testovací signály

Po spuštění PLCSIM se otevře hlavní okno (Obr. 57).



Obr. 57 Siemens PLCSIM Advanced v.2.0

V dialogu tohoto programu byla u *Online Access* vybrána možnost *PLCSIM Virtual Ethernet Adapter*. Dalším krokem je pojmenování názvu instance (*PLC\_1*), pak následuje zavedení IP adresy PLC a masky sítě (viz. Tab. 7). Konečným krokem je volba typu PLC mezi *CPU 1500* a *Unspecified ET200SP CPU*. V případě této práce je zvolen *Unspecified ET200SP CPU*. Tlačítkem *Start* se vytvoří virtuální instance *PLC*, která reprezentuje vytvořené virtuální PLC, a do které lze nahrát vytvořený řídicí program v TIA Portálu (Obr. 58).

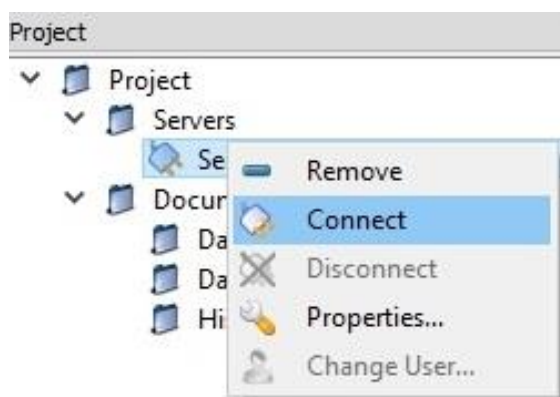


Obr. 58 Rozšířený dialog pro nahrání programu do zařízení v TIA Portal

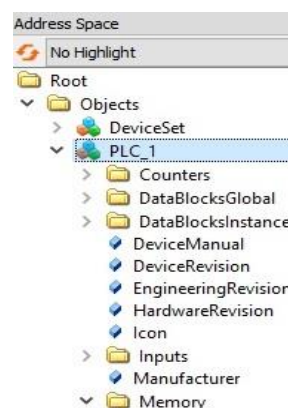
V řádku *Type of the PG/PC interface* byl vybrán typ sběrnice *PN/IE*, v dalším řádku *PG/PC interface* byl jako adaptér pro připojení vybrán *Siemens PLCSIM Virtual Ethernet Adapter*. V posledním řádku *Connection to interface/subnet* byla zvolená možnost *Direct at slot '1 XI'*. Následně bylo zmáčknuto tlačítko *Start search*. Po chvíli se v nabídce objeví vytvořená instance s názvem *PLC\_1*, po jejím vybrání a zmáčknutí tlačítka *load* bude řídicí program do této instance nahrán. [28]

Finální částí zprovoznění komunikace je připojení klientu k serveru v testovacím klientu *UAexpert*.

Kliknutím na vytvořenou konfiguraci serveru je nutné v otevřeném dialogu vybrat položku *Connect* (Obr. 59). V adresním prostoru se pak zobrazí struktura serveru (Obr. 60), ze které se přetahují předem vytvořené proměnné (*Ao\_senzor\_1* a *Ao\_senzor\_2*) do zobrazovacího okna *Data Access View* (Obr. 61).



Obr. 59 Připojení klientu a serveru v UAexpert



Obr. 60 Struktura serveru v UAexpert

Data Access View				
#	Server	Node Id	Display Name	
1	Server_UAexpert	NS3 String "Ao_proud_senzor_1"	Ao_proud_senzor_1	27648
2	Server_UAexpert	NS3 String "Ao_proud_senzor_2"	Ao_proud_senzor_2	18135

Obr. 61 Data Access View v UAexpert

Výsledkem je hotová komunikace «klient-server», která vysílá stav stroje přes OPC UA server. Po úspěšném ověření komunikace se provádí vytvoření programu pro PLC, který je popsán v následující kapitole.

## 5.6. Vytvoření programu pro zpracování dat ze strojů

Hlavním cílem je vytvořit program pro monitorování základních provozních stavů strojů a sledování jejich energetické náročnosti na základě sbíraných dat ze senzorů a z ovládacích panelů strojů.

Přístup k datům je možný dvěma způsoby. Prvním je sledování aktuálního stavu výroby pomocí HMI, kde uživatel bude schopen přiřadit uživatelský stav aktuálnímu stavu stroje. Druhým výstupem jsou online publikace vybraných proměnných, které budou posílány klientu přes OPC UA server.



Celý program je uložen v jednom organizačním bloku OB1 s názvem *Main*. Organizační blok tvoří rozhraní mezi operačním systémem a programem, který je systémem cyklicky volán.[30]

Program je založen na funkcích, které zpracovávají vstupní hodnoty. Základem organizačního bloku jsou FC bloky, které provádí vyhodnocení stavů pomocí podmínek. Tyto podmínky jsou realizovány pomocí funkce IF.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1, z knihovny EnSL bylo vzato a připraveno několik DB bloků na měření energie. Bloky byly pojmenovány podle druhu stroje. Pro frézku je blok DB25 s názvem *Frezka\_data*, pro soustruh – blok DB26 *Soustruh\_data* a pro vrtačku je blok DB28 *Vrtacka\_data*. Celý program je vytvořen z bloků, jejichž názvy odpovídají strojům. Bloky začínající písmenem *F\_* jsou určeny pro frézku, *S\_* - pro soustruh a *V\_* - pro vrtačku.

Na začátku každého FC bloku je spojení připravených proměnných těchto FC-bloků s příslušnými proměnnými DB bloků. Dále následují kalibrace vstupních hodnot z virtuálních modelů strojů. Kalibrace se provádí pouze pro případ zprovoznění virtuálního systému. Při ožívování systému na reálných strojích budou hodnoty odlišné a kalibrace bude nutné provést znovu na základě vstupních dat.

### 5.6.1. Program pro frézku

Blok frézky FC13 *MI\_Frezka* se dělí na tři části. V první části jsou matematické operace, které slouží pro výpočet činného, jalového a zdánlivého výkonu a energií frézky. Matematické operace výpočtů výkonů jsou vytvořeny dle vzorců: [61]

$$P_n = U_{En} * I_{En} * \cos\varphi - \text{Činný výkon jedné fáze [W]} \quad P = P_1 + P_2 + P_3 - \text{Celkový činný výkon [W]} \quad (5)$$

$$Q_n = U_{En} * I_{En} * \sin\varphi - \text{Jalový výkon jedné fáze [VAr]} \quad Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 - \text{Celkový jalový výkon [VAr]} \quad (6)$$

$$S_n = \sqrt{P_n^2 + Q_n^2} - \text{Zdánlivý výkon jedné fáze [VA]} \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} - \text{Celkový zdánlivý výkon [VA]} \quad (7)$$

Kde  $U_{En}$  je efektivní hodnota napětí [V],  $I_{En}$  – efektivní hodnota proudu [A],  $\varphi$  - fázový posun,  $\cos\varphi$  - závislost činného výkonu na fázovém posuvu proudu oproti napětí,  $\sin\varphi$  - závislost jalového výkonu na fázovém posuvu proudu oproti napětí,  $n$  je číslo fáze. Matematické operace pro výpočet energií byly realizovány dle vzorců: [61]

$$E_p = \int_0^T P(t) dt \text{ [kWh]} - \text{Činná energie (8)}$$

$$E_Q = \int_0^T Q(t) dt \text{ [kVArh]} - \text{Jalová energie (9)}$$

$$E_S = \int_0^T S(t) dt \text{ [kVAh]} - \text{Zdánlivá energie (10)}$$

Když proud vzroste na hodnotu 1 A započne počítání výkonů. Pokud činný výkon bude více než nula, proměnná  $F\_StartIntegration\_Energy$  nabyde hodnoty TRUE a funkce integrace se spouští. Jakmile výkon poklesne do nuly, což je zastavení stroje, proměnná  $F\_StartIntegration\_Energy$  nabyde hodnoty FALSE, zároveň proměnná  $F\_ResetIntegration\_Energy$  nabyde hodnoty TRUE a integrace bude zastavená. Díky této funkci je realizováno sledování aktuální spotřeby energie (Obr. 62).

```
103 //Online Total Active Energy. E_P FREZKA //
104 □"F_IntegralEnergyP_DB" (value:="F_Ep",
105     enable:="F_StartIntegration_Energy",
106     reset:="F_ResetIntegration_Energy",
107     integral=>"Frezka_data".Adv_data.totalActEnergy);
108 "F_Ep_Integrated" := "Frezka_data".Adv_data.totalActEnergy / 1000.0;
109 "Frezka_data".energyBasic.actEnergy := "F_Ep_Integrated";
110 "F_ActualActiveEnergy" := "Frezka_data".energyBasic.actEnergy; // Aktualní Aktivní Energie Frézky pro UAexpert
```

Obr. 62 Sledování činné energie frézky

Druhá část obsahuje čtyři funkce pro stanovení stavů strojů na základě vypočteného činného výkonu. První funkce signalizuje stav *Vypnuto* nadřazenému systému prostřednictvím přiřazení proměnné  $F\_MachineState$  o hodnotě 1 kdy se napětí rovná nule. Při zapnutí stroje napětí vzroste a druhá funkce definuje stav *Ready* přiřazením hodnoty 2 proměnné  $F\_MachineState$ . Když je frézka zapnutá je prováděn proces obrábění a zároveň je napětí více než 220V a proud více než 1A, tak třetí funkce definuje stav *Výroba* přiřazením hodnoty 3 proměnné  $F\_MachineState$ .

V tomto stavu začíná výpočet energie stroje. Při zmáčknutí tlačítka *Total Stop* na ovládacím panelu frézky proměnná  $Frezka\_TS$  přejde ze stavu FALSE do stavu TRUE a vynuluje předem naměřené hodnoty. V tomto případě proměnná  $F\_MachineState$  bude mít hodnotu 4, se přiřadí stav *Alarm* – to je na HMI signalizováno nápisem *TOTAL STOP*. V opačném případě je tento nápis neviditelný. Podrobný popis obrazovek je uveden v následující kapitole.

Proměnná  $F\_MachineState$  má typ INTEGER a je proměnná, definující stavy frézky (Tab. 10).

