

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ústav přístrojové a řídicí techniky



MES systémy

Bakalářská práce

Vít Bartes

Bakalářský program: Teoretický základ strojního inženýrství
Bakalářský obor: Bezoborový
Vedoucí práce: Ing. Mgr. Jakub Jura, Ph.D.

Praha, srpen 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bartes** Jméno: **Vít** Osobní číslo: **476071**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

MES systémy

Název bakalářské práce anglicky:

Manufacturing Execution Systems

Pokyny pro vypracování:

- 1) Definujte MES a proveďte rešerši souvisejících teoretických koncepcí
- 2) Proveďte rešerši konkrétních produktů (z veřejných i fakultních zdrojů) a vybrané blíže popište
- 3) Realizujete několi ukázkových úloh v MES4 (Festo)
- 4) Popište zabezpečené komunikační prostředky pro komunikaci MES - PLC

Seznam doporučené literatury:

H. Meyer, F. Fuchs a K. Thiel, Manufacturing Execution Systems: optimal design, planning, and deployment. McGraw-Hill, 2009.
K. Jurgen, Manufacturing Execution System. Springer, 2007.
Mescentrum, ISA95. WWW: <http://www.mescentrum.cz/clanky/standardy/97-isa95>.
J. Kletti a R. Deisenroth, MES compendium: perfect MES solutions based on HYDRA. Springer Vieweg, 2018.
S. KARADGI, Reference architecture for real-time performance measurement. SPRINGER INTERNATIONAL PU, 2016.
M. Rouse, What Is ERP? Guide to Enterprise Resource Planning Software, 2020. WWW: <https://searcherp.techtarget.com/definition/ERP-enterprise-resource-planning>.
Sungjoo Kang, Ingeol Chun, and Hyeon-Soo Kim, Design and Implementation of Runtime Verification Framework for Cyber-Physical Production Systems, <http://downloads.hindawi.com/journals/je/2019/2875236.pdf>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

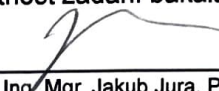
Ing. Mgr. Jakub Jura, Ph.D., U12110.3


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:


Ing. Mgr. Jakub Jura, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Vedoucí práce:

Ing. Mgr. Jakub Jura, Ph.D.
Ústav přístrojové a řídicí techniky
Fakulta strojní
České vysoké učení technické v Praze
Technická 4
160 00 Praha 6
Česká republika

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze 2020

.....
Vít Bartes

Abstrakt

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřená na seznámení čtenáře s MES (Manufacturing execution system) systémy, jejich podstatou, historií a místem v hierarchie informačních systémů ve výrobním podniku. Zároveň v ní je zahrnuta praktická demonstrace funkcí MES a byly vytvořeny výukové úlohy pro studenty v didaktickém výrobním systému CP factory a v připojeném systému MES4. Práce se zaměřuje také na komunikaci mezi řídicími systémy, respektive řídicím systémem (např. PLC) a nadřazeným MES a to včetně zabezpečení komunikace šifrováním.

Klíčová slova: MES, Výrobní řídicí systém, Automatizační linka, PLC, CP factory, ERP, MES4, Informační systém, Komunikační protokol, Řízení výroby, Řízení jakosti, MRP, OPC UA

Abstract

This bachelor thesis is focused on acquainting the reader with MES (Manufacturing execution system) systems, their nature, history and place in the hierarchy of information systems in a manufacturing company. At the same time, it includes a practical demonstration of MES functions and teaching tasks were created for students in the didactic production system CP factory and in the connection MES4. The work also focuses on the communication between the control systems, respectively the control system (eg. PLC) and the superior MES, including the security of communication by encryption.

Keywords: MES, Manufacturing execution system, Automation Line, PLC, CP factory, MES4, Information system, Communication protocol, Production control, Quality management, MRP, OPC UA

Poděkování

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování Ing. Mgr. Jakobovi Jurovi, Ph.D. za jeho cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Rád bych poděkoval také své rodině, přítelkyni a všem přátelům, kteří mě při vytváření této práce podpořili, a bez jejichž pomoci by nebylo možné práci dokončit.

Seznam obrázků

2.1	Úrovně IS dle normy ISA S95 [1]	4
2.2	Úrovně IS dle normy VDI 5600 [7]	5
3.1	Schematické znázornění stupně podrobnosti a časového horizontu tří úrovní výrobní společnosti[5]	8
4.1	Horizontální/vertikální integrace [2]	13
5.1	Úkazka prostředí MES Hydra [20]	16
6.1	Tištěný spoj (PCB — <i>Printed Circuit Board</i>)[21]	17
6.2	Horní plastový kryt[21]	17
6.3	Spodní plastový kryt[21]	17
6.4	Pojistka[21]	17
6.5	Nosič (carrier)[21]	18
6.6	Automatický paletový sklad [22]	18
6.7	Robotická buňka [23]	19
6.8	Průmyslový robot MELFA RV-4FL[24]	20
6.9	Schéma ovládaní robota pomocí učící a ovládací jednotky R32TB [25]	20
6.10	Základní modul[27]	21
6.11	Aplikační modul [21]	21
6.12	Modul tlakového lisu[28]	21
6.13	Polotovár vyjíždějící z robotické buňky[21]	22
6.14	Hotový produkt na paletě.[21]	23
6.15	Okno zdrojů[21]	25
6.16	Okno zakázek [21]	26
6.17	Množství [30]	27
6.18	Trvání [30]	27
7.1	Okno s přidáním nového produktu [21]	31
7.2	Zajištění uskladnění produktu [21]	32
7.3	Vytvořený pracovní plán [21]	34
7.4	Okno úpravy výrobní operace [21]	35
7.5	Výsledný pracovní plán [21]	36
7.6	Soupis zakázky do výroby [21]	37
8.1	Model komunikační sítě Profibus [33]	39
8.2	Schéma datové zprávy dle CAN 2.0A [34]	40
9.1	Integrita bezpečnosti a pojmi s ní související [43]	45

9.2	Chybovost v jednotlivých prvcích bezpečnostního řetězce realizovaného programovatelným elektronickým systémem (PES) [43]	46
10.1	Zasazení OPC UA do komunikačního modelu ISO/OSI [52]	51
10.2	Propojení jednotlivými patry výrobního podniku přes OPC UA [54]	51
10.3	Navázání komunikace [61]	54

Seznam zkratek

- CIM** Computer Integrated Manufacturing. 2
- COM/DCOM** (Distributed) Component Object Model. 50
- DHCP** Dynamic Host Configuration Protocol. 46
- ERP** Enterprise resource planning. x, 5–9, 12, 14, 16, 23, 25, 47, 49
- HMI** Human machine interface. 6, 16
- ICMP** Internet Control Message Protocol. 48
- IS** Informační systém. vii, x, 2–6, 55
- M2M** Machine to machine. 1, 38, 55
- MES** Manufacturing execution system. x, 6
- MRP** Material Requirements Planning. 2, 14, 28, 31
- OEE** Overall Efficiency Report. 26, 27
- OPC UA** Open Platform Communications Unified Architecture. xii, 15, 50
- PCB** Printed Circuit Board. 19
- PCC** Process communication controller. 15
- PLC** Programmable logic controller. 6, 51
- RFID** Radio Frequency Identification. 10
- SCADA** Supervisory Control And Data Acquisition. 6
- WIP** Work in progress. 6

Obsah

Zadání	ii
Prohlášení	iv
Abstract	v
Poděkování	vi
Seznam obrázků	vii
Seznam zkratk	ix
1 Úvod	1
2 Hierarchie IS ve výrobním podniku	2
2.1 Historický vývoj	2
2.2 Normy	3
2.2.1 ISA S95	3
2.2.2 IEC 62264	4
2.2.3 VDI 5600	4
2.3 Informační systémy ve třístupňové struktuře podniku	5
2.3.1 ERP	5
2.3.2 MES	6
2.3.3 Výrobní vrstva	6
3 Vymezení MES	7
3.1 Časový horizont	7
3.2 Význam MES	9
3.3 MES v budoucnosti	9
3.3.1 Decentralizace	9
3.3.2 Integrace	10
3.3.3 Připojení a mobilita	10
3.3.4 Cloud computing a pokročilá analýza	11
4 Horizontální a vertikální integrace	12
4.1 Vertikální integrace	12
4.2 Horizontální integrace	13

5	Příklady řešení MES	14
5.1	MES PHARIS	14
5.2	Act-in MES	15
5.3	MES Hydra	15
5.3.1	Osobní zkušenost s implementací MES	16
6	CP factory a MES4	17
6.1	CP Factory	17
6.1.1	Linka	18
6.2	Pracovní postup	21
6.3	MES4	23
6.3.1	Řízení výroby	24
6.3.2	Správa objednávek	25
6.3.3	Řízení jakosti	26
6.3.4	Hlavní data	27
7	Výukové úlohy v MES4	29
7.1	Úloha 1 — definování vstupních dat	29
7.1.1	Zadání Úlohy 1	29
7.1.2	Řešení úlohy 1	30
7.1.3	Úloha 2 — Vytvoření pracovního plánu	32
7.1.4	Zadání úlohy 2	32
7.1.5	Řešení úlohy 2	33
7.2	Úloha 3 — Produkt pro zákazníka	34
7.2.1	Zadání úlohy 3	34
7.2.2	Řešení úlohy 3	35
8	Průmyslové komunikační protokoly	38
8.1	Profibus	38
8.1.1	Architektura protokolu	38
8.1.2	Varianty komunikace	39
8.2	CAN	39
8.2.1	Datová zpráva	40
8.3	Modbus	41
8.4	Průmyslový Ethernet	41
8.4.1	Řešení průmyslového Ethernetu	42
8.4.2	Časová nejistota	43
9	Bezpečnost komunikace	44
9.1	Bezpečnost dle normy ČSN EN 61508	44
9.2	Black channel	46
9.2.1	Chyby přenosu dat a jejich řešení	47
9.3	Informační bezpečnost	47
9.3.1	Kritéria bezpečné informační komunikace	48
9.3.2	Nedostatky zabezpečení	48
9.3.3	Možná řešení nedostatků	49

10 Komunikace mezi výrobní vrstvou a MES	50
10.1 OPC UA	50
10.2 Zabezpečení	52
10.2.1 Podpisy a šifrování	52
10.2.2 Zabezpečení a identifikace aplikací	52
10.2.3 Certifikáty	52
10.2.4 OPC UA Secure conversation	53
10.2.5 Security policies, profiles	53
10.2.6 Uživatelská práva pro přístup	53
10.2.7 Secure channel session	54
10.2.8 Odebírání (Subscription)	54
11 Závěr	55
Bibliografie	59

Kapitola 1

Úvod

Od počátku 90. let hraje MES klíčovou roli v řízení výrobních procesů od nejvyššího patra řízení po samotnou výrobu. Hlavním úkolem těchto systémů je snižování výrobních nákladů, zvýšení celkové účinnosti strojů a minimalizace neplánovaných prostojů. V kontextu s Průmyslem 4.0 je vyžadována vertikální a horizontální integrace všech prvků výrobního procesu. Inteligentní továrna musí mít spolupracující výrobní systémy, které jsou schopny reagovat v reálném čase, aby splnily měnící se požadavky a podmínky jak ve výrobním, tak i v celém dodavatelském procesu a rovněž reagovaly na potřeby zákazníků.

Tato bakalářská práce začíná stručným popisem historie informačních systémů ve výrobním podniku a odůvodněním potřeby standardizace. Zároveň představí několik základních norem, ze kterých vycházejí dnešní moderní MES systémy, jenž definují postavení MESu v hierarchii informačních systémů výrobního podniku. Dále se zabývá vymezením MES a rozdílem mezi vertikální a horizontální integrací.

Některá literatura uvádí MES jako „MES systém“, což v doslovném překladu znamená „systém systém“. Toto spojení, ačkoliv nelogické, bylo veřejností akceptováno a běžně se používá.

Hlavním cílem této bakalářské práce bude představit MES systém, který máme k dispozici na Fakultě strojní ČVUT v Praze včetně modelu výrobní linky CP factory. Dále bude sestaveno několik cvičných úkolů v MES4, jenž budou sloužit jako podklady pro seznámení se studentů s MES.

Jelikož je komunikace nezbytným předpokladem pro fungování MES, bude část práce věnována tzv. M2M (*Machine to Machine*) komunikaci a představení pár typických průmyslových protokolů. Závěrem představím průmyslový Ethernet, OPC UA a jeho bezpečnostní řešení přenosu dat.

Kapitola 2

Hierarchie IS ve výrobním podniku

Dnešní výrobní podnik vyžaduje rychlou odezvu na změny a lepší soulad s průmyslovými standardy a předpisy. Ruku v ruce s Průmyslem 4.0 vedlo mnoho výrobních společností k zavedení nových obchodních, administrativních a výrobních procesů, a to především s využitím informačních systémů.

2.1 Historický vývoj

Na konci 70. let 20. století se v důsledku automatizace a rozvoje podniku začíná objevovat pojem MRP (*Material Requirements Planning*), který byl předchůdcem dnešních MES systémů zejména ve třech oblastech:

- Sběr výrobních (PAD — *Production Data Acquisition*) a strojových (MAD — *Machine Data Acquisition*) dat v průběhu výrobního cyklu.
- Podpora simulace produktu a výroby pomocí CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Manufacturing*) programů.
- Na začátku 80. let minulého století, díky velkému nárůstu požadavků na kvalitu, se zároveň s rozvojem CAD programů přidával i vývoj CAQ (*Computer-aided Quality Assurance*) programů, které zabezpečovaly kontrolu jakosti.

Výsledkem těchto tří zmíněných oblastí byl v osmdesátých letech koncept CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), který všechny, do té doby rozdělené, systémy managementu podniku (plánování výroby, řízení kvality, řízení lidských zdrojů atd.) propojoval a umožňoval jejich vzájemnou interakci.[1]

Problém nastal v momentě, kdy dodavatelé začali označovat jakýkoliv terminál s možným externím propojením jako CIM, což vedlo k jeho zániku (tzv. konzumace značky). Zmíněný zánik nebyl však zaviněn špatnou myšlenkou, ale pouhou nedostatečnou úrovní

standardizace a chybným vymezení pojmu. V návaznosti na to začaly vznikat různé standardy definující jak samotnou podstatu MES, tak i jeho místo v hierarchii informačních systémů ve výrobním podniku. [1],[2]

2.2 Normy

V této podkapitole jsou uvedeny významné normy, které standardizovaly pojem MES a hierarchii informačních systémů ve výrobním podniku.

2.2.1 ISA S95

Za zmínku stojí norma ISA—95 (ISA S95) vydaná v roce 2000 globální neziskovou organizací ISA (*The International Society of Automation*). Tento standard vychází ze staršího standardu ISA—88 od stejné organizace.

ISA S95, jako jeden z prvních, definuje jednotlivé úrovně automatizace a jejich systémové zařazení. Rozdělení do 4 úrovní je následující:

1. Úroveň 0

- Fyzické procesy.

2. Úroveň 1

- Definuje aktivity s manipulací a snímáním ve fyzických procesech.

3. Úroveň 2

- Monitorování a kontrola fyzických procesů.

4. Úroveň 3

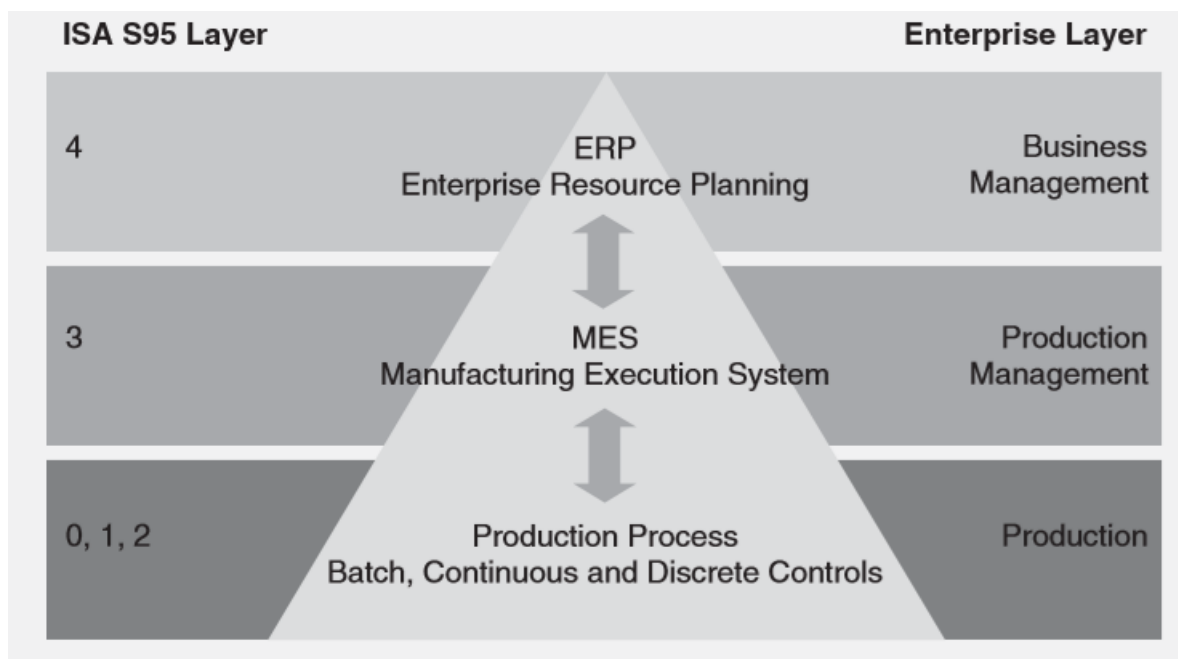
- Vyhodnocení dat z fyzických procesů.
- Poskytování funkcí pro řízení kvality, sestavování klíčových čísel, měření času a správu údržby.
- Rezervace zdrojů souvisejících s objednávkami (zařízení, personál, materiál atd.).

5. Úroveň 4

- Správa a údržba materiálu a náhradních dílů. Poskytování kmenových dat pro nákup surovin a náhradních dílů.

- Přijetí a revize hrubého plánu výroby na základě dostupných zdrojů a plánované údržby strojů.

V 1. a 2. úrovni se definuje rozdíl mezi šaržovitý (dávkovým), spojitým a diskretním řízením.[1],[3]



Obrázek 2.1: Úrovně IS dle normy ISA S95 [1]

2.2.2 IEC 62264

Předpisy IEC (*International Electrotechnical Commission*) zahrnují všechny aspekty elektrotechnologie, včetně výroby a distribuce energie, elektroniky atd. Řadí se sem také obecné obory jako metrologie nebo vědy o životním prostředí.

