

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA EKONOMICKÁ

Diplomová práce

Technologie čtvrté průmyslové revoluce

v inovačních projektech

Technologies of the Fourth Industrial Revolution in

innovation projects

Bc. Jindřich Šeda

Plzeň 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma

„Technologie čtvrté průmyslové revoluce v inovačních projektech“

vypracoval samostatně pod odborným dohledem vedoucího diplomové práce za použití pramenů uvedených v příložené bibliografii.

Plzeň dne 23.4.2023

v. r. *Jindřich Šeda*

Zásady pro vypracování práce

1. Definujte cíle práce.
2. Charakterizujte čtvrtou průmyslovou revoluci, technologie Průmyslu 4.0 a možnosti jejich využití.
3. Představte vybraný podnik.
4. Analyzujte současný stav využití technologií Průmyslu 4.0 ve vybrané firmě a popište probíhající a připravované změny a nové aplikace technologií 4.0 a přínosy vaší práce ve firmě.
5. Zhodnoťte dosažení cílů práce, navrhněte firmě doporučení pro implementaci dalších inovací

Poděkování:

Zde bych rád poděkoval panu doc. Ing. Jiřímu Vackovi, Ph.D. za jeho ochotu, cenné rady, věcné připomínky a vedení při zpracování této práce. Dále děkuji firmě Faiveley Transport Plzeň s.r.o. za spolupráci.

Obsah

Úvod	7
1 Čtvrtá Průmyslová Revoluce	9
1.1 Historický vývoj.....	10
1.2 Charakteristika Průmyslu 4.0	14
1.2.1 Chytré továrny a produkty	15
1.2.2 Vymezení principů Průmyslu 4.0	18
2 Zavádění Průmyslu 4.0 v praxi.....	24
2.1 Implementování Průmyslu 4.0	24
2.1.1 Technologie	25
2.1.2 Obchodní modely.....	28
2.1.3 Učení se a udržitelnost.....	29
2.2 Hodnocení připravenosti a zralosti firem.....	30
2.2.1 IMPULS – Industrie 4.0 Readiness (2015).....	31
2.2.2 Industry 4.0/Digital Operations Self-Assessment (2016).....	32
2.2.3 The Connected Enterprise Maturity Model (2016).....	33
2.2.4 Industry 4.0 Maturity Model (2016).....	34
2.2.5 Proposed Industry 4.0 Maturity Model (2018).....	34
2.3 Průmysl 4.0 – implementační roadmapa.....	36
3 Technologie čtvrté průmyslové revoluce	40
3.1 Technologické směry a principy	40
3.2 Podstatné technologie Průmyslu 4.0	44
3.2.1 Autonomní robotika.....	44
3.2.2 Aditivní výroba	45
3.2.3 Cloudové technologie	46

3.2.4	Analýza dat, Big data	47
3.2.5	Umělá inteligence.....	49
3.2.6	Technologie pro virtualizaci – VR, AR	50
3.2.7	Komunikace, síťování – IoT	51
3.2.8	Senzory a akční členy, RFID, RTLS.....	52
4	Faiveley Transport Plzeň s.r.o.	55
4.1	Představení společnosti.....	55
4.2	Analýza současného stavu	57
4.2.1	Současné technologie Průmyslu 4.0 v podniku.....	57
4.2.2	Vyhodnocení zralosti podniku	59
4.3	Probíhající inovační projekty.....	70
4.3.1	Digitalizace výroby	70
4.3.2	Automatizované skladové systémy	74
4.4	Zhodnocení stavu a návrh doporučení.....	75
4.4.1	Obecné zhodnocení stavu a doporučení	75
4.4.2	Konkrétní doporučení.....	81
	Závěr.....	87
	Seznam použitých zdrojů.....	90
	Seznam tabulek.....	93
	Seznam obrázků	94
	Seznam grafů	95
	Seznam zkratk a značek.....	96
	Seznam příloh	99
	Přílohy	
	Abstrakt	
	Abstract	

Úvod

Současný svět je světem transformace, neustálých změn a vývoje. Stáváme se znalostní společností, ekonomikou založenou na znalostech, a dochází ke změně chování lidí. I chování zákazníků je předmětem změny a jejich požadavky rostou. Firmy na toto musí reagovat, aby si udržely konkurenceschopnost, a tlak na individuální přístup je větší než kdy předtím. Změny jsou častější, rychlejší a stávají se běžnou součástí dnešní doby, potřeba inovací roste.

Dnešní turbulentní doba s sebou přináší neustálý a rychlý vývoj technologií. Informační a komunikační technologie jsou integrální součástí našeho světa a velmi razantně vstupují i do světa průmyslu. Od pouhého nasazení informačních systémů, využívání softwarových nástrojů a komunikace po internetu mezi lidmi se dostáváme do situace integrace fyzického a digitálního světa, kompletní digitalizace, automatizace, využívání umělé inteligence, schopnosti strojů komunikovat se stroji a kde roboti mohou pracovat po boku lidí. Tím se dostáváme k vizi Průmyslu 4.0.

Původní koncept Průmyslu 4.0 se představil již v roce 2011 na světovém průmyslovém veletrhu v německém Hannoveru a došlo k představení myšlenek chytrých továren a kyber-fyzikálních systémů. V roce 2013 pak došlo k představení německé národní iniciativy Industrie 4.0 jako vize pro digitální transformaci německého průmyslu a automatizace. V České republice zveřejnilo Ministerstvo průmyslu a obchodu vlastní dokument, tzv. Iniciativa Průmysl 4.0. Jedná se o dokument z roku 2016, jehož snahou bylo poskytnout informace o Průmyslu 4.0 a technologiích a ukázat možné směry vývoje včetně návrhů pro podporu ekonomiky a průmyslu ČR a přípravy společnosti na přijetí technologických změn. A jelikož je Česká republika zemí s vysokým podílem průmyslových činností, je na místě využít příležitostí které Průmysl 4.0 přináší a nezůstat pozadu při zavádění nových myšlenek, metod, nástrojů a technologií a rozvíjet komparativní výhody průmyslu ČR, respektive posilovat konkurenceschopnost České republiky.

Na celou tuto problematiku je nutné dívat se komplexně. Tyto změny se netýkají jen nových technologií ve výrobě, ale i ve službách, ostatních odvětvích hospodářství a také běžného života lidí například v souvislosti s takzvanými chytrými domácnostmi či chytrými městy. Jedná se o změny nejen s technologickými dopady, ale také sociálními a ekonomickými. V zásadě se potýkáme se změnami s celospolečenským dopadem a

jejich nástup a současnou dobu můžeme nazvat jako čtvrtou průmyslovou revoluci, která má, jak pozitivní vliv, tak také negativní. Například je důležité si uvědomit, že tato transformace sebou přinese zásadní změny na trhu práce, vzdělání a požadavků na znalosti a kompetence zaměstnanců. Jelikož bude docházet k nahrazování rutinních a jednoduchých činností roboty, činnosti s nízkou přidanou hodnotou budou předmětem robotizace a automatizace a lidská činnost se bude přesouvat spíše do sféry kreativní a sféry s vyšší přidanou hodnotou, řada současných pracovních míst bude postupně zanikat. S novými technologiemi, principy či strategiemi však budou vznikat i zcela nová místa. Řada lidí tak bude muset projít rekvalifikací a nové požadavky na znalosti se projeví i v systému školství a vzdělání. Nabízí se však otázka, zdali bude každý schopen se rekvalifikovat a přizpůsobit novým podmínkám a dokáže si najít nové zaměstnání? Jaký vliv na člověk bude toto propojení reálného a digitální či virtuálního světa mít?

Tato diplomová práce se zabývá technologiemi čtvrté průmyslové revoluce v inovačních projektech a jejich využitím v podnikové praxi. Cílem práce je:

- Představení čtvrté průmyslové revoluce
- Uvedení problematiky zavádění Průmyslu 4.0 ve firmách
- Charakteristika technologií Průmyslu 4.0 a jejich využití
- Analýza a zmapování současného stavu v podniku Faiveley Transport Plzeň s.r.o.
- Rozbor plánovaných či probíhajících inovačních projektů
- Zhodnocení stavu a návrh doporučení pro implementaci dalších inovací

1 Čtvrtá Průmyslová Revoluce

Průmysl 4.0 je v posledních letech velmi frekventovaným termínem a angažovanost v této oblasti bude i nadále růst. Stále se jedná o relativně nové téma a zavádění jeho principů do praxe je velice pozvolné, a to i přesto, že první zmínka o Průmyslu 4.0 se objevila před více jak 10 lety na světovém průmyslovém veletrhu Hannover Messe v Německu. Tehdy byla představena první vize tzv. „*Industrie 4.0*“ jako nový směr německého průmyslu, který předpovídal chytré továrny a kyber-fyzikální systémy. Od té doby vznikla řada iniciativ různých států reagujících na čtvrtou průmyslovou revoluci pod mnoha názvy. Řada zemí má těchto dokumentů a vládních programů hned několik. (Mařík & kol, 2016).

V současné praxi však není na místě tvrdit, že takovéto systémy jsou standardním řešením. Digitalizace a implementace pokročilejších technologií ve firmách narůstá, vznikla a vzniká nová vlna inovací a aplikací i v sektoru malých a středních výrobních závodů. To je umocněno i tím, že využívání jedné z klíčových technologií, Industriálního internetu věcí (Internet of Things, IoT), se neustále rozšiřuje, zejména pak ve výrobním a zpracovatelském průmyslu (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022).

Nyní se ve většině případů jedná o zavádění dílčích technologií, postupných změn, standardizací a v podstatě budování základny pro adaptaci na Průmysl 4.0. Vytvoření zcela provázaného, autonomního systému, který je původní vizí Průmyslu 4.0, je velmi náročné a vyžaduje pevný základ, připravenost a dobrou infrastrukturu jak na úrovni podnikové, tak i na úrovni národní. Podpora státu může pro transformaci ekonomiky hrát klíčovou roli a opomínat se nesmí ani právní aspekty, jelikož špatně nastavená legislativa může být překážkou pro úspěšnou implementaci Průmyslu 4.0. (Mařík & kol, 2016)

Právě probíhá čtvrtá průmyslová revoluce, kdy je největší snahou digitalizovat a automatizovat, respektive robotizovat, hledat uplatnění nových technologií a zavádět je do praxe. V blízké a vzdálené budoucnosti pak bude pozornost věnována stále většímu využití generovaných dat, optimalizací a řízení celých kyber-fyzikálních systémů a hodnotových řetězců.

