



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

SPOJITÁ/DÁVKOVÁ VÝROBA V PROSTŘEDÍ INDUSTRY 4.0

CONTINUOUS/BATCH PRODUCTION IN INDUSTRY 4.0 ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Ručka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek, CSc.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
TECHNICKÉ A KOMUNIKAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

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

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Petr Ručka

ID: 154920

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Spojité/dávková výroba v prostředí Industry 4.0

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte analýzu systémů a aplikací platformy PLM pro spojitě/dávkové procesy výroby
2. Rozpracujte možnosti využití virtuálního prostředí pro spojitě/dávkové procesy výroby
3. Vytvořte ideový návrh digitální výroby pro celý výrobní řetězec spojitě/dávkové výroby, zejména přípravu dat pro PLC a virtuální zprovoznění programů PLC, případně prediktivní údržbu
4. Na cvičném projektu „zpracování tekutých materiálů ve dvou tancích“ navrhnete případovou studii výroby různých receptur, která bude obsahovat prvky PLM.
5. Specifikujte SW prostředky pro realizaci případové studie z bodu 4. a realizaci proveďte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. Industry 4.0 and the chemicals industry,
https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/manufacturing/DUP_3263_Industry4_chemicals.pdf
2. Software solutions from Integrated Engineering to Integrated Operations,
https://w3.siemens.com/mcms/plant-engineering-software/en/Documents/brochure_comos-portfolio_en.pdf
3. The digital factory and its role in the beer brewing industry,
<http://www.ee.co.za/article/digital-factory-role-beer-brewing-industry.html>

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

Tato diplomová práce na téma Spojitá/dávková výroba v prostředí Průmyslu 4.0 se zabývá softwary a principy, které jsou navrženy pro diskrétní výrobu a jejich aplikováním na spojitou a dávkovou výrobu.

Nejprve byly popsány funkce a vlastnosti jednotlivých programů pro diskrétní výrobu, poté byly tyto získané poznatky vztaženy na výrobu spojitou a dávkovou. Na základě získaných poznatků byl vytvořen program pro zpracování tekutých materiálů pomocí dvou tanků. Tento program je zaměřen na customizaci finálního produktu.

Klíčová slova

Spojitá a dávková výroba, Životní cyklus výrobku, Řízení životního cyklu produktu, Teamcenter, Tecnomatix, COMOS, Průmysl 4.0, Customizace, Standard ISA-88

Abstract

This master's thesis named Continuous/batch production in environment Industry 4.0 deals with software and principles that are designed for discrete manufacturing and their application to the continuous and batch production.

First, the functions and properties of individual programs for discrete manufacturing were described, then this acquired knowledge was related to continuous and batch production. On the basis of the gained knowledge, a program for the processing of liquid materials with using two tanks was created. This program is aimed at customizing of the final product.

Keywords

A continuous and batch production, Product lifecycle, Product lifecycle management, Teamcenter, Tecnomatix, COMOS, Industry 4.0, Customization, Standard ISA-88

Bibliografická citace:

RUČKA, P. *Spojité/dávková výroba v prostředí Industry 4.0*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 91 s.
Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Pásek, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Spojitá/dávková výroba 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne 15. května 2017

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Páskovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád chtěl poděkovat Ing. Václavovi Kaczmarczykovi, Ph.D. za věcné poznatky při tvorbě aplikace a Mgr. Bohumile Novotné za provedení korektury.

V Brně dne 15. května 2017

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
2	Typy výrob	3
2.1	Spojité výroba	3
2.2	Dávková výroba.....	3
2.3	Nespojitá výroba	4
3	Životní cyklus výrobku	6
3.1	Fáze životního cyklu výrobku	7
3.1.1	Vývojová fáze	7
3.1.2	Zaváděcí fáze.....	8
3.1.3	Růstová fáze	8
3.1.4	Fáze zralosti	8
3.1.5	Fáze úpadku	9
4	Řízení životního cyklu výrobku.....	10
4.1	PLM zahrnuje CAD a PDM	11
4.2	Výhody PLM.....	12
4.3	Propojení PLM s CAD.....	12
4.4	Propojení PLM s ERP systémy	13
4.5	Uplatnění PLM systémů při řízení fází životního cyklu výrobku	15
4.5.1	Urychlení startu (Accelerate launch)	16
4.5.2	Zvýšení růstu zisku (Increase profitable growth).....	17
4.5.3	Snížení nákladů (Reduce build costs).....	17
4.5.4	Prodloužení životního cyklu (Extend lifecycle returns)	17
4.5.5	Opětovné použití osvědčených postupů (Re-use best practices)	18
4.6	Funkce aplikace Teamcenter.....	18
4.6.1	Správa systémového inženýrství a požadavků.....	19
4.6.2	Řízení procesu návrhu	19
4.6.3	Správa kusovníků.....	19
4.6.4	Správa obsahu a dokumentů	20
4.6.5	Řízení výrobního procesu.....	20
4.6.6	Řízení požadavků	20
4.6.7	Řízení životního cyklu služeb (SLM)	21
4.6.8	Správa vztahů s dodavateli.....	21
4.6.9	Správa shody.....	21
4.6.10	Řízení výrobních nákladů.....	21
4.6.11	Active Workspace	22
4.6.12	Funkce platformy PLM	22
4.6.13	Teamcenter v cloudu.....	22

4.7	Uplatnění PLM systémů ve spojitě/dávkové výrobě	22
4.7.1	Funkce PLM modifikované pro spojitou a dávkovou výrobu	23
4.7.2	Funkce PLM neuplatnitelné pro spojitou a dávkovou výrobu	24
4.7.3	Funkce PLM použitelné pro spojitou a dávkovou výrobu bez úprav	25
4.7.4	Zhodnocení využití PLM ve spojitě a dávkové výrobě.....	25
4.8	Propojení PLM systémů se systémem MES/MOM	25
4.8.1	Systém řízení výroby MES	26
4.8.2	Řízení výrobních operací MOM	27
4.8.3	Interakce mezi PLM a MES/MOM	27
5	Digitální výroba a virtuální prostředí.....	29
5.1	Systém Tecnomatix.....	29
5.1.1	Vybrané funkce systému Tecnomatix pro spojitou a dávkovou výrobu 30	
5.2	Průnikový inženýring.....	31
5.2.1	Vybrané funkce z prostředí COMOS pro spojitou a dávkovou výrobu	32
6	Návrh digitální továrny pro spojitou a dávkovou výrobu	38
7	Změna receptury řízena prvky PLM a virtuálního prostředí.....	41
7.1	Customizace při zpracování tekutých materiálů v tancích.....	41
7.2	Shrnutí problému customizace v dávkové výrobě	42
8	Průmysl 4.0	44
8.1	Charakteristiky Industry 4.0	44
8.1.1	Vertikální propojení.....	44
8.1.2	Horizontální propojení	45
8.1.3	Průnikové inženýrství a virtuální zprovoznění.....	46
8.2	Konvergence operačních a informačních technologií	47
8.3	Kyberfyzické systémy	47
9	Realizace programu pro zpracování tekutých materiálů ve dvou tancích.....	49
9.1	Zadání úlohy	50
9.2	Standard ISA-88	51
9.2.1	Pojmy spojené se standardem ISA-88	51
9.2.2	Charakterizované modely v normě ISA-88.....	52
9.2.3	Upravený model produktu ISA-95	57
9.3	Struktura aplikace	58
9.3.1	Zákaznická aplikace	59
9.3.2	Správa objednávek	59
9.3.3	Produkce.....	60
9.3.4	Historian.....	67
9.3.5	Shrnutí.....	67
9.4	Popis funkce a ovládání aplikace.....	68

9.4.1	Tvorba objednávky.....	68
9.4.2	Výroba objednávky.....	74
9.4.3	Shrnutí.....	84
10	Závěr	85
	Literatura	87
	Seznam symbolů, veličin a zkratek.....	90
	Seznam příloh.....	91

Seznam obrázků

Obrázek 1: Životní cyklus výrobku [18]	6
Obrázek 2: Řízení životního cyklu výrobku [11]	10
Obrázek 3: Nadstavby PLM a PDM [12].....	12
Obrázek 4: Rozdíly mezi systémy ERP a PLM [19].....	14
Obrázek 5: Interakce mezi ERP a PLM systémy [19]	15
Obrázek 6: Řízení fází životního cyklu výrobku[20]	16
Obrázek 7: Přehled funkcí platformy Teamcenter [1]	18
Obrázek 8: Komunikace mezi systémy PLM, ERP a MES [24]	28
Obrázek 9: Průnikový inženýring [1]	31
Obrázek 10: Projektování technologických zařízení [29]	33
Obrázek 11: Tvorba schémat zařízení [28]	34
Obrázek 12: Návrh potrubí [28]	34
Obrázek 13: Přenos konzistentních dat napříč všemi odbornostmi [28]	35
Obrázek 14: Integrovaný návrh technologických zařízení [30].....	35
Obrázek 15: Tvorba elektro projektu [28]	36
Obrázek 16: Vývoj automatizační pyramidy v Industry 4.0 [35]	45
Obrázek 17: Horizontální integrace v Industry 4.0 [36]	46
Obrázek 18: Konvergence operačních a informačních technologií [37]	47
Obrázek 19: Struktura aplikace	49
Obrázek 20: Procesní model standardu ISA-88	52
Obrázek 21: Fyzický model standardu ISA-88.....	53
Obrázek 22: Výrobní jednotka aplikace	54
Obrázek 23: Procedurální model standardu ISA-88.....	55
Obrázek 24: Vazby mezi modely standardu ISA-88	57
Obrázek 25: Model produktu ISA-95 zahrnující standard ISA-88 [4]	58
Obrázek 26: Vývojový diagram funkce ventilu	61
Obrázek 27: Vývojový diagram funkce pro motor	61
Obrázek 28: Diagram pro fázi napouštění.....	63
Obrázek 29: Diagram fáze míchání	64
Obrázek 30: Vývojový diagram hlavního programu.....	66
Obrázek 31: Diagram povelů a stavů pro aplikaci.....	67
Obrázek 32: Diagram tvorby objednávky	69
Obrázek 33: Úvodní obrazovka aplikace.....	70
Obrázek 34: Vyplněný objednávkový formulář	71
Obrázek 35: Objedávka číslo 2017-04-13-15_47_18.....	73
Obrázek 36: Tabulka čekajících objednávek	73
Obrázek 37: Interface pro zpracování dat mezi objednávkou a výrobou	75

Obrázek 38: Obrazovka pro správu zakázek.....	76
Obrázek 39: Výroba čekající objednávky.....	77
Obrázek 40: Zobrazení objednávky před výrobou.....	77
Obrázek 41: Probíhající výroba v Tanku 1	78
Obrázek 42: Stav Tanku 1 při probíhající výrobě.....	79
Obrázek 43: Doplnění údajů o výrobě do souboru XML	80
Obrázek 44: Přesun objednávky po její výrobě.....	80
Obrázek 45: Stav tanku po výrobě zakázky	81
Obrázek 46: Obrazovka před vyčištěním tanku.....	81
Obrázek 47: Stav tanku o vyčištění	82
Obrázek 48: Výroba již alespoň jednou vyrobené objednávky	82
Obrázek 49: Tabulka po znovu vyrobení jedné zakázky	83
Obrázek 50: Struktura zakázky po druhé výrobě.....	83

1 ÚVOD

Vývoj průmyslové automatizace zaznamenal v poslední dekádě nevídaný rozvoj. I když by se to dalo říci i o dekádě jí předcházející a také o některých dřívějších, přece jen je dění na poli průmyslové automatizace v posledním desetiletí výjimečné, a to hned několika věcmi. Jako první bych uvedl vztah informační technologie (IT) a operační technologie (OT).

Pojem informační technologie se používá už dlouhou dobu a původně mělo oddělení IT ve výrobním podniku ve své gesci vše, co se týkalo zpracování informací, tedy HW i SW a PC i PLC a samozřejmě internet. I když šlo o jedno oddělení a oficiálně o jeden obor (IT), od začátku se v něm profilovali příznivci PC a příznivci PLC.

V 90. letech se PC pokusily o průnik do oblasti působnosti PLC, zejména jako *SoftPLC*, ale tento pokus, i když byl docela razantní, tak v masivním měřítku neuspěl. Po tomto střetu následoval zřetelný odklon aplikací PC a internetu do oblasti řízení podniku a de facto si na tuto dráhu vzaly i název oboru IT. Programovatelné automaty PLC s přidruženými PC pro zpracování procesních informací šly dále svou cestou s nejčastěji používaným označením „systémy řízení procesu“ *PCS (Process Control Systems)*.

Doménou IT se staly systémy řízení podniku *ERP (Enterprise Resource Planning)*, a je spravedlivé říci, že jejich vývoj byl svižnější než vývoj systémů procesního řízení. Vysvětlit se to dá tím, že zaměření IT bylo jasně definováno, neexistovaly překážky v podobě rozmanitých sítí a systémů a nebylo třeba diverzifikace pro jednotlivé průmyslové sektory. I když tyto spřízněné skupiny kráčely vedle sebe v jednom výrobním podniku, dá se říci, že se moc nekamarádily.

Změna přišla díky standardizaci řízení výrobních procesů, zejména se standardy ISA-88 a S95 a s nástupem systémů *MES (Manufacturing Execution System)*, resp. *MOM (Manufacturing Operation Management)*, které poskytly pracovní rámce, platformy a komunikační infrastruktury pro řízení výroby, a především nastavily cestu pro výměnu dat mezi úrovní řízení podniku a dolní vrstvou řízení výroby. Úspěch spočíval zejména v tom, že autoři těchto nových systémů převzali postupy, metody a zkušenosti úspěšných řešení IT. Sem se datuje vznik oboru operační technologie OT a zároveň začátek migrace a konvergence IT a OT, která je základem úspěchu iniciativy Industry 4.0.

Konvergence IT a OT není jedinou, které jsme v současnosti svědky. Podobně konvergují metody a řešení do nedávné doby zcela samostatně se rozvíjejících typů výroby, konkrétně zpracovatelské a procesní výroby. Zpracovatelská výroba přinesla např. metodu aditivní výroby (3D tisk), nové metody inženýringu, zejména

návrhové systémy vycházející z původních CAD systémů, nebo systémy pro virtuální zprovoznování.

Nedlouhou historii mají mechatronické systémy a embedded systémy. Umožňují výraznou decentralizaci na úrovni procesního řízení, nebo dílenského řízení u zpracovatelské výroby. Pokroky v oblasti virtualizace umožňují doplňování těchto systémů jejich virtuálním obrazem, který dokáže komunikovat se svým okolím. Když se takový prvek vybaví „administrativní obálkou“ (administration shell) obsahující informace o vykonávání jeho funkce a přidělí se mu IP adresa, vznikne zařízení nazývané kyberfyzický systém komunikující na internetu věcí IoT.

Změny, které tento vývoj přinese, ovlivní vertikální propojení výrobního podniku, a to zejména systém MES. Změní se infrastruktura, ale zůstanou zachovány, nebo se ještě rozšíří, jeho funkce. Dá se předpokládat určitý stupeň fúze MESu se systémy průmyslové inteligence (EMI). Jedno je jisté: Všechno společně to přinese obrovský nárůst dat, která bude třeba zpracovávat a spravovat. Pro tato data se již ujal termín Big data. Je zřejmé, že pro správu takového množství dat a pro organizační zajištění velkého počtu funkcí zajišťujících výrobu ve vertikálním i horizontálním propojení vzroste náročnost na manažerskou podporu. To je úloha, kterou musí poskytnout a zajistit platforma PLM.

Všechny tyto pokroky ve vývoji průmyslové automatizace vedou k zastřešující iniciativě Industry 4.0. Většinou jsou iniciovány potřebami zákaznického řešení ve zpracovatelské výrobě, zejména v automobilovém průmyslu. Nicméně, vize, myšlenky a cíle Industry 4.0 budou aplikovány i na procesní výroby, tedy na výrobu dávkovou, resp. spojitou. Nároky zde budou kladeny zejména na platformu PLM, řetězec inženýrských nástrojů, systémy MES/MOM a systémy zákaznického řešení receptur pro dávkovou výrobu. A to jsou oblasti, na které se zaměřuje tato diplomová práce.

2 TYPY VÝROB

Tato kapitola se bude zabývat jednotlivými typy výrob. Produkci můžeme roztrždit podle různých hledisek, např. podle příslušnosti k výrobnímu oboru, rozsahu sortimentu, objemu výroby, typu řízení apod. Protože naším tématem je spojitá (kontinuální) a dávková (šaržová) výroba, zaměříme se na typ řízení výroby, který zahrnuje též výrobu nespojitou (diskrétní). Takto budeme mít možnost poukázat i na případné rozdíly mezi zmíněnými způsoby produkce.

Podle charakteru výsledného výrobku a průběhu jeho výroby se uvádí rozdělení výroby na:

- Spojité (kontinuální) výroby
- Nespojité (diskrétní) výroby
- Dávkové (šaržové) výroby

2.1 Spojitá výroba

Spojitá výroba, někdy označována jako procesní nebo kontinuální výroba, je produkce výrobků v množstvích, které se nejčastěji měří v kilogramech/hod, litrech/hod případně v jiných měrných jednotkách za čas, které vyjadřují v podstatě výkon výroby. Do této skupiny spadají spojité výrobní procesy, které se obvykle vyznačují nepřetržitým výrobním procesem.

Označení spojitá výroba je odvozeno od kontinuálního zpracovávání vstupního materiálu a jeho nepřetržitého toku mezi jednotlivými operacemi. Během toku (transportu) tohoto materiálu, kterým jsou nejčastěji tekutiny anebo sypké materiály, dochází k tepelnému nebo mechanickému zpracování anebo k chemické reakci. Jak z tohoto popisu plyne, spadá sem výroba energie, některých léků, zpracování ropy a chemické procesy. Technologie spojitých výrobních procesů jsou většinou jednoúčelové, tj. vyrábějící stále stejné výrobky, na které byly zkonstruovány [1].

Pojem „spojitosti“ u tohoto typu výroby vyjadřuje skutečnost, že výrobu nelze přerušit, zastavit nebo pozastavit, a pak plynule pokračovat. Každý stav zastavení před ukončením výroby je stavem poruchovým, nebo havarijním.

2.2 Dávková výroba

Dávková neboli šaržová výroba produkuje výrobky po dávkách (šaržích), které mají podobné vlastnosti. Dávkové procesy patří do skupiny nespojitých procesů, i když jsou hybridem spojitého a diskrétního procesu.

Typickým znakem dávkové výroby jsou skladová úložiště vstupních surovin a finálního výrobku. Jsou to tanky, sila, kontejnery, případně haldy. Množství vyrobeného produktu uložené např. ve produktovém tanku se nazývá dávka neboli šarže. Odtud pochází název tohoto typu výroby.

Tato skladová úložiště vymezují celou výrobu, nebo její část, která mívá různé názvy, např. výrobní úsek, výrobní linka, výrobní buňka apod. Složitější výrobní závod má pak více takových částí. O tom bude více v popisu řízení dávkové výroby. Dílčí kroky a postupy výroby v rámci jedné linky často mají charakter spojitě výroby. Typ výroby však určují hlavní rysy výroby, zejména charakter produktu.

Velikost dávky je omezena objemem skladových úložišť, mezi kterými výroba dávky probíhá. Počet dávek začíná od jedné a je dán požadavkem zákazníků, obecně řečeno, poptávkou.

Jednou z hlavních výhod dávkové výroby je, že na stejném zařízení je možno vyrábět více podobných produktů, podle různých receptur a přání zákazníků.

K typickým představitelům spojitých výrob patří petrochemické, chemické, farmaceutické nebo potravinářské procesy, dále výroby stavebních materiálů jako jsou cementárny, vápenky, šterkovny a mnoho dalších.

Jak už bylo zmíněno v předchozím odstavci, výroba produktu se provádí podle receptury. Jedná se o soubor důležitých a potřebných informací, který nám přesně udává požadavky na výrobu určitého produktu, do nichž spadá to, jaké počáteční suroviny jsou potřebné pro výrobu produktu, jaké operace a v jakém sledu probíhají. Některé receptury si jednotlivé firmy pečlivě střeží, protože v tom tkví know-how výroby produktu.

2.3 Nespojité výroba

Diskrétní neboli nespojitá výroba zahrnuje v moderních systémech kombinaci řízení diskretních i spojitých procesů. Finální produkt diskretní výroby principiálně vzniká na základě kusovníku, typicky ve strojírenském odvětví [3].

Hlavním typickým znakem této výroby je, že výsledné produkty jsou počítány na jednotlivé kusy. Dále je cílem výroba konkrétních produktů s určitými parametry. Může se jednat o produkty jedinečného typu anebo o sériově vyráběné. Technologie nespojitých výrobních procesů jsou většinou víceúčelové, tj. vyrábějící jistou množinu výrobků podle svého seřízení nebo osazení speciálními výměnnými prvky [1].

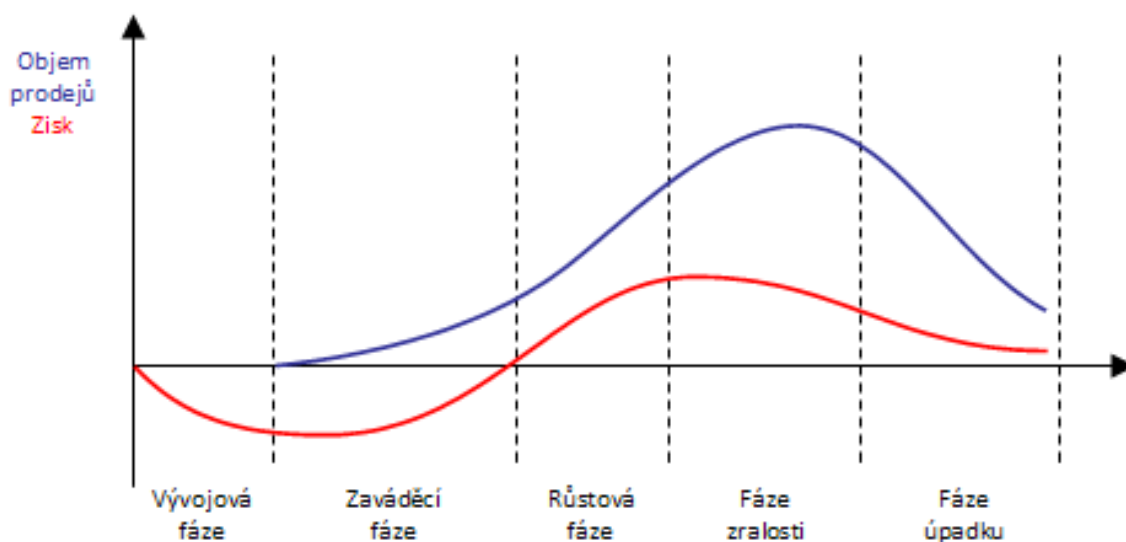
Množství vyrobených kusů záleží na složitosti jejich provedení, složitější produkty jsou náročnější na výrobu, tím pádem se jich vyrobí méně, než za stejnou dobu produktů, které jsou jednodušší. Každý proces výroby může být samostatně spuštěn anebo zastaven. Výsledný výrobek může být složen i z více komponent, které se vyráběly na jiných výrobních linkách.

Mezi hlavní představitele této výroby patří výroba letadel, automobilů, telefonů, počítačů a spotřební elektroniky.

3 ŽIVOTNÍ CYKLUS VÝROBKU

Tato kapitola bude věnována životnímu cyklu výrobku. Stručně si vysvětlíme, co rozumíme pod pojmem životní cyklus, jak cyklus výrobku probíhá a do kterých fází se jeho životnost dělí. Tyto informace nám poslouží jako stručný úvod do problematiky životního cyklu výrobku (*Product Lifecycle Management PLM*), které se budeme věnovat v následující kapitole.

Životní cyklus výrobku neboli *Product lifecycle* se zabývá postavením výrobku na trhu a jedná se o jednu z nejvýznamnějších úloh řízení marketingu a prodeje. Životní cyklus výrobku je časový úsek mezi zavedením výrobku na trh a jeho likvidací. Tento časový úsek se začal sledovat proto, aby mohlo dojít k inovaci výrobku a k prodloužení jeho životnosti. S tím je též přímo spojen prodej a přínosy z prodeje produktu. V okamžiku, kdy se příjmy z prodeje začínají snižovat, dochází také k ukončování jeho životního cyklu, a proto se firmy snaží co nejvíce tuto situaci oddálit případnými inovacemi, snížením ceny atd. Na Obrázku 1 je znázorněn vztah mezi objemem prodeje a ziskem, který je rozdělen do pěti fází života produktu. Modrý průběh znázorňuje prodej a červená křivka zisky. Červený průběh je označován také jako s-křivka, která se používá pro grafický popis fází životního cyklu produktu.



Obrázek 1: Životní cyklus výrobku [18]

3.1 Fáze životního cyklu výrobku

Jak plyne z předchozího obrázku, je životní cyklus rozdělen do několika fází. V našem případě (viz Obrázek 1) je životní cyklus výrobku rozdělen do pěti fází, ale podíváme-li se do odlišných zdrojů k této problematice, zjistíme, že v nich životní cyklus může být rozdělen na jiný počet fází a může se též lišit jejich pojmenování. Doba trvání jednotlivých fází se může s různými typy výrobků měnit. Typickými příklady jsou produkty, jako je jídlo, energie apod., tudíž výrobky, které řeší základní životní potřeby. To však neplatí pro výrobky, které jsou součástí konečných funkčních celků (např. LCD monitor), kde tržby primárně závisí na prodeji konečných výrobků. Na druhou stranu je tu ale celá řada produktů, jako jsou auta, mobilní telefony, počítače, fotoaparáty atd., pro které teorie životního cyklu výrobku funguje podle „standardizovaného“ grafu poměrně efektivně a už celou řadu let [14].

Pro management společnosti je velmi důležité vědět, v jaké fázi se výrobek nachází, aby bylo možné aplikovat marketingové nástroje, které se pro každou fázi liší. A proto je cyklus výrobku rozdělen do následujících etap.

3.1.1 Vývojová fáze

První částí životního cyklu výrobku je vývojová fáze. Jedná se o dobu, kdy výrobek ještě není uveden na trh a probíhá jeho návrh a vývoj. Důležitým úkolem v tomto období je vyvinout produkt, který přinese něco navíc, než čím trh doposud disponuje. Tím si zaručí poptávku po výrobku a případné zisky, než kdyby se na trh přivedl výrobek, který by za konkurencí zaostával atd.

Tato fáze je význačná tím, že zisky jsou minimální, a naopak jsou investiční náklady čím dál vyšší. Mnoho podniků v této fázi investuje nemalé peníze, i když neví, jak trh bude na daný produkt reagovat. Spousta výrobků tuto fázi ani nedokončí, nejčastěji se jedná o automobilové studie. Ukončení vývoje produktu může nastat z různých důvodů, např. kvůli nedostatku financí, krachu společnosti nebo kvůli změně podmínek na trhu.

Dalším důležitým bodem v této fázi je práce marketingu. Pokud se s marketingovými aktivitami začne už v této fázi, tak může být zajištěn úspěch výrobku nebo už i nějaké předobjednávky. Příkladem mohou být elektromobily Tesla, které ještě ve fázi vývoje získaly značný počet předobjednávek [14].

Firmy se snaží také o to, aby tato fáze byla co nejkratší, protože tím se sníží výdaje a následně přicházejí zisky. Zkrácení tohoto období se dosáhne tím, že se jednotlivé úlohy životního cyklu budou vykonávat v paralelních procesech. K tomu slouží právě PLM software, který nám zajišťuje přesné a synchronizované informace o produktu.

3.1.2 Zaváděcí fáze

Jedná se o fázi, kde je výrobek uveden na trh. Velmi důležitou roli zde hraje marketing, reklama a propagace výrobku, a proto do nich výrobci vkládají velké množství finančních prostředků. Růst prodeje výrobku může být pozvolný anebo rychlý, záleží na tom, o jaký výrobek se jedná a jaké výhody přináší proti konkurenci. Příčin pomalého růstu prodeje produktu může být několik, např. na výrobku se vyskytl technický nedostatek a musí dojít k jeho opravení, nebo zákazníci nejsou ochotni si produkt zakoupit. Při pozvolném zvyšování prodeje se mohou výrobci dostat do ztrát, protože výnosy plně nepokrývají všechny náklady spojené s prodejem.

Opět je kladen důraz na to, aby toto období bylo co nejkratší a aby se co nejdříve přehouplo do následující fáze.

Optimálním optimální reakcí trhu na uvedení produktu do oběhu by bylo, aby byl o výrobek velký zájem, a tudíž by zisky z jeho prodeje rapidně rostly.

