

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017

Bc. Jan Tichý



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉMY MES/MOM V PROSTŘEDÍ INDUSTRY 4.0

MES/MOM SYSTEMS IN THE INDUSTRY 4.0 CONCEPT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Tichý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek, CSc.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Jan Tichý

ID: 158576

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Systémy MES/MOM v prostředí Industry 4.0

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Provedte literární rešerši prostředí Industry 4.0 a analýzu systémů MES/MOM podle S95.
2. Provedte analýzu systémů MES/MOM podle S95 a zmapujte současný stav implementací těchto systémů.
3. Specifikujte místa standardu S95, která vyžadují úpravy a doplnění pro rozšíření funkčnosti MES/MOM na Industry 4.0.
4. Navrhněte koncepci MES/MOM v prostředí Industry 4.0.
5. Realizujte programově MES/MOM a implementujte některé jeho části.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. Industry 4.0 and MES, on-line: <http://www.symestic.com/en/Industry-40-MES.html>
2. MES (Manufacturing Execution System) & Industry 4.0 - YouTube
3. Efficiencies in production with MES, on-line: <http://www.mpdv.com/sg/about-mpdv>

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 15.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Diplomová práce „Systémy MES/MOM v prostředí Industry 4.0“ se zabývá rozborem, analýzou, návrhem a realizací těchto systémů. Práce se nejdříve zaměřuje na řešení Industry 4.0, kde jsou popsány jednotlivé části tohoto trendu. Na základě těchto poznatků jsou definovány změny v MES/MOM systémech, kde za pomoci aktuálních možností byl navrhnout a realizován koncept MES/MOM dle standardu ISA-S95. Systém komunikuje s PLC pomocí vlastního komunikátoru a reprezentuje čtená v prostředí aplikace. V aplikaci je implementován modul Historian a systémové moduly. PLC má v sobě implementován protokol MS SQL, tak aby zařízení mohlo číst a zapisovat data bez nutnosti komunikace s nadřazeným systémem. Tato implementace je v souladu s vizí Industry 4.0.

KLÍČOVÁ SLOVA

MES, MOM, Industry 4.0, ISA-S95

ABSTRACT

This diploma thesis "MES / MOM Systems in the Industry 4.0 concept" deals with the analysis, design and implementation of these systems. The first focus is on Industry 4.0 analysis, where are describe each part of Industry 4.0. Based on this knowledge, there were specified the changes in the MES / MOM systems. According to the changes and knowledge were designed and implemented the MES / MOM concept. The system communicates with the PLC using its own communicator and represents the data in the application environment. The application implements the Historian module and system modules. The PLC has an MS SQL protocol implemented so that the device can read and write data without the need to communicate with the parent system. This implementation is in line with Industry 4.0's concept.

KEYWORDS

MES, MOM, Industry 4.0, ISA-S95

TICHÝ, Jan *SYSTÉMY MES/MOM V PROSTŘEDÍ INDUSTRY 4.0*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2017. 31 s. Vedoucí práce byl Ing. Jan Pásek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „SYSTÉMY MES/MOM V PROSTŘEDÍ INDUSTRY 4.0“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Janu Páskovi, CSc. za vedení diplomové práce a také za jeho podporu, trpělivost, rady, inspiraci a diskuze nejen při vypracování této diplomové práce.

Rovněž patří můj dík rodině za podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí. Děkuji také přítelkyni za její velkou trpělivost se mnou při práci na tomto tématu a její podporu.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	8
1 Industry 4.0	10
1.1 Historie	10
1.2 Představení Industry 4.0	11
1.3 Části Industry 4.0	12
1.3.1 Kyberneticko-fyzické systémy (CPS)	12
1.3.2 Internet věcí (IoT)	14
1.3.3 Velká data	15
1.3.4 Cloud computing	15
1.3.5 Inteligentní továrny	16
1.3.6 Inteligentní výroba	17
1.3.7 Komunikace OPC Unified Architecture	17
1.4 Návrhové principy v Industry 4.0	18
1.4.1 Interoperabilita	18
1.4.2 Virtualizace	18
1.4.3 Decentralizace	19
1.4.4 Kapacity v reálném čase	19
1.4.5 Orientace na služby	19
1.4.6 Modularita	19
1.5 Standardizace	19
1.6 Architektura orientovaná na služby (SOA)	20
1.7 Referenční architektonický model 4.0 (RAMI 4.0)	21
1.7.1 Popis souřadnicového systému	22
1.7.2 Benefity RAMI 4.0	23
1.7.3 CPS návrh dle RAMI 4.0	23
1.8 Administration shell	23
1.9 Požadavky na inženýry	24
1.10 Aktuální stav schopnosti firem přijmout Industry 4.0 v České republice	24
1.11 Shrnutí	25
2 Standard ISA-S95	27
2.1 Představení ISA-S95	27
2.1.1 Cíle S95	27
2.1.2 Rámce S95	27
2.1.3 Modely S95	28
2.1.4 Složení standardu	28

2.2	Přechod na Industry 4.0	32
2.2.1	Horizontální integrace	32
2.2.2	Vertikální integrace	33
2.2.3	Typy výrobních procesů a jejich přechod na Industry 4.0 . . .	33
2.3	Shrnutí	35
3	Systémy řízení výroby - MES/MOM	36
3.1	Vznik systémů	36
3.2	Části MES	36
3.2.1	Operativní plánování výroby	37
3.2.2	Řízení a přidělování zdrojů	37
3.2.3	Dispečerské řízení	37
3.2.4	Řízení procesu	37
3.2.5	Sběr a archivace dat	38
3.2.6	Analýzy výkonnosti	38
3.2.7	Genealogie a trasování výroby	38
3.2.8	Správa dokumentace	38
3.2.9	Řízení údržby	38
3.2.10	Řízení laboratoře	38
3.2.11	Řízení kvality	39
3.3	Softwarové nástroje MES/MOM	39
3.3.1	COMES	41
3.3.2	Simatic IT	41
3.3.3	SAP	41
3.4	Shrnutí	41
4	MES/MOM v Industry 4.0	42
4.1	Konvergence IT/OT	42
4.1.1	Definice IT	42
4.1.2	Definice OT	42
4.1.3	Oddělené skupiny IT a OT	42
4.1.4	Východisko	43
4.2	Rozdíl mezi MES/MOM aktuálním a v Industry 4.0	43
4.2.1	Změny v MES/MOM	43
4.2.2	Komunikace na nejnižší vrstvě mezi CPS	45
4.2.3	Komunikace s nižší vrstvou	46
4.2.4	Poskytování služeb CPS (I4.0 komponenty)	47
4.2.5	Rozšířené funkce MES/MOM	48

4.2.6	Zařazení MES/MOM do struktury firmy	48
4.2.7	Komunikace s vyššími vrstvami	49
4.2.8	Poskytování služeb v celé struktuře	49
4.3	Shrnutí	49
5	Realizace MES/MOM 4.0	51
5.1	Představení architektury	51
5.1.1	Navržená horizontální architektura	51
5.1.2	Reálná Horizontální architektura	52
5.1.3	Vertikální architektura	52
5.2	Zvolené technologie	55
5.2.1	TIA Portál	55
5.2.2	Visual Studio	56
5.2.3	.NET/C#	56
5.2.4	Windows Presentation Foundation (WPF)	57
5.2.5	Entity Framework (EF)	57
5.2.6	Microsoft SQL	59
5.3	Popis modulů	59
5.3.1	Komunikační modul - PLC	59
5.3.2	Komunikační modul - MES	59
5.3.3	Správa uživatelů	63
5.3.4	LifeCycle modul	64
5.3.5	Historian	64
5.4	Následný vývoj	64
5.5	Shrnutí	65
6	Závěr	66
	Literatura	68
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	72
A	Přílohy	I
A.1	Přiložené CD	I

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Průběh průmyslových revolucí [2]	10
1.2	Části Industry 4.0	12
1.3	Třívrstvý model CPS [19]	13
1.4	Fyzická struktura CPS zařízení	14
1.5	Diagram zastřešení inteligentní továrny	17
1.6	Národní, evropské a nadnárodní standardizační úrovně [5]	20
1.7	Struktura SOA	21
1.8	Referenčního Architektový model 4.0 [25]	22
1.9	Návrh aplikace dle Referenčního Architektový model 4.0 [21]	24
1.10	Analýza řídicích systémů v ČR	26
2.1	Model hierarchie zařízení [37]	29
2.2	Hierarchický model funkcí [37]	30
2.3	Model toků dat mezi funkcemi [37]	31
2.4	Vývoj automatizační pyramidy v I4 [4]	32
2.5	Hierarchický model ISA-S95 v I4 [4]	33
2.6	Horizontální integrace [9]	34
2.7	Průběh diskretní výroby v I4 [14]	34
3.1	Přehled MES/MOM systémů [8]	39
3.2	Přehled MES/MOM (ERP) systémů s částečnou implementací ERP [8]	40
4.1	Diabolo model moderního automatizačního systému [17] [35]	44
4.2	OSI/ISO model pro I4 protokoly [15]	46
4.3	Komunikace v nejnižších vrstvách	47
4.4	I4.0 komponenta skládající se z administrative shellu a objektu [16]	48
4.5	Propojení systémů v I4	50
5.1	Rozvržení systému MES	52
5.2	Architektura realizace systému MES	53
5.3	Čtyřvrstvý architektonický model	54
5.4	MVVM architektura	54
5.5	Komunikace mezi Simulovaným PLC a místní sítí	56
5.6	Možnosti mapování v EF [11]	58
5.7	Produkční model dle ISA-S95 hierarchického modelu funkcí	59
5.8	Přihlašovací obrazovka do systému	60
5.9	Skládání protokolu S7 na TPC/IP[10]	61
5.10	UML diagram tříd pro komunikaci	61
5.11	Princip funkčnosti OPC serveru	62
5.12	Identifikace PLC v programu	62
5.13	Okno pro správu uživatelů	63

5.14 Okno pro Historian	64
-----------------------------------	----

ÚVOD

Čtvrtá průmyslová revoluce je aktuálním tématem jak v technické branži, tak mediální. Jedná se o technologickou evoluci, která mění náhled na systémy okolo nás. Oblast této evoluce neovlivňuje pouze průmysl, ale také oblasti zdraví, měst, energetiky atd. Tyto oblasti jsou prezentovány pod termínem Smart, např.: Smart cities, Smart health, Smart manufacturing.

Koncept stojí za myšlenkou, kdy všechna zařízení budou mezi sebou nezávisle sdílet data a dle nich se autonomně řídit. Diplomová práce se zaměřuje na koncept průmyslu, přesněji systémů řízení výroby (MES).

Největší výzvou v práci bylo shromažďování informací, jejich následná analýza a na základu těchto informací vytvořit koncept MES/MOM. Bylo zapotřebí zjistit, z jakých komponent se Industry 4.0 skládá, jaká je vize architektury, jaké funkcionality budou rozšířeny a jak zařízení mezi sebou budou komunikovat.

V první kapitole se popisuje Industry 4.0, kde se v první podkapitole zaměřuje na historii průmyslových revolucí. Dále jsou popisovány jednotlivé komponenty Industry 4.0, které jsou úzce spjaty s MES/MOM systémy. Jsou to kyberneticko-fyzické systémy, internet věcí, velká data, cloud computing, inteligentní továrny a OPC UA. Další kapitolou jsou návrhové principy v Industry 4.0, kde je odvozeno šest návrhových principů. V podkapitole pět je stručně popsána důležitost standardizace v průmyslové revoluci, tím se navazuje na podkapitolu šest. Šestá podkapitola popisuje SOA, která navazuje na popis referenčního architektonického modelu pro Industry 4.0, který zobrazuje jak dojde k horizontální a vertikální integraci. Tím budou moci veškerá zařízení transparentně komunikovat nebo poskytovat služby skrz všechny vrstvy automatizační pyramidy. Dvě předposlední podkapitoly pak shrnují, požadavky na inženýry a aktuální stav připravenosti českých firem na implementaci Industry 4.0 vzhledem k aktuálním implementacím technologií.

Druhá kapitola popisuje standard ISA-S95, který je definován organizací ISA. První podkapitola se věnuje představení standardu, jaké jsou cíle standardu, rámce, modely a složení standardu. Další podkapitola se pak věnuje přechodu z ISA-S95 na Industry 4.0, zde je popsána horizontální a vertikální integrace. Následně jsou popsány typy výrobních procesů s příkladem pro diskrétní výrobu.

Další kapitolou je pak úvod do systémů řízení výroby, kde se popisuje jejich vznik, části a analýza softwarových nástrojů MES/MOM, které jsou v aktuální době k dispozici.

Před poslední kapitola je věnována přechodu MES/MOM systémům do Industry 4.0. Je zde popsána konvergence informačních a operačních technologií. Další kapitola je věnována již podrobnému popisu částí, kde se má přejít ke změně MES/MOM systémů. Tyto kapitoly změn jsou seřazeny od nejnižší vrstvy k nejvyšší vrstvě

vzhledem k aktuální automatizační pyramidě.

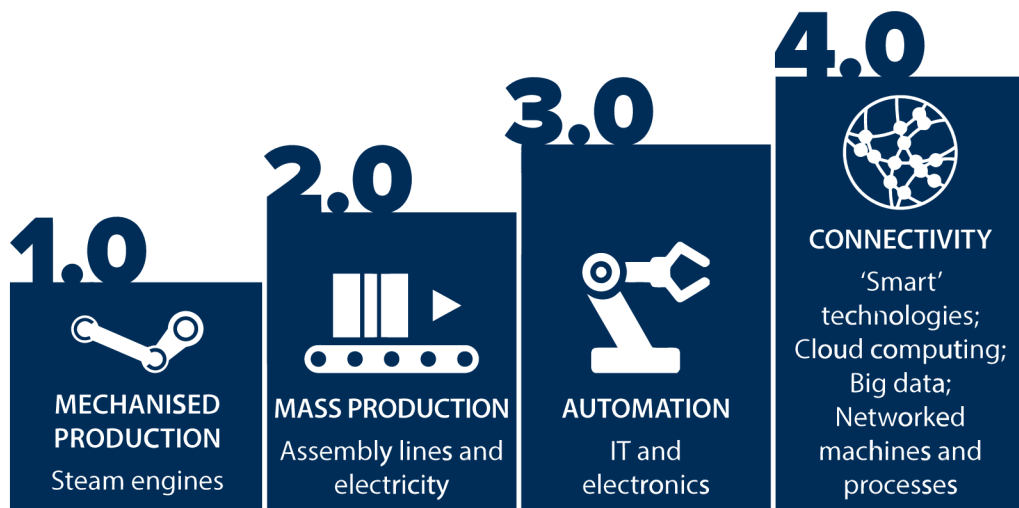
V poslední kapitole je pak popsána samotná realizace MES/MOM systému. Nejdříve jsou podrobně popsány architektury systému a co by měl systém obsahovat. Následuje podkapitola s popisem zvolených technologií. Další podkapitolou je popis jednotlivých implementovaných modulů ze kterých se aplikace skládá. Poslední kapitolou je pak budoucí vývoj aplikace.

1 INDUSTRY 4.0

Tato kapitola se zabývá definicí pojmu "Industry 4.0"(dále jen I4), která je zohledňována za pomoci literární rešerše. Krátce se představí historie průmyslových revolucí, následně myšlenka či vize I4. Presentují se základní cíle I4, v návaznosti na to se zaměří na požadavky průmyslového prostředí, technologií, možnosti využití a výhledu do budoucna. Po té je nastíněna potřeba standardizace a orientování se na architekturu. V této kapitole bude také popsána struktura Referenčního Architektonického modelu 4.0 (*Reference Architectural Model Industrie 4.0 - RAMI 4.0*). V závěr kapitoly jsou shrnuty požadavky na inženýry, firmy a shrnutí celé kapitoly I4.

1.1 Historie

Pokud se definuje pojem průmyslová revoluce, je důležité se zahledět do minulosti, aby se snáze pochopilo jak na sebe jednotlivé průmyslové revoluce navazovaly. Za více než 250 let se uskutečnily již 3 (4) průmyslové revoluce, kdy prošla transformací nejen průmyslová výroba, ale také spolu s tím transformace společnosti, návyků, vzdělání atd.. Pokročilé technologie mění svět kolem nás a my jsme jeho součástí, nyní jsme na pokraji čtvrté průmyslové revoluce, viz obrázek (Obr.:1.1).



The stages of industrial development

Obr. 1.1: Průběh průmyslových revolucí [2]

První průmyslová revoluce proběhla v období 1760 až 1830, kdy bylo prvně zavedeno mechanizování výroby z ruční výroby. Tyto stroje byly poháněny za po-

mocí parní energie. Tato průmyslová revoluce započala ve Velké Británii a hlavním průmyslovým odvětvím byl textilní průmysl. Díky mechanizované produkci vznikly rozdílné požadavky na dovednosti pracovní třídy. V 1. průmyslové revoluci, vznikl první cílený požadavek na kvalifikované pracovníky (specialisty).

Krátce po mechanizované produkci, započala druhá průmyslová revoluce. Ta proběhla mezi lety 1840 až 1870, známá též jako technologická revoluce charakterizována výstavbou železnic, masovou těžbou železné rudy a vynálezy jako je například žárovka. V této době také došlo k razantní expanzi dopravy zboží a cestujících po železnici a prvních nesmělých krůčků automobilového průmyslu. Snad o to se v hlavní míře zasloužilo zavádění řízení výrobních procesů a vynálezu výrobních linek. Byl to začátek pro masovou výrobu.

V období mezi 1950-1970 přichází digitální revoluce jako třetí průmyslová revoluce. Digitální technologie jsou podněcovány prvními počítači. Dalším důležitým aspektem 3. průmyslové revoluce byla komunikační technologie. Toto období bylo také bránou do 'informačního věku'. Byly postupně více implementovány kontrolery a průmysloví roboti do výrobních procesů. Díky tvorbě SW, byly zaváděny programy na plánování výrobních procesů a vznikli tím metody jako "Six Sigma" a "Lean management".

Dnes, již používáme digitální telefony, tablety, počítače, cloudová úložiště a další nové technologie, které směřují průmyslovou výrobu k další průmyslové revoluci a to 'Industry 4'. Čtvrtá průmyslová revoluce bude reprezentovat technologickou výzvu v integraci kyberneticko-fyzických systémů (*Cyber-Physical Systems - CPS*), které budou připojeny prostřednictvím digitálních průmyslových sítí a navzájem komunikovat v průmyslovém prostředí. V tomto kontextu lze tyto CPS chápat jako inteligentní prvky v internetu věcí (*Internet of Things - IoT*). Integrací těchto systémů dojde k celé transformaci a reorganizaci vztahu lidských zdrojů se stroji v průmyslové výrobě.

1.2 Představení Industry 4.0

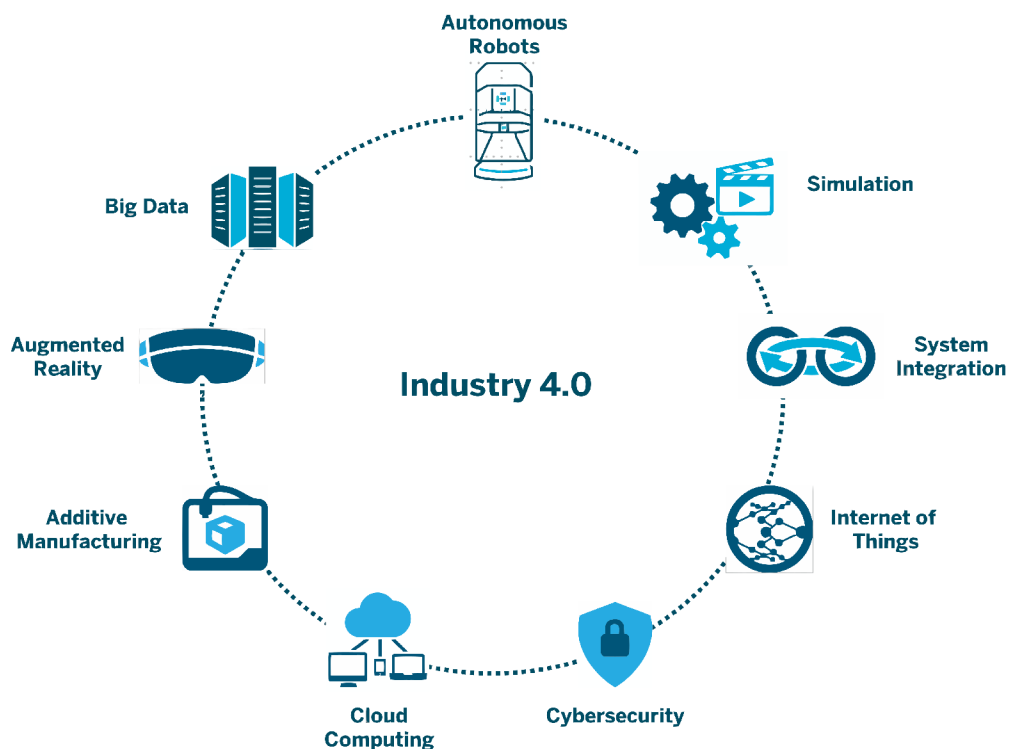
Jak již bylo zmíněno výše, v této době se nacházíme v období čtvrté průmyslové revoluce. První představení I4 veřejnosti proběhlo na Hannover Fair v 2011 [1]. Tato iniciativa vznikla od německé vlády, která pod tímto termínem iniciativuje strategie pro německé podnikání. Tuto iniciativu podpořila německá vláda pod pojmem 'High-Tech Strategy 2020 for Germany', která bude výzvou v pěti oblastech a to klimatu/energie, zdraví/výživy, komunikace, mobility a bezpečnosti. Ve světě není pojem I4 všeobecně znám, je tudíž prezentován jako například: 'industrie du futur' ve Francii nebo 'industrial internet' v USA. Celý koncept I4 musí být chápán jako sdružení různých technologií a služeb, jako jsou CPS, IoT, velká data, cloud

computing.

1.3 Části Industry 4.0

I4 je výzvou v mnoha oblastech, jak pro inženýry tak pro firmy. V rámci diplomové práce se zaměřuje na systémy MOM, proto budou představeny jednotlivé části v I4, které s touto oblastí nejvíce souvisí.

Na obrázku (Obr.:1.2) jsou znázorněny oblasti I4. Z tohoto obrázku budou popsány systém IoT, velká data a cloud computing. Dále budou psány i části jako CPS, inteligentní továrny a inteligentní výroba.