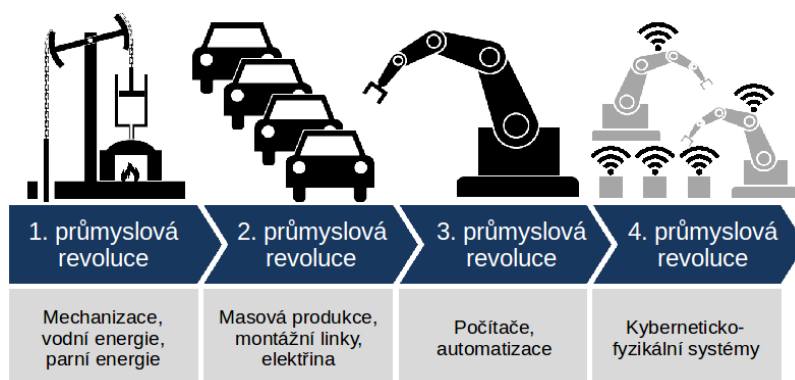
1.1 Historický vývoj

V moderní historii prošel průmysl velkým vývojem a ušel dlouhou cestu, aby se dostal do podoby, ve které se nachází v současné době. Zemědělství, těžba, výroba a ostatní hospodářské sektory včetně dopravy byly předmětem velkých změn. Hnací silou těchto změn byl, a nadále je, výzkum a inovace. Některé objevy byly tak významné, že razantním způsobem změnily podobu průmyslu. Tato období zásadních proměn v historii jsou označena jako průmyslové revoluce.

Charakteristické technologické změny se týkaly například využívání nových materiálů, nových energetických zdrojů, paliv a s nimi spojených hybných sil – například motory a vynalezení nových strojů. Příkladem může být spřádací stroj, považovaný za počátek první průmyslové revoluce, a později tkalcovský stav a šicí stroj, jelikož textilní průmysl byl jednou z nejvíce dotčených oblastí na počátku první průmyslové revoluce (Němec & Surý, 2022). Další významná změna se týkala přechodu od manufakturní výroby k tovární výrobě. Společně s tím se zvyšovala i dělba práce a možnost specializace. V neposlední řadě se jednalo o změny v transportu a komunikaci. Příkladem mohou být železnice a lokomotivy, parník nebo telegraf. A posledním, možná nejdůležitějším znakem, bylo stále vyšší využívání vědy v průmyslu, kterou můžeme chápat jako hybnou sílu pro tvorbu disruptivních inovací a příčinu změn. (Němec & Surý, 2022)

Historicky rozlišujeme čtyři takováto období, která přinesla radikální změny ve výrobě i společnosti.

Obrázek 1: Průmyslové revoluce - historický vývoj technologií



Zdroj: Wikipedia, 2022

První průmyslová revoluce, označována též jako Velká průmyslová revoluce či období industrializace, je období od 18. do 19. století. Z počátku se týkala jen Velké Británie, kde započala, a později se rozšířila i do dalších zemí. (Němec & Surý, 2022)

Hlavními rysy byly nové způsoby zpracování a využití železa, rozvinutí zejména textilního průmyslu (na počátku) a výrazné zvýšení poptávky po uhlí v důsledku zavedení vysokých pecí a výrobě koksu. Obrovský vliv měl parní stroj, který uhlí potřeboval jako palivo a poptávka po něm kvůli tomu nabyla nevídaných výšin. V tomto období docházelo k výrazné mechanizaci. Rozvíjel se obor strojírenství, což mělo vliv i na pokrok v hutnictví, těžebním průmyslu, a nakonec i v dopravě (hlavně železnice) při vynalezení parní lokomotivy jako řešení pro zvyšující se objem a tíhu přepravovaných nákladů, nebo parník. V oblasti komunikace se objevuje elektrický telegraf a telegrafní linky. (Němec & Surý, 2022)

Parní stroj, vynalezený Thomasem Newcomenem a Thomasem Saverym, výrazně zdokonalil skotský vynálezce James Watt. Zvýšil účinnost parního stroje a přispěl k jeho velkému rozšíření. Tento klíčový vynález se v pozdějších letech stal nejvýznamnějším zdrojem energie a měl obrovský vliv na průmysl a dopravu zejména v 19. století, které je proto nazýváno též stoletím páry. (Němec & Surý, 2022)

Druhá průmyslová revoluce úzce navazovala na první a do jisté míry se překrývaly. Toto období přineslo masivní technologické pokroky. Začátek se datuje na konec 19. století a spojuje se s vynálezem žárovky T. A. Edisona - patent (Beck, 2022) nebo se zavedením první montážní linky společností Cincinnati - jatka. Jednalo se o vlnu inovací zejména spojenou s elektrifikací, montážními linkami, komunikačními prostředky a pokračujícímu vývoji v oblasti materiálů. V průmyslu se objevovaly dosud nevyužívané přírodní i syntetické materiály – kovy a slitiny (ocel), vzácné horniny a také plast - umělá slonovina, bakelit a později celuloid. Příkladem významného objevu může být spalovací motor (a automobil) nebo telefon. Tyto pokroky společně s novými nástroji vyústily ve vznik továren, montážních linek a přišla na řadu masová výroba a dělba práce. (iED, 2019; Niiler, 2019)

Jedním z významných představitelů této doby a lidí, kteří ovlivnili vývoj managementu a výroby byl Henry Ford, který v této době přišel s nápadem pásové výroby v automobilovém průmyslu. Nechal se při tom inspirovat Chicagskými jatkami (Norman, 2022). Pásová výroba vedla ke snížení výrobních nákladů. Levná auta si mohl dovolit

každý - pracovník montážní linky za čtyři měsíční platy (Norman, 2022). Ford Motor Company se stala jednou z největších automobilek v té době. Někdy je považován za jednoho z prvních lidí, kteří představili či využívali konceptu štíhlé výroby, díky svému přístupu založenému spíše na procesech, snahou o eliminaci plýtvání a zvyšování efektivity. Také zavedl standardizaci postupů a dílů pro snadnější montáž i nezkušenými pracovníky a představil koncept výrobních linek. Uvedl tak základní principy štíhlé výroby. Ty byly dále vylepšovány a prohlubovány Eidžim Toyodou, a dalšími inženýry z Toyota Motors, který Fordovy závody navštěvoval. To vedlo k vytvoření filozofie a technik lean managementu, jak je známe dnes. (Razdan, 2017; Six Sigma Daily, 2017)

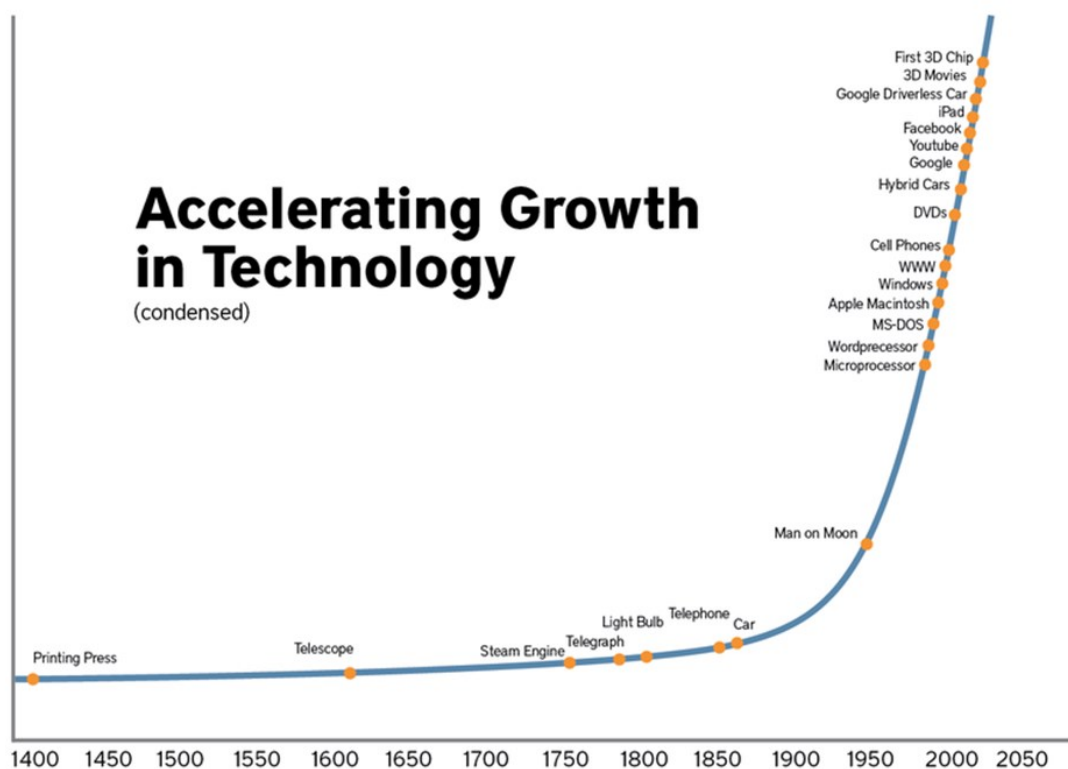
Třetí průmyslová revoluce je obdobím počítačů, elektroniky, telekomunikací a informačních technologií a datuje se k roku 1969. První rozšíření počítačů do výroby lze ale připisat počítačům IBM S360 oznámeným již v roce 1964 (IBM, 2022). Spojována je rovněž s automatizací a digitalizací a rozmachem výpočetní techniky ve výrobě. Docházelo k nasazování počítačů, prvních robotů, programovatelných jednotek a informačních systémů do praxe. Nové technologie otevřely dveře pro vesmírné expedice a pokročilý výzkum. Dalším zdrojem energie se stala jaderná energetika. (iED, 2019)

Čtvrtá průmyslová revoluce pokračuje v rozvíjení předchozích informačních technologií. Dochází k větší robotizaci. Charakteristikou je masivní rozšíření internetu a počítačových sítí do všech oblastí našeho života (iED, 2019). Rozšiřující se významnost a využití internetu a rapidní vývoj nových technologií ještě více posouvají možnosti automatizace a digitalizace a na řadu se dostávají autonomní systémy. Internet není jen doménou lidí, ale i strojů. Objevuje se virtuální realita a dochází ke spojení fyzického a digitálního světa. Velký rozvoj zaznamenávají i Smart technologie. Roste objem generovaných dat, komunikace stroj-stroj, člověk-stroj, člověk-člověk, využívání umělé inteligence a strojového učení.