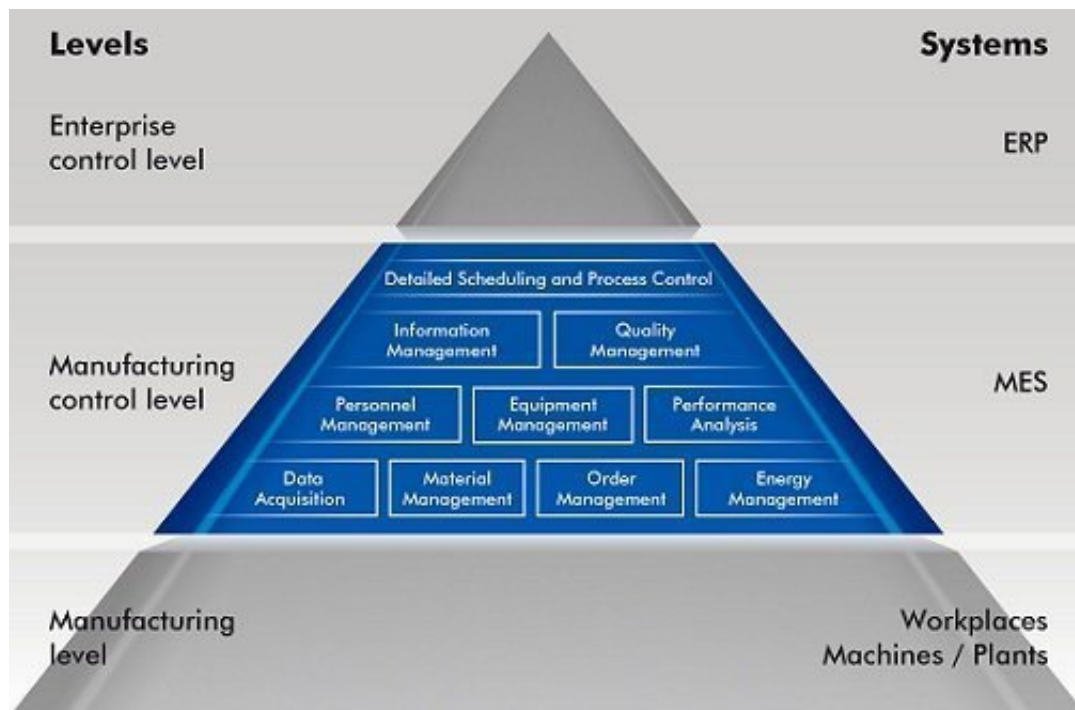
Podstatné u IEC norem je to, že zatímco výše zmíněné standardy ISA S88 a ISA S95 jsou standardy určené pouze pro USA, standardy IEC jsou mezinárodní. ISA S88 je zahrnut v normě IEC61512 a standard ISA S95 v normě IEC 62264. [1][4]

2.2.3 VDI 5600

Asociace německých inženýrů VDI (*Verein Deutscher Ingenieure*) ve standardu VDI 5600 definovala třístupňovou strukturu pro výrobní společnost.

V tomto standardu jsou také popsány všechny úkoly a cíle MES od plánování výrobních operací až po řízení zaměstnanců. V další části je podrobněji zkoumán význam MES a podpora různých podnikových procesů. V souhrnu dokument obsahuje hlavně úvahy, vysvětlení a aktualizace s ohledem na existující koncepce.

Na obrázku 2.2 jsou zobrazeny informační systémy, které zastupují jednotlivé vrstvy řízení ve výrobním podniku. Ve své podstatě se shodují s ISA S95, ale na rozdíl od americké normy se zaměřuje především na oblasti v MES vrstvě pyramidy. [5],[6]



Obrázek 2.2: Úrovně IS dle normy VDI 5600 [7]

2.3 Informační systémy ve třístupňové struktuře podniku

2.3.1 ERP

ERP (*Enterprise resource planning*) neboli plánování podnikových zdrojů. Jedná se o software z nejvyššího patra pyramidy (viz. obrázek 2.2) určený k integraci hlavních podnikových funkcí a procesů do jednotného systému.

Skládá se ze softwarových modulů, přičemž každý modul se zaměřuje na jednu ze základních obchodních funkcí, jako jsou finance a účetnictví, personalistika, výroba, správa materiálů a řízení vztahů se zákazníky (CRM — *Customer Relationship Management*).

Při zavádění informačních systémů do výrobního podniku vyvstává otázka, zda rozšířit stávající ERP systém o výrobní modul nebo zda pořídit systém pro operativní řízení výroby (MES). [8]

2.3.2 MES

Výrobní řídicí systém MES (*Manufacturing execution system*) se nachází mezi vrcholem pyramidy (ERP) a samotným výrobním procesem (viz. 2.2). Jedná se o informační systém, který spojuje, monitoruje a řídí informační i řídicí systémy a toky dat na výrobní úrovni. Hlavním cílem MES je zajistit efektivní provádění výrobních operací a zlepšit produkci výroby.

Tohoto cíle dosahuje sledováním a shromažďováním údajů v reálném čase o úplném životním cyklu výroby, počínaje uvolněním objednávky z ERP systému až po fázi dodání produktu jako hotové zboží.

MES shromažďuje údaje o historii produktu, výkonnosti strojů, sledovatelnosti zakázky, správě materiálu, nedokončené výrobě WIP (Work in progress) a dalších činnostech závodu. Tato data umožňují výrobnímu managementu pochopit aktuální nastavení výrobního závodu a lépe optimalizovat výrobní proces. [9]

2.3.3 Výrobní vrstva

Do této části spadá druhá a první úroveň. Druhá úroveň zahrnuje SCADA systémy a HMI rozhraní, které zajišťují kontrolu výroby a zároveň dohled nad první úrovní. V úrovni první se naopak nachází řídicí automaty (např. PLC) a senzory. Ještě existuje tzv. nultá úroveň, které přísluší samotný výrobní proces. [10]

Kapitola 3

Vymezení MES

Již mnoho let je ve všech odvětvích výrobního průmyslu slyšet o principech Lean výroby (Štíhlá výroba) a Lean managementu. Jedná se o filozofický přístup, který je založen na prosté myšlence. Vyrábět pouze to, co si zákazník žádá s minimálním plýtváním na činnosti týkající se výroby a maximální optimalizací výrobního procesu. V počáteční fázi zavádění tohoto přístupu docházelo často k nedorozumění, že k Lean výrobě nepatří využití IT prostředků (forma plýtvání). Tento pohled se dal chápat v době, kdy nevyspělé ERP systémy nabízely malou podporu a minimum funkcí souvisejících s výrobou. [11]

V dnešní době je situace spíše opačná. Výrobní proces lze zlepšit především neustálým sledováním a analyzováním jednotlivých částí procesu, což bez využití a podpory informačních digitálních systémů je jen těžko proveditelné. Z pohledu informačních systémů ve výrobním podniku je vidět třístupňová struktura toku dat. Nejprve z technologického procesu do řídicích automatů; za druhé sběr dat řídicích systémů do výrobního systému (MES); a za třetí přesun dat do systémů podnikového řízení (ERP).

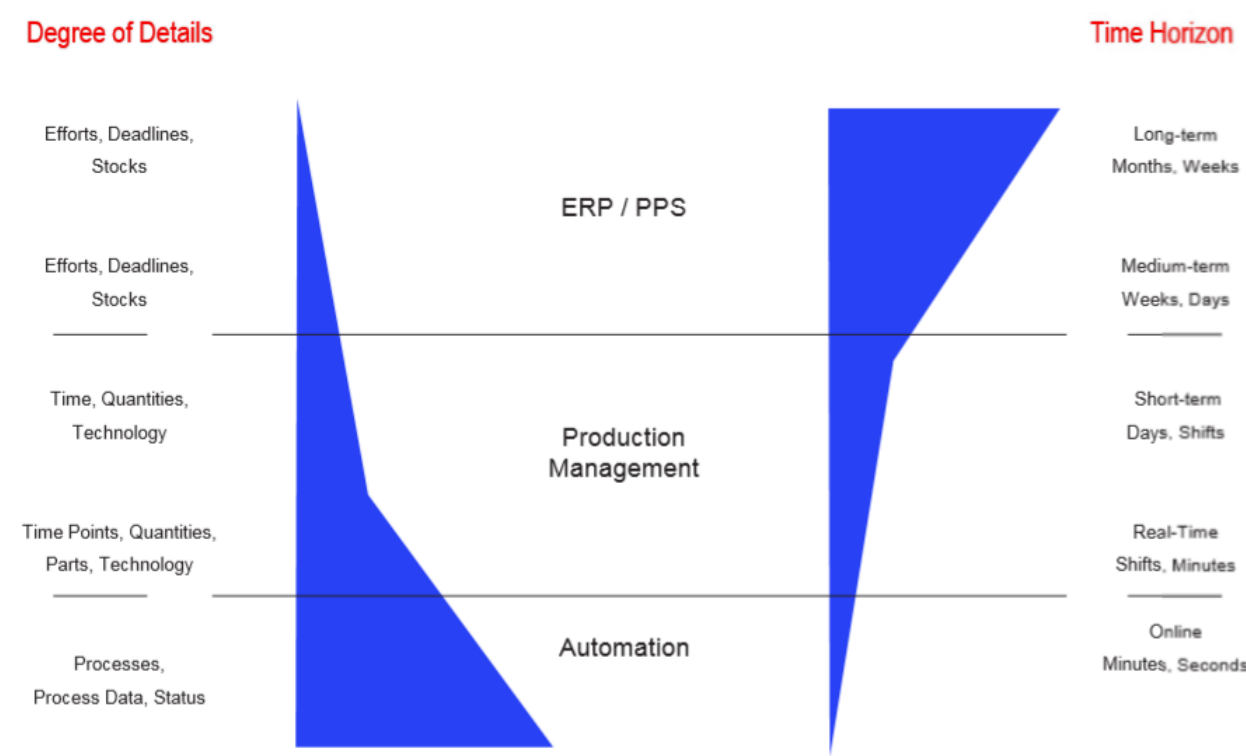
V této struktuře je to právě MES a jeho přístup k časovému horizontu (pevný bod v budoucnosti nebo v minulosti, který nám utváří časový interval), díky němuž je možné pozorovat aktuální data přímo z výroby a na základě těchto dat plynule vyhodnocovat a eliminovat nedostatky. [5]

3.1 Časový horizont

Zde se dostávají do konfliktu dva názory. První, který zastává zájmy zejména odborné veřejnosti tvrdí, že řídicí systémy v soudobých strojích jsou dostatečně vyspělé, aby vykonávaly velké množství úkolů a zároveň zvládaly shromažďovat a vyhodnocovat MES data. Na straně druhé stojí především dodavatelé ERP. Ti říkají, že velká část dat, jež MES utváří a zpracovává, je již v ERP systému obsažena. Tudíž k dosažení přijatelné časové odezvy ERP postačí pouze práce v oblasti přesnějších časových souřadnic. Obě stanoviska

však neberou v úvahu realitu průměrných výrobních společností. Lze je tedy použít pouze v několika individuálních případech. Hierarchie výrobních informačních systému nebyla definována jen za účelem rozdělení jednotlivých typů dat pro střední a vyšší management, ale především proto, že každá úroveň řízení se na data dívá z pohledu jiného časového horizontu.

ERP systém, jako představitel nejvyšší vrstvy, se stará hlavně o zakázky, materiál, personalistiku, finance atd. V tomto případě bude hlavní pohled na data zaměřen v rozmezí několika dní, týdnů, dokonce až měsíců. Aby tento systém mohl běžet bez komplikací, potřebuje pouze pár klíčových dat z výroby.[5]



Obrázek 3.1: Schematické znázornění stupně podrobnosti a časového horizontu tří úrovní výrobní společnosti[5]

Ve výrobní oblasti však dominuje pohled, jenž klade důraz na časové rozmezí informací, který je značně odlišný. Zakázka pro výrobu zahrnuje nejen potřebný materiál a čas, ale také potřebné kapacity personálu, vhodné nástroje a kvalifikovaný personál.

Objednávky se skládají z přesně definovaných operací a výrobních kroků, které lze opakovaně přerušit a znovu zahájit. Dotyčný vedoucí pracovník musí být schopen vyhodnotit danou situaci a vzápětí učinit adekvátní rozhodnutí.

Výsledky podrobného plánování je nutné mít k dispozici v přiměřené lhůtě (řádově několik minut). Prohlášení o stavu výroby musí být poskytováno v reálném čase, avšak až poté, co budou data z různých zdrojů zadána, opravena a vyhodnocena. [12][5]

V oblasti automatizace (viz. 3.1) se stupeň podrobností dále zvyšuje. Jsou zde řešeny technické faktory jako stav stroje a systému s časem odezvy řádově v sekundách nebo milisekundách.

Tento přístup ukazuje jak rozdílné jsou požadavky na dobu odezvy a stupeň podrobnosti. Tyto 3 úrovně zatím neumíme řešit jediným systémem, abychom dosahovali standardů Lean výroby.

3.2 Význam MES

Význam, a tedy i úkoly, které MES plní, se v posledních letech rozvíjely. Jeho ústřední postavení v pyramidě informačních systémů ve výrobním podniku mu také dává roli jako tzv. datový hub — přijímá plánovací data z ERP a předává skutečná data z procesní úrovně.

MES rovněž poskytuje informace a data managementu výroby. V mnoha výrobních zařízeních existují speciální řídicí systémy pro specifické úkoly, které se podílejí jak na výrobním procesu, tak i na shromažďování dat. V tomto ohledu by MES měl mít integrační funkce pro subsystémy a rozhraní, které umožňují připojení strojů a jiných zařízení. [5]

Rozsah integračních funkcí se sestává ze standardních funkcí pro výrobní úroveň, ERP systémů a systémů pro správu skladů. To znamená, že celý systém neslouží pouze jako MES, ale zároveň jako integrační nástroj pro nejrůznější typy informací vznikajících ve výrobním podniku.[1][13]

3.3 MES v budoucnosti

V této podkapitole jsou uvedeny čtyři hlavní pilíře, kterými se MES systémy budoucnosti budou zabývat.

3.3.1 Decentralizace

Jedním ze základních aspektů, které je třeba objasnit, je pojem decentralizace. Tato decentralizace musí být fyzická, ale i logická. Schopnost inteligentního produktu identifikovat a připojit se k fyzicky centralizovanému systému umožňuje snížit nároky na výpočetní výkon. S nástupem cloud computingu je dokonce sporné, zda takový systém lze považovat za fyzicky centralizovaný.

MES je tedy stále jen jedna aplikace, dokáže však jednat decentralizovaně s objekty zastupujícími výrobní entity. Jako příklad lze uvést inteligentní produkt, který zná svůj stav, pozici, historii a svůj cílový produkt. Stejně tak část inteligentního zařízení nebo zdroje zná jeho stav, historii, plán údržby, kapacitu, rozsah možných konfigurací atd. [14] Inteligentní materiály a stroje nejsou propojenými entitami. Dispečerská operace představuje logickou vazbu mezi materiálem, který má být zpracován, a zdrojem pro zpracování materiálu. První je spotřebitel služeb, druhý poskytovatel služeb.

Lze očekávat, že inteligentní produkt ponese instrukce potřebné v daném kroku zpracování. Při komunikaci s inteligentním strojem převede tyto instrukce do stroje a ten provede výrobní úkon. [13]

3.3.2 Integrace

Kromě již uvedené transparentnosti výrobního procesu, která je dosahována prostřednictvím horizontální integrace v celém dodavatelském řetězci, je zde ještě integrace vertikální. Skrze vertikální integraci je zaručena shoda, kontrola nebo plnění jakéhokoli jiného souvisejícího obchodního procesu. MES pak musí být plně modulární a decentralizovaný, aby materiály, zařízení nebo jiné subjekty ve výrobě mohli tyto funkce a služby využívat. [14]

3.3.3 Připojení a mobilita

Vzájemná konektivita ve výrobě není nic nového. Mění se pouze to, jak jí snadno dosáhnout. To má významný dopad na celkové výrobní operace. Jako příklad lze uvést některá sofistikovanější zařízení obsahující RFID nebo transpondér. Takováto zařízení mají obousměrnou komunikaci. Vystavují údaje ze senzorů, alarmů, zpráv nebo umožňují externí výběr, popřípadě stažení instrukcí.

Na jedné straně jsou pasivní identifikační štítky stále dostupnější, což umožňuje všem objektům ve výrobě držet své polohové souřadnice. Logicky autonomní objekty MES mohou ukládat tato lokalizační data a zobrazovat je v reálném čase na interaktivních mapách.

Na druhé straně se IoT (*Internet of Things*) v průmyslovém světě převádí na levný hardware a operační systémy (jako je Windows 10 IoT běžící na Raspberry Pi), což umožňuje konektivitu se zařízeními, která nevyžadují složité systémy a rozhraní.

Kombinace mobilních zařízení s rozvojem spolehlivých a levných systémů určování polohy umožní zobrazení polohy v reálném čase ve 3D mapách, čímž se otevřou dveře pro rozšířenou realitu.

3.3.4 Cloud computing a pokročilá analýza

Cloud computing a pokročilá analýza tvoří čtvrtý pilíř MES systému budoucnosti. CPS i CPPS (*Cyber-Physical (Production) Systems*) generují obrovské množství dat, která je třeba ukládat a zpracovávat. Vize inteligentní továrny v Průmyslu 4.0 vyžaduje dosažení holistického pohledu na výrobní operace. K tomu může dojít pouze integrací dat z několika různých zdrojů.

K plnému porozumění výkonnosti výrobních procesů, kvality produktů a optimalizace dodavatelského řetězce je tedy zapotřebí pokročilá analýza. To také pomůže při identifikaci neefektivnosti na základě historických údajů a umožní provedení nápravných nebo preventivních opatření.[14]

Analýzy jsou dvou typů.

- Za prvé offline analýza pomocí statistických procesních modelů.
- Za druhé spouštění akcí v nejkratším čase, a to i před uložením dat. To vyžaduje analýzu dat v reálném čase pomocí technik, jako je „in-memory“ a komplexní zpracování událostí.

Kapitola 4

Horizontální a vertikální integrace

V prvních fázích vývoje byl MES řazen mezi samotné řízení výroby a zabezpečování kvality a řízení lidských zdrojů souvisejících s výrobou. Výsledkem bylo, že získání a zpracování dat bylo považováno za zcela nezávislé pro každou z těchto disciplín.

- Mzdové systémy — protokolování docházky a řízení časů zaměstnanců.
- PSS (*Production planning and control system*) — sběr dat o stroji, strojních datech o výrobě a plánování výroby.
- Systémy řízení jakosti — data o zmetkovosti (poměr OK a NOK kusů), typy vad atd.