Obr. 1.2: Části Industry 4.0

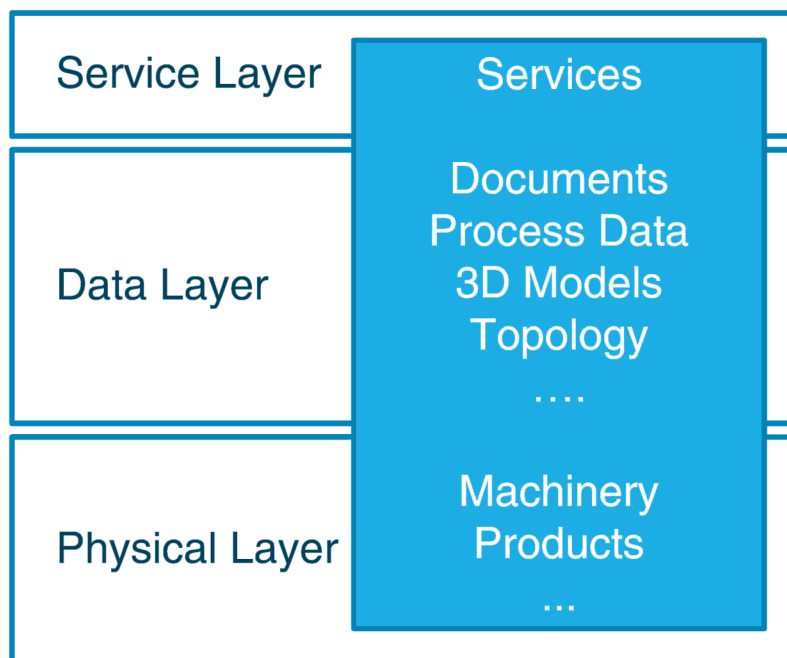
1.3.1 Kyberneticko-fyzické systémy (CPS)

Jak je uvedeno v článku [32] I4 se propojuje fyzický a virtuální svět. To je realizováno skrz kyberneticko-fyzické systémy (Cyber-Physical Systems - CPS). Techničtí představitelé z VDI-GMA popisují CPS dle článku [2] jako: "CPS je systém, který propojuje fyzické objekty a procesy s virtuálními objekty a procesy skrz informační síť, která je buď lokální nebo globální. Optimálně CPS využívají lokálních nebo vnějších služeb, jako je použití rozhraní člověk-stroj a možnost dynamicky optimalizovat

běžící systém. Dále dle článku [22] se popisují tyto systémy detailněji jako: „CPS jsou složeny z vestavěných systémů, produkce, logistiky, inženýringu, koordinování a managementu procesu tak jako internet věcí. Tyto složky získávají okamžitá (reálná) fyzická data ze senzorů a nastavují fyzický výstup přes aktuátory”. CPS jsou připojeny na digitální síť, čímž mohou být jejich data a služby všem k dispozici.

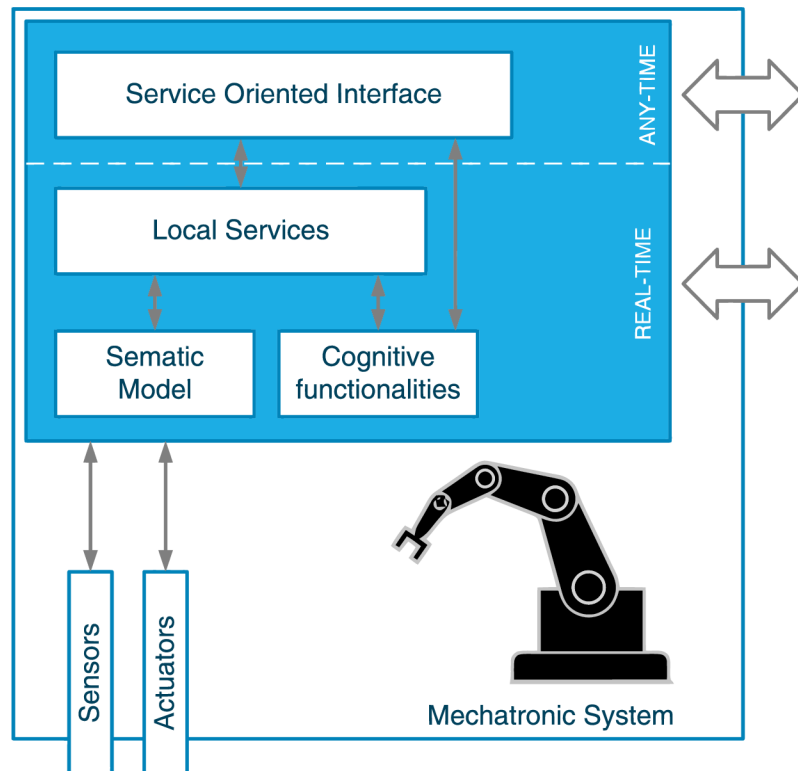
Jako praktický příklad mohou být CPS využity pro dopravní semaforey, jak je popsáno v článku [19]. Za pomoci sběru dat a možnosti komunikace s centrálním databázovým systémem, kde ostatní semaforové jednotky ukládají informace o dopravě, je možno optimalizovat plánování dopravy. Průběh optimalizace plánování bude zohledňovat hustotu dopravy, informace o počasí a ostatní dopravní informace, které mohou ovlivnit dopravu. Zásahová vozidla, jako jsou ambulance nebo policejní automobily, mohou také aktivně zasáhnout do průběhu plánování semaforových světél, které zajistí "zelenou" v době průjezdu.

Na obrázku (Obr.:1.3) je koncept CPS systému popsán ve třech vrstvách. V nejnižší vrstvě jsou fyzické objekty, které jsou inteligentní, sebe-vyhledávající a sebe-diagnostikující. Střední vrstva obsahuje data a modely fyzických objektů (topologie). V nejvyšší vrstvě se následně nachází služby a prostředí, které dokáže komunikovat s prostředím jak v lokálním měřítku tak, v globálním a poskytovat i přednastavené služby.



Obr. 1.3: Třívrstvý model CPS [19]

Aby došlo k lepšímu pochopení CPS, který je jedním z nejdůležitějších stavebních prvků v celé vizi I4. Na obrázku (Obr.:1.4) je přehledně popsán model zařízení. Někdy



Obr. 1.4: Fyzická struktura CPS zařízení

nebývá terminologie I4 zcela přehledná. CPS jsou označovány jako I4.0 komponenty. Rozdíl mezi těmito výrazy je minimální, I4.0 komponenta je stavební prvek I4 definovaný v RAMI 4.0 (kapitola 1.7) a skládá se z Administrative shellu a objektů, tyto pojmy budou vysvětleny v následujících kapitolách.

1.3.2 Internet věcí (IoT)

Internet věcí (*Internet of Things* - IoT) je odvozen z myšlenky, kdy počítač v budoucnosti progresivně vymizí jako zařízení a bude nahrazen "inteligentními objekty a věcmi". Místo toho, aby byla zařízení atraktivní pro lidskou pozornost (dostupnost interakce), tak se tyto inteligentní malé vestavěné systémy zaměřují na zjednodušení lidských aktivit, které budou "v tichosti" vykonávat aktivitu na pozadí bez žádného nároku na pozornost. Mark Weiser přednesl tuto vizi prvně v článku "The Computer of the 21st Century"[39].

IoT vytváří spojení na jasně definované objekty (věci) s virtuální reprezentací v internetu jako struktuře. V publikaci "Future Internet"[3] je vysvětleno, že nejen lidé, ale také "věci" jsou účastníci v internetu. Automatická identifikace použitím RFID je často označována za původ IoT, ačkoliv unikátní identifikace objektu může být také obsažena v čárovém kódu nebo 2D kódu. Prostřednictvím IoT [24] mohou

komunikovat věci s objekty navzájem za pomoci unikátních adresovacích schémat. Tím lze chápat věci a objekty jako CPS, které mají své unikátní adresové schéma.

Jako příkladem lze uvést sledování stavu objednaného produktu přes internet. Doručovací služby již tuto službu nabízí a je tedy možné snadno sledovat pohyb produktu pomocí značek čárových kódů.

V průmyslové sféře se IoT dále ještě rozšiřuje do podoblasti průmyslový internet věcí (*Industrial Internet of Things - IIOT*).

1.3.3 Velká data

Michael Cox a David Ellsworth [18] prvními, kteří použili termín "Big data" pro velké množství dat k vizualizaci. Definic pod tímto termínem lze nalézt mnoho, ale většina definic se odkazuje na firmy IBM, třech "V". Volume (objem), Variety (rozmanitost) a Velocity (rychlost).[36]

Objem se vztahuje k velkému množství dat, kde zdrojem mohou být zařízení IoT připojená na síť internetu. Tímto mohou být příkladem RFID štítky, ze kterých se sbírají informace, jak již bylo uvedeno v minulé kapitole.

Rozmanitost dat je prezentována jako různá data s různým charakterem. Pod tím si lze představit, data např. ze srdečních monitorů pacientů, RFID štítků nebo i sběr dat z chytrých telefonů. Zařízení nejsou jediným generátorem dat, ale jsou jím i lidé, kteří svým působením na internetu generují data také (sekvence kliků na www, blogy, upload dat).

Rychlost je nejdůležitějším pilířem všech "V". Zde je kladen důraz na rychlosti (streamu) a strukturalizaci dat v reálném čase, kdy je například potřeba denně zpracovat 300 milionů Tweetů ze sociálního serveru twitter.com.

Velká data budou v nejbližších letech analyzovat data z CPS, kde bude nezbytné zpracovat data ze senzorů ve výrobním procesu přenesená do cloudových úložišť. K tomuto se využívá platforma Hadoop, kterou využívají programy, zpracovávající Big data, tak aby byla co nejrychleji k dispozici jak analytikům tak běžným uživatelům.

1.3.4 Cloud computing

Cloud computing lze jednoduše charakterizovat jako "cloud", který poskytuje na internetu služby. K těmto službám se lze vzdáleně připojovat, tím klesají náklady společností na správu serverů, IT oddělení a správu služeb. Principem služeb a produktů v cloud computingu je to, že se uživateli propůjčuje výpočetní výkon serverů, který opravdu využije. V mnoha případech se tak děje formou specializovaných

aplikací, jejichž nabídka se pohybuje od kancelářských aplikací přes systémy pro distribuované výpočty až po operační systémy provozované v prohlížečích.

Cloud computing se rozděluje dle dvou kritérií, dle poskytování služeb a druhu přístupnosti. Rozdělení dle poskytování služeb je:

- **Platforma jako služba** (*Platform as a service* - PaaS) - poskytuje prostředí cloudu se vším nezbytným pro podporu kompletního životního cyklu tvorby a dodávání webového rozhraní (cloud) aplikací, bez nákladů, složitosti nákupu a řízení hardware, software a hostování.
- **Infrastruktura jako služba** (*Infrastructure as a Service* - IaaS) - poskytuje společností výpočetní zdroje, včetně serverů, sítí a datových úložišť.
- **Software jako služba** (*Software as a Service* - SaaS) - poskytuje aplikační nebo cloudový software jako službu na vzdálených počítačích, které jsou vlastněné a provozované jinými společnostmi.

Rozdělení dle přístupnosti je:

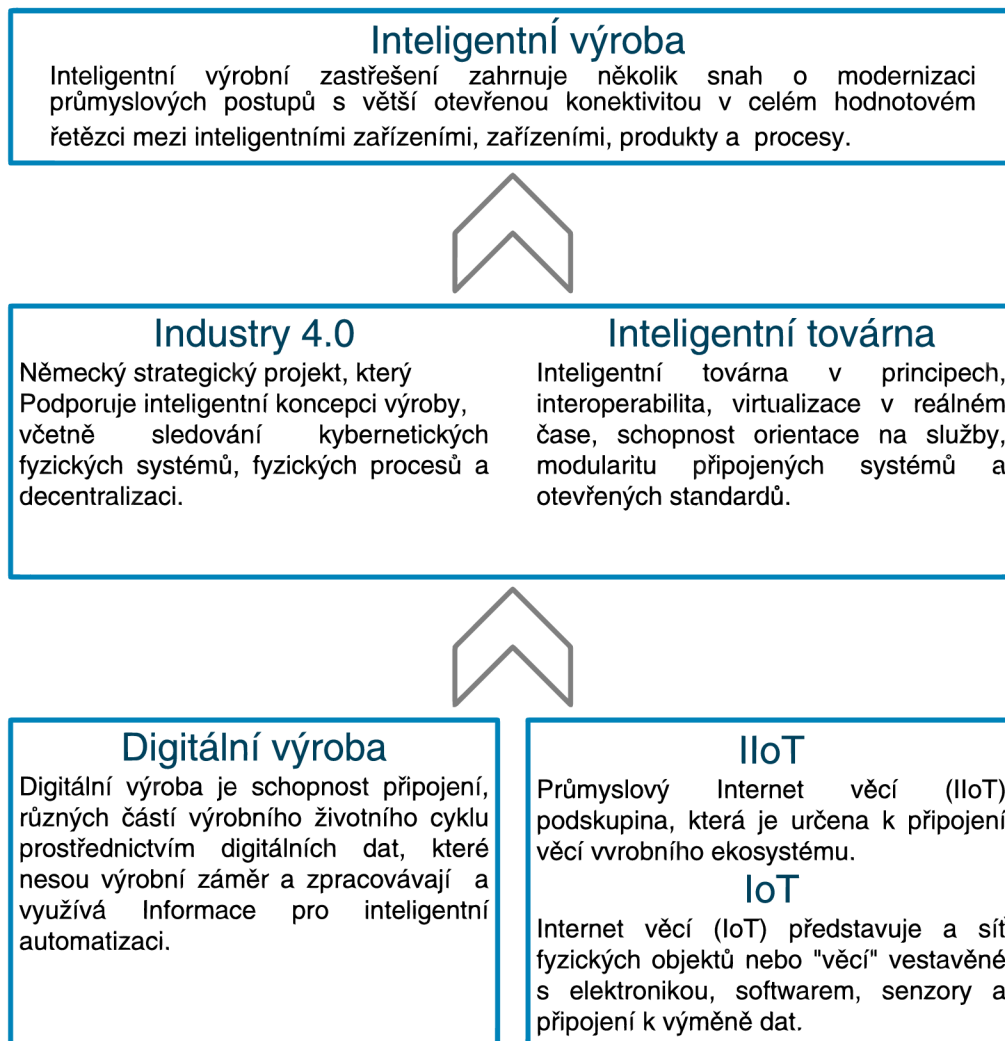
- **Veřejný cloud** - je vlastněn a provozován společnostmi, které nabízejí rychlý přístup přes veřejnou síť k cenově dostupným výpočetním prostředkům. Se službami pro veřejný cloud, uživatelé nemusí kupovat hardware ani software, který vlastní a spravuje poskytovatel.
- **Soukromý cloud** - je infrastruktura provozovaná výhradně pro jednu společnost, která je spravována interně nebo třetí stranou.
- **Hybridní cloud** - používá privátní cloud jako základ v kombinaci s využívání služeb veřejných cloudů. Skutečností je, že privátní cloud nemůže existovat v izolaci od zbytku IT zdrojů dané společnosti a veřejného cloudu [37].

1.3.5 Inteligentní továrny

Z jednou nejdůležitější skupin I4, jsou inteligentní továrny (*Smart Factory* - SF). Tento termín představuje vizi produkčního prostředí, ve kterém se zařízení a logistické systémy se do značné míry samo-organizují bez lidského zásahu. Koncept využívá prvků jako IIOT, IoS a CPS, tak aby zařízení a lidé v inteligentních továrnách mohly spolu komunikovat. Vize konkrétně řeší komunikaci mezi nástrojem nebo produktem a výrobním zařízením, kde produkt nese své vlastní výrobní informace ve strojově čitelném formátu. Tyto systémy následně shromažďují informace, jak od skutečného tak virtuálních světa a plánují další kroky v plánování výroby[33].

1.3.6 Inteligentní výroba

Inteligentní výroba zastřešuje všechny subpojmy jako je Industry 4.0, inteligentní továrny, digitální výrobu a internety věcí - viz. obrázek (Obr.:1.5). Jedná se o standardizační doménu v USA snažící se nastavit standardy k jednotlivým technologickým částem. Tuto iniciativu projevil Národní Institut Standardů a Technologii (NIST) [38].



Obr. 1.5: Diagram zastřešení inteligentní továrny

1.3.7 Komunikace OPC Unified Architecture

OPC Unified Architecture (OPC UA) je rámec definovaný OPC Foundation pro bezpečný, spolehlivý transport dat a předzpracovaných informací z výrobní úrovně do plánování výroby nebo podnikového systému. S OPC UA jsou k dispozici všechny

požadované informace kdykoliv k dispozici pro každou autorizovanou aplikaci a oprávněné osoby na jakémkoliv místě. Tato platforma je nezávislá na výrobci aplikací i na programovacím jazyku, ve kterém byly aplikace vyvinuté nebo operačním systému na kterém jsou používány. V architektuře orientované na služby (SOA) na bázi OPC UA tvoří most mezi úrovní managementu společnosti a CPS.

1.4 Návrhové principy v Industry 4.0

Aby se pomohlo podnikům při identifikaci a implementaci pilotních projektů v I4 bylo třeba definovat zásady I4. Dle M.Hermana [31] bylo odvozeno šest návrhových principů, jak jsou uvedeny v tabulce (Tab.:1.1).

Tab. 1.1: Návrhové principy v Industry 4.0

	CPS	IOT	IOS	SF
Interoperabilita	X	X	X	X
Virtualizace	X			X
Decentralizace	X			X
Kapacita v reálném čase				X
Orientace na služby			X	
Modularita			X	

1.4.1 Interoperabilita

Interoperabilita je schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat, poskytovat si služby a dosáhnout vzájemné součinnosti. Jedná se o přesný popis CPS, které jsou navzájem propojeny s IoT a IoS. Proto je interoperabilita důležitým faktorem I4. Řízená komunikace mezi CPS různých výrobců bude výzva pro standartizační organizace.

1.4.2 Virtualizace

Princip virtualizace představuje schopnost CPS monitorovat fyzické vlastnosti procesů. Sledovaná data jsou potom propojena se simulačními modely, kde je vytvořena virtuální kopie fyzického světa (Digitální dvojče).

1.4.3 Decentralizace

Postupné snižování sériové výroby a rostoucí poptávka po unikátních produktech postupně brání v centralizovaných systémech výroby. Díky vývoji vestavěných systémů se CPS stávají inteligentnějšími a jsou schopni rozhodovat se samostatně. Pouze v případě údržby nebo selhání musí CPS komunikovat s centralizovaným systémem vyšší úrovně.

1.4.4 Kapacity v reálném čase

V aktuální době je nutné reagovat na kritické události ve výrobě okamžitě, aby závod I4 shromažďoval a analyzoval data v reálném čase.

1.4.5 Orientace na služby

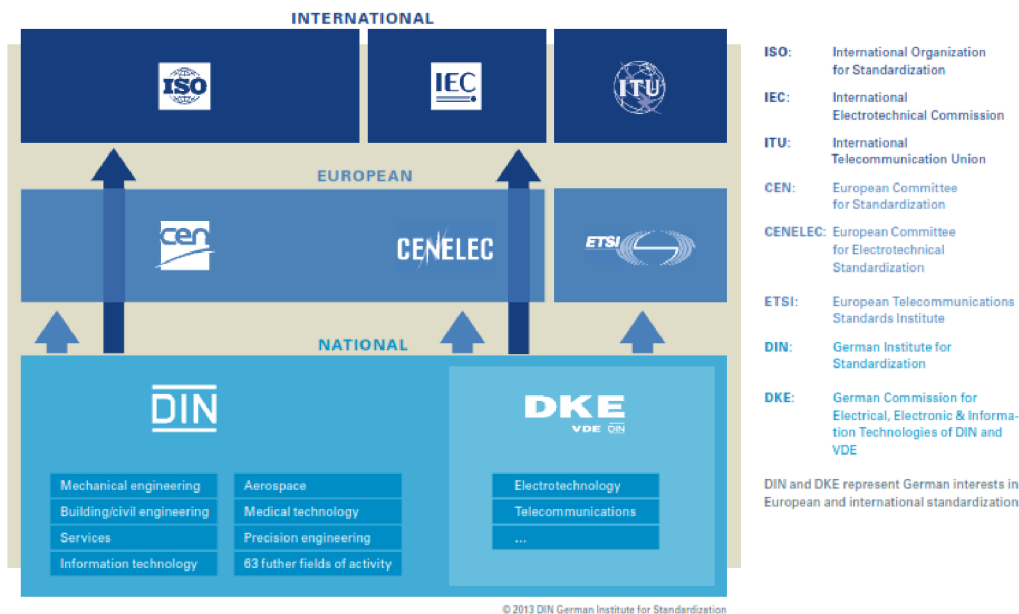
Orientace na služby je návrhové vzoru, jehož principy zdůrazňují oddělení ze softwaru. To vede k rozdělení softwaru do komponent dle operačních schopností, z nichž každá je určena k řešení jednotlivého problému.

1.4.6 Modularita

Navrhování inteligentní továrny podle vzoru modularity poskytuje přizpůsobení se požadavkům nahrazením nebo rozšířením určitých modulů nebo CPS v továrně. Tyto flexibilní moduly jsou často označovány jako "modul plug and produce". Popisují schopnost určitých strojů a nástrojů v zařízeních pro komunikaci svých služeb a umístění v továrně. Možnost "plug and produce", která bude také nezávislá na dodavateli, opět nastavuje požadavky na nezbytné standardizované rozhraní.

1.5 Standardizace

Standardizace je jednou z klíčových disciplín pro nové stabilní inovace, aby mohla být nastavena důvěra mezi uživateli a výrobcí. Je chápána jako ověřená strategie předpisů a pokynů pro opakující se činnosti. V I4 vzniká zvláštní náročnost na standardizaci a terminologii. Nastává zde razantní změna v komunikaci logických systémů (CPS), které musí být normované v globálním měřítku. Toto je nemalá výzva pro standardizační organizace, viz obrázek (Obr.:1.6) [5].