Výrazný technologický pokrok bychom mohli vztáhnout k roku 2000. Období kolem přechodu do nového tisíciletí a následné roky po něm byly bohaté na nové technologie a rychlost vývoje či objevování nových technologií od té doby nadále rostla. Tento fenomén je též znázorněn grafem exponenciálního růstu technologií (Obrázek 2, s.13). Rychlost technologického vývoje též předpovídá Moorův zákon – na základě pozorování (Britannica, 2022). Ten říká, že se počet tranzistorů na integrovaný obvod zdvojnásobí za každé dva roky. Což může být využito jako vodítko při určování cílů vývoje při zohlednění tohoto zákona. Tempo růstu se postupem času začalo snižovat a v současné

době se počet tranzistorů nezdvójnásobí ani za 2 roky, patrně kvůli vyšší technologické náročnosti, komplexitě polovodičů, trojrozměrným tranzistorům a limitům zejména v miniaturizaci, která je jednou ze začínajících bariér. Kvůli tomu se můžeme setkat i s tvrzením, že Moorův zákon již přestává platit. (James, 2022)

Obrázek 2: Exponenciální růst technologií v letech



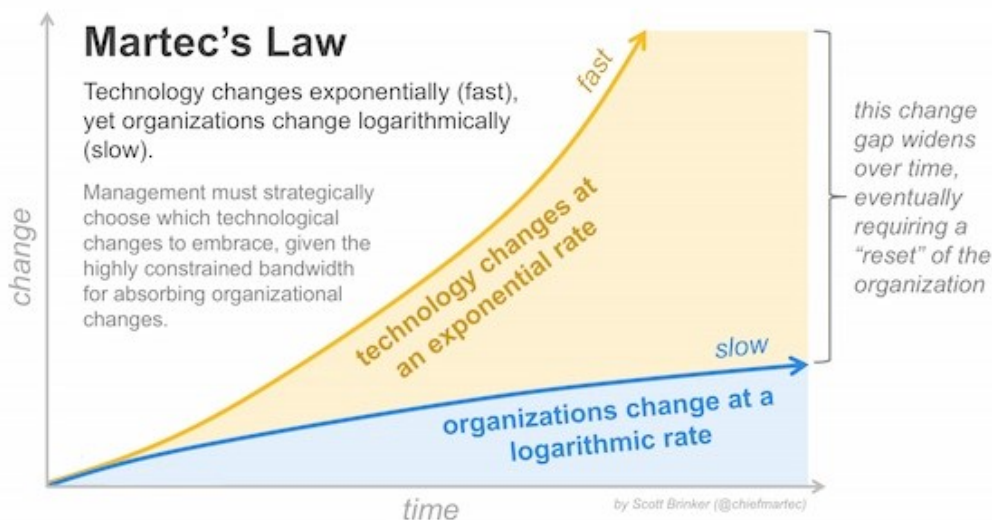
Zdroj: Phoenix, 2017

Rychlost nástupu technologií ale převyšuje rychlost adaptace podniků (a lidí) a využití v praxi. V angličtině je toto nazýváno jako Martec's law (Brinker, 2016) a v zásadě říká, že zatímco změny v technologiích jsou rychlé, změny v organizacích nikoliv. Lidé obecně nemají rádi změnu. Změny v chování, v kultuře a v procesech jsou pomalé a je nutné je zavádět pomalu, pokud mají být produktivní a nevytvářejí příliš velké ruchy. Organizace je zkrátka schopná přijmout jen omezený počet změn v určitém období.

Řízení změn a inovací tedy vyžaduje delikátní přístup, kterému je potřeba věnovat pozornost a hledat způsob, jak řídit pomalu se měnící organizaci v rychle se měnícím prostředí. Podnik musí na základě strategie volit změny, které je ochoten přijmout a které jsou pro organizaci přínosem. Nicméně technologický rozdíl je nakonec tak velký, že je organizace nucena podstoupit zásadní a disruptivní změnu, aby nezankla a byla

konkurenceschopná. Alternativou však může být i zánik společnosti a přesunutí aktiv a zdrojů do modernějších organizací. (Brinker, 2016)

Obrázek 3: Martec's Law



Zdroj: Brinker, 2016

Nemusí to tak být ale vždy. V určitých situacích mohou být změny mnohem rychlejší a organizace mohou vykázat jistou míru pružnosti a na nově vzniklou situaci se přizpůsobit skokově. Brinker (2020) ve svém článku využil analogii s teorií z evoluční vědy (teorie přerušovaných rovnováh) říkající, že určitý druh se spíše, než graduálně a kontinuálně, mění skokem, jako reakcí na náhlou změnu vyvolávající dramatickou adaptaci. Vystavení organizace či lidstva kataklyzmatické události, tedy může adopci technologií dramaticky urychlit. Jako příklad uváděl změny spojené s pandemií COVID-19, které si většina musela zažít a ve velmi krátké době na ně reagovat. Omezení osobního kontaktu pak vyústilo ve vyšší nárůst ve využívání digitálních technologií.

1.2 Charakteristika Průmyslu 4.0

Koncept Průmyslu 4.0 je opřený o zavádění pokročilých informačních technologií do praxe se snahou o vytvoření automatizovaného a autonomního systému. Dále se jedná o nové technologické přístupy ve výrobě spojené zejména s virtualizací a digitalizací výrobků ať už ve fázi vývoje, konstrukce nebo při sledování a řízení jejich životního cyklu a monitorování polohy ve vnitropodnikové logistice nebo v distribučních řetězcích.

Počítačová podpora při vývoji a výrobě není ovšem nic nového, nicméně trend Průmyslu 4.0 toto ještě více prohlubuje. Jedním z novodobých trendů technologie výroby je aditivní výroba, která bude nacházet své uplatnění čím dál častěji a mnohdy je uváděna jako jedna z technologií tvořících základ Průmyslu 4.0.

Základní charakteristiku Průmyslu 4.0 uvádí ve své knize Mařík et al. (2016), která je zároveň součástí Iniciativy Průmysl 4.0 (2016) pro Českou republiku. Zde je popsána transformace výroby ze samostatných automatizovaných jednotek na plně integrovaná a automatizovaná výrobní prostředí, která je možné průběžně optimalizovat. To povede ke vzniku globální sítě propojených výrobních zařízení do systémů CPS – Cyber-Physical Systems. V tomto výkladu je patrný tlak na vytvoření propojeného systému, který je vizí Průmyslu 4.0. Samotná automatizace dílčích úseků je sice nezbytným předpokladem, nicméně z hlediska technologií ho můžeme zařadit již do třetí průmyslové revoluce. Jinými slovy ačkoli je čtvrtá průmyslová revoluce spojována s velkou automatizací, ten skutečný záměr je ve snaze o propojení dílčích celků, které umožňuje vzájemnou komunikaci a autonomní řízení.

1.2.1 Chytré továrny a produkty

Kyber-fyzické systémy CPS tvoří základ pro „inteligentní továrny“ a mohou přesahovat hranice jednotlivých firem. Dochází tak k propojování mezi firmami a celého hodnotového řetězce. Tyto systémy jsou schopné autonomní výměny informací, vyvolání potřebných akcí, mohou vzájemně reagovat a analyzovat data. Disponují schopností předvídat chyby, poruchy a dokáží na ně reagovat (prediktivní údržba zařízení), jsou schopné samokonfigurace a možnosti přizpůsobování se v reálném čase - individualizace hromadné výroby (Mařík & kol, 2016). Jedná se o pružné, adaptabilní a efektivní výrobní řešení vyhovující dynamickému trhu. Velmi známá charakteristika těchto systémů je schopnost vzájemné komunikace strojů, lidí i produktů. Někdy se proto říká že „stroje komunikují se stroji“.

Jak již bylo uvedeno na začátku kapitoly, změny se netýkají pouze technologií výrobních procesů a jejich řízení, ale týkají se také samotných produktů, které se stávají součástí celého systému. Ona myšlenka spojení fyzického a digitálního světa zahrnuje totiž i samotné výrobky. Mařík et al. (2016) uvádějí termín „inteligentní produkty“. Běžně se můžeme setkat s tzv. chytrými zařízeními či výrobky, které často představují v jádru

běžný produkt vylepšený o nějakou digitální technologii, která rozšiřuje jeho nastavitelnost, využitelnost, zvyšuje komfort uživatele a umožňuje komunikaci v reálném čase. V podstatě se jedná o připojování běžných zařízení k internetu a například rozšiřování jejich funkce pomocí senzorů. Toto je samozřejmě trend 21. století a neustálý pokrok v technologiích a Průmysl 4.0 to zajistí bude i nadále umocňovat. Příkladem mohou být chytré hodinky nebo automobily, které v mnohých ohledech mohou připomínat službu. Koupí automobilu to totiž nekončí. Vozidlo je v tomto ohledu „software na kolečkách“, který je připojen k síti a neustále komunikuje, provádí aktualizaci softwaru, komunikuje se zákazníkem ohledně servisu a nabízí další funkce jako lokalizace vozidla apod.