3.1.3 Růstová fáze

V růstové fázi se konečně zisk dostává do kladných hodnot. Objem prodeje výrobku značně roste, přibývá více zákazníků. Tyto případy nastanou tehdy, pokud jsou reference a ohlasy zákazníků na produkt kladné. Forma této reklamy je pro společnost nejlepší možností, protože náklady na ni nejsou a také je její nejúčinnější formou. Pokud se jedná o výrobek, který je jedinečný na trhu, jeho prodej značně stoupá a cena výrobku může být vysoká, ale vše záleží na strategii podniku. Důležité je v tomto případě začít pracovat na inovaci produktu, protože konkurence zareaguje na tuto situaci a bude se snažit výrobek napodobit, ne-li v něčem předčit.

V růstové fázi je vhodné zaujmout růstovou strategii, která se skládá z následujících bodů zdokonalení výrobku [14]:

- vytvoření modifikace výrobku,
- vstup na nové trhy,
- rozšíření distribuční sítě,
- změna propagace z nového na zavedený výrobek,
- snížení ceny výrobku.

3.1.4 Fáze zralosti

V zájmu výrobce by mělo být co nejdéle prodloužit tuto fázi, protože výrobek se velmi dobře prodává, i když se distribuce produktu nerozšiřuje. Zisky mohou být stabilní, ale mohou i klesat, protože klesá cena produktu, také z důvodu konkurence. Tato fáze je velmi důležitá pro následný vývoj prodeje výrobku.

Délka trvání této etapy silně závisí na typu odvětví působnosti firmy. Ve světě počítačů nebo mobilních telefonů se bavíme maximálně o měsících, u automobilů to může být i déle než rok a v méně progresivních odvětvích to může být ještě déle [14]. Fázi zralosti lze následujícími způsoby prodloužit:

- modifikací produktu – zlepšení funkcí, jakosti, vzhledu, výroby...
- modifikací trhu – přetažení zákazníků od konkurence, vstup do nových segmentů trhu (zahraničí)...
- modifikací marketingového mixu – změna jednoho nebo více prvků prodeje, snížení ceny, zahájení nové reklamní kampaně...

3.1.5 Fáze úpadku

V této fázi ubývá prodejů výrobků a s tím je spojen i zisk. Tento pokles může být pomalý a dlouhodobý, ale stejně tak rychlý a okamžitý [15]. Rychlost tohoto poklesu přitom záleží na tom, na kolik byl produkt postaven na skutečných potřebách zákazníků a nakolik byl jen zákazníkům „vnucen“ masivní reklamou, která třeba skončila a spolu s ní opadl i jejich zájem [14]. Prodej a zisk tím pádem může klesnout až na úplné minimum (nulu), nebo může setrvat několik let na nízké úrovni [2].

Ve fázi úpadku je velmi důležité, jakým způsobem dojde k ukončení prodeje, zdali bude výrobek z prodeje stažen v co nejkratší době, nebo se bude čekat do doby kdy zisky pokryjí variabilní náklady. Jestli se ukončení prodeje provede nesprávným způsobem, může být poškozena pověst firmy.

4 ŘÍZENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU VÝROBKU

V předešlé kapitole byl popsán životní cyklus výrobku a nyní si ho představíme v našem oboru čili v automatizaci. V této kapitole se tedy budeme zabývat PLM a jeho softwarem.

Řízení životního cyklu výrobku je překladem anglického *Product Lifecycle Management*, zkráceně *PLM*, které charakterizuje proces řízení kompletního životního cyklu výrobku, a to od prvotního nápadu a samostatného konceptu, přes přesný návrh, konstrukci, výrobu a poprodejní opravářské služby, až po jeho konečnou likvidaci. Řízení výrobního cyklu výrobku spojuje lidi, data, podnikové procesy a systémy spojené s výrobkem.



Obrázek 2: Řízení životního cyklu výrobku [11]

Výpočetní technika přinesla do průmyslové výroby spoustu systémů, aplikací, pracovních rámců řešících výrobní postupy, údržbu, skladové systémy, výrobní reporty apod., a cílem usnadnit, optimalizovat a zlevnit výrobu. Ne vždy se to daří. Množství dat, jejich nesourodost, potřeby ovladačů a rozhraní mnohdy přinášejí více škody než užitku. Fungují tehdy, když každá jejich manipulace je administrativně dobře ošetřena. Všechny činnosti související s výrobkem, tak jak jsou uvedeny výše, potřebují správy neboli managementy. Byly popsány životní fáze výrobku. I v těch potřebuje výrobek své manažery. Jak bylo uvedeno v předchozím odstavci: „lidi, data, podnikové procesy a systémy spojené s výrobkem“. Kolik takových manažerů výrobek potřebuje pro optimalizaci jeho životního cyklu, závisí od jeho charakteristik. Nebo existuje druhá možnost, mít úžasného, mocného manažera, který všechny tyto činnosti ohlídá a bude je monitorovat a spravovat. Jeho mozek a jeho stůl vytvoří platformu, která se nazývá management životního cyklu výrobku neboli *Product Lifecycle Management* – *PLM*.

Jak ukazuje Obrázek 2, zahrnuje PLM i vývoj, specifikace, konstrukce a ověření. Tyto činnosti jsou prováděny v rámci inženýringu, kterému taky bude věnován prostor v této práci, neboť inženýring je jednou z nejdůležitějších částí horizontální integrace v architektuře podle Industry 4.0. PLM je platformou pro softwarové inženýrské nástroje (aplikace) návrhů, konstrukcí, testování a zprovoznování. Umožňuje spojovat tyto nástroje do řetězců předávajících si data, což výrazně zkracuje práce inženýringu, snižuje náklady a výskyt projekčních chyb. Inženýring je mimořádně důležitý v řešení dávkové/spojité výroby v prostředí Industry 4.0, na které je tato práce tematicky zaměřena.

Pro řízení nebo správu, či management životního cyklu výrobku jsou vyvíjeny softwarové platformy, které zahrnují hladce spolupracující infrastrukturu počítačových aplikací používaných k práci s daty o výrobku v průběhu celého jeho „života“, jehož „početím“ chápeme zaznamenání první myšlenky o podobě či funkci produktu do tohoto systému [1].

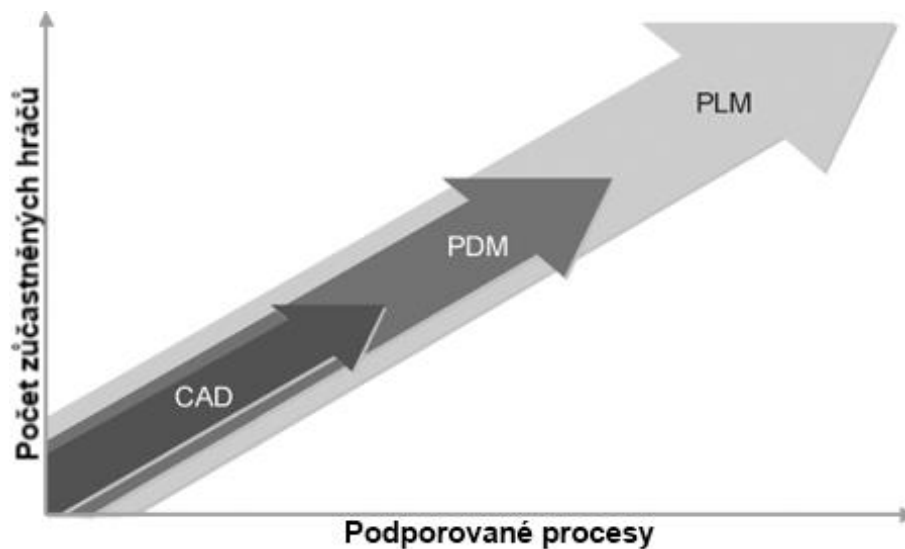
Díky PLM je pokryta veškerá správa dat o výrobku, komunikace mezi všemi zúčastněnými subjekty od zákazníků, přes dodavatelské řetězce, až po všechny potřebné zdroje.

4.1 PLM zahrnuje CAD a PDM

Řízení životního cyklu výrobku bylo vytvořeno původně pro potřeby diskretních výrob, přesněji pro číslicové řízení obráběcích a tvářecích strojů. Je velmi úzce spojeno se *Správou výrobních dat*, anglicky *Product Data Management (PDM)*. Jedná se o systém, který je určen pro správu dat o výrobcích a pracovních procesech spojených s produktem. Na začátku, po zavedení PDM, tyto systémy sloužily pouze pro ukládání souborů CAD¹ konstruktérů. S postupem času se jejich funkce rozšiřovaly. Nyní se PDM stará také o správu verzí jednotlivých dokumentů, mezi které patří CAD modely, výkresy, kusovníky, programy pro CNC² stroje, výsledky analýz apod. Nejběžnějšími uživateli jsou konstruktéři a vývojáři, ale přístup k těmto souborům mají i projektoví manažeři, pracovníci z výroby a další. PDM je nadstavbou CAD. PLM je zase nadstavbou PDM (viz Obrázek 3). Pokud podnik nevyužívá návrhy pomocí CAD programů, nemá smysl provozovat PDM.

¹ CAD – Computer Aided Design – počítačem podporované projektování

² CNC – Computer Numerical Control – počítačem řízený obráběcí stroj



Obrázek 3: Nadstavby PLM a PDM [12]

4.2 Výhody PLM

Díky velkému množství informací, které PLM zahrnuje, se z něj stává komplexní celek, který je možné využívat jako páteří systém výrobního podniku. Velkou výhodou je zahrnutí jak technických a výrobních, tak i marketingových údajů o výrobku.

PLM technologie umožňuje připravovat jednodušší a méně nákladná řešení a dovoluje rozšiřování systému směrem k menším společnostem tak, jako nikdy před tím [12].

Řízení životního cyklu výrobku také způsobuje:

- zkrácení času pro uvedení nového výrobku na trh,
- optimalizaci pracovních postupů,
- souběžnou spolupráci zainteresovaných stran,
- zvýšení kvality produkce,
- nižší náklady,
- zabezpečení dat a firemního know-how,
- plánování,
- rychlou implementaci atd.

4.3 Propojení PLM s CAD

Projektování a navrhování (kreslení) výrobních linek a strojů se obecně zahrnuje pod pojem inženýring. Tam vznikají ideové studie, návrhy, popisy a technologická

schémata (P&ID)³ pro následná řešení výstavby a konstrukce výrobních zařízení, či závodů. Tyto návrhy, zejména “kreslení” se provádějí v softwarových systémech nazývaných CAD. CAD spadá pod PLM a díky tomu je zaručeno, že všechny zainteresované strany vždy pracují s nejaktuálnějšími daty, tedy v tomto případě s výkresy a modely. Jedná se i o vytváření schémat elektrické výstroje, vybavení pro MaR⁴, vytváření seznamů vstupů a výstupů pro PLC a tagů pro HMI. Díky tomu je minimalizované riziko, že se bude pracovat s daty, která nejsou aktuální, a tím se firma také vyhne zbytečným nákladům při použití nesprávné (staré) verze. Dobře pracující propojení mezi CAD a PLM způsobuje urychlení procesu uvnitř celého životního cyklu výrobku.

Správa a manipulace s CAD daty patří mezi nejdůležitější úkoly při řízení informací o výrobku. V dnešní době se stále více rozšiřuje 3D CAD, a to i v menších firmách.

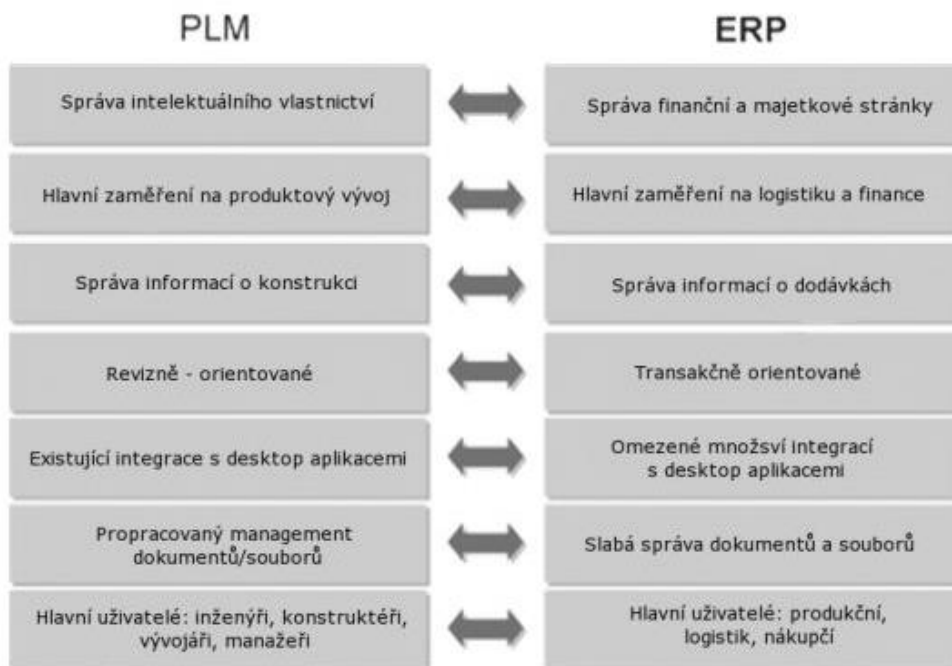
Integrace CAD do PLM zajišťuje i přenos všech závislostí mezi jednotlivými částmi CAD celku, např. mezi výkresem a modelem, sestavou a vnořenými díly. Pomocí této integrace jsou všechny tyto závislosti (vazby) spolu s CAD daty do PLM uloženy, aniž by se o to uživatel staral. Prakticky by ani nebylo možné zanášet všechny vazby do PLM systému ručně. Tyto vazby mezi CAD součástmi jsou v PLM uloženy jako databázové linky, které umožňují pohyb v obou směrech. To slouží k tomu, že je možné zjistit, z jakých prvků je celek složen, ale i v jakých sestavách je prvek použit. Jedná se o velmi cenný nástroj při analýze dopadů změn, který podporuje znovupoužití dílčích prvků.

4.4 Propojení PLM s ERP systémy

Systémy řízení podniku ERP poskytují informace o výrobku jak z finanční a logistické stránky (výrobní náklady, ceny, marže atd.), tak i po fyzické stránce (např. skladové hospodářství). Pomocí ERP jsme tedy schopni spravovat data týkající se cen a nákladů na výrobu daného produktu. Tyto systémy jsou převážně určeny pro účetní a plánovače výroby, kdežto systémy PLM pro vývojáře a designéry...

³ P&ID – Piping and Instrumentation Diagram – Schéma potrubního propojení a instrumentace

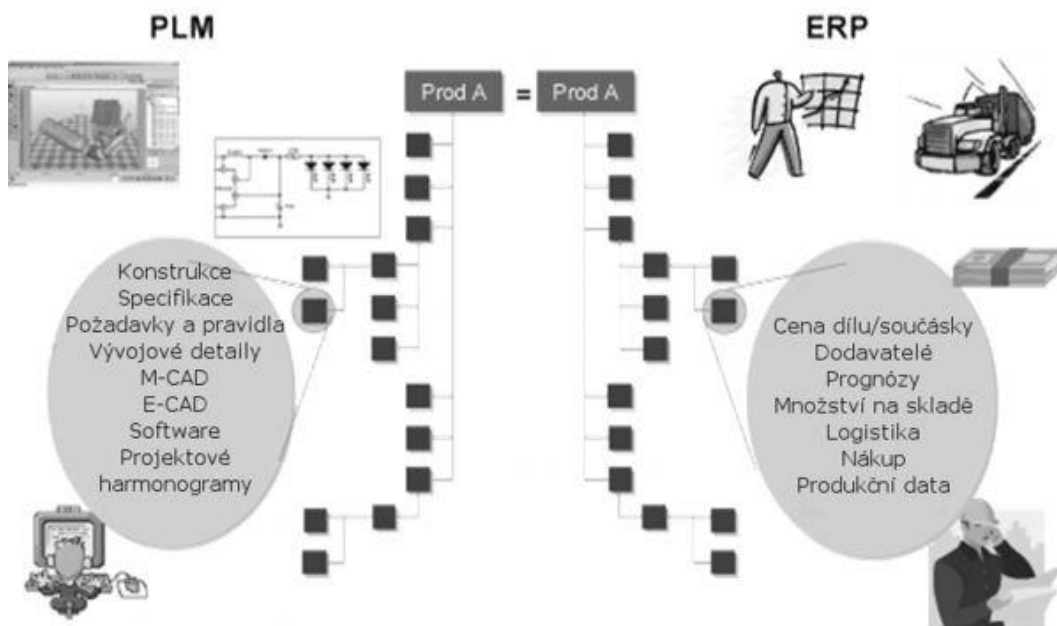
⁴ MaR – Measurement and Regulation – Měření a regulace



Obrázek 4: Rozdíly mezi systémy ERP a PLM [19]

Jak už bylo několikrát uvedeno, tak PLM systém spravuje informace o výrobku z pohledu tvaru (designu), jeho funkčních vlastností, specifikací apod. Díky PLM máme zajištěnu správu verzí, a přístup k datům je povolen všem zúčastněným stranám. Na Obrázku 4 jsou uvedeny vztahy mezi těmito dvěma systémy.

Jak PLM, tak ERP systémy spravují informace o produktu. Z tohoto důvodu je důležité, aby oba systémy (ERP a PLM) uměly vzájemně spolupracovat. Tato interakce se vztahuje především na výrobové struktury a jejich části známé jako kusovníky. Produktová struktura je ve většině případů připravena konstrukčním oddělením v rámci vývoje výrobku. Informace o jednotlivých komponentech produktové struktury jsou pak použity v rámci ERP pro plánování výroby a logistiky (Obrázek 5). Mnoho společností dnes musí ručně zadávat produktovou strukturu dvakrát či třikrát v různých systémech, a to kvůli nedostatku spolupracujících řešení. Tato skutečnost je nejen ztrátou času, ale současně zdrojem potenciálních chyb (Obrázek 5) [19].



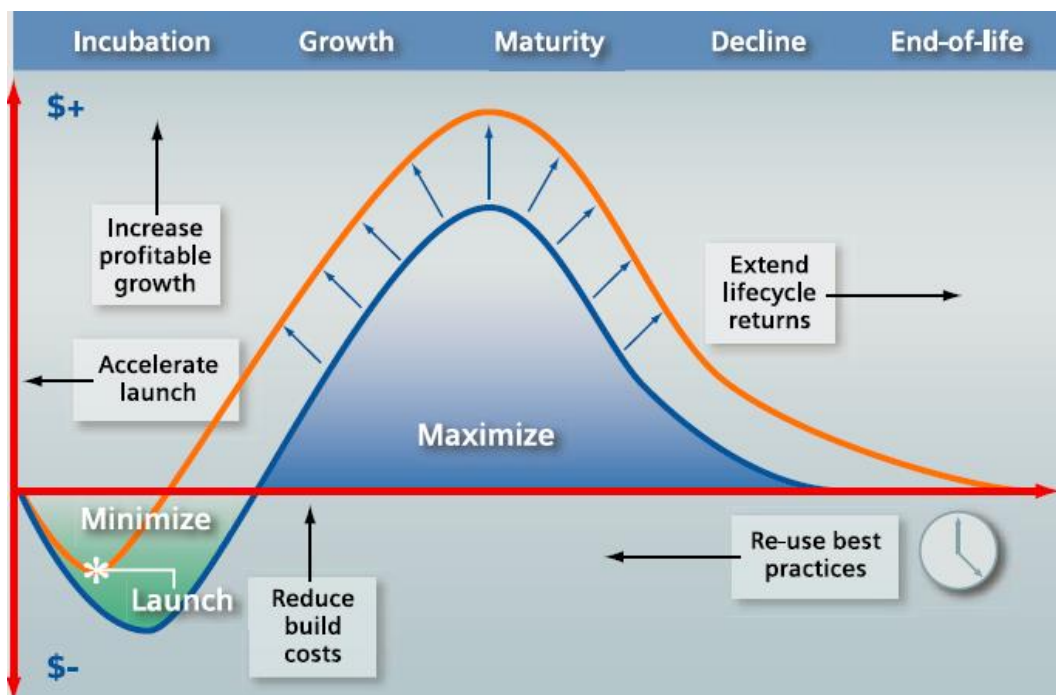
Obrázek 5: Interakce mezi ERP a PLM systémy [19]

Aby při interakci těchto systémů nevznikaly problémy, musí se stanovit pravidla a metodiky práce pro přenos dat. Tato pravidla je nutné ustanovit z důvodu vyhnutí se chybám v produktových strukturách, které přispívají ke zmetkovitosti zboží a k nevhodnému plánování příští produkce. Na nápravu vzniklých chyb je potřeba vynaložit nemalé finanční prostředky, což mnohdy vede i ke zpoždění projektu.

Jakmile se definitivně ustanoví všechny pravidla pro přenos dat mezi systémy ERP a PLM, mají firmy komplexní přehled o výrobku. To je značnou výhodou, ale spousta firem i tak této možnosti moc nevyužívá, protože PLM systémy jsou pro ně nákladné. Zato ERP systémy používá většina z nich.

4.5 Uplatnění PLM systémů při řízení fází životního cyklu výrobku

Obsah této kapitoly je velmi úzce spojen s kapitolou 3.1, která se zabývá právě fázemi životního cyklu výrobku. Tato kapitola se bude snažit poukázat na to, jaký vliv, roli a výhody má použití systémů PLM na životní cyklus výrobku. Pro jednoduchost a lepší názornost je zde přiložen ještě jeden graf znázorňující fáze životního cyklu výrobku (Obrázek 6), protože lépe popisuje zásahy PLM systému do fází životního cyklu produktu.



Obrázek 6: Řízení fází životního cyklu výrobku[20]

Na tomto obrázku jsou vyobrazeny dva průběhy, kde modrá linie znázorňuje průběh životního cyklu před použitím PLM systému a oranžová linie představuje výsledný průběh životního cyklu. Největší rozdíl mezi těmito dvěma průběhy je ten, že je snaha minimalizovat plochu pod časovou osou (osa x) a dosáhnout co největší plochy nad touto osou. Šipky jdoucí z jednotlivých bloků znázorňují, kam se graf posune po aplikování prostředků popsanych v blocích.

4.5.1 Urychlení startu (Accelerate launch)

Obvykle jsou produkty uváděny na trh po absolvování sérií procesů, které se provádějí, jakmile je dokončen úkon, který předcházal. To způsobuje zpoždění, které je vyvolané dodavateli, výrobními odborníky, poskytovateli služeb nebo údržby. Moderní platformy PLM umožňují tvorbu aplikací digitálních výrob, které vývojářům a konstruktérům slouží jako nástroje k paralelnímu popisu výrobku a výrobního procesu, tedy umožňuje spolupráci mezi projektovými a výrobními skupinami. Provádění co největšího počtu činností v paralelních procesech, přispívá ke zdolání kritických fází životního cyklu výrobku.

Díky využití PLM systému je umožněno snížení počtu prototypů, řídit komplexnost návrhu a spolupráci zainteresovaných stran a dosáhnout dřívějšího dodání výrobku. Jednou z velkých výhod je možnost využití virtuálního stroje (virtuální 3D model stroje v PC) pro uvedení stroje do výroby, který umožňuje předchozí vyzkoušení řídicího programu na tomto modelu a doladění případných nedostatků.

4.5.2 Zvýšení růstu zisku (Increase profitable growth)

PLM dopomáhá k vytvoření produktu, který splňuje požadavky trhu, a to tak, že PLM software dokáže zachytit požadavky zákazníků (příp. trhů) a promítnout je do výsledného produktu. Za pomoci PLM systémů je možné filtrovat nápady na budoucí produkty podle potřeb odběratelů výrobku.

PLM přispívá k výraznému zvýšení rychlosti pracovních postupů, snižuje možnosti chyb výrobků, a to tím způsobem, že všechny zúčastněné strany mají přístup k nejaktuálnějším informacím a výrobkům a také mohou provést změny na produktu.

4.5.3 Snížení nákladů (Reduce build costs)

Snížování nákladů je další výhodou PLM systémů, které přispívají k redukci nákladů napříč všemi fázemi životního cyklu. Stejného výsledku může být dosaženo i tak, že se podchytí nedostatky již v bodě zrodu, a tím se předejde plýtvání finančními prostředky na pozdější nápravu těchto chyb. Náklady se mohou redukovat také znovupoužitím již vytvořených návrhů (dílčích částí). Při využití virtuálních modelů na ověření funkčnosti stroje lze dosáhnout také značných úspor na financích.

Ve spojitosti se snížením nákladů je známo *Pravidlo 1:10:100*, které nám říká, jak velké jsou náklady na zavedení a provedení změny týkající se daného výrobku. Pro lepší pochopení tohoto pravidla si uveďme jednoduchý příklad.

Rozhodli jsme se prodávat výrobek, při jeho návrhu se vyskytl problém a musíme jej vyřešit. Na jeho opravu se vynaloží 1000 €. Poté vyrobíme linku na výrobu tohoto produktu, zjistíme však nedostatek (problém, chybu) v tomto stroji a opět jej musíme odstranit, ale tentokrát nás náprava nebude stát 1000 € jako v předešlém případě, ale desetinásobek této částky čili 10 000 €. Nyní máme všechny doposud zjištěné problémy napraveny a spouštíme sériovou výrobu. Objeví se však další nedostatek, v tomto případě nás náprava vyjde na stonásobek původní částky. Pokud bychom využívali systém PLM, můžeme těmto problémům předejít a odladit je v samotném počátku návrhu stroje či výrobku.

4.5.4 Prodloužení životního cyklu (Extend lifecycle returns)

Pro definování tohoto prostředku je možné použít jen jedno slovo a to inovace. Tou jsme se zabývali už při popisu jednotlivých fází životního cyklu výrobku. Pokud chce být firma úspěšná, je potřeba, aby vývoj jejích produktů šel neustále kupředu a aby vždy přišla s něčím novým. K tomu přispívá právě PLM, které napomáhá

vytipovat a efektivně zhodnotit inovované výrobky a jejich doplňky, což zajistí prodloužení období zisků životního cyklu produktu.

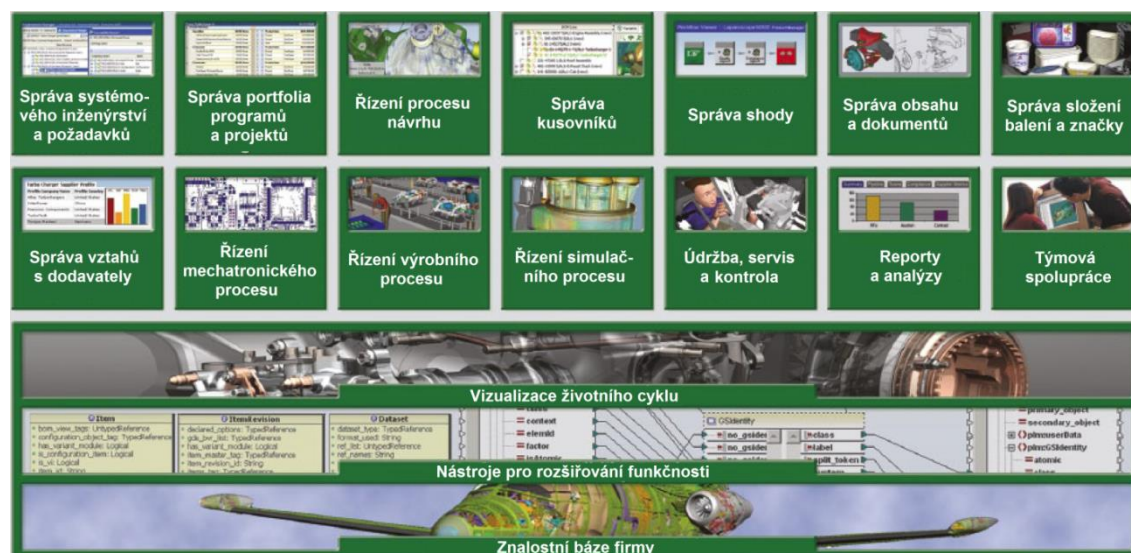
4.5.5 Opětovné použití osvědčených postupů (Re-use best practices)

Opětovné použití osvědčených postupů procesů, lidských zdrojů, plánů produktů, výrobních zařízení a postupů, částí programů atd. je další výhodou využití systému PLM. Pokud má výrobce uvést nový produkt na trh, téměř vždy pověřené osoby, které mají výrobek navrhnout, vyrobit, naprogramovat stroj k jeho výrobě, použijí již zhotovené dílčí části jak návrhu, řešení, tak i programu.

Opětovné použití řízení pomocí PLM je zvláště cenné proto, že usnadňuje masovou customizaci, která umožňuje rychle a nákladově efektivně reagovat na požadavky zákazníků na více individualizovaných produktů [1].

4.6 Funkce aplikace Teamcenter

Jak už bylo dříve zmíněno, PLM systémy jsou primárně určeny a vyvíjeny pro diskrétní výrobu. Mezi hlavní výrobce a dodavatele těchto systémů patří firma Siemens, která na trh uvedla systém *Teamcenter*. Tato softwarová platforma je systémem PLM a je v této práci využita pro přiblížení a vysvětlení funkcí PLM.