Tab. 10 Hodnoty proměnné  $F\_MachineState$

Hodnota proměnné	Stav stroje
$F\_MachineState := 1;$	Vypnuto
$F\_MachineState := 2;$	Připraveno
$F\_MachineState := 3;$	Výroba
$F\_MachineState := 4;$	Alarm

Třetí oblast FC bloku frézky obsahuje funkce definující uživatelské stavy. Tyto funkce se aktivují z HMI panelu. Pokud se proměnná  $F\_MachineState$  bude se rovnat 2, rozblíká se oranžový rámeček na ovládacím panelu kolem tlačítek příslušných stavu *Připraveno*. Tento rámeček ukazuje uživateli, že je nutné definovat příčinu prostoje stroje. Při volbě libovolného stavu rámeček zmizí. Uživatel může zmáčknutím tlačítek popisujících uživatelské stavy pro čekající stav stroje přiřazovat hodnoty TRUE nebo FALSE příslušným proměnným, které následně přiřazují hodnoty počínaje číslem 20 proměnné



*F\_MachineState\_details*. Podrobný popis funkcí tlačítek je popsán v kapitole věnující tvorbě HMI obrazovek (5.7).

Pokud se proměnná *F\_MachineState* bude rovnat 4, rozblíká se oranžový rámeček kolem tlačítek, které jsou příslušné stavu *Alarm*. Postup je zcela stejný, ale proměnná *F\_MachineState\_Details* bude nabývat hodnot počínaje číslem 40.

Pokud není zmačknuto ani jedno tlačítko uživatelských stavů stroje nebo pokud stroj bude vypnut či ve stavu výroby, tak *F\_MachineState\_details* bude mít hodnotu 0.

V *Tab. 11* jsou uvedeny hodnoty *F\_MachineState\_details*, které odpovídají tlačítkům uživatelských stavů.

*Tab. 11 Hodnoty proměnné F MachineState Details*

Stav stroje	Uživatelský stav	Proměnná tlačítka	Hodnota uživatelského stavu
Připraveno	Čekání na obrobek	F_ReadyWait	F_MachineState_Details:= 21;
	Příprava	F_ReadyPrepare	F_MachineState_Details:= 22;
	Servis	F_ReadyServis	F_MachineState_Details:= 23;
	Jiné	F_ReadyOther	F_MachineState_Details:= 24;
Alarm	Porucha	F_AlarmDisorder	F_MachineState_Details:= 41;
	Příprava	F_AlarmPrepare	F_MachineState_Details:= 42;
	Údržba	F_AlarmMaintenance	F_MachineState_Details:= 43;
	Servis	F_AlarmService	F_MachineState_Details:= 44;
	Jiné	F_AlarmOther	F_MachineState_Details:= 45;

Dalším krokem je tvorba dvou FB bloků: FB17 *F\_EnergyAVG* a FB18 *F\_PowerAVG*. Každý blok obsahuje časovač a čítač. Bloky jsou si navzájem podobné, rozdíl spočívá ve vstupních a výstupních proměnných. Do bloku FB17 vstupuje proměnná činné energie, do bloku FB18 – proměnná celkového činného výkonu. Ty bloky jsou určeny pro počítání průměrných hodnot energie a výkonu během nastaveného času.

Proměnné *AVG\_time* se přiřazuje potřebný čas, který definuje, jak dlouho bude prováděno měření. Do proměnné *counter* se zapisuje počet vzorků měření, do proměnné *sum* se pak ukládá součet vzorků. Po vypršení nastaveného času je součet napočítaných hodnot vydělen jejich počtem a průměrná hodnota bude zapsaná do proměnné *AVG\_value*. Tato proměnná pak přiřazená proměnné *Frezka\_data.energyBasic.energy* v případě FB17, v případě FB 18 - proměnné *Frezka\_data.energy Basic.power*. Dále se automaticky provádí resetování čítače a časovače a cyklus je započat znovu. Díky těmto blokům je možné sledovat průměrné hodnoty energie a výkonu spotřebované během 10 minut. Čas je možné nastavit dle vlastní potřeby v příslušném FB bloku. FB bloky se volají z bloku OB1.

### 5.6.2. Program pro soustruh

Na začátku vývoje programu pro soustruh je spojení připravených proměnných určených pro blok FC14 *M2\_Soustruh* s blokem DB26 *Soustruh\_data*.

Struktura a postup tvorby programu soustruhu jsou shodné s programem frézky, rozdílem jsou vstupní a výstupní proměnné měřených hodnot. Proměnné stavů stroje a uživatele jsou uvedeny v *Tab. 12* a v *Tab. 13*.

*Tab. 12 Hodnoty proměnné S\_MachineState*

Stav stroje	Hodnota proměnné
Vypnuto	S_MachineState := 1;
Připraveno	S_MachineState := 2;
Výroba	S_MachineState := 3;
Alarm	S_MachineState := 4;

*Tab. 13 Hodnoty proměnné S\_MachineState\_Details*

Stav stroje	Uživatelský stav	Proměnná tlačítka	Hodnota uživatelského stavu
Připraveno	Čekání na obrobek	S_ReadyWait	S_MachineState_Details := 21;
	Příprava	S_ReadyPrepare	S_MachineState_Details := 22;
	Servis	S_ReadyServis	S_MachineState_Details := 23;
	Jiné	S_ReadyOther	S_MachineState_Details := 24;
Alarm	Porucha	S_AlarmDisorder	S_MachineState_Details := 41;
	Příprava	S_AlarmPrepare	S_MachineState_Details := 42;
	Údržba	S_AlarmMaintenance	S_MachineState_Details := 43;
	Servis	S_AlarmServis	S_MachineState_Details := 44;
	Jiné	S_AlarmOther	S_MachineState_Details := 45;

### 5.6.3. Program pro vrtačku

Na začátku vývoje programu pro vrtačku je spojení připravených proměnných určených pro blok FC15 *M3\_Vrtacka* s blokem DB28 *Vrtacka\_data*.

Struktura a postup tvorby programu vrtačky jsou shodné s předchozími programy, rozdílem jsou zde kromě vstupních/výstupních proměnných odlišné stavy strojů a stavy uživatele. Je to dáno tím, že vrtačka má pouze jedno tlačítko *zapnutí/vypnutí* a nemá tlačítko *Total Stop*, kvůli tomu program bloku FC15 neobsahuje stav *Alarm* a příslušné uživatelské stavy a je kratší než předchozí programy v blocích FC14 a FC15. Hodnoty proměnné *V\_MachineState* jsou uvedeny v *Tab. 14*. Hodnoty proměnné *V\_MachineState\_Details* jsou uvedeny v *Tab. 15*.

*Tab. 14 Hodnoty proměnné V\_MachineState*

Stav stroje	Hodnota proměnné
Vypnuto	V_MachineState := 1;
Připraveno	V_MachineState := 2;
Výroba	V_MachineState := 3;



*Tab. 15 Hodnoty proměnné V\_MachineState\_Details*

Stav stroje	Uživatelský stav	Proměnná tlačítka	Hodnota uživatelského stavu
Připraveno	Čekání na obrobek	V_ReadyWait	V_MachineState_Details := 21;
	Příprava	V_ReadyPrepare	V_MachineState_Details := 22;
	Servis	V_ReadyServis	V_MachineState_Details := 23;
	Jiné	V_ReadyOther	V_MachineState_Details := 24;

Současný program je již schopen přijímat a zpracovávat data, na základě těchto dat vyhodnocovat stavy strojů a posílat data klientu. Při vytvoření bloků pro každý stroj byly připraveny proměnné, na které se budou odkazovat proměnné z HMI během vytvoření obrazovek ovládacího panelu.

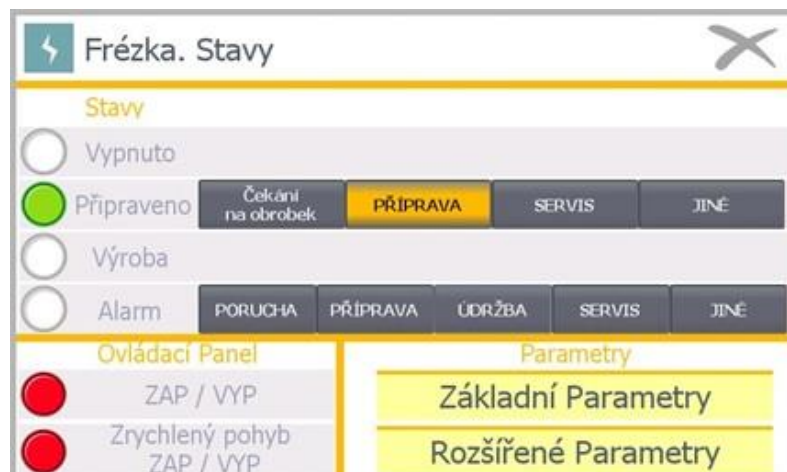
## 5.7. Ovládací panel HMI

Po vytvoření všech potřebných bloků programu následuje vytvoření obrazovek ovládacího panelu. Vzhled ovládacího panelu, pomocí kterého obsluha sleduje stavy, výkony, spotřebu energie strojů a indikátory na ovládacích panelech je rovněž vytvořen v programu TIA Portal.

Na úvodní obrazovce (*Obr. 63*) jsou stavy strojů. Při neaktivovaném stavu *Alarm* je indikátor *TS* neviditelný. V levé části hlavního menu jsou tři tlačítka, pomocí kterých operátor může vybrat parametry požadovaného stroje. Následně je možná volba jazyku mezi anglickým a českým.


*Obr. 63 Úvodní obrazovka ovládacího panelu*

Tlačítko *Frézka* odkazuje na obrazovku stavů frézky (*Obr. 64*). Definování stavů stroje byly podrobněji popsány v kapitole 5.6.1. Současný stav stroje na obrazovce ukazuje, že stroj připraven k výrobě a uživatelský stav říká, že se provádí příprava před začátkem výroby. V dolní části obrazovky vlevo jsou indikátory, které duplikují tlačítka ovládacího panelu stroje.



