



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

TECHNOLOGIE ČTVRTÉ PRŮMYSLOVÉ REVOLUCE V NÁVRHU A VÝROBĚ TRANSFORMÁTORŮ

TECHNOLOGIES OF FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION IN TRANSFORMERS DESIGN AND PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Michal Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Knobloch, MSc

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Ing. Michal Horák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Josef Knobloch, MSc
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie čtvrté průmyslové revoluce v návrhu a výrobě transformátorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Právě probíhající čtvrtá průmyslová revoluce (Průmysl 4.0) související s digitalizací výrobních procesů se postupně začíná prosazovat napříč různými výrobními oblastmi a tedy i ve výrobě transformátorů. Technologie umožňují získávat nové informace o chování stroje, monitorovat a řídit výrobní procesy a celkově zrychlit a zefektivnit výrobu. Tyto přínosy se dějí zejména propojováním dosud samostatných informačních systémů (ERP, CAD, PLM, PMI, atd.), výrobních systémů (IoT) a zpracováním množství informací z různorodých zdrojů (Machine Learning a Big data). S průmyslem 4.0 jsou spojovány také nové technologie (Virtuální a rozšířená realita, Additive manufacturing, bezvýkresová dokumentace, robotizace a automatizace, apod.).

Cíle bakalářské práce:

1. Analýza možností technologií průmyslu 4.0.
2. Analýza procesu návrhu a výroby transformátorů s ohledem na možnou implementaci nových technologií.
3. Ve vybrané návrhové nebo výrobní fázi transformátorů navrhnout úpravu stávajících postupů a vyhodnotit dosažitelné přínosy (kvalitativní, časové, finanční).

Seznam doporučené literatury:

HLINOVSKÝ, Jiří, Jiří MAREK, Petr BLECHA and MAREČEK. Management rizik v konstrukci výrobních strojů, Speciální vydání MM Průmyslové spektrum, Praha: MM publishing, s.r.o., září 2009, 90 s. ISSN 1212-2572

Archiv. Automa – časopis pro automatizační techniku. [online].15.11.2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://automa.cz/cz/archiv-casopisu/>

Resource library. Control Global. [online]. 15.11.2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://www.controlglobal.com/resource-library/>

Siemens PLM Software. Siemens Product Lifecycle Management Software . [online]. 15.11.2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/

Industrial equipment solutions. Dassault Systèmes. [online]. 15.11.2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://www.3ds.com/industries/industrial-equipment/>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Jako odpověď na současný trend personalizace zákaznické poptávky se podniky snaží o přizpůsobení svých procesů růstu variability, která z tohoto trendu vyplývá. Tato práce se zabývá využitím principů Industry 4.0 pro dosažení těchto cílů. V první části práce jsou na základě studia odborné literatury popsány základní principy Industry 4.0 a možnosti, které tyto principy přináší do řízení a kontroly procesů. Je zde také popsána problematika transformace procesů a celých podniků dle principů Industry 4.0 na základě studií vytvořených konzultačními společnostmi. V úvodu aplikační části práce je vypracována analýza úrovně digitalizace podniku, který má snahu o postupnou transformaci dle Industry 4.0, včetně návrhů pro zvýšení úrovně digitalizace v různých oblastech. Následně je v aplikační části analyzován proces přetypování pracovišť podniku, kterého se růst variability týká nejvíce. Na základě analýzy procesu a studia dostupných technických řešení byly navrženy úpravy procesu ve smyslu Industry 4.0, které vedli s využitím digitalizace procesu k zvýšení jeho kvality, zkrácení času trvání a tím k finančním úsporám podniku.

ABSTRACT

In response to the current customer demand customization trend, businesses are trying to tailor their processes to the growing variability that results from this trend. This paper explores the Industry 4.0 principles to achieve these goals. In the first part of the thesis, the basic principles of Industry 4.0 are described on the basis of the study of literature and the possibilities that these principles bring to process control and management. There is also a description of the issue of process and enterprise transformation based on Industry 4.0 principles, based on studies made by consulting companies. At the beginning of the application part of the thesis is analyzed the level of digitization of the enterprise, which intend to transform according to Industry 4.0 gradually. Also a list of proposals to increase the level of digitization in different areas is provided. Subsequently, the application part analyzes the process of setting up the workplaces of the business, which is the process most affected by the growth of variability. Based on the analysis of the process and the study of the available technical solutions, process modifications in the sense of Industry 4.0 were proposed, which could lead to increase its quality, shorten the duration and thereby save the company's financial savings through the digitization of the process.

KLÍČOVÁ SLOVA

aplikace principů Industry 4.0, koncept smart factory, ekonomika firmy mass-customization, možnosti digitalizace procesu, analýza úrovně digitalizace, využití Industry 4.0 v procesu přetypování pracoviště, integrace AIV robotů, integrace technologie RFID,

KEYWORDS

application of Industry 4.0 principles, smart factory concept, economics of mass-customization process, process digitization opportunities, analysis of digitization level, application of Industry 4.0 on the setup process of workplace, AIV robots integration, RFID technology integration

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, M. *Technologie čtvrté průmyslové revoluce v návrhu a výrobě transformátorů*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 66 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce Ing. Josef Knobloch, MSc

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Josefovi Knoblochovi, MSc za odborné usměřování při psaní této práce, Ing. Milanovi Ratičákovi za poskytování vstupních dat do provedených analýz a konzultaci navrhovaných řešení a Simone Burčákové, za stylistickou korekturu textu práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Josefa Knoblocha, MSc a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Ing. Michal Horák

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	16
2.1	Povaha procesu výroby transformátorů	16
2.1.1	Teoretická východiska pro zhodnocení procesu.....	16
2.1.2	Typ procesu ve vybraném podniku.....	17
2.2	Ekonomika firmy s procesem mass-customization	18
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	19
3.1	Čtvrtá průmyslová revoluce	19
3.1.1	Industry 4.0.....	19
3.2	Základní principy Industry 4.0	19
3.2.1	Interoperabilita	20
3.2.2	Virtualizace	20
3.2.3	Decentralizace	20
3.2.4	Práce v reálném čase.....	21
3.2.5	Orientace na služby.....	21
3.2.6	Modularita	21
3.3	Transformace dle principů Industry 4.0.....	21
3.3.1	Industry 4.0 a digitální firemní kultura	22
3.3.2	Industry 4.0 a národní ekonomiky	23
3.3.3	Postup transformace podniku	23
4	PROCES NÁVRHU A VÝROBY TRANSFORMÁTORŮ	25
4.1	Proces výroby transformátorů	25
4.1.1	Proces výroby aktivních součástí napěťových transformátorů	25
4.1.2	Proces výroby aktivních součástí proudových transformátorů	25
4.1.3	Proces výroby odlitků transformátorů	26
5	ANALÝZA DIGITÁLNÍ VYSPĚLOSTI PODNIKU	27
5.1	Model digitální vyspělosti podniku	27
5.1.1	Skóre digitální vyspělosti podniku	29
5.2	Možnosti zvýšení digitální vyspělosti.....	29
5.2.1	Digitalizace podnikatelského modelu	30
5.2.2	Digitalizace produktu.....	30
5.2.3	Digitalizace a integrace hodnotového řetězce	31
5.2.4	Data a jejich analýza	31
5.3	Analýza digitalizace výrobního systému podniku	32
5.3.1	Dimenze hodnocení digitalizace systému	32
5.3.2	Hodnocení úrovně digitalizace výrobního systému.....	34
6	NÁVRH ÚPRAVY PROCESU	38
6.1	Fáze definování.....	38
6.2	Fáze měření	39
6.3	Fáze analýzy	39
6.3.1	Metoda SMED.....	39
6.3.2	Analýza digitální úrovně procesu	40
6.4	Fáze zlepšování.....	42
6.4.1	Úpravy procesu dle principů Industry 4.0.....	42
6.4.2	Srovnání návrhu s původním procesem.....	47

6.5	Fáze řízení	49
7	ZÁVĚR	51
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	57
9.1	Seznam tabulek	57
9.2	Seznam obrázků	57
10	SEZNAM PŘÍLOH	59

1 ÚVOD

Podniky prodávající své výrobky a služby na trzích v hospodářsky rozvinutých regionech, se potýkají se silnějším trendem individualizace zákaznické poptávky. To vytváří pro podniky nové výzvy, které musejí řešit, aby uspěli v konkurenčním boji o zákazníka. A to zejména, jak efektivně navrhnout personalizovaný produkt, jak jej efektivně vyrobit a jak efektivně poskytnout personalizovaný poprodejní servis individuálním zákazníkovi.

Nástrojem pro řešení těchto výzev se jeví být principy a technologie čtvrté průmyslové revoluce, často označované jako Industry 4.0. Cílevědomá aplikace těchto principů je pro podniky novou zkušeností a většina firem se nachází ve fázi, kdy experimentují s možnými koncepty využití Industry 4.0 pro jejich fungování. Podniky se snaží o pochopení těchto principů, vytvoření konceptů řešení ve smyslu Industry 4.0 a postupné vytváření prvních pilotních projektů.

V popsané situaci se nachází také průmyslový podnik vyrábějící transformátory, pro který byla vypracována aplikační část této bakalářské práce. Ve snaze zachytit popsaný trend a zjistit možnosti aplikace principů Industry 4.0 v podniku, byli stanoveny následující cíle této práce:

1. Analýza možností technologií Průmyslu 4.0
2. Analýza procesu návrhu a výroby transformátorů s ohledem na možnou implementaci nových technologií
3. Ve vybrané návrhové nebo výrobní fázi transformátorů navrhnout úpravu stávajících postupů a vyhodnotit dosažitelné přínosy (kvalitativní, časové, finanční)

Vzhledem k fázi, ve které se podnik momentálně nachází, není vedením společnosti požadováno vyvinutí konkrétního technického řešení, nýbrž vypracování koncepční případové studie pro výrobní systém podniku s nastíněním aplikací principů a technologií Industry 4.0, jako přístupu k vývoji a řízení procesů v podniku.

2 MOTIVACE

Trend individualizace zákaznické poptávky dostihl téměř všechny průmyslové odvětví a dá se předpokládat, že bude pouze silnět. To klade nové požadavky na výrobní systémy podniků, i takových, které tradičně vyrábí standardizované produkty. Tato situace nastává i ve vybraném podniku.

Odborná veřejnost očekává, že právě principy a technologie čtvrté průmyslové revoluce představují nástroj, pomocí kterého se podniky dokáží adaptovat nastíněnému trendu. Proto je potřebné se těmito principy a technologiemi zabírat a uvést je do souvislosti s výrobními procesy podniku a ekonomiky firem.

2.1 Povaha procesu výroby transformátorů

V této podkapitole jsou popsána teoretická východiska pro uvedení procesu ve vybrané fabrice do kontextu tradičních výrobních procesů. Následně jsou popsána specifika vybraného výrobního systému a výzvy, kterým proces vybrané fabriky čelí.

2.1.1 Teoretická východiska pro zhodnocení procesu

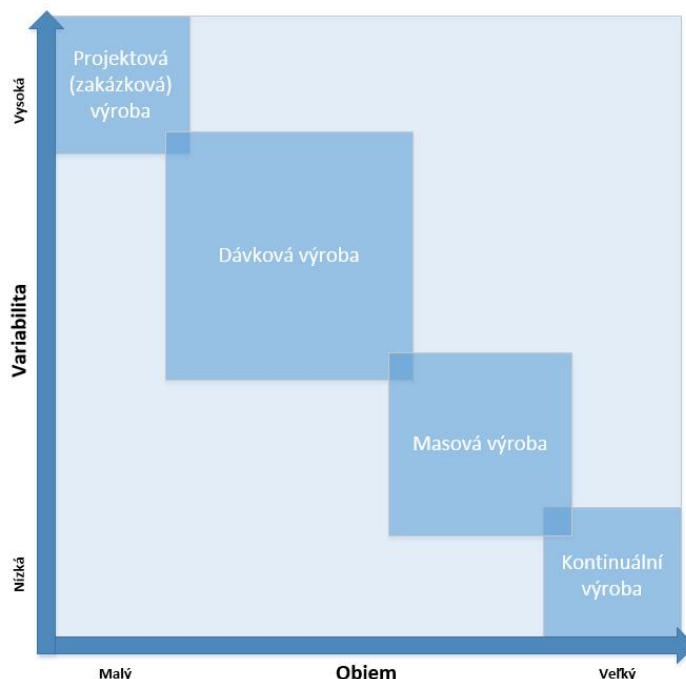
Odborné zdroje zabývající se řízením výroby a provozním managementem obecně definují čtyři typy tradičních výrobních procesů, které definují podobu výrobního systému a výrobního programu. Liší se primárně v počtu výrobních variant a v objemu výroby jednotlivých variant. Graficky je tento model znázorněn na obr. 1).

Obecně u tohoto modelu platí následující zákonitosti:

- horizontální osa, čím více napravo
 - tím větší celkový objem výroby podniku
 - tím větší automatizace procesů
 - tím menší flexibilita výrobního systému
 - tím větší náročnost na kapitálové investice
 - tím vyšší fixní náklady, celkové i jednotkové
 - tím nižší jednotková cena za produkt
- vertikální osa, čím více nahoru
 - tím nižší standardizace výrobků
 - tím vyšší zapojení zákazníka do podoby výrobku
 - tím vyšší flexibilita výrobního systému
 - tím vyšší variabilní náklady, celkové i jednotkové
 - tím vyšší jednotková cena za produkt

- o tím vyšší nároky na lidský kapitál podniku

Typy výrobních procesů



Obr. 1) Typy výrobních procesů dle Russellové [1]

2.1.2 Typ procesu ve vybraném podniku

Pro vybraný podnik platilo, že přibližně od roku 1950 do roku 2005 vyráběl poměrně standardizované produkty. Tyto produkty byly vyráběny v několika typech s několika podtypy, které byly vyráběny ve stovkách variant. Varianty v rámci stejného typu se od sebe liší zejména počtem závitů primárního a sekundárního vinutí a rozměry magnetického jádra. Do roku 2005 bylo vyrobeno cca 2700 variant všech typů transformátorů. Jednalo se o *dávkovou výrobu*.

Avšak do roku 2017 již bylo vyrobeno přibližně 75 000 variant, a to v 59 podtypech napěťových a 261 podtypech proudových transformátorů. Velikost objednávek jedné varianty je přibližně 10 – 12 kusů, přičemž je zde minimální opakovanost výroby variant, u většiny variant je opakovanost nulová. Výrobní proces má tedy charakter *zakázkové výroby*. Problémem je málo flexibilní výrobní systém, který kvůli častým změnám výrobních variant ztrácí produktivitu, v důsledku narůstajícího podílu přípravných časů, které jako takové výrobku nepřidávají hodnotu.

Vybraný podnik je *kapitálově těžká firma*, která disponuje relativně velkým majetkem v podobě budov, strojů a jiných zařízení, ve srovnání k celkovému majetku firmy. Pro tyto firmy je typické, že mají vysoké fixní náklady, avšak v důsledku rozvinuté automatizace výroby standardizovaných produktů mají nízké variabilní náklady na každý další produkt. To jim umožňuje dosáhnout zisku, avšak při poměrně velkém objemu prodané produkce [2].

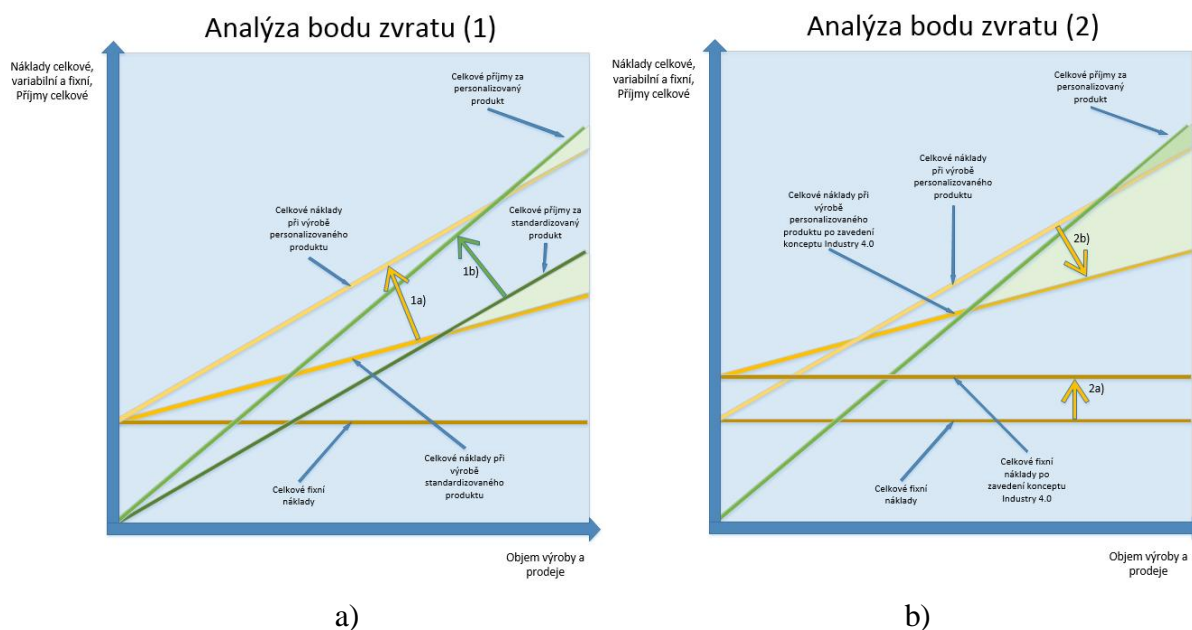
Pokud kapitálově těžká firma vyrábí produkty na zakázku, takový typ procesu se nazývá *mass-customization*, resp. *mass-personalization*, ve volném překladu do češtiny masová výroba na zakázku. Typ výrobního procesu ve vybraném podniku tedy možno označit za *mass-customization* proces. Tento typ se vzhledem k jeho povaze nachází nahoru vlevo od pomyslné diagonály na obr. 1).

2.2 Ekonomika firmy s procesem mass-customization

Ekonomické důsledky přizpůsobování kapitálově těžkých firem trendu individualizace zákaznické poptávky a možné řešení vyplývajících problémů je nastíněno pomocí *analýzy bodu zvratu* (break-even point analysis, BEP) na obr.2). Jedná se o model stavů ekonomiky podniku během transformace dle popsaných trendů.

Na obr. 2) jsou znázorněny křivkami žlutých odstínů různé druhy nákladů, závislých na objemu produkce. Zelené křivky představují celkové příjmy v závislosti na objemu produkce a zelené trojúhelníky znázorňují pásmo generování zisku. Pomocí BEP analýzy je možno hodnotit minimální množství produkce, tzv. *bod zvratu*, po kterého dosažení začíná být generován zisk a dynamiku generování zisku (úhel mezi křivkou celkových příjmů a nákladů) [2].

Obr. 2) znázorňuje následující efekty. S růstem variability produkce rostou i variabilní náklady (1a)), které vedou ke snižování hospodářského výsledku. Na druhé straně dochází k navýšení ceny výrobku (1b)), kterou je zákazník ochoten za individuálně přizpůsobený produkt zaplatit. Z dlouhodobého hlediska se tento efekt pravděpodobně ztratí v momentu, kdy se stane personalizace výrobků novým globálním standardem. Tyto změny vedou k negativnímu posunu bodu zvratu (vpravo od původního) a snížení dynamiky generování zisku.