Obrázek 7: Přehled funkcí platformy Teamcenter [1]

Obrázek 7 ukazuje přehled hlavních funkcí platformy Teamcenter. Všechny tyto funkce vycházejí z postupů ověřených v praxi a ze standardizovaných procesů.

4.6.1 Správa systémového inženýrství a požadavků

Mezi nejobtížnější části návrhu výrobků patří řešení interakcí integrovaných elektronických, mechanických a softwarových součástí. Prostředí systémového inženýringu je postavené na modulech, a tím můžeme řešit výrobek jako ucelený systém.

Využívá se pro definování, modelování, propojování, procházení a zpřesnění systémové architektury a zaznamenání rozhodnutí v rámci domén. Toto je zavedeno z důvodu čím dál složitějších výrobků, které se skládají z více podsystémů, jež zahrnují komponenty z různých domén návrhu (např. MCAD⁵, ECAD⁶ atd.).

4.6.2 Řízení procesu návrhu

Je určeno pro řízení dat návrhu výrobku pro mechanické, elektronické, softwarové a simulační nástroje a data.

Podporuje mezidoménovou správu dat návrhu, vývoj softwaru a simulace, které využívají převážně konstruktéři. Soubory je možné vyhledávat, upravovat, sdílet a znovupoužít, a to nezávisle na tom, kde se střediska konstruktérů nacházejí. To je umožněno díky společnému a zabezpečenému zdroji dat návrhů a simulací. Je dovoleno vytvářet sestavy z různých dílů od rozdílných dodavatelů a ověřovat připravenost návrhů a rozpisek pro výrobu a montáž.

Integrací stávajících vícedoménových konstruktérských nástrojů s aplikací můžeme transformovat jinak nepropojené nástroje a procesy do jednotného mezidoménového prostředí pro správu dat návrhů, které umožňuje snížení nákladů, zlepšení kvality a zvýšení produktivity návrhů [22].

4.6.3 Správa kusovníků

Účelné spravování a sestavení kusovníků má velký význam a nezáleží na tom, z kolika součástí se výrobek skládá. Čím více inovací produkt absolvuje, tím je náročnější samotná správa kusovníků a výstižných formulací produktu.

Teamcenter napomáhá zaručit kompletní informace o produktech pomocí společného zdroje informací v celé instituci.

⁵ MCAD – Mechanical Computer Aided Design – software pro návrh designu výrobku

⁶ ECAD – Electrical Computer Aided Design – software pro návrh elektrických obvodů

4.6.4 Správa obsahu a dokumentů

Během životního cyklu výrobku vznikají specifikace, zprávy o analýzách, 2D nebo 3D ilustrace, tabulky, technické zprávy a výsledky testů. Proto je nutné všechny dokumenty mít dokončené v daném termínu a tyto podklady také musí vypovídat přesně o aktuálním stavu výrobku. V současné době je velmi obtížné udržovat aktuálnost jednotlivých verzí bez pomocného systému.

Tato funkce platformy Teamcenter pracuje s dokumenty a technickými publikacemi ve stejném systému řízení životního cyklu výrobku (PLM), který používají všichni zainteresovaní. Autoři mají v průběhu vývoje přímý přístup k informacím o výrobku a mohou pracovat na stejných úkolech. Návrhy výrobků a dokumentace k nim můžete mít stále sladěné se změnami ve výrobcích, čímž se sníží náklady a doba na tvorbu dokumentace a zvýší se kvalita a schopnost dodávek [22].

4.6.5 Řízení výrobního procesu

Řízení výrobního procesu slouží k optimalizaci procesů a redukuje náklady prostřednictvím účelného řízení práce v životním cyklu produktu. Zaměstnanci firem, které nevyužívají systémů PLM, jsou nuceni nahradit funkce těchto systémů. Proto ztrácí svůj čas prací na zastaralých informacích, přemýšlením nad následujícím krokem procesu nebo hledáním potřebných informací. Svým časem plýtvají i při dalších činnostech, např. zjišťováním stavu určitých kroků procesu, pozorováním informací z různých systémů řízení projektu. Tím také dochází ke snižování zisku.

Můžeme spojit plánování a realizaci snížením nutného úsilí a nákladů na řízení a sledování procesů PLM. Usnadníme tím pracovníkům koncentraci na ty správné úkoly se správnými daty tak, aby mohli dělat správná rozhodnutí ve správný čas [22].

4.6.6 Řízení požadavků

Registruje a poskytuje potřeby směřující ke správným rozhodnutím při dodávání produktů. Pokud se výrobky nepřetržitě a nekompromisně porovnávají s požadavky trhů a spotřebitelů, tak vývojové procesy dokáží produkovat výrobky, o které je velký zájem. A proto vzniklo prostředí věnující se řízení požadavků, jež poskytuje nástroje pro vedení procesů, které mají za úkol pomoci vyvíjet a uvádět na trh správné výrobky. Pak tyto velmi potřebné informace propadají do řízení životního cyklu výrobku na viditelné místo, které je přístupné všem zúčastněným stranám pracujícím na daném produktu.

4.6.7 Řízení životního cyklu služeb (SLM)

Řízení životního cyklu služeb, ve zkratce SLM, je vytvořeno za účelem zvýšení zisků a výnosů ze služeb, které zahrnují servis a podporu životního cyklu výrobku do celkové představy PLM.

Výrobní společnosti mají zajištěné propojení systémů PLM a SLM, tím je zaručena oboustranná spolupráce výrobního inženýrství a servisních operací. To napomáhá k vylepšení plánování výroby a provedení dané služby.

4.6.8 Správa vztahů s dodavateli

Jestliže chceme na trhu se svými výrobky uspět, je potřeba do toho zahrnout i naše dodavatele. Nejdůležitější je komunikace mezi nimi a pracovníky firmy ohledně nákupu, tvorby, návrhu, výroby a kvality výrobku. Dobrá komunikace může zvýšit produktivitu, snížit riziko stahování výrobků z prodeje a nedodržování nařízení. Umožňuje také koordinovat procesy a řídit informace ve všech fázích životního cyklu produktu.

4.6.9 Správa shody

Jestli chceme, aby naše firma byla na trhu konkurenceschopná, je potřeba pokusit se o snížení provozních a výrobních nákladů, a přitom je potřeba neustále zvyšovat kvalitu produktů. Na řešení vyskytnuvších se problémů s kvalitou je brán velký zřetel, protože jakmile zasáhneme nevhodně, může to mít na firmu velmi negativní vliv.

Jestliže pracovníky, kteří se zabývají kvalitou produktů, zahrneme do systému řízení životního cyklu výrobku, budeme schopni registrovat stížnosti, defekty a problémy týkající se požadavků na výrobek v rámci celé organizace.

4.6.10 Řízení výrobních nákladů

Tato funkce provádí kontrolu výnosnosti produktu pomocí analýzy nákladů na výrobu, ta je vypracována již na počátku životního cyklu výrobku.

Řešení řízení nákladů výrobku pomáhá produktu uspět na trhu díky analýze nákladů, kterou lze použít v okamžiku, kdy na rozhodnutí nejvíce záleží, tedy v počátečních fázích životního cyklu výrobku. Náklady na výrobek můžeme simulovat, analyzovat a optimalizovat. Následně můžeme provádět správná rozhodnutí ve správný čas a zajistit tak ziskovost nového výrobku [22].

4.6.11 Active Workspace

Jedná se o inovativní interface, který poskytuje optimalizované a intuitivní uživatelské prostředí pro řízení životního cyklu výrobku. Velkou výhodou active workspace je, že dokáže zvýšit produktivitu, a to díky vyhledávání dat potřebných k práci, lepšímu přehledu o celkovém stavu a bezproblémovému přístupu do systému PLM.

4.6.12 Funkce platformy PLM

Plný přístup k datům, projektu a správě procesů je nezbytný k našemu úspěchu. Je však zapotřebí pevného základu funkcí platformy PLM k vytvoření celkového PLM řešení v podniku, včetně vizualizace, spolupráce, generování zpráv, analýz a integrované správy materiálů. Tyto klíčové funkce platformy PLM můžeme využít bez ohledu na stav implementace PLM [22].

4.6.13 Teamcenter v cloudu

Jestliže využijeme řešení Teamcentru v cloudu budeme mít k dispozici rychlé a pružné nasazení prostředí Teamcentru s vlastností dynamického škálování infrastruktury. Výhodou je okamžitá dostupnost bez čekání na zakoupení a dodání softwaru.

4.7 Uplatnění PLM systémů ve spojitě/dávkové výrobě

Doposud jsme se zabývali PLM systémy pro diskrétní výrobu, a to převážně z toho důvodu, že pro tento typ výroby jsou tyto systémy prioritně navržené a nejvíce používány. Takto jsme získali dostatečný přehled o funkcích těchto systémů a také o tom, jaký mají vliv na výrobek v celém průběhu jeho životního cyklu. Systémy založené na platformě PLM nám v mnoha směrech ulehčují práci, poskytují nejaktuálnější informace, usnadňují spolupráci a přinášejí spoustu dalších výhod, které již byly zmíněny dříve.

Jelikož se ale tato práce má zabývat tématem spojitě a dávkové (obecně procesní) výroby, zaměříme se dále na přínosy a funkce systémů PLM pro tyto typy výrob. Předchozí přehled poslouží jako odrazový můstek. Nyní se budeme snažit aplikovat získané informace do odvětví postavených na procesní výrobě. Některé funkce budou mít stejné uplatnění jako v diskrétní výrobě, jiné se zase budou v nějakých maličkostech odlišovat, případně je bude nutné modifikovat pro spojitou a dávkovou výrobu. Některé funkce však pro případ procesní výroby nebudeme moci použít vůbec. Je nezbytné ještě doplnit, že nebyly zmíněny úplně všechny funkce systémů PLM, protože každý výrobce těchto systémů může mít program

doplněn o vlastní funkce a s postupem času se i k těmto samotným aplikacím přidávají další inovace (funkce, možnosti...).

V této podkapitole nebudou znovu vysvětlovány jednotlivé principy funkcí, ale budou jen popsány změny, které je třeba provést, aby je bylo možné aplikovat na případ procesní výroby. Ty funkce, které bude možno použít beze změny, anebo naopak ty, které nebudou použitelné vůbec, budou pouze vyjmenovány, a to z důvodu lepší přehlednosti. Převážně se budeme snažit o to, aby každá z dříve zmíněných funkcí aplikace Teamcenter našla své uplatnění ve spojitě i dávkové výrobě.

4.7.1 Funkce PLM modifikované pro spojitou a dávkovou výrobu

Část funkcí, které byly uvedeny pro diskrétní výrobu, bude muset projít nějakou změnou, modifikací, aby mohly být použity ve spojitě či dávkové výrobě. Velmi často také nastane případ, že daná funkce, která se v diskrétní výrobě týkala určitého prvku, bude mít ve spojitě a dávkové výrobě úplně stejnou funkci, ale bude aplikována na odlišný prvek.

4.7.1.1 Řízení procesu návrhu

V diskrétní výrobě se tato funkce zabývala správou CAD dat. Ve spojitě a dávkové výrobě nedochází k návrhu výrobku pomocí CAD programu, a proto tuto funkci upravíme tak, aby se týkala procedur. To nám umožní editovat procedury, dostatečně je zabezpečit, mít neustálý přístup k nejnovější verzi a spolupracovat na její tvorbě.

4.7.1.2 Správa kusovníků

Samotná správa kusovníků je pro spojitou a dávkovou výrobu nepoužitelná, protože zde nevznikají návrhy výrobků pomocí CAD programů a produkt se neskládá z dílčích prvků. Ale opět je možné tuto funkci aplikovat na náš případ a to tak, že správu kusovníků nahradíme správou dat spadajících do receptury. Jedná se např. o časové intervaly, které musí být splněny při výrobě produktu, dále o materiály (suroviny) a jejich množství, které mají být použity, a teploty, které mají být dodrženy atd.

4.7.1.3 Řízení životního cyklu služeb (SLM)

V diskrétní výrobě se jedná převážně o servis produktů. Ve spojitě a dávkové výrobě se opravy výrobků neprovádějí, a tedy je nutné tuto funkci upravit. Dala by se modifikovat jako služba podpory, např. když zákazník nebude vědět přesné

dávkování, nebo bude chtít s nějakým problémem poradit. Dále by se dala tato funkce využít při dopravě výrobku, např. rozvoz pečiva. Díky této funkci by se mohla stanovit optimální trasa, zákazníci by si však mohli určovat, kdy jim zboží má být dodáno, a podle toho by se trasa upravila tak, aby se zbytečně neplýtvalo finančními prostředky na pohonné hmoty atd. Další funkcí této služby by mohlo být poskytování, archivace, tvorba návodů a zkušeností na opravu výrobních zařízení.

4.7.1.4 Správa vztahů s dodavateli

Funkce správa vztahů s dodavateli bude fungovat stejně jako pro diskrétní systémy. Jen se nebudou sdílet CAD data a s nimi spojené požadavky na materiály. Namísto toho se budou vyměňovat informace týkající se surovin potřebných pro výrobu produktu. Dodavatelé by měli mít omezený přístup do PLM systému kvůli bezpečnosti uložených dat, zvláště těch týkajících se kompletního definování receptury.

4.7.1.5 Správa systémového inženýrství a požadavků

Z toho odvětví opět využijeme jen část, protože funkce spojené s CAD soubory využijeme pouze v inženýringu, a to v trochu jiné podobě. Pomocí systémového inženýrství můžeme spravovat software týkající se výroby produktu. Můžeme používat, hledat, upravovat jednotlivé vytvořené funkce, knihovny, standardy atd. Díky tomu máme vše na stejném místě, tím je ušetřen čas, který by byl potřebný k hledání již vytvořených softwarů.

4.7.2 Funkce PLM neuplatnitelné pro spojitou a dávkovou výrobu

V této podkapitole jsou uvedeny funkce, které nejsme schopni aplikovat a upravit, anebo pro ně nenajdeme uplatnění ve spojitě a dávkové výrobě.

4.7.2.1 Simulace a vizualizace produktu

Simulace produktu pro spojitou a dávkovou výrobu nemá uplatnění, a to z toho důvodu, že se nejčastěji jedná o produkty, které jsou v sypkém nebo v tekutém stavu.

4.7.3 Funkce PLM použitelné pro spojitou a dávkovou výrobu bez úprav

Zde budou pouze vyjmenovány funkce, které najdou uplatnění i pro naše zadání, a to bez úprav:

- Správa obsahu a dokumentů
- Řízení výrobního procesu
- Řízení požadavků
- Správa shody
- Řízení výrobních nákladů
- Active Workspace
- Funkce platformy PLM
- PLM v cloudu

4.7.4 Zhodnocení využití PLM ve spojitě a dávkové výrobě

Jak vyplývá z předchozích třech podkapitol, tak využití systémů PLM v dávkové a spojitě výrobě má své uplatnění. Většinu funkcí, které jsou využívány v nespojitě výrobě, lze bez jakékoliv úpravy rovnou využít pro naši situaci.

Například jen velmi malá část funkcí aplikace Teamcenter nenachází uplatnění ve spojitě a dávkové výrobě. Rozdíly v řízení životního cyklu výrobku vyplývají většinou ze skutečnosti, že u spojitě a dávkové výrobě je životní cyklus výrobku mnohokrát kratší než u výrobků produkováných diskrétní výrobou.

Pak existuje poměrně hodně funkcí, které po úpravách, je možné aplikovat pro spojitě a dávkové typy výrob. Největší rozdíl je v tom, že se nepracuje s CAD daty, ale spravují se procedury, receptury a programy pro řízení výroby. Z toho vyplývá nutnost úpravy funkcí.

Určitě by se také mohly vytvořit nové funkce, které by měly naopak uplatnění pouze ve spojitě či dávkové výrobě, ale o tom tato práce nemá pojednávat. Důležitým poznatkem je, že je možné využívat systémy PLM i ve spojitě a dávkové výrobě, a že má smysl je pro tyto typy výrob využívat, protože nám ušetří čas, zvýší zisky, ulehčí spolupráci, usnadní vyhledávání, zabezpečí důležitá data atd.

4.8 Propojení PLM systémů se systémem MES/MOM

Nyní jsme se dostali k poslednímu bodu týkajícímu se PLM systémů. Jedná se o spolupráci systémů PLM se systémem MES⁷ a platformou MOM⁸. Tato část je pro

⁷ MES – Manufacturing Execution System – Systém řízení výroby

⁸ MOM – Manufacturing Operations Management – Řízení výrobních operací

nás velmi důležitá, protože když vznikaly systémy MES, byly nejrozšířenější spojitě a dávkové výroby a vývoj MES systémů se řídil podle nich. To však neznamená, že jimi lze spravovat jen tyto typy výrob. Zmíněné systémy můžeme použít pro všechny druhy produkce. Jejich výhodou je, že proti PLM systémům se při jejich vzniku nemusely vytvářet nové studie, jak systémy MES aplikovat na diskrétní výrobu.

V této části nejdříve stručně popíšeme vlastnosti systému MES a platformy MOM. Poté nastíníme spolupráci se systémem PLM.

4.8.1 Systém řízení výroby MES

Jedná se o výrobní informační systém, který propojuje podnikové informační systémy ERP se systémy pro automatizaci výroby (technologických procesů). MES systémy jsou definovány asociací MESA a skládají se z následujících jedenácti funkcí:

- Operativní plánování výroby – dopředné, zpětné, komplexní plánování výroby
- Řízení a přidělování zdrojů – přidělování, sledování zdrojů a kapacit (materiál, pracovníci, zařízení nástroje...) výrobnímu procesu
- Dispečerské řízení – určování činností zařízení a osobám, zajištění surovin a energie, pozorování stavu výroby
- Řízení procesu – řízení výroby, které zahrnuje kontrolu zdrojů a předávání informací o aktuálním stavu výroby okolním systémům (např. ERP)
- Sběr a archivace dat – sběr a ukládání procesních a výrobních dat a stavů zařízení
- Analýzy výkonnosti – vyhodnocení úspěšnosti v jednotlivých oblastech výrobního procesu, tzn. tvorba OEE⁹
- Genealogie a trasování výroby – pozorování produktů a jejich rodokmenu
- Správa dokumentace – vytváření, ukládání, vyhledávání, správa verzí a archivace dokumentů
- Řízení údržby – stanovení periodické, preventivní údržby, vyhnutí se neplánovanému zastavení výroby
- Řízení laboratoře – informační systémy řízení laboratoří
- Řízení kvality – sledování kvality výrobku

⁹ OEE – Overall Equipment Effectiveness – Celková efektivita zařízení

4.8.2 Řízení výrobních operací MOM

Platforma MOM vznikla pro standardizování funkcí a toků dat v MES a je definována ve standardu ISA-95. Zavedení platformy řízení výrobních operací bylo důsledkem právě chybějícího spojovacího článku mezi systémy ERP a řízením procesů.

MOM plně zahrnuje MES a k tomu dodává vlastní funkce, tzv. výrobní inteligenci, vizualizační a ovládací prostředky operátora. Výrobní inteligence zahrnuje systémy QMS¹⁰, R&D¹¹, EMI¹² a APS¹³.

MOM standardizuje a optimalizuje výrobní procesy, minimalizuje výrobní cyklus, optimalizuje využití majetku, snížení celkové doby uvedení výrobku na trh, a tím zlepšuje odezvu trhu a zvyšuje viditelnost výroby. To je důležité pro získání zásadních výhod pro další investice v řešeních MOM pokrývajících celý podnik [1].

Aby bylo zřejmé, co přesně MES a MOM jsou, jednoduše si je vysvětlíme. Jak už bylo řečeno, MES je systém, který si je možné zakoupit, kdežto MOM koupit nelze, protože se jedná o platformu. Takže ze standardu ISA-95 vyplývá, že systémy MES jsou podle tohoto standardu založeny na platformě MOM, a tak tyto systémy bývají velmi často označovány jako MES/MOM.

4.8.3 Interakce mezi PLM a MES/MOM

Interakce těchto systémů přímo propojuje požadavky na výrobek, jeho návrh a výrobní informace. Díky tomu dokážeme zvýšit výrobní flexibilitu, rychlost a přesnost poskytování inovativních produktů.

Integrace PLM-MES umožňuje průběžně reagovat na měnící se požadavky trhu tím, že distribuuje své nejnovější návrhy výrobků a metody sestav na propojenější, účinnější a efektivnější výrobní řetězec hodnot a zajištění kompletního přehledu mezi výrobními a inženýrskými doménami [25].

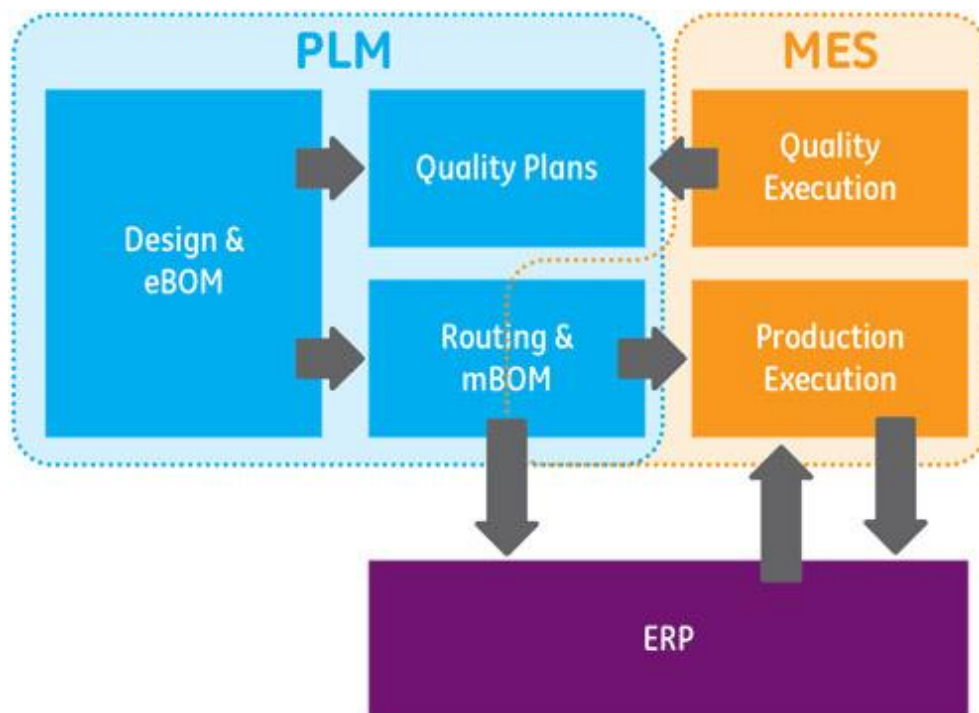
MES specifikuje zdroje, materiály, funkce, datové toky, generuje plány výroby a postupy jejich provedení, a to vše podle pravidel, které poskytuje standard MOM. Všechny tyto činnosti, jejich zdroje a výstupy potřebují organizační, manažerskou podporu, kterou dává k dispozici platforma PLM. Dění na úrovni MES bývá také označováno jako operační technologie (OT) a musí probíhat podle požadavků hodnototvorných dodavatelsko-odběratelských řetězců, které jsou zpracovávány v systému ERP. Mezi systémy MES a ERP tedy musí probíhat čilá výměna dat.

¹⁰ QMS – Quality Management System – Systém řízení kvality

¹¹ R&D – Research and Development – Výzkum a vývoj

¹² EMI – Enterprise Manufacturing Intelligence – Inteligence výroby podniku

¹³ APS – Advanced Planning and Scheduling – Pokročilé plánování



Obrázek 8: Komunikace mezi systémy PLM, ERP a MES [24]

Jak vyplývá z Obrázku 8, spolupráce mezi systémy MES a PLM spočívá převážně v kvalitě provedení, dosahování stanovených kvalitativních cílů a v provedení výroby. To nám umožní zkrátit dobu uvedení produktu na trh, poskytuje přehledné údaje klíčových ukazatelů výkonnosti a kontrolu kvality.

5 DIGITÁLNÍ VÝROBA A VIRTUÁLNÍ PROSTŘEDÍ

V této páté kapitole se budeme zabývat využitím virtuálního prostředí pro spojitě a dávkové procesy výroby. Jedná se o softwary, které poskytují určité funkce, které nám ulehčují mnoho práce, a to zejména při tvorbě nových výrobních linek, programů, řízení výroby a kvality... Opět se setkáváme s případem, kde digitální výroba byla vyvinuta na míru pro zpracovatelskou výrobu (zejména automobilový průmysl). Nyní už nebudeme popisovat jednotlivé funkce a možnosti těchto systémů pro diskrétní výrobu, ale rovnou budou vybrány ty části, které nám budou vyhovovat pro procesní výrobu. Tyto funkce budeme prezentovat softwarových nástrojích od firmy Siemens, a to Tecnomatix a COMOS.

5.1 Systém Tecnomatix

Digitální výroba je nedílnou součástí řízení životního cyklu produktů (PLM), hraje zásadní roli v počáteční výrobě zavedení produktů a také v dlouhodobé výrobě [26]. Jedná se o využití integrovaného počítačového systému sestávajícího ze simulace, 3D vizualizace, analýzy a různých nástrojů k paralelnímu vytvoření popisu výrobku a výrobního procesu. Digitální výroba se rozpracovala z výrobních iniciativ, mezi které patří návrh pro vyrobiteľnost, počítačově integrovaná výroba, štíhlá a flexibilní výroba. Tyto výrobní iniciativy by měly spolu kolaborovat při návrhu produktu.

Výhody plynoucí z PLM nelze dosáhnout bez jednotné výrobní strategie. Takže z digitální výroby se stává hlavní bod sjednocení mezi PLM, provozními aplikacemi a zařízeními.

Digitální výroba přináší následující výhody:

- zlepšení produktivity v plánování výroby a ve výrobních procesech,
- odzkoušení a ověřených plánovaných změn bez zásahu do výrobní linky,
- optimalizace procesů výroby dílů,
- vytváření flexibilních pracovních pokynů,
- snížení nákladů při uvedení stroje do výroby pomocí virtuálního ověření programů,
- vytváření modelů továrny,
- podpora Six Sigma¹⁴,
- jednodušší sdílení informací o kvalitě,

¹⁴ Six Sigma – slouží k identifikaci a odstranění příčin chyb v procesech výroby a obchodu

- provádění výrobních procesů s přístupem k údajům životního cyklu v reálném čase.

5.1.1 Vybrané funkce systému Tecnomatix pro spojitou a dávkovou výrobu

Nyní se dostáváme do fáze, kdy budeme vybírat funkce prostředí Tecnomatix, které budou použitelné i pro spojitou a dávkovou výrobu. Tyto funkce už nebudeme nijak upravovat jako v případě funkcí aplikace Teamcenter, ale jen popíšeme jejich přínosy.

Plánování a správa výroby

Plánování výroby můžeme provádět pomocí webové aplikace. Poskytuje plánování, řízení a provádění montážních testů spojených s plánem procesu. To umožňuje odladění nedostatků, vyhnout se problémům a spuštění výroby na první dobrou. Tyto testy probíhají ještě před samostatnou fyzickou konstrukcí výrobní linky prostřednictvím 3D modelu, jenž umožňuje seskládání a vizualizaci výrobní linky. Lze také stanovit, ověřit a optimalizovat potřebné zdroje a kroky výrobního procesu.

Návrh a efektivní uspořádání továrny a simulace pohybu materiálů

3D model lze vytvořit i pro celou továrnu, pak pomocí tohoto modelu můžeme efektivně uspořádat jednotlivá výrobní zařízení. Poté lze sledovat pohyb jednotlivých materiálů a příp. přeskládat továrnu tak, aby materiál nestrávil mnoho času pohybem mezi jednotlivými výrobními linkami a jeho absolvovaná vzdálenost byla co nejmenší.

Řízení kvality

Kvalita výrobku je jedním, ne-li nejdůležitějším faktorem pro úspěch produktu na trhu. Řízení kvality umožňuje identifikaci, analýzu a sdílení důležitých dat spojených s kvalitou produktu v celém podniku. Podílí se na vytváření účinnějších kontrolních strategií, automatizací kontrolních programů a ověřování tolerancí atd.

Simulace výroby

Hlavním úkolem simulace výroby je ověřit postupy a zdroje při plánování. Pomocí simulace výroby lze zkusit jednotlivé možnosti výrobního procesu s vysokým stupněm přesnosti, ověřovat metody před zavedením do výroby. Díky tomu je snížena potřeba testů na fyzickém zařízení. Simulace opět probíhá v 3D prostředí.

Virtuální uvedení do provozu

Nabízí nástroje pro efektivní kooperaci mezi simulací a řízením. Virtuální uvedení do provozu nám poskytuje digitální otestování mechanických a elektrických systémových komponent včetně programů pro PLC. To přináší velkou výhodu, protože programátoři mohou testovat svoje programy ještě před složením výrobní linky a tím snižují čas potřebný pro zavedení zařízení do provozu. Anebo pokud je nutné aplikovat nějakou změnu, může ji programátor nejprve odladit na modelu a pak nahrát na fyzické zařízení, a tak snižuje čas odstavení zařízení z výroby.