Obr. 64 Obrazovka stavů frézky

Ve stavu *Vypnuto* v příslušné funkci bloku FC13 je proměnné  $F\_PowerOff$  přiřazen stav TRUE a na obrazovce se rozsvítí LED dioda tohoto stavu. Při aktivním stavu *Připraveno* je proměnná  $F\_Ready$  ve stavu TRUE a začíná blikat oranžový rámeček kolem tlačítek uživatelských stavů. Uživatelský stav může být pouze jeden, při volbě jiného stavu se předchozí stav odepne. Když nastává stav stroje *Výroba*, proměnné  $F\_Manufacturing$  je přiřazena hodnota TRUE, rozsvítí se žárovka *Výroba* a zároveň se rozsvítí indikátor zapnutí stroje zelenou barvou. Indikátor zapnutí zrychleného pohybu se rozsvítí zelenou barvou pokud na ovládacím panelu stroje bude zmáčknuté příslušné tlačítko. Ve stavu *Alarm* proměnná  $F\_Alarm$  nadbyte hodnoty TRUE a rozsvítí se žárovka *Alarm*. Přepínání mezi uživatelskými stavy se provádí stejně jako ve stavu *Připraveno*. Ve stavu *Vypnuto* nebo *Výroba* se vynulují uživatelské stavy a možnost volby těchto stavů bude zakázána. Zmačknutím tlačítek uživatelských stavů se přiřazují hodnoty proměnné  $F\_MachineState\_Details$ .

V pravé straně dolní části obrazovky stavů frézky jsou tlačítka základních parametrů (Obr. 65), kde lze sledovat průměrnou spotřebu energie a výkonu v průběhu nastaveného času (*Periodická data*) a aktuální hodnoty energie a výkonu (*Online data*).

Frézka. Základní Parametry	
Periodická data	Online data
Energie	0,00 kWh
Výkon	+0,00 kW

Obr. 65 Obrazovka základních parametrů frézky

Rozšířené parametry obsahují hodnoty proudu a napětí jednotlivých fází stroje, celkový proud a napětí a aktuální spotřebu energie (Obr. 66).

Online data		Energie	
L1	+0,00 A +0,00 U	E_s	0,00 VAh
L2	+0,00 A +0,00 U	E_p	0,00 Wh
L3	+0,00 A +0,00 U	E_q	0,00 varh
Σ	+0,000 A +0,000 U	Výkony	

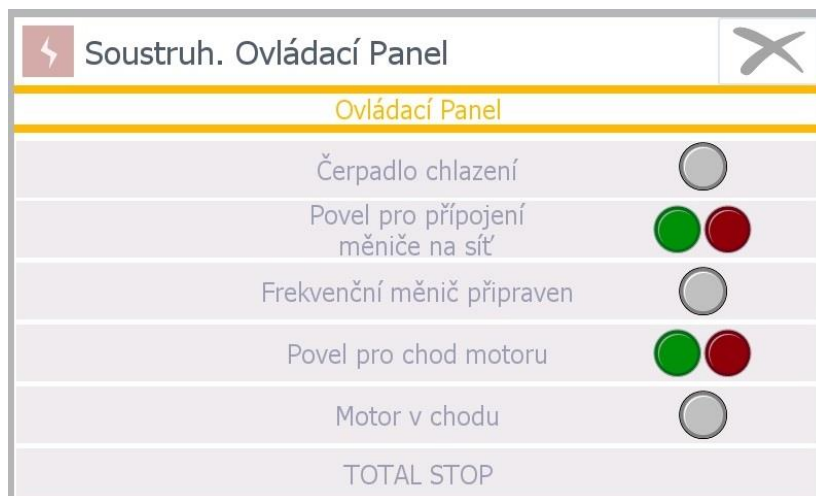
Obr. 66 Obrazovka rozšířených parametrů frézky

Zmačknutím tlačítka *Výkony* je otevřená obrazovka, kde jsou sledovány aktuální výkony stroje (Obr. 67).

	P [W]	Q [VAr]	S [VA]
L1	+0,00	+0,000	+0,00
L2	+0,00	+0,00	+0,00
L3	+0,00	+0,00	+0,00
Σ	+0,00	+0,00	+0,00

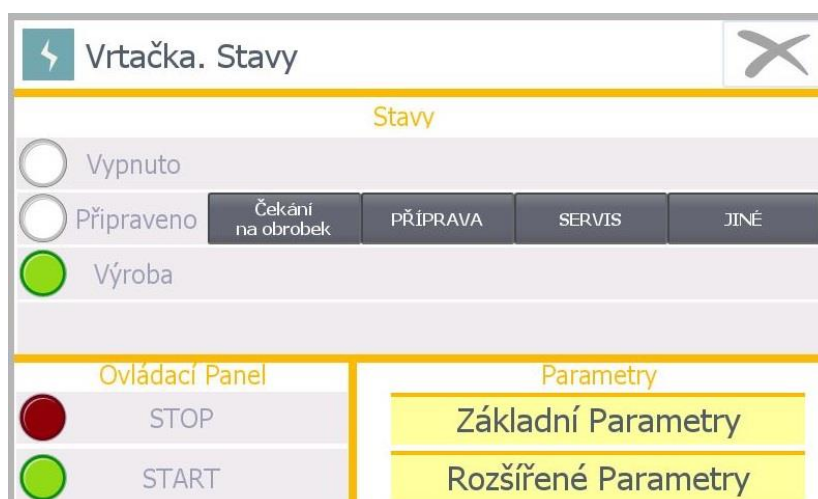
Obr. 67 Výkony frézky

Obrazovky frézky a soustruhu jsou téměř stejné. Rozdíl je na obrazovce stavů soustruhu, kde je tlačítko *Ovládací panel*, otevírající obrazovku s LED indikátory, jež duplikují ovládací panel, umístěný na skříni soustruhu (Obr. 68).



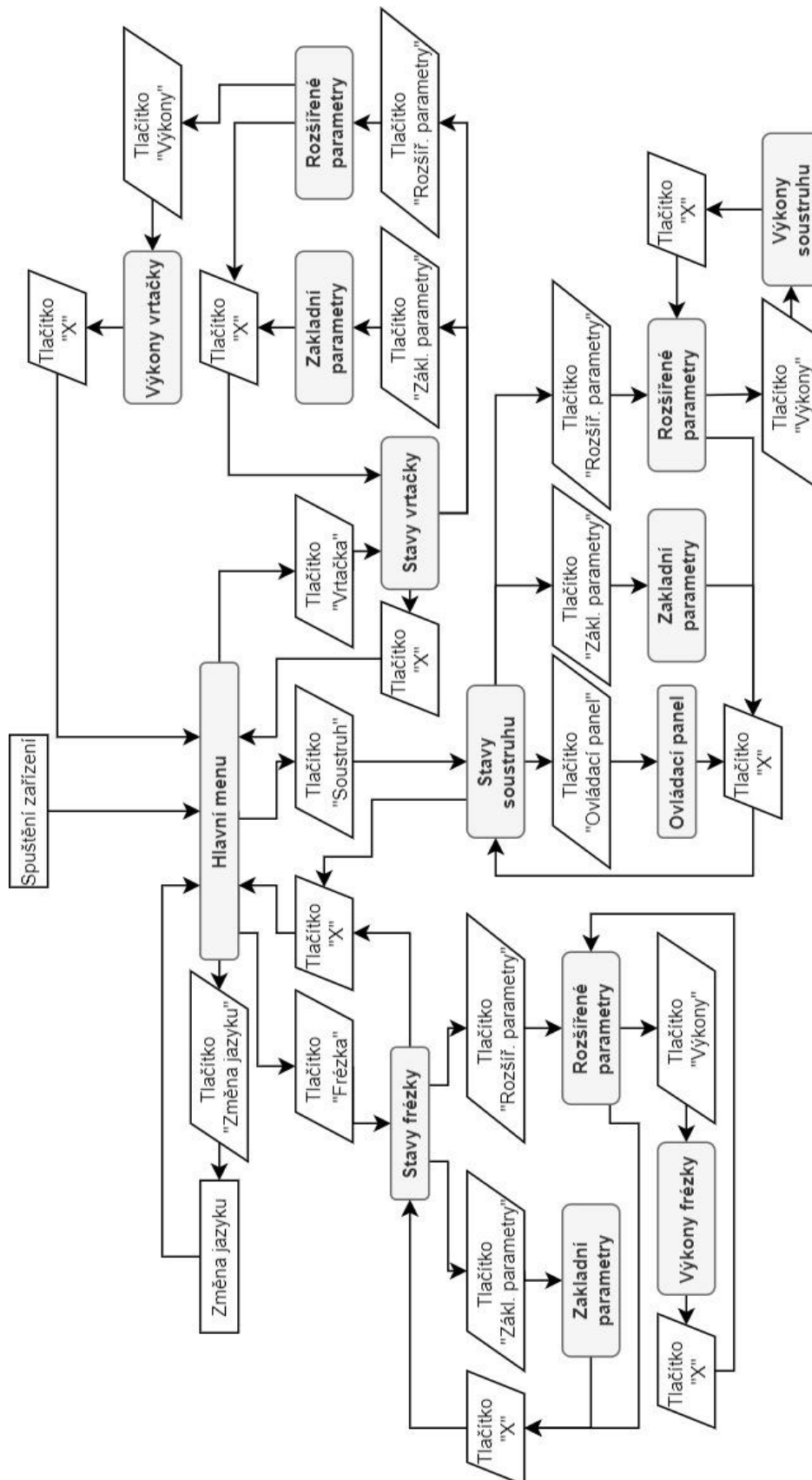
Obr. 68 Obrazovka ovládacího panelu soustruhu

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, vrtačka má pouze jedno tlačítko zapnutí/vypnutí stroje a nemá tlačítko *Total Stop*. Kvůli tomu program neobsahuje stav *Alarm* a příslušné uživatelské stavy (Obr. 69). Ostatní obrazovky vrtačky jsou stejné.



Obr. 69 Obrazovka stavů vrtačky

Diagram přechodů mezi obrazovkami v ovládacím panelu HMI je uveden na následujícím obrázku.

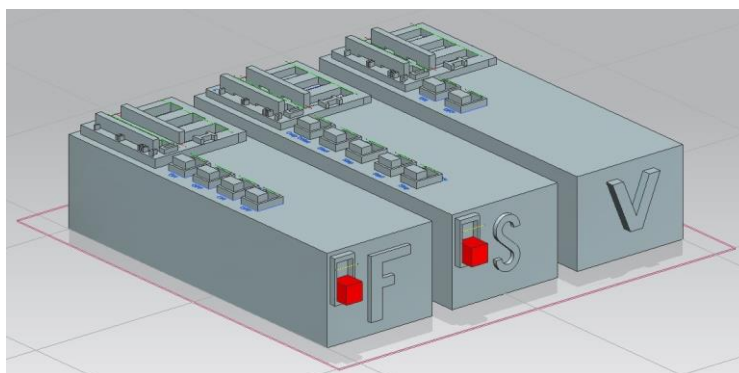


Obr. 70 Diagram přechodů mezi obrazovky

## 6. Tvorba virtuálního modelu pracoviště

Tvorba modelu pracoviště probíhala v CAD modulu programu NX 12.0 od firmy Siemens. Jednotlivé funkční geometrie modelů strojů byly zjednodušeny. Důraz byl kladen na rozmístění jednotlivých snímačů a spínačů tak, aby bylo docíleno jednoduchého snímání potřebných hodnot.