Obr. 2) a) Analýza bodu zvratu po přizpůsobení se individuálním požadavkům zákazníka v neflexibilním výrobním systému b) Analýza bodu zvratu po zvýšení flexibility výrobního systému aplikací konceptu Industry 4.0

Právě principy a technologie, které jsou v souladu s konceptem Industry 4.0, představují nástroj pro zabezpečení flexibility výrobních systémů, které jsou kapitálově těžké. Od těchto nástrojů lze očekávat, že přinesou snížení variabilních nákladů (2b)), avšak za cenu dalšího navýšení fixních nákladů (2a)). To bude vést k pozitivnímu posunu bodu zvratu (vlevo od původního) a zvýšení dynamiky generování zisku podniku.

Je těžké odhadnout významnost popsaných efektů. Efekty znázorněny na obr. 2) byly zakresleny na základě očekávání odborníků z vybraného podniku a autora práce na základě prostudované odborné literatury.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Čtvrtá průmyslová revoluce

Současný globální trend automatizace, digitalizace a robotizace výrobních procesů a procesů poskytování služeb vedl ke vzniku fenoménu, který je označován jako *čtvrtá průmyslová revoluce* [3]. Na rozdíl od tří předešlých průmyslových revolucí, je u čtvrté poměrně náročné definovat její spouštěč. První průmyslová revoluce byla spuštěna vynálezem parního stroje, druhá vynálezem výrobní linky a využitím elektrické energie ve výrobním procesu. Třetí byla spuštěna rozvojem elektroniky a informačních technologií a jejich využitím pro automatizaci výrobního procesu [4].

Pro čtvrtou průmyslovou revoluci je typické, že k jejímu startu vedl vývoj vícero různých technologií (3D tisk, virtuální realita, cloud computing, pokročilá sensorika, machine learning, atd.). Jedná se o technologie, které umožnily vznik tzv. *kyber-fyzikálních systémů* (cyber-physical systems, CPS). Tyto CPS spočívají ve vytvoření virtuální kopie fyzického procesu v reálném čase, prostřednictvím propojení různých fyzických a programových prvků podniku do jednoho systému. Takový systém je schopný komplexně monitorovat výrobní proces (senzory, RFID tagy, MES, internet věcí...), přijímat decentralizovaná rozhodnutí (cloud computing, machine learning, RFID tagy), a tím se samoregulovat a řídit (internet věcí) [4]. V závorkách jsou uvedeny některé technologie, které dávají CPS.

Je důležité upozornit na to, že čtvrtá průmyslová revoluce, nebo Industry 4.0, jak bývá tento trend nazýván, není žádná konkrétní technologie, ale přístup k řízení a kontrole různých druhů systémů. Ačkoliv jsou zde využívány různé inovativní technologie, tyto technologie samy o sobě Industry 4.0 nepředstavují. Je to právě autonomní, s člověkem interagující a tyto technologie obsahující CPS, který čtvrtou průmyslovou revoluci představuje.

3.1.1 Industry 4.0

Kolem přínosů čtvrté průmyslové revoluce panují velká očekávání a je zde předpokládán velký potenciál pro úsporu nákladů, zvyšování kvality a rozvoj nových obchodních modelů. Pro urychlení transformace stávajících procesů dle zmíněného trendu přišla Německá spolková republika s národní iniciativou s názvem *Industrie 4.0* (Industry 4.0). Tato vize byla představena v roce 2011 na veletrhu v Hannoveru [5], a název Industry 4.0 je často používán jako synonymum pro čtvrtou průmyslovou revoluci jako takovou. Pro zjednodušení bude dále v textu používán hlavně termín Industry 4.0.

Iniciativu Industry 4.0 postupně přebrala i Evropská unie, jako svou dlouhodobou hi-tech strategii, iniciovanou vedoucími pracovníky nadnárodních evropských firem a vládních představitelů [6]. Svou obdobu má i v České republice, kde byla Ministerstvem průmyslu a obchodu vytvořena národní iniciativa *Průmysl 4.0*. Jedná se o dokument, který identifikuje požadavky kladené na aplikovaný výzkum, standardizaci, kybernetickou bezpečnost a úpravy právního rámce České republiky. Zároveň jsou zde popsány očekávané dopady na trh práce, kvalifikaci pracovní síly a vzdělávací systém [3].

3.2 Základní principy Industry 4.0

Koncept Industry 4.0 je postaven na šesti principech, kterých společnou aplikací vznikají unikátní, novátorská řešení, kvůli kterým hovoříme o čtvrté průmyslové revoluci.

3.2.1 Interoperabilita

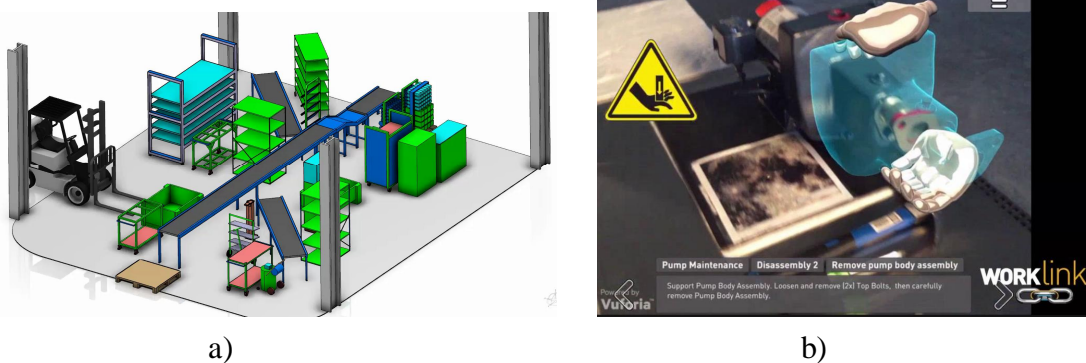
Jedná se o klíčový princip Industry 4.0, dle kterého jsou různé předměty (zařízení, materiál, polotovary), CPS a lidé schopny mezi sebou komunikovat pomocí Internetu věcí (Internet of Things, IoT) a Internetu služeb (Internet of Services, IoS) [7]. Pro komunikaci různých prvků systému jsou nevyhnutné komunikační standardy [8].

Těmito prvky jsou např. podnikové informační systémy (ERP, MES, SCADA), řídicí systémy výrobních strojů a logistických zařízení, data ze senzorů monitorujících výrobní a logistické procesy, atp. Tyto data musí být možno zpracovat různými analytickými softwarovými nástroji a také musí být schopny oboustranně komunikovat s člověkem přes různé druhy uživatelského rozhraní. Kromě velké rozmanitosti druhů dat jsou zde kladeny také velké nároky na jejich bezpečnost, nakořli využití takových komplexních datových řešení vede k nárůstu rizika krádeži dat a intelektuálního majetku. Odborníci i firmy vyrábějící technologie tvořící prvky CPS se shodují na tom, že tyto požadavky splňuje nejlépe IEC62541 komunikační standard OPC Unified Architecture (OPC UE) [9].

3.2.2 Virtualizace

Princip virtualizace spočívá ve vytvoření virtuální kopie fyzického procesu, pomocí které je CPS schopno monitorovat a vyhodnocovat proces, na základě čeho může CPS nebo člověk přijímat rozhodnutí pro jeho regulaci a řízení [8]. Virtuální kopie představuje model továrny nebo procesu, který je vytvořen na základě dat nevyhnutných pro popis sledovaných veličin procesu a modelování fyzických objektů. Díky možnostem simulace procesu je podnik schopen lépe předvídat výskyt nežádoucích událostí a efektivně jim předejít [7] a taky simulovat tzv. *what-if* scénáře ve 3D rozhraní pro lepší podporu strategických rozhodnutí [10].

Virtualizace ve spojení s analytickými nástroji je užitečný nástroj pro podporu člověka v řízení systémů se stále narůstající komplexností [8]. Důležitým přínosem virtualizace procesu je možnost experimentovat s novými řešeními bez výpadků výroby, například simulací materiálového toku dle obr.3a). Typickou aplikací jsou také pracovní instrukce zobrazené prostřednictvím technologie rozšířené reality na obr.3b).



Obr. 3) a) Virtualizace procesu na pracovišti s využitím software DELMIA [11], b) Virtuální pracovní instrukce využívající rozšířenou realitu vytvořená nástrojem WorkLink společnosti Scope AR [12]

3.2.3 Decentralizace

Princip, který představuje v konceptu Industry 4.0 prvek autonomnosti, je decentralizace rozhodování. Požadavek na decentralizaci vyplývá z trendu personalizace produktů a služeb, který vede k velkému nárůstu variability výrobního programu. Takovou variabilitu není možné

efektivně centrálně plánovat, proto jsou CPS opatřeny výpočetními uzly, které jsou schopny přijímat decentralizovaná rozhodnutí [8].

To umožňuje CPS pracovat samostatně a k zásahu člověka do systému dochází pouze v případech selhání nebo pro potřeby vývoje systému [7]. Příkladem decentralizace jsou například výrobky označené RFID tagy, které nesou informaci o postupu jejich montáže, obrábění, atp. Po přejetí výrobku RFID čtečkou je dělníkovi automaticky zobrazena specifická pracovní instrukce v rozšířené realitě, nebo je automaticky spuštěn specifický program obráběcího centra [13].

3.2.4 Práce v reálném čase

Pro maximalizaci využití zdrojů podniku je nutné, aby byl CPS schopen sbírat a analyzovat data v reálném čase a tím byl schopen rychlé reakce na případné selhání výrobního systému [7]. Například v případě selhání stroje musí být CPS schopen co nejrychleji přeměřovat výrobek na ekvivalentní pracoviště nebo upozornit obsluhu [8]. Zde jsou masivně využívány možnosti Cloud Computingu a důležitá je i kapacita a rychlost internetové nebo ethernetové sítě a bezdrátového přenosu dat přes Wi-Fi [4]. Právě v rychlosti bezdrátového přenosu dat je potenciál pro přiblížení se práci CPS s daty v reálném čase. Nejnovější standardy přenosu s označením 5G by měli dosahovat rychlosti 10 gigabitů za sekundu s odezvou 1 milisekundy [14].

3.2.5 Orientace na služby

Vnímání produktu jako služby, která naplní požadavky zákazníka, není novým konceptem. Na důležitost tohoto konceptu však upozorňují i průkopníci Industry 4.0, kteří tvrdí, že: *„nejsou to ‚Věci‘ které přidávají hodnotu individuálně, je to integrace množství IoT zařízení do komplexní ‚Služby‘, jež odpovídá komplexní oblasti požadavek zákazníka.“* [124]. Lze tedy říct, že Industry 4.0 řešení jsou zejména o využití synergií z integrace různorodých prvků komplexního systému, přičemž autonomnost tohoto systému vytváří službu uspokojující specifické požadavky zákazníka.

3.2.6 Modularita

Princip modularity vyžaduje takovou vlastnost systému (výrobního, výrobku, ...), že tento systém je složen z modulů, které je možné v případě změny požadavek zákazníka nahradit za modul vyhovující [7]. Záměna modulů je prováděna na principu Plug&Play a je nutná standardizace softwaru i hardwaru systému pro co nejrychlejší zařazení nového modulu do provozu [8]. Modularita produktů je výrazným prostorem pro jejich personalizaci.

3.3 Transformace dle principů Industry 4.0

Důvodů pro transformaci podniků a celých národních ekonomik dle principů Industry 4.0 je několik. Analýza společnosti Deloitte [5] z roku 2016 identifikovala hlavní přínosy Industry 4.0 v následujících oblastech:

- provozní oblast
 - zvyšování produktivity
 - § maximalizace využití zdrojů a minimalizace výpadků výroby
 - § zvyšování efektivity práce
 - § komplexní řízení nákladů dodavatelského řetězce a synchronizace dodávek

- § zajištění přesnosti a stability plánování
 - snižování rizika
 - § efektivní řízení reklamací a pozáručního servisu
 - § zabezpečení stálé ceny a dostupnosti základních materiálů
 - § nové nástroje kontroly a řízení kvality procesu
- obchodní oblast
 - nárůst výnosů
 - § rozvoj kanálů pro výnosy z poprodejního prodeje
 - § prohloubení pochopení potřeb zákazníků
 - § vytvoření nové nabídky produktů a služeb

Ta samá studie uvádí, že největší prostor pro dosažení přínosů v provozní oblasti spočívá v digitalizaci spojení mezi procesem a informačními technologiemi (tvorbě CPS), předpovědi změn, schopností systému reagovat na tyto změny v reálném čase a automatizací poprodejní podpory. Na druhou stranu v obchodní oblasti je to vytváření nebo rozšiřování chytrých produktů, nových způsobech spájení a integrace zákazníků a akceleraci inovací a zkracování návrhových cyklů [5].

Zejména možnosti nových produktů a služeb jsou v odborných zdrojích často diskutovány. Industry 4.0 umožňuje projít od kustomizace produktů a služeb k personalizaci, tzn. přizpůsobit každý výrobek specifickým individuálním požadavkům jednotlivých zákazníků, bez signifikantního nárůstu jednotkových nákladů. Personalizaci výrobků možno dosáhnout využitím aditivních technologií (3D tisk) nebo modularitou jejich konstrukce [15]. Další oblastí rozvoje produktů je tzv. *pay-by-use* model (ve volném překladu zaplat' jen za to, co využiješ). O využití tohoto konceptu odborníci diskutují například u automobilek, které by mohli zákazníkovi účtovat jenom výkon motoru, který skutečně využije [16].

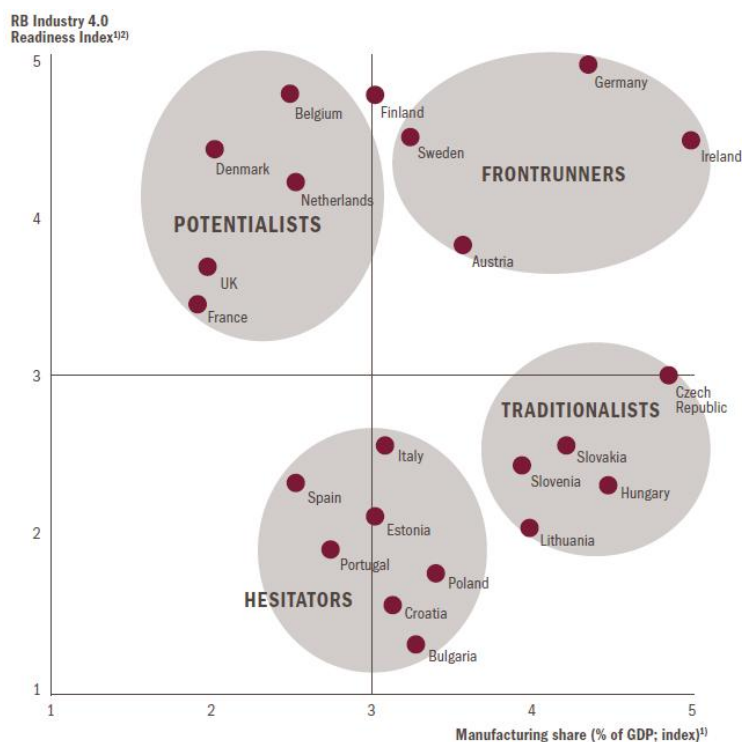
3.3.1 Industry 4.0 a digitální firemní kultura

Transformace firem v podniky fungující ve smyslu principů Industry 4.0 vyžaduje jak zabezpečení hardwarového a softwarového vybavení, tak i jejich integraci do jednoho CPS. Další, neméně důležitou dílčí transformací je transformace podnikové kultury. V posledních 20-ti letech se mnoho firem snažilo o transformaci z tradičního, funkcionalistického řízení v procesní řízení. Tzn. transformaci od poměrně izolovaného řízení podnikových funkcí (marketing, výroba, logistika, vývoj,...) v řízení podnikového procesu, kde každá podniková funkce vnímá svou roli jako součást komplexního procesu. Ne každá společnost se s touto změnou doposud úspěšně vypořádala. Pro úspěšnou transformaci dle principů Industry 4.0 je však potřeba další přeorientování, a to na produkt a jeho digitalizaci, jako i digitalizaci jeho výroby.

V roce 2016 provedla společnost PwC průzkum, který byl proveden na více než 2000 podnicích z 26 krajin, s cílem zjistit, co považují top manažeři firem za největší překážku v transformaci jejich firem dle principů Industry 4.0. Až 50% z nich uvedlo, že je to chybějící digitální kultura a training [17]. To v současnosti vede k neschopnosti zaměstnanců akceptovat a řídit se decentralizovanými rozhodnutími vznikajícími uvnitř CPS a přizpůsobit se nové roli člověka v podnikovém procesu řízeného dle principů Industry 4.0.

3.3.2 Industry 4.0 a národní ekonomiky

Zajímavé jsou i výsledky analýzy společnosti Roland Berger Strategy Consultants z roku 2014. Cílem analýzy bylo srovnat národní ekonomiky ve smyslu jejich připravenosti pro Industry 4.0 a prostoru pro aplikaci. Prostor pro aplikaci byl měřen jako %-ní podíl výrobního sektoru na celkovém HDP. Připravenost ekonomiky byla vyjádřena pomocí kompozitního ukazatele *RB Industry 4.0 Readiness Index*, ve kterém je vyjádřena sofistikovanost výrobního procesu, stupeň automatizace, připravenost pracovní síly, inovační intenzita, otevřenost průmyslu, výška přidané hodnoty a infrastruktura internetu. Toto srovnání je zobrazeno na obr. 4) [18].



Obr. 4) Srovnání připravenosti evropských národních ekonomik a jejich prostoru pro transformaci ve smyslu Industry 4.0 [18]

Dle této analýzy se Česká republika a většina postsocialistických krajín Střední Evropy nachází ve shluku *tradicionalistů*, který se vyznačují relativně vysokým podílem výrobního sektoru na HDP, avšak relativně průměrnou připraveností pro Industry 4.0. Krajiny tohoto shluku by proto měli cíleně investovat kapitál i energii do budování inovačního prostředí, kvality informační infrastruktury a vzdělávacího systému. Firmy v těchto krajínách můžou zlepšit svou pozici dalšími investicemi do automatizace a posilováním digitální firemní kultury [18].