Obr. 1.6: Národní, evropské a nadnárodní standardizační úrovně [5]

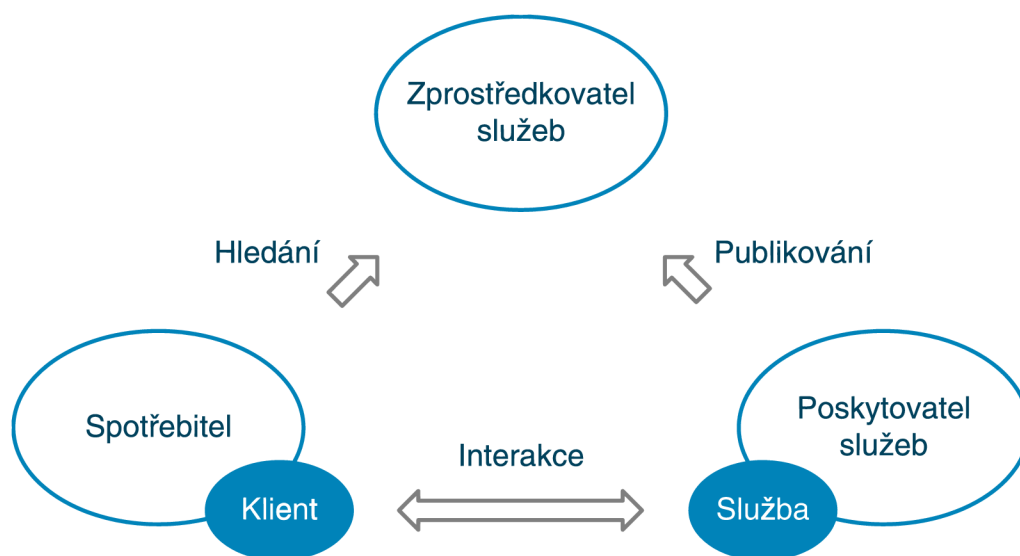
1.6 Architektura orientovaná na služby (SOA)

Architektura orientovaná na služby (*Service-oriented Architecture* - SOA) je architektonický vzor IT v oblasti distribuovaných systémů, které strukturují a využívají služby IT systémů. Zvláštní důraz je kladen na orientaci na obchodní procesy, jejichž úrovně abstrakce jsou základem pro konkrétní implementaci služeb. Například poskytnutí úvěru bankou je abstrakcí služeb na vyšší úrovni obchodních procesů. Za touto službou je řada osob a IT systémů, jako je například "otevření obchodního vztahu", "otevření jednoho nebo více bankovních účtů", "úvěrové smlouvy" a další. Účinnou orchestrací služeb nižší úrovně lze služby s vyšší úrovní abstrakce vytvořit poměrně pružně a současně umožnit maximální opakovatelnost.

Zjednodušeně může být SOA považována za metodu nebo paradigma pro zapouzdření stávajících počítačových komponent, jako jsou databáze, servery a webové stránky jako služby a jejich následnou koordinaci tak, aby byly sloučeny do vyšších služeb a zpřístupněny jiným organizačním oddělením nebo zákazníkům. SOA proto představuje strukturu, která umožňuje integraci podnikových aplikací v níž je skrytá složitost každé aplikace za standardizovanými rozhraními.

Cílem SOA je dlouhodobé snížení nákladů na vývoj softwaru a vyšší flexibilitu podnikových procesů opětovným využíváním stávajících služeb. Náklady na programování s realizovanou aplikací SOA by měly být výrazně sníženy, protože všechny potřebné služby jsou již k dispozici a měly by být efektivně koordinovány. Zbývající náklady jsou tedy pouze náklady na analýzu podnikání a konfiguraci softwaru.

Technickou strukturou implementace SOA je nabízet služby na internetu nebo v cloudu. Komunikace mezi těmito službami může být provedena prostřednictvím protokolů SOAP (*Simple Object Access Protocol*), REST (*REpresentational State Transfer*), XML (*Extensible Markup Language*)-RPC (*Remote Procedure Call*) nebo podobným protokolům. Pouze uživatelé těchto služeb musí vědět, jaké vstupy jsou vyžadovány a jaký výstup očekávat. Seznam služeb, které jsou k dispozici a jak jsou řízeny, může být zjištěn adresářovou službou nebo servisním zprostředkovatelem, jako je UDDI (*Universal Description, Discovery, and Integration*).



Obr. 1.7: Struktura SOA

Z obrázku (Obr.:1.7) je patrné, jak poskytovatel služeb, poskytuje službu a inzeruje jí na zprostředkovateli služeb. Spotřebitel služeb pak může najít službu pomocí servisního zprostředkovatele a následně může komunikovat s poskytovatelem služeb.

1.7 Referenční architektonický model 4.0 (RAMI 4.0)

Referenční architektonický model 4.0 (*Reference Architectural Model 4.0 - RAMI 4.0*) se skládá ze tří-dimenzionálního souřadnicového systému, který popisuje všechny klíčové aspekty I4. Tímto způsobem se může vytvořit komplex vzájemných vztahů rozdělených do menších a jednodušších klastrů[27].

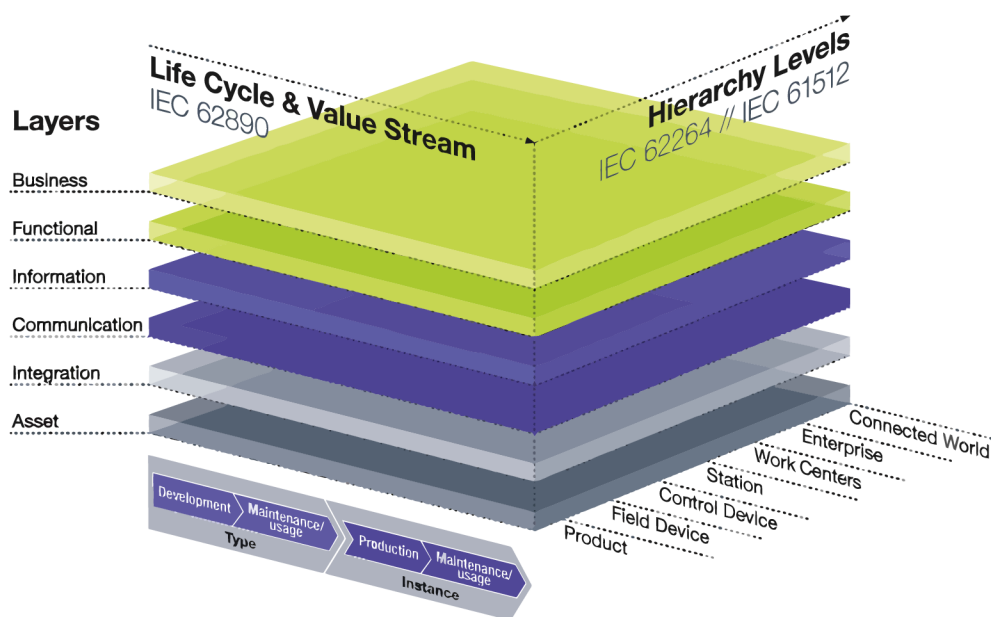
Celá architektura implementuje a skládá tři jiné standardy, ty jsou:

- IEC 62890 – Standard pro "Life-cycle management", ještě nebyl publikován
- ISA-S95 (IEC 62264) – Standard pro integraci podnikových systémů řízení.

- ISA-S88 (IEC 61512) – Standard pro batch řízení[25].

Na obrázku (Obr.:1.8), je model tří-souřadnicového systému, kde jednotlivé osy reprezentují:

- osa hierarchických úrovní - dle ISA-S95 s rozšířením o Produkt a Connected World;
- osa pro "Life Cycle & Value Stream" dle IEC 62890, který definuje životní cyklus výrobku a zařízení;
- osa vrstev - rozdělená do šesti vrstev, které slouží ke kvalifikaci zařízení.



Obr. 1.8: Referenčního Architektový model 4.0 [25]

1.7.1 Popis souřadnicového systému

Jak již bylo zmíněno výše, koordinační systém se skládá z třírozměrného souřadnicového systému. V této pod kapitole budou jednotlivé osy více popsány.

Hierarchické úrovně

Na pravé horizontální ose jsou vyznačeny úrovně hierarchie podle IEC 62264, mezinárodní normy pro podnikové IT a řídicí systémy. Tyto úrovně hierarchie představují různé funkce v továrnách nebo zařízeních.

Za účelem reprezentace prostředí I4 byly tyto funkce rozšířeny o "Produkt" a "Connected World".

Life Cycle & Value Stream

Levá horizontální osa představuje životní cyklus zařízení a produktů založené na IEC 62890 pro řízení životního cyklu. Dále se rozlišuje mezi "typy" a "instancí". "Typ" se stává "instancí", když byly dokončeny návrhy, prototypy a byl vyroben skutečný výrobek.

Vrstvy

Šest vrstev na svislé ose slouží k popisu rozkladu stroje do jeho vlastnosti strukturované vrstvy podle vrstvy, tj. virtuálního mapování stroje. Takové reprezentace pocházejí z informačních a komunikačních technologií, kde vlastnosti složitých systémů jsou obvykle rozděleny do vrstev.

1.7.2 Benefity RAMI 4.0

Tento model integruje různé uživatelské pohledy a poskytuje společné chápání I4 technologie. S RAMI 4.0 mohou být jednotlivá odvětví od automatizačních po procesní inženýry přesně specifikovány standardy. RAMI 4.0 tak poskytuje společné porozumění pro standardy a případy jejich použití.

RAMI 4.0 lze chápat jako druh 3D mapy světa I4 řešení, které poskytuje vodítko pro vynesení požadavků na jednotlivé odvětví spolu s národními a mezinárodními normami za účelem definovat a dále rozvíjet I4.

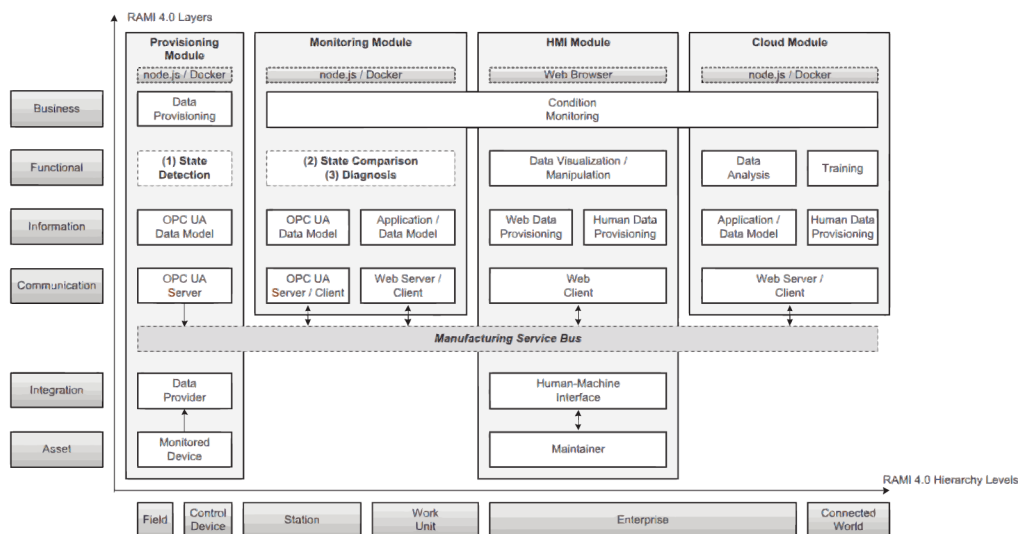
1.7.3 CPS návrh dle RAMI 4.0

Vzhledem k neexistujícímu projektu, kde by se zatím RAMI 4.0 využíval, bylo nutné tuto architekturu ověřit. Tím vznikl projekt pod Ministerstvem vzdělání v Německu, který tuto myšlenku uvádí ve skutečnost[21], jak lze vidět na obrázku (Obr.:1.9).

1.8 Administration shell

Velmi spjatým výrazem s RAMI 4.0 je Administration shell. Jedná se o část, která zapouzdřuje I4 komponentu. Administration shell zajišťuje propojení mezi fyzickým a virtuálním světem, tudíž zajišťuje interoperabilitu.

Zjednodušeně je administration shell standardizované rozhraní komunikace, virtuální reprezentace a poskytovatel služeb každého smart zařízení v inteligentní továrně. Toto rozhraní budou mít všechna zařízení v chytré továrně, ať už jsou to CPS nebo smart senzory.



Obr. 1.9: Návrh aplikace dle Referenčního Architektový model 4.0 [21]

V mnoha člancích není přesné vyjádření co by měl Administration shell všechno obsahovat. Ve zjednodušení se jedná o API, které dokáže poskytovat služby nebo komunikovat s okolním prostředím a komunikovat také s cílovým zařízením (např.: Motor). Administrative shell tedy dělá z jakéhokoliv zařízení, IoT zařízení.

1.9 Požadavky na inženýry

Inovace I4 klade větší požadavky na všestrannost inženýrů. Příkladem toho může být sloučení oboru elektrotechniky a mechaniky do mechatroniky, kde inženýři musí být specialisty ve dvou oblastech. Dalším takovým odvětvím je spojení IT a elektromechaniky, které je patrné z poznatků propojování vertikální integrace v I4. V tomto směru změn bude nejvíce postihnuto školství, které musí pružně měnit výukové programy, aby budoucí inženýři byli připraveni pro pracovní trh[30]. Podle Geisberger and Broy [23], bude pro inženýry obtížné sestrojít, funkčně naprogramovat a vytvořit komunikační API pro jednotlivá CPS, protože zařízení musí být bezpečná a otevřená novým aplikacím a službám.

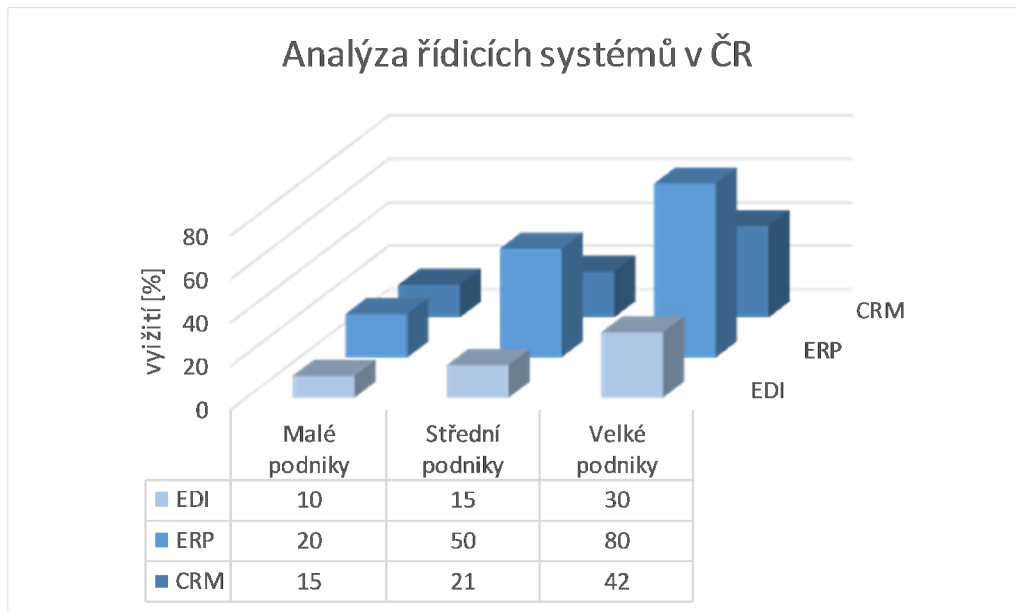
1.10 Aktuální stav schopnosti firem přijmout Industry 4.0 v České republice

V podmínkách řady českých výrobních podniků je oblast samotných úvah o úrovni budoucího rozsahu integrace a koncepční přístup k logice uspořádání výrobních a logistických procesů často stále jen na začátku. Obdobně je v podmínkách českého

průmyslu zatím velmi omezené sdílení dat mezi podniky, která jsou nezbytným předpokladem pro vytvoření integrovaných modelů spolupráce. Ze statistik ČSÚ vyplývá, že méně než 10 % malých podniků, méně než 15 % středních podniků a přibližně 30 % velkých podniků realizuje komunikaci výměny elektronických dat (*Electronic Data Interchange - EDI*) v oblasti nákupu a prodeje. Podobný stav je v případě využití různých informačních systémů typu plánování podnikových zdrojů (*Enterprise Resource Planning - ERP*), řízení vztahu se zákazníky (*Customer Relationship Management - CRM*) a identifikačních systémů typu RFID. ERP systémy používá necelých 20 % malých podniků oproti více než 80 % velkých podniků, CRM systémy používá necelých 15 % malých podniků oproti téměř 42 % velkých podniků. To, že podnik nepoužívá systém ERP či CRM, naznačuje chybějící digitální a především automatizované komunikační kanály na úrovni plánování výroby a vazby na odběratelsko dodavatelské řetězce. Tyto údaje ukazují, že integrace mezipodnikové komunikace je především u malých a středních firem problematická a její nízká míra podpory je spojena s vysokými náklady na její zavedení. V případě využití systémů automatické identifikace, označovaných RFID, pro sledování skladových zásob, pohybu dílů a výrobků ve výrobních fázích životního cyklu apod. je situace ještě horší: tyto systémy využívají přibližně 3 % malých podniků, 13 % středních podniků a necelých 27 % velkých podniků. Naproti tomu ve využití přenosných zařízení (mobilní telefony, tablety) jsou na tom lépe malé podniky s 18 %, přičemž střední a velké podniky tato zařízení využívají v 15 % případů. Lze odhadovat, že malé podniky jsou nakloněné k využití moderních technologií a jsou schopny je adoptovat do svých procesů, pokud s tím spojené investiční náklady nejsou příliš vysoké. Nedostatečné využití a především standardizace výše zmíněných komunikačních prostředků souvisí také se skutečností, že v České republice jsou velmi zřídka provázány prognózovací či plánovací procesy a ve velmi málo případech lze mluvit o automatické optimalizaci. Je tedy zřejmé, že horizontální vazby jsou nedostatečné a málo rozvíjené, a jejich posílení v rámci iniciativy I4 je jednou z hlavních priorit. Dle zdroje [34].

1.11 Shrnutí

V této kapitole byla popsána vize a technologie I4, které již existují nebo jsou ve vývoji. Výzvou do roku 2020 bude propojit tyto všechny technologie, utvořit globální standard a referenční architekturu tak, aby technologie byly na sebe kompatibilní a výrobci mohly utvářet produkty, které bude moci snadno implementovat. Jak je publikováno od R. Dratha [20], I4 je fenomen, který bude implementován nevyhnutelně, ať chceme nebo ne. Tak jak to bylo obdobně s internetem, emaily, streamingem nebo nakupováním online s tím rozdílem, že I4 ještě není správně uchopitelné v celém



Obr. 1.10: Analýza řídicích systémů v ČR

rozsahu.

2 STANDARD ISA-S95

Tato kapitola představuje mezinárodní normu ANSI/ISA-S95, která souvisí se standardizací MES/MOM systémů ve 3. úrovni automatizační pyramidy. Popíše jednotlivé služby, které standard definuje a také představí 3 druhy výroby: spojitou, diskrétní a batch. Kde se v poslední kapitole popíší změny, kterými bude muset standard ANSI/ISA-S95 projít k akceptaci I4.

2.1 Představení ISA-S95

ISA-S95 je mezinárodní standard pro integraci podnikových a řídicích systémů. Tento standard byl vytvořen globální neziskovou organizací ISA (International Society of Automation). ISA-S95 byl vytvořen za účelem předcházení problémů při tvorbě automatizovaných rozhraní mezi podnikovými a řídicími systémy. Standard je platný pro všechny typy výrobních prostředí na celém světě a může být aplikovaný ve všech výrobních odvětvích[37].

ISA-S95 se především týká výrobních systémů (*Manufacturing Execution Systems* - MES), tedy řízení/správy/organizace výroby. Skládá se z modelů a sjednocené terminologie, v jaké se definuje, která data musí být předávána mezi systémy pro prodej, finance, logistiku, systémy pro výrobu, údržbu a kvalitu [37]. Tento standard nedefinuje firemní strukturu společnosti, ale organizaci funkcí.

2.1.1 Cíle S95

Standard definuje společnou sadu termínů, definic informací a činností souvisejících s integrací podnikových a výrobních systémů. Termíny zahrnují definice činnosti obchodních logistických systémů, činnosti výrobních řídicích a koordinačních systémů. Dále snižují potřebu zákaznických integračních řešení, zjednodušují integraci nezávislou na prodeji, zlepšují opakovatelnost a přenositelnost funkcí v rámci celé organizace, zejména dosažení snadnější integrace mezi vrstvami 3 a 4, viz obrázek (Obr.:2.5)[37].

2.1.2 Rámce S95

Řešení problému integrace podnik/výroba zahrnuje identifikaci hranice mezi podnikem, výrobními operacemi a oblastmi řízení. Standard S95.01 je omezen na popis příslušných funkcí v oblastech podniku a úrovni MES.

Omezuje se na definice rozsahu výrobních operací, oblastí řízení, organizace fyzických aktiv podniku a funkce spojené s rozhraním mezi MES a podnikem.

Dále se omezuje na definice informací, které jsou sdíleny mezi MES a podnikovými funkcemi[37].

2.1.3 Modely S95

K vysvětlení prvků integrace systémů řízení podniku používá ISA-S95 několik modelů.

Tyto modely jsou:

- Model hierarchie zařízení.
- Hierarchický model funkcí.
- Model toků dat mezi funkcemi.
- Objektový model[37].

2.1.4 Složení standardu

Formát standardu je tvořen z 6 norem a to jsou:

- ISA 95.00.01 Modely a terminologie;
- ISA 95.00.02 Modely objektů a atributy;
- ISA 95.00.03 Modely aktivit výroby;
- ISA 95.00.04 Modely objektů a atributy řízení výrobních operací;
- ISA 95.00.05 Transakce mezi výrobou a podnikem;
- ISA 95.00.06 Model správy služeb.

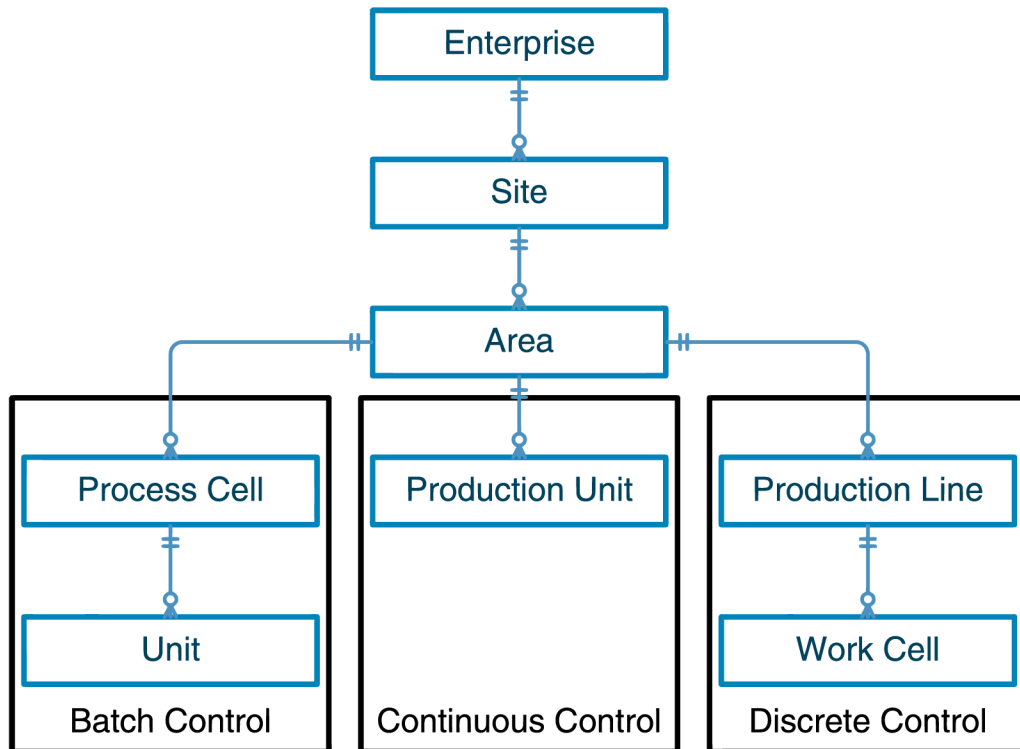
První část a 2. část normy definují informace, které by měly být vyměňovány. Třetí část se zaměřuje na potřebné činnosti v rámci systému výrobních operací (úroveň 3). Tato část také popisuje čtyři modely týkajících se podnikových oblastí, které jsou rozděleny do čtyř pilířů: výrobních operací, údržby, kvality a operací skladování. Každá operace je představena modelem aktivit, který podrobně popisuje soubor činností požadovaných pro výrobu.