Model pracoviště obsahuje tři modely strojů. Každý model má na boční straně písmeno definující stroj: F – frézka, S – soustruh, V – vrtačka (Obr. 71).



Obr. 71 3D model virtuálního pracoviště

Následně byl 3D model spuštěn v modulu MCD, který implementuje vytvořené modely do tvorby simulace. MCD umožňuje vytvoření vzhledu a kinematiky stroje, rozmístění senzorů, pohonů a následně umožňuje zprovoznění chování stroje na základě řídicího kódu. Hotový virtuální model lze v MCD řídit pomocí na sebe navazujících časově závislých operací, nebo pomocí řízení založeného na vzniklých událostech.

Prvním krokem v MCD bylo přiřazení fyzických vlastností jednotlivým prvkům modelů. K tomu byla použita funkce *Rigid body*, která přiřazuje objektu vlastnosti tuhého tělesa. V dialogu *Rigid body* lze zvolit hmotnost objektu, umístění těžiště a momenty setrvačnosti v jednotlivých osách. Bylo zvoleno automatické přiřazení těchto hodnot, jelikož model pracoviště je určen pro sběr a zpracování dat pomocí PLC a ne sledování dynamických vlastností tohoto modelu. Výsledkem je seznam tuhých těles, které jsou připraveny pro následné přiřazení kolizních vlastností, definující vzájemnou součinnost těchto jednotlivých těles. K tomu se používá funkce *Collision body*. V dialogu funkce je nutné vybrat povrchy tělesa, ke kterým jsou přiřazovány kolizní vlastnosti. Je v tomto dialogu možnost volby tvaru kolizní vrstvy. Byla vybrána možnost *mesh*, která nejvěrněji kopíruje vybrané povrchy.

Každý model stroje obsahuje sadu prvků emulující spínače, jež jsou potřebné pro simulaci napětí a proudů reálných strojů a pro simulaci stisknutí tlačítek na ovládacích panelech. Na každý model byly umístěny třífázové spínače proudu a napětí, počet spínačů pro simulaci ovládacích panelů u každého stroje se liší. Model frézky má spínače *zapnutí/vypnutí* stroje a *zapnutí/vypnutí* zrychleného pohybu stolu. Model soustruhu obsahuje spínač *zapnutí/vypnutí* čerpadla chlazení, tlačítka povelu připojení měniče na

síť (*Start a Stop*) a tlačítka povelu pro chod motoru (*Start a Stop*). Na boční stranu modelu frézky a soustruhu byly umístěny tlačítka *Total Stop*.

Po přiřazení kolizních vlastností tělesům byly definovány kinematické vazby jednotlivých prvků. Pro každý model stroje byla použita funkce *Fixed Joint*, která vybraný model pevně zavazbí na zvoleném místě.

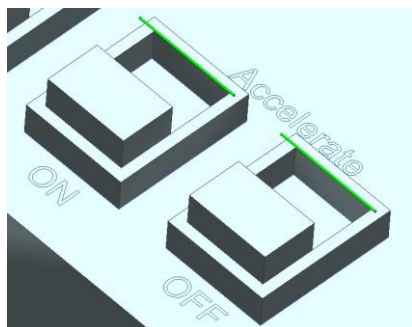
Pro všechny spínače, které jsou pohyblivými prvky, byla použita funkce *Sliding Joint*.

V dialogu této funkce je nutné vybrat jedno těleso, které má vykonávat posuvný pohyb a druhé těleso, vůči kterému se první těleso bude pohybovat. [28]

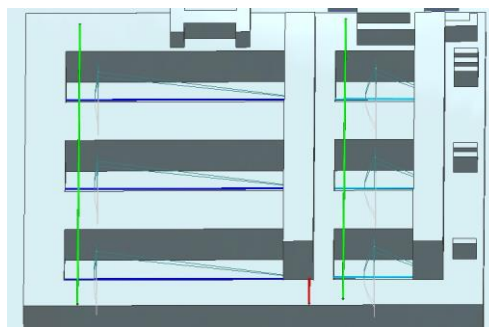
Ovládaní spínačů se provádí za běhu simulace rovněž v modulu MCD. K ovládaní byla použita funkce *Position Control*. V dialogu této funkce je nutné vybrat *Sliding Joint* příslušného spínače a nastavit jeho maximální zrychlení přemístění.

## 6.1. Simulace senzorů

Simulace senzorů probíhala v modulu MCD. Pro realizace simulaci zmačknutí tlačítek na ovládacích panelech strojů byly přidány zelené závory tvořící senzory (*Obr. 72*). Při protnutí spínačem závory sensor mění hodnotu z FALSE na TRUE. K detekci protnutí zeleného paprsku byla použita funkce *Collision Sensor* pro každý spínač na každém stroji.



Obr. 72 Umístění světelných závor



Obr. 73 Senzory měření proudu a napětí

Spínače napětí a proudů umožňují nastavovat požadované hodnoty. K tomu byla použita funkce *Distance Sensor* (*Obr. 73*).

Při přemístění spínače sensor detekuje změnu vzdálenosti a definuje měřenou hodnotu v závislosti na rozsahu a jednotkách. Z tohoto důvodu je v dialogu této funkce nutné zvolit druh měřící veličiny, nastavit hodnoty dolní a horní meze této veličiny a její jednotky.

Rozsah měření napětí frézky, soustruhu a vrtačky byl nastaven v rozmezí 0–380 V, rozsah proudu frézky je 0–9 A. Rozsah senzorů proudu soustruhu je 0–12 A, rozsah měření senzorů proudu vrtačky byl nastaven v rozmezí 0–2 A.

Jednotlivé spínače každého modelu stroje jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obr. 74 Spínače modelu pracoviště

## 6.2. Tvorba signálů pro virtuální PLC

Tvorba signálů pro virtuální PLC probíhala v modulu MCD. Signály byly vytvořeny pomocí funkce *Signal Adapter*. V dialogu této funkce se vygenerují požadované signály, přiřadí se jim datový typ a určí se, zda se jedná o vstup nebo výstup z MCD. V této práci každý signál je výstupní – je třeba sbírat data z modelu pracoviště a ne ovládat model pomocí PLC.

Signály propojené s funkcemi *Collision Sensor* budou do PLC vysílat informaci o koncových pozicích spínačů proudů a napětí, stlačení tlačítek na ovládacích panelech a tlačítek *TOTAL STOP*. Signály propojené s funkcemi *Distance Sensor* budou do PLC vysílat číselné hodnoty napětí a proudů při změně pozic příslušných spínačů.

Všechny signály jsou typu BOOL, výjimkou jsou signály pro spínače napětí a proudů strojů, které mají typ DOUBLE. V Tab. 16 jsou uvedeny všechny potřebné signály pro následné propojení s virtuálním PLC.