3.3.3 Postup transformace podniku

Nakolik je transformace podniků dle principů Industry 4.0 novým trendem, prozatím neexistuje ověřený způsob této transformace. Společnost PwC v roce 2016 na základě analýzy definovala několik navazujících kroků, kterými musí podnik během transformace projít, a jsou to následující [17]:

1. *Definice Industry 4.0 strategie* - cílem úvodní fáze je ohodnocení současné vyspělosti podniku v oblasti digitalizace a stanovení cílů, které chce podnik s využitím principů Industry 4.0 dosáhnout, odborníci zde upozorňují, že je

potřeba plánovat také transformaci firemní kultury a nábor a udržení průmyslových inženýrů nevyhnutných pro projektování procesů dle principů Industry 4.0 [17]

2. *Vytvoření pilotních projektů* – smyslem pilotních projektů je vypořádat se s počátečními technickými výzvami na projektech menšího rozsahu, dokázat funkčnost konceptu Industry 4.0 a využít úspěšné projekty pro transformaci firemní kultury a získání kapitálu pro další transformaci [19]
3. *Identifikace potřebných firemních dovedností* – dle zjištění z pilotních projektů je potřeba vytvořit plán získání kritických chybějících dovedností, a to nábořem nebo školením zaměstnanců a vytvořením organizačního útvaru pro experimentování s novými řešeními [17]
4. *Stát se odborníkem v analýze dat* – pro fungování a rozvoj CPS podniku je kritická schopnost definovat, čistit, udržovat, integrovat a analyzovat různorodá data [19] metodami strojového učení, vícerozměrnými statistickými metodami, atp., s využitím cloud computingu, a to v reálném čase [17]
5. *Transformace v digitální společnost* – cílem této fáze je přijetí digitální strategie a digitální firemní kultury na celopodnikové úrovni, od top managementu až po dělníky, přičemž odborníci předpokládají, že z dlouhodobého hlediska je toto kritická etapa pro další rozvoj Industry 4.0, protože pokud k osvojení digitalizace nedojde, podnik ztratí klíčové zaměstnance a jejich dovednosti [17]
6. *Aktivní plánování řízení ekosystému produktu* – po zvládnutí vertikální i horizontální integrace v rámci podniku, je dalším krokem přidání hodnoty produktu vytvořením digitálního ekosystému, který integruje zákazníka, dodavatele a partnery, za účelem poskytnutí komplexního produktu jako služby řešící potřeby zákazníka [19]

4 PROCES NÁVRHU A VÝROBY TRANSFORMÁTORŮ

V podniku, pro který je vypracována aplikační část této práce, se vyrábí napět'ové a proudové transformátory. Transformátor je netočivý elektrický stroj, který funguje na principu elektromagnetické indukce. Je složen ze 3 částí – vinutí, magnetického obvodu a izolačního systému. Hlavní funkcí transformátoru je proměna vlastností elektrického napětí a proudu, dle určitého převodu [20].

Vinutí ve spojení s magnetickým obvodem, vývody vodičů a jiných funkčních prvků, tvoří tzv. *aktivní součást*. Při činnosti transformátorů dochází v důsledku odporu vinutí k proměně elektrické energie v tepelnou energii. Proto je aktivní součást umístěna v izolačním systému. V analyzovaném podniku je izolace provedena zalitím aktivní součásti epoxidovou pryskyřicí, čímž vzniká *odlitek* transformátoru.

4.1 Proces výroby transformátorů

Proces výroby napět'ových a proudových transformátorů je velice podobný, avšak liší se v pořadí prováděných činností a momentech vstupů některých druhů materiálu do rozpracovaného výrobku. Celý proces výroby je schematicky znázorněn na obr. 5).

4.1.1 Proces výroby aktivních součástí napět'ových transformátorů

Prvním krokem výroby napět'ových transformátorů je navinutí sekundárního vinutí na podélní izolační trubku, a to v několika vrstvách. Na sekundární vinutí je v další operaci položena izolace a navinuto primární vinutí. Oba typy vinutí jsou provedeny měděným drátem, přičemž platí, že sekundární vinutí má obecně menší počet závitů a větší plochu průřezu drátu, než primární vinutí. Součástí těchto operací je označení vývodů sekundárních i primárních vodičů a vkládání izolace mezi jednotlivé vrstvy vinutí. Cívka vytvořená vinutím vodiče na podélní trubku se nazývá solenoid. Vinutí je prováděno na speciálních jednoúčelových navíjecích strojích.

Po provedení vinutí jsou vývody vodičů přivedeny do primárních a sekundárních svorek. Cívka je ručně osazena na magnetické jádro, které vznikne spojením dvou částí ve tvaru písmena „C“. V tomto momentu je vyrobena tzv. *funkční část*. Funkční část je následně testována za pomoci zkoušecí techniky, přičemž jsou měřeny některé charakteristiky magnetického obvodu. Po provedení testů je funkční část ručně bandážována do několika vrstev různých druhů izolačního materiálu pro minimalizaci elektrických výbojů. Takto zabandážovaný polotovár je připraven pro zalití epoxidovou pryskyřicí. Přesuny polotovarů mezi všemi pracovišti jsou prováděné pomocí výrobní linky.

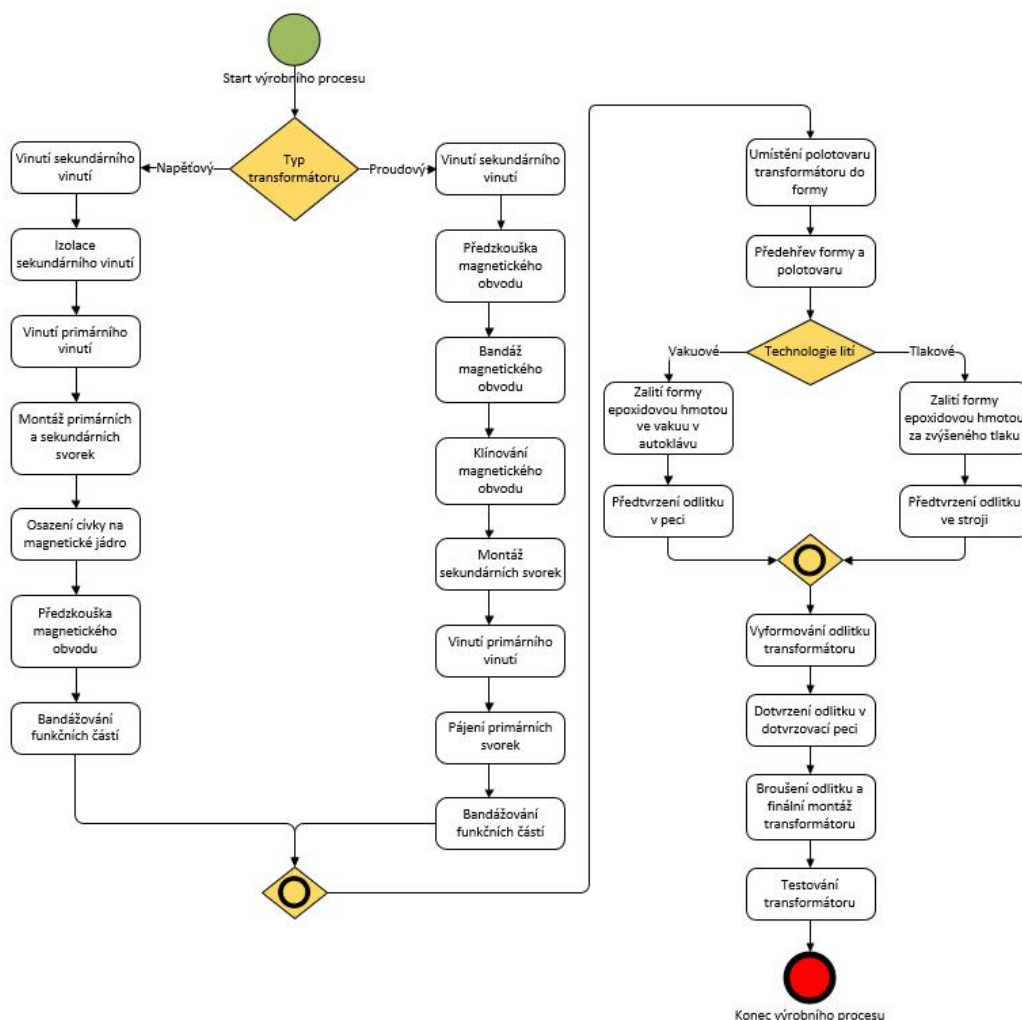
4.1.2 Proces výroby aktivních součástí proudových transformátorů

U proudových transformátorů je také prvním krokem navinutí sekundárního vinutí, které je navinuto na speciálních jednoúčelových strojích na magnetické jádro ve tvaru písmena „O“. Takto vzniknutá cívka se nazývá toroid. Sekundární cívka je následně testována. Po testu je cívka ručně bandážována do izolačního materiálu. Následně jsou všechny sekundární cívky určené do jednoho transformátoru umístěny do formy, která je zalita epoxidovou hmotou do výšky několik centimetrů, čímž vzniká tzv. *zálitek*. Po zatuhnutí epoxidové hmoty je zálitek vyformován a na vývody sekundárního vinutí jsou upevněny sekundární svorky.

Následně je přes otvor cívky navinuto primární vinutí, které má pouze několik závitů a primární vodič má výrazně větší plochu průřezu než sekundární. Na dalším pracovišti je primární vodič zapájen do primárních svorek. Tím je vyrobena funkční část proudového transformátoru. V posledním kroku je zabandážována do několika vrstev izolačního materiálu. Po tomto kroku je polotovár připraven na zalití epoxidovou hmotou. Doprava mezi pracovišti je zabezpečena výrobní linkou.

4.1.3 Proces výroby odlitků transformátorů

Po výrobě aktivní části transformátoru je polotovár umístěn do formy, nezávisle na tom, zda je transformátor proudový nebo napěťový. Forma aj s aktivní částí transformátoru je umístěna do předehřívací komory. Po dosažení požadované teploty je forma umístěna do pracovní oblasti zařízení pro tlakové lití, resp. do autoklávu v případě lití vakuového. Po zalití aktivních částí epoxidovou pryskyřicí dochází k předtvrzení hmoty, na konci této fáze je možné formu sejmout z odlitku bez rizika zborštění tvaru odlitku. Následně je odlitek umístěn do dotvrzovacího tunele, kde hmota dotvrdne.



Obr. 5) Schéma výrobního procesu

Na závěr výrobního procesu je odlitek obroušen na robotizovaném pracovišti a je na něm provedena finální montáž různých krytek a jiných prvků. Hotový transformátor je pak testován, přičemž testy jsou prováděny v souladu s certifikačními podmínkami krajiny, ve kterých má být transformátor použit.

5 ANALÝZA DIGITÁLNÍ VYSPĚLOSTI PODNIKU

Pokud chce společnost vyhodnotit svou připravenost pro implementaci principů Industry 4.0, je nutné analyzovat proces z vícero úhlů pohledu. V této práci bude analyzována *digitální vyspělost* společnosti a povaha úrovně digitalizace současného procesu ve srovnáním s konceptem *smart factory*.

Digitální vyspělost je pojem použitý ve studii společnosti PwC, který zrcadlí zkušenosti společnosti s integrací prvků systému, digitalizací produktů a služeb, vztah zaměstnanců ke sdílení dat napříč podnikovými funkcemi a jiné [17]. PwC vytvořila *model digitální vyspělosti*, přičemž je podnik hodnocen v 6 dimenzích na základě výběru slovních tvrzení, které pro jeho stav zodpovídají nejlépe. Ve výsledku je podnik zařazen do jedné z následujících čtyř úrovní vyspělosti [17].

- *digitální nováček* – podnik disponuje omezenými zkušenostmi s digitalizací procesu společnosti, IT architektura je nestrukturovaná a nekompletní
- *vertikální integrátor* – zkušenosti s přepojováním databází a aplikací napříč procesem, nestrukturované využívání analýzy dat u produktů a služeb a v samotném procesu
- *horizontální spolupracovník* – zkušenosti s propojením IT architektur externích partnerů v dodavatelském řetězci za účelem schopnosti poskytnout personalizovaný produkt, zaměstnanci si uvědomují nutnost sdílení informací napříč podnikového procesu
- *digitální šampión* – fyzický proces má svou virtuální verzi, pomocí které je systém schopen samo-optimalizace a autonomního řízení v reálném čase, podnik se blíží vizi smart factory, můžeme zde hovořit o konceptu Industry 4.0 na úrovni přesahující hranice podniku

Model digitální vyspělosti společnosti PwC je znázorněn na obr. 6), včetně všech tvrzení pro různé dimenze a úrovně vyspělosti. Tvrzení platící pro vybranou společnost jsou označeny červeným čtvercem. Tvrzení byli vybíráni ve spolupráci s manažerem oddělení Procesního inženýrství, který je odpovědný za rozvoj podnikového procesu, a teda i za postupnou implementaci principů Industry 4.0. Vzhledem k tomu, že studie PwC nestanovuje váhy jednotlivých hodnocených dimenzí, jsou všechny váhy stanoveny na hodnotu 1. Úroveň vyspělosti byla stanovena na základě průměru hodnot přiřazených k tvrzením. Tyto hodnoty odpovídají číslíčkům jednotlivých úrovní digitální vyspělosti dle obr. 6).

5.1 Model digitální vyspělosti podniku

Následující text odůvodňuje volbu jednotlivých tvrzení a následně jsou zde popsány návrhy dalšího směřování analyzované společnosti.

Volba prvního tvrzení ohledem *digitálních podnikatelských modelů* je náročná, vzhledem k povaze transformátorů, jako produktu. Jedná se o produkt, který je prodáván na tzv. *B2B trzích* (business-to-business), přičemž prodej je realizován projektově. Digitalizace přístupu k zákazníkovi je proto realizována spíše podpůrnými digitálními nástroji obchodníka, jakožto člověka hledajícího řešení zákaznickova problému. V procesu prodeje jsou využívány

izolované aplikace pro vizualizaci řešení a modelování elektrických a mechanických vlastností transformátorů uspokojujících specifické požadavky zákazníka.

V oblasti možnosti rozvoje *digitalizace produktu* je podnik rovněž v obtížné situaci. Produkty společnosti jsou používány jako součásti (vstupy) montované do větších funkčních celků. Teprve tyto celky jsou prodávány konečným zákazníkům, opět na B2B trzích. Společnost je v této oblasti limitována digitalizací těchto funkčních celků, která je v současnosti minimální, odvozena od požadavků zákazníků. Společnost zde proto nemá zkušenosti s digitalizací produktu.

Digitalizace a integrace hodnotového řetězce je prováděna na dílčích částech výrobního procesu a omezeně vzhledem k externím partnerům podniku. Příkladem jsou automatické výrobní linky v části výroby funkčních částí proudových i napěťových transformátorů. Tyto linky jsou integrovány s informačním systémem MES, avšak chybí u nich integrace se strojními zařízeními, které jsou její součástí a procesem lití. A to jak ve smyslu vnitropodnikové přepravy polotovarů a licích forem nebo plánování pro výrobní systém jako celek.

Příkladem integrace společnosti a externích partnerů je digitalizace objednávání některých druhů materiálů od dodavatelů. Jedná se zejména o dodávky řízené systémem KANBAN, u kterého je při podkročení předem definovaného objednávacího množství materiálu automaticky vygenerována objednávka materiálu smluvnímu dodavateli. Toto se děje na základě stavů zásob materiálu, plánů spotřeby materiálu a definovaných objednávacích hladin prostřednictvím ERP systému SAP.

Data a jejich analýza jsou pro společnost velkou výzvou. Společnost disponuje díky informačním systémům ERP a MES značným množstvím dat. Dalším zdrojem dat jsou senzory strojních zařízení. U většiny strojních zařízení platí, že ohledem sběru a analýze dat jsou *černou skříňkou*, tzn. zařízení jako takové data o procesu a provozních stavech sbírá, avšak využívá je automaticky pro svou činnost bez možnosti jejich uložení. Některá zařízení umožňují i ukládání dat. Pokud je to možné, data jsou ukládána do různých databází.

Hlavním způsobem využití dat jsou cíleně, jednoúčelově vytvořené reporty pro zobrazování různých trendů a závislostí pro podporu rozhodování a řízení. V této oblasti ve společnosti prakticky úplně absentuje jak přídatná pokročilá sensorika umožňující komplexní monitorování procesu, tak analýza dat s využitím pokročilých statistických metod, simulací a algoritmů *machine learning*. Chybí zde také zkušenosti s integrací všech dostupných dat z různých zdrojů – MES, ERP, CAD, LotusNotes, výrobní linka, navíjecí stroje, licí stroje, automatické zakladače, měřicí a zkoušecí zařízení, atd.

Ve prospěch společnosti v hodnocení hraje *IT architektura* podniku, která má relativně homogenní charakter. Většina aplikací byla vytvořena vlastními silami podniku lokálními vývojáři. Prostředí nadnárodní společnosti umožňuje širší přizpůsobení systémů, jako jsou ERP nebo MES lokálním požadavkům s ohledem na snadnou integraci s lokálními aplikacemi a databázemi.

	1 Digitální nováček	2 Vertikální integrátor	3 Horizontální spolupracovník	4 Digitální šampion
Digitální podnikatelské modely a přístup k zákazníkovi	První digitální řešení a izolované aplikace	Digitální portfolio produktů a služeb se software, sítí (M2M) a daty jako klíčovými diferenciatorem	Integrovaná řešení napříč hranic dodavatelského řetězce, spolupráce s externími partnery	Rozvoj nových disruptivních podnikatelských modelů s inovativním portfoliem produktů a služeb, velikost dávky = 1 ks
Digitalizace produktu a nabízených služeb	Online podoba je oddělena od offline kanálů, zaměření na produkt místo na zákazníka	Vícekanálová distribuce s integrací online a offline kanálů, zapojení analytiky dat pro zabezpečení personalizace	Individualizovaný přístup k zákazníkovi a vzájemná integrace s partnery v hodnotovém řetězci. Sdílená, integrovaná rozhraní.	Integrovaný management zákazníka napříč všemi marketingovými a prodejními kanály s CRM
Digitalizace a integrace vertikálního a horizontálního hodnotového řetězce	Digitalizované a automatizované sub-procesy. Částečná integrace zahrnující výrobu, nebo interní a externí partnery.	Vertikální digitalizace, standardizované a harmonizované interní procesy a datové toky v rámci společnosti, omezená integrace s externími partnery	Horizontální integrace procesů a datových toků se zákazníky a externími partnery, intenzivní využívání dat skrze plnou integraci napříč sítí	Plně digitalizovaný, integrovaný partnerský ekosystém so samo-optimalizovanými, virtuálními procesy a decentralizovanou autonomií. Data v reálném čase rozšiřují operativní informace.
Data a analytika jako klíčová dovednost	Analytické dovednosti společnosti jsou založeny na polo-manuálních extrakcích dat. Monitorování a zpracování dat pouze ve vybraných místech.	Analytické dovednosti společnosti jsou podporovány centrálním Business Intelligence (BI) systémem. Izolované, nestandardizované podporné systémy rozhodování	Centrální BI systém konsolidující všechny interní a externí zdroje informací, některé prediktivní analýzy. Specifické systémy pro podporu rozhodování.	Centrální využívání prediktivních analýz pro optimalizaci a automatické řízení v reálném čase, pomocí inteligentních databází a genetických algoritmů umožňujících analýzu dopadů a podporu rozhodování
Agilní IT architektura	Fragmentovaná IT architektura vytvořena vlastními silami společnosti	Homogenní IT architektura vytvořená vlastními silami společnosti. Propojení mezi různými zdroji dat je ve vývoji.	Společná IT architektura v síti partnerů.	Jediný „pool“ dat s externími funkcemi integrace dat a jejich flexibilní organizací. Bezpečná výměna dat mezi partnery.
Organizace, zaměstnanci a digitální kultura	Funkce podniku uzavřené do samých sebe	Spolupráce mezi funkcemi společnosti, avšak ne strukturovaná a konzistentně vykonávaná	Spolupráce napříč hranicemi společnosti, kultura a motivace ke sdílení	Spolupráce jako klíčový motor tvorby hodnoty

Obr. 6) Model hodnocení digitální vyspělosti podniku společnosti PwC, z překlada originálního dokumentu [17]

Zaměstnanci podniku a digitální kultura jsou nakloněny k dílčímu sdílení informací napříč podnikovými funkcemi. Avšak, chybí zde vize na celopodnikové úrovni, která by vedla k pochopení potřeby co největšího sdílení dat a informací, které bude nutné v dalších krocích transformace podniku dle principů Industry 4.0.