5.2 Průnikový inženýring

Významnou součástí PLM je inženýring. Odvíjí se od prvotní myšlenky na realizaci výrobku nebo výrobního zařízení, přes poptávku, nabídku, studie, koncepci, procesní 3D model, výrobní model, řešení MaR, automatizace, atd. až po konečný výrobní postup. Inženýring buď řeší sama výrobní firma nebo, což bývá častěji, je řešen jako subdodávka a je součástí dodavatelského řetězce.

V současnosti je inženýrský postup řešení projektu takový, že specifické činnosti inženýringu provádějí specializovaná oddělení, která si projekt předávají. V angličtině se pro tento postup vžila fráze: „throw it over the wall“. Tedy hodí se to přes zeď ke kolegovi. To je přístup, který chce Industry 4.0 změnit.



Obrázek 9: Průnikový inženýring [1]

V pojetí Industry 4.0 je tento rozčleněný a mechanický, často ještě manuálně zpracovávaný, inženýring automatizovaným postupem navrhování, kreslení výpočtů dimenzí potrubí, výkonu motorů, velikostí tanků apod., díky nástrojům, které jsou zakomponované v PLM a umožňují automatické, a hlavně paralelní postupy jednotlivých inženýrských disciplín.

Nejznámějšími nástroji používanými pro účely inženýrských návrhů jsou programy EPLAN a COMOS.

Systém COMOS je jednotná datová platforma, která slouží projektantům, provozovatelům a zřizovatelům zařízení k přístupu k datům projektu. Nabízí souhrnnou spolupráci nejrůznějších odvětví v rámci celého životního cyklu výrobku. COMOS je založen na objektové orientaci, kde objektem jsou popsána

grafická a technická zobrazení konstrukčních součástí zařízení. A tak všechny dokumenty a data související s výrobkem jsou propojeny s objektem a tvoří tím jednu jednotku (objekt, celek). Tyto objekty je poté možno upravovat v obou směrech – jak v technických listech, tak v technických výkresech.

COMOS je tedy softwarem, který lze používat pro komplexní řízení a správu zařízení po celou dobu jeho životnosti, napomáhá splnění cílů vyjmenovaných v předchozím odstavci a přináší následující výhody:

- mapování celého životního cyklu závodu na jedné datové platformě,
- důslednost a transparentnost při správě dat založených na orientaci objektu,
- zjednodušenou spolupráci všech zúčastněných oddělení a oborů,
- intuitivní a snadnou obsluhu,
- automatickou výměnu dat mezi různými systémy,
- optimalizovaný tok informací,
- kratší inženýrské procesy,
- optimalizaci technologických procesů.

5.2.1 Vybrané funkce z prostředí COMOS pro spojitou a dávkovou výrobu

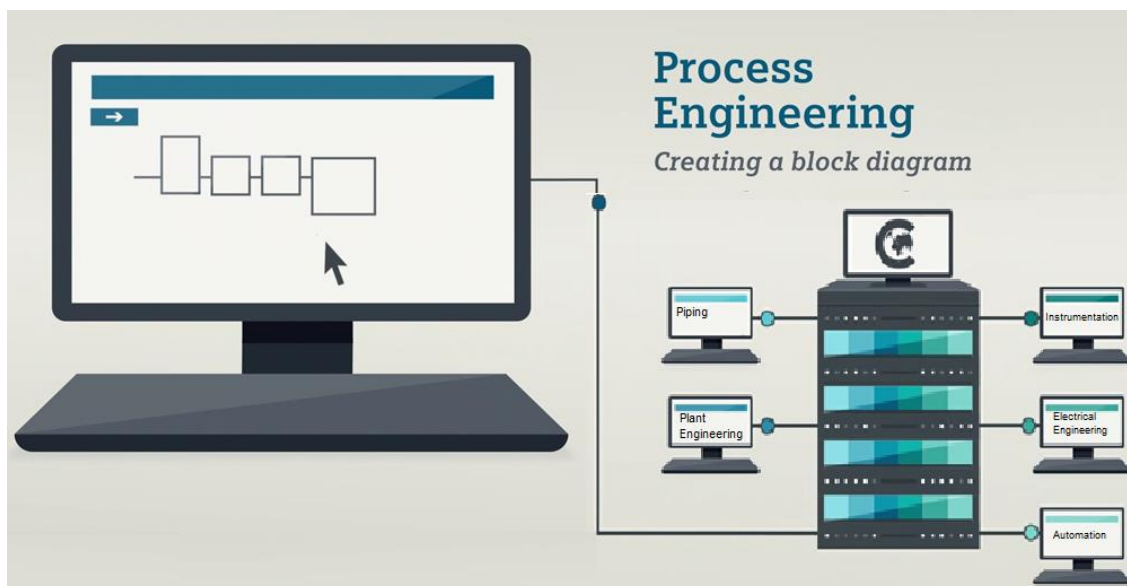
Opět budeme vyhledávat a vybírat funkce aplikace COMOS, které budou správně fungovat i pro spojitou a dávkovou výrobu, stejně tak, jak tomu bylo u aplikace Tecnomatix. Nyní se ale bude jednat o funkce, které ulehčí práci pracovníkům podílejícím se na tvorbě zařízení pro nový produkt. Zejména se jedná o automatizování těch činností, které již byly jednou provedeny.

Pro ujasnění je uveden následující příklad. Tvoříme program pro PLC v programu SIMATIC STEP7 a podmínkou je i vytvoření vizualizace pro dotykový panel. Jelikož program SIMATIC STEP7 nedisponuje možností vytváření vizualizace, musí se použít jiný program. Proto, aby spolu správně komunikoval program v PLC s vizualizací v panelu, se musí ručně vytvořit tzv. tagy, které definují proměnné propojené s vizualizací.

Z toho plyne, že daný pracovník musel provést definování proměnných v programu PLC pro vizualizaci a tytéž proměnné vytvořit jako tagy ve vizualizaci. Tím pádem prováděl danou činnost dvakrát. Systém COMOS nám odstraňuje tyto úkony, které se dříve musely vykonat vícekrát. A nejedná se pouze o činnosti spojené s tvorbou programu pro PLC a vizualizace, ale i v dalších částech návrhu zařízení.

Projektování technologických zařízení

Nejvýznamnější vlastností této funkce je předběžný hrubý odhad nákladů. Slouží jako výchozí údaj pro stanovení rozpočtu projektu pro projektanty a tvorbu PFD¹⁵. Pomocí blokových diagramů je možné znázornit výrobní proces, podle toho lze lépe vypracovat schémata technologických procesů. V těchto blokových diagramech jsou znázorněny směry toků materiálů a vztahy mezi procesy. Objekty umístěné v těchto diagramech jsou automaticky propojeny s významnými informacemi.



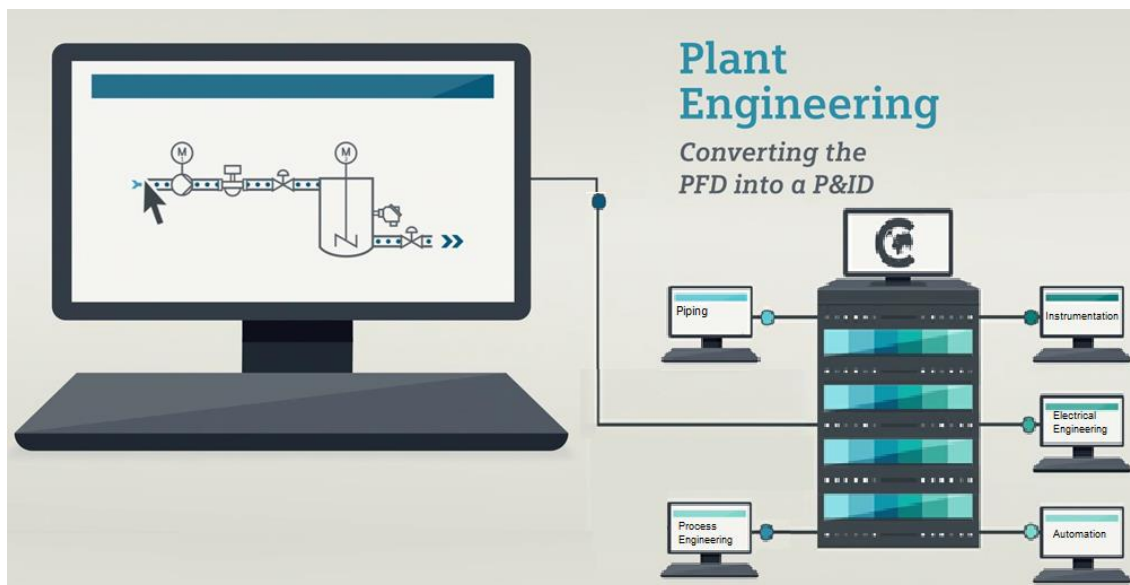
Obrázek 10: Projektování technologických zařízení [29]

Tato funkce obsahuje dokonce i svou knihovnu, kterou je možné doplnit vlastními prvky a opakovaně je používat. Lze také využívat již dříve vytvořená schémata technologického procesu a upravit je podle nároků na nový projekt.

Tvorba schémat P&ID

Jde o tvorbu schémat pomocí symbolů, které jsou opět umístěny v objektové knihovně a splňují mezinárodní normy. Tato prostředí automaticky rozpoznávají, jakých spojovacích dílů je potřeba, a správně je zařadí podle směru toku média. Poté se již nemusí kontrolovat správnost zařazení těchto dílů do schématu.

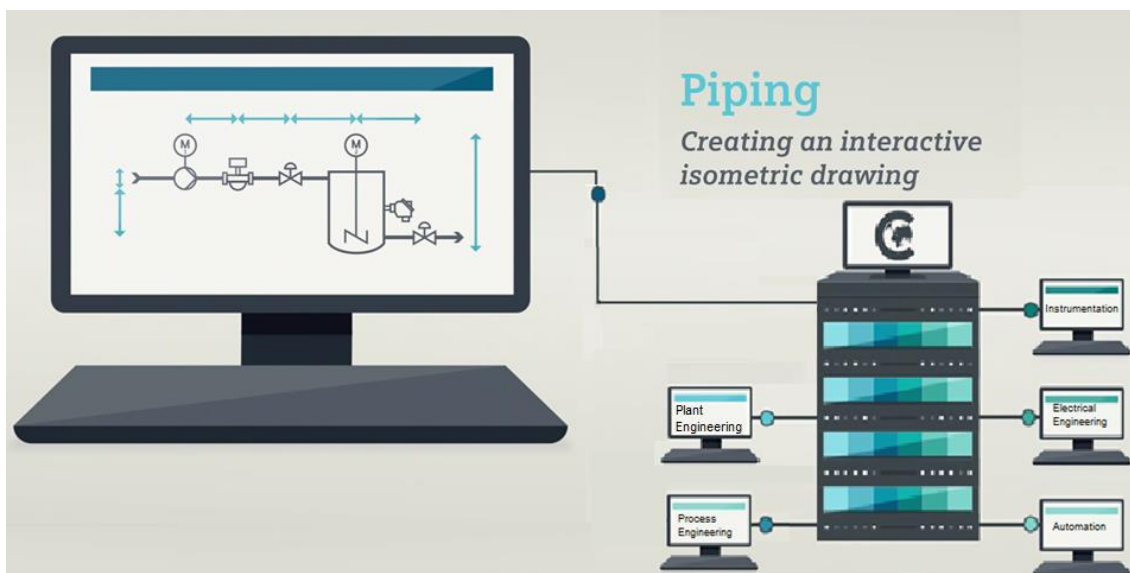
¹⁵ PFD – Process Flow Diagram – Diagramy procesního toku



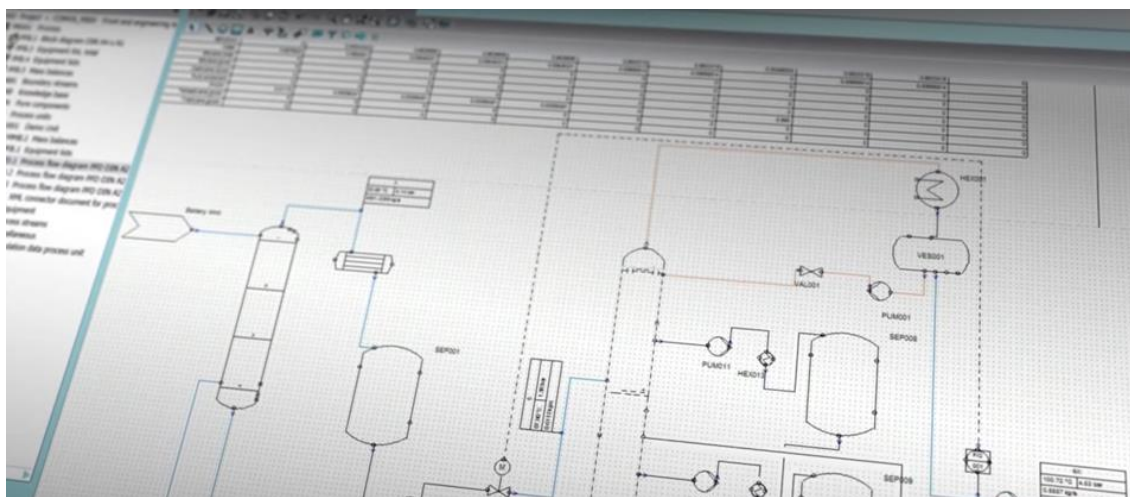
Obrázek 11: Tvorba schémat zařízení [28]

Návrh a správa potrubí

Používá se pro vypracování a správu tříd potrubí. Při projektování lze využívat předdefinovaných dílů potrubí, které opět splňují standardy. Vybírání dílů pro tvorbu technologického zařízení se orientuje pomocí parametrů: tlak, teplota, materiál.



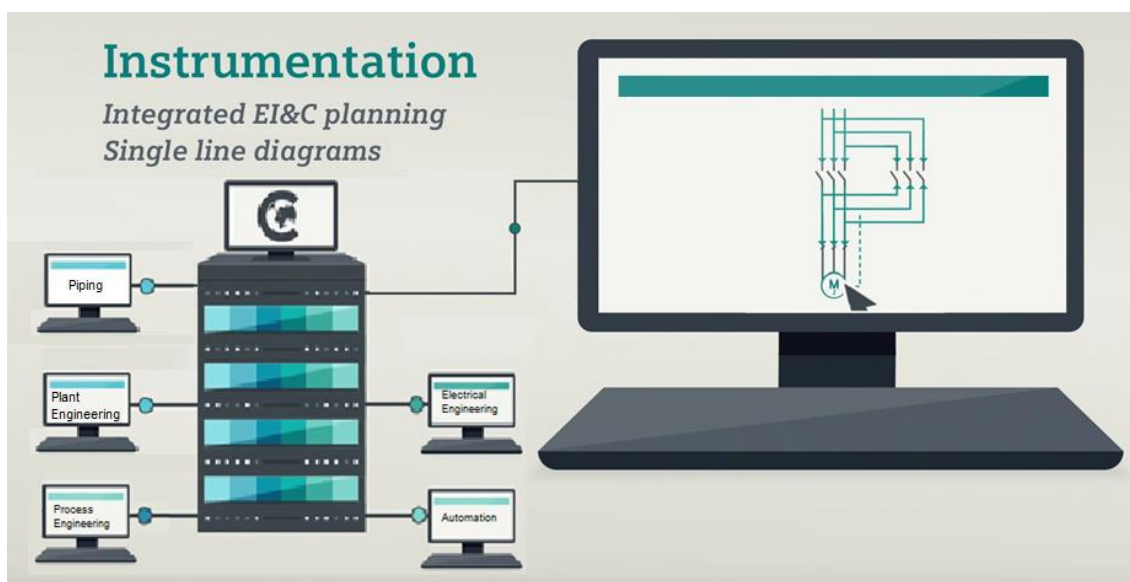
Obrázek 12: Návrh potrubí [28]



Obrázek 13: Přenos konzistentních dat napříč všemi odbornostmi [28]

Integrovaný návrh technologických zařízení

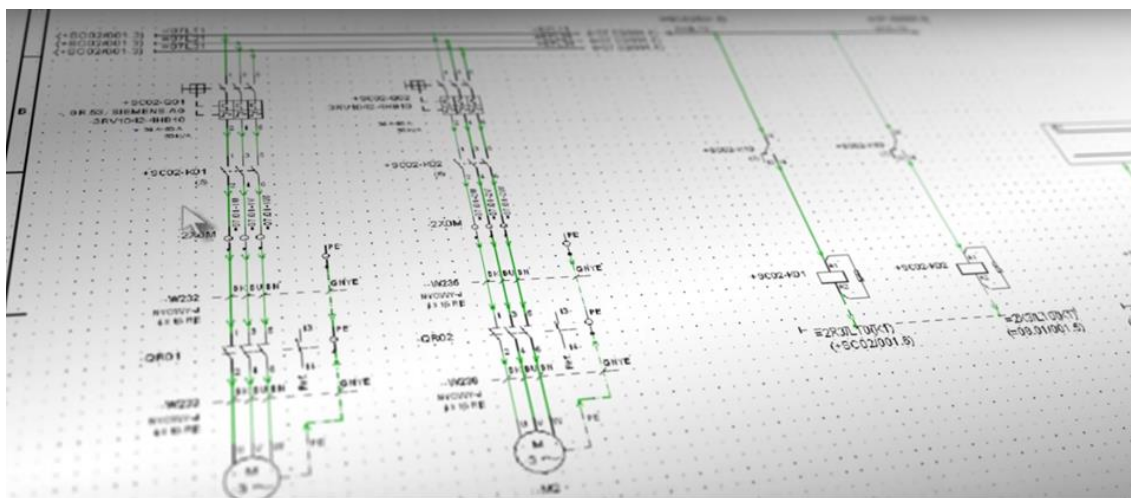
Využití nachází v odvětví elektroinstalace pro návrh rozváděčů včetně řešení automatizace. Zobrazení schémat je možné ve dvou režimech, a to v jednopólové nebo vícepólové podobě. Při tvorbě schématu je prvek definován jen jednou a nezáleží, jaké zobrazení je aktivováno, protože prvky mají definovány atributy, které odpovídají všem zobrazením, specializacím a oborům. Lze vytvářet, ukládat šablony a vzory, což šetří čas, peníze a zvyšuje kvalitu.



Obrázek 14: Integrovaný návrh technologických zařízení [30]

Informace o napětí se odvozují automaticky z napětí napájecích sběrnic, se kterými jsou převzata i jejich označení. Normované zobrazení je možné mít v IEC nebo JIC standardu, mezi kterými lze dokument automaticky převádět libovolným směrem, a tak není potřeba manuálního převodu dat. Opět jsou k dispozici bohaté

knihovny odpovídající mezinárodním standardům. Tyto objekty, definované v knihovně, lze přizpůsobovat individuálním potřebám a případně vytvářet nové.



Obrázek 15: Tvorba elektro projektu [28]

Velmi jednoduše jdou vytvářet signálová propojení, která jsou stanovena v zapojovacích schématech. Není nutné ručně definovat jednotlivá propojení, protože je možné signály hromadně připojit. Návrh dílčích okruhů je prováděn automaticky podle ranžirovacích dat.

Seznamy a přesný popis ranžirovacích skříní, kabelů a objednávkových specifikací se vytváří automaticky. Při každé provedené změně se tyto dokumenty automaticky aktualizují.

Pro jednotlivé přístroje a sítě můžeme stanovit zatížení a výkon. Pokud dojde k překročení maximálního výkonu, jsou tyto části vizuálně znázorněny. Při tvorbě řídicí skříně lze mít náhled v 3D nebo v 2D. Jsou brány na zřetel různé parametry (např. stavební rozměry, hloubkový a výškový odstup zařízení...). Dále probíhá automatické propojení podle stanovených kritérií, výpočet délky vodičů a jejich dimenzování, upravení délky vodičů, provede se jejich zakončení podle specifikace a označí je na obou koncích. Mimo elektrické součásti a spoje jsou ve výkresech k dispozici data otvorů řídicí skříně, která mohou být dále přímo předána řídicím jednotkám vrtaček a fréz.

Data týkající se hardwarové konfigurace PLC automatů jsou díky propojením s automatizačními systémy (např. SIMATIC) automaticky poskytnuta těmto systémům, a tak je není potřeba znovu definovat.

Management servisu a údržby

Management servisu a údržby slouží pro archivaci a správu všech dat významných pro údržbu a servis. Umožňuje přidělovat obsluhujícím pracovníkům kvalifikace a pracovní úkony. Tím lze ušetřit finanční prostředky a optimalizovat pracovní

produkty, protože je možná spolupráce středisek a přehledná správa zaměstnanců na daných odděleních.

Plánování a provedení provozních odstávek výrobního zařízení

Plánování a provedení provozních odstávek výrobního zařízení umožňuje přesnou a jistou komunikaci při plánování odstávky zařízení. K tomu jsou využívána data z předešlých odstávek, mezi které patří doba odstávky, problémy vyskytnuvší se během odstávky atd.

Příkazy a postupy pro servis, údržbu nebo odstávku mohou být nahrány do mobilního zařízení. Pracovník je má tudíž neustále k dispozici a tím je sníženo riziko chyb a usnadněná práce s vyplňováním servisního protokolu.

Správa dokumentů

Je potřeba, aby všechny dokumenty, týkající se daného výrobního zařízení, byly vždy a jednoduše přístupné. Jedná se převážně o materiály vzniklé v jiných aplikacích než COMOS, anebo o podklady dodané výrobcí (např. specifikace přístrojů). Jelikož jde o data, která vznikla mimo COMOS, nemusí být v něm kompletně integrovaná, a proto je nutná jejich správa. Tu zajišťuje tato funkce, která zaručuje spolupráci s běžnými kancelářskými programy, archivaci kdo, kdy a co nahrál. Umožňuje schvalování dokumentace a export do PDF, opět jsou připojena k objektu data o historii, autorovi, kontrolních krocích a schvalujícím zaměstnanci.

6 NÁVRH DIGITÁLNÍ TOVÁRNY PRO SPOJITOU A DÁVKOVOU VÝROBU

Návrh digitální továrny pro spojitou a dávkovou výrobu bude vycházet z poznatků uvedených v předchozí kapitole. Jednotlivé funkce a prostředí v ní byly popsány, a tak nám zbývá jen je aplikovat na spojitou a dávkovou výrobu.

1. Specifikace požadavků na produkt a výrobu

Pro specifikaci požadavků na produkt bychom mohli využít údajů získaných z PLM, např. ze systému Teamcenter a jeho modulu pro *řízení požadavků*. Díky tomu budeme schopni vyjít vstříc poptávce na trhu, a tím si zajistit úspěch našeho výrobku. Z toho nám vyplynou požadavky na samostatné zařízení. Proto pro změnu využijeme *projektování technologických zařízení* inženýrského systému jako je COMOS, pomocí kterého můžeme odhadnout náklady a provést vizualizaci výrobního procesu.

2. Návrh zařízení

Jakmile máme definované všechny požadavky a splněný předchozí bod, můžeme začít s návrhem výrobního zařízení. Nejdříve bude nejlepší vytvořit jeho model. Výrobní zařízení jistě bude obsahovat elektroinstalaci, řídicí jednotku (PLC), potrubí pro dopravu materiálu, fluidní prvky a dílčí jednotky, např. hořák, čerpadlo, míchadlo... Také bychom měli v této době již uvažovat, kde bude výrobní linka umístěna.

Pro tyto úkoly využijeme opět funkce aplikace Tecnomatix: simulace výroby, řízení kvality i návrh a efektivní uspořádání továrny a simulace pohybu materiálu. Z aplikace COMOS použijeme funkci tvorbu schémat P&ID, návrh a správu potrubí, integrovaný návrh technologických zařízení a technické činnosti pro hydrauliku, pneumatiku, chlazení a mazání.

V neposlední řadě bychom měli začít objednávat potřebné materiály, čidla, zařízení atd. Nemusíme ztrácet čas opětovným vytvářením specifikací jednotlivých prvků. Vše převezmeme z předchozích funkcí a jen zašleme dodavatelům seznamy jednotlivých soupisek materiálů z modulu *správa vztahů s dodavateli* aplikace Teamcenter.

3. Sestavení zařízení a tvorba programů pro PLC a vizualizaci

Z projektování elektroinstalace a fluidních schémat se nám postupně propadají data do různých modulů, a to i do automatizačních systémů. Když začínáme s tvorbou programu pro PLC, již máme definovanou hardwarovou konfiguraci PLC automatu

a známe použité vstupy a výstupy a jejich zapojení. Při tvorbě programu se můžeme inspirovat dříve napsanými programy, používat je a upravovat. Můžeme také postupovat podle blokového diagramu výrobního procesu a ze simulace výroby.

Pro vizualizaci již nemusíme vytvářet tagy, protože vzniká ve stejném programu jako kód pro PLC, a proto můžeme využít ve vizualizaci jakoukoliv vytvořenou proměnnou.

Podle definovaných postupů, návodů a modelů uvedených v aplikacích Teamcenter, Tecnomatix a COMOS mají pracovníci pracující na sestavení výrobní linky k dispozici veškeré podklady, které si mohou vytisknout, prohlížet na PC či mobilním zařízení.

4. Ověření programu

Máme vytvořený model, napsány programy pro PLC a vizualizaci, a ještě nemusíme mít k dispozici výrobní linku. A tak máme možnost zkusit ověřit správnost programů. K tomu využijeme simulační nástroj, např. SIMIT od společnosti Siemens, určený pro testování a virtuální uvádění do provozu programů pro PLC. Hlavní předností tohoto softwaru je možnost vytváření real-time simulací vstupů/výstupů, zařízení (např. motorů) a procesů na výrobní lince. Simulační nástroj tedy umožňuje odstraňování chyb v řídicím programu pro PLC díky testování na vytvořeném modelu výrobní linky, pro kterou je tento program určen, a to v pohodlí kanceláře vývojáře a bez rizik plynoucích z ladění programu na reálné lince u zákazníka. Výsledkem je úspora času a peněz vynaložených na projekt. Pokud nemáme fyzicky k dispozici PLC, můžeme to provést pomocí virtuálního PLC, které připojíme k počítači, nastavíme požadovanou komunikaci a ověříme v obou případech správnost výrobního procesu.

5. Uvedení do výroby

Pokud jsou splněny všechny předchozí body a podmínky na kvalitu, můžeme přejít k bodu uvedení výroby do provozu. Pověření pracovníci nahrají program do PLC a panelu, jestli tak nebylo provedeno dříve. Pak ověří funkčnost výrobního zařízení. Pokud je vše v pořádku, je nutné ještě ověřit kvalitu výsledného produktu a může se zařízení předat do výroby.

6. Plánování výroby, servisu, údržby a provozních odstávek

Pro plánování výroby využijeme modulu systému COMOS *plánování a správa výroby*, která bude záviset na požadavcích trhu (Teamcenter – *řízení požadavků*). Pro řízení servisu a údržby použijeme *management servisu a údržby* a pro plánování odstávek *plánování a provedení provozních odstávek výrobního zařízení*, obě z programu COMOS.

7. Správa dokumentů

Je nezbytně nutné archivovat všechny dostupné dokumenty týkající se výrobního zařízení. A tak soubory a dokumenty, které nebyly vytvořeny v systémech COMOS, Teamcenter a Tecnomatix, případně SIMIT, je nutné nahrát. K tomu nám dobře poslouží *správa dokumentů* (COMOS) a *správa dokumentů a obsahu* (Teamcenter).

7 ZMĚNA RECEPTURY ŘÍZENÁ PRVKY PLM A VIRTUÁLNÍHO PROSTŘEDÍ

Toto téma je silně spojeno s pojmem customizace. Customizace je přizpůsobení produktu a výroby podle přesných požadavků zákazníka. Uvedme si opět jednoduchý příklad. Máme podnik na výrobu aut. Zákazník si u nás na pobočce, anebo z pohodlí domova, vyspecifikuje požadavky na nové auto, které můžou obsahovat, o jaký vůz se jedná, jaká je barva, typ motoru, čalounění... Prostě si zvolí parametry, které mu nejvíce vyhovují. V tom by nebyl v dnešní době problém, takové firmy již existují, ale zejména v diskrétní výrobě. Ale největším bodem tohoto tématu je, aby se tyto požadavky správně aplikovaly i ve výrobě. Pokud by bylo možné, že se výrobní linka automaticky přestaví podle požadavků na výrobu, ušetřily by se náklady a urychlila výroba. Navíc by měl zákazník možnost sledovat, v jakém kroku výroby se jeho produkt nachází a jestli dojde k dodržení termínu dodání.