Tab. 16 Seznam signálu pro PLC

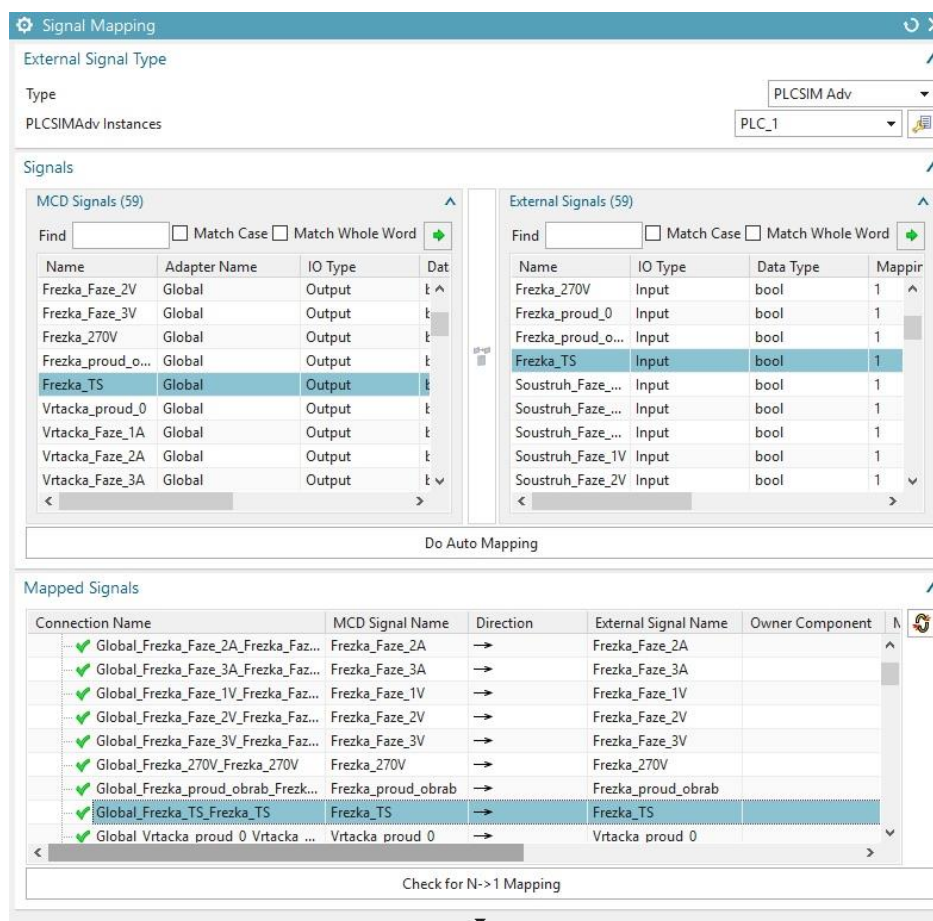
Signál	Popis	Datový typ	I/O	I/O PLC
<b>Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV</b>				
Frezka_1A	Proud 1. fáze frézky	double	output	%ID102
Frezka_2A	Proud 2. fáze frézky	double	output	%ID106
Frezka_3A	Proud 2. fáze frézky	double	output	%ID110
Frezka_1V	Napětí 1. fáze frézky	double	output	%ID114
Frezka_2V	Napětí 2. fáze frézky	double	output	%ID118
Frezka_3V	Napětí 3. fáze frézky	double	output	%ID122
<i>Frezka_380V</i>	<i>Max. pozice spínače napětí frézky</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I0.6</i>
<i>Frezka_Proud_0</i>	<i>Proud frézky je 0</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I0.7</i>
<i>Frezka_Proud_Obrab</i>	<i>Maximální proud frézky</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I1.0</i>
Frezka_TS	Tlačítko Total Stop frézky	Bool	output	%I1.1
Frezka_ON	Tlačítko ON frézky	Bool	output	%I5.0
Frezka_OFF	Tlačítko OFF frézky	Bool	output	%I5.1
Frezka_AccelON	Zrychlený pohyb je zapnutý	Bool	output	%I5.2
Frezka_AccelOFF	Zrychlený pohyb je vypnutý	Bool	output	%I5.3
<b>Univerzální hrotový soustruh TOS SV 18 RD</b>				
Soustruh_1A	Proud 1. fáze soustruhu	double	output	%ID202
Soustruh_2A	Proud 2. fáze soustruhu	double	output	%ID206
Soustruh_3A	Proud 3. fáze soustruhu	double	output	%ID210
Soustruh_1V	Napětí 1. fáze soustruhu	double	output	%ID214
Soustruh_2V	Napětí 2. fáze soustruhu	double	output	%ID218
Soustruh_3V	Napětí 3. fáze soustruhu	double	output	%ID222
<i>Soustruh_380V</i>	<i>Max. pozice spínače napětí soustruhu</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I2.0</i>
Soustruh_CerpChlaz	Tlačítko zapnutí čerpadla chlazení	Bool	output	%I2.1
Soustruh_PovelMenStart	Tlačítko pro povel připojení měniče na síť (Start)	Bool	output	%I2.2
Soustruh_PovelMenStop	Tlačítko pro povel připojení měniče na síť (Stop)	Bool	output	%I2.3
Soustruh_PovelMotStart	Tlačítko pro povel pro chod motoru (Start)	Bool	output	%I2.4
Soustruh_PovelMotStop	Tlačítko pro povel pro chod motoru (Stop)	Bool	output	%I2.5
<i>Soustruh_proud_0</i>	<i>Proud soustruhu je 0</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I2.6</i>
<i>Soustruh_proud_obrab</i>	<i>Maximální proud soustruhu</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I2.7</i>
Soustruh_TS	Tlačítko Total Stop soustruhu	Bool	output	%I3.0
<b>Stojanová vrtačka TOS V 20 A</b>				
Vrtacka_1A	Proud 1. fáze vrtačky	double	output	%ID302
Vrtacka_2A	Proud 2. fáze vrtačky	double	output	%ID306
Vrtacka_3A	Proud 2. fáze vrtačky	double	output	%ID310
Vrtacka_1V	Napětí 1. fáze vrtačky	double	output	%ID314
Vrtacka_2V	Napětí 2. fáze vrtačky	double	output	%ID318
Vrtacka_3V	Napětí 3. fáze vrtačky	double	output	%ID322
<i>Vrtacka_380V</i>	<i>Max. pozice spínače napětí vrtačky</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I3.7</i>
Vrtacka_ON	Tlačítko ON vrtačky	Bool	output	%I4.3
Vrtacka_OFF	Tlačítko OFF vrtačky	Bool	output	%I4.4
<i>Vrtacka_proud_0</i>	<i>Proud vrtačky je 0</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I4.0</i>
<i>Vrtacka_proud_obrab</i>	<i>Maximální proud vrtačky</i>	<i>Bool</i>	<i>output</i>	<i>%I4.1</i>

Signály maximálních a minimálních proudů a napětí strojů jsou pomocné signály, které byly zavedeny pouze pro simulační model. Hodnota *TRUE* signálů minimálních hodnot říká, že spínač se nachází v počáteční poloze. Hodnota *TRUE* signálů maximálních hodnot říká, že spínač je v poloze maximální hodnoty.

### 6.3. Připojení virtuálního modelu a PLC

Propojení signálů virtuálního modelu a PLC běžícího v programu PLCSIM Advanced V2.0 bylo provedeno v programu NX V12 v modulu MCD.

K samotnému propojení signálů byla použita funkce *Signal Mapping* (Obr. 75). V dialogu této funkce byla vybrána možnost *PLCSIMAdv* a jako její instance byla vybrána *PLC\_1*. V další části dialogu se na levé straně vyskytují vytvořené signály modelu pracoviště v modulu MCD a na pravé straně jsou importované signály z virtuálního PLC. Vybráním jednoho signálu z obou stran lze ručně vytvořit vzájemné propojení vstupního a výstupního signálu. Aby bylo možné signály propojit, musí být stejného datového typu, opačného IO typu a stejného názvu. Zmačknutím tlačítka *Do Auto Mapping* se provádí automatické propojení všech signálů mezi modelem a virtuálním PLC. Potom se vytvořená vazba objeví ve spodní části dialogu s názvem *Mapped Signals*. V této části dialogového okna lze zkontrolovat správnost propojení zmačknutím tlačítka *Check for N->1 Mapping* a popřípadě zrušit nepotřebné propojení. [28]



Obr. 75 Propojení signálu modelu s virtuálním PLC

## 6.4. Testování simulace

Testování simulace probíhalo na notebooku Lenovo Yoga S730, s procesorem Intel Core i5-8265O o frekvenci 1,60GHz, systémovou paměť 16GB RAM, grafickou kartou Intel UHD Graphics 620 a operačním systémem Windows Home 10.

Po spuštění virtuálního PLC s nahaným programem se spouští simulace v prostředí NX V12 v modulu MCD pomocí příkazu *Play*. K ovládání spínačů a tlačítek je nutné přidat do kategorie *Runtime Inspector (Obr. 76)* všechny funkce *Position Control* z kategorie *Physics Navigator*. Následně, po spuštění virtuálního modelu v *Runtime Inspector* je změnou hodnoty potřebného prvku v řádku *position* provedena změna jeho pozice.

Při ověření ovládání spínačů a tlačítek bylo zjištěno, že pohyby spínačů probíhají nerovnoměrné a v koncových polohách kmitají v rozmezí desetin milimetru. To je dáno nepřesnostmi kinematických vazeb mezi pohyblivou částí prvku a nepohyblivou částí, vůči které se koná pohyb. Nepřesností neznačné ovlivňují výstupní hodnoty a proto pro přesné definování stavů strojů byla provedena kalibrace vstupních dat v programu PLC. Výsledkem je bezproblémový průběh simulace, změnou pozic spínačů se generují výstupní hodnoty vstupující do PLC, který zpracovává data a přiřazuje stavy strojům na základě těchto dat.

Physics	Value
+ 20Vrtacka_OFF	
+ 19Vrtacka_ON	
+ 17Vrtacka-proud_control	
- 16Vrtacka-napeti_control	
↳ axis	Vrtacka_napeti_...
↳ speed	1000.000000
↳ position	1.000000
↳ active	true
↳ limit acceleration	true
↳ acceleration	1000.000000
↳ deceleration	1000.000000
↳ limit jerk	false
↳ jerk	0.000000
↳ overload	false
↳ force	
↳ x	0.000000
↳ y	0.000000
↳ z	0.000000
+ 15Soustruh-TotalStop_control	
+ 14Soustruh-Chod-Mot-Stop...	
+ 13Soustruh-Chod-Mot-Start...	
+ 12Soustruh-Menic-sit-Stop...	
+ 11Soustruh-Menic-sit-Start...	
+ 10Soustruh-CerpChlaz_cont...	
+ 9Soustruh-proud_control	
+ 8Soustruh-napeti_control	
+ 7Frezka_AccelOFF	
+ 6Frezka_AccelON	

Obr. 76 Runtime Inspector

## 6.5. Publikace stavů provozu strojů

K odesílání dat z virtuálního pracoviště prostřednictvím *OPC UA* serveru nadřazenému systému je zapotřebí zapnout simulace virtuálního modelu pracoviště v MCD modulu. Následně je nutné zapnout v PLCSIM Advanced instance *PLC\_1* s nahaným programem. Dalším krokem je propojení MCD a PLCSIM a spouštění klientu *UAexpert*, ve kterém je třeba aktivovat komunikaci se serverem. OPC UA server obsahuje velkou řadu proměnných. Tyto proměnné obsahují informace o stavech a chování strojů, data z PLC a další.

V levé části hlavního okna *UAexpert* je pak nutné ze složky *Memory* přetáhnout proměnné, které jsou potřebné ke sledování do okna *Data Access View* (Obr. 77) v *UAexpert*.

Při výběru proměnných byly vybrány tři typy proměnných. První skupina proměnných typu *FLOAT* zobrazuje parametry stroje (proudy, výkony, napětí a energií). Ve druhé skupině jsou proměnné typu *INT*, které zobrazují stavy strojů a příslušné uživatelské stavy. Třetí skupina obsahuje proměnné typu *BOOL*, které jsou zaměřeny na sledování stavu tlačítek *Total Stop* na ovládacích panelech strojů. V těchto případech se tedy jedná o zobrazení aktuálních dat.