Inteligentní produkty (Mařík & kol, 2016) v souvislosti s Průmyslem 4.0 a inteligentními továrnami představují něco trochu jiného. Ona „intelligence“ výrobku spočívá v jeho jednoznačné identifikovatelnosti a lokalizovatelnosti, to znamená, že bude možné sledovat jejich tok a polohu kdekoli v rámci logistického systému. Budou rovněž znát svou historii a aktuální stav včetně alternativních cest vedoucích k finální podobě produktu. To znamená, že informace o modulárnosti (modulární kusovník výrobku) produktu ve spolupráci s celým systémem přispějí k individualizaci produktu. Tyto produkty aktivně podporují svůj výrobní proces, ukládají data a autonomně kontrolují individuální výrobu a jsou schopny neustále informovat o svém statusu po celý svůj životní cyklus.

Výrobní procesy na vertikální úrovni budou propojeny celým podnikem i horizontálně. Celý systém tak bude moci pružně reagovat na měnící se poptávku a individuální požadavky zákazníků. Z toho vyplývá real-time řízení skrze celý hodnotový řetězec s dopadem na logistiku, produkci, údržbu a podnikové řídicí procesy (Convercon, 2021; Mařík & kol, 2016). Na základě informace o finální podobě výrobku (a jejím zpracováním systémem) by tak mohlo dojít k přizpůsobení autonomního systému a výrobního procesu tak, aby výsledný produkt splňoval individuální požadavky a zároveň umožnil efektivní výrobu. Dochází tak ke komunikaci produktů se stroji, respektive s celým průmyslovým ekosystémem. Produkty se tak stávají součástí celého systému a podílejí se na jeho chodu. Dalo by se říci, že potřebují jeden druhého. Jinými slovy inteligentní produkty vyžadují inteligentní procesy a opačně.

Chytrý produkt má tři hlavní části: fyzickou, chytrou – senzory, zabudovaný počítač, a dále část konektivity – porty, antény a protokoly pro komunikaci. (Ustundag & Cevikkan, 2018)

Od zavedení čárových kódů a RFID technologií pro identifikaci produktů však došlo k pokroku a již dnes produkty poskytují celou řadu informací od identity, přes status a historii životního cyklu až po výpočetní algoritmy a strojové učení otevírající další možnosti využití a komunikace produktů. (Convercon, 2021).

Shrnutí charakteristik inteligentních továren podle Mařík & kol, (2016):

- Optimalizace výrobních procesů v rámci celého hodnotového řetězce. Vertikální a horizontální integrace IT systémů;
- Plně automatizované a vzájemně propojené výrobní linky, nahrazení izolovaných výrobních jednotek;
- Fyzické prototypy jsou nahrazeny virtuálním návrhem výrobků zahrnujícím výrobní prostředky i procesy;
- Flexibilní a efektivní výroba i malých výrobních dávek přizpůsobených individuálním požadavkům;
- Vzájemná komunikace robotů, výrobních zařízení a výrobků. Možnost autonomního rozhodování v reálném čase;
- Samo-konfigurace a samo-optimalizace výrobního zařízení na základě parametrů zpracovávaného výrobku;
- Pružná logistika s automatickým přizpůsobováním potřebám výroby. Využívání automatizovaného zázemí, vozíků a robotů;

Díky Inteligentním továrnám pak mohou vznikat nové cesty v tvorbě přidané hodnoty a nové obchodní modely. Změní se také vazby mezi zákazníky, výrobci a dodavateli. Lidé se na místo fyzických a rutinních činností budou zaměřovat na kreativní práci, a to se pozitivně ukáže na pracovní flexibilitě a na prodloužení doby výkonu zaměstnání a fyzickém zdraví. V globálním měřítku by měly přispět k řešení v oblasti udržitelnosti, zejména pak s problémy s nedostatkem surovin a energetické náročnosti a samozřejmě i demografickými změnami. (Mařík & kol, 2016)

Ačkoliv se takovéto systémy mohou zdát ambiciózní a nasazení v širokém měřítku ještě vzdálené, nelze opomíjet neustálé zlepšování a zavádění inteligentních řešení výroby. Výskyt chytré výroby nebo chytrých prvků roste a podle zprávy firmy Plex Systems se

v roce 2021 jejich užívání zvedlo o 50 % vůči předchozímu roku. 75 % respondentů průzkumu plánovalo využití nějakého elementu chytré výroby do konce roku 2022 (Plex Systems, 2022). Velikost trhu chytré výroby by se měla více jak zdvojnásobit do roku 2029 při ročním růstu 13 % na hodnotu 658 miliard dolarů (Fortune Business Insights, 2022). Příkladem tahounů zavádění nových technologií je automobilový, ale také letecký průmysl - například Boeing, automobilka BMW s téměř zcela robotizovanou výrobou modelu X7, nebo Škoda Auto, která rovněž využívá značnou robotizaci některých procesů.

1.2.2 Vymezení principů Průmyslu 4.0

Přestože se tématem zabývá mnoho firem, univerzit a výzkumných center, tak přesné vydefinování Průmyslu 4.0 je nejednoznačné. V podstatě neexistuje jasná definice toho, co už je či ještě není Průmysl 4.0, jaké jsou relevantní metriky a kritéria úspěšnosti transformace a nejasná je také samotná implementace, respektive strukturovanost a systematickosti plánu implementace. Pro firmy to představuje obtíže při adaptaci na změny a překážky pro implementaci. Tento problém adresují autoři Hermann et al. (2015) a také Ustundag a Cevikcan (2018), kteří se snažili o strukturalizaci tohoto pojmu, vymezení hlavních principů a vytvoření základních frameworků a roadmap pro evaluaci podniku a implementaci změn. Zdá se tedy, že vymezení Průmyslu 4.0 se v posledních letech zpřesnilo a objevila se řada modelů, rámců a metodik pro hodnocení připravenosti organizací, ale i přípravy a postupů implementace.

Pod pojem Průmysl 4.0 se tak řadí celá řada oblastí, technologií a přístupů. Jako některé z důvodů nesourodosti uvádí Hermann et al. (2015) rozmanité příspěvky výzkumníků, které podle nich pojem Průmysl 4.0 zahalili více do mlhy a pak také to, že hlavní představitelé samotné ideje „Plattform Industrie 4.0“ popisují spíše vizi a hlavní směr s několika základními technologiemi ve vybraných scénářích, přičemž jasná definice a koncepční základ chybí. To pak působí jako překážka dalšího výzkumu a firmám dělá potíž určit, jaké potřebné akce provést a čeho docílit.

Z toho důvodu Hermann et al.(2015) provedli výzkum literatury zabývající se tématem Průmyslu 4.0, kterou vybrali na základě analýzy klíčových slov, názvů a abstraktů pro nalezení relevantních publikací s jasnou referencí na Průmysl 4.0. Výsledkem byla identifikace čtyř základních komponent, formulace vlastní definice a následné vyvození „design“ principů, které má sloužit jako pomoc při zavedení Průmyslu 4.0.

Identifikovali 8 komponent podle míry výskytu. Mezi základní 4 komponenty řadí:

- **Kyber-fyzické systémy**
- **Internet věcí**
- **Internet služeb**
- **Inteligentní továrny**

Přičemž komunikaci stroj-stroj nepovažují za samostatnou komponentu, jelikož to vyplývá z internetu věcí. Stejně je to s inteligentními produkty, které jsou subkomponentou kyber-fyzických systémů. Stejný problém uvádí s koncepty „Big dat“ a „Cloud computing“, které vidí jako datové služby, využívající dat generovaných technologiemi Průmyslu 4.0, nikoliv jako samostatné složky. S tím lze do jisté míry souhlasit. I tak bych ale koncept big dat řadil mezi úzce související, ačkoliv se nemusí jednat o základní komponentu a ani se nemusí jednat o technologii tvořící tento systém, jedná se o důležitou základnu pro jeho obsluhování. IoT, množství senzorů a dolování dat totiž přinese takové množství dat, které vyžaduje sofistikovanější přístup k jejich zpracování. Také to vytváří datovou základnu pro strojové učení a AI. Cloud hraje roli důležitého nástroje při sdílení dat a vytváření jednotného digitálního prostoru a propojení organizace napříč několika pobočkami i mezinárodně. Také umožňuje sdílenou ekonomiku a efektivní využívání zdrojů a kapacit.

Kyber-fyzické systémy: Jak již bylo uvedeno dříve, jedná se o spojení digitálního a fyzického světa. Využívá se výpočetní techniky zabudované do procesů a vytvoření sítí pro monitorování a řízení fyzických procesů. Dochází k integraci výpočetních a fyzických procesů a vytvoření vzájemně se ovlivňujících zpětnovazebních smyček. Hermann et al. (2015) navíc uvádějí 3 stádia vývoje CPS:

1. Zavedení technologií pro identifikaci produktů/materiálů – RFID. Ukládání a analýza jsou řešeny jako služba centralizovaně. Systém je obhospodařován ručně.
2. Využívání senzorů a akčních členů s omezeným počtem funkcí.
3. Velké množství senzorů a akčních členů s možností síťové kompatibility, ukládání dat a analýzy.

Příkladem může být monitorování množství nějakého materiálu pomocí infračerveného senzoru a zadání objednávky v případě že množství poklesne pod určitou hranici. Nebo naopak je možné sledovat naplněnost odpadního koše a podávat žádost o vývoz. Typ

senzoru může být různý. Lze sledovat a snímat i váhu, na základě které, je možné provádět automatické akce.

Internet věcí: Tomuto tématu bude věnován prostor i dále. Nicméně Hermann et al. (2015) představují zajímavý pohled na tuto technologii v kontextu CPS. IoT umožňuje připojit věci a objekty do sítě, kde spolu mohou podle různých schémat interagovat. Jedná se tak o RFID, senzory či mobilní zařízení a jejich interakce mezi sebou a kooperace se sousedními chytrými zařízeními pro dosažení sdíleného cíle. Přičemž věci a objekty mohou představovat výše zmíněné CPS a IoT funguje jako síť umožňující jejich kooperaci.