7.1 Customizace při zpracování tekutých materiálů v tancích

Tomuto tématu se budeme věnovat v souvislosti se spojitou a dávkovou výrobou. Velmi důležité je si hned na začátku uvědomit, že customizace ve spojitě a dávkové výrobě nepůjde zcela použít, protože si nedokážeme představit, a možná by to nebylo ani technologicky možné, že by z výrobní linky vycházel každý produkt jiný, např. u výroby šamponů, pečiva, léků, cementu... Tyto produkty se totiž buď vyrábí v dávkách (míchání v tanku), anebo médium neustále postupuje mezi výrobními procesy.

Velikost tanků

V tomto případě se budeme věnovat dávkové výrobě tekutých materiálů ve dvou tancích. Jestliže chceme vyhovět přáním zákazníka, bude nejspíše nezbytně nutné zmenšit objem obou tanků tak, aby výroba na sklad byla co nejmenší a abychom byli schopni vyhovět požadavkům většiny zákazníků. Velikost těchto tanků by se měla odvíjet podle požadavků trhu (sledovaných v PLM) na dané množství materiálu a také na délce trvání výrobního procesu, protože je nemyslitelné, že bychom za den vyrobili jen desítku či stovku kusů výrobku.

Zákazníkem nejspíše nebude fyzická osoba, protože ta by si určitě neobjednala na jednu paletu např. šamponů. V tomto případě bude zákazníkem prodejní řetězec, který dokáže prodat takové množství výrobků.

Čištění aparatur a příprava nové výroby

Dalším problémem je čištění aparatur při změně výroby. Před zahájením téměř každé výroby tekutých materiálů je nezbytné vyčištění výrobní linky, aby byla dodržena kvalita produktu a nedocházelo k plýtvání prostředků. Na čištění musí dohlížet pracovníci k tomu určení, takže i to nám zkracuje dobu výroby, a tím přicházíme o svoje zisky.

Jakmile je zařízení vyčištěno a specifikovány parametry výrobku, je nutné přestavit výrobu na nový produkt, např. výměnu čidel, míchadel, nožů, raznic atd. Některé výměny by mohly být provedeny automaticky pomocí robotů, ale většinu z nich musí vykonat opět pověření pracovníci. Avšak i toto si můžeme nasimulovat, vytvořit postupy, programy atd. v aplikacích Tecnomatix a COMOS.

Uvedení do provozu

Uvedení do provozu pro nás již není nic nového. To by probíhalo stejným způsobem a častěji, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole.

Údržba a odstávky

S tímto principem by odpadala nutnost údržby a provozních odstávek výroby, protože by se v rámci přechodu mezi jednotlivými výrobami automaticky provedly.

Tvorba programů pro PLC a návrh zařízení

Tvorba programů pro PLC a návrh zařízení by probíhaly stejně jako v předchozích případech. Protože i dříve jedna linka mohla vyrábět různé typy výrobků, jen by se musela zvážít a případně naprogramovat možnost automatické výměny jednotlivých nástrojů.

7.2 Shrnutí problému customizace v dávkové výrobě

V dávkové výrobě má i customizace své postavení, jen je nutné najít správný kompromis. Po stránce aplikací pro digitální továrnu, PLM a virtuálního prostředí je tento problém dostatečně zahrnut a vyřešen.

Největší nedostatky vznikají při přechodu mezi jednotlivými typy výrob. Nejdůležitějším faktorem bude vymyslet co nejvíce automatizovaný systém, který bude samovolně přepínat mezi jednotlivými výrobky spolu s výměnou nástrojů a přípravou na novou výrobu. I tak v dnešní době neodpadne potřeba lidské práce při přechodu mezi výrobami. Ale pomocí dříve popsanych principů může být tato činnost dopodrobna naplánována a řízena. Tím je usnadněna a urychlena práce pracovníkům, kteří danou přeměnu provádí, protože mají dostatečné a přesné podklady a návody.

Jak už bylo zmíněno dříve, je nutné najít správný kompromis. Jedním bodem je např. zmenšení tanků, ale za to zvýšení jejich počtu. Dále dojde na nutnost úpravy programu, připravenost jednotlivých zaměstnanců, a hlavně sběr požadavků od zákazníků a např. tvorba stránek pro zadávání požadavků.

Mimo tvorbu stránek jsou nám velmi dobře nápomocny systémy COMOS, Teamcenter a Tecnomatix, ale nejen ty, protože na trhu je více dalších programů, které mají obdobné vlastnosti a usnadňují nám spoustu práce.

8 PRŮMYSL 4.0

V této kapitole si stručně uvedeme jednotlivé body z iniciativy *Průmyslu 4.0* (angl. *Industry 4.0*, zkr. *I4.0*), které se nejvíce promítnou právě do průmyslové automatizace. Jedná se o směr, který byl poprvé představen na veletrhu v Německu. Velmi často bývá Průmysl 4.0 označován také jako čtvrtá průmyslová revoluce, která již běží na plné obrátky, ale my se nacházíme teprve na jejím začátku. Je nezbytné upozornit, že tato změna nenastane ze dne na den, ale potrvá několik let.

Hned se vyskytuje otázka, o co se vlastně vůbec jedná? Tato iniciativa se věnuje převážně začlenění kyberneticko-fyzikálních systémů do průmyslové automatizace a minimalizování lidské práce při výrobě produktů. To však neznamená, že lidé budou úplně bez práce. I když dojde k zániku některých pozic, mnohé nové budou otevřeny.

Další otázkou je, proč je potřeba se tímto směrem vůbec zabývat? Jedním z důvodů je to, že již delší dobu dochází k velkému zpomalení hospodářského růstu. Dalším důvodem je rapidní rozkvět informačních technologií, který probíhal mimo průmyslovou výrobu. A proto se budeme snažit co nejvíce začlenit prvky informačních technologií právě do automatizace. A ještě je tu jeden cíl, který se spojuje s pojmem *Industry 4.0*. Jde o výrobu na zakázku, a to i pro běžného zákazníka, a ne, jak je tomu i dnes, jen pro bohaté obyvatele planety Země.

Průmysl 4.0 se netýká jenom automatizace, ale i mnoha dalších odvětví, např. elektroniky, telekomunikační technologií, obchodních činností atd. Iniciativa *Industry 4.0* zahrnuje vše, čeho bylo v současnosti v oblasti průmyslové automatizace dosaženo, týká se kompletně všech typů výrob (ne jak tomu bylo u některých dřívějších standardů, které se zabývaly jen určitým typem výroby), všech průmyslových sektorů, sociálních a environmentálních aspektů průmyslu...

8.1 Charakteristiky Industry 4.0

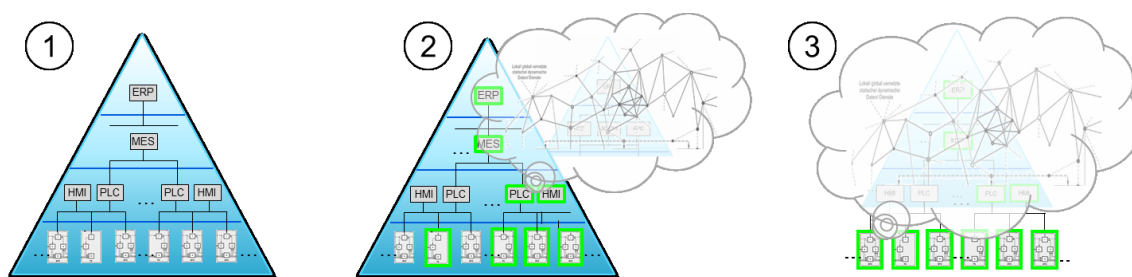
Pro charakterizování Průmyslu 4.0 jsou nejčastěji zmiňovány tyto tři hlavní body, kterými se také budeme v této práci zabývat:

- vertikální propojení,
- horizontální propojení,
- průnikové inženýrství a virtuální zprovoznění.

8.1.1 Vertikální propojení

Pokud mluvíme o vertikálním propojení, máme na mysli automatizační pyramidu (viz Obrázek 16, část ①). Tato pyramida představuje obvyklé vertikální uspořádání

automatizačních funkcí technologických procesů, které se skládá ze čtyř vrstev, mezi nimiž probíhá komunikace.



Obrázek 16: Vývoj automatizační pyramidy v Industry 4.0 [35]

Na Obrázku 16 jsou vyobrazeny stávající podoba a předpokládané změny, které se v rámci Industry 4.0 budou muset provést. Položka ① znázorňuje automatizační pyramidu před touto průmyslovou revolucí. Následující dvě položky naznačují předpokládaný vývoj této pyramidy. Ve skutečnosti se jedná o dvě možná řešení, která mohou podle odborníků nastat (Obrázek 16, části ② a ③).

První skupina odborníků předpokládá, že systém MES zůstane a jeho funkcí bude agregace nových datových toků. Druhá část odborníků zase se systémem MES ve vertikálním propojení vůbec nepočítá. Ale ať nastane jedna nebo druhá varianta, tak i tak bude muset dojít k úpravě systému MES. Nejspíše bude tento vývoj probíhat ve dvou fázích, přičemž první fáze bude MES využívat a přímé propojení řídicí procesní vrstvy s cloudem bude provedeno až ve druhé fázi.

Transformace ve vertikálním propojení se projeví změnou v hierarchii vrstev, především ovlivní jejich stejnorodost. Pro *procesní výroby*¹⁶ je typická objemná dávka dat, která se přesunuje z procesní vrstvy do vrstev vyšších (stavy). Při přesunu v opačném směru se jedná o povely. Tento přesun dat zatím zprostředkovává PLC, ale s nástupem smart senzorů spolu s připojením na internet bude možné poslat data z procesní vrstvy na jakékoliv jiné místo v pomyslné pyramidě.

Dalším pojmem, který je s Průmyslem 4.0 velmi často zmiňován, je *Internet věcí (IoT)*, nebo také *Industrial Internet*. Z toho vyplývá, že pro komunikaci mezi entitami této pyramidy nebudou používány jen průmyslové sítě, ale i internet.

8.1.2 Horizontální propojení

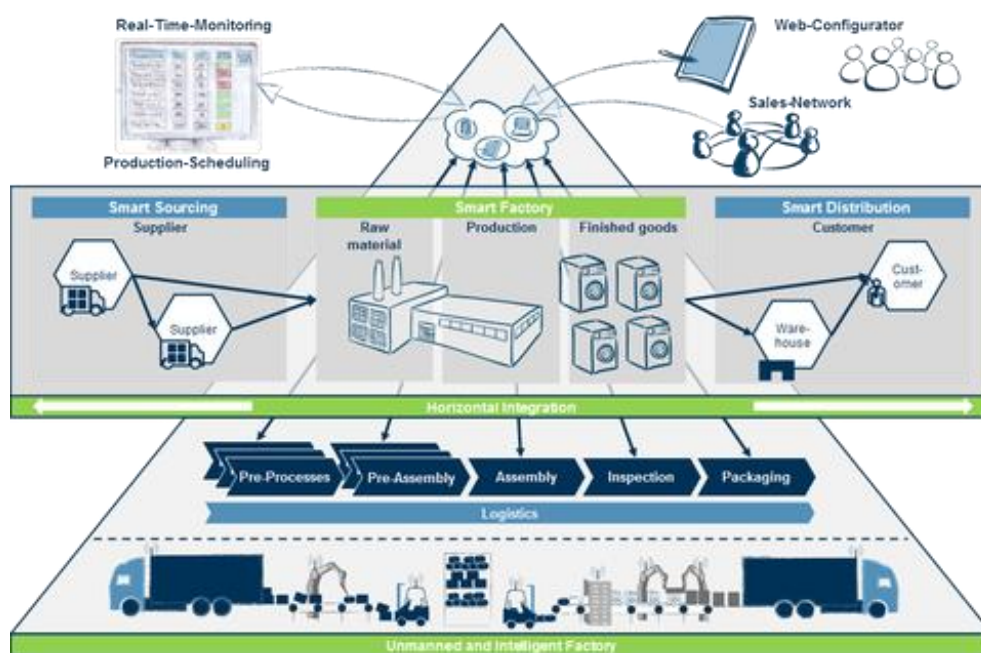
Pod pojmem horizontální integrace je myšleno propojení výroby, resp. podniku s dodavateli. Od toho je odvozen název obchodní řetězec či dodavatelsko-

¹⁶ Procesní výroba – pro Industry 4.0 byly do jedné skupiny průmyslu zahrnuty dávkové a spojitě procesy

odběratelský řetězec, který je označován zkratkou SCM (Supply Chain Management).

V I4.0 horizontální integrace přesahuje vnitřní operace výrobního podniku. Pomocí nové generace souhrnných hodnototvorných sítí spojuje všechny subjekty dodavatelsko-odběratelského řetězce, který začíná u dodavatelů, pokračuje přes výrobce a končí u distribuce výrobku koncovému zákazníkovi, přičemž počítá i s následným servisem. Mimo to zahrnuje obchodní partnery zákazníky napříč jednotlivými zeměmi.

Do customizace se to promítne tak, že v reakci na přání zákazníka ohledně nového výrobku, dostanou subdodavatelské firmy požadavek na patřičné komponenty okamžitě (v reálném čase), protože pomocí horizontální integrace jsou propojeni pomocí IoT všichni dodavatelé se závodem. V tomto propojení hraje velkou roli i samotná platforma PLM, které jsme se věnovali v kapitole 4.



Obrázek 17: Horizontální integrace v Industry 4.0 [36]

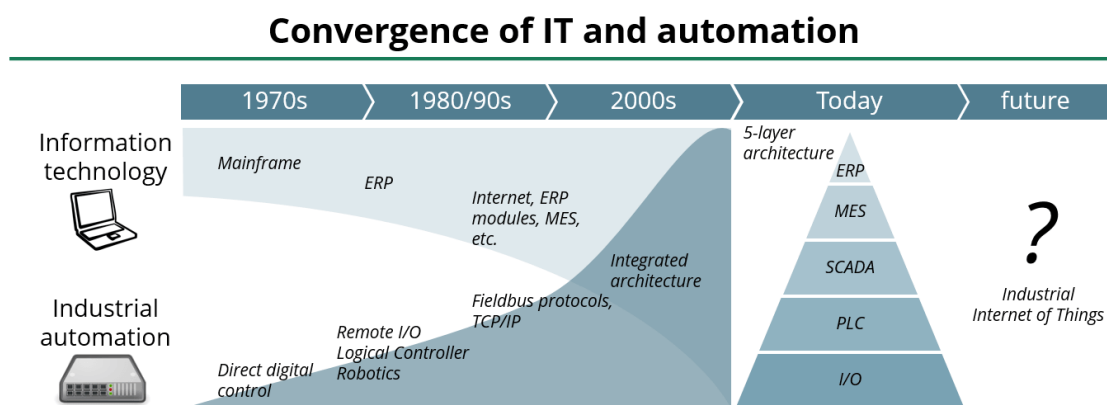
8.1.3 Průnikové inženýrství a virtuální zprovoznění

Jedná se o zvláštní případ propojení vertikální a horizontální integrace vztahující se na inženýrské činnosti, které zahrnují mimo jiné plánování životního cyklu, zadání požadavku, design, vývoj, realizaci... To nám ulehčuje spolupráci mezi konstruktéry a výrobními inženýry. V Průmyslu 4.0 je to velmi žhavé a důležité téma, kterému se díky PLM věnuje patřičný význam.

Virtuální zprovoznění je dalším termínem, spojeným s I4.0. Umožňuje nám dřívejší uvedení stroje do provozu, testování výroby nových produktů a technologií, poskytuje rozsáhlé simulace.

8.2 Konvergence operačních a informačních technologií

Mezi operační technologie (OT) spadají procesy, které vytváří přidanou hodnotu. Tuto kategorii tvoří zařízení, senzory a software nezbytný pro řízení a sledování výrobních provozů a zařízení. Konkrétně se jedná o MES, SCADA, pohony, čidla, ventily atd. Z toho plyne, že tyto prvky operačních technologií jsou nějakým způsobem propojeny s fyzickým světem. Informační technologie (IT) jsou na rozdíl od OT od fyzického světa odpojeny. Mezi prvky IT patří ERP a CRM¹⁷, z toho vyplývá, že se převážně jedná o HW infrastrukturu a SW aplikace zpracovávající data.



Obrázek 18: Konvergence operačních a informačních technologií [37]

Tyto dvě samostatné skupiny v rámci podniku mají odlišné cíle a zájmy. IT pracovníci se se nepodílí na zisku či ztrátě, kdežto na pracovnících z OT leží veškerá zodpovědnost. V posledních několika letech OT začíná přebírat a začleňovat funkce právě z IT odvětví. Například takový *IP (Internet Protocol)* získává postavení univerzálního síťového protokolu a spolu s ním se rozšiřuje také operační systém *Windows* na více výrobních zařízeních.

8.3 Kyberfyzické systémy

Kyberfyzické systémy (CPS – Cyber Physical Systems) vznikly spojením fyzických entit, které jsou řízené počítačovými algoritmy. V těchto systémech mohou jednotlivá inteligentní zařízení navzájem komunikovat a spolupracovat. Kyberfyzické systémy ztvárňují východisko pro vytvoření IoT, který spolu s internetem služeb poskytuje funkci podle iniciativy Industry 4.0.

¹⁷ CRM – Customer Relationship Management – Řízení vztahů se zákazníky

S těmito kybernetickými systémy musíme počítat i ve spojité a dávkové výrobě, i když nedochází k prostorové manipulaci s výrobkem jako u produkcí diskrétních a číslicových (*zpracovatelská výroba*¹⁸). Mezi typické CPS patří převážně roboti a s nimi se setkáme v procesní výrobě jen výjimečně, ale i přesto lze CPS v dávkové výrobě vytvořit a využít, a to za účelem customizace produktů. Pokud připojíme tank, ve kterém mícháme anebo tepelně zpracováváme vstupní suroviny, dávkovací zařízení, mixer, ohřívač apod. na internet, stanou se kyberfyzickými systémy.

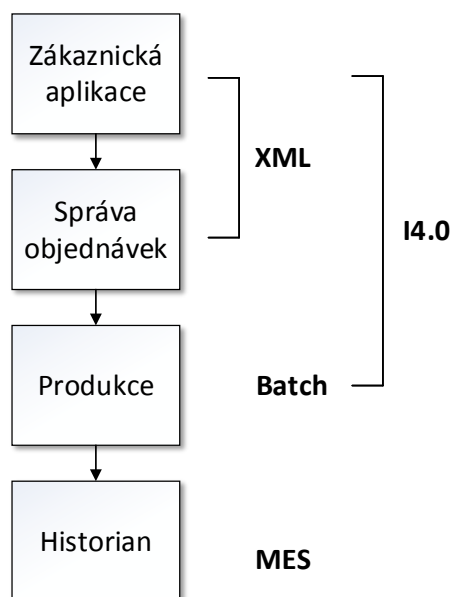
¹⁸ Zpracovatelská výroba – pro potřeby Industry 4.0 byla vytvořena i druhá skupina průmyslu, která zahrnuje diskrétní a číslicovou produkci

9 REALIZACE PROGRAMU PRO ZPRACOVÁNÍ TEKUTÝCH MATERIÁLŮ VE DVOU TANCÍCH

V předchozích kapitolách jsme se z pohledu Industry 4.0 zabývali spojitou i dávkovou výrobou, ale nyní se můžeme zabývat pouze jednou z nich. A tak jsme se rozhodli, že bude vytvořena aplikace pro dávkovou výrobu, která se bude zabývat zpracováním tekutých materiálů pomocí tanků. Tato produkce je totiž v šaržové výrobě velmi častá a díky tomu se můžeme přiblížit praxi.

Jedním z dalších důvodů, proč byl tento typ výroby vybrán, je to, že je používán i v laboratořích. Tento projekt se zde tvoří v *PLC SIMATIC S7* a musí splňovat požadavky standardu ISA-88¹⁹ (zkr. S88). Mimo jiné se zde využívá prostředků automatizace jako je Bach a MES.

Námi vytvořená aplikace slouží jako rozšíření tohoto projektu za předpokladu, že bude splňovat požadavky standardu S88 a Industry 4.0. Dále také musí umožňovat zobrazení dat pomocí MES systému.



Obrázek 19: Struktura aplikace

Jak již bylo poznamenáno, součástí této diplomové práce je i vytvoření aplikace. Ta nám má simulovat zpracování tekutých materiálů ve dvou tancích s možností customizace. Jedná se o míchání barev, kde si zákazník navolí, z jakých poměrů barevných složek (RGB) se bude jeho výsledná barva skládat. Na Obrázku 19 je vyobrazena její struktura. Ta je rozdělena do čtyř dílčích částí. První část *zákaznická aplikace* nám splňuje požadavek na Industry 4.0, kde se jedná

¹⁹ ISA-88 – standard zabývající se dávkovou výrobou

o možnost zadávání objednávek a vytvoření finálního produktu podle požadavků zákazníka.

Druhá část se zabývá *správou objednávek*. Ta nám zprostředkovává výměnu dat mezi *zákaznickou aplikací* a *výrobou*. Podle požadavků zákazníka uložených v objednávce se nastaví parametry výroby, a podle nich je pak vytvořen žádaný produkt. Dále se tento modul stará o ukládání všech objednávek a jejich zařazení.

Třetí úroveň aplikace je samotná *výroba*. Jak již bylo napsáno, splňuje požadavky standardu S88 a je ji možné ovládat pomocí prostředků systému Batch.

Poslední část se zabývá sledováním a zobrazováním dat pomocí modulu *Historian* systému MES.

V následujících bodech bude popsána vytvořená aplikace a její obsluha, tím je míněno správné vyplnění objednávky a popis funkce programu. Velmi důležitými body, které je nutné zmínit je, že aplikace byla vytvořena v prostředí *TwinCAT 3* od firmy *Beckhoff*. Zadaná objednávka se exportuje do souboru typu XML, obsahujícího její stav, požadavky od zákazníka a informace o výrobě.

9.1 Zadání úlohy

Před samotným započítím popisu funkce celé aplikace je nutné stanovit body zadání. Jak už bylo napsáno dříve, cílem je vytvořit aplikaci, která realizuje výrobu tekutých materiálů ve dvou tancích (míchání barev ze tří barevných složek RGB)). Zákazníkovi bude mít možnost vyplnit objednávku prostřednictvím internetových stránek, navolit jednotlivé parametry výroby a složení finálního produktu. Při tvorbě aplikace mají být brány na zřetel požadavky standardu S88, mezi které patří opakované použití a modularita.

Pro obsluhu aplikace má být k dispozici vizualizace, která dovoluje vytvoření objednávky v případě, kdy zákazník sdělí svůj požadavek pomocí e-mailu, telefonu... Dále má vizualizace umožňovat spuštění výroby jakékoliv objednávky, třeba i té, která již byla jednou vyrobena, a ovládání procesu výroby ve dvou režimech (manuálním a automatickém). Kromě toho by měla zobrazovat výšky hladin jednotlivých tanků a informace v jakém stavu se právě proces výroby nachází.

Po aplikaci je požadováno ukládání objednávek do souboru XML²⁰. Mimo to je vyžadováno do těchto XML souborů zaznamenávat údaje o výrobě, což zahrnuje datum produkce a na jakém zařízení výroba probíhala. Spolu s těmito údaji je ukládán i stav objednávky (nevyrobená, vyrobena).

²⁰ XML – Extensible Mark-up Language – Rozšířený značkovací soubor – využití pro výměnu dat mezi aplikacemi

9.2 Standard ISA-88

Jelikož už zde bylo několikrát zmíněno, že práce má být zhotovena podle standartu S88, je nezbytné zde uvést, o co se vlastně jedná. Standard ISA-88 byl vytvořen za účelem řízení dávkových procesů. Po zavedení této normy dochází ke zlepšení komunikace mezi zúčastněnými stranami, modularitě, ke snížení inženýrských prací (opětovné použití), k snadnějšímu vývoji a aktualizaci receptur. Z těchto zmíněných výhod, které standard S88 přináší, se naší aplikace nejvíce dotknou modularita a opakované použití jednotlivých částí.

Co si máme pod pojmem modularita představit? Mějme rozlehlý technologický proces, ten se pokusíme rozdělit na skupiny jednoduchých operací, které mají odlišné vlastnosti (funkce). Tyto části mohou existovat samostatně, ale stejně tak být propojeny s jinou částí s rozdílnými vlastnostmi. Takže potom je výsledný proces složen z jednotlivých entit, tím se šetří čas i peníze.

Opětovné použití přímo vyplývá z modularity. V dávkových procesech se velmi často dílčí funkce opakují. Když to vztáhneme na náš příklad, budeme potřebovat čtyři ventily a motor pro jeden tank. Bylo by zbytečné psát pro každou tuto součást samostatný kód, a tak pro tyto prvky vytvoříme funkční blok, který potom jen vícekrát zavoláme. Tím opět ušetříme peníze i čas a je možné kdykoliv a bez problému rozšířit proces o další prvky.

9.2.1 Pojmy spojené se standardem ISA-88

Protože budeme pracovat s jednotlivými pojmy, týkajícími se této normy, je nezbytné si uvést jejich význam.

Technologický proces je posloupnost chemických, fyzických či biologických operací neboli *procesních kroků*, které jsou aplikovány na vstupní materiál. Působením těchto činností dojde k přetvoření vstupních složek na výstupní produkt.

Dávka je materiál, který byl vyprodukován jedním výrobním cyklem dávkového procesu.

Fyzický model je hierarchický, používá se pro zobrazení všech zařízení, která jsou v závodě k dispozici, a pro řízení dané technologie. Na nejvyšším místě v tomto modelu je samotný *podnik*, pak následuje daný *závod*, poté *výrobní úsek*, a nakonec se v tomto modelu vyskytují další menší části výrobního procesu.

Receptura je postup operací a činností, které nám vytvoří finální produkt. Receptura se skládá z hlavičky, která obsahuje důležité informace pro manipulaci a administraci s recepturou, ale nezahrnuje data potřebná k výrobě. Další částí receptury je formule, jež se ještě dělí do dalších tří částí: procesní vstupy, výstupy a parametry. Ty obsahují informace o množství jednotlivých materiálů a potřebných zdrojů pro výrobu produktu, množství materiálu, které se předpokládá, že bude na

výstupu procesu... Dalším bodem jsou požadavky na zařízení a poslední částí je procedura.

Procedura je důležitou částí receptury, která určuje, co chceme udělat. Pod ni spadá *jednotková procedura*, jež je pak dále dělena na *operace* a ty na *fáze*.

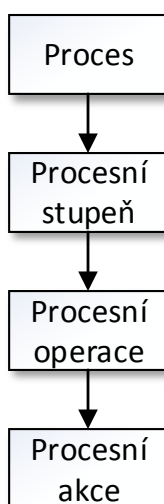
Fáze je nejnižší a nejmenší procesní prvek v modelu procedurálního řízení. Pro náš případ budeme mít fáze napouštění, vypouštění a míchání.

9.2.2 Charakterizované modely v normě ISA-88

Standard S88 vychází ze dvou modelů dávkového procesu, a sice *fyzického modelu* a *procedurálního modelu*. Přirozeně mají oba vztah k vlastnímu dávkovému procesu, a proto se v literatuře často uvádí dávkový proces jako třetí model *nazvaný procesní model* [1]. Proto si i tyto modely v následujících odstavcích v rámci standardu S88 popíšeme.

9.2.2.1 Procesní model

Procesní model formuluje kompletní výrobní proces ze vztahu jednotlivých procesních akcí. Nevztahuje se na žádné specifické zařízení, avšak reprezentuje dávkový proces. Je složen ze čtyř hierarchicky upořádaných akcí, mezi které patří proces, procesní stupeň, procesní operace a procesní akce. Procesní model je znázorněn na následujícím Obrázku 20.



Obrázek 20: Procesní model standardu ISA-88

Proces

Jde o nejvyšší stupeň procesního modelu. Směřuje k produkci konečného výrobku. Určuje všechny procesní operace, které je nutné provést se vstupní materiálem, aby byl vyroben finální produkt. Procesem v naší aplikaci je míchání barev.

Procesní stupeň

Jedná se o část procesu výroby. Výrobní proces je většinou složen z více procesních stupňů, které se mohou provádět nezávisle na ostatních stupních procesu. Procesním stupněm může být příprava směsi pro následující produkci, fyzikální děj nebo chemická reakce. Opět, pokud to vztáhneme na naši aplikaci, se jedná o míchání materiálu v tanku.

Procesní operace

Reprezentuje příslušnou hlavní činnost ve výrobním procesu. Může jít o přípravu zařízení, plnění jej materiálem, uvedení zařízení do potřebných pracovních podmínek. Pro nás se bude jednat o napouštění a vypouštění tanku.

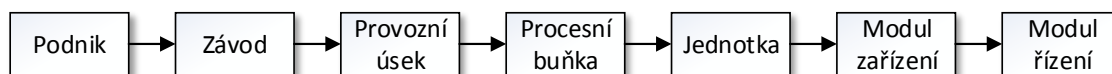
Procesní akce

Procesní akce je nejnižší stupeň procesního modelu a zároveň je to nejmenší procesní činnost. Kombinace těchto operací utváří procesní operaci.