#	Server	Node Id	Display Name	Value	Datatype	Statuscode
1	Server_UAexpert	NS3 String F_TotalCurrent"	F_TotalCurrent	2.93149	Float	Good
2	Server_UAexpert	NS3 String F_TotalVoltage"	F_TotalVoltage	380	Float	Good
3	Server_UAexpert	NS3 String F_ActualActivePower"	F_ActualActivePower	5.58906	Float	Good
4	Server_UAexpert	NS3 String F_PrumernyVykon"	F_PrumernyVykon	5.59702	Float	Good
5	Server_UAexpert	NS3 String F_ActualActiveEnergy"	F_ActualActiveEnergy	3.37437	Float	Good
6	Server_UAexpert	NS3 String F_PrumernaEnergie"	F_PrumernaEnergie	2.50908	Float	Good
7	Server_UAexpert	NS3 String F_TOTALSTOP"	F_TOTALSTOP	false	Boolean	Good
8	Server_UAexpert	NS3 String F_MachineState"	F_MachineState	3	Int16	Good
9	Server_UAexpert	NS3 String F_MachineState_details"	F_MachineState_details	0	Int16	Good
10	Server_UAexpert	NS3 String S_TotalCurrent"	S_TotalCurrent	0	Float	Good
11	Server_UAexpert	NS3 String S_TotalVoltage"	S_TotalVoltage	0	Float	Good
12	Server_UAexpert	NS3 String S_ActualActivePower"	S_ActualActivePower	0	Float	Good
13	Server_UAexpert	NS3 String S_PrumernyVykon"	S_PrumernyVykon	0	Float	Good
14	Server_UAexpert	NS3 String S_ActualActiveEnergy"	S_ActualActiveEnergy	0	Float	Good
15	Server_UAexpert	NS3 String S_PrumernaEnergie"	S_PrumernaEnergie	0	Float	Good
16	Server_UAexpert	NS3 String S_TOTALSTOP"	S_TOTALSTOP	true	Boolean	Good
17	Server_UAexpert	NS3 String S_MachineState"	S_MachineState	4	Int16	Good
18	Server_UAexpert	NS3 String S_MachineState_Details"	S_MachineState_Details	41	Int16	Good
19	Server_UAexpert	NS3 String V_TotalCurrent"	V_TotalCurrent	0	Float	Good
20	Server_UAexpert	NS3 String V_TotalVoltage"	V_TotalVoltage	378	Float	Good
21	Server_UAexpert	NS3 String V_ActualActivePower"	V_ActualActivePower	0	Float	Good
22	Server_UAexpert	NS3 String V_PrumernyVykon"	V_PrumernyVykon	0	Float	Good
23	Server_UAexpert	NS3 String V_ActualActiveEnergy"	V_ActualActiveEnergy	0	Float	Good
24	Server_UAexpert	NS3 String V_PrumernaEnergie"	V_PrumernaEnergie	0	Float	Good
25	Server_UAexpert	NS3 String V_MachineState"	V_MachineState	2	Int16	Good
26	Server_UAexpert	NS3 String V_MachineState_Details"	V_MachineState_Details	21	Int16	Good

Obr. 77 Publikace stavů a hodnot strojů v *UAexpert*

Z předchozího obrázku je možné zjistit, že frézka se nachází ve stavu výroby, to je zřejmé z proměnné *F\_MachineState* o hodnotě 3. U soustruhu bylo zmáčknuté tlačítko *Total Stop*, uživatelským stavem v tomto případě je *Porucha*, tento stav signalizuje proměnná *S\_MachineState\_Details* o hodnotě 41. Vrtačka se nachází ve stavu *Připraveno*, uživatelský stav oznamuje *Čekání na obrobek*.

V Tab. 17 jsou uvedeny proměnné, určené pro zjištění stavů strojů.

*Tab. 17 Datový model uživatele OPC UA*

<b>Proměnná</b>	<b>Popis</b>	<b>Typ</b>	<b>I/O</b>
F_TotalCurrent	Proud frézky [A]	REAL	%MD214
F_TotalVoltage	Napětí frézky [V]	REAL	%MD26
F_ActualActivePower	Aktuální činný výkon frézky [kW]	REAL	%MD190
F_PrumernyVykon	Průměrná hodnota činného výkonu [kW]	REAL	%MD222
F_ActualActiveEnergy	Aktuální činná energie frézky [kWh]	REAL	%MD194
F_PrumernaEnergie	Průměrná hodnota činné energie frézky [kWh]	REAL	%MD218
F_TOTALSTOP	Tlačítko TS frézky	BOOL	%M38.1
F_MachineState	Stavy frézky	INEGER	%MW24
F_MachineState_Details	Uživatelské stavy frézky	INTEGER	%MW150
S_TotalCurrent	Proud soustruhu [A]	REAL	%MD68
S_TotalVoltage	Napětí soustruhu [V]	REAL	%MD64
S_ActualActivePower	Aktuální činný výkon soustruhu [kW]	REAL	%MD198
S_PrumernyVykon	Průměrná hodnota činného výkonu soustruhu [kW]	REAL	%MD230
S_ActualActiveEnergy	Aktuální činná energie soustruhu [kWh]	REAL	%MD202
S_PrumernaEnergie	Průměrná hodnota činné energie soustruhu [kWh]	REAL	%MD226
S_MachineState	Stavy soustruhu	INEGER	%MW62
S_MachineState_Details	Uživatelské stavy soustruhu	INTEGER	%MW250
S_TOTALSTOP	Tlačítko TS soustruhu	BOOL	%M38.3
V_TotalCurrent	Proud vrtačky [A]	REAL	%MD108
V_TotalVoltage	Napětí vrtačky [V]	REAL	%MD106
V_ActualActivePower	Aktuální činný výkon vrtačky [kW]	REAL	%MD206
V_PrumernyVykon	Průměrná hodnota činného výkonu vrtačky [kW]	REAL	%MD244
V_ActualActiveEnergy	Aktuální činná energie vrtačky [kWh]	REAL	%MD210
V_PrumernaEnergie	Průměrná hodnota činné energie vrtačky [kWh]	REAL	%MD240
V_MachineState	Stavy vrtačky	INEGER	%MW102
V_MachineState_Details	Uživatelské stavy vrtačky	INTEGER	%MW350

## 7. Ekonomické posouzení

System bude aplikován na konvenčních strojích. Vzhledem k tomu, že použité konvenční stroje byly vyrobeny v minulém století, v obchodech se již neprodávají. Ceny strojů byly vzaty z webových stránek online bazarů a byly zprůměrovány (Tab. 18).

Tab. 18 Ceny konvenčních strojů

Stroj	Cena [Kč]
Tříosá frézka Heckert FUW 250/IV	100 000
Hrotový soustruh TOS SV 18 RD	65 000
Stojanová vrtačka TOS V20A	20 000
<b>CELKEM</b>	<b>185 000</b>

Seznam potřebných komponent pro realizace systému řízení a sledování provozu je uveden v následující tabulce. Ceny byly vzaty z webových stránek Siemens v roce 2020 a se můžou lišit.

Tab. 19 Systém řízení výroby a sledování provozu

Jednotka	Artikl	Cena [Kč]
CPU 1512SP F-1 PN for ET 200SP	6ES7512-1SK01-0AB0	27 000
AI ENERGY METER 480VAC ST	6ES7134-6PA20-0BD0	3 x 5 500
DI 8x 24V DC Standard	6ES7131-6BF01-0BA0	1 200
AI 2 X U/I 2-,4-WIRE	6ES7134-6HB00-0DA1	6 700
SERVERMODULE FOR ET 200SP	6ES7193-6PA00-0AA0	1 000
KTP700 BASIC PN	6AV2123-2GB03-0AX0	16 700
SCALANCE XB005	6GK5005-0BA00-1AB2	2 800
3NJ6920-3BD11	3NJ69203BD11	9 x 1 200
BU20-P12+A0+0B	6AG1193-6BP00-7BD0	3 x 1 100
BU15-P16+A0+2B	6AG1193-6BP00-7BA0	2 x 900
<b>CELKEM</b>		<b>89 600</b>

Projekt bude realizován přibližně jeden měsíc. Tým, který tento projekt bude realizovat, bude čítat dva lidi – programátora a elektromontéra. Celková odhadovaná cena práce je uvedena v Tab. 20.

Tab. 20 Cena práce

Pozice	Hodinová čista mzda [Kč/hod]	Odpracované hodiny [hod]	Náklady [Kč]
Programátor	800	150	120 000
Elektromontér	600	80	48 000
<b>CELKEM</b>			<b>168 000</b>

Cena třech konvenčních strojů **185 000 Kč**  
Celková cena realizace systému na strojích **258 000 Kč**

Ve finančním porovnání těchto předpokládaných výdajů s ceny konvenčních strojů je vidět, že realizace systému bude dražší o 30% než cena za všechny stroje, a proto systém může být atraktivní pro velké firmy, které mají více strojů.

## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo připravit interface tří konvenčních strojů (soustruh, frézka, stojanová vrtačka) pomocí PLC Simatic S7-1500 a rozhraní OPC-UA. Konkrétně se jednalo o přípravu programu pro průmyslové PLC, které sbírá data z konvenčních strojů, na základě těchto dat vyhodnotí aktuální stavy strojů a sleduje energetickou náročnost. Vyhodnocená data se pak posílají nadřazenému systému přes OPC UA server. Rešeršní část se zabývá problematikou sběru dat z konvenčních strojů prostřednictvím průmyslového PLC a rozhraní OPC UA. V rešerši byly shrnuty možnosti sběru dat z konvenčních strojů pomocí externích čidel, které pak posílají data PLC. Konkrétně se jednalo o připojení senzorů proudu, pracujících na základě Halova jevu. Dále byl proveden rozbor průmyslových PLC, druhů topologií sítí a programovacích jazyků. Další částí rešerše je kapitola, věnující se standardu OPC, jeho rozdělení a principům fungování. Hlavní pozornost je věnována specifikaci OPC UA, umožňující realizovat přenos informací mezi podnikovými systémy, monitorovacími zařízeními a senzory, které interagují s daty v reálném čase. Hlavní výhodou UA je využití pouze jednoho komunikačního rozhraní mezi všemi systémy. V závěrečné části rešerše byla popsána komunikace mezi OPC UA serverem, který je součástí průmyslového PLC, a klientem. Návrhová část se zabývá definováním vybavení strojů, výběrem komponent pro stanici SIMATIC ET200SP, která slouží pro sběr dat, zpracování dat a definování jednotlivých stavů strojů. Základními stavy strojů jsou stavy *Vypnuto*, *Čekání*, *Výroba* a *Alarm*. Výsledkem této části je návrh koncepčního schématu propojení systému sledování provozu se stroji.

V programovacím prostředí Siemens TIA Portal V15.0 bylo provedeno vytvoření HW konfigurace, nastavení a aktivace OPC UA serveru, vytvoření kompletního PLC programu včetně vytvoření 14 obrazovek uživatelského HMI rozhraní. Simulace virtuálního PLC proběhla v programu Siemens PLCSIM Advanced V2.0.

Testovací provoz probíhal na třech virtuálních strojích, realizovaných v programovém prostředí Siemens NX V12. V CAD modulu programu byly vytvořeny zjednodušené modely strojů, na kterých byly následně v modulu MCD definovány všechny prvky spínačů a snímačů. Výsledkem je virtuální model, který se ovládá v modulu MCD. Virtuální modely v této práci nahrazují reálné stroje. Pomocí vytvořeného virtuálního modelu a simulovaného PLC bylo uskutečněno virtuální zprovoznění, které ověřilo funkčnost systému.