V této době byl sběr dat méně automatizovaný a obvykle se prováděl ručně. Nevyhnutelným důsledkem byly opravy, které bylo třeba provést kvůli nedostatku automatických kontrol věrohodnosti. Z tohoto důvodu byla ověřená a spolehlivá data často k dispozici se zpožděním několika hodin, nebo dokonce dnů.[5]

4.1 Vertikální integrace

S rozšířením konceptu MES, využitím výkonnějších IT a automatizačních komponent vstoupila do hry vertikální integrace. Díky automatickému získávání údajů je možné shromažďovat, komprimovat a zpřístupňovat data bez zpoždění. To významně zkrátilo čas mezi detekcí událostí ve výrobě a jejich promítnutí v MES.[15]

Zpočátku však bylo důležité pouze shromažďovat data ve výrobním procesu, komprimovat je a předávat systému ERP k dalšímu zpracování. Další vývoj koncepce MES, použití výkonných databází a nástrojů pro vyhodnocení umožnily další krok k optimalizaci výroby. Předkomprimovaná data z výroby jsou zobrazována i na úrovni řízení výroby. Tyto data se již nepoužívají pouze pro zpětné získávání nebo importování kmenových dat,

ale ukazují skutečnou situaci ve výrobním prostředí v reálném čase. To umožňuje vedení výroby přesně a rychle zasáhnout.

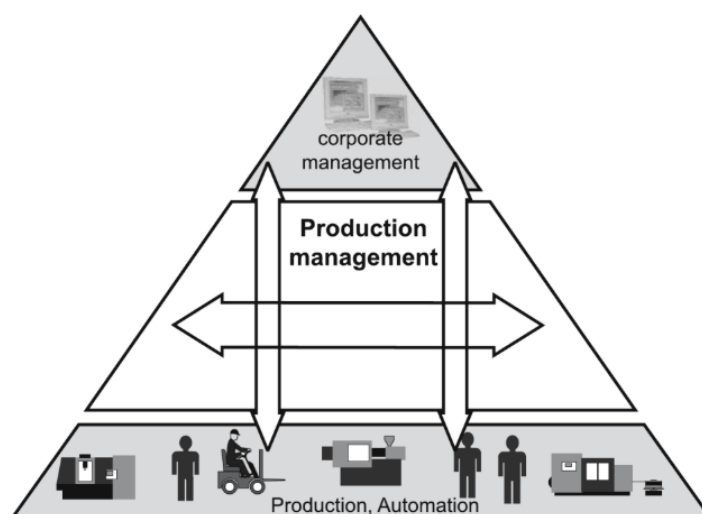
Další nárůst složitosti výroby však ukázal, že řízení lidských zdrojů, zajištění kvality a samotné řízení výroby by neměly být posuzovány nezávisle na sobě. Zákazníci očekávají komplexní a úplnou dokumentaci celého výrobního procesu, včetně údajů o spotřebovaném materiálu, registrovaných kvalitativních parametrech, a dokonce i informace o tom, kteří jednotlivci s jakou kvalifikací obsluhovali stroje.

4.2 Horizontální integrace

Spojení informací ze tří samostatných řešení prostřednictvím rozhraní se ukázalo jako obtížné a nákladné. V této souvislosti je důležité, aby systémy MES nejen vyvolávaly vertikální integraci do společnosti, ale také samy fungovaly s horizontální sítí.[2]

Aby byla možná horizontální integrace, musí být data z různých oborů shromažďována ve společné databázi pro umožnění přístupu pro aplikace ze tří oborů. Tím jsou eliminovány všechny typy rozhraní, která výše uvedená samostatná řešení nutně vyžadují. Nynější MES systémy, jako např. MES Hydra od firmy MPDV, jsou první zkouškou horizontální integrace, ve které všechny moduly, bez ohledu na to, zda patří do řízení lidských zdrojů, správy kvality nebo samotné kontroly výroby, mají přístup do společné databáze. [5]

Jednotlivé složky výrobního procesu, ať už je to výrobní a přepravní zařízení nebo sklad materiálu, disponují určitými daty, se kterými můžou v reálném čase pracovat a rozhodovat se na základě různých podnětů z prostředí. [5],[1]



Obrázek 4.1: Horizontální/vertikální integrace [2]

Kapitola 5

Příklady řešení MES

V praxi se setkáme s různými řešeními výrobních informačních systémů MES. Navržené jsou buď pro určitou oblast průmyslu (chemický, automobilový, farmaceutický atd.) nebo pro zvolený typ výroby (diskrétní, kontinuální, šaržovitá). Pro představení několika druhů MES systémů byl použit žebříček neziskové organizace MES centrum. [16] Žebříčků hodnocení je mnoho, ale některé nerozlišují mezi MES a ERP systémy.

5.1 MES PHARIS

Jedná se o modulární MES určený především pro diskrétní výrobu. Tento MES je, podle organizace MES centrum i samotného prodejce, nejprodávanější výrobní systém v České republice. Firmy využívající MES PHARIS jsou např. Robert Bosch, spol, Husqvarna Manufacturing CZ nebo KOH-I-NOOR HARDTMUTH v Českých Budějovicích. Obsahuje základní funkce pro řízení výroby, údržby, výrobní logistiky atd. včetně nástrojů pro analýzu výroby (za účelem zvýšení efektivity). Největší uplatnění má v oblasti zbrojního průmyslu, automotive, ve výrobě pryžových produktů nebo lisování kovů. [17] Jedna z výhod tohoto řešení pro tuzemský trh je ta, že MES PHARIS je český software firmy UNIS a.s., tudíž poskytuje plnou podporu českého jazyka.

Jeho rozšířená verze nabízí mimo jiné i alarmy a eskalační systémy (upozornění notifikací na problém ve výrobním procesu) nebo systém Kanban. Ten slouží pro sjednocení správy materiálu od pracoviště výroby, přes sklad, až po MRP. [18]

MES vhodný především pro menší až střední podniky s ne příliš atraktivní nabídkou unikátních funkcí. Jedním z důvodů jeho využití může být, již zmíněná, podpora českého jazyka a také cena.

5.2 Act-in MES

Narozdíl od MES Pharis se Act-in MES opírá o bohaté zkušenosti z mezinárodního prostředí. Společnost Act-in CZ je součástí mezinárodního holdingu Madolex Group. Řešení softwaru je implementováno ve firmách v Mexiku, Francii, České republice, Nizozemsku a mnoha dalších.

Tento informační systém, určen především pro diskrétní a šaržovitou výrobu, pokrývá široké spektrum průmyslových odvětví od automobilového po textilní a kožedělný. Kromě základních funkcí jako monitoring, řízení výroby, řízení kvality, sběr dat ze strojů, výkonnostní analýzy a dalších, nabízí také statickou procesní analýzu (SPC) nebo systém rychlého hlášení ANDON. Ojedinělá je také podpora moderních technologií jako jsou chytré brýle nebo rozšířená realita. Pro propojení s výrobou podporuje jak na ethernetovém rozhraní provozovaný protokol OPC UA, tak i starší standardy jako např. Profibus.[act-in]

V souhrnu se tento MES, až na pár funkcí, neliší od ostatních. Jeho nespornou výhodou je podpora firmy Act-in CZ při zavádění systému a následného používání. V dnešní době, dle referencí firmy, využívají různé moduly systému Act-in MES například Stanley Black & Decker, NORMA Czech nebo Seaborne Plastics.

5.3 MES Hydra

MES systém od německé společnosti MPDV Mikrolab GmbH je modulární informační systém, který je, podle serveru Software Connect, nejpopulárnějším řešením vůbec. [19]

S tímto systémem jsem se setkal ve firmě Swoboda CZ, kde jsem pracoval. Firma se specializuje na plastové komponenty do automatických převodovek pro automobilový průmysl. Díky této praxi jsem se dostal přímo k procesu implementace tohoto MES systému do zavedené systémové hierarchie ve firmě.

Své uplatnění najde jak v diskrétní, tak i v šaržovité výrobě. Specializuje se na letecký, automobilový i potravinářský průmysl. Nabízí své řešení základních požadavků MES (dle VDI 5600) včetně oblastí pro řízení výroby, jakosti nebo lidských zdrojů. O konektivitu s výrobou se stará rozhraní PCC (*Process communication controller*), které obsahuje řadu knihoven pro široké množství průmyslových protokolů včetně ethernetového řešení OPC UA. [5]

Nabízí velmi komplexní řešení podporující trendy Průmyslu 4.0 (horizontální integrace, cloud computing atd), za které si ale firma MPDV nechá zaplatit. Cena tohoto MES systému se všemi moduly se pohybuje nad 100 000 Euro. Díky své modularitě však umožňuje nakoupit pouze potřebné licence a z těchto licencí se dají vybrat jen určité funkce (v MES Hydra uváděné jako transakce).

5.3.1 Osobní zkušenost s implementací MES

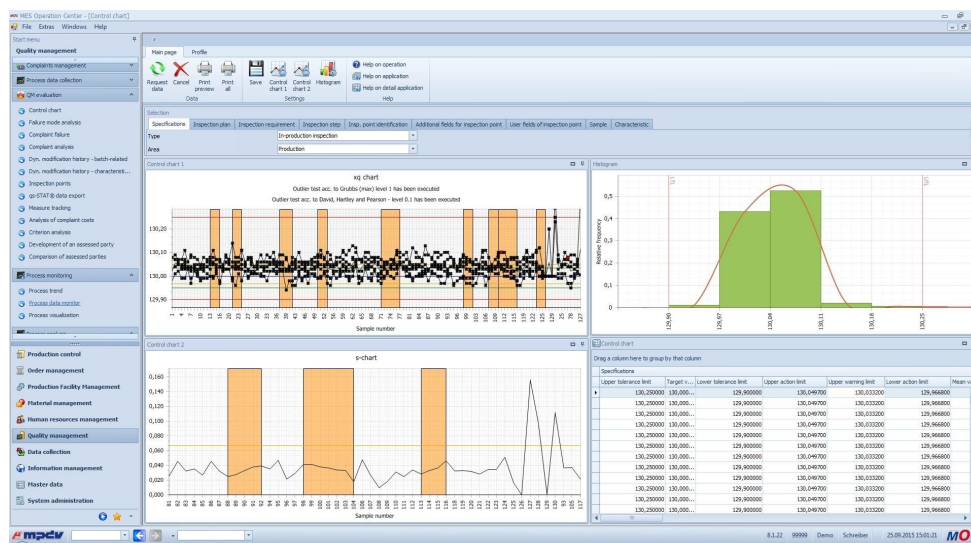
V holdingu Swoboda KG byl pro celý koncern, do kterého spadají mj. i dceřiné společnosti v Číně, USA, Německu, Mexiku a Rumunsku, vybrán právě MES Hydra. V závodu v Jihlavě, kde jsem chvíli působil na odborné stáži, byl tento MES implementován jako první. Dříve se veškerá správa výroby a analýza uskutečňovala přes ERP systém SAP, což bylo značně zdlouhavé.

Hlavním problémem SAP systému, kromě výše zmíněného zpoždění dat (z definice časového horizontu ERP), byl omezený přístup k samotné SAP databázi. K ní šlo přistupovat pouze přes SAP klienta a nebylo možné požádat o data např. SQL dotazem. To zpomalovalo samotnou analýzu, ale hlavně byly vyžadovány velké časové nároky na personál.

Při zavádění MES systému se nejdříve musela validovat data z MES a SAP na jednom stroji (lisovna vstříkovaných plastů). Kontrola dobrých a špatných (OK a NOK) kusů trvala celý měsíc, jelikož přeškolení nízko-kvalifikovaného personálu na práci s HMI bylo komplikované. Zvláště, když směna musela zadávat kusy jak do HMI rozhraní, tak do papírového výkazu. Po úspěšném zavedení na jednom pracovišti se zvalidovala jedna celá výrobní linka.

Zároveň s implementací se začalo do HMI terminálu přidávat i rozhraní pro kvalitu. Zavedení tzv. scrapové statistiky (druhy vad) je problematická v tom, že pokud je výroba poloautomatická (kontrola jak senzory, tak personálem), můžou být některá data dublovaná. Filtrace těchto dat byla prováděna přes PCC Bus, kde se ověřoval původ informace.

Posledním krokem pro zavedení základních funkcí MES Hydra bylo tzv. procesní plánování. Tím se myslí řízení celé výroby, od rozvrhování zakázek do časového plánu až po přiřazení personálu a plánování pravidelných odstávek.



Obrázek 5.1: Úkazka prostředí MES Hydra [20]

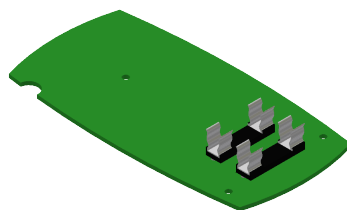
Kapitola 6

CP factory a MES4

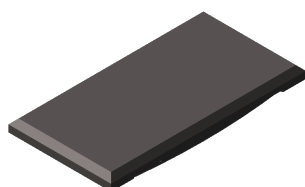
V této kapitole bude představena didaktická výrobní linka CP factory a k ní připojený MES systém „MES4“ od firmy Festo.

6.1 CP Factory

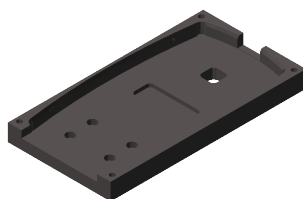
Cvičné úkoly v MES4 budou prováděny v laboratořích Fakulty strojní. Firma Festo Fakultě strojní poskytla modelový příklad výrobní linky pod marketingovým názvem CP Factory. Na naší fakultě se nachází modelová řada CP factory — varianta 1, která simuluje výrobní linku na sestavení mobilního telefonu. Maketa mobilního telefonu se skládá ze 4 částí — přední a zadní plastový kryt, tištěný spoj a elektrické pojistky.[21]



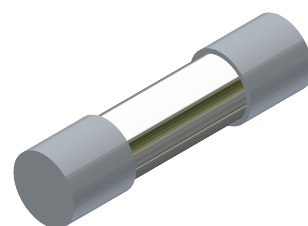
Obrázek 6.1: Tištěný spoj (PCB — *Printed Circuit Board*)[21]



Obrázek 6.2: Horní plastový kryt[21]



Obrázek 6.3: Spodní plastový kryt[21]

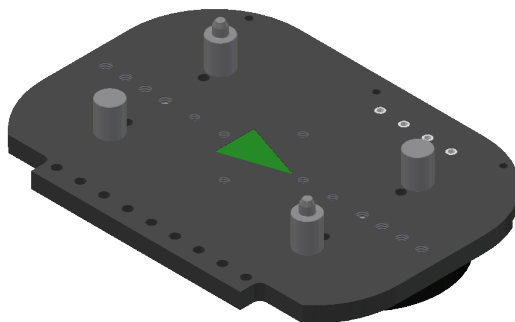


Obrázek 6.4: Pojistka[21]

6.1.1 Linka

Výrobní linka CP Factory ve variantě 1 se skládá ze tří bloků sestavených vedle sebe. Tyto bloky představují jak výrobní linku, tak i sklad pro dílčí komponenty a hotové prototypy telefonů.

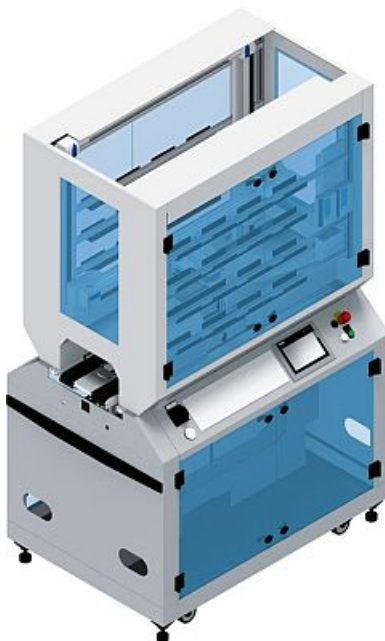
Mezi jednotlivými bloky jsou komponenty dopravovány na nosičích (carrier), které se přesouvají mezi jednotlivými stanovišti výroby na pasových dopravnících.



Obrázek 6.5: Nosič (carrier)[21]

Automatický paletový sklad

Sklad je postaven na základním modulu s tříosým robotem pohybujícím se v kartézském souřadnicovém systému. Tento robot slouží pro naskladnění a vyskladnění palet. Dvě osy ozubených řemenů jsou poháněny servomotory s ovladačem. Celková kapacita je 32 palet. Správa zásob je implementována v MES4. [22]



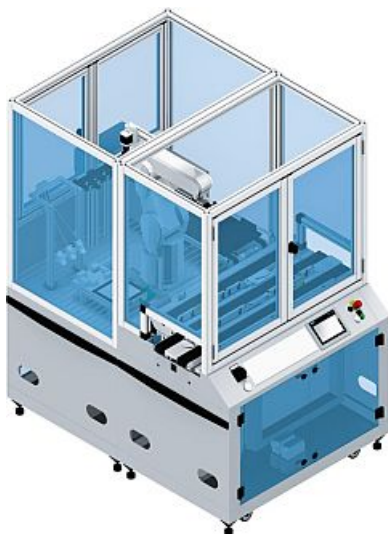
Obrázek 6.6: Automatický paletový sklad [22]

Robotická buňka

Tato buňka slouží k založení tištěného spoje (PCB) do spodní části. Jedná se o zcela uzavřené pracoviště pro didaktické úlohy.

Buňka má dva pásové dopravníky, které běží v opačných směrech. Třetí dopravník tvoří odbočku pro nosič polotovarů přiváděných do pracovní oblasti robota. Odbočka rovněž zabraňuje uvíznutí nosičů při delších procesech montáže.

Tištěné spoje jsou uskladněny v boxu, který je dopravován do robotické buňky na privátním pásovém dopravníku ze strany robota.



Obrázek 6.7: Robotická buňka [23]

Průmyslový robot

Ve fakultní výrobní lince se nachází model MELFA RV-4FL od japonské firmy Mitsubishi Electric. Samotný název nám uvádí mnoho specifikací.