Čtvrtá část normy definuje objektový model pro výměnu informací mezi aktivitami ve třetí úrovni. Pátá část standardu definuje strukturu transakcí pro výměnu informací mezi třetí a čtvrtou úrovní. Poslední část, definuje strukturu služeb pro odesílání a přijímání zpráv napříč systémy pro výměnu informací a "Enterprise Service Bus".

Model hierarchie zařízení

Fyzická aktiva podniku podílejícího se na výrobě je obvykle uspořádána hierarchicky, jak je popsáno na obrázku (Obr.:2.7). Jedná se o rozšíření modelu popsaného v IEC 61512-1 a ANSI / ISA-88.01-1995. Skupiny nižší úrovně jsou kombinovány, aby vytvořily vyšší úrovně v hierarchii. V některých případech může být seskupení v rámci jedné úrovně začleněno do jiné skupiny na stejné úrovni.

Tento model definuje oblasti odpovědnosti za různé úrovně funkcí definovaných v hierarchickém modelu. Model hierarchie zařízení dále definuje některé z objektů používaných při výměně informací mezi funkcemi.



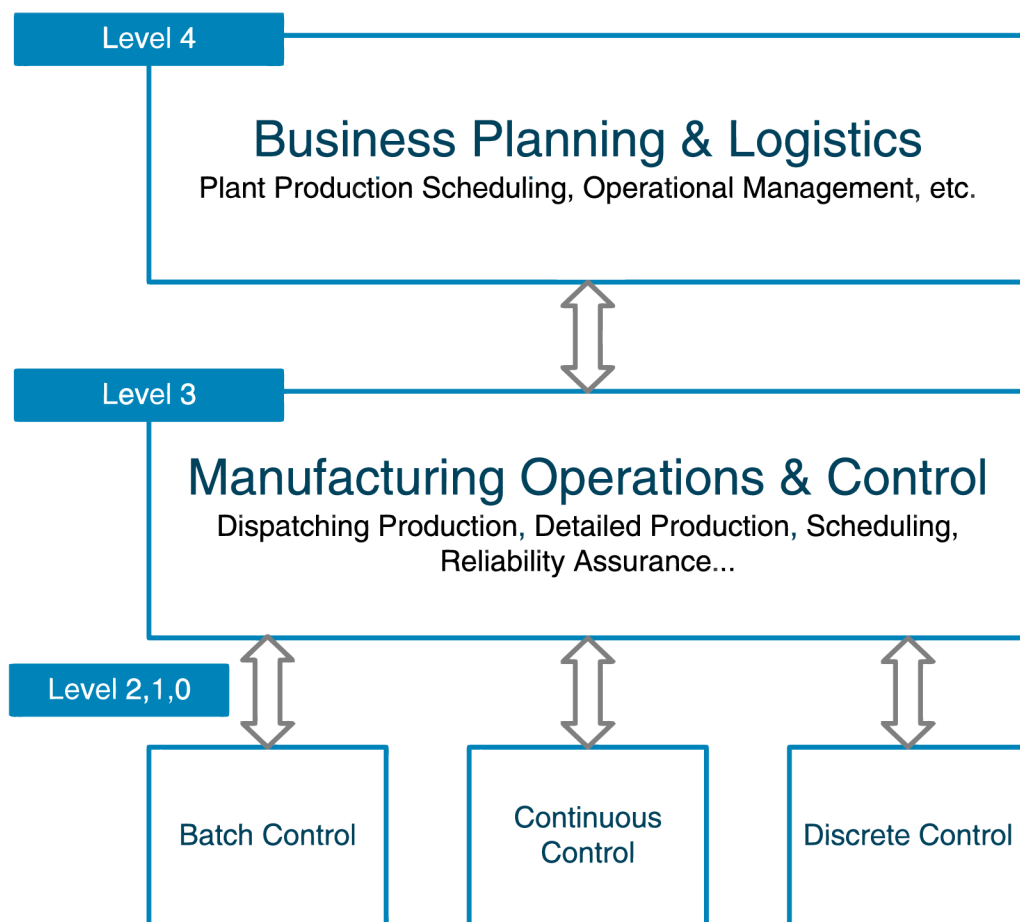
Obr. 2.1: Model hierarchie zařízení [37]

Hierarchický model funkcí

Dle normy ISA 95.00.01 je na obrázku (Obr.:2.2) vidět hierarchický model funkcí. Úrovně se rozdělují do:

- **Úroveň 0** - Definuje aktuální fyzické procesy.
- **Úroveň 1** - Definuje aktivity spojené se snímáním a manipulací ve fyzických procesech.
- **Úroveň 2** - Definuje činnosti monitorování a kontroly fyzických procesů.
- **Úroveň 3** - Definuje činnosti pracovního procesu k vytvoření požadovaných konečných produktů. To zahrnuje činnosti vedení záznamů a koordinaci procesů.
- **Úroveň 4** - Definuje činnosti související s podnikovými potřebami pro správu výrobních organizací.

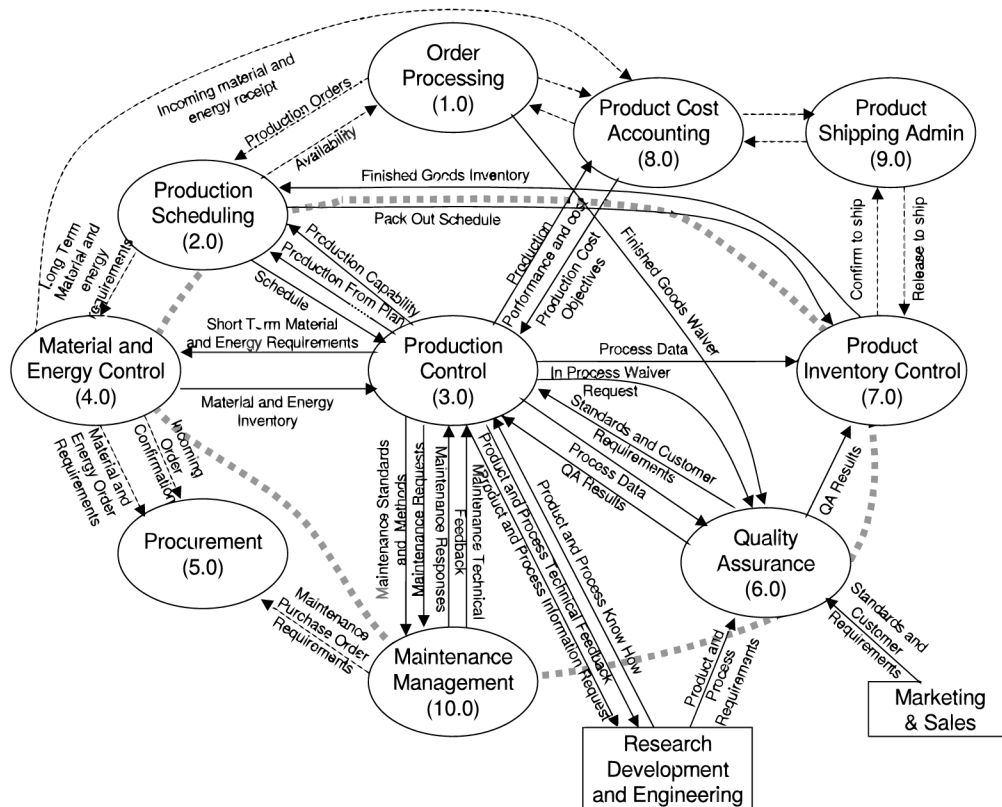
V 1. a 2. úrovni se definuje rozdělení mezi batch, spojitým nebo diskrétním řízením.



Obr. 2.2: Hierarchický model funkcí [37]

Model toků dat mezi funkcemi

Model toků dat mezi funkcemi je znázorněn na obrázku (Obr.:2.3). Kde tlustá tečkovaná čára znázorňuje hranice rozhraní podnikového řízení. Rozhraní výrobního řízení zahrnuje většinu funkcí v řízení výroby (*Production Control*) a některé funkce v ostatních hlavních funkcích. Plné šipky označují toky informací důležité pro řízení výroby. Protínané funkce širokou tečkovanou čarou mají dílčí funkce, které mohou spadat do řízení výroby nebo spadají do podnikového řízení. Různé společnosti umísťují funkce do různých organizačních skupin.



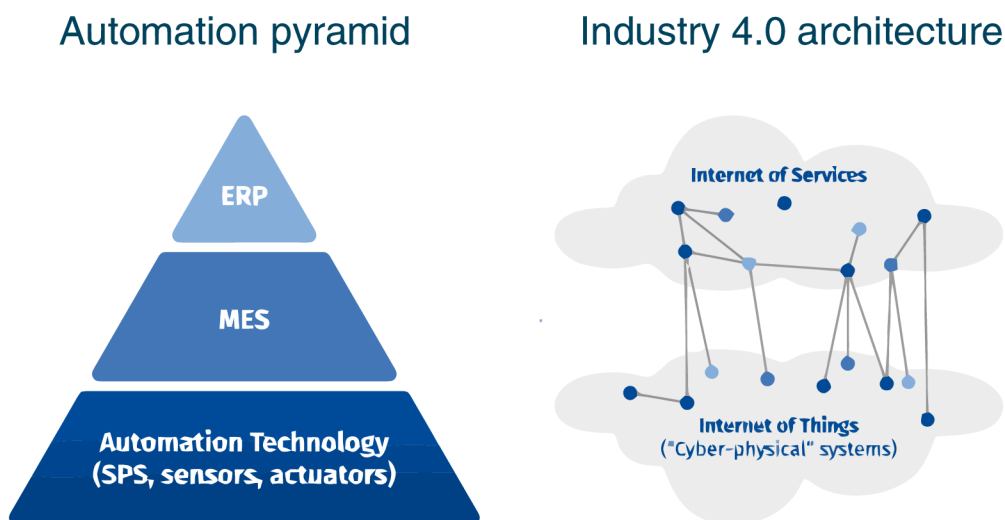
Obr. 2.3: Model toků dat mezi funkcemi [37]

Objektový model

Objektové modely jsou tvořeny v Unifikovaném modelovacím jazyku (*Unified Modeling Language* - (UML)). Jedná se o schématický jazyk, který je jednoduchý a přehledný v návaznosti vztahů mezi předáváním informací mezi objekty.

2.2 Přechod na Industry 4.0

K akceptaci vize I4 bude nutné, aby ISA-S95 prošel razantními změnami. Dle zdrojů [28] a [4], se bude jednat o několik fází, kdy v poslední fázi by se mělo přejít k bezhierarchickému modelu, kde každé zařízení bude moci transparentně komunikovat napříč všemi vrstvami, jak lze vidět na obrázku (Obr.:2.4). Bude se jednat o celkovou horizontální a vertikální integraci.



Obr. 2.4: Vývoj automatizační pyramidy v I4 [4]

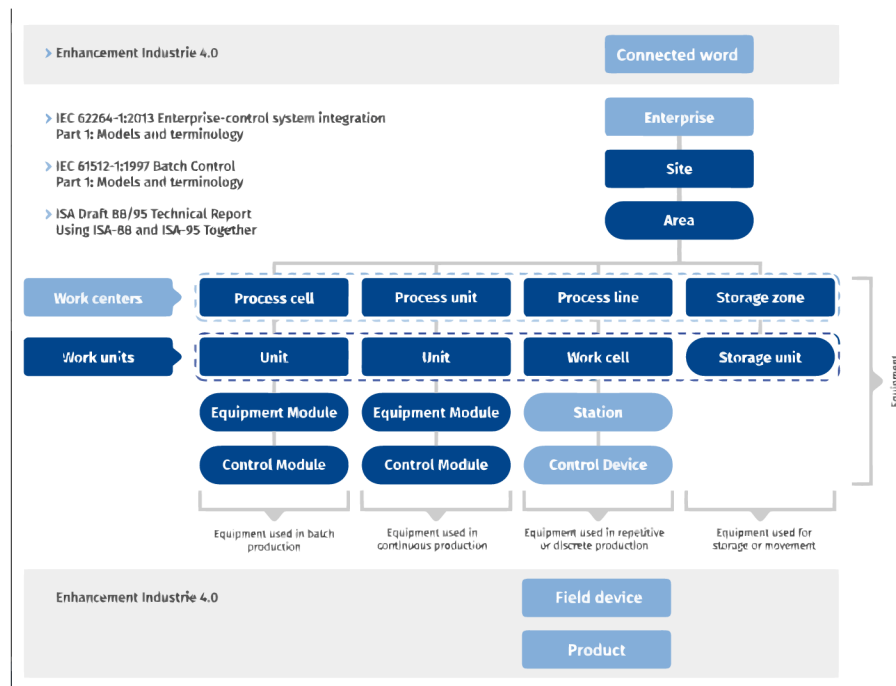
Na Obrázku (Obr.:2.5) je následně vidět, jak se rozšíří fyzická struktura modelu o oblasti I4, které zaštitují IoT a IoS. Pokud se model porovná s RAMI 4.0, který ISA-S95 rozšiřuje, bude se jednat o rozšíření o "Product" a "Connected world".

2.2.1 Horizontální integrace

Horizontální integrace je možnost řídit proces (komunikovat) napříč všemi závody (celou společností). Tento bod bude jednou z dalších výzev I4 a to z důvodu zabezpečení, kde bude kladen velký důraz, aby nebylo možno nijak neoprávněně přistupovat k zařízením CPS.

Pro lepší pochopení je horizontální integrace zobrazena na obrázku (Obr.:2.6). Kde lze vidět jak probíhá automatická komunikace na základě potřeb závodu. Tento proces v budoucnu již nebude muset řídit člověk, ale zařízení si automaticky budou zprostředkovávat potřebný materiál, jak k údržbě tak k výrobě.

Tento koncept je velice dobře zvládnutý v automobilkách, kdy v případě objednávky zákazníka, probíhá automatická objednávka všemi dodavatelskými řetězci



Obr. 2.5: Hierarchický model ISA-S95 v I4 [4]

na potřebu nových objednávek.

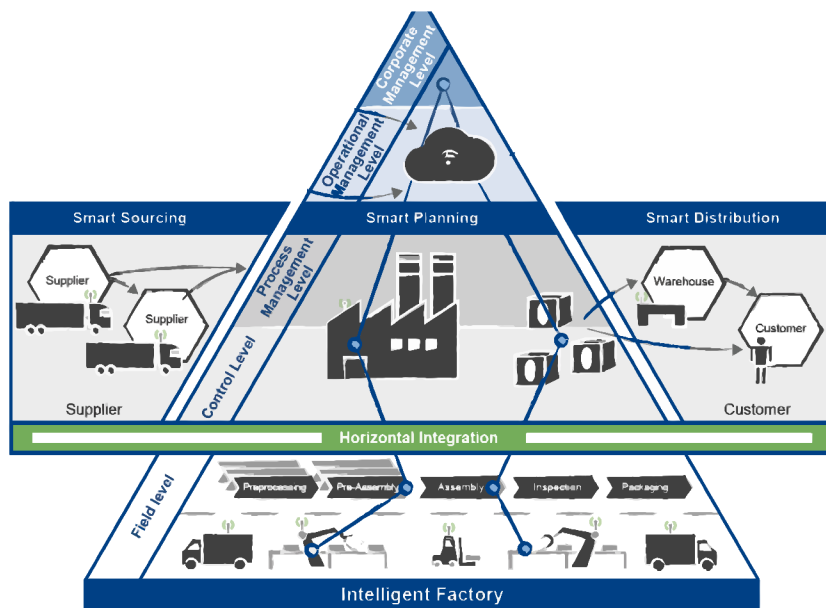
2.2.2 Vertikální integrace

Jedná se o propojení bezhierarchické komunikace. Takže jakýkoliv produkt nebo zařízení bude moci přistupovat ke všem vrstvám v hierarchickém modelu viz obrázek (Obr.:2.5).

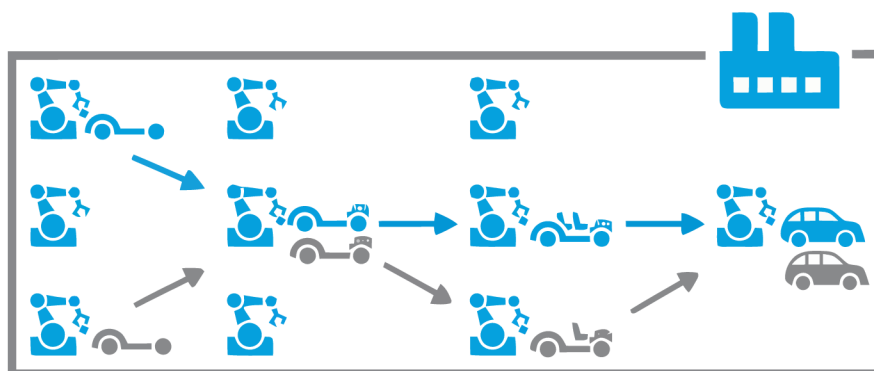
Koncept počítá, že zařízení bude moci komunikovat s vyššími vrstvami, tak že bude mít přístup k REST API dané aplikace. Tato problematika je následně popsána v kapitole realizace MES/MOM.

2.2.3 Typy výrobních procesů a jejich přechod na Industry 4.0

Jak již bylo zmíněno, existují tři typy výrobních procesů a to jsou diskrétní, spojitě a batch. Všechny typy výrobních procesů budou splňovat I4, ale pouze diskrétní výroba projde velkou transformací. Více změny diskrétní výroby, bude probíhat v možnosti flexibility výroby. Myšlenka se dá představit dle obrázku (Obr.:2.7), kde konstruování výrobku na stanovišti výroby, bude probíhat dle specifika zákazníka. Tím vznikne rozmanitost výrobků bez nutnosti integrace nových výrobních linek.



Obr. 2.6: Horizontální integrace [9]



Obr. 2.7: Průběh diskrétní výroby v I4 [14]

2.3 Shrnutí

V kapitole byl popsán standard ISA-S95, jaké jsou jeho cíle, důležitost a záměr. Následně bylo popsáno jeho rozdělení do 6 částí, kde každá část představuje jinou specifickou funkci. Dalším bodem byly jednotlivé modely, které definují ISA-S95. Tyto modely byly stručně popsány.

Po té již kapitola pokračovala k přechodu na Industry 4.0, kde byla popsána horizontální a vertikální integrace.

3 SYSTÉMY ŘÍZENÍ VÝROBY - MES/MOM

Kapitola se stručně věnuje popisu MES/MOM. Představí se vznik systémů a jejich zařazení mezi ostatní úrovně řídicích systémů dle standardu ISA-S95. Dále se představí instituce, které se podílí na jejich vývoji. V další kapitole se představí výhody systémů, jejich jednotlivé součásti, funkcionality a architektura.

3.1 Vznik systémů

V 80 letech minulého století průmysloví inženýři z Purdue University vyvinuli první průmyslový model, který se skládal z 5ti vrstev "Level 0-4". Po návrhu prvotního modelu se organizace Manufacturing Enterprise Solution Association (MESA) a International Society of Automation (ISA), chopily vedení v následném vývoji. V tomto období byl systém definován jako systém řízení výroby (*Manufacturing Execution Systems* - MES). Po definování standardu ISA-S95 byl funkční model MES popisován jako systém řízení výrobních operací (*Manufacturing Operation Management* - MOM). Ten je zařazen do 3. úrovně v hierarchickém modelu dle kapitoly 2. Předefinování spočívalo ve standardizaci jednotlivých funkcí dle S95. Celý systém byl přetvořen, aby s MES mohly komunikovat systémy ERP a nacházely se tak v symbióze v průmyslovém prostředí.

Systém MES přinesl mnoho výhod ve výrobě jako jsou:

- Snížení výrobního času cyklu, snížení doby nutné k realizaci;
- Snížení nebo eliminace doby zpracování vstupních dat;
- Snížení rozpracovanosti (work in process);
- Snížení nebo eliminace kancelářské práce;
- Zlepšení jakosti výrobků;
- Posílení růstu provozních techniků;
- Zdokonalení plánování procesu;
- Zlepšení zákaznického servisu.

3.2 Části MES

Systémy MES jsou mezinárodně standardizované mezinárodní neziskovou organizací MESA, která definuje 11 základních funkcí. Ty jsou rozděleny následně ještě do kategorií hlavních funkcí a podpůrných. Tyto funkce jsou:

- Operativní plánování výroby.
- Řízení a přidělování zdrojů.

- Dispečerské řízení.
- Řízení procesu.
- Sběr a archivace dat.
- Analýzy výkonnosti.
- Genealogie a trasování výroby.
- Správa dokumentace.
- Řízení údržby.
- Řízení laboratoře.
- Řízení kvality.

3.2.1 Operativní plánování výroby

Plánování výroby je kritickou součástí výroby a stejně tak je důležitou součástí výrobních informačních systémů. Existuje mnoho různých přístupů k plánování výroby, jako např. dopředné a zpětné plánování výroby. Výsledkem plánování výroby je tzv. fronta práce definující pořadí, v jakém se budou na výrobním zdroji zpracovávat jednotlivé výrobní příkazy. Tato fronta práce je samozřejmě tvořena s důrazem na eliminaci zbytečného seřizování strojů, spotřeby energie a prostojů atd. Současné nejpokrokovější systémy operativního plánování jsou označovány jako APS (Advanced Production Scheduling), které mají za cíl automaticky vypočítat optimální výrobní plán podle stanovených kritérií (např. maximalizace produkce, omezení zdrojů, minimalizace nákladů apod.)[37].