5.1.1 Skóre digitální vyspělosti podniku

Z vyznačených platných tvrzení o společnosti dle obr. 6) vyplývá, že skóre dle modelu digitální vyspělosti má následující hodnotu:

$$\text{skóre digitální vyspělosti} = \frac{1+1+1+1+2+2}{6} = 1, \bar{3} \text{ bodu}$$

Výpočet skóre ukazuje, že digitální vyspělost podniku je mezi úrovní *digitální nováček* a *vertikální integrátor*, blíže k prvnímu zmíněnému. Dle modelu společnosti PwC to znamená, že podnik po dosažení prvotních zkušeností s digitalizací dílčích částí podnikového procesu postupně vytváří propojení mezi izolovanými aplikacemi a digitálními prvky systému podniku navzájem.

5.2 Možnosti zvýšení digitální vyspělosti

Pro společnost je vhodnou střednědobou strategií zaměřit se na doplnění platnosti všech tvrzení platných pro úroveň *vertikální integrátor*. Zároveň je pro společnost vhodné postupné vytváření vizí a konceptů pro dosažení platnosti tvrzení úrovně *horizontální spolupracovník*.

Je důležité upozornit na to, že ne všechny z následujících návrhů se opírají o již dostupná technická řešení. Specifická technická řešení dle principů Industry 4.0 vznikají společným úsilím firem z vícero průmyslových oblastí, přičemž nalezené řešení většinou není možné aplikovat na jiné průmyslové aplikace. Také zde bude pro analyzovanou společnost v případě zájmu o nastíněná řešení nutné pro vývoj konkrétního technického řešení integrovat specialisty z různých průmyslových oblastí.

5.2.1 Digitalizace podnikatelského modelu

Dalším krokem digitalizace podnikatelského modelu podniku by mohlo být propojení procesu konstrukce transformátorů s procesy prodeje, nákupu materiálu a výroby, s cílem minimalizovat doby dodání výrobku a náklady na jejich výrobu. Jedním ze zdrojů variability výroby je velké množství variant návrhů konstrukce, kterými je možné dosáhnout stejných elektrických vlastností transformátoru. V současnosti neexistuje snaha o cílenou minimalizaci variability (a tím nákladů) prostřednictvím cílené konstrukce transformátorů.

Jako řešení možno navrhnout vytvoření aplikace pro optimalizaci konstrukce transformátorů s využitím nelineárních optimalizačních algoritmů (evoluční, GRG,...). Taková aplikace vyžaduje propojení následujících dat:

- *proces prodeje* - zákazníkem požadované elektrické a mechanické vlastnosti výrobku
- *proces nákupu* - informace o dostupnosti různých variant materiálů, jejich ceně a doby dodání u smluvních dodavatelů
- *výrobní proces* – kapacity pracovišť, forem, přípravků a zařízení s ohledem na dosavadní výrobní plán, výrobní časy a časy přetypování pracovišť mezi různými varianty

Jedná se o model, kterého cílem je minimalizace nákladů, volbou optimálních hodnot proměnných, kde proměnnými jsou typ transformátoru, údaje o sekundárním a primárním vinutí a rozměrech magnetického jádra. Omezujícími podmínkami tohoto modelu jsou požadavky zákazníka, dostupnost variant různých typů materiálů, výrobních kapacit a doba dodání hotového výrobku. Doba dodání je odvozena od doby dodání materiálu a průběžných časech výroby vycházejících z výrobního plánu.

Popsaný model je natolik rozměrný (počet proměnných a omezujících podmínek), že pro jeho řešení je potřeba velké množství výpočetní kapacity. Pořízení takové výpočetní kapacity, která by byla využívána jenom nárazově, je pro podniky nákladově neefektivní. Lze zde proto doporučit využití technologie *cloud computingu*, a teda využít externích zdrojů výpočetní kapacity.

5.2.2 Digitalizace produktu

Je náročné předpokládat, jak velké jsou možnosti digitalizace transformátorů jako produktu a služby. Doposud tyto možnosti nebyli hlouběji přezkoumány a prozatím neexistuje v této oblasti ani tlak ze strany zákaznické poptávky. Vzhledem k současným trendům digitalizace hardwarových výrobků, možno navrhnout následující scénář.

Variabilita z pohledu výrobního procesu bude snížena výrobou pouze několika typů transformátorů, které budou po instalaci u zákazníka připojeny k internetu a schopny pokrýt spojitě spektrum převodů napětí a proudů. V současnosti jsou vyráběny transformátory s možností diskrétního přepínání převodů elektrických charakteristik.

Společnost BMW přišla s vizí výroby automobilových motorů se širším rozpětím výkonu. Takový motor je připojen k internetu, přičemž zákazník si v případě zájmu o vyšší výkon může přes e-shop zakoupit rozšíření výkonu. Automobilka mu po zaplacení na dálku „odemkne“ adekvátní výkon motoru, napořád nebo jenom na několik dnů [16]. Obdobný digitální model by mohl být využit u výroby transformátorů.

Takový transformátor by měl vyšší přímé náklady na výrobu, avšak společnost ušetří značné finanční prostředky tím, že vyvíjí pouze jednu variantu transformátoru, místo vývoje několika odlišných příbuzných typů. Stejně tak společnost nemusí uzpůsobovat výrobní kapacity výrobě několika různých typů transformátorů, z čehož plynou další úspory. Na druhé straně bude zákazník ochoten za takovou přidanou hodnotu zaplatit vyšší částku

Na první pohled se nemusí zdát, že takovéto řešení je v souladu s ekonomickým modelem na obr. 2), avšak je. Protože k tomuto řešení přivedl společnost efekt z obr. 2a) a došlo zde také k efektu z obr. 2b), i když v jiné kvalitě. Na rozdíl od vysokých investic do výrobních kapacit, schopných vyrábět personalizované portfolio bez nárůstu variabilních nákladů, jsou v tomto řešení vynaloženy velké investice do vývoje standardizovaných produktů, které budou schopny uspokojovat individuální požadavky zákazníků. Dopad na nákladové křivky modelu je ale stejný.

5.2.3 Digitalizace a integrace hodnotového řetězce

V užším slova smyslu se u výrobního podniku jedná zejména o digitalizaci a integraci prvků výrobního systému, ať už jsou to procesy, lidé, zařízení, dopravní prostředky, materiál, přípravky, atd. Vertikální integrace výrobního systému jako celku vyžaduje postupné dílčí integrace různých subsystémů. Například integrace ve smyslu informačních toků, interního zásobování, apod. S ohledem na rozsah problematiky digitalizace výrobního systému je tato problematika detailně analyzována v podkapitole 5.3. V této podkapitole jsou identifikovány i možnosti dalšího rozvoje digitalizace podniku.

5.2.4 Data a jejich analýza

V oblasti sběru dat, ale hlavně v jejich analýze nejvyspělejšími statistickými, grafickými a prediktivními metodami má společnost značné mezery. Samostatnou kapitolou je sběr dat z výrobního procesu pomocí rozličných senzorů, který vyžaduje pečlivou analýzu procesu a experimentování s užitečností druhů sbíraných dat pro dosažení stanovených cílů. Vzhledem k rozsahu práce je vhodné zde nastínit aplikaci této oblasti na konkrétní místo procesu.

Vybraným místem je proces výroby odlitků transformátorů. Kvalitativní nedostatky funkčních částí transformátorů je relativně jednoduché odstranit, čímž kvůli nim nedochází k velkým finančním ztrátám. Avšak problémem při většině chyb výroby odlitků (zalití správně vyrobené funkční části) je, že jsou tyto chyby neopravitelné a odlitek je nepoužitelný jako celek. To má výrazný dopad na náklady nekvality produkce. Proto se zde nabízí aplikace pokročilých prediktivních algoritmů umožňujících analýzu dat o procesu z reálného času pro predikci výroby zmetku, s možností úpravy vlastností procesu, resp. alespoň jeho zastavení.

Podnik má z procesu tlakového lití dostupná data o průběžích teplot v různých částech pracovní oblasti stroje, průběžích teplot přehřevu a dotvrzování transformátorů a také průběžích tlaků vstřikování licí hmoty a pístu stroje. Dále jsou dostupné informace o licím programu, tzn. charakteristiky průtoku licí hmoty systémem, průběh objemu hmoty ve formě, cílové tlaky a teploty pracovní oblasti a jiné. Dostupná jsou také data o přesném složení epoxidové hmoty a informace o konstrukci a prostorovém uložení funkčních částí ve formě.

Zejména tyto vlastnosti funkčních částí mají velký dopad na průběhy teplot přehřevu, během tuhnutí hmoty a dotvrzení (problematika tepelných mostů a tepelných bariér). Význam posledního zmíněného roste s počtem variant konstrukce funkčních částí (desetitisíce) vzhledem k počtu relativně univerzálních licích programů (desítky).

Z předešlého odstavce je zřejmé, že se jedná o takový objem dat, ze kterých není v možnostech lidské kapacity vyvodit kauzální vazby mezi vstupními proměnnými procesu a výstupní kvalitou odlitku. Proto je zde nutné využít technologie *Big data* a *Machine learning*. Řešením uvedeného problému může být využití technologie *neuronových sítí*, s cílem vytvořit model schopný predikovat výrobu zmetku. Učení neuronové sítě zde proběhne pomocí historických dat, a to pro jednotlivé odlité kusy. Využité budou jak data o procesu (předešlý odstavec), tak kvalitě výstupu (typy chyb).

Po dosažení požadované přesnosti predikcí je model propojen s reálným procesem v reálném čase. V případě, že model na základě dat identifikuje riziko výroby zmetku, simuluje možnosti úpravy proměnných parametrů licího programu až do nalezení vstupů, vedoucích k výrobě shodného kusu. Tím je licímu zařízení dána možnost autonomní úpravy licího programu na základě dat a predikcí z průběhu procesu.

5.3 Analýza digitalizace výrobního systému podniku

Míru digitalizace výrobního systému podniku je potřeba ohodnotit v různých dimenzích. Nakolik neexistuje žádná ucelená metodika pro takovéto zhodnocení, tato kapitola představuje návrh metodiky pro zhodnocení míry digitalizace systému. Tato metodika je založena na srovnání vlastností analyzovaného systému s výrobním systémem dle konceptu *smart factory* [21] [22] [23].

V úvodu jsou identifikovány hodnocené dimenze digitalizace, přičemž tyto dimenze mohou dosahovat tři úrovně, hodnocené body od 1 do 3 bodů. Obdobně jako u modelu PwC jsou vybrána tvrzení, která pro hodnocené pracoviště platí nejvíce. Po zhodnocení všech dimenzí u všech pracovišť je vypočítán aritmetický průměr a směrodatná odchylka hodnocení, a to jak horizontálně pro pracoviště i vertikálně pro dimenze. Tyto vypočítané hodnoty pak odrážejí jak celkovou úroveň, tak nerovnoměrnost digitalizace systému. Vypočtené hodnoty jsou následně graficky zobrazeny pro lepší analýzu výsledků.

5.3.1 Dimenze hodnocení digitalizace systému

Tyto dimenze byly identifikovány na základě syntézy vlastností prvků výrobního systému dle konceptu *smart factory*. Tvrzení o dimenzích vychází ze studia odborné literatury a případových studií zaměřených na problematiku *smart factory*. Navržený model se nachází v tab. 1) a je tvorbou autora práce.

V modelu jsou obsaženy následující dimenze hodnocení úrovně digitalizace hodnotového řetězce:

- *data* – sběr dat, analýza dat
- *flexibilita výroby* – zařízení, zaměstnanců
- *flexibilita dopravy* – polotovary, materiálu
- *komunikace* – polotovar – pracovní postup, polotovar - doprava

Vzhledem k absenci takovýchto metodik bylo nutné vytvořit vlastní rámec. Je pravděpodobné, že jiný autor by zvolil jiné dimenze, případně jiný přístup k analýze digitalizace výrobního systému podniku. Takovýto přístup však poskytuje dostatečnou informaci o stave analyzovaného systému.

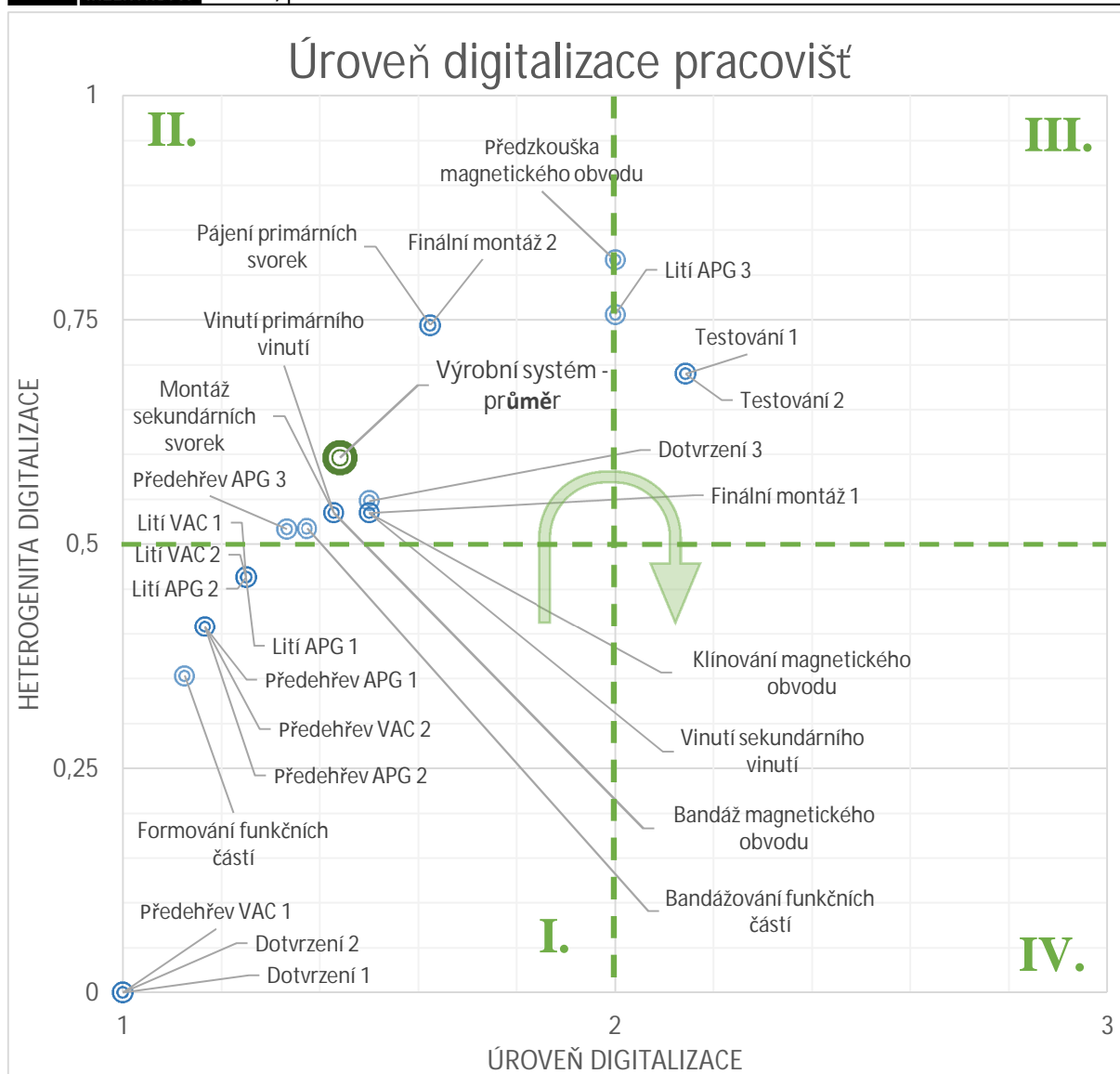
Před samotnou analýzou je důležité vysvětlit volbu dimenzí *flexibilita výroby* a *flexibilita dopravy*. Tyto dimenze byly vybrány, protože jsou důsledky většího množství digitalizovaných řešení. Na rozdíl od hodnocení např. *sběru dat*, není účelné hodnotit všechny digitální řešení, která vedou k schopnosti systému vyrábět personalizovaný produkt (roboty, rozšířená realita, atd.). Proto byly definovány tyto „kompozitní“ dimenze, které samy o sobě nejsou nositelé digitalizace, ale jsou její důsledkem.

Kategorie dimenze	Dimenze	I. úroveň (1 bod)	II. úroveň (2 body)	III. úroveň (3 body)
Data	Sběr dat	Data nevyhnutná pro řízení výroby	Data využívaná zařízeními pro řízení jejich činnosti	Data o průběhu procesu cílevědomě sbírána pomocí pokročilé sensoriky
	Analýza dat	Data jsou graficky zobrazována, sledování trendů	Data jsou statisticky analyzována, hledání kauzálních vztahů	Data jsou využívána pro tvorbu prediktivních modelů a autonomních pracovišť
Flexibilita výroby	Zařízení	Rigidní zařízení, bez možnosti výroby různých variant	Manuálně/poloautomaticky přestavitelná zařízení, schopna vyrábět množství variant při přijatelných nákladech na přetypování	Automatizovaná/robotizovaná zařízení, schopná velmi rychlého přeprogramování
	Zaměstnanci	Vykonávání jednotvárné činnosti, na základě technologického postupu	Schopnost vyrábět několik typů výrobků, na základě typových pracovních postupů	Multifunkčnost, schopnost vyrábět personalizované výrobky, podporovány modulárními technologickými postupy
Flexibilita dopravy	Polotovary	Tok polotovarů probíhá na základě manuálního předávání mezi pracovišti	Automatický tok polotovarů po výrobní lince po předem definované trase	Autonomní doprava polotovarů po výrobním systému dle potřebných operací
	Materiálů	Dodávky realizovány pracovníky na základě signálů od výrobních pracovníků	Automatizované dodávání pracovníky na základě předem definovaného plánu	Autonomní dodávání na základě automaticky generovaných požadavků výrobního systému
Komunikace	Polotovar – pracovní postup	Pracovník musí manuálně nastavit a spustit program zařízení / najít technologický postup, dle typu	Polotovar nese informaci o programu stroje / technologickém postupu, pracovník jej musí načíst do systému pomocí čtečky	Polotovar autonomně komunikuje se zařízeními a zaměstnanci, programy / postupy jsou automaticky načteny
	Polotovar - doprava	Polotovar nekomunikuje se systémem interní logistiky, je manuálně odebrán z mezikladu v případě potřeby	Polotovar nese informaci o dopravní trase napříč výrobním systémem, signály pro přesun jsou vydávány člověkem po ukončení pracovního cyklu	Polotovar nese informaci o dopravní trase, signály pro přesuny jsou autonomně vysílány samotným polotovarem po ukončení cyklu

Tab 1) Definice dimenzí hodnocení digitalizace hodnotového řetězce

5.3.2 Hodnocení úrovně digitalizace výrobního systému

Ohodnocení jednotlivých pracovišť dle navržené metodiky je provedeno v příloze č.1. Z důvodu omezeného rozsahu práce je v částech 5 a 6 hodnocena pouze výroba proudových transformátorů. Pracoviště byli ohodnoceni ve spolupráci s manažerem oddělení procesního inženýrství analyzované společnosti. Výsledky hodnocení pracovišť jsou zobrazeny na obr. 7).