- RV — Vertikální s více klouby
- 4 — Maximální nosnost (4 kg)
- F — série
- L — prodloužený typ paže (bez písmene — klasický typ paže)

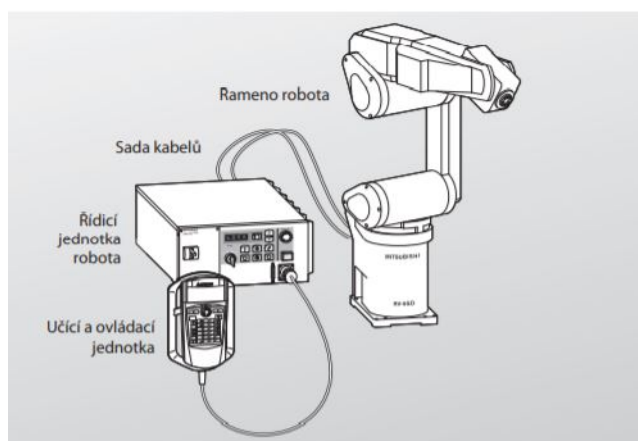
Tento šestiosý robot disponuje širokou škálou aplikací od přepravy mechanických dílů po montáž elektrických částí. Díky prodloužené délce paže má robot dosah až 649 mm. Při odolnosti IP67 je možná instalace i v náročnějším prostředí.[24]

Při použití senzorů vidění a silových senzorů je možné automatizovat drobné úlohy s nárokem na přesnost a jemnost úchopu. Robot umí automaticky měnit nástroje dle potřeby výroby. [25]



Obrázek 6.8: Průmyslový robot MELFA RV-4FL[24]

O řízení a komunikaci robota se stará řídicí jednotka CR 750. Tyto řídicí jednotky mají standardně implementovány některé funkce jako např. připojení přes Ethernet nebo USB, řízení přídatných os atd. Výhodou řídicí jednotky je také možnost připojení ovládací a učicí jednotky, kterou je možno posléze využít pro testování použité sekvence. [25],[26]



Obrázek 6.9: Schéma ovládaní robota pomocí učicí a ovládací jednotky R32TB [25]

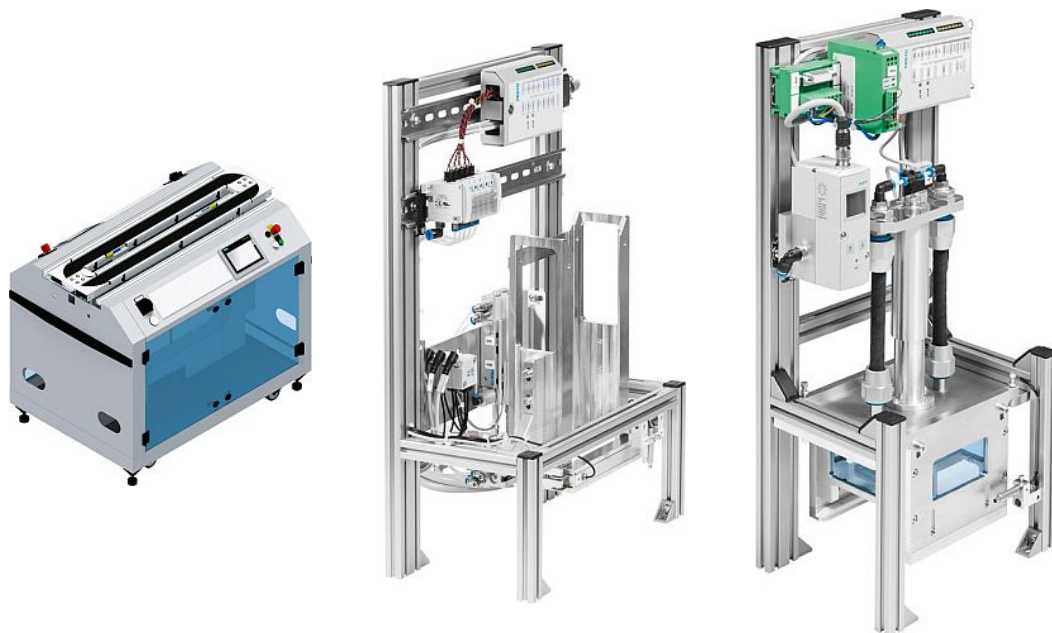
Základní modul

Poslední část CP Factory je Základní modul tvořený dvěma pásovými dopravníky v protisměrném chodu. Na tento Základní modul jsou dodány tzv. Aplikační modul a Modul tlakového lisu. [27]

Aplikační modul slouží k ukládání komponentů na nosiče. Přední kryty jsou uloženy

v šachtě zásobníku. Pokud je pod stohovacím zásobníkem paleta, komponenta se oddělí a umístí na paletu.

Lisovací proces Modulu tlakového lisu je realizován proporcionální regulací tlaku. Generovaná síla se měří pomocí dynamometru. [28]



Obrázek 6.10: Základní modul[27]

Obrázek 6.11: Aplikační modul [21]

Obrázek 6.12: Modul tlakového lisu[28]

6.2 Pracovní postup

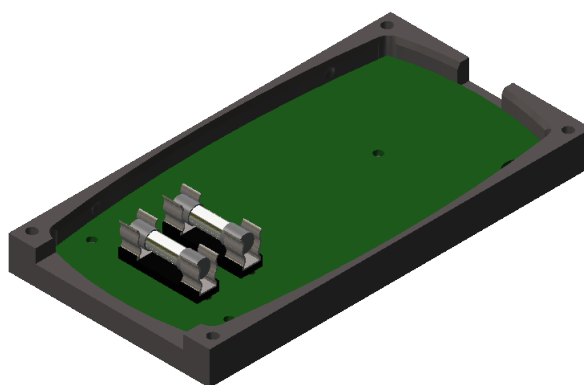
Výrobní proces začíná v paletovém skladu, kde jsou na paletách uloženy spodní části krytů. Linka dostane příkaz k vyrobění nové zakázky. Pasový dopravník je neustále v provozu, dokud do oblasti nakládání polotovarů nedorazí nosič.

- Třiosý robot nabere paletu, kterou mu určí MES4.
- Paleta je umístěna na nosič.
- Pasový dopravník se rozjede do Robotické buňky.

Na pásovém dopravníku v robotické buňce je optický senzor, který kontroluje, zda projíždí prázdný nebo obsazený nosič.

- Pokud projíždí nosič s paletou, je odkloněn na třetí dopravník, kde se zastaví na stanovišti robota.
- Šestiosý robot vyjme z palety spodní kryt telefonu a umístí jej do „stanice vizuální kontroly“. Poté se robot vrátí do výchozí polohy.

- Po provedení vizuální kontroly robot přesune kryt do sestavné stanice.
- Pro založení tištěného spoje do spodního krytu si šestiosý robot zajede do nástrojárny pro výměnu mechanického nástroje za pneumatický. Poté pomocí pneumatické přísavky nabere tištěný spoj a založí ji do spodního krytu telefonu.
- Dále se do samotného tištěného spoje zakládají jedna nebo dvě kapsle s pojistkami. Opět je potřeba speciální mechanická uchopovací hlava, kterou si vymění robot automaticky.
- Poslední operace v robotické buňce je položení celého polotovaru zpět na nosič. Ten jej opět na pásovém dopravníku přesune na další stanoviště.

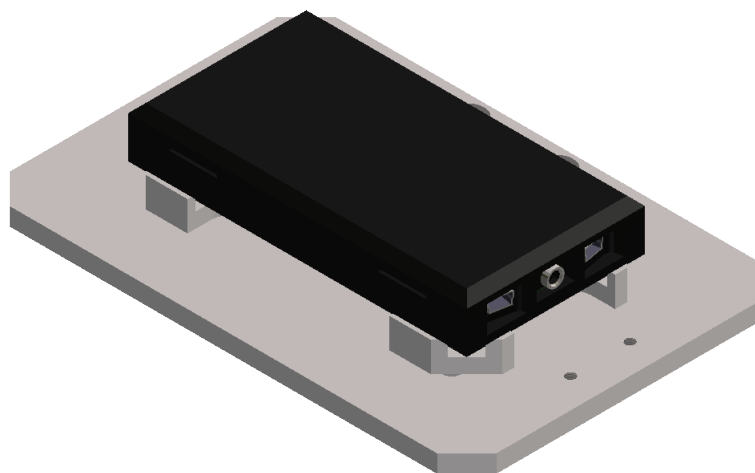


Obrázek 6.13: Polotovary vyjíždějící z robotické buňky[21]

V poslední části CP factory projede paleta s polotovarem dvěma stanovišti. Na každém stanovišti jsou optické senzory, které zkontrolují, zda projíždí prázdný nosič nebo nosič se založeným polotovarem.

- Nejdříve je z aplikačního modulu na polotovary dodán horní kryt.
- Poté při průjezdu do druhé části je již založený horní kryt nalisován na polotovary pomocí tlakového lisu.

Nyní hotový výrobek putuje zpět do paletového skladu, kde bude založen na volné místo.



Obrázek 6.14: Hotový produkt na paletě.[21]

6.3 MES4

V této části bude popsán MES od firmy Festo, který nám byl poskytnut jako software k CP labu a CP factory. Celý software je pouze v angličtině, a proto budou některé názvy nechány v původním znění. Do závorky bude uveden volný překlad.

MES4 je didaktický software pro vzdělávací platformy Průmyslu 4.0. Celý produkt je již předpřipraven na propojení s výrobními moduly od stejné firmy.

Databáze je otevřená a lze do ní zapisovat nebo číst pomocí příkazů SQL a externích programů (např. připojení ERP systému nebo Microsoft Excell). Jednotlivé řídicí systémy komunikují s MES4 přes TCP/IP. [29]

Tento MES se skládá ze 4 základních úseků.

- **Production Control (Řízení Výroby)** — MES4 kontroluje skutečný stav a analyzuje data z výroby.
- **Order management (Správa objednávek)** — Zde se spravují probíhající objednávky. Zároveň lze vytvořit i objednávku novou a naplánovat ji.
- **Quality management (Řízení jakosti)** — Zohledňuje kvalitu výroby a dokončení objednávek.
- **Master data (Hlavní data)** — Úsek pro nastavení vstupních dat a nástrojů (výrobní plány, součástky atd.)

6.3.1 Řízení výroby

Skupina Řízení výroby slouží ke kontrole skutečného stavu výroby. V této skupině jsou k dispozici 3 různá podokna.[30]

- Buffers (Vyrovňovací paměť)
- Utilities (Nástroje)
- Resources (Zdroje — myšleno výrobní stroje)

Buffers (Vyrovňovací paměti)

Některé stroje a jejich řídicí systémy mají jeden nebo více vyrovnávacích pamětí. Tato vyrovnávací paměť ukládá díly s nebo bez objednávacího čísla. V okně Buffer lze vidět stav těchto vyrovnávacích pamětí, popř. editovat jejich obsah. V tomto podokně je rovněž možné zobrazit vyrovnávací paměti, a to buď všechny nebo po jednotlivých stanovištích. [30]

Jednotlivé složky vyrovnávací paměti lze mazat, upravovat, popřípadě změnit celý typ komponenty.

Utilities (Nástroje)

V tomto okně je možno zkontrolovat stav pomocných složek (utilit). Z nich si lze vybrat a zobrazit jednotlivé typy. Pokud má typ nástroje více pozic, je možné zobrazit tabulku se všemi pozicemi utilit.

Resources

Zde se zobrazuje stav všech zdrojů. Zdrojem je myšleno zařízení účastníci se výrobního procesu (jednotlivé stroje). Tabulka zobrazuje v základu všechny zdroje a jejich stavy pomocí tříbarevného semaforu. Je tedy možné zkontrolovat nebo zjistit např. ID zdroje, název, IP adresu, připojení zdroje k MES atd. [30]

Picture	ID	Name	MESMode	AutomaticMod	ManualMode	Busy	Reset	Error0	Error1	Error2	IP	Connected
	1	Filing									192.168.10...	
	2	Packaging									192.168.10...	
	3	ASRS16									192.168.10...	
	4	InOut									192.168.10...	
	5	Unpacking									192.168.10...	
	6	Recycling									192.168.10...	
	9	Transport									192.168.10...	

Obrázek 6.15: Okno zdrojů[21]

6.3.2 Správa objednávek

Tato sekce zahrnuje kompletní logistiku objednávek. Ty se můžou vytvářet přímo v MES. Konkrétně platforma MES4 podporuje import zakázek z jiné databáze, ať už z ERP systému nebo přímé nahrávání xml souborů. [30]

I tato sekce má svá podokna pro rychlou orientaci.

- Probíhající zakázky
- Plánované zakázky
- Nová objednávka zákazníka
- Nová objednávka výroby
- Dokončené objednávky

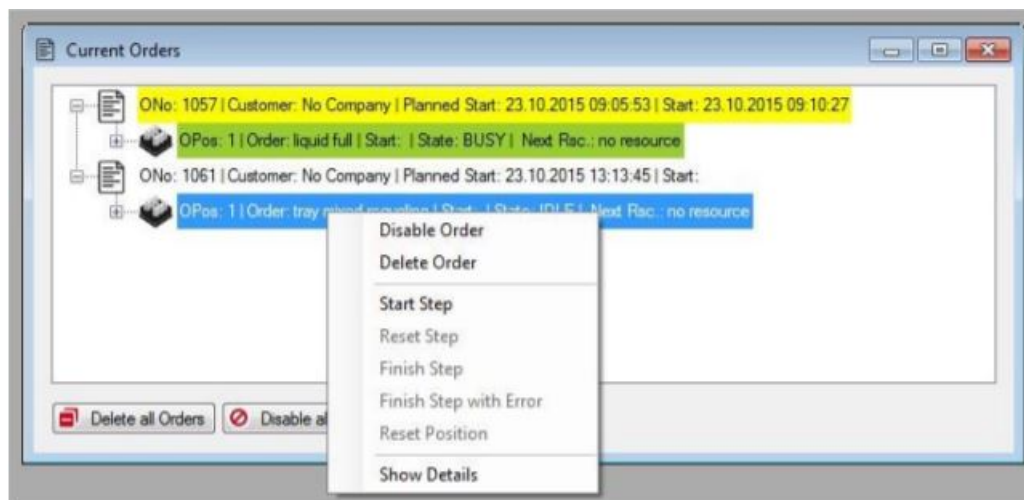
Na rozdíl od výrobní sekce jsou tyto podokna pouze zkratkami a nemají jiné funkce než jsou popsány v samotném názvu.

Zakázky jsou řazeny podle čísel. Pod každou z nich lze najít hned několik objednávek, kde každá z objednávek má jednu nebo více pozic. Jednotlivé řádky v seznamu zakázek obsahují nejdůležitější informace o objednávkách. Po rozbalení vybrané objednávky se zobrazí další údaje.

Při rozbalení zakázky dojde k barevnému zvýraznění, kde každá barva má svůj jasně definovaný význam. Zvýrazní se nejen samotná objednávka, ale i její dílčí pozice. [30]

- Bílá — Neutrální stav. Objedávka ještě nebyla zahájena.
- Modrá — Zakázka zmodrá, pokud je vybrána pomocí myši nebo je dokončena.
- Žlutá — Zakázka právě probíhá.

- Světle zelená — Objednávka je ve stavu „BUSY“.



Obrázek 6.16: Okno zakázek [21]

Na obrázku 6.16 je příklad dvou zakázek. Objednávka 1057 byla zahájena a nyní je ve stavu „PEND“ (čeká na výrobní zdroj). Objednávka 1061 v tuto chvíli není spuštěna. Kliknutím na zakázku se nám zobrazí nabídka možností. I to má svá pravidla. Například objednávku není možné zrušit, pokud již začala nějaká její dílčí operace.

Dále se při rozbalení detailu objednávky (viz. obrázek 6.16 „Show Details“) dají zjistit podrobné informace ohledně každého kroku, operace, pracovního plánu nebo pozice.

6.3.3 Řízení jakosti

Tato sekce slouží pro vizualizaci různých zpráv o kvalitě výroby. MES4 nabízí 2 typy hlášení.

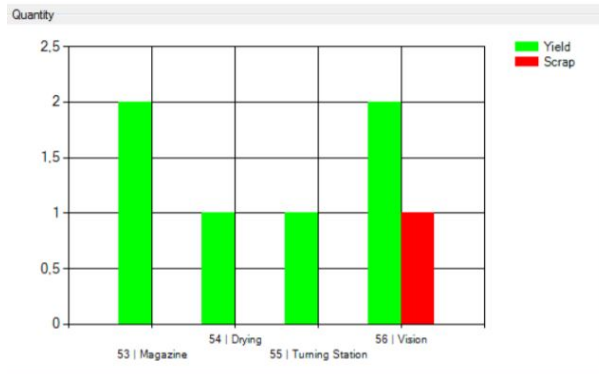
- Efficiency Report (Zpráva o účinnosti)
- OEE Report

Efficiency Report

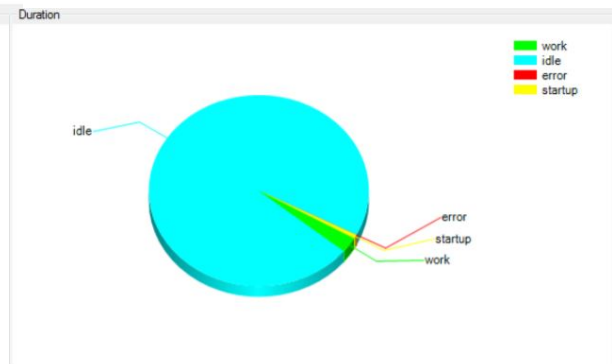
V tomto okně lze zkontrolovat účinnost zdrojů. To je důležité pro optimalizaci jednotlivých procesů. V horní části dílčího okna je filtr, pomocí něhož se zobrazují data dle časové období a vybrané výrobní entity. Kliknutím na zdroj se načtou dva diagramy vybraného zdroje:

- Quantity (Množství) — ukazuje množství vyrobených (yield) a nepovedených dílů (scrap).

- Duration (Trvání) — Ukazuje poměr trvání v různých částí výroby (začátek, výroba, prostoje).



Obrázek 6.17: Množství [30]



Obrázek 6.18: Trvání [30]

OEE Report

Toto hlášení poskytuje hodnocení týkající se indexu OEE (*Overall Efficiency Report* — Celková účinnost zařízení). Vyjadřuje v číselné formě účinnost výroby jako celku. Index OEE se počítá ze tří faktorů — dostupnosti, účinnosti a míry kvality. [5]

$$\mathbf{OEE} = \mathit{availability} \times \mathit{effectiveness} \times \mathit{quality\ rate} \quad (6.1)$$

$$\mathbf{Availability} = \frac{\mathit{main\ utilization\ time}}{\mathit{scheduled\ occupancy\ time}} \quad (6.2)$$

$$\mathbf{Effectiveness} = \frac{\mathit{production\ time\ per\ unit} \times \mathit{quantity\ produced}}{\mathit{main\ utilization\ time}} \quad (6.3)$$

$$\mathbf{Quality\ ratio} = \frac{\mathit{yield}}{\mathit{quantity\ produced}} \quad (6.4)$$

6.3.4 Hlavní data

V této sekci lze měnit nebo vytvářet nové díly, spravovat pracovní plány a postupy, výrobní zdroje, operace, seznam zákazníků a nástroje.

Parts (součástky)

Komponenty jsou uspořádány do různých typů (externí výroba, výrobní díly, Box, Nosič atd.) Informace o součástech jsou rozděleny do 4 skupin — výchozího nastavení, MRP (*Material Requirements Planning*), pracovní plán a dalších nastavení. [30]

Vybrané díly je možné editovat nebo vytvořit díl zcela nový. Pro vytvoření nové součástky je zapotřebí k ní přiřadit určité parametry, jako např. typ nebo pracovní plán.

Pracovní plán

Po otevření daného pracovního plánu se na pravé straně zobrazí jeho data. Ty obsahují jednotlivé operace pracovního plánu. Tabulka zobrazuje číslo kroku, typ operace, následující krok, chybná oznámení atd. [30]

Zdroje

Zdroj zajišťuje správu operací a vyrovnávacích pamětí. Po otevření určitého zdroje nebo vyrovnávací paměti se zobrazí informace o zdroji.

Operace

Operace jsou organizovány do dvou různých skupin.