Internet služeb: Důležitý koncept a inovace Průmyslu 4.0, který kromě technologických změn využívá i změn v oblasti produktů, jejich životního cyklu a změn byznys modelů, kde hlavní myšlenkou je transformace či obohacení produktu o službu vytvářející dlouhodobé zdroje příjmů a umožnění nových dynamických způsobů distribuce aktivit hodnotového řetězce. Tyto služby jsou následně nabízeny a poskytovány skrze internet. Příkladem může být automobil, který byl díky softwaru v předchozí kapitole nazván službou. Tesla (Manufacturing Operations Management Institute, 2016) díky hardwarové základně a množství senzorů v autě může vylepšovat software vozidla a tato vylepšení poskytovat za úplatu přes internet svým zákazníkům. Jiným příkladem může být osazení stroje senzory, následný sběr dat do cloudu a na základě analýzy dat poskytovat služby prediktivní údržby. Nebo automatizovaná příprava jídel nemocničním pacientům na základě sesbíraných dat z nemocnice o jejich potřebách (Manufacturing Operations Management Institute, 2016). Podslůžkou toho pojmu mohou být koncepty typu SaaS, PaaS, IaaS či EaaS.

Můžeme si to představit jako globální trh webových služeb, který je tvořen účastníky, infrastrukturou pro služby, samotnými službami a potřebným byznys modelem. Velké ambice pak spočívají v nabízení speciálních výrobních technologií jako služby přes IoS, která může být využita pro výrobu produktů a kompenzaci výrobních kapacit (Výrobní kapacita jako služba. Navýšení výrobních kapacit při vlastním nedostatku či nabízení přebytečných kapacit ostatním subjektům). Nápad spočívá v distribuovaném řízení výroby tvořené modulárními montážními stanicemi a automaticky řízenými vozidly zajišťující transport mezi stanicemi. Oba prvky poskytují své služby v IoS a zákazník má možnost vytvořit specifickou výrobní konfiguraci. Tento systém pak autonomně zjistí potřebné výrobní kroky a sestaví celý proces pomocí autonomních vozidel, které se

v tomto systému samy navigují, vybírají montážní stanice a tím skládají výrobní proces (Hermann, Pentek, & Otto, 2015).

Inteligentní továrny: Jde o podstatnou složku Průmyslu 4.0, která pracuje s kontextovými informacemi výrobního prostředí fyzické i virtuální sféry a podporuje chod továrny, práci lidí a strojů. Fyzická sféra zahrnuje například pozici, stav objektů a opotřebení nástrojů. Virtuální představuje elektronické dokumenty, výkresy, simulační modely a podobně. Hlavní podstata byla představena výše (1.2.1, s.15). V souvislosti s přechozími třemi komponentami Průmyslu 4.0 to znamená, že inteligentní továrny využívají CPS a jejich komunikaci pomocí IoT díky čemuž vytvoří systém provázaný napříč organizací, který poskytuje asistenci při plnění pracovních úkolů. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015)

Z těchto čtyř hlavních komponent pak Hermann, Pentek, & Otto (2015, s. 11) odvodili následující definici: „Průmysl 4.0 je kolektivní označení technologií a konceptů hodnotového řetězce organizace. V rámci modulární struktury chytrých továren Průmyslu 4.0, CPS monitorují fyzické procesy, vytváří virtuální kopii fyzického světa a dělají decentralizovaná rozhodnutí. CPS komunikují a kooperují přes IoT mezi sebou a lidmi v reálném čase. Prostřednictvím IoS jsou nabízeny a využívány účastníky hodnotového řetězce interní i meziorganizační služby“.

Tato definice tak upravuje jinak nestrukturovaný a různorodý výklad Průmyslu 4.0. Hlavní důraz je kladen na využití čtyř základních komponent, na kterých stojí klíčové koncepty a uvádí tak základ, na který by se organizace měly zaměřit. Zároveň popisuje provázanost jednotlivých technologií a to, jaký způsobem se ovlivňují, respektive čím přispívají k vytvoření finálního systému, jaké jsou jejich role a úlohy.

Na základě těchto komponent a jejich principiálních složek lze odvodit hlavní principy, využitelné jako podpora podniků pro identifikování a navrhování pilotních implementací Průmyslu 4.0. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015):

Interoperabilita: Možnost vzájemné komunikace, spolupráce a poskytování služeb všech prvků CPS, vytvoření propojené sítě, IIoT. Zavedení standardů komunikace pro vzájemné propojení CPS mezi různými výrobci a vytvoření chytré továrny.

Virtualizace: Převedení fyzických prvků do digitálních. Vytváření virtuálních a simulačních modelů. Monitorování fyzických procesů pomocí CPS a provázání sbíraných dat s virtuálními modely. Vytvoření digitálních dvojčat výrobních a jiných podnikových systémů. Možnost monitorování, adaptace a změn systému simulačními nástroji a rozšířenou realitou.

Decentralizace: Rozložení pravomocí z centrálního prvku mezi podřízené prvky – seberozhodování strojů a učení se s předešlých událostí. Odstup od centrálního řízení systému k vyšší nezávislosti a autonomnímu řízení pomocí vestavěných počítačů a CPS. Provádění vlastních rozhodnutí na základě algoritmů a vyhodnocování informací nesených RFID čipy. Na vyšších úrovních půjde o podporu rozhodovacích procesů prováděných lidmi (centrálním prvkem), kteří rozhodují o úkonech vyšší úrovně a při řešení problémů a chyb. Autonomní systém musí být možné sledovat, je nutné mít přehled o celém systému v reálném čase z důvodů zajištění kvality, sledovatelnosti a zpětného dohledávání informací o chodu systému.

Schopnost práce v reálném čase: Online sledování. Souvisí se sběrem, analýzou a zpracováním dat. Toto musí být prováděno v reálném čase a závisí na tom celá funkčnost chytrých systémů Průmyslu 4.0. Permanentní sledování stavu systému, analyzování a aktualizování dat umožňuje, aby systém mohl fungovat a reagovat na dění v systému v reálném čase.

Orientace na služby: Adaptace systému na uspokojení požadavků zákazníka. Přístup a architektura, ve které prvky nabízí své služby přes IoS, které mohou být využity ostatními účastníky vnitropodnikově i externě. CPS nabízí své funkce jako webovou službu, ve které se sestaví specifický proces výroby produktu dle požadavků zákazníka. Informace o výrobě si produkt nese s sebou v RFID čipu. Tento přístup je v podstatě využíván systémem Kanban, kde je požadavek (objednávka) „tažen“ výrobním systémem. Výrobní stanice nabízí své služby další stanici (princip dodavatel x zákazník) a vyrábějí jen pokud je po jejich výstupu poptávka. Zde je jen zvýšený akcent na služby

a zabudování moderních technologií do tohoto systému, které přispějí k jeho digitalizaci a autonomnímu průběhu - eKanban. (esp, 2020). Tento princip využívají i modely typu as-a-service, včetně EaaS – zařízení jako služba, kde si lze předplatit zařízení, výrobních linek, kapacit nebo naopak přebytečné kapacity nabízet a tím i optimalizovat jejich využití. Je to také způsob, jak zajistit stroje na špičkové technologické úrovni – nájem nejnovějších technologií. Stroje přitom nemusí být poskytnuty fyzicky, ale vzdáleně a pronajímatel bude mít možnost vzdáleného přístupu, sledování výkonu linky a sledování dat v reálném čase.

Modularita: Schopnost přizpůsobení, tvoření systému bloky, moduly, stavebnicový princip. Systém se může přizpůsobovat a pružně reagovat na požadavky výroby a charakteristik produktů a je napojen na IoS. Výměny modulů by měly splňovat Plug&Play princip. Nutná je standardizace hardwarových i softwarových rozhraní. Jedná se o flexibilitu a schopnost přetvoření výrobních linek/pracovišť. Flexibilitě/modularitě přispívají přístupy as-a-service.

Integrace podnikových procesů: Vytváření spojení mezi fyzickými procesy a softwarovými platformami – zavedení mechanismu koordinace a komunikace, podporovaného službou správy podnikových dat a propojenou sítí.

Stejně nebo velmi podobné principy lze najít i v jiných zdrojích, například Ustundag a Cevikcan (2018) nebo Dikhanbayeva a kol.(2020), kteří navíc uvádějí „Korporátní společenskou odpovědnost“, kde se zohledňují sociální a environmentální hlediska, a „Smart produkty“, což je ale jen praktické zhmotnění předešlých principů a nejedná se tak o samostatný princip.

2 Zavádění Průmyslu 4.0 v praxi

Průmysl 4.0 je nositelem zásadních a rychlých změn ve výrobě i technologiích. Integraci změn a pokroků různých oblastí (výroba, technologie, služby, IT) je možné dosáhnout synergických efektů, které vedou k nárůstu produktivity ve službách i výrobě. Záplava v podobě disruptivních konceptů však pro firmy znamená výzvy při implementaci nových technologií, jejich propojení a koordinování. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Objem informací dostupných pro zákazníky a usnadnění hodnocení služeb vyústily zvýšením zákaznických nároků na rychlost obsluhy a vyšším požadavkům na výrobky spojeným hlavně s přizpůsobením na míru. Dále se objevují formy sdílené ekonomiky v podnikání, kde tradiční způsoby nájmu a prodeje jsou nahrazovány sdílením peer-to-peer a propojováním volných kapacit. Příležitostí pro podniky je efektivnější využití kapacit a uspokojení rostoucí poptávky s nižší nutností investic. Tyto nové formy služeb, komunikace a obchodních modelů, ale představují velké riziko pro organizace, jestliže nejsou na tyto změny připraveny (Mařík & kol, 2016). Kromě potřeby individualizace produktů, je zde také tlak na efektivnější využívání zdrojů, kratší dobu vývoje produktů a samozřejmě na integraci technologií, dat a řízení v reálném čase.