Závěrečnou kapitolou této práce je ekonomické posouzení. Po finančním porovnání předpokládaných výdajů za celý systém s cenou třech konvenčních strojů je zjištěno, že realizace systému může být atraktivní pro velké firmy, které mají více strojů.

Výstupem této práce je připravený systém sledování provozu třech konvenčních strojů, který na základě sbíraných dat vyhodnocuje stavy strojů a publikuje je jejich nadřazenému systému.



Výstup dat je možný dvěma způsoby. První možnost je sledování aktuálního stavu výroby prostřednictvím HMI panelu. Jeho výhodou je možnost přidání informace o důvodu nečinnosti stroje pomocí uživatelských stavů. Druhým způsobem jsou online publikace dat, které jsou poskytována do nadřazeného systému přes OPC-UA server. Systém sledování provozu by měl v budoucnu sloužit k monitorování stavů reálných konvenčních strojů v laboratoři Průmyslové výroby a automatizace (IPA) v rámci ČVUT CIIRC.





## Seznamy

### Seznam obrázků

Obr. 1 Ampérmetr na ovládacím panelu frézky .....	15
Obr. 2 Ampérmetr a otáčkoměr na ovládacím panelu soustruhu .....	15
Obr. 3 Senzor proudu s Halloovou sondou [9] .....	16
Obr. 4 Blokové schéma připojení senzoru k modulu měření energie [10].....	16
Obr. 5 Siemens SENTRON PAC3200 [11] .....	17
Obr. 6 Optický lineární snímač polohy [13] .....	17
Obr. 7 Displej pro zobrazení poloh jednotlivých os frézky [14].....	17
Obr. 8 SIMATIC ET 200SP, TM POSINPUT 1 [15] .....	18
Obr. 9 Mechanický koncový spínač [52] .....	18
Obr. 10 Induktivní senzor přiblížení [53] .....	19
Obr. 11 Topologie sběrnice.....	20
Obr. 12 Topologie hvězda .....	21
Obr. 13 Topologie kruh .....	22
Obr. 14 Topologie strom.....	22
Obr. 15 Použití OPC klientů a serverů [24] .....	24
Obr. 16 Klasické standardy rozhraní OPC [24] .....	25
Obr. 17 Objekty vytvořené OPC klientem pro přístup k datům [26] .....	25
Obr. 18 Struktura OPC DA v.3.0 [26] .....	26
Obr. 19 Objekty vytvořené OPC klientem pro příjem událostí [23] .....	26
Obr. 20 OPC UA [27] .....	27
Obr. 21 Základ OPC UA [26] .....	28
Obr. 22 Architektura vrstev OPC UA [26] .....	29
Obr. 23 OPC UA Specifikace [26] .....	29
Obr. 24 UMATI [36] .....	31
Obr. 25 OPC server [29] .....	32
Obr. 26 Propojení bez OPC serveru [30] .....	32
Obr. 27 Propojení s OPC serverem [30] .....	32
Obr. 28 OPC klient [29].....	33
Obr. 29 Hlavní okno klientu UAexpert [32] .....	34
Obr. 30 Návrh základního schématu systému napojení konvenčních strojů s PLC .....	35
Obr. 31 Univerzální konzolová tříosá frézka Heckert FUW 250/IV .....	36
Obr. 32 Ovládací panel frézky a zařízení na sledování pohybů os BC3001 .....	36
Obr. 33 Soustruh TOS Trenčín SV18RD.....	37
Obr. 34 Frekvenční měnič Emerson MP45A4R .....	37
Obr. 35 Ovládací skříň pohonu včetně soustruhu .....	37
Obr. 36 Ovládací panel hlavního pohonu soustruhu .....	38
Obr. 37 Sloupová vrtačka TOS V20A .....	38
Obr. 38 Stanice Siemens SIMATIC ET 200SP [40].....	39
Obr. 39 Siemens PLC ET 200SP CPU 1512SP-1 PN [41] .....	39
Obr. 40 Modul měření energie Siemens AI Energy Meter 480VAC ST [42].....	40
Obr. 41 Blok sběrnice Siemens Base Unit BU20-P12+A0+0B [43] .....	40
Obr. 42 Modul digitálních vstupů Siemens DI 8x24VDC ST [44].....	41
Obr. 43 Blok sběrnice Siemens Base Unit BU15-P16+A0+2B [45] .....	41
Obr. 44 Modul analogových vstupů Siemens AI 2xU/I 2-4 wire HS [46].....	41
Obr. 45 Senzor proudu Siemens 3NJ6920-3BD11 [47].....	41
Obr. 46 Ovládací panel Siemens KTP700 Basic [48].....	41
Obr. 47 Koncepční schéma propojení strojů s průmyslovým PLC .....	43
Obr. 48 Druhy SW v TIA Portal [49]] .....	44



Obr. 49 Metoda Software in Loop [28].....	45
Obr. 50 Konfigurace virtuální sestavy HW systému v programu TIA Portál .....	46
Obr. 51 Připojení karet měření energie s PLC .....	47
Obr. 52 Přehled propojení stanice Simatic ET200SP a HMI.....	47
Obr. 53 Přehled topologií komponent systému.....	47
Obr. 54 Seznam dostupných připojení.....	49
Obr. 55 Rozšířené nastavení .....	50
Obr. 56 Testovací signály .....	51
Obr. 57 Siemens PLCSIM Advanced v.2.0 .....	51
Obr. 58 Rozšířené dialog pro nahrání programu do zařízení v TIA Portal .....	51
Obr. 59 Připojení klientu a serveru v UAexpert .....	52
Obr. 60 Struktura serveru v UAexpert .....	52
Obr. 61 Data Access View v UAexpert .....	52
Obr. 62 Sledování činné energie frézky.....	54
Obr. 63 Úvodní obrazovka ovládacího panelu.....	57
Obr. 64 Obrazovka stavů frézky .....	58
Obr. 65 Obrazovka základních parametrů frézky .....	58
Obr. 66 Obrazovka rozšířených parametrů frézky .....	59
Obr. 67 Výkony frézky .....	59
Obr. 68 Obrazovka ovládacího panelu soustruhu .....	60
Obr. 69 Obrazovka stavů vrtačky .....	60
Obr. 70 Diagram přechodů mezi obrazovky.....	61
Obr. 71 3D model virtuálního pracoviště.....	62
Obr. 72 Umístění světelných závor.....	63
Obr. 73 Senzory měření proudu a napětí .....	63
Obr. 74 Spínače modelu pracoviště .....	64
Obr. 75 Propojení signálu modelu s virtuálním PLC .....	66
Obr. 76 Runtime Inspector.....	67
Obr. 77 Publikace stavů a hodnot strojů v UAexpert.....	68

## Seznam tabulek

Tab. 1 Technické parametry frézky [37].....	36
Tab. 2 Technické parametry soustruhu [38] .....	37
Tab. 3 Technické parametry motorů vrtačky [39] .....	38
Tab. 4 Seznam komponent systému.....	39
Tab. 5 Sbíraná data .....	42
Tab. 6 Uživatelské stavy strojů.....	42
Tab. 7 IP adresa v podsíti.....	47
Tab. 8 Artikly a firmware modulů .....	48
Tab. 9 Nastavení OPC UA serveru .....	49
Tab. 10 Hodnoty proměnné F_MachineState .....	54
Tab. 11 Hodnoty proměnné F_MachineState_Details .....	55
Tab. 12 Hodnoty proměnné S_MachineState .....	56
Tab. 13 Hodnoty proměnné S_MachineState_Details .....	56
Tab. 14 Hodnoty proměnné V_MachineState.....	56
Tab. 15 Hodnoty proměnné V_MachineState_Details .....	57
Tab. 16 Seznam signálu pro PLC .....	65
Tab. 17 Datový model uživatele OPC UA.....	69
Tab. 18 Ceny konvenčních strojů .....	70
Tab. 19 Systém řízení výroby a sledování provozu .....	70
Tab. 20 Cena práce .....	70



## Seznam použité literatury

- [1] MAHNKE, W., S.H.LEITNER a M. DAMM, 2009. OPC Unified Architecture. Springer, 339 s.. ISBN-13: 978-3540688983.; Firemní dokumentace: Siemens [online]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-CZ>
- [2] GUTOROVICH, O. V. Mozhaisky Military Aerospace Academy. Čtvrtá průmyslová revoluce a možné důsledky (přeloženo z ruštiny): Fourth industrial revolution, Industry 4.0, digital technologies, automation, internet of things, specialization.2018,2018(6),1-17
- [3] Klasifikace konvenčních strojů. *Pitermash* [online]. Petrohrad: PiterMash, 2019, 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: [http://www.pitermash.ru/articles/klassifikaciya\\_metalleregushix\\_stanokov](http://www.pitermash.ru/articles/klassifikaciya_metalleregushix_stanokov)
- [4] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3/1*. Scientia. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
- [5] Druhy obráběcích strojů. *Elektronická učebnice* [online]. Olomouc: MŠMT, 2020, 2020 [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1818>
- [6] Jak na data ve výrobních procesech? *System Online* [online]. Datamix Solutions, 2015, 2001-2019, 1-4 [cit. 2019-11-06]. ISSN 1802-615X. Dostupné z: <http://m.systemonline.cz/rizeni-vyroby/jak-na-data-ve-vyrobnich-procesech.htm>
- [7] JINDA, Libor. Technologie automatického sběru dat ve výrobních podnicích pro zvýšení kvality a efektivity logistických procesů. *System Online* [online]. CCB, spol. s r. o.: Minerva Česká republika, 2019, 2011, 1-2 [cit. 2019-11-06]. ISSN 1802-615X. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/technologie-automatickeho-sberu-dat-ve-vyrobnich-podnicich.htm>
- [8] NEČÁSEK, Sláva. *Radiotechnika do kapsy*. Praha 1: SNTL, 1981. Kapitola Základní elektrotechnické vztahy, s. 12.
- [9] GUROV, Alexandr. Zařízení pro automatické měření voltampérových charakteristik. *Technická 4*, Praha 6, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.
- [10] Datasheet AI Energy Meter 480V AC ST. Siemens.com [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7134-6PA20-0BD0>
- [11] Datasheet Siemens SENTRON PAC3200. Siemens.com [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/7KM2111-1BA00-3AA0>
- [12] VLČEK, Ing. Jan a RENISHAW. Lineární optické snímače polohy. *Automa* [online]. Brno: Automa, 2016, 2016, 2006(5), 2 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: [https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/linearni-opticke-snimace-polohy-2006\\_05\\_31121\\_1673/](https://www.automa.cz/cz/casopis-clanky/linearni-opticke-snimace-polohy-2006_05_31121_1673/)
- [13] Datasheet Sterling Sino: Optické pravítko. *Automation24* [online]. Iran, Kum, 2020, 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: [https://www.automation24.ir/media/uploads/files/products/SINO\\_STERLING\\_Series\\_d\\_atasheet.pdf](https://www.automation24.ir/media/uploads/files/products/SINO_STERLING_Series_d_atasheet.pdf)