- Operace pro zdroje — Tyto typy operací spadají pod zdroje.
- Vnitřní operace — Tyto operace jsou speciální a nelze je přiřadit ke zdrojům.

Pro editování operací je možné definovat i SQL dotaz pro nastavení dané operace. [30]

Zákazníci

V této sekci se pouze vytváří, upravuje a popřípadě odstraňují zákazníci. Zároveň obsahuje podrobné informace o již existujícím zákazníkovi.

Utility (Nástroje)

Nástroje jsou rozděleny do 3 typů — box, paleta, nosič. Každý nástroj zobrazuje následující data, která mohou být upravena.

- číslo součásti
- Množství tohoto typu utility.
- Dostupné pozice
- Popis

Kapitola 7

Výukové úlohy v MES4

Tyto úlohy jsem vytvořil pro studenty Fakulty Strojní ČVUT. Jsou zaměřeny zejména na obecné seznámení s funkcionalitou, rozvržením a prostředím MES4. Tento systém byl navržen pro výukové účely, a tak je potřeba se na něj i dívat. Je to pouze zjednodušená verze průmyslového MES, ale pro základní pochopení myšlenky a fungování je postačující.

Veškeré navrhované úlohy jsou určeny pro řešení v CP factory varianty 1, která se nachází v laboratoři Fakulty strojní ČVUT.

7.1 Úloha 1 — definování vstupních dat

Cílem této úlohy je seznámení se základy prostředí MES4. Před samotným vystavením objednávky je potřeba nejdříve zadefinovat vstupní parametry.

Vstupními parametry jsou myšlena data, která následně budeme implementovat do objednávky.

Cíle úlohy

- Seznámení se s možnostmi CP factory
- Připojení CP factory na MES řízení
- Seznámení se s prostředím MES4

7.1.1 Zadání Úlohy 1

V programu MES4 vytvořte nový produkt pro výrobu, který bude možné implementovat do objednávky. Jeho parametry musí být slučitelné s možnostmi CP factory.

Parametry produktu

- Číslo produktu: číslo ve tvaru „MMDD“
- Název produktu: Skupina A/B
- Typ produktu: produkt k vyrobení (Production part)
- Base pallet (základní paleta): Pokud se má komponenta přepravovat na základní paletě, musí se zde zadat. Předpokladem je, že základní palety musí být jasně rozlišeny. Jedná se o speciální konfiguraci, která obvykle není implementována ve CP Factory. Z tohoto důvodu zaškrtněte „nothnig“.

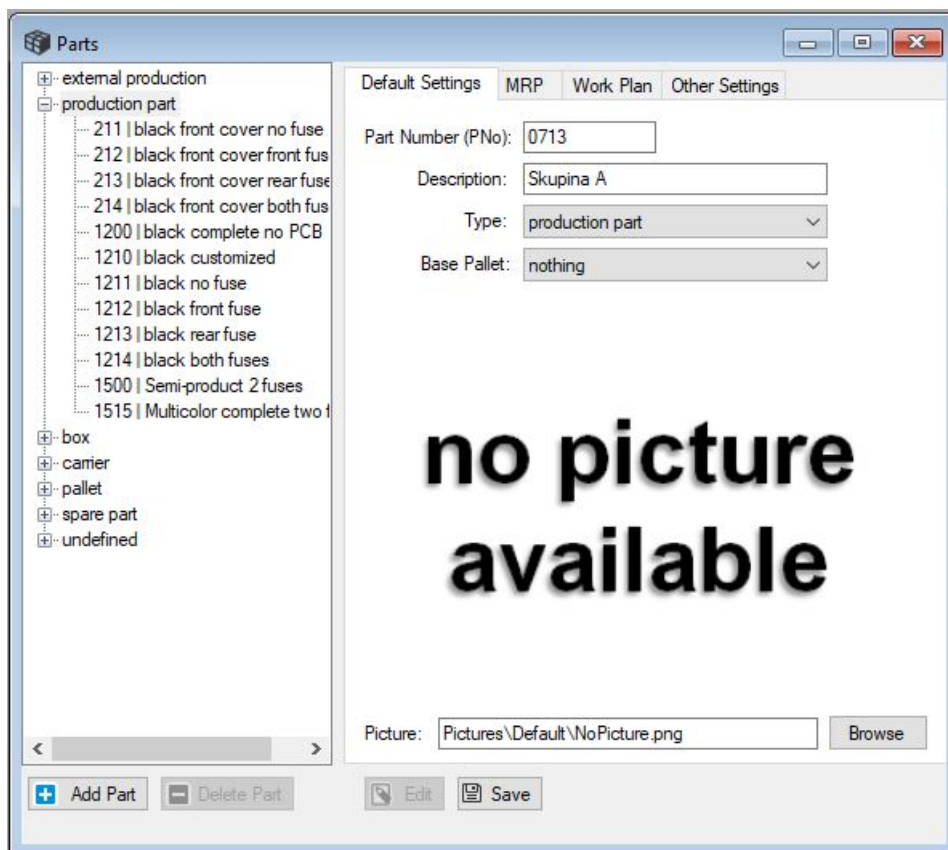
7.1.2 Řešení úlohy 1

Jelikož se jedná o nový produkt, je potřeba otevřít záložku „Master Data“. Zde se zadávají a mění hlavní parametry pro výrobu. V této úloze se musíme zaměřit na kritéria, která nám byla zadána a zároveň na proměnné veličiny, které jsou potřeba odvodit.

Vytváříme nový produkt, tj. v záložce „Master data“ otevřeme podsložku „Parts“. V levém dolním okně vybereme příkaz „Add part“, který nám otevře okno s parametry nového produktu.

Ze zadání známe název, číslo a typ produktu. Budeme se tedy řídit těmito pokyny a vyplníme parametry produktu dle požadavků.

Pokud se podíváme na obrázek 7.1, můžeme si všimnout, že při zadávání parametrů nového produktu nám bylo definováno pouze základní nastavení. Pro správné řešení musíme rovněž vyplnit parametry, vycházející ze samotné logiky plánování.



Obrázek 7.1: Okno s přidáním nového produktu [21]

MRP

MRP je zkratka pro (Material Requirements Planning — plánování požadavků na materiál). Díky vyplnění této karty při vytváření výroby umožníte softwaru vytvořit systém pro automatické doplňování zásob.

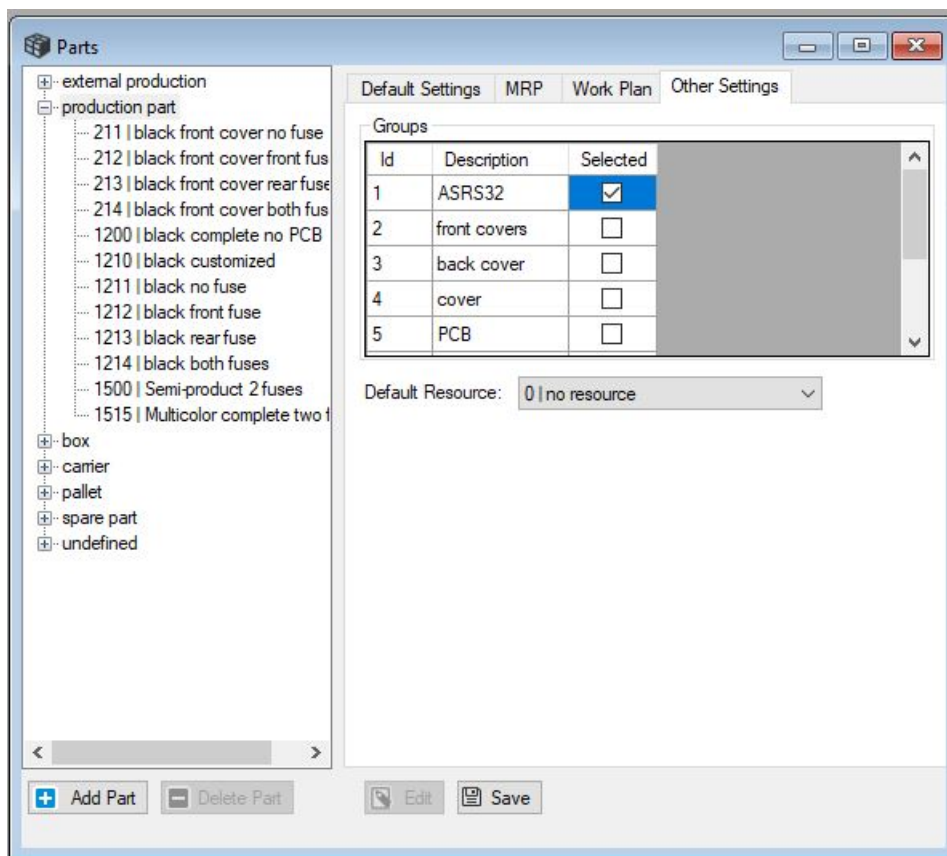
Work plan (pracovní plán)

Abychom mohli k výrobku přiřadit pracovní plán, je potřeba ho nejdříve vytvořit nebo vybrat pracovní plán již vytvořený. Je nezbytné, aby se tento pracovní plán shodoval s požadavkem na výrobu samotného produktu.

Díky pracovnímu plánu můžeme vidět plánovanou pracovní dobu, využití energie, popř. proudění stlačeného vzduchu.

Other settings (Ostatní nastavení)

V kartě „Other settings“ je nutné pohlídat, aby bylo „zaškrtnuto“ pole „Storage part“.



Obrázek 7.2: Zajištění uskladnění produktu [21]

7.1.3 Úloha 2 — Vytvoření pracovního plánu

V úloze 1 jsme vytvořili produkt, který je možné rovnou přiřadit k zakázce a poslat do výroby. Při zadávání parametrů jsme v liště pracovního plánu vybrali již existující pracovní plán. V této úloze se zaměříme na správu a vytvoření pracovních plánů zcela nového.

Cíle úlohy

- Seznámení se s možnostmi editace pracovního plánu.
- Vytvoření pracovního plánu.
- Přiřazení produktu k tomuto pracovnímu plánu.

7.1.4 Zadání úlohy 2

Vytvořte pracovní plán pro sestavení horního a dolního krytu telefonu a poté pošlete výrobek s tímto plánem do výroby.

Parametry pracovního plánu

- Vyzvednutí polotovaru ze skladu.
- Horní kryt dodán na spodní.
- Horní kryt pomocí tlakového lisu natlačen na spodní kryt po dobu 4 sekund.

7.1.5 Řešení úlohy 2

V tomto softwaru je již mnoho pracovních plánů vytvořeno, proto začneme tím, že se podíváme do složky pracovních plánů (Sekce „Master Data“, podokno „Work Plans“) a zkontrolujeme, zda už neexistuje vytvořený pracovní plán na naše zadání. Pokud zjistíme, že na náš smyšlený produkt pracovní plán ještě neexistuje, musíme vytvořit plán nový.

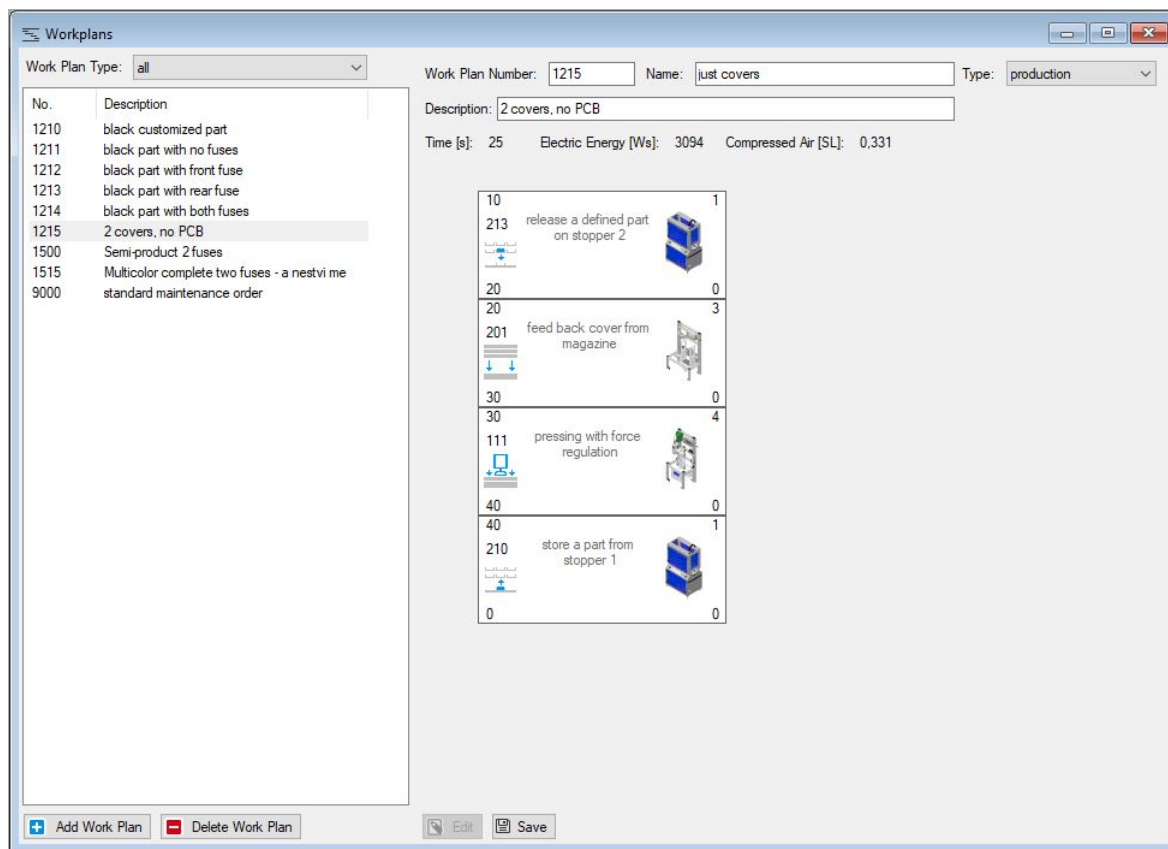
Nový pracovní plán vytvoříme ve stejném okně pomocí tlačítka „Add Work Plan“. Jako první věc je nutné vyplnit základní informace (číslo plánu, název a popis). Dále je důležité vybrat v pravém horním rohu typ pracovního plánu, protože od toho se odvíjí i možnosti při vytváření zakázky do výroby. V našem případě se jedná o typ „production“, jelikož půjde o zakázku přímo do výroby. Zakázka s možným upravováním parametrů bude představena v další úloze.

Při vytváření samotného postupu začneme tím, že vybereme prázdnou pracovní buňku a tu zeditujeme. Zde vyplníme několik parametrů:

- Basics (Základní parametry)
 - Step (Next Step) — číslo kroku (čísluje se standardně 10, 20, 30 atd.). Pokud se jedná o poslední operaci, dává se jako další krok 0.
 - Error Step — V naší CP Factory neexistuje operace, v níž by byla rozhodovací funkce, proto se operace nikdy nemůže nacházet ve stavu Error Step (zůstane nevyplněna).
- Operation — Parametry samotného druhu operace.
 - Resource (Zdroj) — Zde vybereme zdroj operace. Proces musí začínat i končit ve skladu.
 - Operation (Operace) — Výběr samotného typu operace. V buňce „Description“ se automaticky zobrazí popis dané operace.
 - V poslední části se přiděluje ke zdroji typ a druh součástky.

Podle výše uvedeného návodu sestavíme jednotlivé operace a vytvořený plán uložíme.

Správně vytvořený plán dle zadání



Obrázek 7.3: Vytvořený pracovní plán [21]

7.2 Úloha 3 — Produkt pro zákazníka

V této úloze použijeme skoro veškeré znalosti, které jsme získali z předchozího výkladu. Budeme simulovat fiktivní zakázku od jedné firmy. Firma si žádá nejen vyrobit určitý počet kusů, ale zároveň zajistit modifikaci zakázky.

Cíle úlohy

- Zpracování kompletního procesu výroby.
- Seznámení se s možnostmi vytváření přizpůsobitelných zakázek.
- Spojení znalostí o obsluze MES.

7.2.1 Zadání úlohy 3

Simulujte situaci, kdy vaší továrnu osloví nová firma, která by chtěla vyrobit určitý počet telefonů, ovšem s různými parametry.

Požadavky zakázky

- 2 makety telefonu bez tištěného spoje
- 1 telefon včetně tištěného spoje i obou pojistek
- 2 telefony s tištěným spojem, ale pouze s jednou pojistkou, pokaždé na jiném místě

Celá zakázka bude vytvořena z jednoho produktu a jednoho pracovního plánu

7.2.2 Řešení úlohy 3

Pracovní plán

Za prvé je potřeba vytvořit nový pracovní plán, který bude možné libovolně upravovat dle požadavků zákazníka. Zde se inspirujeme z úlohy 2. Pracovní plán však bude delší a propracovanější.

Otevřeme tedy sekci „Master Data“ a podokno „Work Plans“. Zde, rovněž jako v úloze 2, začneme vytvářet nový pracovní plán. Číslo, název a popis můžeme vyplnit libovolně. Nyní nastává první změna, a to konkrétně u typu zakázky, kde musíme zvolit typ „customer“. Kdybychom zvolili, stejně jako v předchozí úloze, typ „production“, nezobrazoval by se nám produkt v sekci pro přizpůsobitelnou výrobu (viz. níže).

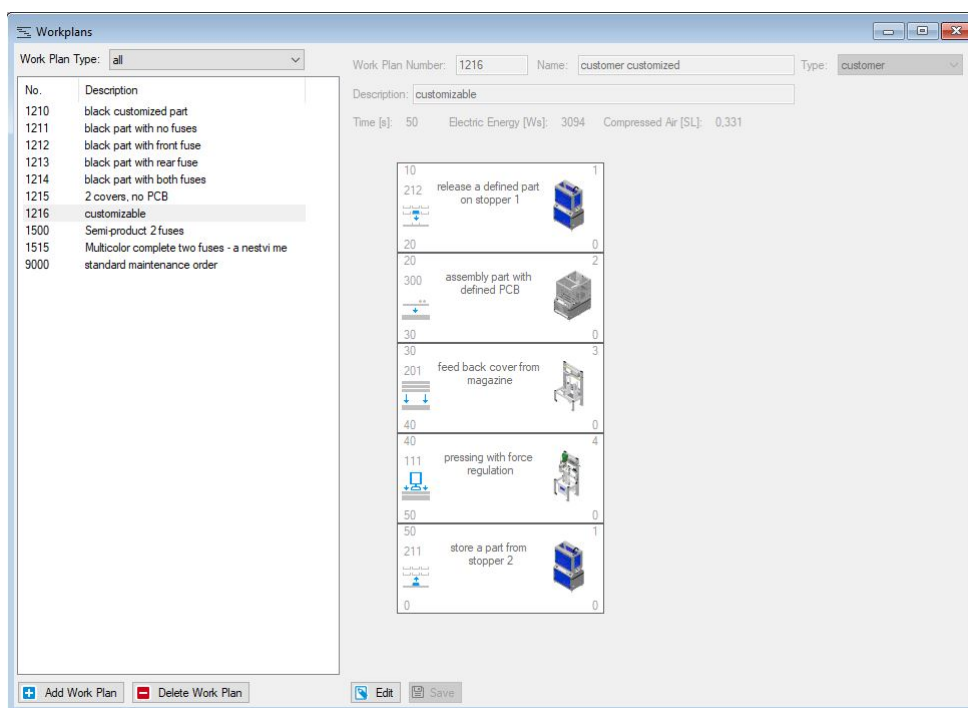
Vytváření postupu probíhá obdobně. Musíme si ale ohlídat, aby při zadávání součástí přidávaných do produktu, bylo vše v měnitelném stavu.