2.1 Implementování Průmyslu 4.0

Úspěšné implementování vychází z design principů popsaných výše (1.2.2, s. 18) a správného zavedení a integrování technologií. Důležitý je pevný základ v podobě definice, standardizace a integrace podnikových procesů, blízké vztahy s partnery a stakeholdery, inovační přístup a zajištění bezpečnosti digitálních sítí. Vzhledem k významnosti dat je nutné zavést efektivní řízení datových toků a úložišť, včetně získávání a zpracování dat. Implementaci je nutné provádět ve vztahu ke strategii. Dále je vhodné vyvarovat se problémů týkajících se:

- Nedostatku strategického vedení a komplexního vnímání Průmyslu 4.0.
- Selhání při posouzení schopnosti a připravenosti firmy na Průmyslu 4.0.
- Nejistoty o výsledcích projektů z hlediska přímých a nákladů.

(Ustundag & Cevikcan, 2018; Schumacher, Erol, & Wilfried, 2016)

2.1.1 Technologie

Ustundag a Cevikcan (2018) uvádějí tři sféry, na které je hodno se zaměřit:

- **Horizontální integrace** napříč hodnotovým řetězcem. Sbíráání dat, řízení materiálových toků a informačních toků a financí mezi organizacemi. Řízení životního cyklu výrobků.
- **Vertikální integrace.** Vytvoření sítí napříč podnikem a výrobních a servisních systémů. Digitalizace, tvorba sítí, transformace na chytrou továrnu.
- **Inženýring celého hodnotového řetězce.** Zavádění podpůrných technologií, asistence při vývoji produktů, digitální integrace, recyklace, údržba.

V rámci implementace je zahrnuta celá řada technologií a podpůrných technologií. Jejich detailní výčet a popis však není obsahem této podkapitoly. Nicméně je dobré uvést, že existuje jistá závislost mezi nimi a designovými principy, a tedy jejich vliv na dosahování hlavních motivů Průmyslu 4.0. Firmy pak mohou tyto závislosti využít při plánování implementace. Vztahy mohou být znázorněny různými frameworky nebo tabulkou, kde je vidět jaký princip daná technologie podporuje a jaké technologie je vhodné kombinovat. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015; Ustundag & Cevikcan, 2018). Příklad tabulky je na Obrázku 4.

Obrázek 4: Zobrazení vztahů technologie x princip

Technologie	Design principy						
	(1) Správa dat v reálném čase (Sběr, zpracování, analýza, vyhodnocení)	(2) Interoperabilita	(3) Virtualizace	(4) Decentralizace	(5) Agilnost, modularita	(6) Orientace na služby	(7) Integrované podnikové procesy
Adaptivní robotika					X		
Datová analýza a umělá inteligence	X			X	X	X	
Simulace			X		X		
Zabudované systémy, CPS				X			
Komunikace a síťování		X		X	X		X
Kyber bezpečnost		X					X
Cloudové technologie					X	X	X
Aditivní výroba					X		
Virtualizace (VR, AR)			X		X		
Senzory a akční členy	X			X			X
RFID, RTLS technologie	X			X	X		X
Mobilní technologie					X		

Zdroj: : Vlastní zpracování (2023), upraveno podle Ustundag & Cevikcan (2018)

Firmy by se měly snažit o vytvoření chytrých produktů a chytrých procesů, zaměřit se na jejich redefinování a zahrnutí do jádrových funkcí organizace a měly by mít k dispozici technologickou platformu spoléhající se na výměnu, sběr a zpracování dat, analýzu big dat a koordinaci distribuovaného systému pomocí cloudu. Jinými slovy je nutné zajistit inteligentní data management (Ustundag & Cevikcan, 2018). V rámci technologií se setkáváme s rozlišením „jádrových“ a „podpůrných“. Jádrové technologie tvoří základ, na kterém se dá dále stavět. Jedná se o čipy, senzory, RFID, RTLS a další prvky a mobilní technologie. Tento základ umožňuje vytvoření sítí, digitalizaci systému a vytvoření CPS systémů což následně umožňuje inteligentní data management a zavedení podpůrných technologií. Tvoří tak infrastrukturu celého systému. Podpůrné technologie jsou nadstavbou a jedná se o technologie přímo použitelné – nástroje. To mohou být aditivní výroba, adaptivní robotika, zabudované systémy, cloud, umělá inteligence, virtualizace apod. Při implementaci podpůrných technologiích je tedy důležité, aby byl nejdříve připraven technický základ, který umožňuje fungování složitějších technologií a systémů. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

V kontextu Průmyslu 4.0 je ve firmách neméně důležité řešit nasazení technologií a automatizace na lean procesy. Přestup na pokročilé technologie by neměl narušit principy lean výroby a spíše by je měl dále rozvíjet. Jednou ze stěžejních myšlenek Průmyslu 4.0 je vyšší produktivita, efektivita apod. Nasazení nových technologií může být snazší na procesy, které jsou do určité míry standardizované, racionalizované a odpovídají myšlenkám lean managementu a také je zajištěn efektivní informační tok. Technologie by měly podporovat aktivity štihlé výroby.

Průmysl 4.0 je s lean management úzce spjatý a je dobré prozkoumat vztahy mezi nimi a to, jakým způsobem se dají nejlépe aplikovat lean principy do Průmyslu 4.0 a jaké jsou bariéry. Respektive jak technologie podporují štihlou výrobu. Pro firmy je dobré vidět jejich interakce pro nalezení správného přístupu, který umožňuje obě sféry integrovat a úspěšně řídit výrobu. Automatizace je často spojována právě i s lean výrobou, kde se dále dělí do několika úrovní podle její míry a s Průmyslem 4.0 sdílí i další principy, například snahu o nízkou komplexitu a decentralizovanost. Samotný přístup lean výroby tak může organizaci připravit a pomoci jí při přechodu na Průmysl 4.0. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Ustundag a Cevikcan, (2018) toto téma rozebrali podrobně a popsali vztahy mezi lean principy, metodami a technologiemi Průmyslu 4.0. Zejména uvedli vliv některých technologií na eliminaci plýtvání, viz Obrázek 5.

Obrázek 5: Vztah technologie x druh plýtvání

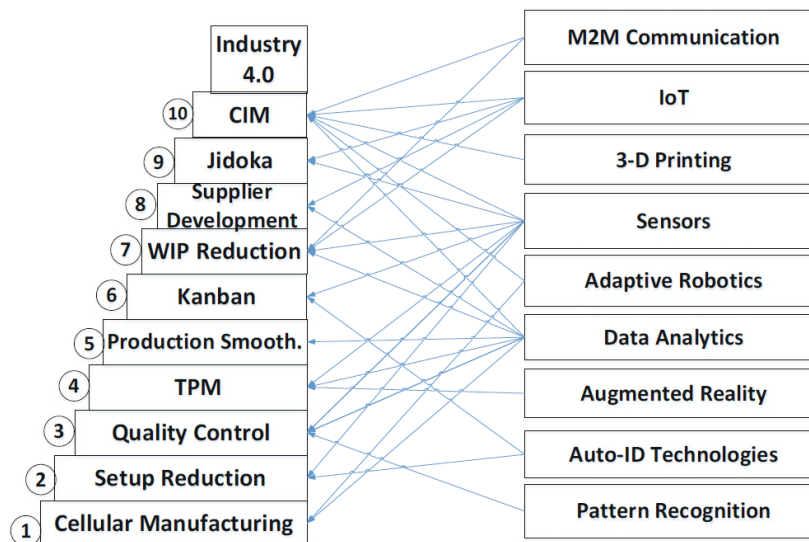
	Aditivní výroba, 3D tisk	Rozšířená realita	Simulace a virtualizace	Adaptivní robotika	IoT	Datová analytika	Cloud, výpočetní služby
Doprava		✓	✓	✓		✓	
Pohyb		✓		✓			✓
Čekání	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Zásoby	✓				✓	✓	
Nadměrné zpracování	✓		✓	✓			✓
Nadvýroba	✓				✓	✓	
Defekty a chyby	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), uprave podle Ustundag & Cevikcan, (2018)

Na základě toho je možné odhadnout vliv technologií při jejich zavedení, nebo naopak určit, které technologie implementovat proti konkrétnímu druhu plýtvání.

Na Obrázku 6 jsou uvedeny vztahy mezi technologiemi a metodami lean managementu. Kromě vzájemných vazeb je znázorněna i sekvence zavádění lean nástrojů a je tak navržen systematický přístup adopce Průmyslu 4.0. Díky znázorněným vazbám je totiž možné určit, které technologie by bylo vhodné zavést a na jaké úrovni.

Obrázek 6: Vztah technologie x lean nástroje



Zdroj: Ustundag & Cevikcan, (2018)

Postupně dochází k integrování a modifikování starých výrobně logistických metod o prvek digitalizace. Snahou je konvertovat tradiční systém výroby na počítačově integrovanou výrobu (CIM) na vyšší komplexní úrovni zásluhou pokročilých technologií

jako M2M komunikace, 3D tisk, robotika, datová analýza, které dále posouvají potenciál celého systému. Příkladem některých transformací mohou být elektronické Kanbanové systémy (CPS, RFID), iBin systémy (snímání hladiny materiálu senzorem a automatické požadavky doplnění), integrovaný milkrunový systém (řízení okružních jízd pomocí IT na základě poptávky, vytvoření virtuální mapy, skenování QR kódů, požadavky z PC, tabletů) (Takvir, 2018), rozšířená realita a podobně. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

2.1.2 Obchodní modely

Jak již bylo uvedeno, změny se mohou týkat také obchodních modelů. Změny na trhu a nové způsoby využívání technologií se mohou projevit i zde. Pro firmu tak může být důležité adoptovat tzv. Smart business models, někdy také IoT business models, které se soustředí na příležitosti podporované nově vznikajícími technologiemi.

Jejich hlavními znaky jsou soustředěnost na služby. Ustundag a Cevikcan (2018) je dále klasifikují do skupin podle vytváření hodnot: **Inovačně** soustředěné (novelty-centered), kolem nových trhů, služeb, inovací. Soustředěné na **efektivitu a účinnost** (efficiency-centered), například zrychlit, zjednodušit transakce a snížit chybovost. Soustředěné na **Lock-in zákazníků**, cílící na objem transakcí a loajalitu. A **Komplementární** model, kde se kombinují produkty pro dosažení vyšší přidané hodnoty. Podle způsobu využití IoT se dále rozdělují do skupin podle formy: vzdálené použití, monitorování stavu, samospráva objektu, digitální doplněk (add-on), digitální lock-in, produkt jako místo prodeje (point-of-sale systém) a fyzické freemium.