Znovu uvedeme příklad pro lepší pochopení procesní akce v naší aplikaci, tím je otevření a zavření ventilu nebo spuštění a vypnutí motoru.

9.2.2.2 Fyzický model

Fyzický model je opět hierarchický a slouží pro popis fyzického vybavení výrobního celku. Skládá se ze sedmi úrovní, kde prvních tří úrovní (podnik, závod a provozní úsek) se využívá spíše z ekonomického hlediska. V automatizaci věnujeme největší důraz právě spodním čtyřem úrovním tohoto modelu, a to procesní buňce, jednotce, modulu zařízení a modulu řízení, které jsou specifické pro určité řízení výroby a mimo to zahrnují vazby na ostatní modely (procesní a procedurální). Fyzický model je zobrazen na Obrázku 21.



Obrázek 21: Fyzický model standardu ISA-88

Podnik je nevyšší úroveň fyzického modelu a může zahrnovat jeden či více závodů. Jde o organizaci, která koordinuje výrobu v jedné nebo více lokalitách. *Závod* může opět, tak jako podnik, obsahovat jeden a více provozních (výrobních) úseků. *Výrobní úsek* se také může skládat z jedné nebo více procesních buněk. Protože nás budou nejvíce zajímat čtyři spodní úrovně, bude jejich popis podrobnější.

Procesní buňka

Procesní buňka je logické uspořádání zařízení výrobních jednotek, které je potřebné k vyhotovení jedné anebo více dávek. Procesní buňka je spíše známá pod pojmenováním *výrobní linka*. Opět může obsahovat jednu a více jednotek.

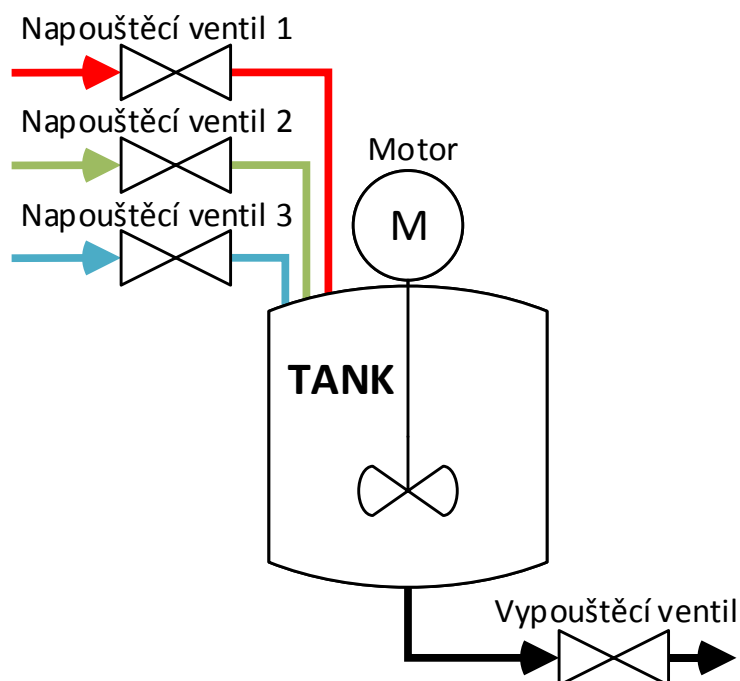
Aby se vyrobila v procesní buňce dávka, musí být každá entita (zařízení) fyzického modelu nějak řízena. Protože koordinuje činnost jednotek, bude mít její řízení koordinační charakter [1].

Pro nás jsou procesní buňkou oba dva tanky se svými dalšími zařízeními, jako jsou všechny ventily, motory a míchadla.

Jednotka

Obsahuje všechna zařízení a řízení potřebná k provedení jedné či více hlavních výrobních aktivit. Důležitým faktorem je, že jednotka může zároveň zpracovávat pouze jednu dávku.

Jednotka v naší aplikaci není pouze samostatný tank, ale i jeho potřebné vybavení, což jsou napouštěcí ventily, vypouštěcí ventil, motor a míchadlo. Toto seskupení znázorňuje Obrázek 22.



Obrázek 22: Výrobní jednotka aplikace

Modul zařízení

Modul zařízení znovu zastřešuje jeden anebo více modulů řízení a kromě nich může zahrnovat i podřízený modul zařízení. Používá se k provedení přesně definované

skupiny operací podle toho, k čemu je modul určen. Modul zařízení může být nezávislý na jednotce, ale i pod ni spadat.

V aplikaci jsou modulem zařízení míchadlo a dávkování vstupních komponent, jež se realizuje třemi napouštěcími ventily.

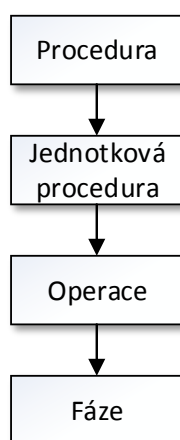
Modul řízení

Modul řízení je nejnižším stupněm fyzického modelu. Jde o skupinu čidel, akčních členů, podřízených řídicích modulů a dalších zařízení, která jsou z pohledu řízení označena za jednu jednotku. Jeho úkolem je udržovat zařízení v nastavené konfiguraci.

Pro nás ztvárňuje modul řízení ventily, motory, snímače hladin.

9.2.2.3 Procedurální model

Procedurální model, označovaný jako model procedurálního řízení nebo pouze procedurální řízení, příp. řízení procedur, nenajdeme u diskrétních a spojitých výrob. Je typický pouze pro dávkové výroby, kde je z hlediska řízení velmi důležitý. Toto procedurální řízení se soustřeďuje na popis procesu vztažený k fyzickému zařízení. Bez tohoto řízení nejme schopni realizovat řízení dávkového procesu. Procedurální model je taktéž hierarchický a má čtyři úrovně (viz Obrázek 23).



Obrázek 23: Procedurální model standardu ISA-88

Procedura

Pod pojmem procedura si můžeme představit sled událostí ve výrobním procesu. Jedná se o nejvyšší úroveň procedurálního modelu definující strategii pro výrobu dávky. Touto strategií je uspořádaná množina jednotkový procedur, z toho plyne, že procedura může obsahovat více než jednu proceduru jednotky.

Procedura jednotky

Procedura jednotky se skládá z uspořádané skupiny operací, které v jednotce provádí výrobní proces. V jednom čase může v jednotce probíhat pouze jedna operace.

V naší aplikaci je procedurou jednotky výroba barvy podle požadavků zákazníka v jednom ze dvou tanků.

Operace

Operace obvykle převádí zpracovávané suroviny z jednoho stavu (chemického, fyzického) do druhého. Jde opět o uspořádanou množinu několika fází. Pro každé elementární zařízení musí existovat nejméně jedna fáze, která toto zařízení řídí.

Operací je v našem případě myšleno napouštění tanku a míchání vstupních složek.

Fáze

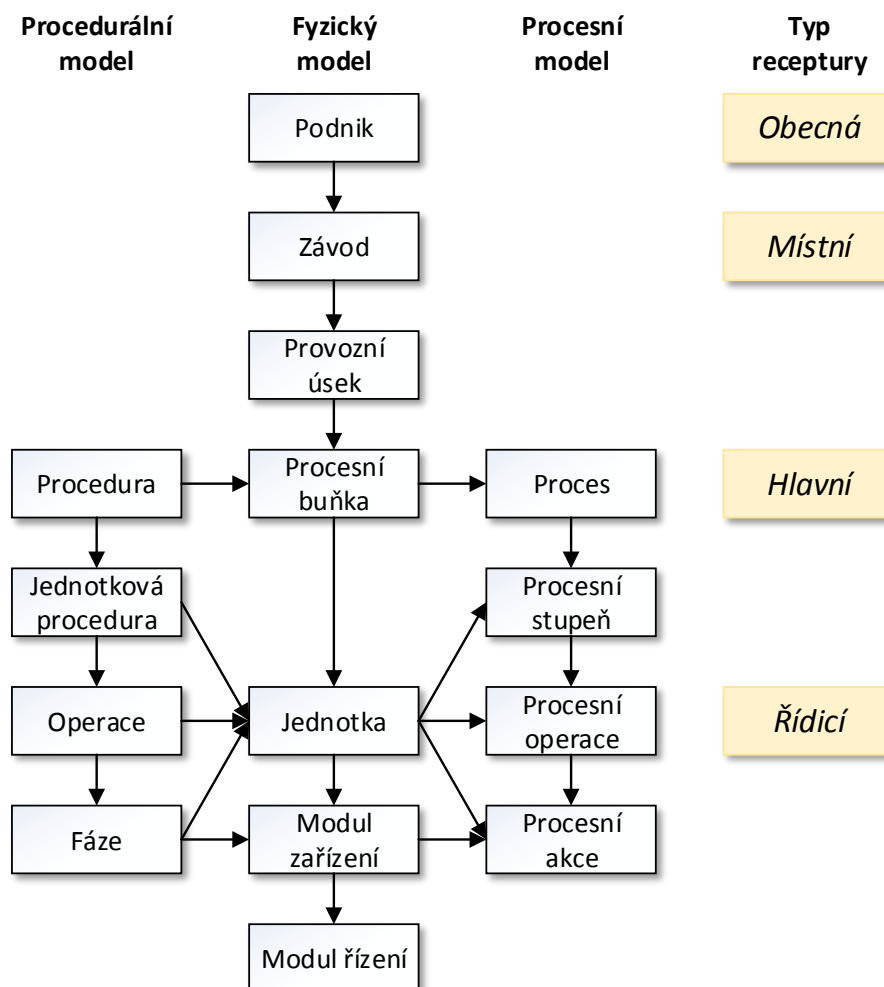
Fáze je nejnižším a nejmenším prvkem procedurálního modelu, ten může obsahovat jeden a více řídicích příkazů nebo akcí. Fáze slouží k realizaci přesně daného úkolu. I když se jedná o nejmenší prvek procedurálního řízení, může být fáze ještě rozdělena na menší části, kterými jsou přechody a kroky.

Fáze má specifikovat povely vysílané k ovládanému zařízení za účelem změny nastavení nebo módu (režimu provozu). Fáze pak čeká na odezvu od kontrolovaného zařízení a potom provede některou podmíněnou akci, např. start následující fáze. Ta také vysílá odezvu do nadřazené úrovně procedurálního modelu a operátorovi do HMI²¹ [1].

9.2.2.4 Vazby mezi modely standardu ISA-88

Pomocí logických vazeb jsou vzájemně propojeny všechny tři popsané modely standardu S88. Procedurální řízení je prováděno na základě informací uložených v řídicí receptuře. Jednotlivé vazby mezi procedurálním, fyzickým a procesním modelem jsou zachyceny na následujícím obrázku.

²¹ HMI – Human-Machine Interface – rozhraní mezi člověkem a strojem (např. zobrazení (komunikace) pomocí displeje (panelu))



Obrázek 24: Vazby mezi modely standardu ISA-88

Obrázek 24 kromě vazeb mezi jednotlivými modely znázorňuje působnost jednotlivých typů receptur, které se váží k fyzickému modelu. Pro čím vyšší stupeň je určena, tím je obecnější a neobsahuje informace o zařízení. Pokud je receptura určena pro prvek z fyzického modelu, který se nachází na nižších úrovních, tak je konkrétnější k danému zařízení než např. obecná receptura.

9.2.3 Upravený model produktu ISA-95

Jelikož je v naší aplikaci realizována customizace a ta se v dávkové výrobě projevuje jako zásah do hlavní receptury, je její schéma uvedeno na Obrázku 25. Ten nám definuje produkt ve standardu ISA-95 (zkr. S95) za využití procedurálního modelu normy ISA-88. Model nám ukazuje, jak je definice produktu implementována v rozhraní pro MES. Aby toto bylo možné provést, bylo nutné přijmout definice jazyku B2MML²², což nám umožňuje zadávat např. objednávky ve formátu XML.

²² B2MML – Business To Manufacturing Markup Language – což je implementace standardu ISA-99

9.3.1 Zákaznická aplikace

Zákaznická aplikace slouží klientům k zaznamenání jejich požadavků formou objednávky. Tu můžeme vytvořit dvěma způsoby, a to buď pomocí internetového prohlížeče, anebo přímo z prostředí aplikace. Druhá možnost je zachována z toho důvodu, protože může nastat situace, kdy si zákazník zavolá anebo napíše e-mail.

Pomocí zákaznické aplikace tedy získáme informace od zákazníka a ty uložíme do souboru XML. Po vyplnění objednávkového formuláře a odeslání objednávky dojde k vytvoření souboru objednávky, pomocí kterého poté budeme nastavovat potřebné parametry výroby. Tvorba objednávky a uložení jí do formátu XML je jedna z nejdůležitějších částí programu. Popis, jak se má objednávka správně vyplnit, je podkapitole 9.4.1 Tvorba objednávky. Kód programu, který nám slouží k uložení dat do souboru a vytvoření nového samotného XML souboru, je v tomto případě napsán jako program, a ne jako funkční blok, a to z toho důvodu, že se v aplikaci vyskytuje jen jednou. Pomocí tohoto programu jsou také do tabulky čekajících objednávek doplněny údaje o objednavce, ty jsou zařazeny na pozici podle požadovaného data výroby.

9.3.2 Správa objednávek

Část programu označená jako správa objednávek slouží pro načítání, doplňování údajů o výrobě, archivaci objednávek atd. Jde o interface mezi první částí aplikace (zákaznickou aplikací) a třetí částí, kterou je produkce. Pomocí této sekce nastavujeme potřebné vstupy, podle kterých se výroba řídí.

Nyní máme program, který dokáže uložit data do XML souboru, ale stejně tak je zapotřebí mít kód pro čtení tohoto souboru, jinak by předchozí blok neměl velký význam. Zmiňovaný kód je napsán ve funkčním bloku, protože se používá vícekrát, a to pro čtení dat z obou tabulek (čekajících a již vyrobených objednávek). Po načtení údajů ze souboru se získaná data ukládají do instance struktury, se kterou se pak následně pracuje. Tato data jsou používána hlavně k nastavení vstupů pro výrobu.

Proto, abychom byli schopni doplnit informace o výrobě do již vytvořeného souboru XML, je naprogramován ještě jeden funkční blok. Jeho instance je použita v hlavním programu každého tanku. Pokud dojde k opakované výrobě jakékoliv objednávky, bude jí přiřazen nový název. Ten je složen z čísla zakázky a čísla vztahujícího se k počtu opakování dané objednávky. Číslo objednávky je uloženo beze změny.

Postup, jak načíst objednávku a poslat ji do výroby, je uveden v podkapitole 9.4.2 Výroba objednávek.

9.3.3 Produkce

Popisu struktury této části aplikace budeme věnovat větší pozornost, protože nám řídí výrobu každé dávky. Tomuto tématu se v dalších částech práce budeme věnovat již jen okrajově.

Ze zadání pro aplikaci plyne, že je zapotřebí, aby byl při jejím vzniku brán na zřetel standard S88. Ten se nám nejvíce projeví právě v řízení výroby dávky. V podkapitole 9.2, která se zabývá teorií ohledně této normy, byly již jednotlivé části na naši aplikaci vztaženy, a tak si je zde popíšeme.

Programy pro ventil, motor, fáze, hlavní program jsou naprogramovány ve funkčních blocích, protože nám splňují požadavek na opětovné použití. Aby bylo možné tyto funkční bloky volat opakovaně, musí být umožněno vždy nastavit rozdílné vstupy. Kvůli tomu disponují tyto funkční bloky formálními parametry (vstupní, výstupní a vstupně-výstupní proměnné), tím je zaručeno opakované použití.

Ve stejném duchu, avšak pomocí struktur a jejich instancí, jsou tvořeny i proměnné.

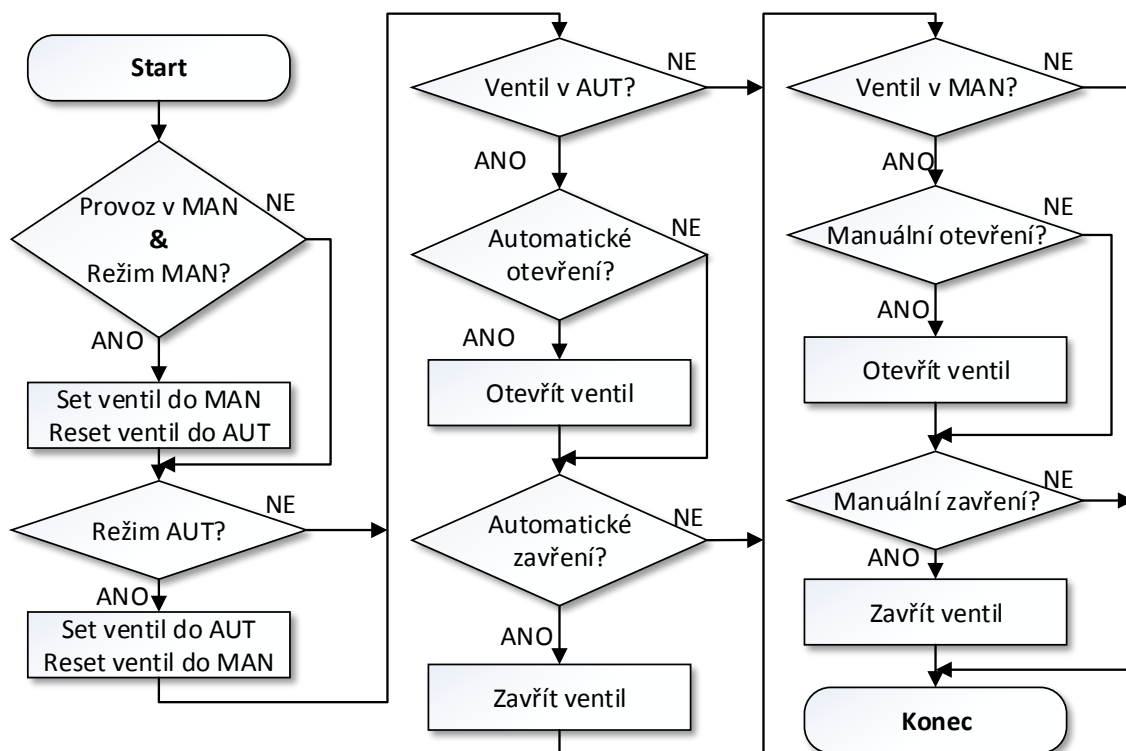
9.3.3.1 Ventil a motor

Programový kód pro ventil a motor bude patřit k nejnižšímu možnému řízení. Pomocí programu budeme schopni ventil a motor ovládat v automatickém a ručním (manuálním) režimu. Ovládáním zde myslíme u ventilů jejich otevření a zavření a u motoru spuštění a zastavení. Podle fyzického modelu nám tyto prvky spadají do úrovně modulu řízení, a proto tak budou programovány.

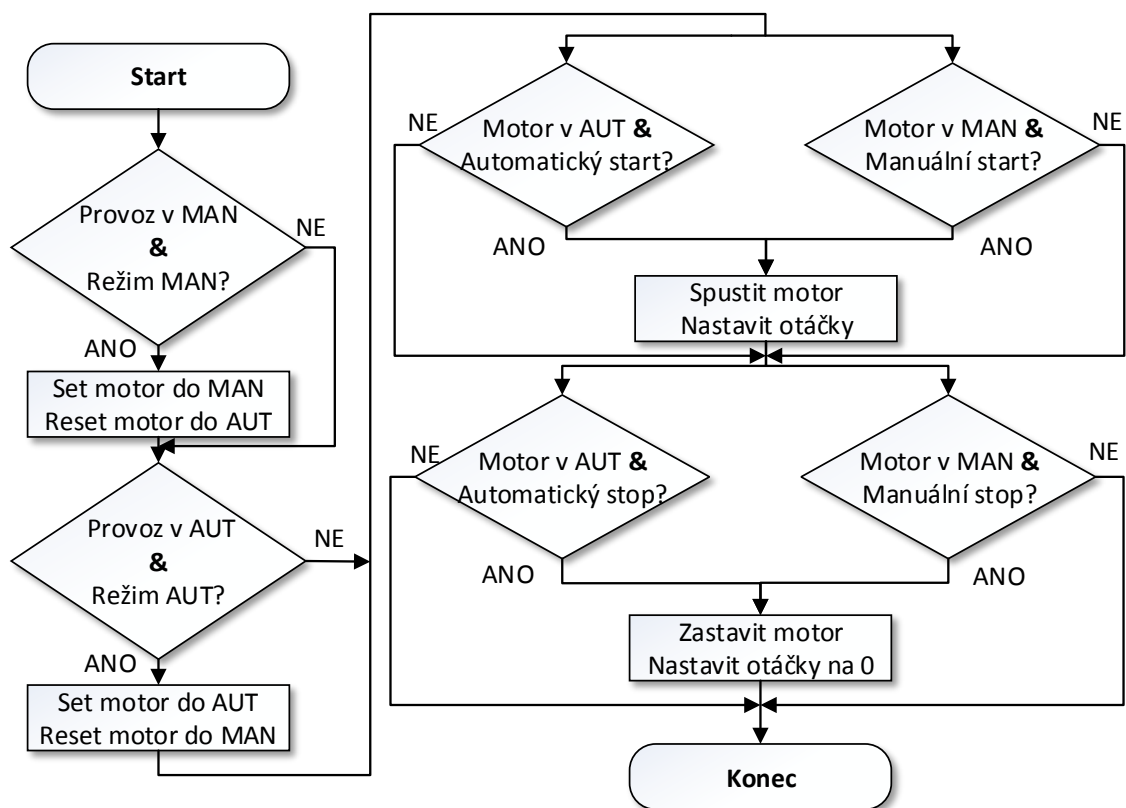
Manuální mód je určen k řízení pomocí tlačítek z panelu HMI, které provádí pověřený zaměstnanec. Zato automatický režim slouží k ovládání pomocí nadřazených funkcí, což jsou v našem případě fáze.

Struktura, která vytváří nezbytné proměnné, je společná jak pro motor, tak ventil. K jejich ovládání totiž není potřeba rozdílných proměnných.

Na následujících dvou vývojových diagramech jsou vyobrazeny principy jejich funkce.



Obrázek 26: Vývojový diagram funkce ventilu



Obrázek 27: Vývojový diagram funkce pro motor

Pro volání funkčního bloku pro ventil je vytvořen další blok *Volani_ventilu*, ale nyní typu program, v němž budeme parametrizovat jednotlivé instance funkčního bloku pro všechny ventily. Tento blok je poté volán v *MAIN*.

Totéž provedeme pro motor, ale v bloku *Volani_motoru*, ten je také volán v *MAIN*.

9.3.3.2 Fáze

Na chvíli se vrátíme k teorii o normě ISA-88, při níž jsme popisovali jednotlivé moduly tohoto standardu. Fáze spadá do procedurálního modelu a jedná se o jeho nejnižší a zároveň nejmenší prvek (více viz 9.2.2.3).

Každé zařízení v projektu, myšleno motor a ventil, může být provozováno ve dvou režimech. V automatickém režimu je můžeme ovládat právě pomocí fází, které byly za tímto účelem vytvořeny. Abychom byly schopni provozovat dané zařízení pomocí fáze, musí být na něm navolen automatický režim.

I námi vytvořené fáze jsme s to provozovat ve dvou režimech – automatickém a manuálním. Proto, aby bylo možné spustit fázi v automatickém režimu, musí být ve stejném módu také zařízení. Pro komunikaci s nadřazenou funkcí nás nejvíce budou zajímat stavy fáze *Running* a *Complete*. Jestliže fázi uvedeme do automatického režimu, ovládána nadřazenou funkcí (stejně jako ventil a motor). V našem případě jde o část programu nazvanou *Hlavní program* (viz Obrázek 30), která ztělesňuje *Batch* řízení.

Pro provozování fáze v ručním režimu musí být zařízení v automatickém a fáze v manuálním režimu. K ovládání fáze v manuálním režimu máme k dispozici povely, které jsou realizovány jako tlačítka na obrazovce. Mezi tyto povely patří: *Start*, *Stop*, *Pause*, *Resume*, *Restart*.

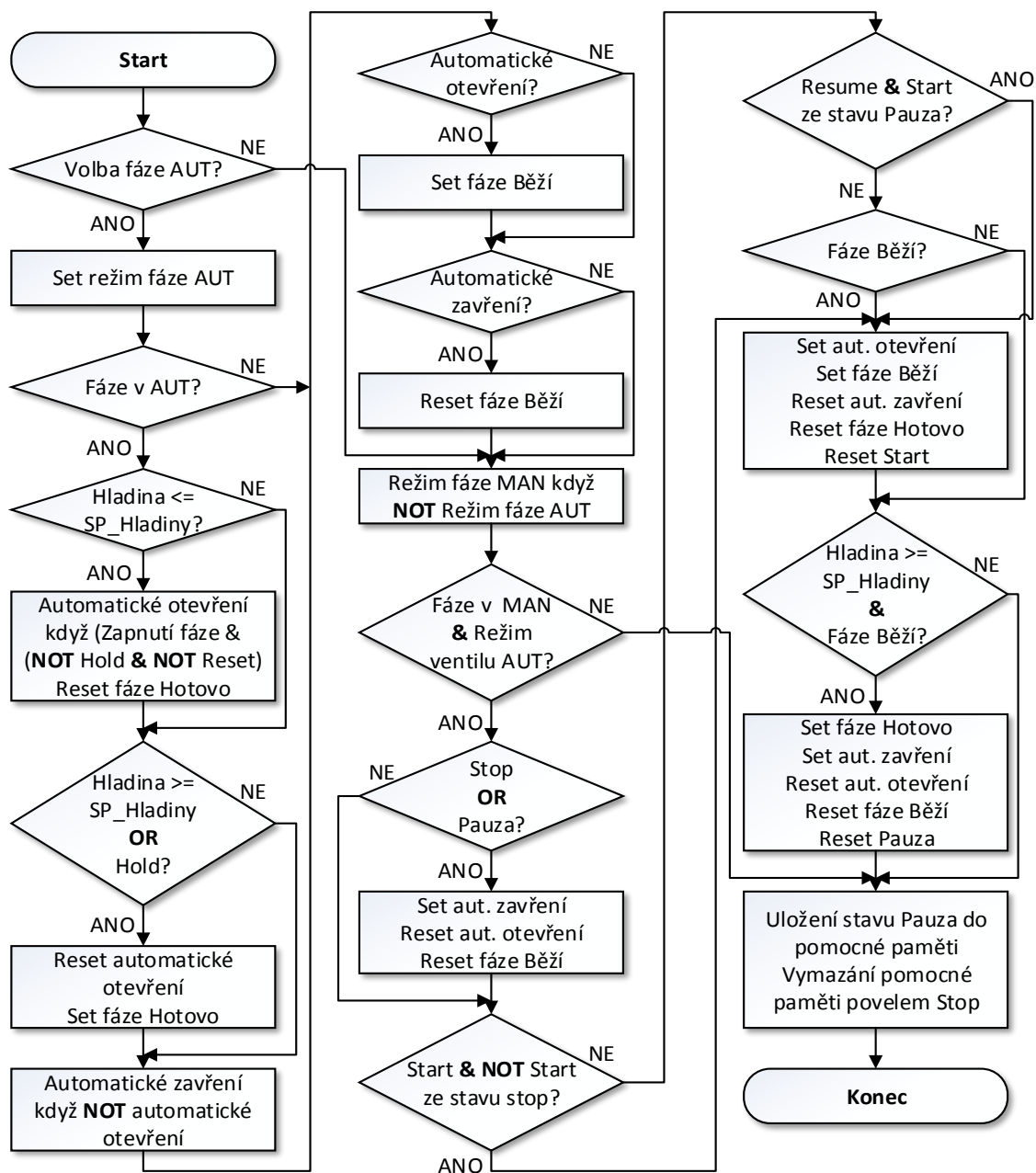
Abychom byli schopni automatizovat celý proces, musely být vytvořeny fáze pro napouštění, vypouštění a míchání vstupních surovin v tanku. Znovu bude popsána činnost jednotlivých fází pomocí vývojových diagramů, ze kterých je zřejmé, co se v daném bloku děje a jaká je funkce dané fáze.

Všechny fáze jsou naparametrované v bloku *Volani_fazi*, který je opět volán v *MAIN*.

Fáze napouštění a vypouštění

Na Obrázku 28 je zobrazena funkce fáze napouštění. První polovina diagramu nám popisuje funkci v automatickém režimu a druhá polovina slouží pro manuální mód.

K ovládání řízeného zařízení nám zase slouží parametry *automatické otevření a zavření*.