3.2.2 Řízení a přidělování zdrojů

Přidělování zdrojů zabezpečuje, aby všechny potřebné výrobní zdroje (stroje, nástroje, pracovní síly, materiál, energie apod.) byly k dispozici pro zahájení výroby (ve správné konfiguraci čas-místo-kvalita)[37].

3.2.3 Dispečerské řízení

Dispečerské řízení je definováno jako souhrn aktivit řídicích toků výroby přiřazovaným zařízením a osobám. To na základě zajišťování potřebného množství surovin a energie, sledováním aktuálního stavu výroby a operativním řešením výpadků. Finální rozsah dispečerského řízení je závislý na rozsahu aktivit zajišťovaných detailním plánováním[37].

3.2.4 Řízení procesu

Řízení výrobního procesu je zajištěno operátorskými funkcemi[37].

3.2.5 Sběr a archivace dat

Sběr a archivace je základní stavební kámen každého MES systému. Zabezpečuje nepřetržitý sběr dat z výroby v reálném čase a dlouhodobou archivaci. Nedílnou součástí je ochrana dat proti ztrátě i proti zneužití[37].

3.2.6 Analýzy výkonnosti

Analýzy výkonnosti sledují a počítají klíčové výrobní ukazatele a porovnávají výsledky aktuálně dosahovaných ve výrobě. Na základě těchto poznatků predikují odhady ekonomických výstupů[37].

3.2.7 Genealogie a trasování výroby

Jedná se o sledování každého výrobku, dávky či série v průběhu celého výrobního cyklu[37].

3.2.8 Správa dokumentace

Zahrnuje vytváření, ukládání, vyhledávání a archivaci dokumentů podniku s tím, že jsou systémem hlídány jednotlivé verze dokumentů a jejich změny. To velmi pomáhá uživatelům v orientaci a pořádku v podnikových dokumentech včetně stanovení přístupových oprávnění k jednotlivým dokumentům[37].

3.2.9 Řízení údržby

Řízení údržby sleduje a řídí aktivity vykonávané s cílem udržovat výrobní prostředky v takovém technickém stavu, aby se předešlo neplánovaným přerušením výroby. Poskytuje rozvrhy periodické i preventivní údržby a umožňuje řídit údržbu podle skutečného stavu zařízení[37].

3.2.10 Řízení laboratoře

Informační systémy řízení laboratoří (*Laboratory Information and Management System - LIMS*) jsou určeny pro podporu činnosti analytických laboratoří výrobních podniků nejrůznějšího zaměření (zejména farmacie, potravinářství, chemie, apod.). Systém poskytuje nástroje pro přípravu, realizaci, evidenci a vyhodnocení širokého spektra analytických testů včetně mezioperačních kontrol (MOK)[37].

3.2.11 Řízení kvality

Řízení kvality zajišťuje analýzu dat snímaných z výrobních zařízení s cílem sledovat kvalitu vyráběného produktu a včas identifikovat nežádoucí odchylky. Využívá metody SPC/SQC průběžného statistického vyhledávání rozdílů mezi požadovanými „ideálními“ a skutečnými parametry procesu a vyhledávání příčin těchto rozdílů. Do řízení kvality bývají též často zahrnuty offline prováděné analýzy z LIMS[37].

3.3 Softwarové nástroje MES/MOM

Vývojem MES/MOM systémů se v dnešní době zabývá mnoho společností, z průzkumu SW nástrojů, lze usoudit, že velké společnosti se zabývají komplexním řešením nejen MES, ale i ERP a PLM. Dodávají celkové řešení pro řízení společnosti a výroby. Z obrázku (Obr.:3.2) v přehledové tabulce, lze nalézt českou společnost COMPAS, která dodává pouze řešení MES systému, kde je počet implementací 60 k roku 2015.

Na poli technologii jsou i jiní hráči, jako je Siemens se svým řešením Simatic IT nebo SAP se svým modulem SAP MII. Ze zmapování současného stavu IT/OT implementací systémů, které bylo v kapitole 1.10 vychází, že je v prostředí firem stále problém vysoká cena, kde malé podniky nemají potřebné finance. Velkým firmám se snaží dodavatelé nabídnout celý balíček systémů. V druhém případě společnosti dodávají minimální systém, jako dodává společnost COMPAS.

Název produktu	MES	Bílý Motýl	DCIxMES	EasyMES	EMANS	Improve ITI	SappyMES	MES MERZ	COMES
Název výrobce	ATS	BM Servis	AIMTEC a. s.	TD-IS,	ANASOFT,	SCADA servis	AIMTEC a. s.	Merz	Compas aut.
FUNKČNOST SYSTÉMU - SBĚR DAT									
pořizení dat v reálném čase	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
automatické snímání měřitelných údajů	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
přímé napojení na stroje	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
provozní terminály (komunikace s obsluhou)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
identifikace zboží, materiálu a jeho toku	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
navázání na modul pro sběr dat ve SCADA systému	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
FUNKČNOST SYSTÉMU - DISPEČERSKÉ ŘÍZENÍ VÝROBY									
sledování výroby v reálném čase	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
přídělování výrobních úkolů	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
přehled a hodnocení rozpracovanosti výroby	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
sledování technologie a řízení mimořádných stavů (poruchy)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
sledování toku materiálu	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
FUNKČNOST SYSTÉMU - ANALÝZY VÝKONNOSTI									
analýza celkové efektivity zařízení (OEE)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
porovnání aktuálního stavu výroby s krátkodobou historií (srovnávací grafy)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
FUNKČNOST SYSTÉMU - SLEDOVÁNÍ VÝROBKU									
sledování výrobní dávky v reálném čase	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
detailní záznam reálné výrobní historie	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
sledování a zpracování technologických dat kvality výroby	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
FUNKČNOST SYSTÉMU - ŘÍZENÍ ZDROJŮ									
lidské zdroje - evidence výkonových norem a srovnávání s realitou	Částečně	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
stroje - podklady pro údržbu, přehledy historie poruch	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
SLEDOVÁNÍ VÝROBNÍHO PROCESU – SCADA SYSTÉM									
měření technologických parametrů v čase a sledování technologických událostí	Ano	Ne	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ano	Ano	Ano
vizualizace technologického procesu včetně ovládání obsluhou z PC	Ano	Ne	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ano	Ano	Ano
řízení procesu podle receptury	Ano	Ne	Ne	Ne	Částečně	Ano	Ne	Ano	Ano
DALŠÍ FUNKCE A VLASTNOSTI SYSTÉMU									
OPC komunikace	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Napojení na modul plánování a řízení výroby v rámci ERP systémů	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

Obr. 3.1: Přehled MES/MOM systémů [8]

KAPITOLA 3. SYSTÉMY ŘÍZENÍ VÝROBY - MES/MOM 3.3. SOFTWAROVÉ NÁSTROJE MES/MOM

Název produktu	VisiorQ2	SYSKLASS	QAD Enterpris	QI	PERISKOP	Oracle Suite	OR-SYSTÉM	Dynamics AX	MES MERZ	KARAT	COMES
Název výrobce	Vision Praha	GT Systems	QAD	DC Concept	Accord	Oracle	OR-CZ	Microsoft	Merz	KARAT SW	Compas aut.
FUNKČNOST SYSTÉMU - LOGISTIKA											
Náskup a likvidace faktur	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
Skladové hospodářství a řízení zásob	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ne
Správa odpadů z nebezpečných materiálů	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Částečně	Ne
Přeuřava	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Částečně	Ne
Elektronický nákup přes internet (B2B)	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
FUNKČNOST SYSTÉMU - PLÁNOVÁNÍ VÝROBY A ZDRŽŮ											
Optimalizace	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Dle úzkých míst	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne
Dle závislých seřizování	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne
Dle volitelných kritérií	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano
Plánování výroby											
Strategické	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
Operativní	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Taktické	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
Dle dopravy	Ne	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ano	Ne	Ne
Dle dodávky	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano
Dle požavky	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano
ATP (Available-to-Promise)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
AATP (Allocated-Available-to-Promise)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Částečně	Ne	Ne	Ne
CTP (Capable-to-Promise)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
Metody plánování											
CRP (Continuous Replenishment Planning)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
VMI (Vendor Managed Inventory)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne
ECR (Efficient Consumer Response)	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ne	Ne
CPFR (Collaborative Planning, Forecast and Replenishment)	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ne	Ne
FUNKČNOST SYSTÉMU - ŘÍZENÍ VÝROBY											
Typ výroby											
Kontinuální	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Diskrétní	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Zakázková	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Dle prognózy	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Odvětví - průmysl											
Potravinářský a nápojářský	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Stavebnictví	Ano	Ne	Částečně	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne	Ano	Ne
Textilní, obuvnický	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano
Strojrenský	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Automobilový	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Hutní	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano
Chemický, farmaceutický	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	specifické	Ano	Ano	Ano	Ano
FUNKČNOST SYSTÉMU - DALŠÍ FUNKČNOSTI											
TPV	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Ano	Ne
PDM	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ne	Ano	Ne
PLM	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Částečně	Ano	Ne	Ne	Ne
EAM, řízení údržby	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ne	Částečně	Ano
Collaborative management	Ano	Ne	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano	Částečně	Ne	Ne	Ne
Řízení jakosti	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ne	Částečně	Ano
UŽIVATELÉ V ČR A SR											
Počet instalací produktu	550	284	>150	1044	150	>100	110	120	>100	575	60
Průměrná doba implementace [měsíce]	4-8	3	5	3	1-2	4-8	8	4-9	3-60	3-8	1-6

Obr. 3.2: Přehled MES/MOM (ERP) systémů s částečnou implementací ERP [8]

3.3.1 COMES

Systém COMES vyvíjí tuzemská firma COMPAS automatizace, spol. s.r.o., která dodává výrobní informační systémy. Jedná se o modulární systém, který integruje funkce z 2, 3 a 4 úrovně vzhledem k automatizační pyramidě. Je navržen v souladu se standardy S95/S88. MES systém obsahuje k aktuálnímu datu 6 modulů, to jsou: COMES Login, COMES Historian, COMES Modeller, COMES Traceability, COMES Batch a COMES CCI.

Celý systém je postaven na technologii firmy Microsoft, kde se jedná o programovací jazyk C# s frameworkem .NET, webovým prostředím ASP.NET a databázovým systémem MS SQL.

3.3.2 Simatic IT

Jeden z nejlepších systémů, který lze na trhu získat, je produkt od korporátního gigantu Siemens a to produkt Simatic IT. Jedná se o kompletní balíček MES, který implementuje některé funkce ze systému ERP a PLM. To také doprovází velmi vysoká cena přizovací cena. Celý systém je následně předpřipraven pro napojení na systémy ERP, PLC, CRM a SCM. Balíček obsahuje: SIMATIC IT Intelligence Suite, SIMATIC IT Production Suite a SIMATIC IT R&D Suite.

3.3.3 SAP

Firma SAP je jednou z mála firem, která dodává kompletní řešení pro firemní informační systémy a to od systému MES po systém ERP (včetně CRM, SCM...). SAP je znám jako ERP systém, ale ve všeobecném povědomí není SAP MII/ME modul, který tvoří funkcionalitu MESu. Celkové řešení SAPu má výhodu rozšiřitelnosti v celém měřítku. Také již platforma SAP HANA, kde se jedná o technologii 'in memory', počítá s možností analyzování velkých dat a umělou inteligencí.

3.4 Shrnutí

Kapitola shrnuje nutné základy o systémech MES/MOM, jejich vzniku a částech, které obsahují. Jsou zde uvedeny softwarové nástroje třech firem a stručně jsou popsány. Následně jsou uvedeny dva obrázky (Obr.:3.1 a Obr.:3.2), které znázorňují funkcionality MES systému. Je zřejmé, že MES systémy obsahují stejný balíček funkcionalit a snaží se implementovat funkce z podnikových systémů.

4 MES/MOM V INDUSTRY 4.0

Tato kapitola popisuje změny, které nastanou v brzké budoucnosti v MES/MOM systémech. Jsou zde popsány funkcionality o které budou rozšířeny.

4.1 Konvergence IT/OT

Dnes se ještě systémy rozdělují na operační technologie (*Operation technology* - OT), kam patří MES, SCADA, měřicí systémy, senzory atd. Jedná se o systémy vytvářející fyzické hodnoty a výrobní procesy. Na druhé straně stojí IT řešení, které kombinuje všechny systémy zpracovávající informace. V této době se dostáváme k mezníku, kdy budou pomalu tyto pojmy jednotné pod pojmem IT. OT bude pomalu přijímat analogicky technologie IT a tím se docílí transparentní komunikace napříč zařízeními[29].

4.1.1 Definice IT

Za informační technologie (*Information technology* - IT) se pokládá celkový souhrn technologií, zahrnujících hardwarovou infrastrukturu a softwarové aplikace použité pro transformaci dat. IT systém může být tedy definován jako stroj, do kterého vstupuje proud dat a vystupuje z něj nový datový tok. Fyzický svět zůstává nedotčen. Příkladem významných IT systémů jsou aplikace systému ERP nebo systémů CRM[29].

4.1.2 Definice OT

Operační technologie OT jsou definovány jako soubor zařízení a procesů, které působí v reálném čase na fyzické operační systémy, jako jsou distribuční sítě elektřiny a závody na výrobu automobilů. Jako celkový přehled IT a OT se může použít model ISA 95[29].

4.1.3 Oddělené skupiny IT a OT

Oddělení těchto dvou skupin bylo na základě požadavku komunikace OT v reálném čase, kdy IT technologie nebyla vyhovující z důvodu tohoto požadavku. To se v aktuální době mění a jsou k dispozici platformy, kterým OT vyhovuje, a proto dochází ke konvergenci k IT[29].

4.1.4 Východisko

Vzhledem k vyhovujícím možnostem pro OT komunikaci bude v dalších krocích více akceptováno IT řešení. Celý systém se nyní rozdělil na dva tábory. Německou Industrie 4.0 a USA s industrial ethernetem. Německá vize jde pomalými krůčky přes komunikaci za pomoci OPC UA a tudíž prostředníka v podobě OPC serveru, kde by stále nebyla absence OT ve vyšších vrstvách. Americká vize tuto metodu přeskočila a využívá rozhraní ethernetu na REST API a zprávách JSON (*JavaScript Object Notation*). Více bude popsáno v následujících kapitolách.

4.2 Rozdíl mezi MES/MOM aktuálním a v Industry 4.0

Jak již bylo popsáno v kapitole 2.2, hlavním pilířem I4 je integrace horizontálního a vertikálního propojení. To ovlivní celou strukturu celé automatizační pyramidy a umožní systémům mezi sebou nezávisle komunikovat. Proto jedním z hlavních rozdílů bude důraz na komunikační protokoly. Všechny tyto rozdíly mezi MES/MOM v Industry 3 a v budoucím prostředí I4 jsou rozděleny do několika podkapitol. Nejprve bude popsán všeobecný směr těchto systémů jako celku, po té budou kapitoly popsány od nejnižší vrstvy po nejvyšší vzhledem k automatizační pyramidě.

4.2.1 Změny v MES/MOM

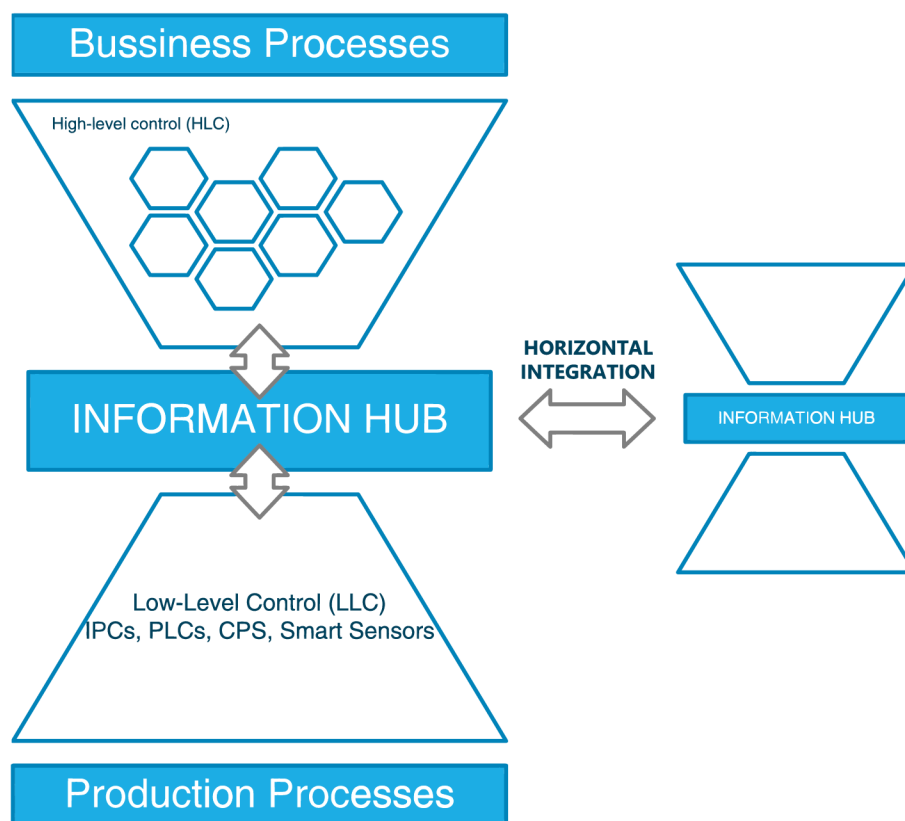
Tyto změny jsou velice diskutovaným tématem. Některé společnosti předpovídají zánik systémů MES jako takových. Některé hovoří o změně MES na informační HUB, který bude sloužit ke sběru informací. Tento model lze vidět na obrázku (Obr.:4.1) a je publikován pod názvem 'Diablo model', který byl v roce 2009 představen p.Vogel-Heuserem. Jedná se o mezistupeň mezi bezhierarchickou architekturou, kterou představuje I4 a aktuálním stavem.

Celý systém (Obr.:4.1) se rozděluje na :

- **Production processes** - v této oblasti jsou procesy řízené PLC a Industrial PC z vyšší vrstvy, dají se v tomto konceptu představit objekty (senzory, aktuátory), které jsou uvnitř CPS (I4 komponenty), viz obrázek (Obr.:1.4). Tato vrstva je ekvivalentem k úrovni 0 v automatizační pyramidě vzhledem k S95, viz obrázek (Obr.:2.2).
- **Low-level control (LLC)** - se skládá z 1. a 2. úrovně vzhledem k S95, viz obrázek (Obr.:2.2). Jak je znázorněno na obrázku (Obr.:4.1), PLC zůstávají hierarchicky uspořádané tak, aby splňovaly požadavky na komunikaci v reálném

času a další požadavky specifické pro řízení procesů ve fyzickém výrobním prostředí.

- **Information HUB** - tato část je založená na spojení komunikace obou vrstev. V současnosti je ekvivalent komunikace ve vyšších vrstvách založen na zprávách B2MML (*Business-to-Manufacturing Markup Language*), které byly standardizovány organizací MESA v roce 2013. Tento standard přetrvává, než nastoupí nové služby, které jsou popsány v další kapitole.
- **High-level control (HLC)** - složení této vrstvy je ekvivalentní k úrovni tři a čtyři v tradiční automatizační pyramidě dle obrázku (Obr.:2.2). Šestiúhelníky na obrázku představují vzájemně propojené procesní funkce, které se obvykle nacházejí ve výrobním řízení, včetně běžných funkcí úrovně 3, jako je řízení pracovních příkazů, správa kvality a správa údržby a funkce 4. úrovně, jako je plánování, logistika a řízení obchodních procesů.
- **Bussiness processes** - vrstva, která představuje funkce úrovně 4 a následně i služby v cloudových službách, BI (*Bussiness inteligent*) analýzy a další služby zavedené spolu s digitalizací[35].



Obr. 4.1: Diabolo model moderního automatizačního systému [17] [35]

Díky zapouzdření obou kuželů, může přistupovat horizontální komunikace pouze do informačního HUBu, který informace ve formátu zprávy přeloží patřičné komponentě, kam má být zpráva cílena[35].

4.2.2 Komunikace na nejnižší vrstvě mezi CPS

Tradiční architektura průmyslového systému je postavena na topologii sběrnice. Sítě jsou připojeny ke sběrnici a mluví stejným protokolem např.: profibus.

Na základě obrázků (Obr.:1.3 a Obr.:1.4), které představují CPS zařízení, lze dobře vidět, že je v systému implementované rozhraní (*Administrative shell*), které komunikuje ve třech úrovních.

V nejvyšší úrovni je blok "Service Oriented Interface", který může poskytovat služby na základě SOA, jak je popsáno v kapitole 4.2.4. Na tuto úroveň není kladen důraz "real-time" komunikace. Mezi poskytované služby tímto blokem můžou být například:

- identifikace;
- energetická efektivita;
- monitoring kondice;
- konfigurace;
- životní cyklus;
- atd..

Real-time komunikace probíhá v nižší úrovni mezi jednotlivými CPS a uvnitř CPS napříč komponentami (aktuátory a senzory). Tento blok také tvoří lokální služby, které obsahují:

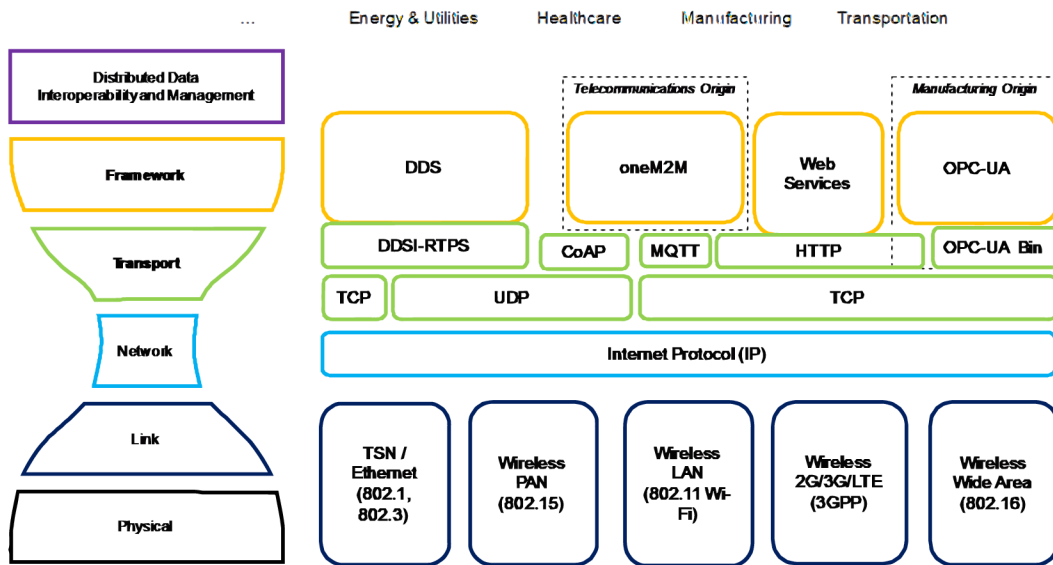
- služby pro akce - např. vrtání, sváření;
- čtení/zápis.