Architektura modelu se skládá z části hodnotové a části toku příjmů. Následuje technologická část, která je rozdělena do tří vrstev:

- Fyzická – senzory, prvky.
 - Vrstva konektivity – Propojení fyzické vrstvy do sítě a sběr dat.
 - Digitální vrstva – analýza dat, cloudová platforma, zákaznické aplikace.
- (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Toto je jen stručné uvedení IoT obchodních modelů. Nicméně pro firmy to představuje další oblast, kterou by měly brát v úvahu a která může změnit způsob jejich podnikání a vytváření příjmů. Druhy modelů, jejich zaměření a způsob technologického řešení je pak součástí různých frameworků, které mohou pomoci při tvorbě v praxi.

Příklady IoT byznys modelů (Borgini, 2022):

- **Platformní** obchodní model: vytvořit platformu, marketplace pro výrobce i zákazníky.
- **Subscription**: založený na předplatném. Nabízet služby v podobě technologií, IoT zařízení. Nadstandardní služby pro zákaznické IoT zařízení. Aktivní předplatné také oživuje vztah mezi zákazníkem a prodejcem.
- **Pay-per-usage**: Zpoplatněné používání produktu. Rolls-royce účtuje aerolinkám za letecké hodiny využívání jejich motorů v programu TotalCare. On se pak stará o jejich monitorování a údržbu na základě big dat získaných z IoT senzorů a jejich analýzy.
- **Asset-sharing**: využívající prvky sdílené ekonomiky. Sdílení aktiv a nevyužívaných kapacit. Stav a lokace aktiv lze sledovat pomocí IoT.
- **Asset-tracking**: sledování majetku a zařízení. Lokace a prediktivní údržba.
- **Freemium**: Základní (jádro) produkt je poskytován zdarma. Platí se za rozšiřování funkcí a služby. Typické pro virtuální produkty (hry, software) a nyní využitelné i pro fyzické produkty (služby na základě dat ze senzorů).

Modelů může být celá řada. Rozšířené je také využívání dat, jejich sběr a prodávání třetí straně, tzv. **data-driven** modely nebo obecně princip as-a-service, EaaS.

2.1.3 Učení se a udržitelnost

V kontextu udržitelnosti a životního prostředí by zavádění Průmyslu 4.0 mělo být kompatibilní s tímto trendem a mělo by podporovat zelenou výrobu. Některé technologie mají přímý pozitivní vliv – aditivní výroba a snižování odpadu, chytré řízení zdrojů – snížení energetické náročnosti, nastavení parametrů stroje podle okolních podmínek – environmentální nastavení zvyšující účinnost a snižující environmentální zátěž. Samotné principy jako škálovatelnost systémů apod. podporují udržitelnost, práci s odpadem, využití zdrojů, uhlíkovou neutralitu, hospodaření s vodou. Firma by měla podporovat myšlení zaměřené na udržitelnost a usilovat o obecnou změnu chování. (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022)

Nutné je zaměření na vzdělávání a trénování pracovníků a vytvoření firemní politiky pro správnou implementaci Průmyslu 4.0 s efektivní a udržitelnou kulturou ve firmě. Technologické změny, integrace informací a velké množství dat (data jako moderní aktivum) má dopad na potřebné znalosti a kompetence. Vyvstává potřeba zvyšování

kvalifikace v analytice a technologiích, trénování pracovních sil a příprava na další vzdělávání. Změna struktury pracovních míst, požadavky a nové pracovní příležitosti vyžadují neustálé rekvalifikace, učení a trénování. Inovativnost také vyžaduje vyšší úroveň odbornosti a povzbuzování kreativity. (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022)

Firmy mohou podporovat kariérní přípravu různými programy. Pomoci může vystavování novým technologiím, jejich údržba a dohlížení na kybernetické sítě. Potřeba technických pracovníků patrně poroste. Přesun od lidské práce na plnou automatizaci bude vyžadovat strategické plánování pracovních sil, správnou organizační strukturu, partnerství a vytváření a sdílení technologické standardizace. Lidský faktor v manuálních činnostech bude snížen a přesunut na pozice znalostní – řízení, rozhodování, analýza, kreativní práce, inženýring. Manuální práce a technici se přesunou do oblasti údržby. (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022)

Dále je potřebný silný networking v podobě partnerů, technologických firem a startupů vytvářejících a poskytujících snadno přístupné a levné technologie umožňující transformaci firmy. Vhodné je určení integrátora, který pomůže s hladší integrací technologií bez výraznějšího narušení současných aktivit. Jako u každých změn, je nutná podpora vedení a řízení změn. (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022)

2.2 Hodnocení připravenosti a zralosti firem

Jelikož koncept Průmyslu 4.0 může mít zásadní vliv na způsob chodu organizace ve všech směrech, je nutný široký pohled na organizaci, její strategie, operace a produkty. U takto zásadních změn je dále nutná podpora nejvyššího vedení. Komplikované koncepty jsou složité na pochopení a zavedení do konkrétní praxe. Tento problém mohou organizace řešit díky nástrojům poskytujícím vedení a návody podporující sladění strategie s operacemi.

Modely připravenosti a zralosti mohou pomoci firmám při analýze a hodnocení současného stavu v podniku v souvislosti s požadovaným stavem. Poskytují širokou škálu znalostí o současném stavu a mohou určit cestu k implementaci strategií Průmyslu 4.0 nebo určit jaké akce podniknout pro dosažení vyšší úrovně. Posuzování se týká různých oblastí organizace s využitím odlišných perspektiv. Celé hodnocení je strukturované a výsledná zralost může být jedním z hodnotících kritérií připravenosti pro

další vývoj. Zralost organizace vyjadřuje stav, dovednosti a schopnosti dosahování cíle nebo úroveň kompetencí. Obecně zralost vyjadřuje stav úplnosti, připravenosti nebo dokonalosti. (Schumacher, Erol, & Wilfried, 2016; Ustundag & Cevikcan, 2018)

Modelové frameworky umožňují provádění auditu organizace a benchmarkingu výsledků hodnocení. Sledují pokrok zralosti, hodnotí silné stránky, slabé stránky, rizika a příležitosti. Umožňují kvalitativní i kvantitativní vyhodnocení stavu organizace a určení úrovně zralosti. Soustředí se tak na konkrétní AS-IS stav, ve kterém se organizace nachází. Oproti tomu modely připravenosti hodnotí schopnost dalšího vývoje organizace, zdali je připravena zahájit procesy vedoucí k Průmyslu 4.0. Zralost organizace by se měla v čase rozvíjet s vidinou dosažení žádoucího TO-BE stavu. (Schumacher, Erol, & Wilfried, 2016; Ustundag & Cevikcan, 2018)

Evaluačních modelů Průmyslu 4.0 je celá řada a mohou se lišit svou použitelností na různá odvětví a oblasti v podniku. To je dáno strukturou modelu a dotazníkových otázek. Některé modely mohou klást vyšší důraz na výrobně technickou oblast, ale zároveň zanedbávat dimenzi strategickou. Roli hraje i sofistikovanost modelu a jeho prověření. Jak uvádí Andreas Schumacher a kol. (2016), model IMPULS například prošel značným vývojem, je transparentní, postavený na rozsáhlém datasetu a dimenze jsou detailně popsány. Jiné modely mohou mít méně transparentní metodologii a méně detailní popis. Dále jsou uvedeny příklady některých nejčastějších modelů.

2.2.1 IMPULS – Industrie 4.0 Readiness (2015)

Německý model založený na šesti hlavních dimenzích s dalšími podkategoriemi, zaměřený na výrobní a strojní inženýrskou oblast. Stupeň zralosti hodnotí pomocí šesti úrovní, které jsou dále členěny na nově příchozí, učící se a lídry.

- Úroveň 0: Outsider
- Úroveň 1: Začátečník
- Úroveň 2: Pokročilý
- Úroveň 3: Zkušený
- Úroveň 4: Expert
- Úroveň 5: Špička

Úroveň 0 nevykazuje žádnou, nebo jen velmi malou iniciativu pro plánování a zavedení Průmyslu 4.0. Úroveň 5 jsou organizace se zcela zavedeným Průmyslem 4.0.

Tento model je volně dostupný online s detailním popisem včetně samotného testu, který poskytuje detailní vyhodnocení a benchmark s dalšími výsledky. Součástí je rovněž popis bariér, zaostávajících míst a doporučení. Úrovně jsou určeny jak pro dílčí oblasti, tak celkově. Výsledná úroveň je dána nejnižšími výsledky.

Po předběžném vyzkoušení a úpravách test obsahuje 27 otázek. Tři úvodní otázky se týkají oblasti podnikání, velikosti a obratu a dalších pět otázek definuje skupinu pro benchmarking. Hodnotících otázek je tak pouze 19, což není mnoho pro detailní hodnocení. Na druhou stranu jsou některé otázky široké s více možnostmi, hodnotící několik oblastí najednou. Dimenzím podléhá různý počet otázek a je tedy různé bodové zastoupení což dělá některé oblasti důležitějšími.

(VDMA; IW Consult; RWTH Aachen, 2015)

Obrázek 7: Model vyspělosti IMPULS



Zdroj: (VDMA; IW Consult; RWTH Aachen, 2015)

2.2.2 Industry 4.0/Digital Operations Self-Assessment (2016)

Hodnotící model společnosti PwC, který je součástí dokumentu „Industry 4.0: Building the digital enterprise“ (PricewaterhouseCoopers, 2016) zabývající se problematikou Průmyslu 4.0. Součástí je návod, roadmap – tzv. „Blueprint for digital success“. Nástroj pro zhodnocení zralosti je dostupný online na webu (PricewaterhouseCoopers, 2022).