Obrázek 28: Diagram pro fázi napouštění

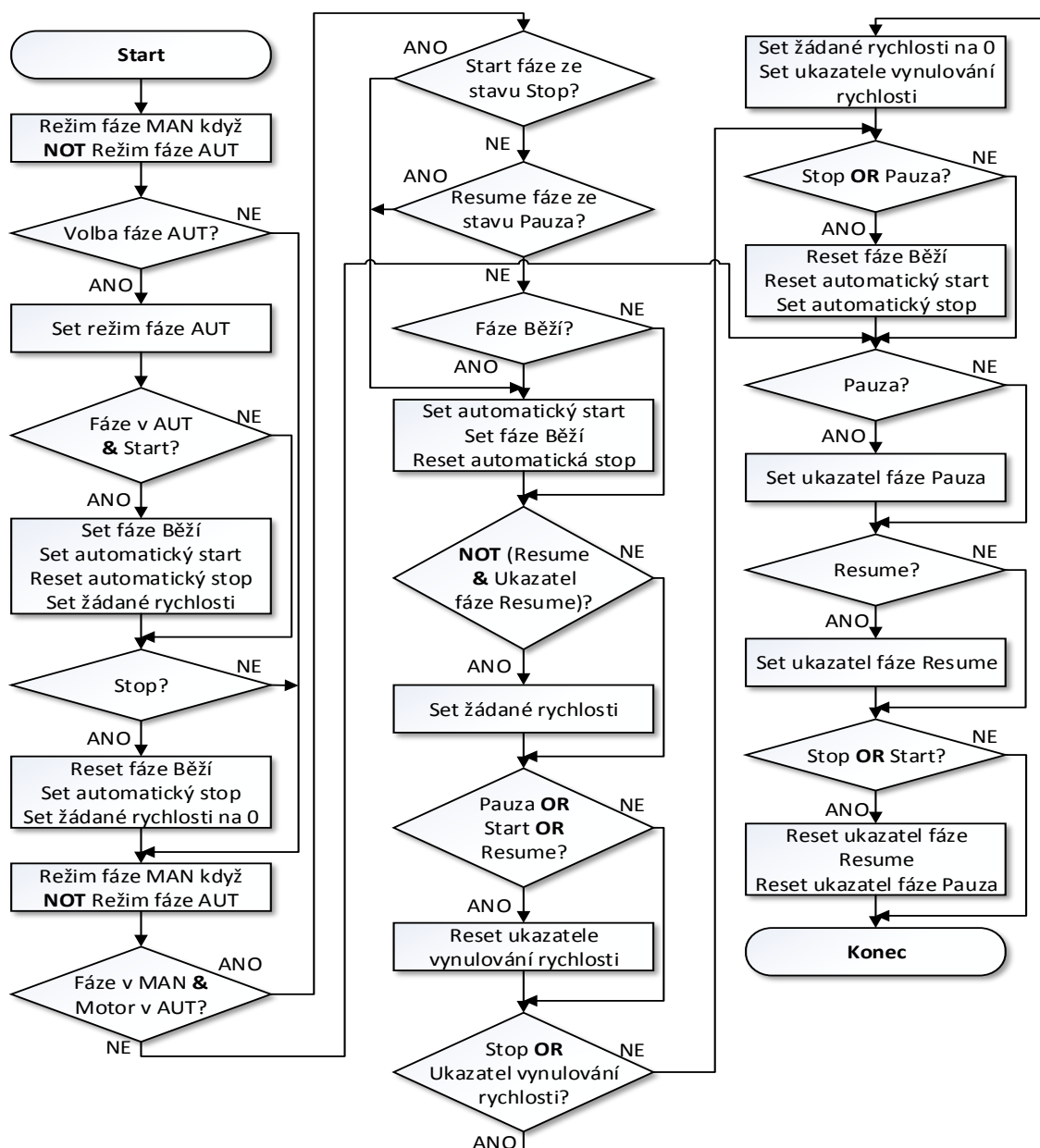
Pro fázi vypouštění platí vše, co bylo doposud zmíněno obecně u fází a speciálně u fáze napouštění, ale vývojový diagram zde není uveden, protože by byl velmi podobný jako Diagram pro fázi napouštění. Lišil by se jen v použitých vnitřních proměnných a měl by jiná znaménka u porovnávání hladin čili menší nebo rovno oproti větší nebo rovno.

Fáze míchání

Funkce fáze míchání je znázorněna na Obrázku 29. Opět je vývojový diagram a funkce fáze míchání pomyslně rozdělena na dvě části – první řeší automatický

režim a druhá slouží k ovládání funkce fáze v ručním režimu. Fáze míchání je svou činností velmi podobná předchozím fázím. Pokud se pečlivě podíváme na vývojový diagram této fáze, marně v něm budeme hledat stav *Complete*, protože tato fáze jím nedisponuje. Z toho plyne, že je plně ovládána hlavním programem pomocí povelů *Start* a *Stop*, jež tuto fázi spouští a poté zastavují podle potřeby receptury. Oproti fázím napouštění a vypouštění navíc disponuje možností nastavovat otáčky motoru, opět podle receptury.

K ovládání řízeného zařízení nám zase slouží parametry *automatický start* a *stop*.



Obrázek 29: Diagram fáze míchání

Hlavní program (Řízení)

Hlavní program nám řídí celou výrobu, rozdává povely fázím a komunikuje s vizualizací. Protože náš projekt je dávkovým procesem a lze jej rozdělit na procesní (technologické kroky), můžeme pro naprogramování jeho řízení využít *case*, kde si vytvoříme jednotlivé kroky a po splnění požadovaných podmínek můžeme pokračovat k dalšímu kroku.

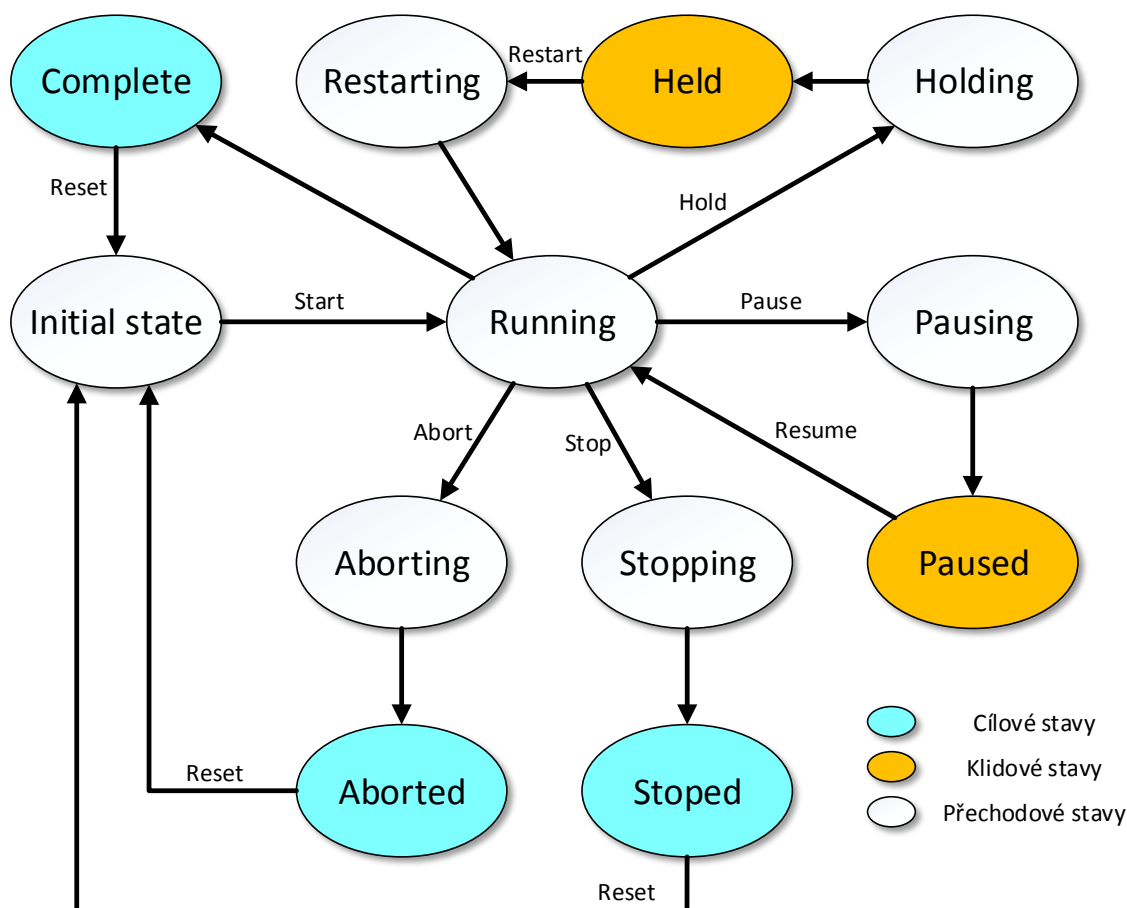
Vývojový diagram pro řízení je na Obrázku 30. Pro lepší pochopení funkce si uvedeme ve zkrácené formě, o které akce se jedná a jak na sebe navazují. Jde o tyto kroky:

1. Inicializace procesu a načtení vstupů
2. Fáze napouštění 1
3. Fáze napouštění 2
4. Fáze napouštění 3
5. Míchání
6. Vypouštění
7. Kontrola, zda byly vyrobeny všechny dávky, pokud ne pokračuj bodem 2, jinak postupuj na 8
8. Ulož data o výrobě do XML souboru
9. Přesuň soubor do složky *Executed*
10. Dokud tank nebyl vyčištěn, čekej na potvrzení jeho vyčištění
11. Konec funkce a čekání na nové spuštění

Jelikož ve výše uvedeném seznamu máme i akce, které nepatří mezi technologické kroky, jsou procesní kroky podtržené, aby byly na první pohled identifikovatelné.

Při této funkci běží ještě paralelně část programu, která řídí míchání při napouštění a vypouštění. Jelikož máme tři napouštěcí fáze, bylo by komplikovanější zakomponovat zmíněné míchání do těchto stavů, a tak je to řešeno mimo tuto posloupnost kroků. Jedná se pouze o porovnávání hladiny s předem nastavenou hodnotou. Pokud je hladina tanku vyšší anebo rovna 10, motor se spustí a začne se směs míchat, pokud je hladina menší nebo rovna 5, míchání se zastaví.

Aby byla aplikace schopna reagovat na stavy a povely, které buď vyplynuly z běhu aplikace, anebo byly způsobeny ovládáním aplikace obsluhou, je nutné opět vytvořit funkční blok pro řízení vzniklých kombinací stavů a povelů. Na následujícím obrázku je znázorněn přechod mezi jednotlivými stavy na základě vzniklých povelů.



Obrázek 31: Diagram povelů a stavů pro aplikaci

9.3.4 Historian

Poslední částí aplikace je Historian. Jde o modul systému MES, který slouží ke shromažďování a zobrazování dat. V naší aplikaci je vytvořena struktura a do její instance jsou kopírovány hodnoty proměnných pro hladiny tanků a stavy ventilů a motorů. Do těchto proměnných má poté přístup systém MES (server).

9.3.5 Shrnutí

Jak jsme se dozvěděli z předchozích odstavců, naše aplikace je převážně složena z funkčních bloků a minimálně z bloků typu program. Jako proměnné jsou nejčastěji užívány instance struktur, které umožňují opakované použití, což je jedním z požadavků Industry 4.0. To nám ušetřilo mnoho času a spoustu řádků

samostatného kódu. Ale toto uspořádání nevyplývá pouze z požadavků Průmyslu 4.0, ale i ze standardu ISA-88.

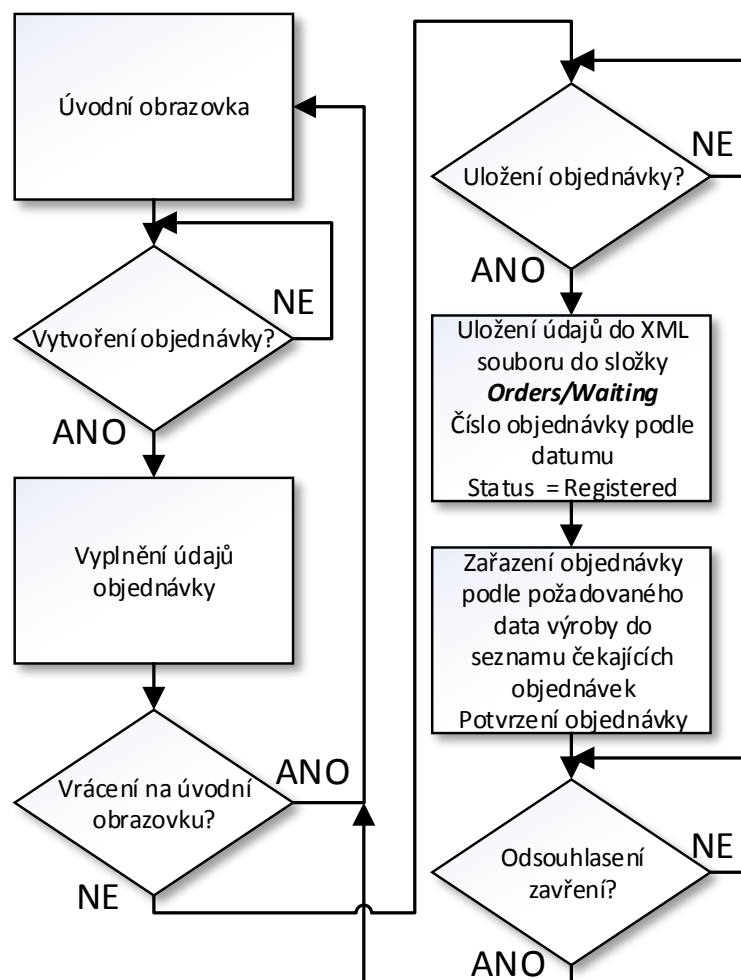
9.4 Popis funkce a ovládání aplikace

Na předchozích řádcích jsme si přiblížili strukturu aplikace. Nyní se podíváme na to, jak s ní zacházet. Pro lepší pochopení bude tento popis rozdělen do dvou částí. V první se budeme zabývat vytvořením objednávky a druhá část se bude týkat výroby vybrané zakázky. Pro názornost si funkci přiblížíme pomocí vývojových diagramů a obrázků.

9.4.1 Tvorba objednávky

Dříve než začneme s popisováním samotné tvorby objednávky, je nutné zmínit, proč se data ukládají do formátu XML. Hlavní důvod vidíme v tom, že se v praxi tento formát velmi často používá a my jsme se jí chtěli co nejvíce přiblížit. Dalším argumentem je, že operace s daty (uložení, načtení) při použití XML formátu je velmi příjemná, málo náročná na paměť a ze struktury uložených dat je hned patrné, o co se jedná. Uživatel pro čtení těchto dat nepotřebuje žádný speciální program, ale vystačí si s internetovým prohlížečem. Poslední příčinu spatřujeme ve skutečnosti, že systém MES, jak bylo zmíněno v podkapitole 9.2.3, podporuje práci právě s tímto typem souboru. Záleží jen na tvůrci aplikace, jak daný soubor bude vypadat, z čeho se bude skládat, která data bude obsahovat. Strukturu našeho formátu XML souboru si přiblížíme ke konci této podkapitoly, kde již budeme mít popsán princip tvorby celé objednávky.

Ještě si ale připomeňme, že je objednávku možné vytvořit dvěma způsoby. Zaprvé pomocí webového rozhraní, za druhé pomocí obrazovky aplikace. V obou zmíněných případech se objednávka vyplňuje stejným způsobem, a také zobrazení objednávkového formuláře je stejné.



Obrázek 32: Diagram tvorby objednávky

Při popisu postupu tvorby objednávky budeme vycházet z vývojového diagramu na Obrázku 32. Po spuštění aplikace anebo prohlížeče, do kterého zadáme následující adresu http://localhost/Tc3PlcHmiWeb/Port_852/Visu/webvisu.htm, budeme ihned odkázáni na úvodní obrazovku aplikace. Ta se zásadně liší od úvodní obrazovky v prohlížeči, protože v aplikaci můžeme provádět více operací, kdežto webové rozhraní nám slouží pouze k vytvoření objednávky. Domovská stránka aplikace je zobrazena na Obrázku 33, úvodní obrazovka pro web se skládá pouze z tlačítka *Create an order*, protože ostatní tlačítka nemají opodstatnění.



Obrázek 33: Úvodní obrazovka aplikace

Po stisknutí *Create an order* se dostaneme na obrazovku s objednávkovým formulářem, jenž se po zákazníkovi vyžaduje, aby vyplnil několik údajů, které se týkají firmy, osoby, na kterou se objednává, požadovaného data doručení a požadovaného produktu. Vše, co je nutné zadat, je znázorněno na následujícím Obrázku 34, který obsahuje i příklad správného vyplnění. Dokud nejsou vyplněny uvedeny údaje, uživateli není dovoleno objednávku odeslat.

Při zadávání údajů si uživatel musí dávat pozor na požadovaný formát data, který je nutné při vyplňování dodržet. Datum je potřeba zadávat v následujícím formátu: *D#yyyy-MM-dd*, kde *yyyy* je rok, např. 2017, *MM* je číslo měsíce, např. pro leden (01), prosinec (12), a *dd* je den v měsíci, opět je potřeba pro číslo dne menší než 10 vkládat před tuto číslici 0. V zadávání data je zavedeno ještě jedno omezení: není umožněno zadat datum, které je aktuálně a nebo již uběhlo. To znamená, že jako minimum tohoto pole může být následující den a toto datum je na začátku přednastavené. Pro jistotu si uveďme příklad. V horní části Obrázku 34 je uvedeno aktuální datum, tudíž 13. 4. 2017, ale uživateli je umožněno zadat jako minimální datum 14. 4. 2017. Dokud uživatel nevloží správné datum a ve správném formátu, nemůže opustit dané políčko a pokračovat na následující. Pro lepší přehlednost je po vyplnění datum převedeno do běžně používaného formátu.

Today is 13.04.2017 15:47:18

Company:	Dum barev
IC:	26052555
First name:	Kamil
Last name:	Tomes
Address:	Brasy 223, 33824
Requested date of the delivery:	25.05.2017
Email:	objednavka@dumbarev.cz
Recipe name:	Oranzova fasada
Mixer speed [RPM]:	7
Mixing time [s]:	50
Quantity of batches:	7
Size of the batch [l]:	50 ▼
Red [%]:	50.0
Green [%]:	25.0
Blue [%]:	25.0

Obrázek 34: Vyplněný objednávkový formulář

Nyní se dostáváme do druhé části vytváření objednávky, a to nastavení požadovaného produktu. Nejdříve si objednavatel zvolí název receptury či produktu, to z toho důvodu, aby byla lepší orientace a vyhledávání mezi různými objednávkami. Uživatel si může nastavit rychlost, dobu míchání a počet dávek, u těchto údajů je požadovaná minimální hodnota 1. Dále si může vybrat mezi třemi různými velikostmi dávky, a to mezi dávkou o velikosti 25 l, 50 l a 100 l. Pak jen uživateli zbývá zadat poměry zastoupení jednotlivých složek (RGB) ve výsledné barvě, a pokud vyplnil vše a správně, bude mu dovoleno odeslat objednávku. Při zadávání jednotlivých poměrů složek barvy je kontrolováno, zda celkový součet těchto poměrů nepřekročil 100 %. U vyplňování procent jednotlivých složek se předpokládá, že se objednávka vyplňuje z vrchu dolů. Z toho plyne, že první složku můžeme nastavit mezi 0 a 100 %, pokud zvolíme hned na první položce 100 %, u ostatních nebude dovoleno zadat nic jiného než 0 %, tzn., že se kontroluje správnost vyplnění poměrů barev a u poslední položky není možné zadat nic jiného než to, co zbývá do 100 %. Při uložení objednávky dochází ještě k přepočtu těchto poměrů, protože máme k dispozici pouze tanky o objemu 100 litrů, které se při menších dávkách naplňují do poloviny či čtvrtiny svého objemu. Proto musí dojít

k následujícímu přepočtu: když je zvolena dávka 50 litrů, je každá ze složek barvy dělena dvěma, při velikosti dávky 25 litrů jsou děleny čtyřmi.

Pokud uživatel zvolí při vyplňování tlačítko *HOME*, vrátí se zpět na úvodní obrazovku. Návrat k původní objednávce však není možný, jelikož se data mezitím vymazala. Uživatel bude nucen vyplnit celou objednávku od začátku.

Po stisku tlačítka *Save an order* dojde k uložení objednávky, vytvoření jejího objednávacího čísla a nastavení statusu na *Registered*. Objednávací číslo je vytvořeno na základě aktuálního data, času a případně identifikátoru, a to jen v případě, že objednávka byla vytvořena prostřednictvím webového prohlížeče. Název je poté složen z objednávacího čísla a přípony *.xml*. Pokud objednávku vytvoříme pomocí aplikace, bude mít následující objednávací číslo *2017-04-13-15_47_18* a bude uložena pod názvem *2017-04-13-15_47_18.xml*. Když bychom tuto objednávku vytvořili ve webovém prohlížeči, měla by objednávací číslo *w2017-04-13-15_47_18* a byla by uložena pod názvem *w2017-04-13-15_47_18.xml*. Dojde tedy k vytvoření samotného souboru, který se uloží do adresáře *C:\Orders\Waiting*. Pokud při spuštění této aplikace dané složky neexistují, jsou automaticky vytvořeny spolu s další složkou *C:\Orders\Executed*, do níž se ukládají objednávky, které již byly vyrobeny. Na následujícím obrázku je zachycena námi vytvořená objednávka, kde si můžeme všimnout toho, že soubor je rozdělen do tří částí: *Customer*, *Order*, *Production*. Část *Production* je zatím téměř prázdná, protože se vyplní až po vyrobení dané objednávky.

Mimo to, že jsme vytvořili objednávku, tak jsme svým způsobem vytvořili i část receptury. Tato receptura není obecná ani místní či řídicí, ale jedná se o recepturu hlavní (viz Obrázek 24). V příští části budeme popisovat výrobu objednávky, po jejímž načtení odvodíme z této hlavní receptury recepturu řídicí, protože dojde k spojení programu řízení a hlavní receptury.

```

▼<dataentry>
  ▼<MAIN.Order_data>
    ▼<Customer>
      <Company>Dum barev</Company>
      <IC>26052555</IC>
      <First_Name>Kamil</First_Name>
      <Last_Name>Tomes</Last_Name>
      <Address>Brasy 223, 33824</Address>
      <Delivery_Date>D#2017-05-25</Delivery_Date>
      <Email>objednavka@dumbarev.cz</Email>
    </Customer>
    ▼<Order>
      <Recipe>Oranzova fasada</Recipe>
      <Speed>7</Speed>
      <Mix_time>50</Mix_time>
      <Order_number>2017-04-13-15_47_18</Order_number>
      <Num_Batches>7</Num_Batches>
      <Batch_Size>50</Batch_Size>
      <Red>25</Red>
      <Green>12.5</Green>
      <Blue>12.5</Blue>
    </Order>
    ▼<Production>
      <Tank/>
      <Date_prod/>
      <Status>Registered</Status>
    </Production>
  </MAIN.Order_data>
</dataentry>

```

Obrázek 35: Objednávka číslo 2017-04-13-15_47_18

Spolu s vytvořením XML souboru dojde překopírování a vypočítání několika potřebných údajů do proměnné typu *array*, která nám pak zobrazuje objednávky v tabulce, v tomto případě v tabulce čekajících objednávek na výrobu. Do této proměnné se informace o nové objednávce zařadí podle požadovaného data na výrobu, a to tak, že na první pozici je objednávka, která má být co nejdříve vyrobena, a na poslední je ta objednávka, která má oproti ostatním objednávkám nejzazší termín výroby. To můžeme vidět na Obrázku 36.

Orders waiting for production:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Registered	350	D#2017-05-25
2	2017-04-13-15_32_03	Colors	RGB(50,35,15)	Registered	800	D#2017-06-19
3	w2017-04-13-15_27_45	Barvicky s.r.o.	Neon	Registered	125	D#2018-03-13
4						
5						

Obrázek 36: Tabulka čekajících objednávek

Poté se nám zobrazí potvrzení objednávky, kde jsou uvedeny všechny údaje, které byly vyplněny, spolu s číslem objednávky. Po stisku tlačítka *OK & CLOSE* se vrátíme zpět na úvodní obrazovku.

9.4.2 Výroba objednávky

Pro lepší pochopení bude opět celý proces výroby objednávky znázorněn pomocí vývojového diagramu (viz Obrázek 37). Na začátku je ještě nutné zmínit, že výrobu můžeme ovládat pouze prostřednictvím obrazovek aplikace, a ne prostřednictvím prohlížeče. Celý cyklus znovu začíná na úvodní obrazovce, která je znázorněna na Obrázku 33. Pro lepší přehled o výrobě v obou tancích jsou na této obrazovce umístěny stavy obou tanků *READY*, *DONE*, *RUN*, *CLEAN* a výšky hladiny pro oba tanky. Tato obrazovka slouží jako tzv. rozcestník, z kterého se dostaneme, kamkoliv je potřeba, a tím je zaručena obslužnost celé aplikace.

Jakmile uživatel stiskne tlačítko *Load order and start the production*, je odkázán na obrazovku, která slouží pro správu objednávek. Na této obrazovce (viz Obrázek 38) jsou opět zobrazeny stavy obou tanků, tak jak je tomu na hlavní obrazovce. Zde si uživatel může vybrat, kterou objednávku chce vyrábět a jaký tank k tomu použije. Dokud není vybrána objednávka a zvolen daný tank, na kterém se má vybraná zakázka vyrábět, není mu dovoleno spustit výrobu jakékoliv objednávky. Je nutné poznamenat, že je možné v jeden okamžik vybrat pouze jednu objednávku z jedné tabulky. Kdyby bylo potřeba otestovat provoz tanků bez objednávky, budeme muset k tankům přistoupit skrz hlavní obrazovku (tlačítko *HOME*) a vybrat jeden ze dvou tanků pomocí tlačítek *TANK1*, *TANK2*.

Choose order which will be produced

Select an order:

Orders waiting for production:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Registered	350	D#2017-05-25
2	2017-04-13-15_32_03	Colors	RGB(50,35,15)	Registered	800	D#2017-06-19
3	w2017-04-13-15_27_45	Barvicky s.r.o.	Neon	Registered	125	D#2018-03-13
4						
5						

Load waiting order

Load executed order

HOME

Executed orders:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	w2017-04-13-15_41_58	Colorlak	Zelena drevo	Executed	100	2017-04-13-19:42:05
2	w2017-04-13-15_23_26_2	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-16:33:57
3	w2017-04-13-15_33_59	Eshop Barvy	Zluta spray	Executed	1300	2017-04-13-16:27:25
4	2017-04-13-15_25_20	iBarvy	Lososova	Executed	1250	2017-04-13-16:09:18
5	w2017-04-13-15_23_26	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-15:49:29

Select the tank:

☐ TANK 1
 ☐ TANK 2

TANK 1

Order number:

READY

DONE

RUN

CLEAN!

TANK 2

Order number:

READY

DONE

RUN

CLEAN!

Obrázek 38: Obrazovka pro správu zakázek

Když osoba pověřená obsluhou aplikace rozhodne vyrobit zakázku z první tabulky, tedy tabulky objednávek čekajících na výrobu, musí nejprve označit danou objednávku a vybrat si volný tank. Kdyby v tancích probíhala výroba, anebo by nebyly připraveny k použití, nebude mu dovoleno vybrat nepřipravený tank. Z toho důvodu jsou zde zobrazeny stavy tanků. Vybraná objednávka se zabarví zeleně (viz Obrázek 39). Po vybrání tanku se obsluze uvolní tlačítko *Load waiting order*, které slouží pro načtení čekající objednávky.

Choose order which will be produced

Select an order:

Orders waiting for production:

Load
waiting
order

Load
executed
order

HOME

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Registered	350	D#2017-05-25
2	2017-04-13-15_32_03	Colors	RGB(50,35,15)	Registered	800	D#2017-06-19
3	w2017-04-13-15_27_45	Barvicky s.r.o.	Neon	Registered	125	D#2018-03-13
4						
5						

Executed orders:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	w2017-04-13-15_41_58	Colorlak	Zelena drevo	Executed	100	2017-04-13-19:42:05
2	w2017-04-13-15_23_26_2	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-16:33:57
3	w2017-04-13-15_33_59	Eshop Barvy	Zluta spray	Executed	1300	2017-04-13-16:27:25
4	2017-04-13-15_25_20	iBarvy	Lososova	Executed	1250	2017-04-13-16:09:18
5	w2017-04-13-15_23_26	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-15:49:29

Select the tank: ☒ TANK 1 ☐ TANK 2

Obrázek 39: Výroba čekající objednávky

Po úspěšném splnění předchozího postupu, jsme odkázáni na další obrazovku (Obrázek 40), která se slouží k zobrazení parametrů vybrané zakázky a případné kontrole. Opět je možné se z této obrazovky vrátit zpět, a to na obrazovku s výběrem zakázek, ale znovu dojde ke ztrátě načtených dat a celý postup budeme muset opakovat. Jak je na obrázku vidět, jsou zobrazeny jen ty části, které byly vyplněny při tvorbě objednávky. Pro přehlednost je zobrazeno i číslo objednávky.