- [14] Digitální odměřování. Jirka & spol. [online]. Hronov Zbečnick 354: JIRKA, 2020, 2020 [cit. 2020-04-26]. Dostupné z: <https://www.odmerovani.cz/>
- [15] Datasheet SIMATIC ET 200SP, TM POSINPUT 1. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7138-6BA00-0BA>
- [16] Elektromechanické a indukční řadové polohové a polohové spínače. Balluff CZ [online]. Praha: Balluff CZ, 2020, 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <http://www.s-d-a.sk/balluff/pdf/elmech/bns-principy.pdf>
- [17] Bezkontaktní indukční snímače přiblížení. Automatizace HW [online]. Praha: HW server, 2014, 2014 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [18] MICHAEL, J., K. LORZO a B. ESPIO. *Programovatelné kontroléry*. Strojírenství, 1986. ISBN 9789662174137. MICHAEL, J., K. LORZO a B. ESPIO. *Programovatelné kontroléry*. Strojírenství, 1986. ISBN 9789662174137.
- [19] MIŠUREC, Jiří a Petr MLÝNEK. Systémy PLC pro dálkový sběr měřených dat. *ElektroRevue* [online]. Brno: Ústav telekomunikací, FEKT VUT v Brně, 2009, 12.01.2009, , 1-5 [cit. 2019-11-06]. ISSN 1213–1539. Dostupné z: <http://elektrorevue.cz/cz/clanky/komunikacni-technologie/0/systemy-plc-pro-dalkovy-sber-merenych-dat/>
- [20] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. *Broadband Powerline Communications Network design*, ISBN:0-470-85741-2, 2004
- [21] PETROV, I. *Programovatelné kontroléry. Standardní jazyky a techniky programování aplikací*. 1. Moskva: Solon Press, 2004. ISBN ISBN 5-98003-079-4.
- [22] *Automating with STEP 7 in STL and SCL. Siemens Automation: Introduction Language Elements*. Munich, Germany: Siemens, 2020, 2020, 84.
- [23] ARO, Jouni. OPC Day Europe 2017 - OPC UA is the Industry 4.0 Communication. *Prosys OPC* [online]. Espoo, Finland: Bisnode, 2019, 14.06.2017, , 1-4 [cit. 2019-12-23]. Dostupné z: <https://www.prosysopc.com/blog/opc-day-europe-2017/>
- [24] GRIGORIJEV, Anton. OPC standard – cesta k integraci heterogenních systémů: Standard OPC – Integrace Systémů. *ItWeek Průmyslová Automatizace* [online]. SK Press, 11.09.2001, , 1-8 [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <https://www.itweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=59064>
- [25] *Komunikace přes rozhraní OPC UA. Promotic SCADA Visualization Software* [online]. MICROSYS, spol. s r. o., 08.08.2014, 1-3 [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/Subsystems/Comm/OPC/OPCUA.htm>
- [26] OPC Foundation. *The Industrial Interoperability Standard* [online]. Verl. Germany. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z: <https://opcfoundation.org/>
- [27] AUSBERGER, Tomáš. *OPC UA servery a jejich použití pro přenos dat řídicích systémů*. Plzeň, 2015. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Pavel Bald, Ph.D.
- [28] KALINA, Daniel. *Simulace výukových sestav strojů s využitím NX Mechatronics Concept Designer*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT FS. Vedoucí práce Ing. Lukáš Novotný, Ph.D.



- [29] The most important things about OPC. OPC Router: The Communication Middleware. Innovative. Simple. Effective. [online]. Schenefeld, Germany, 2020 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.opc-router.com/what-is-opc-ua/#OPC-Server>
- [30] RŮŽIČKA, David. *Připojení strojů do výrobního informačního systému*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT FS. Vedoucí práce Ing. Jirí Švéda, Ph.D.
- [31] Řešení úloh sledování spotřeby energií. *SIDAT Automation Informatics* [online]. Praha: SIDAT spol. s.r.o, 2019, 2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.sidat.cz/vyrobní-informatika/iem/>
- [32] UaExpert Documentation. UAexpert [online]. Germany: Unified Automation, 2019, 2019 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <http://documentation.unified-automation.com/uaexpert/1.4.2/html/index.html>
- [33] PEŠKA, Robert. Umati – nový machine tool interface na bázi OPC UA. *Automatizace.hw.cz* [online]. HW Group, 2019, 1-3 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/umati-novy-machine-tool-interface-na-bazi-opc-ua.html>
- [34] Open standard Umati, the universal language for machine tools. *Sirris. Driving Industry by Technology*. [online]. Brussel: Celule Brevets, 2019, 18.02.2019, 2019, 1-3 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://www.sirris.be/fr/node/50640>
- [35] J, P. Nové univerzální rozhraní Umati – nová dimenze výroby. *TT. Technický Portal*. [online]. Praha: Business Media CZ, 2019, 23.09.2019, 1-3 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/nove-univerzalni-rozhrani-umati-nova-dimenze-vyroby\\_48066.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/nove-univerzalni-rozhrani-umati-nova-dimenze-vyroby_48066.html)
- [36] Umati: universal machine tool interface. In: *OPC Connect* [online]. OPC Foundation, 2019, October 2019 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://opconnect.opcfoundation.org/2018/10/umati-based-on-opc-ua/>
- [37] *Universal Milling Machine FUW 250/IV* [online]. Leipzig: WMW [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: [https://www.wmwag.com/en/datasheet/0400446\\_WMW+RUHLA-FUW+250IV.pdf](https://www.wmwag.com/en/datasheet/0400446_WMW+RUHLA-FUW+250IV.pdf)
- [38] *Návod k použití hrotového soustruhu TOS Trenčín SV18RD* [online]. Slovensko, 33 s. [cit. 2019.12.04].
- [39] Technická dokumentace pro stroje: Návod k použití vrtačky TOS V20. Průmyslový kombinát Dačice, 41 s.
- [40] Stanice ET 200sp pro instalaci. *PromEnergo* [online]. Moskva, Ruská Federace: Promenergo automatika, 2020, 2020 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.siemens-pro.ru/components/et200sp.htm>
- [41] CPU 1512SP-1 PN. *Simatic Market* [online]. Moskva, Ruská Federace: SimaticMarket, 2020, 2020 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10239949/info/>
- [42] ET 200SP AI Energy Meter 480VAC ST. *Siemens* [online]. Praha: Siemens, s.r.o, 2019 [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/649137?pdti=pi&dl=en&lc=en-EE>
- [43] Datasheet BU20-P12+A0+4B. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/58989?pdti=td&dl=en&lc=en-US>



- [44] Datasheet DI 8x24VDC ST. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/83553?pdtd=td&dl=en&lc=en-US>
- [45] Datasheet BU15-P16+A0+2B. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/446657?pdtd=td&dl=en&lc=en-US>
- [46] Datasheet AI 2xU/I 2-/4-wire HS. <https://new.siemens.com/global/en.html> [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/73108737/simatic-et-200sp-analog-input-module-ai-2xu-i-2-4-wire-hs?dti=0&lc=en-US>
- [47] Datasheet 3NJ6920-3BD11. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/167303?pdtd=td&dl=en&lc=en-US>
- [48] Datasheet KTP700 Basic. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?pdtd=td&dl=en&lc=en-US>
- [49] Delivery Release of TIA Portal. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109739471/delivery-release-of-tia-portal-v14?dti=0&lc=en-SK>
- [50] SIMATIC S7-PLCSIM Advanced. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109772889/trial-download%3A-simatic-s7-plcsim-advanced-v3-0?dti=0&lc=en-WW>
- [51] OPC UA methods for the SIMATIC S7-1500 OPC UA server. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2020, 2020 [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109756885/opc-ua-methods-for-the-simatic-s7-1500-opc-ua-server-?dti=0&lc=en-WW>
- [52] Spínač Siemens Sirius. Siemens [online]. Munich, Germany: Siemens Automation, 2015, 30.04.15 [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://docs.rs-online.com/57da/0900766b813dc134.pdf>
- [53] Induktivní senzor IFM. IFM [online]. Bratislava: IFM electronic, 2020, 2020 [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/IM5115>

## Seznam použitého software

- Siemens Tia Portal V15.0
- Siemens PLCSIM Advanced V2.0
- UAexpert V1.5.1
- Siemens NX V12.0
- Windows Home 10



## Seznam příloh

Diplomová práce ve formátu .docx	DP_GurovAlexandr.docx
Diplomová práce ve formátu .pdf	DP_GurovAlexandr.pdf
Archiv s programem v TIA Portal V15	DP_Gurov_TIA.zip15
Soubor nastaveného klienta UAexpert	DP_Gurov_UA.uap
Archiv virtuálního pracoviště v NX 12	DP_Gurov_NX.zip
Instance PLC v PLCSIM	PLC_1.zip
Datasheet PLC1512	PLC CPU 1512SP-1 PN.pdf
Datasheet karty měření energie	Energy Meter Datasheet.pdf
Datasheet karty digitálních vstupů	DI_8x24VDC_ST.pdf
Datasheet karty analogových vstupů	AI 2xUI 2-4 wire HS.pdf
Datasheet senzoru proudu	3NJ69203BD11 datasheet.pdf
Datasheet ovládacího panelu	KTP700 Basic.pdf
Datasheet svorkovnice pro kartu měření energie	Svorkovnice Mereni Energie.pdf
Datasheet svorkovnice pro karty digitálních a analogových vstupů	Svorkovnice Digit a Analog Karet.pdf
Přihlašovací údaje do projektu v TIA Portal	PřístupTIA.txt