Komunikace mezi aktuátory a senzory bude stále probíhat na principu topologie sběrnice a protokolu např.: profibus. Změna nastane mezi komunikací CPS/CPS a CPS/vyššími systémy.

Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci v nejvyšší úrovni, kde se nachází "Service Oriented Interface" a úroveň pro komunikaci mezi CPS, bude komunikace řešena pomocí OPC UA. Zde bude stále potřeba informačního HUBu, neboli překladatelského prostředníka.

Dalším krokem bude již možnost použití rozhraní REST API a za pomoci něj budou systémy poskytovat zmíněné služby napříč podnikovým systémem bez nutnosti hierarchie. REST API je rozhraní na základě HTTP požadavků, kde zprávy mají podobu JSON zpráv. Toto rozhraní se nachází pod "Web Services" dle obrázku

(Obr.:4.2). REST API je dalším krokem ke konvergenci IT a OT bez nutnosti mít informační HUB.



Obr. 4.2: OSI/ISO model pro I4 protokoly [15]

4.2.3 Komunikace s nižší vrstvou

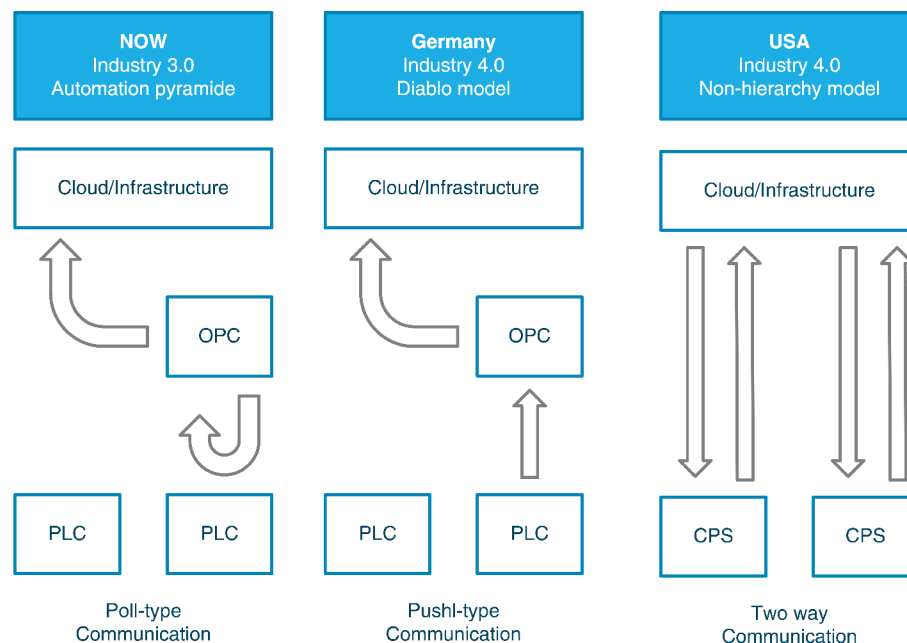
V dnešní době probíhá komunikace MES/MOM systémů s nejnižší vrstvou na základě cyklického dotazování zařízení na nižších úrovních. To velice omezuje některé funkcionality jako jsou:

- Omezení počtu dotazovaných zařízení.
- Omezení počtu tagů (proměnných), které je možno komunikovat.
- Zahlcení komunikačních kanálů.
- Rychlost sběru dat a apelování na upřednostňované komunikační veličiny.

Obrázek (Obr.:4.3) znázorňuje rozdíl mezi cyklickou komunikací (*pull communication*) a přímou komunikací (*push communication*) s možností přímé komunikaci se zařízení nižších vrstev do vyšších vrstev.

Tento koncept se nesmí chápat tak, že vymizí veškerá hierarchie mezi všemi úrovněmi. Tuto komunikaci budou mít možnost využívat zařízení s Administrative shellem, které jsou složeny z několika zařízení, jak je popsáno v kapitole 1.8.

Není žádoucí, aby například indukční senzor na přítomnost výrobku měl přístup k podnikové komunikační síti. Tento prvek bude patřit do CPS, který má řídicí zařízení PLC. To ovšem není pravidlem a mohou v prostředí existovat "Smart senzory", které budou sami obsahovat Administrative shell a dokáží jakkoliv komunikovat.



Obr. 4.3: Komunikace v nejnižších vrstvách

Tento model komunikace spojuje OPC UA, kterému byla věnována kapitola 1.3.7.

4.2.4 Poskytování služeb CPS (I4.0 komponenty)

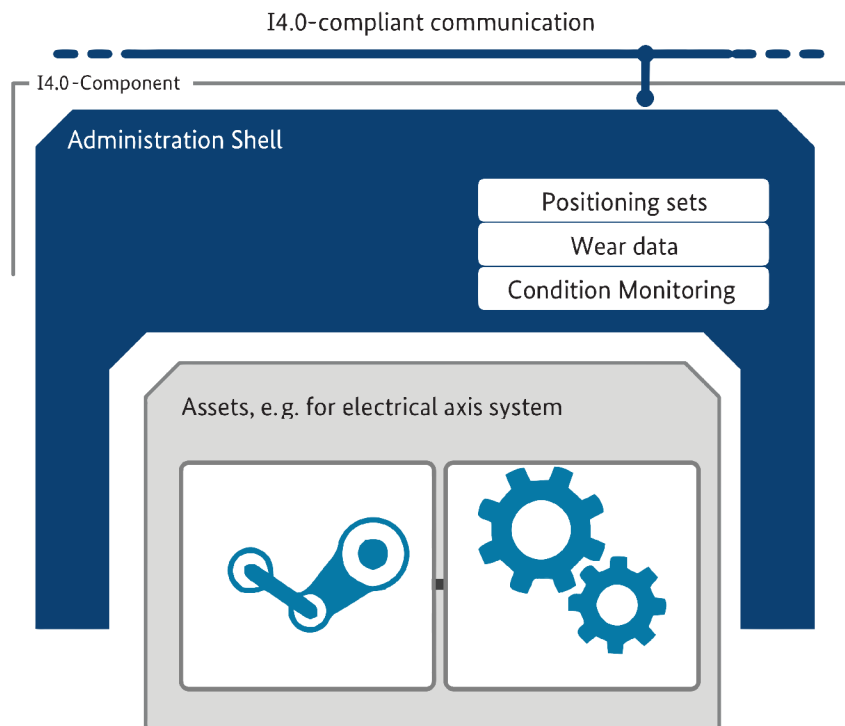
Každá I4 komponenta (CPS) bude v rámci Administrative shellu poskytovat několik funkcí, jak lze vidět na obrázku (Obr.:4.4) pro příklad řízení motoru. Jedná se o objekty motor a frekvenční měnič. Oba členy jsou jedním CPS, které má své vlastní rozhraní, pro poskytování služeb.

Každá komponenta bude obsahovat:

- Unikátní identifikační číslo - Guid a statickou IP adresu
- Základní služby - čtení/zápis
- Konvenční služby - zjištění o jaké zařízení jde jaké je verze atd..
- Služby úmluvy - služby bezpečnosti.
- Služby k povelům I4.0 komponenty.

Tyto služby budou poskytovány na základě SOA popsáno v kapitole 1.6. Samotná realizace a představa, jak systém bude fungovat je představen v další kapitole.

V návaznosti na minulou kapitolu s Diablo modelem (Obr.:4.1) lze říci, že informační HUB pošle informaci těm zařízením pro které je určena. Tato metodika v bezhierarchickém modelu vymizí a jednotlivá zařízení budou moci 'Odebírat službu' (*Subscribe*), kde na základě vyvolané události (event) zařízením, odebírat zasloupanou zprávu. Tím se struktura přiblíží vzorům IT architektury a objektově orientovaného



Obr. 4.4: I4.0 komponenta skládající se z administrative shellu a objektu [16]

modelu, který funguje na přihlašování k událostem vyvolené danou třídou (v oblasti průmyslu půjde o událost vyvolanou CPS/I4 komponentou).

4.2.5 Rozšířené funkce MES/MOM

K základním funkcím, které MES/MOM popisuje a jsou popsány v kapitole 3.2, budou přidány návrhové principy, viz kapitola 1.4.

Celý systém MES/MOM 4.0 poté pokryje:

- Interoperabilitu;
- Horizontální integraci;
- Decentralizaci;
- Velká data.

4.2.6 Zařazení MES/MOM do struktury firmy

Vzhledem k modelům zobrazených na obrázcích (Obr.:2.4 a Obr.:4.1) lze do budoucna počítat s bezúrovňovou hierarchií, kde se část z 3. a 4. úrovně přesune do cloudových úložišť. Toto bude platit pouze pro části, které nejsou závislé na velkém zpoždění a realtime komunikaci. Z velké části se bude využívat SOA a bude možná jednoduše rozšiřovat MES systém na základě modularity.

Mnoho autorů, píše o celkovém přesunutí systémů z 3. a 4. úrovně do cloudu, ale to zejména z důvodu nepřítomnosti lokálních serverů, prodlevy komunikace a zabezpečení, není možné.

4.2.7 Komunikace s vyššími vrstvami

MES systémy zůstanou v budoucnu stále podporou pro ERP systémy v nízkoúrovňové výrobě. I když už nebudou komunikační vazby mezi jednotlivými vrstvami, úlohy systémů zůstanou stejné. Je ale nutno mít na paměti přesunutí některých funkcí do cloudových služeb.

Dnes cloudové služby využívají TCP/IP komunikaci. Veškeré služby budou tak poskytovány na základě HTTP požadavků, tím zastaralé B2MML zprávy vystřídá REST API a zprávy na základě JSON.

4.2.8 Poskytování služeb v celé struktuře

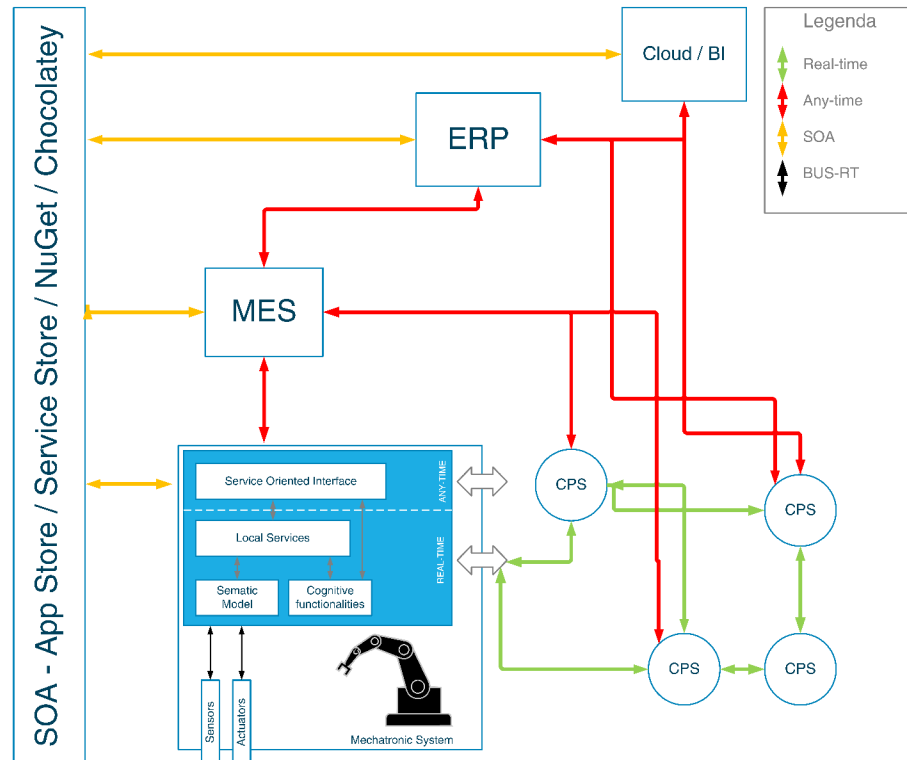
Jako ucelený přehled budoucnosti může být struktura popsána dle obrázku (Obr.:4.5). Zařízení jako jsou aktuátory nebo senzory uvnitř každého CPS jsou připojeny na společné sběrnici např. Profibus. Každé CPS má pak rozhraní pro 'real-time' komunikaci mezi ostatními CPS a samozřejmě i přístup do vyšších vrstev, kde není kladen důraz na 'real-time'. Tyto komunikace byly popsány již v předchozích kapitolách.

Velkou možností v průmyslu a vývoji nových zařízení bude vertikální objekt, který zajišťuje služby jak pro zařízení, tak programátorům nákupní prostředí frameworků. Tento model usnadní vývoj automatizovaných procesů. V dnešní době se můžeme setkat s podobnými nákupními zónami pouze v IT. Tím je například NuGet, kde lze nabízet frameworky na kterých lze postavit celou architekturu budoucího softwaru. Tento koncept se bude v budoucnu nabízený i automatizačním inženýrům. Výrobci tak budou moci svým zákazníkům poskytnout již hotové frameworky se kterými půjde jejich zařízení velmi snadno ovládat a uvést ho do provozu.

4.3 Shrnutí

V kapitole byla popsána konvergence OT a IT, která bude mít dopad na náhled systémů v průmyslu jako celku. Všeobecně se dá říci, že systémy v průmyslu jsou 5-15 let ve zpoždění před systémy IT. To z důvodu důrazu na spolehlivost systémů, kde v průmyslu můžou ohrožovat lidský život a nebo napáchat milionové ztráty ve výrobě. Proto je nutné stavět na stabilních technologiích.

Další kapitolou byly rozdíly mezi MES/MOM, ve které byly uvedeny změny od nejnižších vrstev po nejvyšší vrstvu. Také zde byly představeny modely, které



Obr. 4.5: Propojení systémů v I4

dláždí Německo a Amerika. Ty jsou rozličné a Američané předbíhají krok, kde bude existovat informační HUB, který bude spojovat obě tyto úrovně.

5 REALIZACE MES/MOM 4.0

V rámci diplomové práce bylo cílem navrhnout systém MES/MOM ve vizi I4, který by odpovídal všem aktuálním trendům jak v IT, tak v průmyslové oblasti.

Primárním zaměřením byla možnost rozšiřitelnosti, aby se systém mohl v dalších pracích nadále rozšiřovat. To také vede k nucené modularitě systému, tak aby jednotlivé moduly mohly pracovat nezávisle.

V kapitole bude popsána architektura navrženého systému z pohledu průmyslové automatizace, následně bude popsána architektura z pohledu IT. Dalším tématem je výběr technologií, které byly použity. Následně jsou představeny moduly, které byly realizovány a jakou funkci plní. Závěrem je pak kapitola o následném vývoji.

5.1 Představení architektury

Architektura byla rozdělena do dvou kapitol a to na horizontální a vertikální. Horizontální architektura je vlastní návrh systému, který byl zohledněn na základě standardu ISA-S95, viz kapitola 2. Vertikální architektura je již věnována rozdělení samotného softwaru do vrstev.

Následně jsou kapitoly rozděleny na navržené a realizované.

5.1.1 Navržená horizontální architektura

Z obrázku (Obr.:5.1) je patrná architektura systému MES, která se skládá z několika částí. První částí s nejnižší úrovní je PLC, kde každé PLC zařízení má v sobě implementovaný SQL protokol, který dokáže komunikovat s databází. Tento proces simuluje I4.0 komponentu, která má vlastní "Administrative shell". Ten poskytuje služby k ovládání vnitřních zařízení uvnitř I4.0 komponenty nebo využívání služeb z vyšších vrstev.

Systém MES je schopný se dotazovat PLC zařízení na základě vlastního OPC serveru, který přijímá příkazy od nadřazené třídy. Tyto data následně zasílá buď do databáze nebo předává příslušné třídě, která žádala o navázání komunikace a požadavku dat.

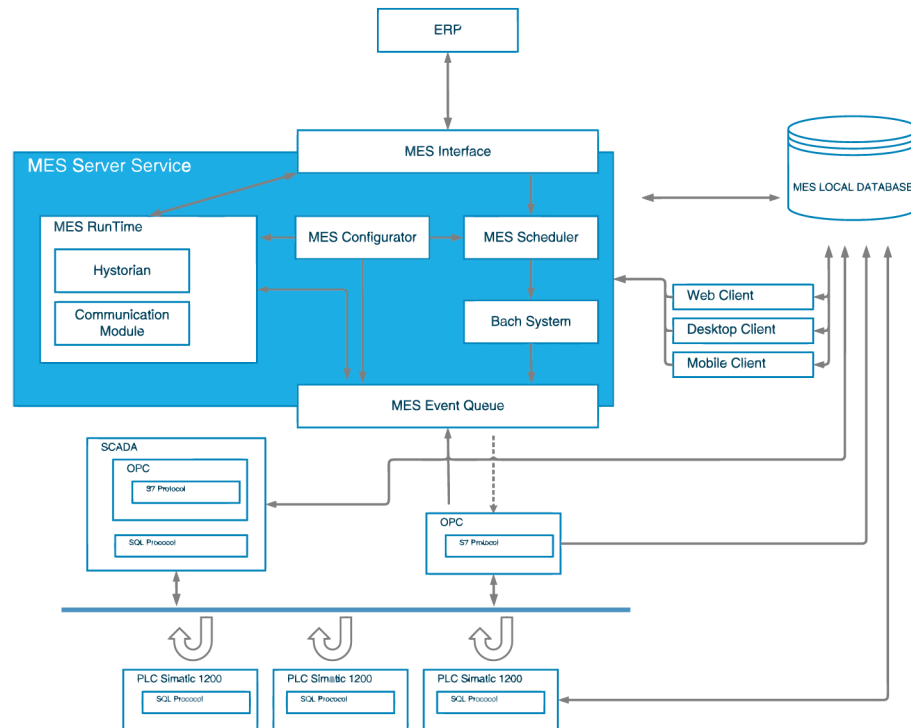
MES Server Service je aplikační server, který poskytuje služby k jednotlivým modulům MES. Ten se rozděluje na několik vnitřních modulů, jak lze vidět na obrázku (Obr.:5.1). Tyto moduly budou následně popsány v dalších kapitolách.

K celé platformě se bude moci připojit ze všech typů zařízení jako jsou webový klient, desktopový klient, mobilní klient, kteří jsou připojeni k MES serveru.

Interface MESu, který pracuje na principu REST API dokáže pomocí ERP systému komunikovat na základě HTTP protokolu, který se v případě SAPu dotazuje

na transakci BAPI. Celkové předání zpráv pak již probíhá na bázi JSON, který vytlačuje B2MML nebo XML.

Poslední částí je pak lokální databázový server, který běží na platformě IndustrySQL (modifikovaný SQL). V budoucnu tyto servery migrují na NOSQL databáze v kombinaci s SQL a zrcadlení do cloudu.



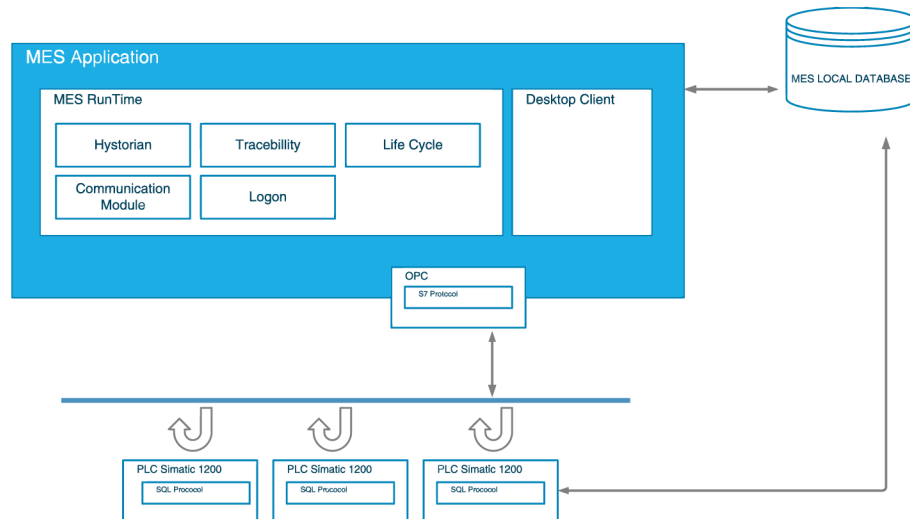
Obr. 5.1: Rozvržení systému MES

5.1.2 Reálná Horizontální architektura

Cílem diplomové práce nebylo implementovat celou architekturu dle navrženého modelu. Realizovaná horizontální architektura je na obrázku (Obr.:5.2). Nerealizovalo se oddělení serverové části a klientské části. To bude dalším krokem k vývoji aplikace. Dále je nutné doplnit všechny moduly dle standardu ISA95 a připravit komunikační interface na bázi REST API tak, aby bylo možné se systémem jednoduše komunikovat společně s okolními systémy.

5.1.3 Vertikální architektura

Celý software je rozdělený do několika úrovní, které jsou na sebe nezávislé, jak viz obrázek (Obr.:5.3). Architektura se rozděluje do úrovně prezentační, podnikové (logické) úrovně, úrovně datového přístupu a databázové úrovně. Výhodou této



Obr. 5.2: Architektura realizace systému MES

architektury je, že lze modifikovat nebo vyvíjet jednotlivé vrstvy paralelně v každém týmu zvlášť. Aplikace tak může být jak webová, desktopová nebo mobilní. To stejné platí i pro databázi, která v tuto chvíli běží na platformě Microsoft SQL.

Prezentační vrstva (Presentation Layer)

Prezentační vrstva je nejvyšší úrovní aplikace. Úroveň prezentace informuje o aplikaci, jako je Hystorian a Logon. Komunikuje s jinými vrstvami pomocí kterých výsledky vygeneruje na úrovni prohlížeče / klienta. Jednoduše řečeno, jedná se o vrstvu, přes kterou uživatelé mohou přímo přistupovat (například webovou stránku nebo GUI operačního systému).