Details of your selected order

Order number: 2017-04-13-15_47_18

Company: Dum barev

IC: 26052555

First name: Kamil

Last name: Tomes

Address: Brasy 223, 33824

Requested date of the delivery: D#2017-05-25

Email: objednavka@dumbarev.cz

Recipe name: Oranzova fasada

Mixer speed: 7 RPM

Mixing time: 50 s

Quantity of batches: 7

Size of the batch: 50 l

Red: 25.0 %

Green: 12.5 %

Blue: 12.5 %

BACK

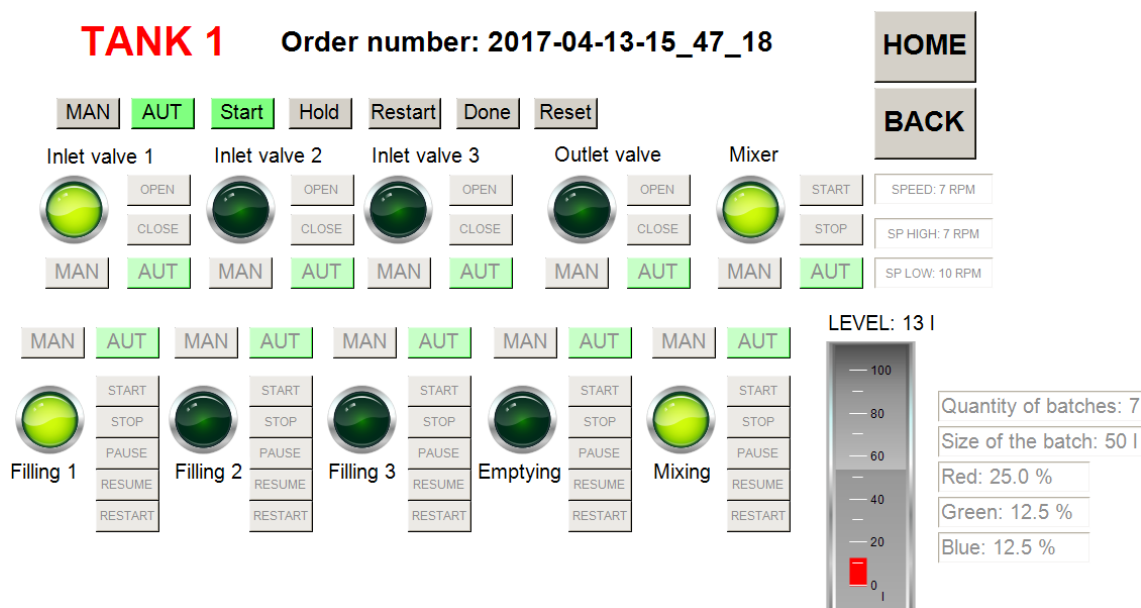
Start
production

Obrázek 40: Zobrazení objednávky před výrobou

Doposud jsme se zabývali prací s objednávkami, ale nyní se přesouváme do části zabývající se výrobou. A proto je na vývojovém diagramu (Obrázek 37), vyobrazena přerušovaná čára.

Po stisku tlačítka *Start production* se dostáváme na obrazovku s ovládáním procesu výroby (Obrázek 41) a dochází k předání parametrů výroby hlavnímu programu (řízení). Tato obrazovka je pro oba tanky obsahově stejná, ale každý tank má svou vlastní obrazovku.

Na Obrázku 41 si můžeme všimnout, jak bylo zmíněno v podkapitole 9.3.3, že je možné dané součásti ovládat v manuálním a automatickém režimu. Jak ručně, tak automaticky můžeme řídit celý proces i samotné fáze a válce, k čemuž nám slouží jednotlivá tlačítka. Dokonce jsme schopni celý proces výroby pozastavit (tlačítko *Hold*), a pak následně spustit tlačítkem *Restart*. Dále můžeme v manuálním režimu ovládat jednotlivé fáze, ale pro to musí být dané zařízení, kterého se to týká, v automatickém režimu, jinak nebudeme schopni manuálně řídit fázi vybraného zařízení. Opět jsou k dispozici tlačítka, která stroj spustí (*START*), zastaví (*STOP*), pozastaví (*PAUSE*), spustí z pozastavení (*RESUME*) a restartuje (*RESTART*). Pokud je celý proces v režimu *MAN*, tak je možné i parametrizovat jednotlivé prvky výroby.



Obrázek 41: Probíhající výroba v Tanku 1

Pokud chceme spustit automatickou výrobu zakázky, musíme nejprve všechna zařízení a fáze uvést do automatického režimu. Na to nám bude stačit jediné kliknutí, a to na tlačítko *AUT*, které je umístěné pod názvem tanku čili v tomto případě *TANK1*. Poté ještě musíme proces výroby spustit, to provedeme tlačítkem *START*. Tím začne celý cyklus. Na Obrázku 41 můžeme vidět, které zařízení je právě v činnosti, to poznáme pomocí kontrolky, která je umístěna u každého zařízení

a fáze. Ve spodní části obrázku je zobrazen i sloupkový graf, který nám zobrazuje aktuální stav hladiny tanku. Jakmile jsme provedli spuštění výroby, tak se okamžitě tank převedl do stavu *RUN*, tzn., že v něm probíhá výroba a nemůžeme jej využít pro výrobu další objednávky, dokud výroba nebude dokončena. To můžeme vidět na následujícím obrázku, kde je zachyceno i číslo právě vyráběné zakázky.



Obrázek 42: Stav Tanku 1 při probíhající výrobě

Po každé výrobě jedné dávky se nám počet zbývajících dávek sníží o 1. Tuto informaci můžeme na obrazovce (Obrázek 41) pozorovat v políčku *Quantity of batches*. Dokud toto číslo není rovno 0, bude výroba pořád probíhat dál. Jediným způsobem jak, jde výroba zastavit, je pomocí tlačítka *HOLD* anebo *RESET*.

Jakmile jsou vyrobené všechny dávky, je výroba u konce. Dojde k doplnění údajů do XML souboru, do něhož se uloží čas a datum výroby, dále na jakém zařízení výroba probíhala a změní se status z *Registered* na *Executed* (viz Obrázek 43). Tento soubor bychom již nenašli ve složce *C:\Orders\Waiting*, ale byl přesunut do adresáře *C:\Orders\Executed*. Název objednávky se však nezměnil.

```

▼<dataentry>
  ▼<MAIN.Order_data>
    ▼<Customer>
      <Company>Dum barev</Company>
      <IC>26052555</IC>
      <First_Name>Kamil</First_Name>
      <Last_Name>Tomes</Last_Name>
      <Address>Brasy 223, 33824</Address>
      <Delivery_Date>D#2017-05-25</Delivery_Date>
      <Email>objednavka@dumbarev.cz</Email>
    </Customer>
    ▼<Order>
      <Recipe>Oranzova fasada</Recipe>
      <Speed>7</Speed>
      <Mix_time>50</Mix_time>
      <Order_number>2017-04-13-15_47_18</Order_number>
      <Num_Batches>7</Num_Batches>
      <Batch_Size>50</Batch_Size>
      <Red>25</Red>
      <Green>12.5</Green>
      <Blue>12.5</Blue>
    </Order>
    ▼<Production>
      <Tank>Tank 1</Tank>
      <Date_prod>2017-04-21-15:24:23</Date_prod>
      <Status>Executed</Status>
    </Production>
  </MAIN.Order_data>
</dataentry>

```

Obrázek 43: Doplnění údajů o výrobě do souboru XML

Zároveň se z tabulky čekajících objednávek tato zakázka vymazala a vložila se na první pozici do tabulky vyrobených objednávek, jak je znázorněno na dalším obrázku. Opět je pro zobrazení využito proměnné typu *array*.

Choose order which will be produced

Select an order:

Orders waiting for production:

Load
waiting
order

Load
executed
order

HOME

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_32_03	Colors	RGB(50,35,15)	Registered	800	D#2017-06-19
2	w2017-04-13-15_27_45	Barvicky s.r.o.	Neon	Registered	125	D#2018-03-13
3						
4						
5						

Executed orders:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Executed	350	2017-04-21-15:24:23
2	w2017-04-13-15_41_58	Colorlak	Zelena drevo	Executed	100	2017-04-13-19:42:05
3	w2017-04-13-15_23_26_2	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-16:33:57
4	w2017-04-13-15_33_59	Eshop Barvy	Zluta spray	Executed	1300	2017-04-13-16:27:25
5	2017-04-13-15_25_20	iBarvy	Lososova	Executed	1250	2017-04-13-16:09:18

Select the tank:

☐ TANK 1

☐ TANK 2

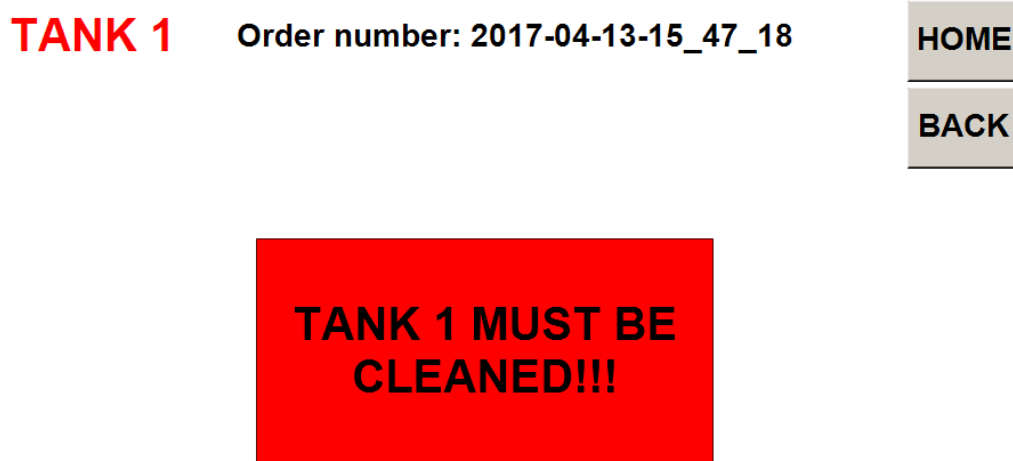
Obrázek 44: Přesun objednávky po její výrobě

Nyní ještě na zařízení, na kterém probíhala výroba zakázky nemůžeme, znovu vyrábět, protože ještě není ve stavu *READY* (viz Obrázek 45). Ze kterého je zřejmé, že výroba zakázky je ve stavu *DONE*, a zařízení není ve stavu *READY*, protože je potřeba jej ještě vyčistit před započatím další výroby, a proto nám svítí kontrolka *CLEAN!*.



Obrázek 45: Stav tanku po výrobě zakázky

Algoritmus pro provedení vyčištění tanku již není součástí této aplikace, a proto je zde znázorněno tlačítko *TANK 1 MUST BE CLEANED!!!* (viz Obrázek 46). Pomocí toho tlačítka pouze potvrdíme, že fyzické zařízení bylo vyčištěno. V praxi je tato činnost řízena pomocí speciálního programu, který se nazývá *CIP* (*Clean-in-place*).



Obrázek 46: Obrazovka před vyčištěním tanku

Po vyčištění a potvrzení na obrazovce, je nyní zařízení ve stavu *READY* a připraveno na další použití, což je znázorněno na dalším obrázku.



Obrázek 47: Stav tanku o vyčištění

Pokud by se do určité doby od ukončení výroby zakázky začalo s opakovanou výrobou této objednávky, tak by zařízení nemuselo být vyčištěno, ale muselo by se i tak stisknout tlačítko o potvrzení vyčištění.

Nyní vyrobíme tuto objednávku znovu, aby byly vidět patrné rozdíly jak v XML souboru, tak v tabulkách, a vyrobíme ji pomocí druhého tanku. Opět musíme vybrat objednávku z tabulky, ale nyní z tabulky již vyrobených zakázek, a zvolit daný tank (viz Obrázek 48). Pro načtení objednávky použijeme druhé tlačítko, a to *Load executed order*. Poté bude opět zobrazen přehled objednávky a budeme muset zahájit výrobu stejným způsobem jako minule.

Choose order which will be produced

Select an order:

Orders waiting for production:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_32_03	Colors	RGB(50,35,15)	Registered	800	D#2017-06-19
2	w2017-04-13-15_27_45	Barvicky s.r.o.	Neon	Registered	125	D#2018-03-13
3						
4						
5						

Executed orders:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Executed	350	2017-04-21-15:24:23
2	w2017-04-13-15_41_58	Colorlak	Zelena drevo	Executed	100	2017-04-13-19:42:05
3	w2017-04-13-15_23_26_2	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-16:33:57
4	w2017-04-13-15_33_59	Eshop Barvy	Zluta spray	Executed	1300	2017-04-13-16:27:25
5	2017-04-13-15_25_20	iBarvy	Lososova	Executed	1250	2017-04-13-16:09:18

Select the tank:

☐ TANK 1

☒ TANK 2

Obrázek 48: Výroba již alespoň jednou vyrobené objednávky

Po vyrobení všech dávek se opět doplní všechny informace do nového XML souboru. Ten nyní bude mít nové pojmenování, a to *2017-04-13-15_47_18_2.xml*, z toho důvodu, aby byly zachovány všechny předchozí soubory o této objednávce. Kdy bychom chtěli tuto zakázku vyrobit ještě jednou, tak by se poslední číslo zvýšilo o 1 a nezáleželo by, ze kterého souboru by objednávka byla načtena, protože horní dvě části XML souboru jsou vždy stejné, jen se mění záznamy o výrobě. Informace o vyrobení objednávky se uloží i do tabulky vyrobených zakázek a znovu jej nalezneme na prvním řádku tabulky, která je znázorněna na Obrázku 49.

Executed orders:

	Order number	Company	Recipe	Status	Amount [l]	Production date
1	2017-04-13-15_47_18_2	Dum barev	Oranzova fasada	Executed	350	2017-04-21-16:44:04
2	2017-04-13-15_47_18	Dum barev	Oranzova fasada	Executed	350	2017-04-21-15:24:23
3	w2017-04-13-15_41_58	Colorlak	Zelena drevo	Executed	100	2017-04-13-19:42:05
4	w2017-04-13-15_23_26_2	Barvy a laky	Cervena kov	Executed	250	2017-04-13-16:33:57
5	w2017-04-13-15_33_59	Eshop Barvy	Zluta spray	Executed	1300	2017-04-13-16:27:25

Obrázek 49: Tabulka po znovu vyrobení jedné zakázky

Struktura XML souboru vypadá nyní následovně.

```

▼<dataentry>
  ▼<MAIN.Order_data>
    ▼<Customer>
      <Company>Dum barev</Company>
      <IC>26052555</IC>
      <First_Name>Kamil</First_Name>
      <Last_Name>Tomes</Last_Name>
      <Address>Brasy 223, 33824</Address>
      <Delivery_Date>D#2017-05-25</Delivery_Date>
      <Email>objednavka@dumbarev.cz</Email>
    </Customer>
    ▼<Order>
      <Recipe>Oranzova fasada</Recipe>
      <Speed>7</Speed>
      <Mix_time>50</Mix_time>
      <Order_number>2017-04-13-15_47_18</Order_number>
      <Num_Batches>7</Num_Batches>
      <Batch_Size>50</Batch_Size>
      <Red>25</Red>
      <Green>12.5</Green>
      <Blue>12.5</Blue>
    </Order>
    ▼<Production>
      <Tank>Tank 2</Tank>
      <Date_prod>2017-04-21-16:44:04</Date_prod>
      <Status>Executed</Status>
    </Production>
  </MAIN.Order_data>
</dataentry>

```

Obrázek 50: Struktura zakázky po druhé výrobě

Z tohoto souboru můžeme vypožorovat, že se údaje o zákazníkovi a objednavce nezměnily a došlo jen ke změně informací o výrobě.

9.4.3 Shrnutí

Ve dvou předchozích podkapitolách byla popsána obsluha celé aplikace od vytvoření objednávky až po její výrobu. Byly zde objasněny rozdíly mezi výrobou čekající objednávky a zakázky již vyrobené. Úkolem pro vytvoření této aplikace bylo, aby splňovala požadavky Industry 4.0, a to zejména customizaci, což tato aplikace umožňuje a zákazník si může navolit všechny prvky procesu výroby, které je možné měnit, v omezené míře podle sebe. Dále byl při vytváření aplikace brán ohled na opětovné využití jednotlivých částí kódu, a tak byly použity funkční bloky a struktury.

10 ZÁVĚR

Závěrem této práce je nutné podotknout, že se podařilo splnit všech pět bodů zadání, kterými jsme se měli zabývat.

Nejprve bylo potřeba si uvést a popsat jednotlivé typy výrob a rozdíly mezi nimi. Z druhé kapitoly nám vyplynulo rozdělení produkcí na spojitou, dávkovou a diskrétní.

Následující dvě kapitoly byly věnovány životnímu cyklu výrobku a jeho řízení, kde bylo popsáno, proč je nutné životní cyklus výrobku řídit a jaké přínosy nám tato kontrola poskytuje. Třetí kapitola se zmíněnému tématu věnuje obecně. Mimo tuto obecnou charakteristiku jsou zde popsány jednotlivé fáze životního cyklu produktu. Čtvrtá kapitola se tomuto tématu věnuje z pohledu nespojité výroby, a to konkrétně systému PLM, který byl prvotně vytvořen pro účely spojené právě s tímto typem výroby. S tímto cílem byly popsány jeho jednotlivé funkce, kterým jsme se pak snažili najít uplatnění ve spojitě a dávkové výrobě. Některým z těchto modulů bylo nutné najít novou úlohu, protože funkce, kterou plnily v diskrétní výrobě, se ve spojitě a dávkové výrobě nevyskytovala. Některé zas bylo možné použít okamžitě bez jakýkoliv úprav a ostatní nebylo možné aplikovat na spojitou a dávkovou výrobu vůbec. Kromě toho zde byla zmíněna interakce mezi systémem PLM a systémy MES, ERP a MES/MOM.

Kapitola číslo pět se zabývala digitální výrobou a virtuálním prostředím za účelem specifikování funkce pro použití ve spojitě a dávkové výrobě. K tomu nám byly nápomocny systémy COMOS a Tecnomatix od firmy Siemens. Z těchto dvou systémů byly vybrány jednotlivé funkce, které bylo možné bez jakýkoliv úprav rovnou použít ve spojitě a dávkové výrobě. Jedná se o funkce, které usnadňují práci při tvorbě a návrhu výrobního zařízení a odstraňují nutnost provádět vícekrát jednu a tu samou činnost.

Na základě získaných poznatků z páté a čtvrté kapitoly byl vytvořen návrh digitální továrny pro spojitou a dávkovou výrobu. Při tvorbě tohoto návrhu byl kladen důraz na virtuální zprovoznění a přípravu dat pro PLC. Koncept digitální továrny začíná hned u první myšlenky o novém výrobním zařízení a pokračuje až k plánování odstávek a údržby.

Sedmá kapitola se věnuje změně receptury, která je řízena prvky PLM a virtuálního prostředí. Stejně jako v předchozí kapitole zde využíváme informace z kapitoly pět. V praxi přecházení mezi výrobami různých produktů není ničím novým, ale tady se věnujeme tématu customizace, což bude mít za následek častější přechod mezi jednotlivými typy výrobků. Proto jsou zde naznačené případné kroky, které je potřeba dobře promyslet a aplikovat, to vše za spolupráce se systémem PLM a systémem umožňujícím virtuální zprovoznění. Jedná se opět o aplikování principu,

který je již možný v diskretní výrobě, na výrobu tekutého materiálu ve dvou tancích čili výrobu dávkovou.

Iniciativě Industry 4.0 se věnujeme v kapitole osm. Zde jsou uvedeny jednotlivé změny, které by měly s touto iniciativou přijít. Při jejich popisu je nastíněn možný dopad na dávkovou a spojitou výrobu.

Kapitolou devět jsme se přehoupli z teoretického pohledu na věc k praktické realizaci aplikace, která simuluje výrobu tekutých materiálů v duchu Industry 4.0. Nejprve bylo specifikováno zadání, podle kterého byla aplikace tvořena. Dále zde byl popsán podrobněji standard ISA-88, protože podmínkou pro tvorbu aplikace bylo mimo jiné splnit požadavky plynoucí z této normy. Po tomto krátkém teoretickém úvodu byla popsána struktura, činnost a ovládání aplikace. Projekt pro zpracování tekutých materiálů ve dvou tancích byl převážně zaměřen na customizaci produktu zákazníkem. Je dobré poznamenat, že při tvorbě aplikace byly splněny všechny body zadání.

V příloze jedna je uveden návod na ovládání prostředí, ve kterém byla aplikace tvořena, a to prostředí TwinCAT od firmy Beckhoff. Spolu s tímto návodem, zde byly uvedeny požadavky potřebné pro bezchybný běh aplikace.

Literatura

- [1] PÁSEK, Jan a Vlastimil BRAUN. *Automatizace procesů II: Úroveň řízení výroby* [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=123499. FEKT VUT v Brně.
- [2] KOTLER, Philip a Gary ARMSTRONG. *Marketing*. Praha: Grada, c2004. ISBN 80-247-0513-3.
- [3] SODOMKA, Petr a Hana KLČOVÁ. *Informační systémy v podnikové praxi*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Brno: Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-2878-7.
- [4] HAWKINS, William, Dennis BRANDL a Walt BOYES. *The WBF Book Series: Volume 3: ISA-95 Implementation Experiences*. 1. 222 East 46 Street, New York, N. Y. 10017: Momentum Press, 2011. ISBN 978-1-60650-217-4.
- [5] *Continuous production* [online]. USA: BusinessKnowledgeSource.com, 2010 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://businessknowledgesource.com/manufacturing/continuous_production_028688.html
- [6] *What is Continuous Production?* [online]. USA: WiseGeek, 2017 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-continuous-production.htm#comments>
- [7] *A look at batch production manufacturing* [online]. USA: BusinessKnowledgeSource.com, 2010 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://businessknowledgesource.com/manufacturing/a_look_at_batch_production_manufacturing_029607.html
- [8] *Batch production* [online]. USA: BusinessKnowledgeSource.com, 2010 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://businessknowledgesource.com/manufacturing/batch_production_028682.html
- [9] *What is batch production manufacturing?* [online]. USA: BusinessKnowledgeSource.com, 2010 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://businessknowledgesource.com/manufacturing/what_is_batch_production_manufacturing_029621.html
- [10] *Discrete V/s Process Manufacturing* [online]. Velká Británie: Sudheer, 2013 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://sudheerms.wordpress.com/2013/01/15/discrete-vs-process-manufacturing/>
- [11] HOLOMA, Jan. *PLM – Product Lifecycle Management*. In: *Plm.cz* [online]. Česká republika: Springwinter, 2011 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://plm.konstrukter.cz/definice-plm/>
- [12] *Úvod do PLM* [online]. Zlín: TECHNODAT, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/uvod-do-plm>
- [13] *PLM a CAD* [online]. Zlín: TECHNODAT, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/plm-a-cad->

- [14] *Životní cyklus výrobku* [online]. Praha: BusinessVize, 2011 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/strategie/zivotni-cyklus-vyroбку-od-fabie-po-coca-colu>
- [15] hanusan2. *Životní cyklus produktu*. In: *WIKI CR* [online]. Česká republika: IKLIM, 2015 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://fim2.uhk.cz/wikicr/web/index.php/home/7-marketing/234-2015-12-22-20-52-28>
- [16] *Životní cyklus produktu (1.)* [online]. Praha: Marketingové noviny.cz, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.marketingovenoviny.cz/marketing_80/
- [17] *Životní cyklus produktu (2.)* [online]. Praha: Marketingové noviny.cz, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.marketingovenoviny.cz/marketing_84/
- [18] *Životní cyklus výrobku (služby) (Product (Service) Lifecycle)* [online]. USA: ManagementMania, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/zivotni-cyklus-vyroбку-sluzby>
- [19] *PLM a ERP* [online]. Zlín: TECHNODAT, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.technodat.cz/plm-a-erp>
- [20] *Siemens PLM Software* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: [https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/plm/#lightview%26url=/cz_cz/Images/10737_tcm841-3524.pdf%26title=Siemens PLM Software Overview Brochure%26description=%26docType=pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/plm/#lightview%26url=/cz_cz/Images/10737_tcm841-3524.pdf%26title=Siemens%20PLM%20Software%20Overview%20Brochure%26description=%26docType=pdf)
- [21] PAGÁČ, Marek. *Tecnomatix #1: Co je digitální továrna?* In: *Konstrukter.cz* [online]. Brno: Vydavatelství Nová média, 2012 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.konstrukter.cz/2012/06/29/tecnomatix-1-co-je-digitalni-tovarna/>
- [22] *Teamcenter: Siemens PLM Software* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/teamcenter/index.shtml
- [23] *Co je MES – Výrobní informační systém* [online]. Česká republika: MES centrum, 2012 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.mescentrum.cz/o-projektu/co-mes>
- [24] *Optimize your Manufacturing Performance* [online]. USA: GE Automation, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: <http://www.geautomation.com/products/connected-manufacturing>
- [25] *PLM-MES* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/launch-production/shop-floor-integration/plm-mes.shtml
- [26] *Digitální výroba* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/plm/digital-manufacturing.shtml

- [27] *Tecnomatix: Siemens PLM Software* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/products/tecnomatix/index.shtml
- [28] *Siemens COMOS software* [online]. Česká republika: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://w5.siemens.com/web/at/en/industry/ia_dt/produkte-loesungen/automation_tech/comos/cz/Pages/comos.aspx
- [29] *COMOS Process: Nejvyšší konzistence technických činností při navrhování technologických zařízení* [online]. Česká republika: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://w5.siemens.com/web/at/en/industry/ia_dt/produkte-loesungen/automation_tech/comos/cz/Documents/Brochure COMOS Process CZ.pdf
- [30] *COMOS Operation: Profesionální management technologických zařízení pro efektivní provoz* [online]. Česká republika: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://w5.siemens.com/web/at/en/industry/ia_dt/produkte-loesungen/automation_tech/comos/cz/Documents/Brochure COMOS Operations CZ.pdf
- [31] *COMOS Automation: Efektivní projektování od návrhu EI&C až po automatizační techniku* [online]. Česká republika: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://w5.siemens.com/web/at/en/industry/ia_dt/produkte-loesungen/automation_tech/comos/cz/Documents/Brochure COMOS Automation CZ.pdf
- [32] *Co je to PLM Software?* [online]. Praha: Siemens, 2016 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/plm/index.shtml
- [33] *Beckhoff Information System* [online]. Německo: Beckhoff, 2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://infosys.beckhoff.com/>
- [34] *Co lze nalézt v normě ANSI/ISA-88.01* [online]. Ústí nad Labem: Automa, 2001 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/co-lze-nalezet-v-norme-ansi/isa-88-01-2001_10_33691_1736/
- [35] *Industrie 4.0 - Kompaktwissen* [online]. Německo: DLG-Expertenwissen, 2016 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: http://www.dlg.org/industrie_40.html
- [36] *Zukunftsperspektiven Industrie 4.0* [online]. Německo: UNITY, 2016 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.unity.de/industrie-4-0/zukunftsperspektiven-industrie-40/>
- [37] *Will the industrial internet disrupt the smart factory of the future?* [online]. Hamburg: IoT Analytics, 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/industrial-internet-disrupt-smart-factory/>

Seznam symbolů, veličin a zkratek

APS	–	Advanced Planning and Scheduling
B2MML	–	Business To Manufacturing Markup Language
CAD	–	Computer Aided Design
CNC	–	Computer Numerical Control
CPS	–	Cyber Physical Systems
CRM	–	Customer Relationship Management
ECAD	–	Electrical Computer Aided Design
EMI	–	Enterprise Manufacturing Intelligence
ERP	–	Enterprise Resource Planning
HMI	–	Human-Machine Interface
I4.0	–	Industry 4.0
IEC	–	standard pro tvorbu elektronických schémat
IoT	–	Internet of Things
ISA-88	–	standard zabývající se dávkovou výrobou
ISA-95	–	standard definující systémy MES/MOM
IT	–	Information Technology
JIC	–	standard pro tvorbu elektronických schémat
MaR	–	Measurement and Regulation
MCAD	–	Mechanical Computer Aided Design
MCAD	–	Mechanical Computer Aided Design
MES	–	Manufacturing Execution System
MOM	–	Manufacturing Operations Management
OEE	–	Overall Equipment Effectiveness
OT	–	Operations Technology
P&ID	–	Piping and Instrumentation Diagram
PCS	–	Process Control System
PDM	–	Product Data Management
PFD	–	Process Flow Diagram
PLM	–	Product Lifecycle Management
QMS	–	Quality Management System
R&D	–	Research and Development
SLM	–	Service Level Management
SMC	–	Supply Chain Management
XML	–	Extensible Mark-up Language

Seznam příloh

Příloha 1: Návod na spuštění aplikace v prostředí TwinCAT

Příloha 2: Zdrojové texty

Příloha 3: CD