The screenshot shows a 'Step' configuration window with the following details:

- Basics:** Step: 20, Next Step: 30, First Step: , Error Step:
- Operation:** Resource: 2 | CP-F-RASS, Transport Time [s]: 0, Working Time [s]: 25, Electric Energy [Ws]: 0, Compressed Air [SL]: 0, Description: assembly part with defined PCB, Next Part Number: 0 | nothing
- Parts List:**
 - 4 Pos PCB: 0, on runtime, SQL
 - 5 PNo Fuse 1: 130, changable, SQL
 - 6 PNo Fuse 2: 130, changable, SQL
 - 7 PNo PCB: 120, changable, SQL

Obrázek 7.4: Okno úpravy výrobní operace [21]

Celkový plán bude vypadat opět velmi podobně, akorát nám zde přibude operace v robotické buňce.



Obrázek 7.5: Výsledný pracovní plán [21]

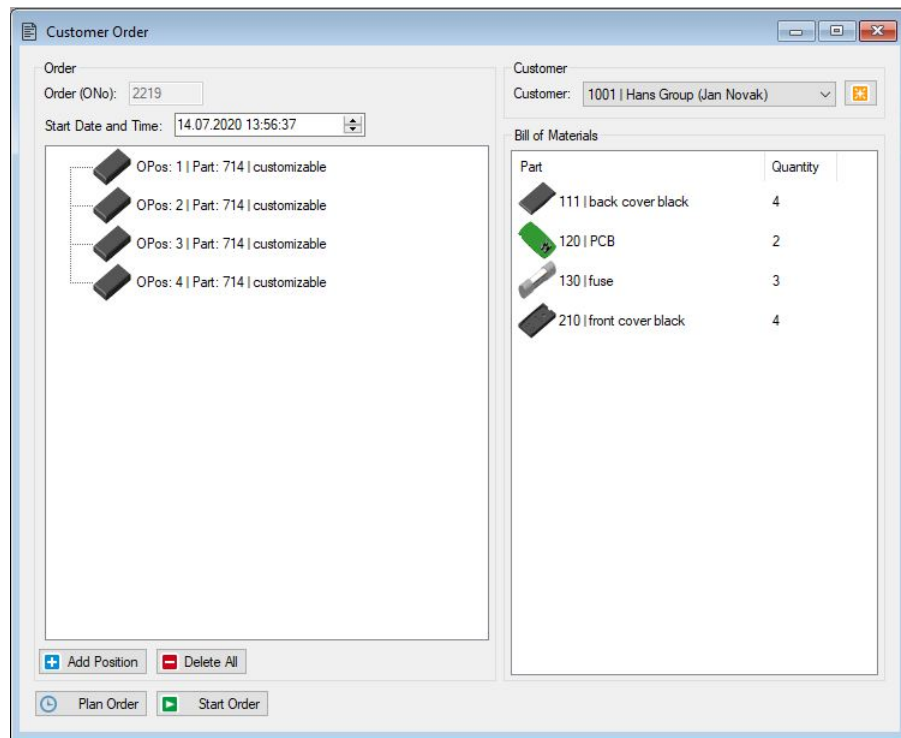
Produkt

Nyní už máme vytvořený pracovní plán, a proto začneme vytvářet nový produkt. Tento produkt musí být zařazen opět do složky „production part“ (jeho přizpůsobitelnost určuje pracovní plán, nikoliv složka nebo typ samotného produktu). Při vyplnění jednotlivých parametrů v základním nastavení se budeme držet údajů z úlohy. Název a popis zvolíme dle uvážení.

Vytvoření zakázky

V sekci Správa zakázek vybereme příkaz „New Customer Order“. V pravé části okna vybereme firmu, pro kterou zakázku vytváříme.

Poté začneme přidávat pozice a v nich upravovat produkty, které chceme vytvářet. Zvolíme námi vytvořený produkt. Díky tomu, že jsme vytvořili variabilní pracovní plán, můžeme měnit všechny potřebné parametry a nemění produkt samotný. Zároveň při přidávání pozic můžeme na pravé straně vidět množství materiálu (součástí), které budou pro výrobu potřeba.



Obrázek 7.6: Soupis zakázky do výroby [21]

Při upravování každé pozice je nutné pamatovat, že se musí změnit i finální výrobek, který se dává k uskladnění, jelikož tato informace se následně ukládá do vyrovnávací paměti.

Kapitola 8

Průmyslové komunikační protokoly

Ruku v ruce s MES jde i propojení samotných strojů mezi sebou. Analýza výstupních dat se nejlépe provádí v cloudu. Zde je zapotřebí bezpečná komunikace jak mezi stroji samotnými, tak i mezi stroji a cloudovým úložištěm.

V minulosti se pro tzv. komunikaci M2M používaly standardy včetně různých sběrnic např. PROFIBUS, CAN, Modbus nebo CC-Link. Tyto standardy se používají dodnes. [31]

8.1 Profibus

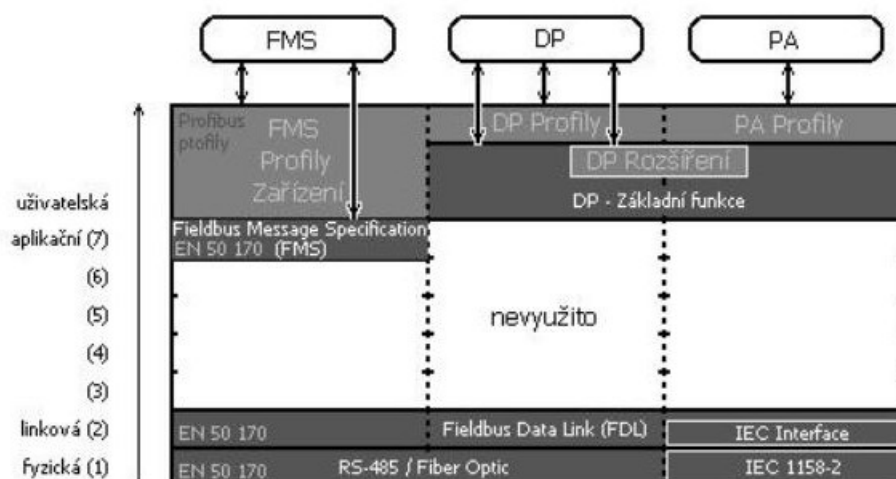
Profibus (*PROces Field BUS*) je postaven na základním normovaném modelu ISO/OSI (model vytvořený jako snaha standardizace počítačových sítí) a je určen pro všechny druhy automatizace (Automobilová, domovní, procesní atd.).[32]

8.1.1 Architektura protokolu

Jak už bylo zmíněno, norma vychází z modelu ISO/OSI. Pro časovou optimalizaci byly definovány pouze 3 vrstvy.[33]

- **Fyzická** — Realizuje se fyzické spojení mezi zařízeními. Podporuje přenos po sběrnici RS 485 (Profibus DP/FMS)
- **Linková (Fieldbus Data Link)** — Definuje přenosové médium a mechanismus přístupu účastníka. Zabezpečuje tvorbu zprávy (bitový řetězec).
- **Aplikační** — Jedná se o nejvyšší vrstvu v modelu ISO/OSI. Zprostředkovává komunikaci z hlediska uživatele.

Komunikační síť Profibus nabízí různé varianty propojení (viz. obrázek 8.1). [33]



Obrázek 8.1: Model komunikační sítě Profibus [33]

8.1.2 Varianty komunikace

Profibus DP (Decentralized Periphery)

Varianta DP je nejjednodušší a nejrozšířenější typ komunikace (master-slave) Profibusu, který nachází své uplatnění v komunikaci mezi PLC a jednotlivými zařízeními. Médium pro komunikace je buď optické vlákno nebo kroucená dvojlinka standardu RS 485. [32]

Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)

Používá se pro komunikaci s velkým množstvím služeb, pro práci s daty a programy. Jako komunikační zprostředkovatel se používá rovněž kroucená dvojlinka RS 485 nebo optické vlákno jako u Profibus DP, zde však dosahujeme nižších rychlostí. [33]

Profibus PA (Process Automation)

Své uplatnění najde zejména ve výbušném prostředí, neboť tento standard odpovídá jiskrové bezpečnosti. Používá se proto speciální standardizovaná fyzická smyčka, komunikující stálou rychlostí. [33]

8.2 CAN

Tento komunikační standard byl původně vyvinut firmou Bosch pro automobilový průmysl. *Controller Area Network* je protokol typu multi-master, což znamená, že každý uzel může být hlavní a řídit chování ostatních uzlů. [34]

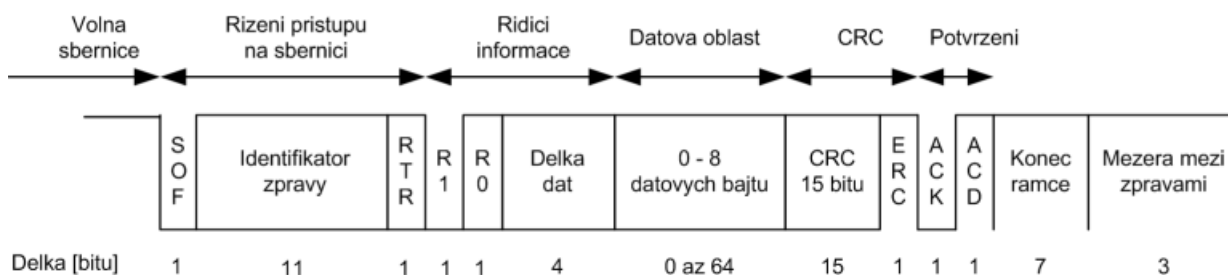
S rostoucím množstvím přídavných elektrických zařízení, ať už z důvodů konektivity nebo kvůli zvyšujícím se nárokům na emisivitu, vznikla potřeba, aby jednotlivé systémy v automobilu začaly spolu komunikovat. Všechny tyto senzory nebo řídicí jednotky jsou propojeny právě pomocí sběrnice CAN. [34], [35]

Při komunikaci tímto standardem přenášená data neobsahují informaci o cílovém uzlu, proto jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými k této sběrnici. Ke každé zprávě je přiřazen identifikátor a priorita. Každý uzel je nastavený na svůj identifikátor, aby přijímal zprávy jemu určené. Nastavená priorita je od toho, aby při kolizi dvou zpráv prošla jako první vždy ta „důležitější“. [34], [35]

8.2.1 Datová zpráva

V normě standardizující protokol CAN jsou dva typy datových zpráv. V první specifikaci 2.0A je pouze tzv. standardní formát (*Standard Frame*, ale ve specifikaci 2.0B je definován navíc tzv. rozšířený formát (*Extended Frame*). Rozdíl je v objemu zprávy. Standardní formát je pouze 11 bitů velký, rozšířený formát má bitů 29.

Přeposílání zpráv funguje pouze při volné datové sběrnici. V momentě, kdy uzel s připravenou zprávou k odeslání detekuje volnou sběrnici, začne vysílat, nehledě na to, zda získá přístup k dané sběrnici. [34], [36]



Obrázek 8.2: Schéma datové zprávy dle CAN 2.0A [34]

Jednotlivé části datové zprávy a jejich velikost [34]

- SOF (Start of frame) — začátek zprávy (1 bit)
- AF (Arbitration field) — identifikátor zprávy a řízení přístupu ke sběrnici (11 bitů)
- RTR (Remote request) — rozlišení, zda se jedná o datovou zprávu nebo o přístup ke sběrnici (1 bit)
- R1/R0 (Control field) — rezervované řídicí pole (2 bity)

- Délka datové zprávy (4 bity)
- Data Field — datová oblast (0-64 bitů)
- CRC (Cyclic redundancy check) — zabezpečovací kód (15 bitů)
- ERC — CRC oddělovač (1 bit)
- ACK (Acknowledge slot) — k potvrzení přijetí platného rámce CAN (2 bity)
- End of Frame — konec zprávy (7 bitů)
- IS (Interface space) — mezera mezi zprávami (3 bity)

8.3 Modbus

Jedná se o standard fungující na principu master a slave. Na každé sběrnici je jedno zařízení typu master a zbytek je typu slave (neplést si s ethernetovým protokolem Modbus TCP, kde může být na každém uzlu více master zařízení). Zařízení typu slave dostávají příkazy od zařízení typu master. Příklad je třeba PLC (master), které udává příkazy sensorům (slave). Na sériovém přenosu je preferovaná sběrnice RS-485. Protokol vysílá ve dvou režimech, které určují formát vysílaných dat — Modbus RTU a Modbus ASCII. Rozdíl je ve způsobu vysílání 1 bajtu (RTU jako jeden znak, ASCII jako dvojice znaků). Výhodou ASCII je možnost posílání znaků s mezerami, ale na rozdíl od RTU je pomalejší. [37]

8.4 Průmyslový Ethernet

Obecně je známo, že Ethernet je už více jak dvacet let nejrozšířenějším komunikačním standardem. Jeho využití raketově vzrostlo na počátku 90. let masivním nástupem internetu. V dnešní době se často setkáváme s pojmem průmyslový Ethernet, který je využíván zejména v odvětví průmyslové automatizace a řízení.

Nejprve je nutné zdůraznit, že průmyslový Ethernet neznamenaá jednotnou metodu komunikace od jednoho specifického výrobce, ale jde hned o několik způsobů řešení, která byla vytvořena sdružením výrobců. Cílem je využití techniky Ethernetu (včetně množiny protokolů TCP/IP a internetové techniky) a zároveň dosáhnout požadovaných nároků na sběr dat, ovládání a řízení strojů, procesů nebo celých linek. [38], [39]

Hlavní důvod, proč nebyl Ethernet využíván v průmyslové automatizaci, je ten, že v průmyslovém využití je kladen důraz na mechanické a elektrické provedení, na rozdíl od prostředí kancelářského. Pokud tedy nastane v kancelářském prostředí výpadek sítě,

nezpůsobí to větší ekonomické ztráty ani ohrožení na lidském zdraví. U průmyslové sítě je nutno splnit určité nároky jako například: [38]

- současné a včasné splnění požadavků
- důraz na stálost doby odezvy (jitter)
- stabilita hardwaru a softwaru
- odolnost proti mechanickým vlivům a vlhkosti

Samotná architektura Ethernetu však není určena pro splnění všech těchto podmínek, proto se vedle klasického modelu klient-server využívají modely typu publisher-subscriber a producent-consumer, které nabízejí větší efektivitu ve výměně dat. [38]

8.4.1 Řešení průmyslového Ethernetu

Co se týče ochrany proti mechanickým vlivům využívá průmyslový Ethernet typ konektoru RJ45-IP67, který zaručuje určitý stupeň krytí vůči vlhkosti a prašnosti. Ethernet realizovaný v kancelářském prostředí tuto funkci nenabízí. Důvodem je uplatnění klasického typu konektoru RJ45.

Klíčovou vlastností je nicméně schopnost řešit dané úlohy v reálném čase, tj. vyřešení požadovaných úkolů do přesně stanoveného času (tzv. deadline). Do tohoto řešení patří jak splnění úkolů v daný čas, tak i synchronizace činností a úloh od ostatních uživatelů. Ačkoliv Ethernet je svou architekturou nedeterministický, má mechanismy, kterými umí tyto predispozice minimalizovat. [38], [40]

1. Publisher–subscriber a producer–consumer

Modely publisher-subscriber a producer-consumer jsou vhodné pro cyklickou výměnu dat a pro prostředí s více než dvěma komunikujícími stanicemi (např. posílání signálů ze snímačů).

2. Přepínače (switche)

Síťové přepínače rozdělí síť na menší segmenty, kde se vždy nachází pouze přepínač a koncové zařízení, což zabrání vzniku kolize. Případné včasné doručení se řeší časovým rozvrhem.

3. Využití mechanismu prioritních slotů

Pokud nastane problém již v samotném plánování, řeší se pomocí mechanismu prioritních slotů. U zpráv se nastaví jejich důležitost a při případné kolizi projdou jako první zprávy s prioritou vyšší.

4. Využití vysokorychlostních variant Ethernetu

Přístup vysokorychlostní varianty Ethernetu je řešen zkracováním časového okna pro přenos a tedy i pro mezeru mezi pakety.

5. Segmentování sítě

Tzv. segmentování sítě znamená, že pomocí switche se oddělí segmenty, v nichž je a není požadována komunikace v reálném čase.

8.4.2 Časová nejistota

Hlavním problémem komunikace průmyslového Ethernetu je časová nejistota při požadavku na současné provedení akcí. Tato nejistota plyne z toho, že samotný Ethernet je postaven na nedeterministických základech komunikace. Abychom dosáhli časové posloupnosti a synchronní činnosti účastníku, musíme postupovat určitými způsoby.

Buďto přesné deterministické plánování na základě synchronizace, čímž dosáhneme současného provedení dílčích akcí jednotlivými komunikačními prostředky. To se používá např. u provedení Ethernet Powerlink nebo Profinet IRT. Problémem tohoto řešení je omezení případné kompatibility s Ethernetem TCP/IP.[41]

Jako další řešení se nabízí vývoj nových synchronizačních mechanismů, které by se přizpůsobily základním funkcím a požadavkům na propojení Ethernetu TCP/IP. Výsledkem je tedy synchronizace tzv. decentralizovanými hodinami. V jednoduchosti to znamená, že rozvrh jednotlivých úloh je vyjmut z celkového časového rastru komunikace. Tento způsob komunikace je označován jako Precision Time Protocol (PTP). [41], [42]

Důsledkem nekoordinovaného vývoje je existence několika navzájem nekompatibilních realizací.

Kapitola 9

Bezpečnost komunikace

Problematika zabezpečení přenosu dat je jedním z nejaktuálnějších témat, proto se tomu nevyhne ani komunikace v průmyslových systémech.

Abychom vůbec mohli začít mluvit o zabezpečení, je potřeba si nejdříve zadefinovat, co to vlastně bezpečnost komunikace znamená. První, co asi většinu z nás napadne, je možnost naborování se do softwaru a díky tomu číst a měnit data. To však zdaleka není hlavním problémem zabezpečení.