Obr. 7) Hodnocení úrovně digitalizace pracovišť společnosti

Z dat zobrazených na obr. 7) je zřejmá úroveň digitalizace jednotlivých pracovišť. Většina pracovišť se dle průměru digitalizace nachází před úrovní 2, přičemž pracoviště se mezi sebou liší zejména variabilitou digitalizace ve stanovených dimenzích. To možno interpretovat realizací projektů dílčí digitalizace pracovišť, např. zapojení pracoviště do informačního systému MES, resp. povahou zařízení, které jako takové umožňují digitalizaci procesu, avšak kvůli úrovni ostatních dimenzí není jejich potenciál využit.

Z hlediska procesního zařazení pracovišť je zřejmý shluk pracovišť lití, který se nachází hlavně v prvním kvadrantu. Na hranici prvního a druhého kvadrantu se nachází zejména pracoviště, která jsou součástí výrobní linky. Právě automatizovaná linka úzce propojená s MES je zde zdrojem zvýšené digitalizace procesu. Nejlépe hodnocené jsou dle použité metodiky pracoviště předzkoušení a testování. Je to proto, že jsou rovněž součástí výrobní linky a jsou zde využívány univerzální postupy práce, jak pro zařízení, tak pro zaměstnance.

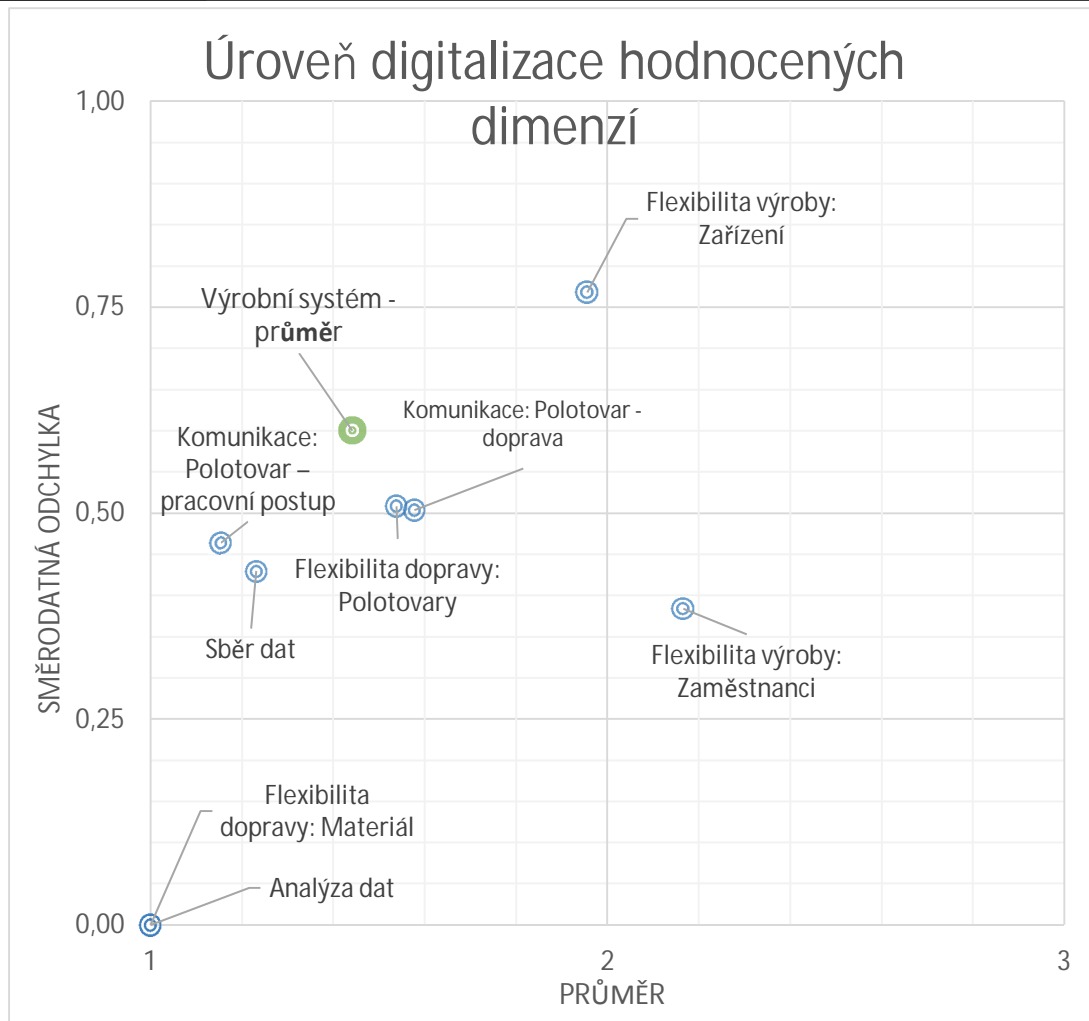
Rozložení bodů na grafu je v souladu s intuitivním postupem růstu digitalizace výrobního systému podniku. Na obr. 7) je možno identifikovat čtyři charakteristické kvadranty, s následujícími charakteristikami:

- *I. kvadrant* – celkově nízká úroveň digitalizace s podobnou úrovní v různých dimenzích, nebyli zde prováděny projekty pro zapojení prvků digitalizace a automatizace výrobních procesů
- *II. kvadrant* – celkově nižší úroveň digitalizace, avšak v některých dimenzích byli zavedeny projekty digitalizace a automatizace výrobních procesů, jejich potenciál nemusí být využitý kvůli nedostatkům v jiných dimenzích
- *III. kvadrant* – celkově vyšší úroveň digitalizace, většina dimenzí je digitalizována na vysoké úrovni, avšak některé dimenze zaostávají, to může být způsobeno relativně nízkým mezním přínosem další digitalizace těchto dimenzí
- *IV. kvadrant* – celkově vysoká úroveň digitalizace, přičemž úroveň jednotlivých dimenzí je relativně homogenní, tento kvadrant představuje dlouhodobý cíl transformujícího se podniku

Pro identifikaci prostoru pro zlepšení je vhodné na stejné škále analyzovat dimenze jako celky. Ty jsou zobrazeny na obr. 8). Z tohoto obrázku jsou zřejmé některé efekty. Například vysoké skóre u *Flexibilita výroby: Zaměstnanci* je výrazně ovlivněno nedostatečnou digitalizací ostatních dimenzí na celopodnikové úrovni, čímž musí většinu variability výroby pokrýt zaměstnanci. Právě flexibilní a multifunkční zaměstnanci jsou silné aktivum společnosti vzhledem k dalšímu rozvoji digitalizace podniku. I když právě toto může způsobit při nedostatečné komunikaci problémy, nakolik s růstem digitalizace budou zaměstnanci ztrácet subjektivně vnímanou moc.

To, že největší shluk dimenzí se nachází v rozpětí 1,1 až 1,6 celkové úrovně a směrodatné odchylky 0,5 naznačuje, že v podniku je ať už přímo, nebo nepřímo zvyšována digitalizace v dílčích dimenzích, avšak pouze na částech procesu – nedochází zde k vertikální digitalizaci dimenzí podél celého hodnotové řetězce. Příkladem je projekt výrobní linky, který pokrývá výrobu funkčních částí, avšak nenavazuje, resp. nemá obdobu u výroby odlitků. To způsobuje nevyužití potenciálu digitalizované části v důsledku neautomatizovaných hmotných toků, plánováním s omezenou komplexností, a jiné.

Z nízké průměrné celkové úrovně digitalizace jednotlivých dimenzí a relativně vysoké střední odchylky lze usoudit, že ve společnosti chybí cílevědomá digitalizace těchto dimenzí. Její dosavadní hodnoty jsou dosaženy na základě realizace dílčích projektů na izolovaných částech procesu, přičemž některé dimenze jsou dosahovány spíše nahodile, např. *sběr dat*.



Obr. 8) Hodnocení úrovně digitalizace dimenzí

Obr. 8) potvrzuje výsledky analýzy dle modelu PwC, a to že podnik by se měl zaměřit na systematickou práci s daty. Jak jejich sběr z různých míst procesu, také jejich analýzu pro jejich plnohodnotné využití. Zejména jejich analýza pokročilými statistickými a grafickými metodami a tvorby prediktivních modelů by mohli představovat výrazný posun v podpoře operativního řízení. Z dostupných nástrojů lze doporučit softwarové nástroje *Power BI* pro grafickou analýzu dat, *STATISTICA* pro analýzu pokročilými statistickými metodami a tvorbu prediktivních modelů s využitím metod strojového učení.

Další dimenzí, kde výrazně absentuje je flexibilita vnitropodnikové dopravy, a to hlavně dopravy materiálu mezi skladem a pracovištěm, na kterém má být materiál zpracován. To má důsledky jak na efektivitu procesů interní logistiky, tak na proces přípravy pro výrobu nové varianty na pracovišti (přetypování). Z těchto důvodů bude v části 6 detailně analyzován proces přípravy výroby a budou zde navrženy úpravy procesu s využitím prvků digitalizace procesu s důrazem na proces interní logistiky. Doprava polotovarů je relativně automatizována nedávným zavedením výrobní linky v části procesu.

6 NÁVRH ÚPRAVY PROCESU

V této kapitole je navržena úprava stávajícího procesu interní logistiky ve smyslu Industry 4.0. Jedná se zejména o proces zásobování pracovišť materiálem a dopravy polotovarů po výrobním systému. Pro vytvoření návrhu úpravy stávajícího procesu byla využita metodika *DMAIC*. Tato metodika pozůstává z následujících kroků, přičemž jednotlivé kroky jsou popsány v samostatných podkapitolách [26]:

1. *definice* (define)
2. *měření* (measure)
3. *analýza* (analyse)
4. *zlepšení* (improvement)
5. *řízení* (control)

Technická řešení ve smyslu Industry 4.0 vznikají zejména spájením několika firem se specializovaným know-how. Např. specialistů v oblastech robotiky, obráběcích center, senzoriky, IT, strojového učení, atd. Tato řešení jsou většinou unikátní a nepřenositelná na jiné aplikace [21]. Tak jako společnosti využívají Industry 4.0 pro uspokojení specifických požadavků zákazníků, tak tyto podniky samy jsou zákazníky, pro které jsou vytvářena řešení Industry 4.0 zakázkově [22]. Vzhledem ke komplexnosti tvorby takovýchto řešení, znalostí dosažených bakalářským studiem a požadavků analyzované společnosti, má navrhované řešení podobu konceptu. Návrh má proto podobu konceptu, resp. případové studie, která obsahuje návrh využití technických řešení dostupných na trhu v kontextu procesu konkrétního podniku.

Z důvodu utajení reálných dat o společnosti a dodavatelských řešeních v práci nejsou uveřejněny kvantifikovatelné informace, např. o produktivitě, produktivních a neproduktivních časech, plochách výrobní haly, finančním vyjádření úspor a nákladech na pořízení přednesených technických řešení.

Tato kapitola je vytvořena na základě informací z technologických návodek a instrukcí kvality podniku, ERP systému SAP, reportů produktivity, nabídek potenciálních dodavatelů podniku, odborných zkušeností manažera oddělení procesního inženýrství a znalostí získaných studiem případových studií zaměřených na aplikaci principů Industry 4.0.

6.1 Fáze definování

Cílem první fáze zlepšování procesu je fáze definování, ve které je nutné definovat problém, kterému podnik čelí, identifikovat příčiny existence tohoto problému a definovat cíle, kterých má být zlepšovatelem projektem dosaženo [26].

Jak již bylo několikrát výše zmíněno, hlavním problémem podniku je v současnosti růst variability výrobního programu, který je způsoben trendem individualizace poptávky. Nárůst variability má za následek častější vykonávání úkonů spojených s přetypováním pracovišť na výrobu jiných variant, což je přímo úměrné nárůstu podílu neproduktivních časů. To se projevuje na snižování produktivity pracovišť a v konečném důsledku na snížení výrobní kapacity výrobního systému.

Podnik je tedy v situaci, kdy dokáže pojmenovat svůj problém i jeho příčinu, avšak nejedná se o příčinu, kterou dokáže eliminovat, nakořím se jedná o globální trend, kterým je

podnik ovlivňován zvenku. Pro společnost je proto nutné hledat způsoby eliminace důsledků tohoto trendu.

Za těchto okolností je cílem zlepšovatského projektu navrhnout takové úpravy procesu, které povedou ke snížení procesních důsledků vysoké variability výrobního programu, a to hlavně celkového objemu přípravných časů.

6.2 Fáze měření

Ve druhé fázi zlepšování procesu je cílem zjistit současnou podobu a výkonnost procesu vzhledem ke stanoveným cílům [26]. Proces přípravy pro výrobu nové varianty v současnosti pozůstává z následujících složek:

- *příprava polotovaru* – doprava polotovaru na pracoviště po předchozí operaci, zjištění a pochopení parametrů výrobní varianty, doprava polotovaru na další pracoviště
- *příprava materiálu* – identifikace potřebného materiálu, přinesení materiálu z úložišť materiálu poblíž pracoviště (správné množství, typ), odstranění obalů, úprava rozměrů, úprava kvality (odizolování vodičů, pájení, bužírování vodičů), separace odpadu, odnesení použitelných zbytků na úložiště materiálu
- *příprava zařízení* – výběr programu cyklu zařízení pro danou variantu, nastavení programu, umístění polotovaru do pracovní oblasti zařízení
- *příprava přípravků a forem* – identifikace potřebných přípravků a forem, ověření jejich dostupnosti, dovezení na pracoviště, umístění v pracovním prostoru, umístění polotovaru, demontáž, odvoz z pracoviště
- *příprava technologického postupu* – zařazení varianty do typů výrobků, nalezení typové návodky

Jak bylo uvedeno, z důvodu utajení dat společnosti nemůžou zde být uveřejněna data o přesných podílech výše uvedených časů. Možno však říct, že podíl celkového času přípravy na celkovém času výroby se pro různá pracoviště pohybuje v rozmezí od 17 do 36 %. Data o přípravných časech jsou získána na základě časových norem ze systému SAP. Nutno poznamenat, že zde pravděpodobně dochází k malým odchylkám oproti skutečnému procesu, nakolik delší dobu neproběhla revize norem přípravných časů.

6.3 Fáze analýzy

Ve fázi analýzy je cílem detailněji pochopit proces a vazby mezi jeho vlastnostmi a cílem zlepšovatského projektu a identifikovat příležitosti pro zvýšení výkonnosti procesu [26].

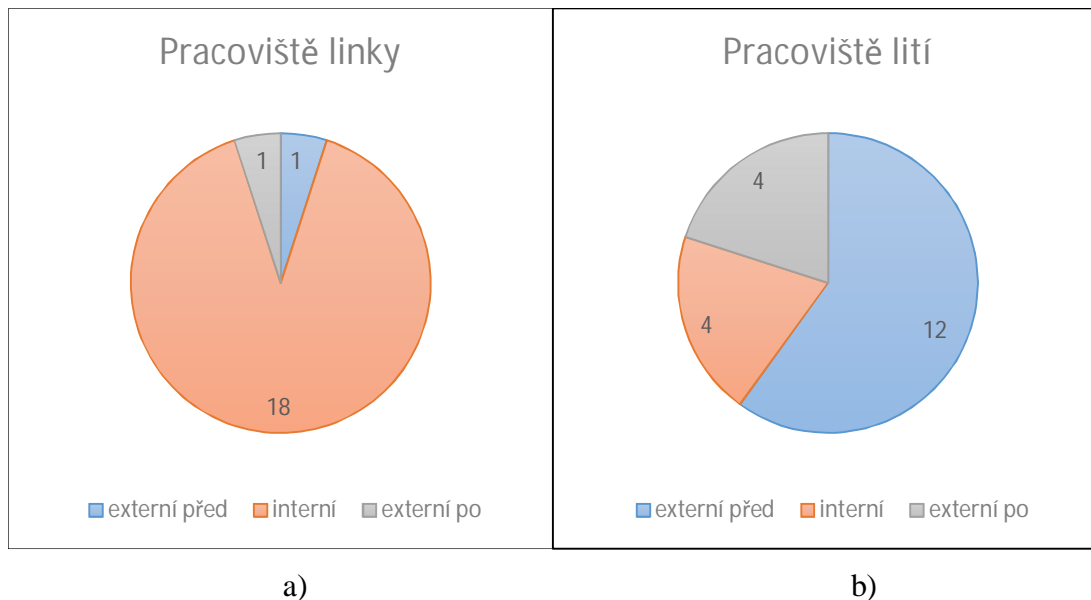
V předchozí podkapitole byly identifikovány složky přípravných časů, přičemž zde byly popsány i jednotlivé činnosti, které přípravu představují. Pro vytvoření návrhu úprav procesu zde bude současný proces analyzován dle metody SMED (problematika přípravných časů) a dle vytvořené metodiky v části 5.3 (problematika digitalizace výrobního systému)

6.3.1 Metoda SMED

Tato metoda byla vytvořena pro snižování času potřebného pro přetypování výrobních zařízení a výrobních pracovišť obecně, pozůstává z následujících kroků [27]:

1. oddělit interní (práce, která musí být vykonána během pozastavení výroby na pracovišti) a externí část přetypování (práce, která může být vykonána i během výroby na pracovišti)
2. cíleně snižovat objem interních prací přesunem do prací externích, pokud to lze
3. redukovat časy prací, které jsou vykonávány externě (reorganizací pracovišť, úpravou postupů)
4. soustavně snižovat jak délku interních, tak i externích prací (vývoj přípravků, digitalizace postupů, standardizace dílců, ...)

Ve fázi analýzy problému bude proveden první krok této metodiky, další kroky budou provedeny v rámci fáze zlepšování. Nakolik je potřeba hodnotit 18 pracovišť pro všechny činnosti uvedené v předešlé podkapitole, budou pracoviště rozděleny do dvou skupin, v rámci kterých probíhá příprava ekvivalentním způsobem, a to na pracoviště lití a pracoviště, které jsou součástí linky (před i po lití). Rozdělení na interní a externí přípravné práce je provedeno na základě dokumentace technologických postupů v příloze č.2. Toto rozdělení je zobrazeno na obr. 9). Z důvodu utajení skutečných časů jednotlivých činností, jsou zobrazené hodnoty prostým počtem prováděných činností.