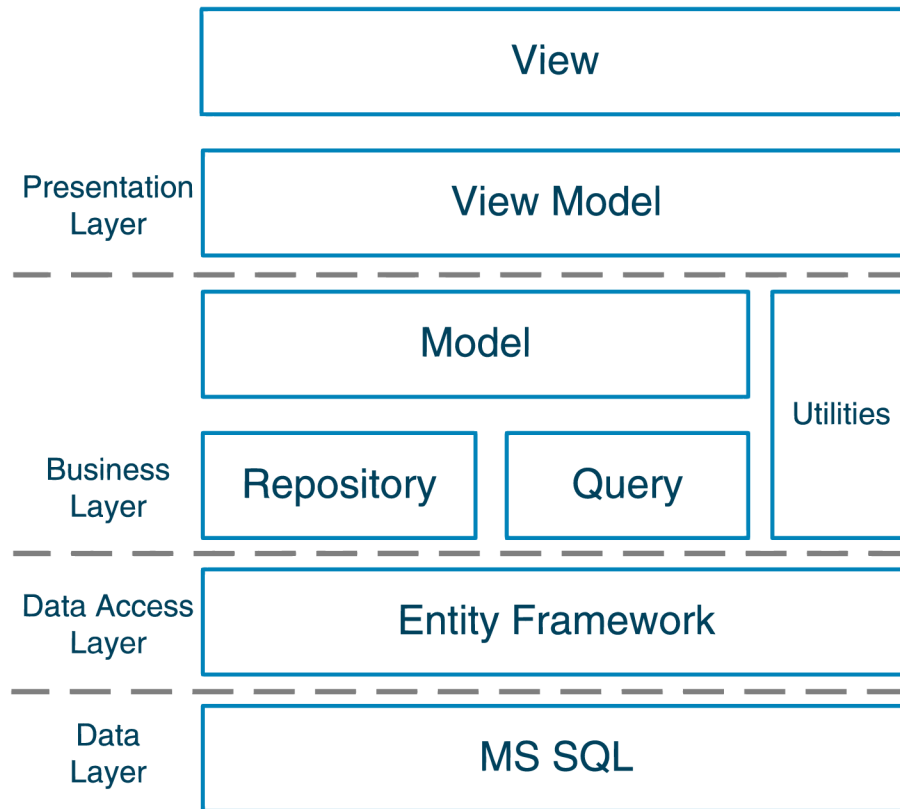
Jak lze vidět na obrázku (Obr.:5.3), tato vrstva má dvě úrovně a to View a View Model, kde View Model komunikuje s Modelem, dle obrázku (Obr.:5.4). Celý model je návrhový vzorec Model-PohledModel-Pohled (*Model-ViewModel-View - MVVM*), který je používán k platformě zobrazování na bázi WPF (Windows Presentation Foundation). Tento pojem bude vysvětlen v následující kapitole.

View

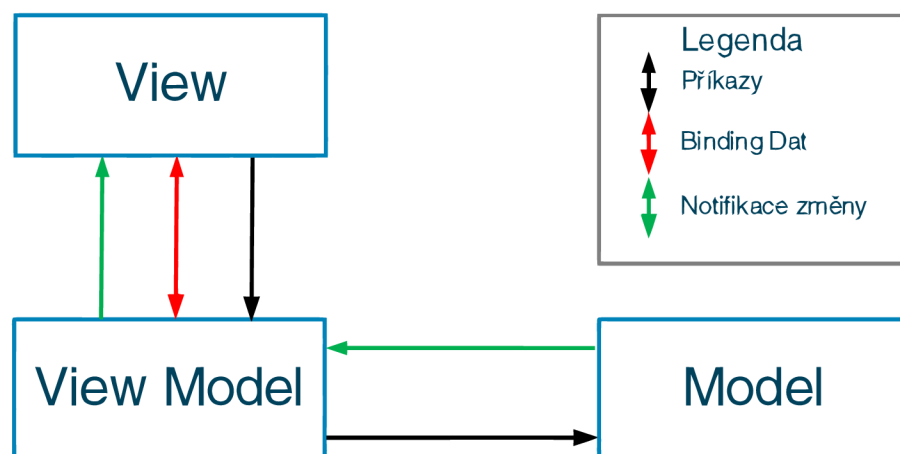
Stejně jako u návrhových vzorů MVC a MVP je View (Pohled) uživatelským rozhraním[26].

View Model

View Model (Model zobrazení) je abstrakcí zobrazení, které zpřístupňuje vlastnosti a příkazy View[26].



Obr. 5.3: Čtyřvrstvý architektonický model



Obr. 5.4: MVVM architektura

Model

Model je následně zakomponován v logice programů, který komunikuje s logickými celky uvnitř BL (*Business Logic*)[26].

Vazby

Mezi těmito objekty jsou vazby typu "příkaz", upozornění na změnu a "data binding". Příkazy slouží k vykonání akce, data binding k propsání dat mezi objekty a upozornění na změny zajišťuje, že pokud uživatel vyvolá definovanou akci, spustí se patřičná operace, která jeho akci obslouží[26].

Logika aplikace (*Business Layer - BL*)

Logická vrstva je jádrem celé aplikace. V této vrstvě jsou vykonávány všechny logické úlohy programu. Určuje jaké algoritmy budou probíhat, jaká data se budou vytvářet a jaká data se budou ukládat.

Vrstva datového přístupu (*Data Access Layer - DAL*)

Tato vrstva tvoří most mezi BL a databázovým serverem. Jedná se o vrstvu, která poskytuje zjednodušený přístup k uloženým datům v trvalém úložišti, například k relační databázi. Výhodou této vrstvy je, že dokáže komunikovat s jakoukoliv databází a není proto následně nutno měnit jakýkoliv kód. V příkladu tohoto softwaru je použit jako zprostředkovatel Entity Framework o kterém bude pojednáno v následující kapitole.

Datová vrstva (*Data Layer - DL*)

Datová vrstva se již skládá z relační databáze, například z Microsoft SQL.

5.2 Zvolené technologie

Pro implementaci SW byly vybrány technologie, které jsou v současné době hodně rozšířené. Tyto technologie budou krátce představeny. Jedná se o nástroje od automatizačních nástrojů až po vývojová prostředí nebo podpůrné programy.

5.2.1 TIA Portál

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) je vývojový nástroj uživatelských aplikací pro PLC, decentrálních periferií, projektování panelů HMI, rozsáhlých vizualizací SCADA, síťových komponent, komunikačních prvků, konfigurace a uvádění

pohonů do provozu. To vše je integrováno do společného softwarového prostředí s jednotným a jednoduchým ovládním z jediné plochy. To znamená nejen zrychlení tvorby uživatelských aplikací, ale i vyšší konzistenci dat napříč celým projektem a zároveň jednoduchou a transparentní strukturu celého řešení, která lze snadno měnit nebo doplňovat[7].

S7-PLCSim

S7-PLCSim je simulační systém poskytující účinnou podporu při vývoji programů simulovaných ve zkušebním prostředí[7]. Za pomoci tohoto SW se dají simulovat různé řady PLC, pokud nejsou k dispozici fyzicky[7].

NetToPLCSim

Jedná se o nástroj, který rozšiřuje S7-PLCSim tak, že simuluje připojení přes TCP/IP na S7protokol, jak lze vidět na obrázku (Obr.:5.5). Tím se mohl simulovat program OPC serveru, který se připojoval k virtuálnímu PLC.



Obr. 5.5: Komunikace mezi Simulovaným PLC a místní sítí

5.2.2 Visual Studio

Visual Studio je velice známé integrované vývojové prostředí (IDE) společnosti Microsoft. Používá se k vývoji počítačových programů pro Microsoft Windows, stejně jako webové stránky, webové aplikace, webové služby a mobilní aplikace (XAMARIN). Visual Studio používá platformy Microsoft pro vývoj softwaru, jako jsou Windows API, Windows Forms, Windows Presentation Foundation (WPF), Windows Store a Microsoft Silverlight. Může produkovat jak nativní kód, tak spravovaný kód.

Visual Studio podporuje různé programovací jazyky, od C derivátů až Python nebo JavaScript. V aplikaci diplomové práce je použit programovací jazyk C# [12].

5.2.3 .NET/C#

Programovací jazyk C# a Windows Framework .NET byl zvolen z důvodu podpory ze strany Microsoftu a velké komunity. .NET Framework slouží jako soubor knihoven k vývoji aplikací na platformě Windows. Dnes již je .NET ve verzi 4.7. Paralelně

s tímto Frameworkem je vyvíjený .NET Core, který nebyl vybrán z důvodu jeho raného stádia vývoje.

Programovací jazyk C# je jedním z multiplatformních jazyků. Pouze ze znalosti tohoto jazyka a knihoven na stránkách NuGet, se dají naprogramovat webové aplikace, aplikace na Android, iOS nebo WinMobile či desktopové aplikace[12].

5.2.4 Windows Presentation Foundation (WPF)

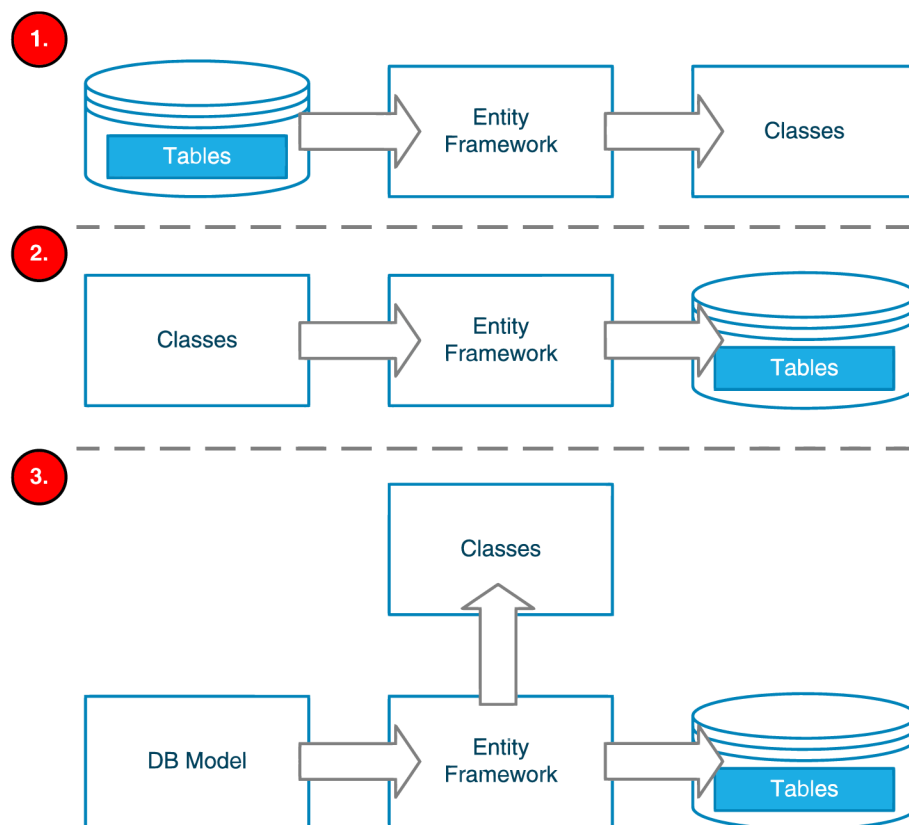
Windows Presentation Foundation přišel s .NET 3.0. Jedná se o platformu uživatelského rozhraní, které aktuálně vytlačuje WinForms. Výhodou této platformy je volnost grafických možností, flexibilita, animace a možnost použití návrhového vzoru MVVM. Nevýhodou je rychlost prvotního vývoje, který je zoufale pomalejší než u WinForms [13].

5.2.5 Entity Framework (EF)

Entity Framework (EF) je sada technologií v ADO.NET, které podporují vývoj datově orientovaných softwarových aplikací. EF umožňuje vývojářům pracovat s daty ve formě objektů a vlastností specifických pro doménu, jak mohou být např.: zákazníci nebo adresy zákazníků, aniž by se museli zabývat vlastními databázovými tabulkami a sloupci, kde jsou tato data uložena. Pomocí EF mohou vývojáři pracovat na vyšší úrovni abstrakce. Mohou vytvářet a udržovat aplikace orientované na data s menším množstvím zdrojového kódu než v tradičních aplikacích. EF podporuje několik druhů mapování a tvoření entit. Tyto možnosti jsou:

- 1 **První databáze** - na základě předlohy databáze jsou vytvořeny objekty a vlastnosti domén.
- 2 **První kód** - na základě předlohy domén jsou vytvořeny tabulky a sloupce v databázi.
- 3 **První model** - na základě předlohy modelu jsou vytvořeny tabulky a sloupce v databázi a vytvořeny objekty a vlastnosti domén.

V programu byla zvolena metoda "První kód" z důvodu uchování všech zdrojových kódů v jednom prostředí. Tato metoda je preferovaná pokud není již hotová databáze. Výhodou metody je možnost migrace mezi verzemi, rozšiřování nebo škálování databází. Následně je zjednodušena i migrace mezi jejich platformami[11].



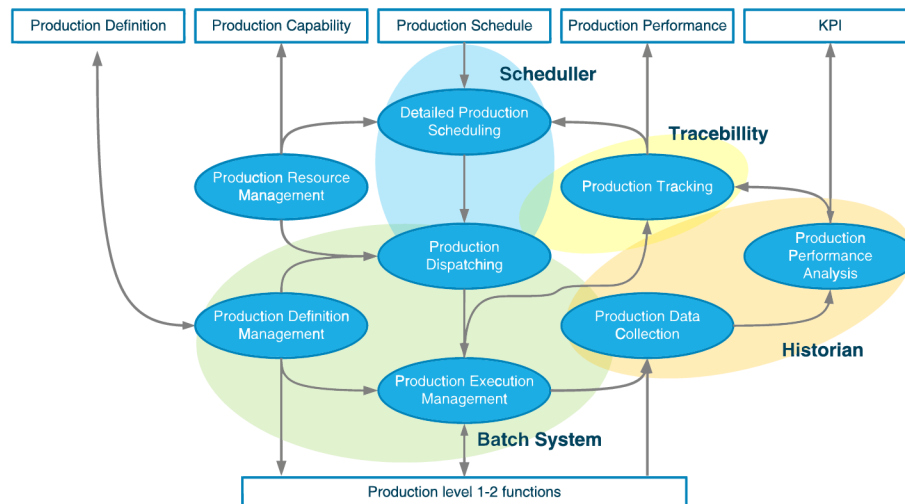
Obr. 5.6: Možnosti mapování v EF [11]

5.2.6 Microsoft SQL

Microsoft SQL Server je systém správy relačních databází (RDBMS) vyvinutý společností Microsoft. Tento produkt je vybudován pro základní funkci ukládání načítání dat podle požadavků jiných aplikací[6].

5.3 Popis modulů

Systém je složený z několika modulů, které na sobě nezávisle pracují. Jedná se o modul komunikační, o správa uživatelů, LifeCycle modul a Historian. Modul Historianu lze vidět i v produkčním modelu dle ISA-S95 na obrázku (Obr.:5.7), které tvoří funkcionalitu MESu. LifeCycle a správa uživatelů, patří mezi systémové moduly. Komunikační modul v poslední řadě představuje OPC Server. Tyto moduly budou v dalších podkapitolách podrobně popsány.



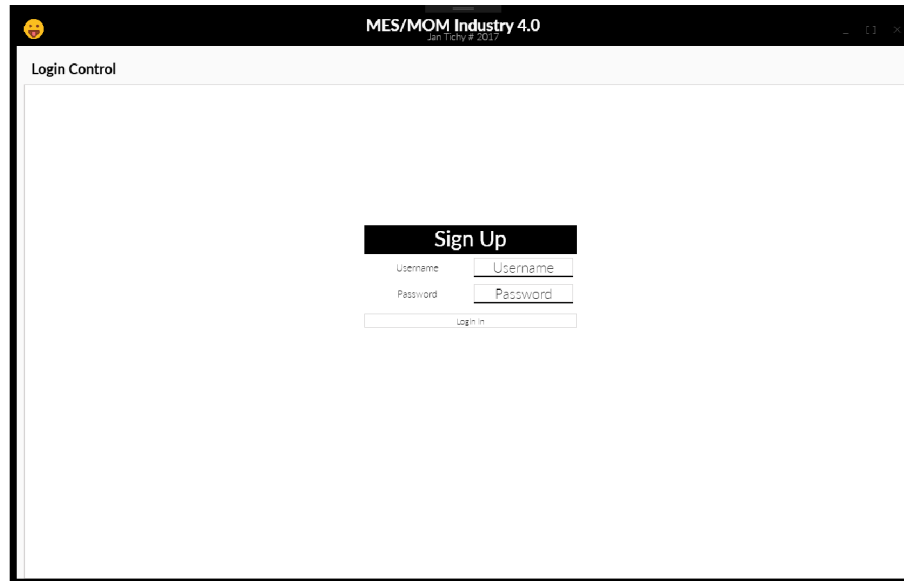
Obr. 5.7: Produkční model dle ISA-S95 hierarchického modelu funkcí

5.3.1 Komunikační modul - PLC

Tento modul je hlavním rozhraním pro PLC, který dokáže komunikovat napřímo s vyššími vrstvami. Komunikace je realizována za pomoci MS SQL protokolu, který komunikuje s MS SQL databází. Díky tomu lze zapisovat nebo číst data z tabulek přímo v databázi. Tento protokol je implementací firmy plc2sql.

5.3.2 Komunikační modul - MES

Komunikační modul zastává v aplikaci funkci komunikátoru s PLC, který funguje na principu OPC serveru. Celý kód je napsán v jazyce C#, který využívá S7protokol.



Obr. 5.8: Přihlašovací obrazovka do systému

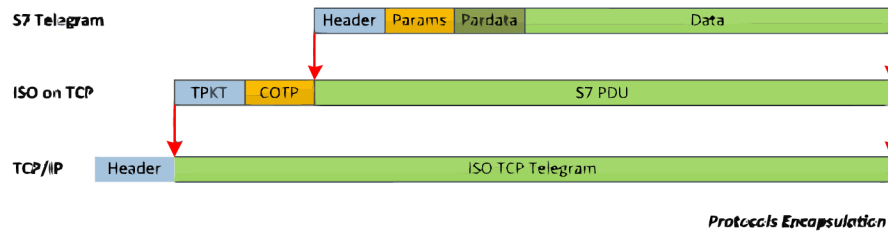
Komunikace podporuje PLC Simatic řady S7-200, 300, 400, 1200 a 1500. K testování byly k dispozici 3 PLC řady S7-1200, kde bylo jedno z nich simulované na lokálním přístroji za pomoci S7-PLCSimu. Další fyzické PLC v lokální síti a poslední vzdálené mimo síť. Tím byly simulovány situace, kdy MES systém bude potřebovat simulovat procesy jako digitální dvojče, řídit lokální procesy nebo řídit či sledovat procesy v jiné továrně.

V kapitole tedy bude popsána funkčnost implementace S7 protokolu v Sharp7, princip a funkcionality vlastního OPC serveru.

Sharp7

Jedná se o open-source C# zdrojový kód, který implementuje S7Protokol, díky němuž je možno komunikovat se zařízením PLC řady S7 po ethernetu. Implementace dokáže zabalit rámec dle obrázku (Obr.:5.9), tímto způsobem lze přistupovat k celé paměťové oblasti v PLC, která umožňuje číst obrazy vstupů a výstupů, časovačů či čítačů nebo diagnostikovat CPU a měnit jeho režim (Run/Stop/Restart).

Základním blokem komunikace je tzv. PDU (Protocol Data Unit), jehož definice je součástí S7 Protokolu. PDU pak určuje maximální možnou velikost dat v jednom rámci. Velikost PDU je závislá na konkrétním CPU. V případě PDU o velikosti 240 bajtů, je maximální možná velikost dat pro zápis 218 bajtů a pro čtení 222 bajtů. Větší množství dat musí být rozděleno do více po sobě jdoucích rámců. PDU se sestává z hlavičky o 12 bajtech, parametrech o různé délce a samotných dat. Lepší představu o PDU a systému zapouzdření protokolů nabízí (Obr.:5.9)[10].

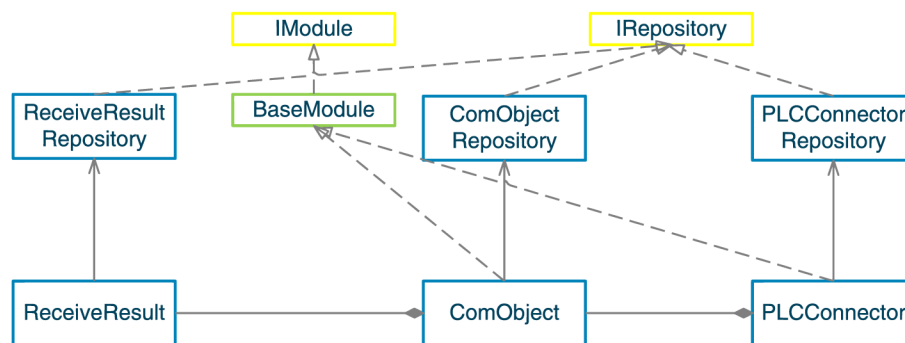


Obr. 5.9: Skládání protokolu S7 na TPC/IP[10]

Popis komunikačního modulu

Jak již bylo řečeno komunikační modul se skládá z upraveného Sharp7 a následně ze tříd `PLCConnector` a `ComObject`, které jsou zobrazeny na UML diagramu, viz obrázek (Obr.:5.10). Tyto třídy zaručují komunikaci s pamětí v PLC. Třídy jsou implementovány dle návrhového vzoru `Repository`, který řídí a spravuje dané sub-třídy.

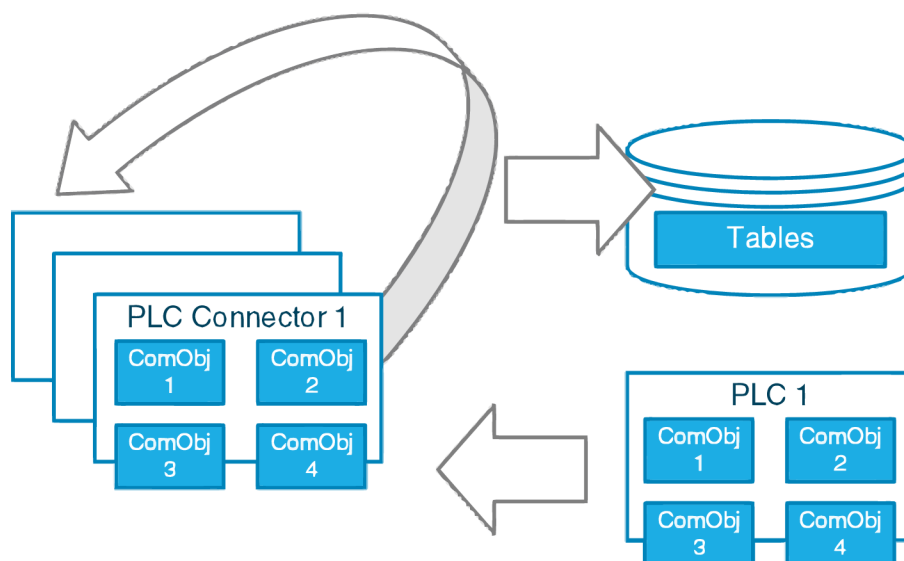
`PLCConnector` třída definuje spojení a udržuje spojení s cílovým PLC, na základě potřeby komunikovat objekty `ComObject`. `ComObjekty` poté na aktivním spojení zapisují nebo čtou data v oblasti paměti, do které jsou přidruženy. Vyčtená data jsou nadále zasílána jako objekty `ReceivedResult`, které obsahují informaci o hodnotě, ID PLC zařízení, časovou značku a informaci o možné chybě. Jako je ztráta spojení, neexistující místo v paměti atd..