9.1 Bezpečnost dle normy ČSN EN 61508

Byť by se mohlo zdát, že pojem bezpečnost je pojmem triviálním, opak je pravdou. Nastává zde totiž problém již na samotném začátku, a to v překladu. Konkrétně neschopnost přesného překladu z anglického jazyka do českého. Ačkoliv anglické normy a literatura uvádějí dva rozdílné pojmy „security“ a „safety“, v češtině existuje pojem jediný — bezpečnost. To přináší mnoho nejasností i mezi technickou veřejností. Norma IEC 61508 (resp. její český překlad ČSN EN 61508) je definována pro oblast elektronických a elektrických systémů a elektronických programovatelných systémů.

Podle uvedené normy rozlišujeme 3 základní druhy bezpečnosti — primární, nepřímá a funkční. [43]

- **Primární bezpečnost** — primární rizika jako např. úraz elektrickým proudem, popálení způsobená zářením nebo šoky
- **Nepřímá bezpečnost** — vedlejší důsledky způsobené nesprávnou funkcí zařízení, které ale přímo neohrožují lidské zdraví
- **Funkční bezpečnost** — zahrnuje bezpečnost samotného stroje nebo řízeného procesu a také bezpečnost na strojích založených na jiných principech pro snížení rizika

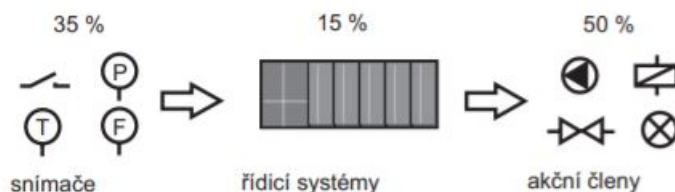
A zároveň také vymezuje pojem „integrita bezpečnosti“, jehož vysvětlení je uvedeno v obrázku 9.1.

Integrita bezpečnosti (<i>safety integrity</i>)	pravděpodobnost, s jakou systém související s bezpečností bude uspokojivě plnit požadované bezpečnostní funkce za všech stanovených podmínek a po stanovenou dobu
Integrita bezpečnosti softwaru (<i>software safety integrity</i>)	míra vyjadřující pravděpodobnost, že software bude v E/E/EP systému souvisejícím s bezpečností plnit své bezpečnostní funkce za všech stanovených podmínek a po stanovenou dobu
Integrita bezpečnosti hardwaru (<i>hardware safety integrity</i>)	část integrity bezpečnosti systémů souvisejících s bezpečností týkající náhodných poruch hardwaru charakteru nebezpečné poruchy
Úrovně integrity bezpečnosti (<i>Safety Integrity Level – SIL</i>)	diskrétní úroveň (jedna ze čtyř úrovní, definovaných normou) pro stanovení požadavků integrity bezpečnosti bezpečnostních funkcí přiřazených E/E/EP systémům souvisejícím s bezpečností, kde úroveň integrity bezpečnosti 4 má nejvyšší úroveň integrity bezpečnosti a úroveň 1 nejnižší (zkratkou SIL 1 až SIL 4)

Obrázek 9.1: Integrita bezpečnosti a pojmi s ní související [43]

Komunikační podsystémy, jakožto součást elektrických programovatelných systémů, primárně souvisí s řízením a sběrem dat. Právě proto jsou na ně kladeny požadavky z hlediska funkční bezpečnosti. Standart IEC 61508 staví na 5 základních předpokladech. [43]

1. Absolutní spolehlivost systému neexistuje, a proto nelze vyloučit jeho selhání. Růst spolehlivosti zapříčiněnou např. redundancí (zálohováním dalším identickým systémem) zvyšuje spolehlivost celku, nikoliv bezpečnosti.
2. Pokud systém náleží do nějaké třídy SIL (*Safety integrity level*), znamená to, že riziko je akceptováno na určitý stupeň daný odpovídající třídou SIL (pravděpodobnost bezporuchové funkce systému).
3. Funkční bezpečnost celku musí být zaručena i pokud dojde k narušení bezpečnosti jednotlivých funkcí řídicího nebo komunikačního systému.
4. Veškeré systémy splňující danou třídu SIL musí být konstruovány podle určitých pravidel, aby na tuto třídu dosáhly.
5. Funkční bezpečnost se vztahuje na celý řetězec, přičemž celková pravděpodobnost výskytu chyby je sumou pravděpodobností výskytu chyby jednotlivých komponent.



Obrázek 9.2: Chybovost v jednotlivých prvcích bezpečnostního řetězce realizovaného programovatelným elektronickým systémem (PES) [43]

Ethernet je dosti robustní komunikační systém a se svojí pravděpodobností bezporuchového stavu by měl stačit i ve svém standardním provedení. Přesto je potřeba se i v průmyslové síti zabývat mechanismy bezpečné komunikace.

Problémem Ethernetové komunikace je protokol DHCP (protokol nastavující IP adresy), jelikož nevyhovuje normě IEC 61508. Je tedy zřejmé, že nedostatečná bezpečnost není otázkou Ethernetu, ale pouze jeho aplikační vrstvy a protokolu DHCP. Má-li být Ethernet schopen realizovat bezpečnou komunikaci, je zapotřebí, aby byly bezpečnostní mechanismy použity v sedmé vrstvě.

Na druhou stranu Ethernet sám o sobě vykazuje vysoký stupeň odolnosti vůči vnitřním i vnějším poruchám. [43]

9.2 Black channel

Tento princip vychází z triviálního požadavku neměnit nic na softwaru ani hardwaru standardních průmyslových systémů a protokolů (Profibus, CAN atd.) za účelem dosažení určité třídy SIL. Tříd však nedosáhneme skrz zvětšování spolehlivosti v dolních vrstvách protokolu, protože tyto protokoly ji mají dostatečnou, ale skrz přidáním bezpečné vrstvy do sedmé vrstvy protokolu nebo nad ni. Tím by se, teoreticky vzato, měly eliminovat všechny možné přenosové chyby.

Funkce bezpečnostní vrstvy, jako např. u systému Profisafe, spočívá v zachycení poruch a v následné realizaci opatření eliminujících vliv poruchy na komunikačním kanálu. Spadá do toho i zjištění informací o stavu zařízení.

Provozní a bezpečnostní data jsou přenášena společným komunikačním kanálem. Oba tyto typy dat jsou poté použity ke stejným druhům úloh. Občas se tento kanál zdvojuje, ale to nesouvisí s bezpečností, nýbrž s provozní dostupností. [44]

9.2.1 Chyby přenosu dat a jejich řešení

Při přenosu dat mohou nastat různé druhy poruch. Tyto poruchy eliminujeme zmíněným přidáním bezpečnostní vrstvy do komunikačního protokolu na zabudované mechanismy. [43]

- Opakování — opakovaný příjem stejných dat.
- Ztráta — ztráta dat při komunikaci.
- Vkládání — přijetí dat od nepředpokládaného odesílatele.
- Špatné pořadí — data jsou přijata v nepředpokládaném pořadí.
- Zpoždění — přesažení přípustného intervalu pro přijetí dat.
- Propojení „safe“ a „non-safe“ — komunikace mezi bezpečnostním a obyčejným příjemcem.

Mechanismy řešení spočívají např. v potvrzení příjmu dat, identifikace příjemce a odesílatele, přidáním kontrolních dat atd.

9.3 Informační bezpečnost

Informační bezpečnost, na rozdíl od funkční bezpečnosti, řeší bezpečnost z hlediska úmyslných útoků na průmyslové komunikační kanály. Tento typ hrozby byl donedávna pro průmyslovou komunikaci zcela nepodstatný, jelikož řešení přenosu dat bylo z principu důsledně soukromé a otevřené komunikační sítě, které by sahaly za hranice podniku, nebyly brány v potaz.

S Nástupem Ethernetu do průmyslové komunikace a propojením řídicích center na výrobní úrovni s programy na vyšší úrovni řízení (MES a ERP) došlo k aktualizaci celé problematiky bezpečnosti. Z hlediska trendu je průmyslová komunikace bez dalšího vývoje vlastních mechanismů a vychází z již existujících mechanismů, které byly použity v komerčním a bankovním sektoru. [45]

9.3.1 Kritéria bezpečné informační komunikace

Pro posuzování bezpečnosti se bere ohled zejména na tyto kritéria: [45]

- Neporušenost dat — cílem je, aby se data během cesty nezměnila, byla úplná, a aby došla ve správném pořadí
- Věrohodnost dat — důraz kladen na data v souborech typu log file (explicitní, odolná proti padělání)
- Utajení dat — zajištění „nehacknutelnosti“ v průběhu přenosu, což se dosahuje vhodným šifrováním, které zvládne přenést daná síť v souladu s ostatními požadavky např. na činnost v reálném čase atd.
- Dostupnost dat — kontrola, zda entity můžou vysílat a přijímat data
- Prokázání totožnosti — kontrola oprávněnosti komunikace každé stanice před samotným přenosem dat (heslo, digitální podpis atd.)
- Ochrana třetí strany — schopnost bránit šíření chyb z napadeného systému na další systémy s ním propojené

9.3.2 Nedostatky zabezpečení

Mezi hlavní nedostatky zabezpečení řadíme maskovací a směrovací mechanismy, které lze obejít dvěma způsoby. První možnost je předstírání zdrojové adresy paketu IP. Princip tohoto řešení je poměrně jednoduchý. Paket s falešnou adresou se objeví na síťové kartě směrovače a následně je poslán k vnitřní síťové kartě v intranetu.

Druhým způsobem je vytvoření síťového násobiče. Do sítě je vyslán paket formátu ICMP (*Internet Control Message Protocol*) s falešnou zdrojovou adresou. Pokud máme špatně nakonfigurovaný router, zpráva s paketem bude poslána dál. Na to budou reagovat ostatní dotázané stanice posíláním svých dat na tuto falešnou adresu. Chyby se nutně nemusí vyskytovat pouze na komunikačním protokolu, ale mohou vznikat i při samotném programování. [45]

9.3.3 Možná řešení nedostatků

Analýza nedostatků

Abychom mohli stanovit stupeň zabezpečení, je potřeba určit kategorie, jak daná chyba může ovlivnit chování systému.

Rovněž je třeba zmapovat komunikační vztahy uvnitř a vně podniku. V každé organizaci se komunikuje mezi výrobou a řídicím segmentem v rámci intranetu a mezi jednotlivými podniky v rámci internetu. U intranetu se využívají stejné protokoly známé z internetu (http, https) založené na protokolech IP. Kancelář je homogenní prostředí, kde spolu komunikují počítače a ERP systémy. Používají se klasické protokoly aplikační vrstvy (TCP/IP, HTTP atd.). Na úrovni výroby se setkáváme jak s komunikací s MES, tak s komunikací mezi jednotlivými řídicími systémy. Střetávají se nám zde tedy klasické průmyslové protokoly s těmi internetovými. [46]

Obranné strategie

Na základě zjištění a analýz lze zvolit vhodnou strategii, která umožní dosáhnout dané bezpečnosti sítě.

Jedním z příkladů obrané strategie je strategie „Hard perimeter“. Jejím principem je vytvoření imaginární neproniknutelné bariéry kolem celého systému. Je-li tedy zmíněný systém kromě intranetu zároveň připojen i k internetu, veškerá komunikace probíhá přes tuto pomyslnou hradbu - firewall. Zde si můžeme sami zvolit náležitá zabezpečovací kritéria. Zřejmou nevýhodou této strategie je použití pouze jednoho stupně ochrany. Jakmile je tato úroveň ochrany prolomena, útočník má neomezený přístup k veškerým datům v systému.[46],[45]

Tento nedostatek jistým způsobem řeší strategie „Defence in depth“, která těchto pomyslných hradeb buduje hned několik. Přičemž každá hradba má své specifické postupy na ověřování bezpečnosti příchozích dat. Logicky je tento typ obrany náročný jak na čas, tak i na objem přenesených dat.[47]

Struktura zabezpečení

Jakmile je zvolena vhodná strategie, je potřeba navrhnout strukturu zabezpečení a vybrat vhodné prostředky pro daný typ strategie. Průmyslová automatizace je specifická tím, že je potřeba pamatovat na potřebu řídit některé procesy v reálném čase. Jako řešení se zde nabízí rozdělení komunikační sítě do několika vzájemně oddělených sfér zabezpečených jako celku. Tam, kde je potřeba řízení v reálném čase, je vysoké zabezpečení komunikace. Vše je uzavřeno v jednom okruhu, přičemž vnitřní komunikace je bez zabezpečení, protože se pokládá za důvěryhodnou.[43]

Kapitola 10

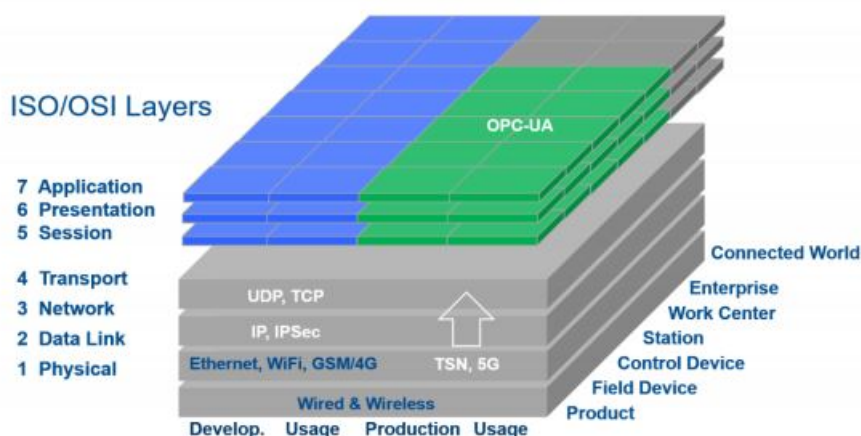
Komunikace mezi výrobní vrstvou a MES

V této kapitole bude představen způsob ethernetové komunikace a její zabezpečení mezi výrobní vrstvou a MES.

10.1 OPC UA

OPC UA je zkratka anglického názvu *Open Platform Communication Unified Architecture*. Jedná se o poměrně nový komunikační protokol, který se až v posledních letech začíná více rozšiřovat do průmyslu. Tento komunikační protokol byl vypuštěn do světa společností OPC foundation v roce 2008 jako nezávisle orientovaná platforma. Sjednocením protokolů z předchozí verze OPC classic (OPC DA, OPC AE, OPC HDA) byla vytvořena celistvá verze OPC UA. [48][49]

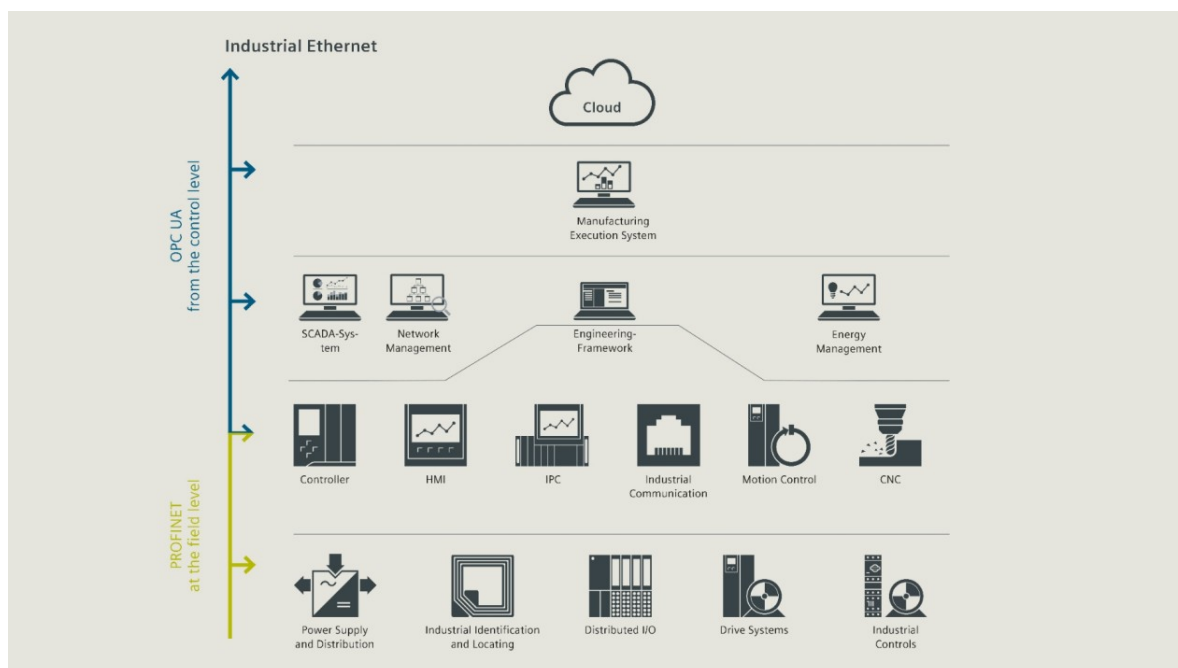
Velkou nevýhodou OPC classic je podpora pouze operačního systému Windows, což je zapříčiněno použitím technologie COM/DCOM. Kdežto OPC UA je založena na komunikačním standardu TCP/IP a v aplikační vrstvě na protokolu HTTP. Tento fakt umožňuje spolupracovat s veškerými platformami, jako např. macOS nebo Linux. Pokud bychom měli zařadit OPC UA do komunikačního modelu ISO/OSI, jednalo by se o 5-7 komunikační vrstvu viz. obrázek 10.1. [50],[51]



Obrázek 10.1: Zasazení OPC UA do komunikačního modelu ISO/OSI [52]

Hlavním cílem OPC UA je rozšíření do co nejvíce zařízení, primárně PLC automatů. Úkolem je specifikovat a ukládat data mezi jednotlivými zařízeními na variabilních platformách.

Průmyslové řešení funguje následovně. Přes OPC UA se obdrží data z jednotlivých továren nebo výrobních zařízení. Ty se přeloží do jednotného hlášení a lze s nimi dále pracovat. Nejlepší ukázkou komunikace mezi jednotlivými patry výrobního podniku přes OPC UA ilustruje obrázek 10.2. Zde názorně vidíme, že data, se kterými pracuje MES, jdou z PLC přes OPC servery do OPC klienta. Z klienta si už přeložená data volá právě MES.[53]



Obrázek 10.2: Propojení jednotlivými patry výrobního podniku přes OPC UA [54]

10.2 Zabezpečení

Pokud se díváme na komunikaci z hlediska zabezpečení, je potřeba zvážit, v jakém prostředí se komunikace vykonává a na základě toho stanovit stupeň zabezpečení. To zahrnuje šifrování a podepisování dat, identifikace aplikací, autentizace a autorizace uživatelského prostředí, přenos skrz firewall atd. OPC UA k tomu přistupuje standardizací možných hrozeb a popisem jejich zabránění.