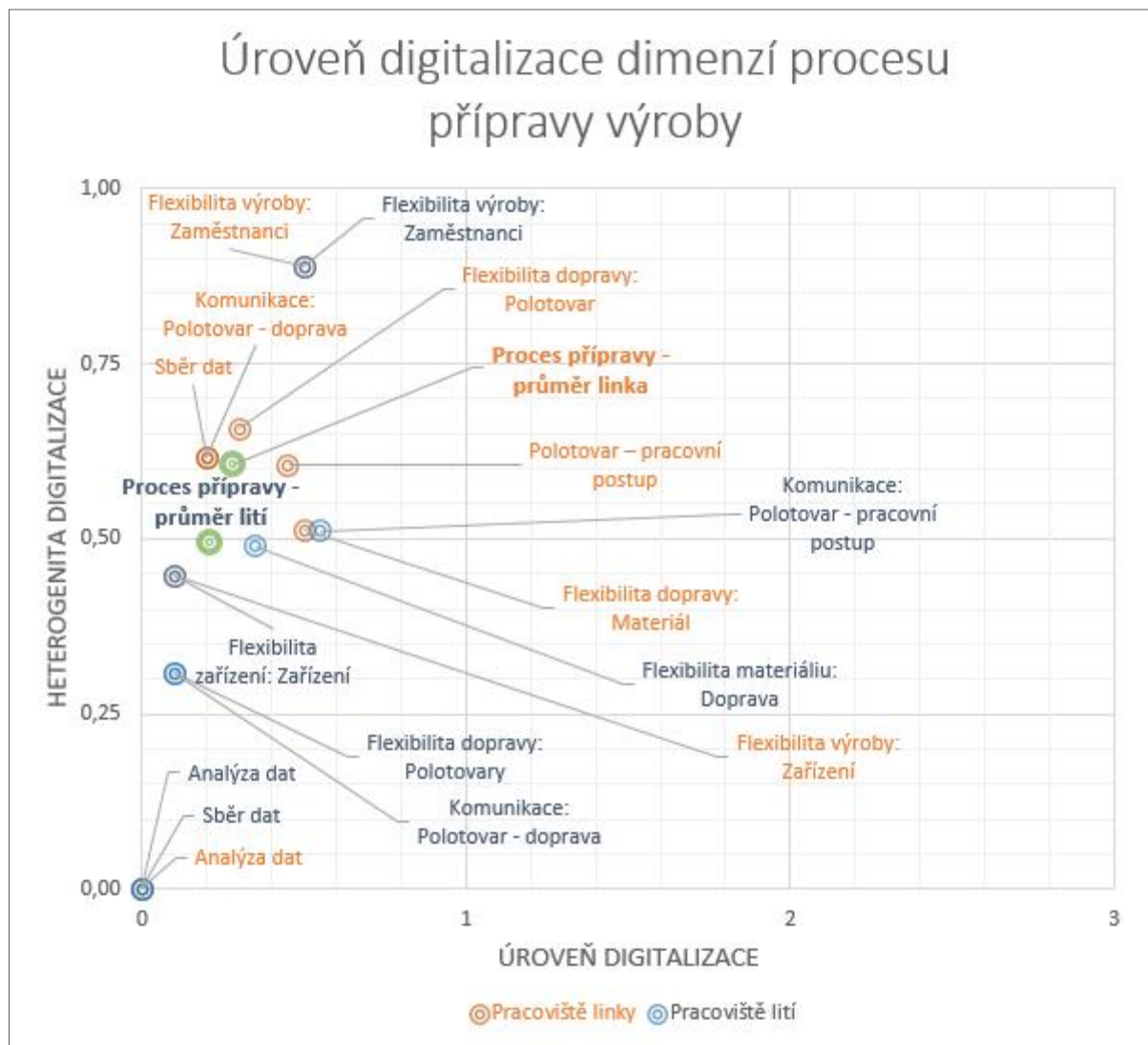
Obr. 9) a) První krok metodiky SMED pro pracoviště linky, b) První krok metodiky SMED pro pracoviště lití

Z obr. 9) je zjevný rozdíl ve složení přípravných časů u dvou analyzovaných typech pracovišť. Je to způsobené zejména povahou práce. Zatímco u pracovišť umístěných u linky je většina práce vykonávaná manuálně a používaná strojní zařízení vyžadují dohled obsluhy, cyklus licího stroje kontrolu obsluhy nevyžaduje. Pracovník obsluhující pracoviště lití má proto dostatek času pro přípravu nové varianty během trvání cyklu stroje.

6.3.2 Analýza digitální úrovně procesu

Vzhledem ke snaze využít možnosti digitalizace pro eliminaci důsledků vysoké variability výrobního programu, je potřeba provést analýzu digitální úrovně upravovaného procesu. Analyzovány budou činnosti vykonávané v rámci přípravy výroby v dimenzích, které jsou pro jednotlivé činnosti předmětné. Analýza je provedena pomocí metody navržené v části 5.3 a je

součástí přílohy č.3. Příloha č.3 byla vytvořena na základě posouzení procesu manažerem procesního inženýrství podniku a studiem technologických návodů tohoto procesu. Na obr. 10) jsou znázorněny výsledky analýzy pro jednotlivé dimenze digitalizace procesu přípravy výroby.



Obr. 10) Hodnocení úrovně digitalizace procesu přípravy výroby

Jak je patrné z obr. 10), úroveň digitalizace procesu přípravy výroby je nízká, nedosahuje ani 0,5 bodu. Použití navržené metodiky však ukázalo, že není celkem vhodná pro analýzu dílčích činností procesu. Jeví se, že dílčí činnosti jsou pro tuto metodu příliš detailní rozlišovací úrovně, přičemž některé dimenze digitalizace nejsou pro část činností vůbec relevantní (1). Příkladem může být činnost *Přizpůsobení rozměrů materiálu* s dimenzí *Komunikace: Polotovary – doprava*. Jinou nevýhodou této metodiky je, že pro některé dvojice činnost – dimenze existují digitální řešení, avšak současný stav procesu nedosahuje ani první úrovně dle navržené metodiky (2).

Analýza byla provedena tak, že při obou uvedených situacích byla ve výpočtech použita hodnota 0 bodů. Je to z důvodu potřeby dostatečného množství číselných hodnot pro relevanci výpočtů a pro vysokou pracnost (vzhledem k rozsahu práce) spojenou s oddělováním druhé (2) uvedené situace od první (1). Důsledkem takového zjednodušení je, že různé dimenze dle obr. 10) nelze vzájemně srovnávat a hodnota absolutního maxima, je pro každou dimenzi jiná,

v závislosti od počtu činností, pro které je daná dimenze relevantní. Srovnávat lze za těchto okolností pouze stejné dimenze mezi různými pracovišti a úroveň digitalizace původního procesu (obr. 10)) s navrhovaným procesem.

Na základě provedené analýzy však lze usoudit, že úroveň digitalizace procesu přípravy výroby je nízká a v další fázi je nutno navrhnout možnosti zvýšení digitalizace procesu s využitím principů Industry 4.0, s ohledem na stanovený cíl.

6.4 Fáze zlepšování

Fáze zlepšování je klíčovou fází návrhu úpravy procesu, nakolik je zde potřeba navrhnout možná řešení vedoucí k naplnění stanovených cílů, analyzovat limity těchto řešení a srovnat výkonnost nového procesu s procesem původním [26].

V této podkapitole je popsán koncept využití technologií a principů Industry 4.0 na řešeném procesu. Následuje srovnání původního procesu s novým návrhem ve smyslu metodiky SMED a hodnocení úrovně digitalizace procesu. Pro eliminaci rizik by bylo vhodné navržený proces analyzovat pomocí metody FMEA (Analýza příčin a následků), avšak kvůli omezenému rozsahu práce je tento krok pouze doporučen k dalšímu zkoumání procesu.

6.4.1 Úpravy procesu dle principů Industry 4.0

S ohledem na návrh konkrétních úprav procesu přípravy výroby je vhodné začít popsáním technologií, kterých integrací je možné vytvořit komplexní návrh procesu. Na základě studia případových studií a produktových katalogů firem vyrábějících řešení pro Industry 4.0, lze doporučit využití následujících řešení pro posílení digitalizace jednotlivých dimenzí, viz tab. 2).

<i>Dimenze digitalizace</i>		Popis řešení	Důsledek na proces
<i>Data</i>	Sběr dat	Propojení dostupných databází za účelem vytvoření real-time datového modelu pro dynamickou optimalizaci operativního plánování	Možnost snižovat přípravné časy efektivním plánováním - na jednom pracovišti je plánovaná výroba podobných kusů, tzn. omezení přenosů materiálu, přípravků, forem, programů zařízení
	Analýza dat	Tvorba optimalizačního modelu schopného vytvářet operativní plán výroby na základě real-time dat z procesu, tzn. přizpůsobovat se nepředvídatelným událostem	
<i>Flexibilita výroby</i>	Zařízení	Vytvoření specializovaného pracoviště vychystávání materiálu, pracoviště je vybaveno robotem na pojezdu s podtlakovým koncovým efektozem	Materiál pro konkrétní výrobek je připraven mimo výrobní proces, přesun části interních prací do externích, produktivnější využití pracovní síly
	Zaměstnanci	Vytvoření modulárních technologických návodků, tzn. návodka se při načtení kusu na pracovišti vyskládá z modulů (návodů dílčích činností) dle konstrukce výrobku	Pokrytí všech výrobních variant technologickými návodkami
<i>Flexibilita dopravy</i>	Polotovarů	Kompletní zastřešení vnitropodnikové přepravy (polotovary i materiál) jedním systémem, pomocí flotily AIV robotů (autonomous intelligent vehicles) – nahrazení současné výrobní linky	Všechny hmotné vstupy (polotovar, materiál, přípravky, formy) jsou dopraveny jedním systémem přímo k pracovišti, umožnění paralelního zapojení pracovišť ve výrobním toku
	Materiálu		
<i>Komunikace</i>	Polo. – prac. postup	Označení hmotných prvků, které se pohybují výrobním systémem, pomocí RFID tagů, ve kterých jsou uloženy informace o dopravě, výrobních postupech, programech zařízení, po projezdu RFID čtečkou jsou data automaticky využita v procesu	Zkrácení doby hledání a studia technologických návodků a nastavování programu zařízení před výrobou prvního kusu varianty
	Polotovar - doprava		Díky paralelnímu zapojení pracovišť v systému dojde k eliminaci čekání na dodání polotovaru

Tab 2) Možnosti digitalizace dimenzí procesu

V následujících částech jsou blíže rozvinutá uvedená řešení. Popis řešení může působit nepřehledně, nkolik jednotlivá řešení odkazují jedno na druhé. Je tomu tak z důvodu potřeby jejich horizontální integrace do jednoho komplexního celku.

Dynamické operativní plánování

Toto řešení spočívá v propojení různých databází, které tvoří datový vstup do optimalizačního modelu, který v reálném čase upravuje operativní plánování výroby. Důvodem pro takové plánování je optimalizace představovacích časů prostřednictvím návrhu takového pořadí výroby jednotlivých variant na pracovištích, které bude vést k minimalizaci přípravných časů. Z pohledu technologií oboru *operační analýzy* se takový optimalizační problém nazývá *problém obchodního cestujícího* [28].

Tento model bude fungovat na principu simulace využití výrobních kapacit (počet zařízení, forem, přípravků, pracovníků). Tato simulace je provedena pomocí technologických postupů a časových norem, přičemž real-time data z MES systému o průběhu procesu umožňují aktualizaci informací o dostupnosti výrobních zdrojů a stavu plnění plánu. Návrh plánu je prováděn v pravidelných intervalech (10-15 minut), z důvodu snahy o co nejrychlejší přizpůsobení se změně provozní situace.

Optimalizace funguje na principu hledání takové varianty plánu, která vede k minimalizaci užtkové funkce – celkových nákladů na přípravu mezi dvěma po sobě vyráběnými variantami. Proměnnými modelu jsou časy, ve kterých má být zahájena výroba jednotlivých kusů. Omezujícími podmínkami jsou nejpozdější časy, ve kterých mají být výrobky dodány do skladu hotových výrobků a kapacitní omezení výrobního procesu. Splnění omezení je ověřováno vzpomínanou simulací.

Využití tohoto optimalizačního modelu vyžaduje stejně jako u modelu popsaného v části 5.2.1 množství výpočetní kapacity, kterou je vhodné zabezpečit technologií *cloud computing*. Vhodným softwarovým řešením pro tuto aplikaci je software *DELMIA* od společnosti *Dassault Systems* [29].

Pracoviště vychystávání materiálu

Cílem tohoto technického řešení je provádět kompletizaci potřebných hmotných vstupů do procesu výroby ještě před započatím procesu výroby konkrétního výrobku. Hlavním přínosem tohoto řešení je přesun interních prací přípravy výroby do externích prací, čímž lze dosáhnout zkrácení přípravných časů mezi výrobou variant a tím lepšího využití know-how výrobních dělníků. Toto řešení je integrované s technologií interní logistiky a komunikačních standardů prostřednictvím RFID tagů a technologie WI-FI.

Toto pracoviště je vybaveno průmyslovým manipulátorem (robotem) s podtlakovým uchopovacím koncovým efektem. Jedná se o efektor, který dokáže přisát různé druhy materiálu, od plochých povrchů, přes členité tvary až po sypký materiál, viz obr. 11).



Obr. 11) a) uchopení méně členitých povrchů, b) uchopení součásti členitých tvarů, c) uchopení sypkého materiálu [30]

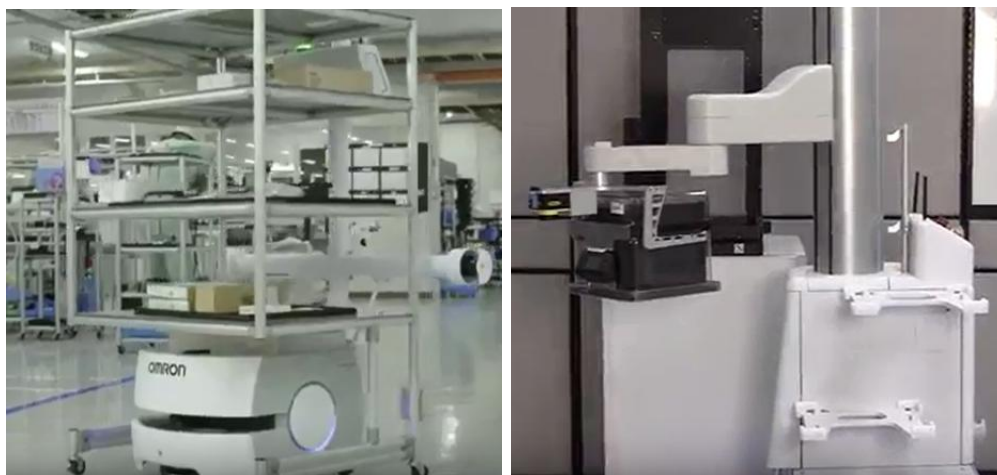
Robot je umístěn na dopravníku, mezi dvěma řady regálů. Na jedné straně jsou umístěny regály se vstupním materiálem, který je dle potřeby doplňován, očištěn od obalů a kvalitativně upraven pracovníky interní logistiky do ihned spotřebovatelné podoby. Na druhé straně pojezdu jsou umístěné vychystávací vozíky na kolečkách (1 vozík vždy pro 1 výrobek), které jsou

označeny RFID tagy nesoucími informace o kusovníku výrobku a času, ke kterému nejpozději má být vozík vychystán. Po přistavení vozíku jsou RFID čtečkou přečteny tyto informace. Vychystání vozíku je zařazeno do plánu vychystávacího robota, po startu cyklu je robotem dodána přesná skladba materiálu dle kusovníku přečteného RFID čtečkou. Úložní prostor vozíku je rozdělen dle pracovišť, pro které je materiál určen. Po vychystání vyše pracoviště signál AIV robotu pro odebrání vychystaného vozíku z prostoru vychystávání.

Vnitropodniková přeprava – AIV

Pro zabezpečení vnitropodnikové přepravy jak polotovarů, tak materiálu, forem a přípravků je vhodné využít flotily AIV robotů (autonomous intelligent vehicles). Tato flotila definitivně nahradí současnou výrobní linku a rozvoz materiálu pomocí vysokozdvíhových vozíků. Výhodou řešení vnitropodnikové přepravy všech materiálních vstupů jedním systémem je zejména eliminace chyb vyplívajících z nutnosti koordinace různých systémů a možnost optimalizace přepravy jako celku, prostřednictvím jednoho dodavatelského řešení. Z hlediska procesu přípravy výroby má toto řešení velký přínos v eliminaci časů potřebných pro přenosy hmotných vstupů mezi pracovištěm a úložištěm.

Kompletní řešení pomocí flotily AIV robotů nabízí společnost OMRON. Dle informací z produktových webových stránek společnosti, je možno do jedné flotily zapojit 100 AIV robotů, která jsou opatřena bezpečnostními prvky pro kooperaci s lidmi v jednom systému [31]. Bezpečnost a orientace AIV robota je zajištěna soustavou senzorů (soustava laserů, sonar). AIV robota lze použít jak ve formě manipulátoru s kolečkovými vozíky jako celky, tak pro manipulaci s hmotnými vstupy [31], tyto varianty jsou zobrazeny na obr. 12).



a)

b)

Obr. 12) a) AIV robot převážející vozík s vychystaným materiálem [32], b) AIV robot vybaven manipulačním zařízením [33]

Použití AIV robota jako manipulátoru lze doporučit pro přepravu přípravků a forem po samostatných trasách. Vzhledem k relativně krátkým cyklům potřeby různých přípravků a forem vůči dlouhé době průchodu jednoho výrobku výrobním systémem, je vhodné řešit přepravu přípravků a forem samostatným dopravním okruhem. Za uvedených okolností není efektivní vychystávat přípravky a formy na vozík putující s výrobkem, nakořik by bylo potřeba dodatečného pořizování jejich velkého množství.

Celá flotila je řízena centrálně, prostřednictvím řídicího systému OMRON, který na základě vstupních dat zadává úkoly jednotlivým robotům přes bezdrátovou síť [31]. Vstupní

data představují signály z pracovišť, které vyžadují aktivitu AIV systému. Návrh úpravy procesu předpokládá způsob řízení flotily AIV robotů na základě dat z:

- *workflow procesu* výroby výrobku
- *hlášením z MES* systému.

Hlášení z MES systému představují signál o ukončení operace a zadávají do řídicího systému objednávku na odvoz na další operaci. Dle workflow procesu je identifikována následující operace procesu a dle obsazenosti paralelních pracovišť je vozík převezen do další lokality. Řízení flotily tedy funguje na principu zadávání objednávek na převoz vozíku mezi body A a B [31]. Dle aktuálního rozmístění AIV robotů v prostoru podniku je realizace objednávek centrálně přiřazována konkrétním AIV robotům s ohledem na optimalizaci celkových přepravných vzdáleností a času potřebného pro uspokojení objednávky. Objednávka je po odeslání konkrétnímu AIV robotu zařazena do pořadníku, přičemž objednávky je možné prioritizovat.

Přenos informací pomocí RFID tagů

Ukládání a čtení dat RFID tagů je poměrně starou technologií, která byla patentována v roce 1983, jako náhrada za čárové kódy, do kterých nebylo možné uložit dostatečné množství informací [34]. V návrhu uprav procesu přípravy výroby je tuto technologii možno využít následovně.

RFID tag (obr. 13a)) je pracovníkem skladu umístěn na magnetické jádro proudového transformátoru a jsou na něj nahrána data o kusovníku výrobku, programech pro jednotlivá zařízení, na kterých budou operace prováděny a o technologických postupech. Každé pracoviště, ke kterému je vychystávací vozík přistaven, je opatřen RFID čtečkou (obr. 13b)), která načte informace z čipu a relevantní informace pro dané pracoviště automaticky využije.



Obr. 13) a) RFID čip – textilní, b) RFID čtečka - fixní

U pracoviště vychystávání materiálu je tak kusovník výrobku využit pro automatickou konfiguraci programu vychystávacího robota. U výrobních pracovišť jsou po přistavení vozíku načteny informace o technologickém postupu výroby a programu pro zařízení na příslušném pracovišti. Na základě technologického postupu je automaticky vygenerována modulární technologická návodka (viz další text). Tato aplikace se týká všech pracovišť. V závislosti od možností integrace výrobního zařízení, je po načtení informací o programu automaticky nahrán do zařízení, resp. jsou parametry programu zobrazeny v rámci modulární technologické

návodky. Možnosti integrace je nutno přezkoumat s dodavateli výrobních zařízení (navíječky sekundárního vinutí, robot pro pájení primárních svorek, licí stroje).