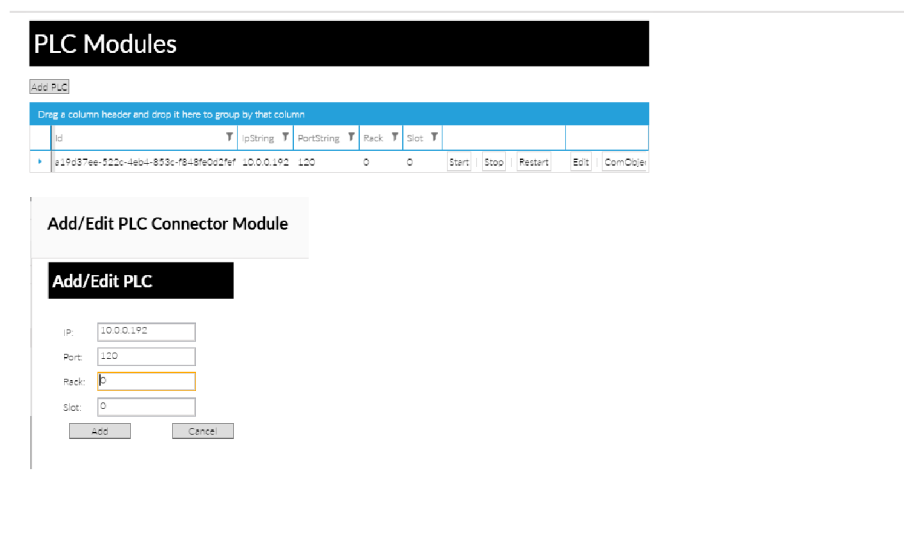
Obr. 5.10: UML diagram tříd pro komunikaci

Z obrázku (Obr.:5.11) je patrné, jakým principem jsou obsluhovány `PLCConnectory`. Každý `PLCConnector` je udržovaný ve vlastním vlákně programu, který v cyklu dotazuje `ComObjekty`, které mají být komunikovány. Ty obsahují časovou značku, kdy je požadované další spojení. Pokud je aktuální doba větší než kdy mělo být provedeno spojení a výčet z paměti, pak tak se provede čtení.

Obrázek (Obr.:5.12) zobrazuje nastavení a možnosti každého PLC. PLC je možno uvést do stavu Start/Stop nebo Restart, následně upravit parametry tohoto PLC



Obr. 5.11: Princip funkčnosti OPC serveru



Obr. 5.12: Identifikace PLC v programu

a přidání ComObject k tomuto PLC, komunikace se definuje na základě IP adresy, racku a slotu PLC viz obrázek (Obr.:5.12).

ComObjekty jsou přidruženy k PLC a jak již bylo řečeno, ukazují do místa paměti se kterým má být komunikováno. V tabulce (Tab.:5.1) jsou parametry, které definují komunikující objekt. Tyto objekty o výsledku komunikace jsou pak ukládány do listu, který je v časových intervalech zasílán do databáze.

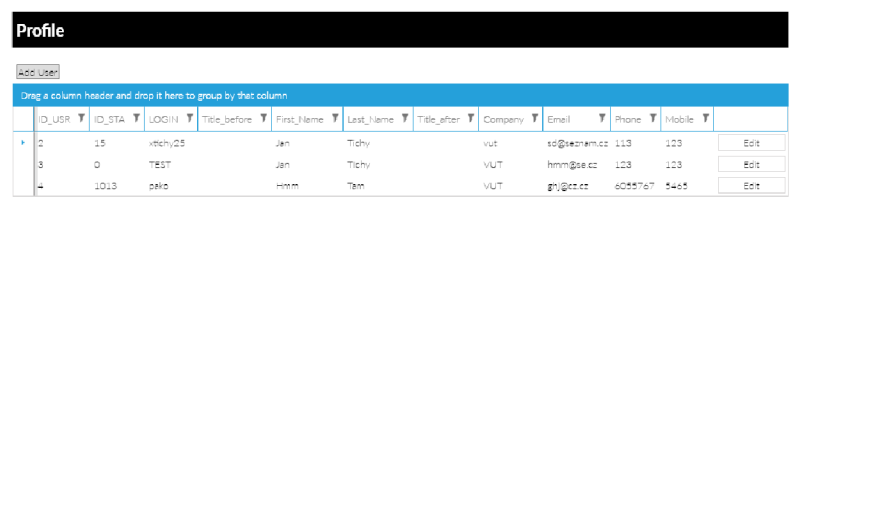
Tab. 5.1: Parametry pro komunikovanou proměnou

	Povinnost	Popis
Oblast	Povinný	Identifikátor oblasti
DB číslo	Nepovinný	Číslo datového bloku
Offset	Povinný	Offset v paměti
Velikost (Datový typ)	Povinný	Datový typ
Period	Povinný	Perioda čtení v MS

5.3.3 Správa uživatelů

Jednou ze základních systémových funkcí informačních systémů je správa uživatelů, která je zobrazena na obrázku (Obr.:5.13). Uživatelé se dají vytvářet, spravovat a na základě životních cyklů se dá definovat v jakém stavu by se měl uživatel nacházet.

Tím je systém zabezpečen od nedovolených vstupů, viz obrázek (Obr.:5.13).



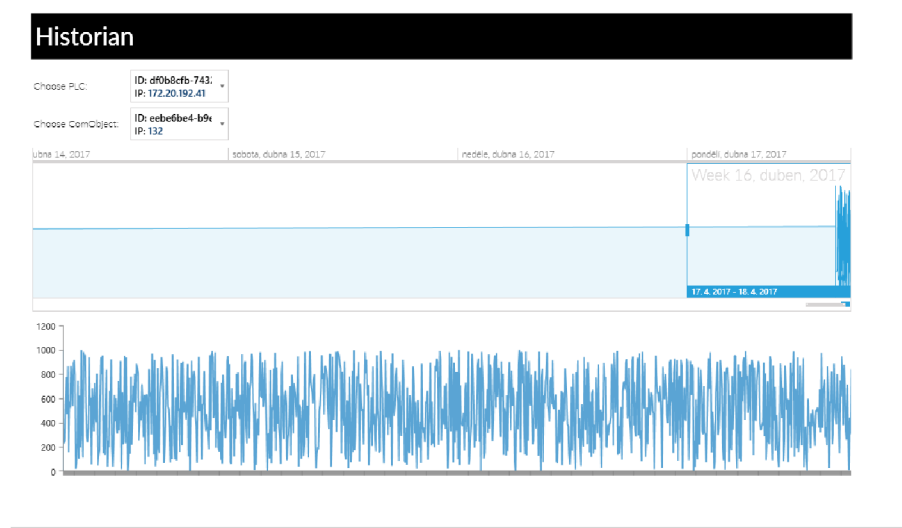
Obr. 5.13: Okno pro správu uživatelů

5.3.4 LifeCycle modul

Tento modul je dalším systémovým modulem ve kterém se definuje životní cyklus entit. Tyto stavy jsou definovány takzvanými přechody. Přechody definují z jakého stavu do jakého stavu se může entita dostat a co daný stav znamená.

5.3.5 Historian

Historian je modul sloužící ke sběru a monitorování procesních veličin. Kde procesní veličina je ekvivalentem třídy ComObject, který je komunikován. Výpis z modulu je vidět na obrázku (Obr.:5.14). Jak lze vidět, je nutné zvolit PLC a proměnou, kterou systém sleduje. Následuje výpis do dvou grafů. Jedním je časový graf s možností výběru časového okna pro zobrazení detailu jakým je graf druhý.



Obr. 5.14: Okno pro Historian

5.4 Následný vývoj

Aplikace se v následném vývoji bude muset transformovat na server-client službu. Ta bude postavená na technologii webových služeb. Tím se zajistí možnost otevřít si prostředí MES/ERP/SCADY nebo dashboardu přímo na všech platformách zařízení v internetovém prohlížeči, jako jsou mobil/tablet/PC.

Jednotlivé moduly budou muset projít velkými změnami. Bude nutné důkladně jeden po druhém vytvářet tak, aby měly všechny náležitosti podnikového SW.

Dalším tématem vývoje je celková IT architektura a seznam služeb co aplikace bude nabízet. Určitě by se měl do aktuálního systému zapracovat messenger, tak aby

jednotlivé třídy měli standardizované zasílání zpráv. Celá aplikaci by se pak měla předělat do IOC kontejnerů, k tomu již použít předpřipravený FW Castle Windsor. Celkově by pak aplikace měla být postavena na již ověřených FW jako jsou:

- AutoMapper - mapování modelů z vrstvy databázového přístupu.
- NLog - logování co se děje v aplikaci.
- MVVM Light - MVVM návrhový vzor.
- MahApps/Telerik - UI komponenty.
- PropertyChanged - property change v aplikaci
- atd...

Aplikaci by pak měla určitě obsahovat testovací třídy, které by měli být pro každý modul. Tím se mohou aplikovat i techniky agilního vývoje.

5.5 Shrnutí

Tato kapitola popisuje návrh a realizaci MES/MOM dle I4 vize. Byla popsána architektura, co by měl systém obsahovat a kam jednotlivé moduly zařadit. Tato architektura se rozdělovala na navrhovanou a reálnou, po té ještě na IT architekturu. Následně byly popsány jednotlivé technologie a programy, které v aplikaci jsou aplikovány.

Další kapitolou bylo představení všech modulů, které byly implementovány. V poslední kapitole je pak popsán následný vývoj.

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo nastudovat si potřebné materiály v oblasti průmyslové evoluce Industry 4.0 a tyto data následně analyzovat. Provést rešerši a zaměřit se na změny, které budou muset projít systémy MES/MOM, aby tuto průmyslovou evoluci mohly akceptovat. Tomuto tématu se věnuje kapitola 1, kde je popsáno, že Industry 4.0 je přirozená evoluce procesu za pomoci moderních technologií. Důvodem této medializace je zaostávání operačních technologií za informačními technologiemi přibližně o 5-15 let. Touto národní podporou je snaha přesunu výrobních továren zpět do Evropy z oblastí levné pracovní síly, kde se jím v Evropských podmínkách vyrovná technologie. To klade důraz zavádění moderních technologií do průmyslu. Z průzkumu na obrázku (Obr.:1.10) je vidět, že stále 50 % středně velkých firem nemá ani podnikové systémy. V této kapitole jsou také popsány klíčové části a návrhové vzory Industry 4.0.

Druhá kapitola je zaměřena na stručné představení standardu ISA-S95. Po stručném představení standardu je popsáno jak standard musí být rozšířen o propojení s "Connected word" a "Product", kde je tento model na obrázku (Obr.:2.5). S tím je také spjat požadavek na horizontální a vertikální integraci. Po splnění požadavku se hierarchický model z automatizační pyramidy transformuje na bezhierarchický model, viz obrázek (Obr.:2.4).

Kapitola třetí popisuje systémy řízení výroby, jejich vznik, části a v poslední podkapitole přehled SW nástrojů MES/MOM. Kde na základě analýzy těchto systémů bylo zjištěno, že komerční systémy neimplementují pouze funkcionality MESu, ale i některé funkce systémů ERP. V této kapitole byly také popsány tři podnikové/výrobní systémy: COMES, Simatic IT a SAP.

Čtvrtá kapitola se věnuje přechodu MES/MOM systémů na Industry 4.0. Popsala se problematika operačních, informačních technologií a důvod jejich konvergence v Industry 4.0. Pak byly popsány změny, které vzniknout mezi aktuálními systémy a v Industry 4.0. Ty jsou rozděleny do podkapitol dle automatizační pyramidy, kde popis začíná od nejnižších vrstev po nejvyšší. Je zde popsán důraz na implementaci IT protokolů do průmyslu, aby mohla zařízení komunikovat se zařízením vyšších úrovní.

Poslední kapitolou byl samotný návrh a implementace MES/MOM. Byla navrhována architektura systému dle požadavku funkcionalit normy ISA-S95 a IT architektura. K vývoji aplikace byl zvolen programovací jazyk C# a Microsoft SQL databáze. Celý software je možno aplikovat na PLC řady Simatic S7-1200. Proto byla dle zvolených technologií využívána vývojová prostředí Visual studio a TIA portál. Byla realizována komunikace mezi PLC a aplikací na základě S7Protokolu a vlastního OPC serveru. Komunikace mezi PLC a vyššími vrstvami je simulována

na základě komunikace PLC s databází pomocí implementace SQL protokolu v PLC. V aplikaci je realizován modul historianu a systémové moduly. Následný vývoj bude probíhat v rozdělení aplikace na server-client, to také bude doprovázet přepsání aplikace pro webové rozhraní.

LITERATURA

- [1] Förderschwerpunkte Industrie 4.0,“ Federal Ministry of Education and Research in Germany. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <<http://www.softwaresysteme.pt-dlr.de/de/industrie-4-0.php>>
- [2] Glossar Industrie 4.0 des Fachausschuss VDI/VDE-GMA 7.21. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/48960/Begriffsdefinitionen_VDI_GMA_FA721_v4.pdf?command=downloadContent&filename=Begriffsdefinitionen_VDI_GMA_FA7-21_v4.pdf.>>
- [3] Internet of Things: Strategic Research Roadmap. [online].
URL <http://www.internet-of-thingsresearch.eu/pdf/IoT_Cluster_Strategic_Research_Agenda_2009.pdf>
- [4] German Standardization Roadmap – Industry 4.0 - DIN. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <<http://www.din.de/blob/65354/f5252239daa596d8c4d1f24b40e4486d/roadmap-i4-0-e-data.pdf>>
- [5] Symestic. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <<http://www.symestic.com/en/home.html>>
- [6] Webové stránky produktu MS SQL Server. [cit. 2016-12-12], [Online].
URL <<http://www.microsoft.com/cs-cz/server-cloud/products/sql-server/Features.aspx>>
- [7] Webové stránky TIA Portal, Siemens. [cit. 2016-12-12], [Online].
URL <<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/?ctxnh=2416f2e791&ctxp=home>>
- [8] Informační systémy. [cit. 2017-04-04], [Online].
URL <<https://www.systemonline.cz/>>
- [9] OPPORTUNITY Industrie 4.0. [cit. 2017-04-04], [Online].
URL <http://www.unity.de/opportunity_industrie_4_0>
- [10] Wbside of Sharp7 library. [cit. 2017-4-4], [Online].
URL <<http://snap7.sourceforge.net/>>

- [11] Webside of Entity Framework tutorial. [cit. 2017-4-4], [Online].
URL <http://www.entityframeworktutorial.net/what-is-entityframework.aspx>
- [12] Webside of .NET & Csharp technology. [cit. 2017-4-4], [Online].
URL <http://www.dotnetportal.cz/>
- [13] Webside of WPF tutorial. [cit. 2017-4-4], [Online].
URL <http://www.wpf-tutorial.com/about-wpf/what-is-wpf/>
- [14] Industrie 4.0 Benefit from HPs expertise – start with the Industrie 4.0 Discovery Workshop. [cit.2017-04-04], [Online].
URL <http://www8.hp.com/us/en/industries/industry4.html>
- [15] Accelerating IIoT: Evolution of the IIoT Connectivity Stack. [cite 2017-04-04], [Online].
URL <http://blog.iiconsortium.org/2017/03/accelerating-iiot-evolution-of-the-iiot-connectivity-stack.html>
- [16] Platform I4.0. [cite 2017-04-04], [Online].
URL <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/Home/home.html>
- [17] Bender, K.; Wucherer, K.: Global Information Architecture for Industrial Automation.
- [18] Cox, M.; Ellsworth, D.: Managing Big Data for Scientific Visualization. *Proc. ACM Siggraph, ACM*, 1997.
- [19] Drath, R.: Industrie 4.0 – eine Einführung. [online], [cit. 2016-12-12].
URL http://www.openautomation.de/fileadmin/user_upload/Stories/Bilder/oa_2014/oa_3/oa_3_14_ABB.pdf
- [20] Drath, R.: Industrie 4.0 – eine Einführung. [online], [cit. 2016-12-12].
URL http://www.openautomation.de/fileadmin/user_upload/Stories/Bilder/oa_2014/oa_3/oa_3_14_ABB.pdf
- [21] Fleischmann, H.; Kohl, J.; Franke, J.: A reference architecture for the development of socio-cyber-physical condition monitoring systems. In *System of Systems Engineering Conference (SoSE), 2016 11th*, IEEE, 2016, s. 1–6.
- [22] Geisberger, E.; Broy, M.: Living in a networked world: Integrated research agenda Cyber-Physical Systems. [online], [cit. 2016-12-12].
URL http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_

- nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/
acaetch_STUDIE_agendaCPS_eng_WEB.pdf>
- [23] Geisberger, E.; Broy, M.: Living in a networked world: Integrated research agenda Cyber-Physical Systems. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Projektberichte/acaetch_STUDIE_agendaCPS_eng_WEB.pdf>
- [24] Giusto, D.; Iera, A.; Morabito, G.; aj.: The Internet of Things. *Springer Vieweg*, 2010, [cit. 2016-12-12].
- [25] Götze, J.: Reference Architectures for Industry 4.0. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <<https://coe.qualiware.com/reference-architectures-for-industry-4-0/>>
- [26] Hall, G. M.: *Pro WPF and Silverlight MVVM*. Springer, 2010.
- [27] Hankel, M.: Industrie 4.0: The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). [online], 2015.
URL <<http://www.zvei.org/Downloads/Automation/ZVEI-Industrie-40-RAMI-40-English.pdf>>
- [28] Hannah, M.; James, M.; Johnson, S.; aj.: *Smart Manufacturing – The Landscape Explained*. MESA, 2016.
- [29] Harp, D.; Gregory-Brown, B.: IT/OT Convergence-Bridging the Divide. *NEX DEFENSE*, 2014.
- [30] Heinze, R.: Der Ingenieur im Zeitalter von Industrie 4.0. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <ftp://ftp.ni.com/pub/branches/germany/2015/artikel/03march/07_Der_Ingenieur_im_Zeitalter_der_Industrie_4.0_Ronald_Heinze_ETZ_1-2_2015.pdf>
- [31] Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B.: Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on*, IEEE, 2016, s. 3928–3937.
- [32] Kagermann, H.: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, 2014.
- [33] Kagermann, H.; Lukas, W.; Wahlster, W.: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. 2013.

- [34] Mařík, V.: NÁRODNÍ INICIATIVA PRŮMYSL 4.0. *Ministerstva průmyslu a obchodu*, 2016.
- [35] Neubauer, M.; Stary, C.; Kannengiesser, U.; aj.: S-BPM's Industrial Capabilities. In *S-BPM in the Production Industry*, Springer, 2017, s. 27–67.
- [36] O'leary, D.: Artificial Intelligence and Big Data. *AI INNOVATION IN INDUSTRY*, 2013.
- [37] Pásek, J.: *Automatizace procesů*. FEKT VUT v Brně, 2013.
- [38] Wang, S.; Wan, J.; Li, D.; aj.: Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2016.
- [39] Weiser, M.: The Computer for the 21st Century. [online], [cit. 2016-12-12].
URL <https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/WeiserComputer21stCentury-SciAm.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

API Application programming interface - Rozhraní pro programování aplikací

B2MML Business-to-manufacturing markup language

BI Business inteligent - Podniková inteligence

BL Business logic - Logika

CPS Cyber-physical systems - Kyberneticko-fyzické systémy

CRM Customer relationship management - Management vztahu se zákazníky

EDI Electronic data interchange - Elektronická výměna dat

EF Entity framework - Entity framework

ERP Enterprise resource planning - Plánování podnikových zdrojů

FW Framework

HTTP Hypertext transfer protocol - Hypertextový přenosový protokol

I4 Industry 4.0 - Průmysl 4.0

IaaS Infrastructure as a service - Infrastruktura jako služba

IIOT Industrial internet of things - Průmyslový internet věcí

IoS Internet of services - Internet služeb

IoT Internet of things - Internet věcí

IP Internet protocol address - Internetového protokolu

ISA International society of automation - Mezinárodní společnost automatizace

IT Information technology - Informační technologie

JSON Javascript object notation - Javascript object notation

MES Manufacturing execution systems - Výrobní řídicí systém

MESA Manufacturing enterprise solution association - Sdružení výrobních podnikových řešení

MOM Manufacturing operations management - Řízení výrobních operací

MS	Microsoft
MVC	Model–view–controller
MVP	Model–view–presenter
MVVM	Model–view–viewmodel
NIST	National institute of standards and technology
OPC UA	Open platform communications unified architecture
OT	Operation technology - Operační technologie
PaaS	Platform as a service - Platforma jako služba
PDU	Protocol data unit
PLC	Programmable logic controller - Programovatelný logický automat
RAMI 4.0	Reference architectural model industrie 4.0 - Referenční architektonický model 4.0
REST	Representational state transfer - Architektura rozhraní pro distribuované prostředí
RFID	Radio frequency identification - Identifikace na rádiové frekvenci
RPC	Remote procedure call - Vzdálené volání procedur
SaaS	Software as a service - Software jako služba
SCADA	Supervisory control and data acquisition - Řízení a dohled nad kontrolou
SF	Smart factor - Chytrá továrna
SOAP	Simple object access protocol - Jednoduchý objektový přístupový protokol
SQL	Structured query language - Strukturovaný dotazovací jazyk
SW	Software - Program
TCP	Transmission control protocol - Protokol kontroly přenosu
TIA	Totally integrated automation portal - Úplně integrovaný portál automatizace
UDDI	Universal description, discovery, and integration
UML	Unified modeling language - Unifikovaný modelovací jazyk

WPF Windows presentation foundation - Windows presentation foundation

XML Extensible markup language - Rozšiřitelný značkový jazyk

A PŘÍLOHY

A.1 Přiložené CD

Na přiloženém CD je uložena elektronická verze diplomové práce, zdroje literatury a zdrojový kód k programu. CD také obsahuje soubor Práce.zip, ve kterém jsou uloženy veškeré obrázky, zdrojové kódy pro L^AT_EX a další soubory.

```
/
├── DPxtichy25(pdf)
├── Práce(zip)
├── Software(zip)
└── Zdroje(zip)
```