Jelikož standard OPC UA není uzavřen do jednoho komunikačního přenosu, zavádí se další bezpečnostní vrstva nad hlavním přenosem. [55]

10.2.1 Podpisy a šifrování

Podpis přenesených dat zaručuje, že nikdo nemůže již odeslaná data změnit. Vyžaduje se generování šifrovaného podpisu, který lze obnovit pouze určeným příjemcem zprávy. V případě změny nastane odeslání dat bez podpisu a příjemce je schopen nepodepsaná data označit za chybná. Protokol OPC UA má ve svém výchozím nastavení povolený podpis i šifrování. Na nastavení jednotlivých serverů je, zda tento standard budou dodržovat či nikoli. Ovšem veškeré certifikované servery a klienti tento aspekt podporují a poté už záleží na uživateli, jaké zabezpečení využije.[55].

10.2.2 Zabezpečení a identifikace aplikací

Tato funkce zaručuje, že při komunikaci mezi jednotlivými aplikacemi, nezasáhne žádného dalšího klienta nebo server. Tato záruka je odvozena od přímé komunikace mezi určenými certifikovanými servery a jejich klienty (dosaženo přes tzv. certifikáty). To nám dovoluje mít dvě stejné aplikace na různých počítačích s rozdílnými pravomocemi díky přístupům k specifickým serverům. [55]

10.2.3 Certifikáty

Základní myšlenkou digitálních certifikátů je distribuce veřejných klíčů, které se využívají k šifrování mezi jednotlivými entitami nebo pro šifrování dat. Jsou to dokumenty, které obsahují informace potvrzené třetí stranou. Každá aplikace má přiřazený svůj certifikát plus seznam dalších povolených certifikátů.[55]

Pro OPC UA musí certifikát splňovat 2 hlavní kritéria. Za prvé musí spojit informaci s unikátním klíčem a přiřadit ji k specifickému majiteli. Druhým kritériem je zaručení bezúhonnosti dalším klíčům při zásahu 3. strany. [56]

Pro ovládání daných certifikátů se využívá tzv. PKI (*Public Key Infrastructure*), což je značení infrastruktury zprávy a distribuce veřejných klíčů z asymetrické kryptografie.

Zahrnuje mnoho dalších bezpečnostních aspektů, jako např. šifrovací klíče nebo certifikace autority. Autorita je subjekt pro obnovu a rušení certifikátů a zároveň se stará o informování ostatních subjektů při změnách platnosti certifikátů. [56]

10.2.4 OPC UA Secure conversation

Jedná se o kombinaci schválených technik a mechanismů využitých ve standardech TLS. TLS je kryptografický protokol, který nabízí aplikacím komunikovat po síti bez možnosti odposlechu nebo falšování zpráv[57].

Zprávy, dle definice Message Security Mode, lze posílat buď nezabezpečené, nebo podepsané (viz. výše), nebo podepsané a zašifrované. To znamená, že odesílatel zašifruje zprávu veřejným klíčem a příjemce zprávu otevře svým soukromým klíčem.[58]

10.2.5 Security policies, profiles

Profily obsahují funkce, které aplikace musí podporovat, aby byly kompatibilní s jinými. Jedná se o bezpečnostní funkce, jako např. šifrovací aplikace. Více aplikací OPC UA může podporovat různé šifrovací algoritmy, ale vždy lze využít pouze jeden pro jedno připojení. Funkce tohoto zabezpečení nám definuje specifikace Security policies.[59]

10.2.6 Uživatelská práva pro přístup

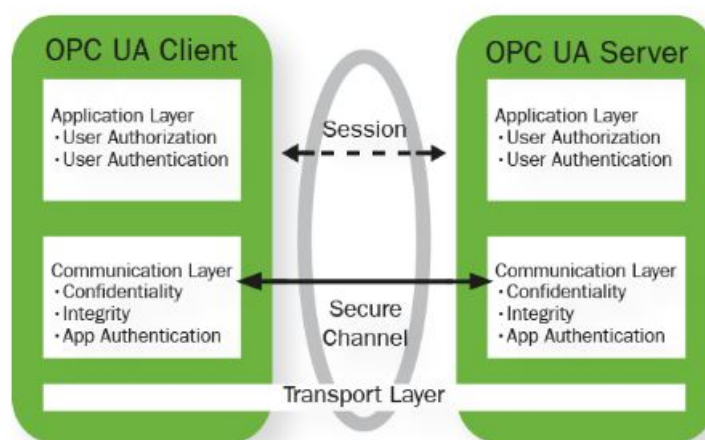
Toto omezení určuje, ke kterým datům na serveru bude mít uživatel přístup a jak bude možné se přihlásit. Rovněž stanovuje možnosti nakládání s daty — číst, přepisovat, nebo dokonce procházet adresním protokolem. [55]

OPC UA nabízí 4 úrovně zabezpečení:

- Anonymní — Ve své podstatě to znamená, že veškeré platné certifikáty budou považovány za důvěryhodné.
- Serverová autentizace — Při zvolení této možnosti se může připojit jakýkoliv klient a u něj, pokud je nastaveno, je vyžadováno jméno a heslo. Každý klient je povinen udělit důvěru serverovému certifikátu (tato možnost je nastavena administrátorem na straně klienta).
- Autentizace pomocí certifikátu — Pro tento případ server povolí přístup pouze klientům s důvěryhodným certifikátem (certifikát x509v3). využívá se v případě služeb, které udělují přístup pouze důvěryhodným klientům s bezpečným certifikátem, ale zároveň není kladen velký nárok na server. Tento způsob poskytuje nejvyšší míru bezpečnosti, ale klade důraz na nastavení jak u klienta tak i serveru.

10.2.7 Secure channel session

Při navazování spojení mezi klientem a serverem se nejprve musí vytvořit Secure channel, který zabezpečí komunikaci na nízké úrovni. Na jeho vrcholu se potom vytvoří tzv. Session. Funkce Secure channel a Session nemají za úkol zajistit posílání dat, ale pouze bezpečný přenos. Fungují tak, že při výpadku spojení vytvoří spojení nové. Nejdříve Secure channel a poté Session. Poslední zmíněný má jasně definovaný čas (Timeout), za který neproběhne-li žádné spojení mezi klientem a serverem, server uzavře tuto session jako neaktivní. [60]



Obrázek 10.3: Navázání komunikace [61]

10.2.8 Odebírání (Subscription)

Klient má právo odebírat tři typy informací — změny hodnot, sdružení hodnot a sdružení událostí. Sám klient si určí, jak často mu mají data ze serveru posílat (tento parametr se jmenuje Publish interval). Poté vytváří z proměnných, které sleduje, tzv. Sledující objekty a nastavuje si při jaké změně hodnoty se mají data odesílat (filtr). [62], [60]

Monitorování proměnných

Server při tzv. Sampling intervalu vzorkuje proměnné na základě předdefinovaného času. Po skončení vzorkování zkontroluje, zda se změnila hodnota dat o požadovanou hodnotu nebo procento. V momentě, kdy daná hodnota překročí přes filtr, proměnná se zařadí zpět do řady, jejíž délka je definovaná klientem. Po skončení Publish intervalu se hodnoty odešlou klientovi. [62]

Kapitola 11

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení čtenářů s informačními systémy ve výrobním podniku se zaměřením na MES. K tomuto tématu byly uvedeny některé normy definující MES a samotnou pozici v hierarchii IS. Snahou rovněž bylo objasnit základní pojmy z oblasti digitalizace výrobního procesu a pozice výrobních systémů jak z historického hlediska, tak z hlediska moderní inteligentní továrny. Pro představu jsou uvedena některá řešení včetně osobní zkušenosti s MES Hydra.

V praktické části byla popsána didaktická výrobní linka CP factory od firmy Festo. Dále je detailně rozebráno řešení MES systému MES4, které se přiřazuje k didaktickému softwaru již jmenované firmy. Cílem praktické části bylo vytvoření 3 cvičných úkolů v MES4, které se opírají o výklad v praktické části. Všechny tyto úlohy jsem vyzkoušel v CP factory na Fakultě strojní ČVUT v Praze a byly plně funkční. Tyto úlohy by se daly vylepšit například zapojením databází, o které se MES4 opírá.

Část této práce je rešerše průmyslové komunikace. Nejdříve bylo představeno několik základních standardů M2M komunikace jako jsou protokoly Profibus, CAN nebo Modbus. Práce dále zmiňuje ústup od těchto protokolů a jejich nahrazení průmyslovým Ethernetem. U něho jsou specifikovány požadavky průmyslu na Ethernet a jejich řešení v praxi. V neposlední řadě je představena bezpečnost komunikace. Nejdříve byl vymezen pojem bezpečnost dle ČSN EN 61508 a poté představeno několik rizikových oblastí zabezpečení a jejich následné řešení.

V poslední části se věnuji komunikaci řídicích systémů s MES systémem pomocí OPC UA. Tento komunikační standard založený na průmyslovém Ethernetu byl popsán včetně jeho výhod a rozdílů oproti předchozí verzi OPC classic. Závěrem je uvedeno několik způsobů zabezpečení jako je podepisování nebo certifikace.

Bibliografie

1. MEYER, Heiko; FUCHS, Franz; THIEL, Klaus. *Manufacturing Execution Systems: optimal design, planning, and deployment*. McGraw-Hill, 2009.
2. JURGEN, Kletti. *Manufacturing Execution System*. Springer, 2007.
3. MESCENTRUM. *ISA95*. The International Society of Automation. Dostupné také z: <http://www.mescentrum.cz/clanky/standardy/97-isa95>.
4. WALLY, Bernhard; HUEMER, Christian; MAZAK, Alexandra; WIMMER, Manuel. IEC 62264-2 for AutomationML. In: 2018.
5. KLETTI, Jürgen; DEISENROTH, Rainer. *MES compendium: perfect MES solutions based on HYDRA*. Springer Vieweg, 2018.
6. KARADGI, SACHIN. *Reference architecture for real-time performance measurement*. SPRINGER INTERNATIONAL PU, 2016.
7. ADMIN. *Industry 4.0 Needs Horizontal Integration - Asia Pacific Metalworking Equipment News: Manufacturing: Automation: Quality Control*. 2018. Dostupné také z: <https://www.equipment-news.com/industry-4-0-needs-horizontal-integration/>.
8. ROUSE, Margaret. *What Is ERP? Guide to Enterprise Resource Planning Software*. TechTarget, 2020. Dostupné také z: <https://searcherp.techtarget.com/definition/ERP-enterprise-resource-planning>.
9. ROUSE, Margaret. *What is manufacturing execution system (MES)?* TechTarget, 2017. Dostupné také z: <https://searcherp.techtarget.com/definition/manufacturing-execution-system-MES>.
10. FRASER, D. Models for MES In an Enterprise Architecture. In: 2011.
11. *Co je Štíhlá výroba?* Enprag s.r.o. Dostupné také z: <https://stihlavyroba.eu/stihla-vyroba/s-29/>.
12. *ERP MES Cooperation*. Ordinal software. Dostupné také z: <https://www.ordinal.fr/en/erp-mes-cooperation.htm>.
13. INNOVATION STRATEGY, Pradipto BasuFollowDigital Transformation amp; *The Future of Manufacturing Execution Systems (MES) and why did Siemens acquire Mendix?* Dostupné také z: <https://www.linkedin.com/pulse/future-manufacturing-execution-systems-mesand-why-did-pradipto-basu>.
14. ALMADA-LOBO, Francisco. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*. 2016, roč. 3, č. 4, s. 16–21. Dostupné z DOI: 10.24840/2183-0606_003.004_0003.

15. *Nová infrastruktura inteligentního průmyslu*. Dostupné také z: <https://www.anasoft.com/emans/cz/home/Novinky-blog/Blog/infrastruktura-inteligentniho-prumyslu-ERP-smart-industry>.
16. *Řešení*. Dostupné také z: <http://mescenter.org/cz/reseni#sort=hits&sortdir=desc>.
17. UNIS, a.s. Dostupné také z: <https://pharis.cz/cs/o-systemu>.
18. UNIS, a.s. *Moduly*. Dostupné také z: <https://www.pharis.cz/cs/moduly>.
19. *20 Best MES Software of 2020 - Reviews, Pricing, Demos*. Dostupné také z: <https://softwareconnect.com/mes/>.
20. MPDV. *MPDV Hydra MES: 2020 Software Reviews, Pricing, Demos*. Dostupné také z: <https://softwareconnect.com/mes/mpdv-hydra-mes/>.
21. FESTO DIDACTIC SE, počítačový program. *MES4*. 2015. Verze 1.2.1.6. Dostupné také z: <https://festo-didactic.com>.
22. *CP Factory automatic pallet warehouse*. Dostupné také z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories,cim-fms-systems/cp-factory/cp-factory-automatic-pallet-warehouse.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4xOC4xMjkzLjUzNzc1>.
23. *CP Factory robot assembly cell*. Dostupné také z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories,cim-fms-systems/cp-factory/cp-factory-robot-assembly-cell.htm>.
24. *MITSUBISHI INDUSTRIAL ROBOT MELFA F Series Catalog*. Dostupné také z: https://mitsubishirobotics.com/pdf/F-Series_Robot_Brochure.pdf.
25. *Melfa průmyslové roboty — stálá kvalita-precizní řízení*. 2011.
26. *Lineup, Vertical type robot Product Features Industrial Robots-MELFA: MITSUBISHI ELECTRIC FA*. Dostupné také z: <https://orgnew-www.mitsubishielectric.com/fa/products/rbt/robot/pmerit/vertical/index.html>.
27. *CP Factory linear basic module*. Dostupné také z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories,cim-fms-systems/cp-factory/cp-factory-linear-basic-module.htm>.
28. *Muscle press application module – For CP Lab and CP Factory*. Dostupné také z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories,cim-fms-systems/cp-factory/muscle-press-application-module-for-cp-lab-and-cp-factory.htm>.
29. *MES4*. Dostupné také z: <https://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/mps-the-modular-production-system/mes4.htm>.
30. DIDACTIC, Festo. *MES 4 Manual*. Festo Didactic GmbH Co. KG, 2015.
31. MICHALEC, Libor. *Ethernet vs. sériové protokoly v průmyslu*. 2018. Dostupné také z: <https://automatizace.hw.cz/ethernet-vs-seriove-protokoly.html>.
32. *Profibus*. Wikimedia Foundation, 2018. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Profibus>.
33. KRYŠTŮFEK, Jan. *Profibus*. Dostupné také z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12110/site/profibus/>.

34. POLAK, Karel. *Sběrnice CAN*. 2003. Dostupné také z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>.
35. *Sběrnice CAN (Controller Area Network)*. Dostupné také z: <http://noel.feld.cvut.cz/vyu/scs/prezentace2002/Infineon/can.htm>.
36. *CAN bus*. Wikimedia Foundation, 2020. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/wiki/CAN_bus.
37. *Modbus*. Wikimedia Foundation, 2017. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Modbus>.
38. ZEŽULKA, prof. Ing. František; HYNČICA, Ing. Ondřej. *Průmyslový Ethernet*. 2005. Dostupné také z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prumyslovy-ethernet-2005_04_30417_493/.
39. ČASOPISU, Redakce. *Průmyslový Ethernet*. 2014. Dostupné také z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/prumyslovy-ethernet>.
40. *Industrial Ethernet Overview*. 2020. Dostupné také z: <https://www.rtautomation.com/industrial-library/what-is-industrial-ethernet/>.
41. LÜDER, A. *IAONA Handbuch – Industrial Ethernet*. Springer Vieweg, 2004.
42. KABEŠ, K. *Použití sítě Ethernet v průmyslové automatizaci*. Springer Vieweg, 2002.
43. ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet. *Průmyslový Ethernet V: Bezpečná komunikace po Ethernetu*. 2007, s. 58–61. Dostupné také z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36338.pdf.
44. AKERBERG, Johan; GIDLUND, Mikael; LENNVALL, Tomas; NEANDER, Jonas; BJÖRKMAN, Mats. Efficient integration of secure and safety critical industrial wireless sensor networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2011, roč. 2011. Dostupné z DOI: 10.1186/1687-1499-2011-100.
45. ZEŽULKA, František; HYNČICA, Ondřej. Průmyslový Ethernet. *Průmyslový Ethernet VI: Informační bezpečnost*. 2008, s. 58–62. Dostupné také z: http://www.uamt.feec.vutbr.cz/~zezulka/download/KPPA/A01_08s58_VI.pdf.
46. *Industrial Ethernet Book*. Dostupné také z: <https://iebmedia.com/ethernet.php?id=5051&parentid=74&themeid=255&hft=32&showdetail=true&bb=1>.
47. Cybersecurity for Telecontrol. *Industrial security*. 2020. Dostupné také z: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:5a0919fe-2cef-4e61-bffd-4541e46ec8e9/difa-b10092-00whitepapertelecontrolsecuritydeenus-144_original.pdf.
48. *What is OPC UA? A practical introduction*. 2020. Dostupné také z: <https://www.opc-router.com/what-is-opc-ua/>.
49. *OPC UA Specifications*. Dostupné také z: https://documentation.unified-automation.com/uasdkhp/1.0.0/html/_12_opc_ua_specifications.html.
50. *Unified Architecture*. OPC Foundation, 2019. Dostupné také z: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>.
51. *OPC Unified Architecture*. Wikimedia Foundation, 2020. Dostupné také z: https://en.wikipedia.org/wiki/OPC_Unified_Architecture.
52. LIN, Shi-Wan. *Architecture Alignment and Interoperability*. Industrial Internet Consortium, 2015.

53. FOXON. *OPC UA vám zjednoduší život, ale...* Dostupné také z: <https://www.vseoprmyslu.cz/inspirace/firemni-novinky/opc-ua-vam-zjednodusi-zivot-ale.html>.
54. *OPC UA speeds up the digitalization.* Dostupné také z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/industrial-communication/opc-ua.html>.
55. HUNKA, Paul. *OPC UA vs OPC Classic.* Dostupné také z: <http://www.dsinteroperability.com/OPCClassicVSUA.pdf>.
56. *General Concept.* Dostupné také z: https://documentation.unified-automation.com/uasdkhp/1.0.0/html/_12_ua_discovery_connect.html.
57. *Transport Layer Security.* Wikimedia Foundation. Dostupné také z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Transport_Layer_Security.
58. OPCFOUNDATION. *OPC 10000-6 Unified Architecture Part 6 Mappings Overview.* Dostupné také z: <https://reference.opcfoundation.org/v104/Core/docs/Part6/6.7.1/>.
59. *Practical Security Recommendations for building OPC UA ...* OPC Foundation. Dostupné také z: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/OPC-UA-Security-Advise-EN.pdf>.
60. ARO, Jouni. *OPC UA Sessions, Subscriptions and Timeouts.* Dostupné také z: <https://www.prosysopc.com/blog/opc-ua-sessions-subscriptions-and-timeouts/>.
61. MARFFY, Sofi. *OPC and OPC UA explained.* Dostupné také z: <https://www.novotek.com/uk/solutions/kepware-communication-platform/opc-and-opc-ua-explained/>.
62. *OPC UA Subscription Concept.* Unified Automation GmbH. Dostupné také z: https://documentation.unified-automation.com/uasdkhp/1.0.0/html/_12_ua_subscription.html.