Modulární technologické návodky

Vzhledem k počtu výrobních variant je prakticky nemožné vytvořit technologické návodku s přesnou posloupností operací a jejich parametrů pro každou variantu na každém pracovišti. To klade pořád větší důraz na schopnost zaměstnanců odvodit si na základě obecné návodky pro jednotlivá pracoviště a parametrů výrobku přesný postup výroby. Podnik má dlouhodobě problém s náborem kvalifikovaných pracovníků, který by zvládali variabilitu pracovních postupů. Pro snížení závislosti podniku od kvalifikovaných dělníků je vhodným řešením vytvoření technologických postupů, popisujících operace „krok za krokem“, bez potřeby hlubší znalosti procesu.

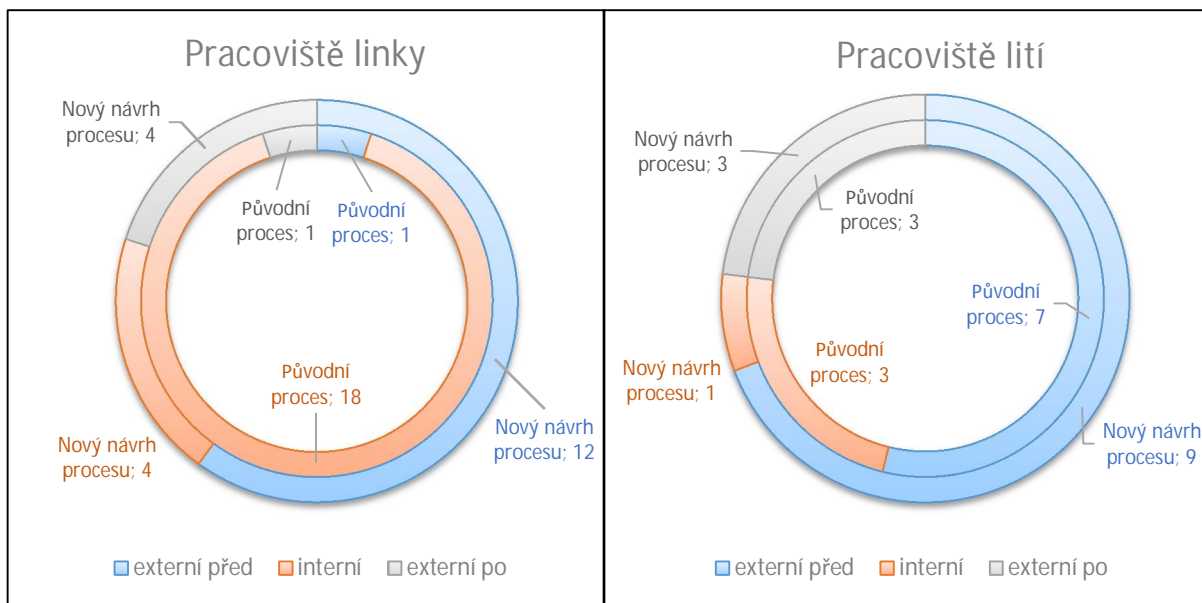
Vytvoření modulárních technologických návodků spočívá v analýze pracovních postupů a v jejich rozdělení na „nejmenší společné dělitele“, tzn. činnosti, kterých uspořádáním a cyklením možno vyskládat jakoukoliv variantu celkového postupu. Pro tyto činnosti jsou vytvořeny moduly technologického postupu. Ve druhém kroku je potřeba algoritmizovat závislosti vykonávání identifikovaných činností na typech výrobku a konstrukčních parametrech.

Po vykonání uvedených kroků je možné vytvořit program, který na základě dat načtených z RFID tagu vyskládá technologickou návodku na příslušném pracovišti z dílčích modulů pro konkrétní variantu, se specifickou posloupností a cykly prováděných operací s dosazenými hodnotami, např. za počet provedených závitů vinutí nebo vrstev bandážování, atd.

6.4.2 Srovnání návrhu s původním procesem

Ve smyslu metodiky SMED představují popsání návrhy kroky č.2, č.3 a č.4 dle části 6.3.1. Proces dle navržené podoby byl znovu analyzován tříděním činností na externí a interní práce ve smyslu přetypování pracoviště. Na obr. 14) je zobrazeno srovnání třídění těchto činností dle pracovišť.

Z obr. 14) je patrné, že co do počtu interně vykonávaných činností, aplikace principů Industry 4.0 vedla ke značným přínosům. Zejména u pracovišť umístěných podél linky, kde se snížil počet *interních* prací z 18 na 4, přičemž většina z původně *interních* prací byla přesunuta do prací *externích před* (SMED – krok č.2). Některé z takto přesunutých činností jsou dle návrhu nového procesu prováděny digitálně, ve zlomku sekundy, a tedy je možné tyto činnosti vyloučit z procesu přípravy výroby úplně (SMED – krok č.3). Všechny z uvedených návrhů digitalizace procesu intuitivně vedou ke snížení doby trvání přípravných činností (SMED – krok č.4). Po vytvoření konkrétních řešení přednesených návrhů je však nutno kvantitativně vyjádřit časové přínosy jednotlivých řešení a srovnat je s náklady na jejich realizaci.



a)

b)

Obr. 14) a) srovnání třídění prací procesu přípravy – pracoviště linky b) srovnání třídění prací procesu přípravy – pracoviště lití

Bylo provedeno také hodnocení úrovně digitalizace nového procesu, dle navržené metodiky a úprav popsanych v předešlé podkapitole. Nakolik je návrh úprav procesu stejný jak pro pracoviště současné linky, tak pro pracoviště lití, z analýzy vyšli také stejné hodnoty úrovně digitalizace pro jednotlivé dimenze a ve srovnání je použita pouze jedna řada dat. Aby bylo srovnání přehlednější, úroveň digitalizace původního procesu je nahrazena také jednou řadou, která byla vypočítána jako průměr pro jednotlivé dimenze z dat pro různá pracoviště. Srovnání je zobrazeno na obr. 15).

Ze srovnání úrovní digitalizace původního procesu a návrhu nového procesu, provedeného na obr. 15) je patrný nárůst úrovně digitalizace procesu. Ze srovnání vyplývá, že největší nárůst byl zaznamenán v dimenzích *Komunikace: Polotovar – pracovní postup* a *Data: Analýza dat*, kde došlo k nárůstu z velice nízkých úrovní. K významným nárůstům došlo také u dimenzí *Komunikace: Polotovar - doprava* a *Flexibilita dopravy: Materiál*.

Současný výrazný nárůst heterogenity digitalizace naznačuje, že navržená řešení nejsou aplikovatelná na všechny činnosti spojené s procesem přípravy materiálu, což koresponduje s intuicí. Zároveň je to také důkaz již zmíněného tvrzení, že navržená metodika není vhodná pro analýzu konkrétních procesů (vertikální analýza), pouze výrobních celků (horizontální analýza).

vyhodnocení odchylky a soustavné realizace opatření pro snižování měřené variability. Vyjadřování variability procesu ve smyslu „sigma“ lze interpretovat jako počet směrodatných odchylek, které se při změřené variabilitě procesu „vtěsnají“ do stanovených limitů kvality [35]. Dlouhodobým cílem dle této metodiky je dosažení variability procesu na úrovni šesti sigma, co znamená 3,4 chyb procesu na jeden milion opakování. Pro ilustraci, úroveň pět sigma představuje 233 chyb a úroveň sedm sigma 0,019 chyby na jeden milion provedení procesu [35].

Stanovení kvalitativních rozměrů procesu, které je potřebné měřit a vyhodnocovat, vychází z popisu očekávání zákazníků procesu o jeho kvalitě. Tato očekávání možno na základě názoru manažera procesního inženýrství podniku shrnout pro zlepšovaný proces následovně:

Úkolem procesu přetypování pracoviště je zabezpečení

- *všech druhů vstupního materiálu, přípravků a forem v požadovaném množství, kvalitě a času na pracovišti*
- *technologických postupů pro pracovníky a zařízení potřebných pro výrobu výrobního variantu v požadovaném detailu a času na pracovišti*

Na základě uvedených očekávání, je pro zabezpečení kvality procesu potřeba měřit, analyzovat a odstraňovat následující typy chyb:

- *nekompletní dodávka* materiálu, přípravku nebo formy dle kusovníku nebo technologického postupu
- *nevhodná kvalita* materiálu, přípravku nebo formy dle technologického postupu
- *zpoždění dodávky* materiálu, přípravku nebo formy, které vedlo k prostojům pracoviště
- *nedostupnost technologického postupu* definujícího pracovní postupy zařízení a výrobních dělníků k okamžiku započetí výrobního cyklu
- *nedostatečná detailnost* technologického postupu pro vyhotovení konkrétní varianty výrobku

Podniku je doporučeno tyto chyby měřit pro každé pracoviště výrobního systému. Sběr dat je vhodné realizovat propojením časových dat (řídící systém flotily AIV robotů Omron a aplikace vytvářející modulární technologické postupy) a kvalitativních dat zadávaných obsluhou pracoviště přes rozhraní MES terminálů (množství a kvalita dodávek, přiměřená detailnost technologického postupu).

7 ZÁVĚR

Na závěr této bakalářské práce je potřebné zhodnotit dosažení jednotlivých cílů stanovených v úvodu tohoto textu.

V úvodní části byl na základě studia odborné literatury popsán stav současného poznání problematiky principů a technologií Industry 4.0, přičemž zde byly popsány možnosti aplikace těchto technologií v průmyslových podnicích. Zároveň byla na základě studií provedených konzultačními společnostmi popsána problematika transformací podniků a jejich procesů ve smyslu Industry 4.0. Tím byl naplněn cíl č.1.

Ze zjištěných informací možno zhodnotit, že principy Industry 4.0 jsou pro firmy novými koncepty ve smyslu řízení a kontroly procesů. Aplikace těchto principů ve skoré fázi transformace globální ekonomiky dle popsaných trendů, může za cenu vyšších prvotních nákladů přinést podniku značné přínosy v mnoha oblastech. Zejména v úspoře variabilních nákladů výroby a kapitálově náročně dosažitelné konkurenční výhody.

Následně byla v aplikační části vypracována analýza pro elektrotechnický podnik vyrábějící transformátory. Cílem této analýzy bylo vyhodnotit úroveň digitalizace podnikového procesu jako takového a také výrobního procesu konkrétně. S využitím metodiky společnosti PwC bylo zjištěno, že podnik jako celek je *digitálním nováčkem*. To znamená, že podnik má počáteční zkušenosti s využíváním digitálních řešení, avšak tato řešení byla tvořena reaktivně na vzniknuté potřeby procesu a chybí jejich vertikální i horizontální integrace a využití napříč celým procesem. Na základě studia případových studií z jiných průmyslových aplikací byly doporučeny možné koncepty rozvoje hodnocených rozměrů digitalizace.

Pro analýzu úrovně digitalizace procesu výroby byla vytvořena vlastní metodika vycházející z charakteristik konceptu *smart factory*, jakožto konceptu ztělesňujícího principy Industry 4.0. Vytvořená metodika hodnotí proces z pohledu digitalizace v osmi dimenzích. Z této analýzy vyplynul závěr, že úroveň digitalizace procesu výroby je poměrně nízká a v průměru se nachází mezi absolutně nedigitalizovanými řešeními a digitalizací předcházející generace. Za současnou generaci digitalizovaných řešení jsou považovány řešení ve smyslu Industry 4.0. Největší mezery má podnik dle analýzy v oblasti sběru a analýze dat, naopak, dobrých výsledků dosahuje ve flexibilitě výrobních zařízení, které však nevyužívají svůj plný potenciál vzhledem k nízké úrovni digitalizace procesu v ostatních dimenzích. Výsledky analýzy potvrzují intuici, a to že zvýšenou variabilitu výrobního programu absorbují zkušenosti a procesy znalí zaměstnanci podniku, což se však vzhledem k aktuální situaci na trhu práce může z dlouhodobého hlediska obrátit proti podniku. Tato analýza a její závěry vedli k naplnění cíle č.2.

V poslední části práce byla vypracována dle požadavku společnosti studie úpravy stávajícího procesu přetypování výrobních pracovišť, a to dle principů Industry 4.0. Pro přehlednost se proces návrhu úprav řídil rámcem pro zlepšování procesů DMAIC. Proces byl zasazen do kontextu metodiky SMED a byla analyzována úroveň jeho digitalizace pomocí vytvořené metodiky. Ukázalo se, že navržená metodika je sice vhodná pro analýzu výrobního systému, jako shluku procesů, avšak není vhodná pro analýzu konkrétního procesu, jakožto shluku konkrétních činností. Proto byly uvedeny limity interpretace výsledků.

Na základě provedených analýz byly navrženy možné úpravy procesu z pohledu dimenzí digitalizace popsaných ve vytvořené metodice. Tyto návrhy byly následně detailněji

popsány ve vztahu ke konkrétnímu procesu podniku a s využitím dostupných technických řešení.

Výstupem studie je vize podoby procesu přetypování výrobních pracovišť, ve které jsou všechna pracoviště obsluhována jediným integrovaným systémem flotily AIV robotů, které po výrobní ploše rozvázejí polotovary, materiál, formy a přípravky na vychystávacích vozících. Všechn materiál potřebný pro výrobu jednoho výrobku konkrétní varianty je vychystán v prostorech skladu v robotizovaném pracovišti, které vychystává materiál dle informací z kusovníku nahraném na RFID tagu umístěném na magnetickém jádru vychystávaného výrobku. Objednávky pro přesun vozíků mezi pracovišti jsou AIV robotům zasílány centrální řídicí jednotkou na základě propojení databází workflow procesu a hlášení MES systému o průběhu výroby. Po přivezení vozíku s polotovarem a materiálem je na terminálu pracoviště automaticky načten technologický postup výroby konkrétní výrobní varianty a do výrobního zařízení je automaticky nahrán program cyklu na základě dat načtených z RFID tagu umístěném na magnetickém jádře. Dostupnost technologických návodek pro všechny varianty výrobků (desetitisíce) je zabezpečována jejich modularitou.

V případě takto postaveném návrhu je možné pouze slovní zhodnocení přínosu navržených úprav v rámci vytvořené studie. Jak ukázalo srovnání původního a navrženého procesu, přednesené návrhy vedly k rapidnímu snížení počtu činností vykonávaných v rámci přetypování pracovišť interně, tzn. mezi koncem a začátkem výroby dvou variant. Zároveň se množství činností zdigitalizovalo, teda jsou vykonávány automaticky v řádu sekund. Tato opatření vedou k úsporám jak celkových časů přetypování, tak neproduktivních časů výrobních pracovišť. Tím je dosaženo zvýšení produktivity práce a kapacity výrobního systému. Pro přijetí strategických rozhodnutí o aplikaci těchto návrhů v podniku je však nutné přepočítání časových úspor na finanční úspory, skrze data o časových normách a hodinových sazbách. Ty musejí být srovnány s náklady jejich zavedení, a to zejména náklady na vývoj konkrétně aplikovatelných technických řešení, pořízení hardwarového a softwarového vybavení a přizpůsobení stávajícího procesu. Významnou nákladovou položkou řešení Industry 4.0 je softwarová integrace jednotlivých řešení do jednoho funkčního celku - kyber-fyzikálního systému.

Tato studie návrhu úprav vybraného procesu byla provedena s detailností přiměřenou vzhledem k rozsahu upravovaného procesu, rozsahu bakalářské práce a fázi, ve které se podnik s ohledem na transformaci dle Industry 4.0 nachází. Proto možno také cíl č.3 považovat za splněný.

Technologie a principy Industry 4.0 jsou na základě výstupů provedené studie jednoznačně nástrojem použitelným pro vypořádání se s narůstající variabilitou výrobního programu. Tyto principy jsou využitelné pro širokou varietu procesů a je v zájmu podniků, aby se začali čím dříve zabírat možnostmi jejich aplikace na jejich konkrétních procesech. V opačném případě jim může „ujet vlak“ a ztratí tak náskok, který se bude vzhledem k technologické složitosti řešení Industry 4.0 těžko dohánět. Samotným závěrem lze konstatovat, že všechny tři cíle stanovené v úvodu práce byly splněny.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RUSSELL, Roberta S. a Bernard W. TAYLOR. *Production and operations management: focusing on quality and competitiveness*. Annotated instructor's ed. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, c1995. ISBN 978-0205147335.
- [2] KALOUDA, František. *Finanční analýza a řízení podniku*. 3. rozšířené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2017. ISBN 978-80-7380-646-0.
- [3] MAŘÍK, Vladimír a kolektiv. *Národní iniciativa: Průmysl 4.0* [online]. 2015, 44 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.spcr.cz/images/priloha001-2.pdf>
- [4] GANDHI, Nirjar. Industry 4.0 - fourth industrial revolution. In: *Sap.com* [online]. 2015 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://blogs.sap.com/2015/06/30/industry-40-fourth-industrial-revolution/>
- [5] SNIDERMAN, Brenna a Monika MAHTO. *Industry 4.0 and manufacturing ecosystems: Exploring the world of connected enterprises* [online]. 2016, 28 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/focus/industry-4-0/manufacturing-ecosystems-exploring-world-connected-enterprises.html>
- [6] VOJÁČEK, Antonín. *Co se skrývá pod výrazy Industry 4.0/Průmysl 4.0?* [online]. 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/mimochodem/co-je-se-skriva-pod-vyrazy-industry-40-prumysl-40.html>
- [7] Industry 4.0: Definition, Design Principles, Challenges, and the Future of Employment. In: *Cleverism.com* [online]. 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.cleverism.com/industry-4-0/>
- [8] HERMANN, Mario, Tobias PENTEK a Boris OTTO. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review* [online]. 2015, 15 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: http://www.thiagobranquinho.com/wp-content/uploads/2016/11/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf
- [9] GRUNHAGEN, Eike a Holger JUNKER. Interoperability is the Key for IoT and Industrie 4.0. In: *Maintworld.com* [online]. 2015 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://www.maintworld.com/Applications/Interoperability-is-the-Key-for-IoT-and-Industrie-4.0>
- [10] HÖFLE, Kerstin. Industry 4.0: How Virtualization is Changing Warehouse Operations. In: *Swisslog.com* [online]. 2015 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.swisslog.com/en/Corporate/Blog/2017/0424-Industry-40-How-Virtualization-is-Changing-Warehouse-Operations>
- [11] 3D Design for Manufacturing Engineer. In: *3ds.com* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products-services/delmia/disciplines/digital-manufacturing/tag/2883-1059/>
- [12] About WorkLink. In: *Scopear.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.scopear.com/products/worklink/>
- [13] NIKOLAUS, Katrin. RFID-Tags: Rewriting the Rules of Logistics. In: *Siemens.com* [online]. 2015 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/industry-and-automation/digitale-fabrik-rfid-in-industry.html>
- [14] ROMMEL, Anne. Industrie 4.0 in real time. In: *Fraunhofer.de* [online]. 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2017/april/industrie-4-0-in-real-time.html>

- [15] Přínos koncepce Industry 4.0. *Euroindustry4.eu* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://euroindustry4.eu/prinos-koncepce-industry-4.html>
- [16] BAUR, Cornelius a Dominik WEE. Manufacturing's next act. In: *Mckinsey.com* [online]. 2015, [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>
- [17] GEISSBAUER, Reinhard, Jesper VEDSO a Stefan SCHRAUF. *Industry 4.0: Building the digital enterprise* [online]. 2016, 36 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- [18] BLANCHET, Max, Thomas RINN, Georg von THADEN a Georges de THIEULLOY. *Industry 4.0: How Europe will succeed* [online]. Roland Berger Strategy Consultants, 2014, , 24 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_tab_industry_4_0_20140403.pdf
- [19] GEISSBAUER, Reinhard, Jesper VEDSO a Stefan SCHRAUF. A Strategist's Guide to Industry 4.0. In: *Strategy-business.com* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.strategy-business.com/article/A-Strategists-Guide-to-Industry-4.0?gko=7c4cf>
- [20] Transformátory: Fyzikální základy. In: *Cez.cz* [online]. 2008 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz10.htm>
- [21] Siemens: digitalizace průmyslové produkce. *Automa* [online]. 2017, **2017**(4), 1 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10140.pdf
- [22] Pokročilý strojní inženýring pro průmyslové stroje. In: *Plm.automation.siemens.com* [online]. 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/machinery/advanced-machine-engineering/index.cfm
- [23] What is the Smart Factory and its Impact on Manufacturing? In: *Ottomotors.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.ottomotors.com/blog/what-is-the-smart-factory-manufacturing>
- [24] SHARMA, Asha-Maria. SMART FACTORY. In: *Industrie4.0.gtai.de* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://industrie4.0.gtai.de/INDUSTRIE40/Navigation/EN/Topics/Industrie-40/smart-factory.html>
- [25] Smart Factory. In: *Industrie-wegweiser.de* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://industrie-wegweiser.de/smart-factory-info/>
- [26] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3938-0.
- [27] KORMANEC, Peter. SMED. In: *Ipaczech.cz* [online]. 2007 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/smed>
- [28] PLEVNÝ, Miroslav a Miroslav ŽIŽKA. *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. Vyd. 2. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-933-3.
- [29] Digital Manufacturing: Disciplines. In: *3ds.com* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.3ds.com/products-services/delmia/disciplines/digital-manufacturing>
- [30] 2016 Audi Smart Factory: Future of Audi Production. In: *Youtube.com* [online]. 2016 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=sqCbYd8O8MU&t=338s>

- [31] *Mobile robots: LD Series*. 2016. Dostupné také z: https://downloads.omron.cz/IAB/Products/Robotics/Mobile%20Robots/Mobile%20Robot/I828/ld_i828-e1_3_1_csm1056939.pdf
- [32] Omron's mobile robots: Automate routine material handling tasks. In: *Youtube.com* [online]. 2017 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MUYHwMLRGv8>
- [33] AIV. In: *Youtube.com* [online]. Omron Adept Technologies, 2013 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=iFL_JScgojI
- [34] Základní informace o technologii RFID. In: *Rfidportal.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne
- [35] KORMANEC, Peter. Six Sigma. In: *Ipaczech.cz* [online]. 2012 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/six-sigma>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Seznam tabulek

TAB 1) DEFINICE DIMENZÍ HODNOCENÍ DIGITALIZACE HODNOTOVÉHO ŘETĚZCE.....	34
TAB 2) MOŽNOSTI DIGITALIZACE DIMENZÍ PROCESU.....	43
PŘÍLOHA Č.1: HODNOCENÍ ÚROVNĚ DIGITALIZACE PRACOVIŠŤ VÝROBNÍHO SYSTÉMU.....	61

9.2 Seznam obrázků

OBR. 1) TYPY VÝROBNÍCH PROCESŮ DLE RUSSELLOVÉ [1]	17
OBR. 2) A) ANALÝZA BODU ZVRATU PO PŘIZPŮSOBENÍ SE INDIVIDUÁLNÍM POŽADAVKŮM ZÁKAZNÍKA V NEFLEXIBILNÍM VÝROBNÍM SYSTÉMU B) ANALÝZA BODU ZVRATU PO ZVÝŠENÍ FLEXIBILITY VÝROBNÍHO SYSTÉMU APLIKACÍ KONCEPTU INDUSTRY 4.0.....	18
OBR. 3) A) VIRTUALIZACE PROCESU NA PRACOVIŠTI S VYUŽITÍM SOFTWARE DELMIA [11], B) VIRTUÁLNÍ PRACOVNÍ INSTRUKCE VYUŽÍVAJÍCÍ ROZŠÍŘENOU REALITU VYTVOŘENÁ NÁSTROJEM WORKLINK SPOLEČNOSTI SCOPE AR [12].....	20
OBR. 4) SROVNÁNÍ PŘIPRAVENOSTI EVROPSKÝCH NÁRODNÍCH EKONOMIK A JEJICH PROSTORU PRO TRANSFORMACI VE SMYSLU INDUSTRY 4.0 [18].....	23
OBR. 5) SCHÉMA VÝROBNÍHO PROCESU.....	26
OBR. 6) MODEL HODNOCENÍ DIGITÁLNÍ VYSPĚLOSTI PODNIKU SPOLEČNOSTI PWC, Z PŘEKladU ORIGINÁLNÍHO DOKUMENTU [17]	29
OBR. 7) HODNOCENÍ ÚROVNĚ DIGITALIZACE PRACOVIŠŤ SPOLEČNOSTI.....	35
OBR. 8) HODNOCENÍ ÚROVNĚ DIGITALIZACE DIMENZÍ	37
OBR. 9) A) PRVNÍ KROK METODIKY SMED PRO PRACOVIŠTĚ LINKY, B) PRVNÍ KROK METODIKY SMED PRO PRACOVIŠTĚ LITÍ	40
OBR. 10) HODNOCENÍ ÚROVNĚ DIGITALIZACE PROCESU PŘÍPRAVY VÝROBY.....	41
OBR. 11) A) UCHOPENÍ MĚNĚ ČLENITÝCH POVRCHŮ, B) UCHOPENÍ SOUČÁSTI ČLENITÝCH TVARŮ, C) UCHOPENÍ SYPKÉHO MATERIÁLU [30].....	44
OBR. 12) A) AIV ROBOT PŘEVÁŽEJÍCÍ VOZÍK S VYCHYSTANÝM MATERIÁLEM [32], B) AIV ROBOT VYBAVEN MANIPULAČNÍM ZAŘÍZENÍM [33].....	45
OBR. 13) A) RFID ČIP – TEXTILNÍ, B) RFID ČTEČKA - FIXNÍ	46

OBR. 14)A) SROVNÁNÍ TRÍDĚNÍ PRACÍ PROCESU PŘÍPRAVY – PRACOVIŠTĚ LINKY B) SROVNÁNÍ TRÍDĚNÍ PRACÍ PROCESU PŘÍPRAVY – PRACOVIŠTĚ LITÍ	48
OBR. 15)SROVNÁNÍ ÚROVNĚ DIGITALIZACE PŮVODNÍHO PROCESU A NÁVRHU NOVÉHO PROCESU	49

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Hodnocení úrovně digitalizace pracovišť výrobního systému

Příloha č.2: Třídění prací dle metody SMED – původní proces

Příloha č.3: Analýza digitální úrovně procesu – původní proces

Příloha č.4: Třídění prací dle metody SMED – návrh nového procesu

Příloha č.5: Analýza digitální úrovně procesu – návrh nového procesu

PŘÍLOHY

Příloha č.1: Hodnocení úrovně digitalizace pracovišť výrobního systému

Dimenze	Data		Flexibilita výroby		Flexibilita dopravy		Komunikace		Zhodnocení	
	Sběr dat	Analýza dat	Zařízení	Zaměstnanci	Polotovary	Materiálů	Polotovary – pracovní postup	Polotovary - doprava	Úroveň	Heterogenita
Vinutí sekundárního vinutí	1	1	2	2	2	1	1	2	1,50	0,53
Předzk. magnetického obvodu	2	1	3	3	2	-	1	2	2,00	0,82
Bandáž magnetického obvodu	1	1	-	2	2	1	1	2	1,43	0,53
Klínování magnetického obvodu	1	1	2	2	2	1	1	2	1,50	0,53
Montáž sekundárních svorek	1	1	-	2	2	1	1	2	1,43	0,53
Vinutí primárního vinutí	1	1	-	2	2	1	1	2	1,43	0,53
Pájení primárních svorek	1	1	3	2	2	1	1	2	1,63	0,74
Bandážování funkčních částí	1	1	1	2	2	1	1	2	1,38	0,52
Formování funkčních částí	1	1	1	2	1	1	1	1	1,13	0,35
Předeřev APG 1	1	1	2	-	1	-	1	1	1,17	0,41
Lití APG 1	1	1	2	2	1	1	1	1	1,25	0,46
Dotvrzení 1	1	1	1	-	1	-	1	1	1,00	0,00
Předeřev VAC 1	1	1	1	-	1	-	1	1	1,00	0,00
Lití VAC 1	1	1	2	2	1	1	1	1	1,25	0,46
Předeřev VAC 2	1	1	2	-	1	-	1	1	1,17	0,41
Lití VAC 2	1	1	2	2	1	1	1	1	1,25	0,46
Předeřev APG 2	1	1	2	-	1	-	1	1	1,17	0,41
Lití APG 2	1	1	2	2	1	1	1	1	1,25	0,46
Dotvrzení 2	1	1	1	-	1	-	1	1	1,00	0,00
Předeřev APG 3	2	1	1	-	1	-	1	2	1,33	0,52
Lití APG 3	2	1	3	2	2	1	3	2	2,00	0,76
Dotvrzení 3	2	1	1	-	2	-	1	2	1,50	0,55
Finální montáž 1	1	1	2	2	2	1	1	2	1,50	0,53
Testování 1	2	1	3	3	2	-	2	2	2,14	0,69
Finální montáž 2	1	1	3	2	2	1	1	2	1,63	0,74
Testování 2	2	1	3	3	2	-	2	2	2,14	0,69
Úroveň	1,23	1,00	1,96	2,17	1,54	1,00	1,15	1,58	1,44	-
Heterogenita	0,43	0,00	0,77	0,38	0,51	0,00	0,46	0,50	-	0,6

Příloha č.2: Třídění prací dle metody SMED – původní proces

Třídění prací dle metody SMED		Pracoviště linky			Pracoviště lití		
		externí před	interní	externí po	externí před	interní	externí po
<i>Příprava polotovaru</i>	Doprava na pracoviště	X	-	-	X	-	-
	Zjištění parametrů varianty	-	X	-	X	-	-
	Ident. technologického postupu	-	X	-	X	-	-
	Doprava z pracoviště	-	-	X	-	-	X
<i>Příprava materiálu</i>	Identifikace potřebného materiálu	-	X	-	-	-	-
	Přesun materiálu na pracoviště	-	X	-	-	-	-
	Odstranění obalů	-	X	-	-	-	-
	Přizpůsobení rozměrů polotovaru	-	X	-	-	-	-
	Úprava kvality	-	X	-	-	-	-
	Vyhození odpadu	-	X	-	-	-	-
	Přesun zbytků na úložiště	-	X	-	-	-	-
<i>Příprava zařízení</i>	Výběr programu zařízení	-	X	-	-	X	-
	Nastavení programu	-	X	-	-	X	-
	Umístění polotovaru do zařízení	-	X	-	-	X	-
<i>Příprava přípravků a forem</i>	Ident. potřeb. přípravků a forem	-	X	-	X	-	-
	Ověření dostupnosti příp. a forem	-	X	-	X	-	-
	Přesun na pracoviště	-	X	-	X	-	-
	Umíst. polotovaru do příp./formy	-	X	-	X	-	-
	Demontáž příp./formy	-	X	-	-	-	X
	Přesun na úložiště	-	X	-	-	-	X
	Prací celkem	1	18	1	7	3	3

Příloha č.3: Analýza digitální úrovně procesu – původní proces

Analýza digitální úrovně procesu – pracoviště linky		Data		Flexibilita výroby		Flexibilita dopravy		Komunikace		Úroveň digitalizace	Heterogenita
		Sběr dat	Analýza dat	Zařízení	Zaměstnanci	Polotovaru	Materiálu	Polotovarový – pracovní postup	Polotovarový – doprava		
Dimenze											
<i>Příprava polotovaru</i>	Doprava na pracoviště	2	-	-	-	2	-	-	2	0,75	1,04
	Zjištění parametrů varianty	-	-	-	-	-	-	2	-	0,25	0,71
	Ident. technologického postupu	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,35
	Doprava z pracoviště	2	-	-	-	2	-	-	2	0,75	1,04
<i>Příprava materiálu</i>	Identifikace potřebného materiálu	-	-	-	-	-	1	1	-	0,25	0,46
	Přesun materiálu na pracoviště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Odstranění obalů	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Přizpůsobení rozměrů polotovaru	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,74
	Úprava kvality	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,74
	Vyhození odpadu	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Přesun zbytků na úložiště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
<i>Příprava zařízení</i>	Výběr programu zařízení	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,35
	Nastavení programu	-	-	-	-	-	-	1	-	0,38	0,74
	Umístění polotovaru do zařízení	-	-	-	2	1	-	-	-	0,38	0,74
<i>Příprava přípravků a forem</i>	Ident. potřeb. přípravků a forem	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,35
	Ověření dostupnosti příp. a forem	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Přesun na pracoviště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Umíst. polotovaru do příp./formy	-	-	-	2	1	1	-	-	0,50	0,76
	Demontáž příp./formy	-	-	-	2	-	1	-	-	0,38	0,74
	Přesun na úložiště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Úroveň digitalizace	0,20	0,00	0,00	0,50	0,30	0,50	0,45	0,20	0,27	-
	Heterogenita digitalizace	0,62	0,00	0,00	0,89	0,66	0,51	0,60	0,62	-	0,59

Analýza digitální úrovně procesu – pracoviště lití		Data		Flexibilita výroby		Flexibilita dopravy		Komunikace		Úroveň digitalizace	Heterogenita
		Sběr dat	Analýza dat	Zařízení	Zaměstnanci	Polotovary	Materiálu	Polotovary – pracovní postup	Polotovary – doprava		
	Dimenze										
<i>Příprava polotovaru</i>	Doprava na pracoviště	-	-	-	-	1	-	-	1	0,25	0,46
	Zjištění parametrů varianty	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,00
	Ident. technologického postupu	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,00
	Doprava z pracoviště	-	-	-	-	1	-	-	1	0,25	0,46
<i>Příprava materiálu</i>	Identifikace potřebného materiálu	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,35
	Přesun materiálu na pracoviště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Odstanění obalů	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Přizpůsobení rozměrů polotovaru	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,00
	Úprava kvality	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,00
	Vyhození odpadu	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Přesun zbytků na úložiště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
<i>Příprava zařízení</i>	Výběr programu zařízení	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,00
	Nastavení programu	-	-	2	-	-	-	1	-	0,38	0,00
	Umístění polotovaru do zařízení	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,00
<i>Příprava přípravků a forem</i>	Ident. potřeb. přípravků a forem	-	-	-	-	-	-	1	-	0,13	0,00
	Ověření dostupnosti příp. a forem	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Přesun na pracoviště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Umíst. polotovaru do příp./formy	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,74
	Demontáž příp./formy	-	-	-	2	-	-	1	-	0,38	0,00
	Přesun na úložiště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,00
	Úroveň digitalizace	0,00	0,00	0,10	0,50	0,10	0,35	0,55	0,10	0,21	-
	Heterogenita digitalizace	0,00	0,00	0,45	0,89	0,31	0,49	0,51	0,31	-	0,49

Příloha č.4: Třídění prací dle metody SMED – návrh nového procesu

Třídění prací dle metody SMED		Pracoviště linky			Pracoviště lití		
	Druh činnosti	externí před	interní	externí po	externí před	interní	externí po
<i>Příprava polotovaru</i>	Doprava na pracoviště	X	-	-	X	-	-
	Zjištění parametrů varianty	X	-	-	X	-	-
	Ident. technologického postupu	X	-	-	X	-	-
	Doprava z pracoviště	-	-	X	-	-	X
<i>Příprava materiálu</i>	Identifikace potřebného materiálu	X	-	-	-	-	-
	Přesun materiálu na pracoviště	X	-	-	-	-	-
	Odstranění obalů	X	-	-	-	-	-
	Přizpůsobení rozměrů polotovaru	-	X	-	-	-	-
	Úprava kvality	X	-	-	-	-	-
	Vyhození odpadu	-	-	X	-	-	-
	Přesun zbytků na úložiště	-	-	X	-	-	-
<i>Příprava zařízení</i>	Výběr programu zařízení	X	-	-	X	-	-
	Nastavení programu	X	-	-	X	-	-
	Umístění polotovaru do zařízení	-	X	-	-	X	-
<i>Příprava přípravků a forem</i>	Ident. potřeb. přípravků a forem	X	-	-	X	-	-
	Ověření dostupnosti příp. a forem	X	-	-	X	-	-
	Přesun na pracoviště	X	-	-	X	-	-
	Umíst. polotovaru do příp./formy	-	X	-	X	-	-
	Demontáž příp./formy	-	X	-	-	-	X
	Přesun na úložiště	-	-	X	-	-	X
	Prací celkem		12	4	4	9	1

Příloha č.5: Analýza digitální úrovně procesu – návrh nového procesu

Analýza digitální úrovně procesu		Data		Flexibilita výroby		Flexibilita dopravy		Komunikace		Úroveň digitalizace	Heterogenita
		Sběr dat	Analýza dat	Zařízení	Zaměstnanci	Polotovary	Materiálu	Polotovary – pracovní postup	Polotovary – doprava		
Dimenze											
<i>Příprava polotovaru</i>	Doprava na pracoviště	2	3	-	-	3	-	-	3	1,38	1,51
	Zjištění parametrů varianty	-	-	-	-	-	-	3	3	0,75	1,39
	Ident. technologického postupu	-	-	-	-	-	-	3	-	0,38	1,06
	Doprava z pracoviště	2	3	-	-	3	-	-	3	1,38	1,51
<i>Příprava materiálu</i>	Identifikace potřebného materiálu	2	-	3	-	-	-	-	3	1,00	1,41
	Přesun materiálu na pracoviště	-	3	-	-	-	3	-	3	1,13	1,55
	Odstranění obalů	-	-	-	1	-	1	-	-	0,25	0,46
	Přizpůsobení rozměrů polotovaru	-	-	-	2	-	-	3	-	0,63	1,19
	Úprava kvality	-	-	3	-	-	-	3	-	0,75	1,39
	Vyhození odpadu	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
	Přesun zbytků na úložiště	-	-	-	-	-	1	-	-	0,13	0,35
<i>Příprava zařízení</i>	Výběr programu zařízení	-	-	-	-	-	-	3	-	0,38	1,06
	Nastavení programu	-	-	3	-	-	-	3	-	0,75	1,39
	Umístění polotovaru do zařízení	-	-	-	3	1	-	-	-	0,50	1,07
<i>Příprava přípravků a forem</i>	Ident. potřeb. přípravků a forem	-	-	-	-	-	-	3	-	0,38	1,06
	Ověření dostupnosti příp. a forem	-	-	-	-	-	3	-	-	0,38	1,06
	Přesun na pracoviště	-	3	-	-	-	3	-	-	0,75	1,39
	Umíst. polotovaru do příp./formy	-	-	-	2	1	1	3	-	0,88	1,13
	Demontáž příp./formy	-	-	-	2	-	-	3	-	0,63	1,19
	Přesun na úložiště	-	3	-	-	-	3	-	-	0,75	1,39
	Úroveň digitalizace	0,30	0,75	0,45	0,50	0,40	0,80	1,35	0,75	0,66	-
	Heterogenita digitalizace	0,73	1,33	1,10	0,95	0,94	1,20	1,53	1,33	-	1,18