Tento model rozděluje maturitu do čtyř stádií.

- Digitální nováček
- Vertikální integrátor
- Horizontální kolaborant
- Digitální šampión

Schopnosti hodnotí pomocí 33 otázek v sedmi dimenzích: „Digital business models and customer access“, „Digitisation of product and service offerings“, „Digitisation and integration of vertical and horizontal value chains“, „Data & Analytics as core capability“, „Agile IT architecture“, „Compliance, security, legal & tax“, „Organisation, employees and digital culture“. (PricewaterhouseCoopers, 2016)

Tento model je velmi zaměřen na digitální zralost a díky tomu je široce zaměřený a aplikovatelný. Hodnocené dimenze připomínají design principy Průmyslu 4.0 a smysl v horizontální a vertikální integraci. Chybí detailní popis modelu a rozpis kritérií dimenzí. Online zhodnocení poskytuje komentář a akční plány. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

2.2.3 The Connected Enterprise Maturity Model (2016)

Další často uváděný model zaměřující se na chytřejší IT/OT sítě, vyvinutý společností Rockwell Automation (Rockwell Automation, 2014). Tento model obsahuje 5 etap vedoucích k efektivním změnám v technologiích a kultuře.

- Etapa 1: Posuzování
- Etapa 2: Bezpečná a vylepšená síť a kontrolní prvky
- Etapa 3: Definovaný a organizovaný provozní datový kapitál
- Etapa 4: Analytika
- Etapa 5: Kolaborace

Hodnocení se zaměřuje na IT/OT síť organizace (Information technologies/operational technologies) zejména na:

- Informační infrastrukturu – hardware a software
- Řízení a zařízení – senzory, akční členy, řízení motorů, přepínače (poskytování a přijímání dat)
- Počítačové a informační sítě
- Bezpečnostní politika

Model je výrazně zaměřen na IT stránku organizace. Chybí širší dimenze – strategie, organizace. Nejsou plně specifikována kritéria, hodnotící otázky a online evaluační nástroj chybí nebo je těžko zjistitelný.

2.2.4 Industry 4.0 Maturity Model (2016)

Na základě několika existujících modelů vytvořili Schumacher a kol. (2016) vlastní model, který měl být jejich rozšířením a měl poskytovat náhled na organizační aspekty a metriky pro smart výrobu.

Model se skládá z devíti oblastí a dalších 62 podoblastí. Každá podoblast může dosahovat úrovně 1-5. Zkoumané oblasti jsou: „Strategie“, „Leadership“, „Produkty“, „Zákazníci“, „Operace“, „Kultura“, „Zaměstnanci“, „Vláda, legislativa“, „Technologie“. Model tak posuzuje velmi širokou oblast. Schumacher a kol (2016) popisují strukturu a využití modelu, včetně způsobu výpočtu zralosti, především s využitím vážených průměrů. Neuvádějí však výčet všech podoblastí, otázek ani softwarový nástroj. Dle Dikhanbayeva a kol. (2020) by se mělo jednat o 123 otázek. Model je zaměřen hlavně na výrobní oblast.

2.2.5 Industry 4.0 Maturity Model (2018)

Stejnou cestou se vydali autoři Ustundag & Cevikcan, (2018) s týmem kontributorů, kteří na základně analýzy sestavili vlastní model. Ten se skládá ze tří agregovaných sfér popisujících tři hlavní pilíře Průmyslu 4.0, založených na základních principech a technologiích (viz Obrázek 4). Sféra byznysových procesů se dále rozpadá do tří dimenzí. Všechny sféry jsou tvořeny celkem 13ti podkategoriemi: Strukturu zobrazuje Obrázek 8.

Obrázek 8: Industry 4.0 Maturity Model

Dimenze	Sub-dimenze	Přidružené oblasti
Chytré produkty a služby		Chytré produkty a služby
Chytré podnikové procesy	Chytrá výroba a operace	Výroba, logistika, pořízování
		Výzkum a vývoj - Vývoj produktů
	Chytrý marketing a prodejní operace	Poprodejní služby
		Cenotvorba a propagace
		Prodejní a distribuční kanály
	Podpůrné operace	Lidské zdroje
Informační technologie		
Chytré finance		
Strategie a organizace		Obchodní modely
		Strategická partnerství
		Investice do technologií
		Organizační struktura a vedení

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), upraveno podle Ustundag & Cevikcan, (2018)

Součástí popisu je průzkumný dotazník. Pro každou zkoumanou oblast jsou uvedeny významné technologie a principy. Každá otázka je ohodnocena 0-3 body. Z toho je vypočtené skóre pro určitou podkategorii a následně pro celou dimenzi/sub-dimenzi. Hodnocení je tedy celkové, napříč všemi oblastmi, ale i dílčí. Zralost je rozdělena do čtyř úrovní: Úroveň 0 – Absence, Úroveň 1 – Existence, Úroveň 2 – Přežití, Úroveň 3 – Vypělost. Na základě zjištěných informací je model velice transparentní a zaměřuje se na významné oblasti Průmyslu 4.0 dle principů a technologií.

Model IMPULS a model dle Ustundag & Cevikcan, (2018) budou využity pro hodnocení vybraného podniku.

2.3 Průmysl 4.0 – implementační roadmapa

Tato kapitola je zaměřena na způsob implementace Průmyslu 4.0. Jak již bylo uvedeno, jedná se o komplexní záležitost, kterou provází mnoho úskalí. Častý problém je v tom, že firmy netuší, co vlastně mají dělat a jakým způsobem pokračovat.

Jedním z východisek je znalost principů a technologií Průmyslu 4.0 a schopnost identifikovat jejich aplikace ve své praxi. Firma může jen těžko zavádět něco, čemu nerozumí. Druhým východiskem jsou inovační projekty. Projekt ve firmě je nositelem změny a umožňuje plánování a řízení implementace. Třetím východiskem je začlenění projektu do strategického rámce. Zavedení technologických změn by mělo sledovat dlouhodobý cíl a naplňovat nějaké metriky.

Roadmapa graficky znázorňuje proces transformace a vizualizuje dílčí kroky a milníky. V lepším případě zahrnuje i časovou osu. Je důležitým nástrojem, který pomáhá při vytváření strategie, provádění inovací a je to rovněž komunikační nástroj. Zahrnuje počáteční stav, cílový stav a napomáhá určení strategie pro jeho dosažení. Je to vlastně mapa, která má uživatele dovést k cíli.

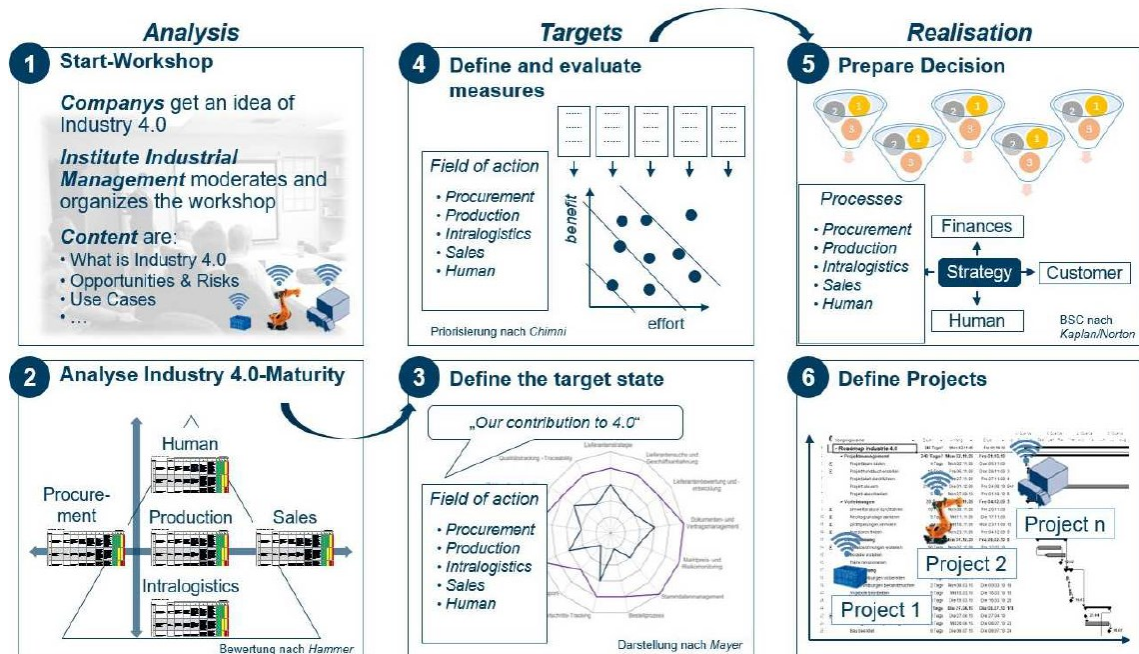
Ustundag a Cevikcan, (2018) kvůli kritičnosti strategie uvádějí jako první krok transformace vytvoření roadmapy jakožto komplexního a dlouhodobého nástroje umožňujícího vytyčení strategických cílů a odhadnutí potenciálu nových technologií, produktů a služeb. Dále uvádějí, že nejčastější je vícevrstvý typ skládající se z vrstev: tržní, produktové a zdrojové (technologie). Důležité je propojení perspektiv odlišných útvarů – př. R&D a marketing.

Kroky obecné roadmapy mohou být následující (Erol, Schumacher, & Sihn, 2016):

- Porozumění konceptu Průmyslu 4.0
- Vytvoření vize Průmyslu 4.0 pro organizaci
- Mapování strategie Průmyslu 4.0 (roadmapping, BSC)
- Identifikace interních a externích faktorů úspěchu
- Příprava transformace
- Nárh projektů Průmyslu 4.0

Obecně vzato většina implementačních kroků a cyklů jsou do určité míry poupravené cykly typu DMAIC, PDCA. Příklad grafického znázornění implementační mapy uvádí Pessl et al. (2017) na obrázku 9:

Obrázek 9: Roadmap Průmysl 4.0



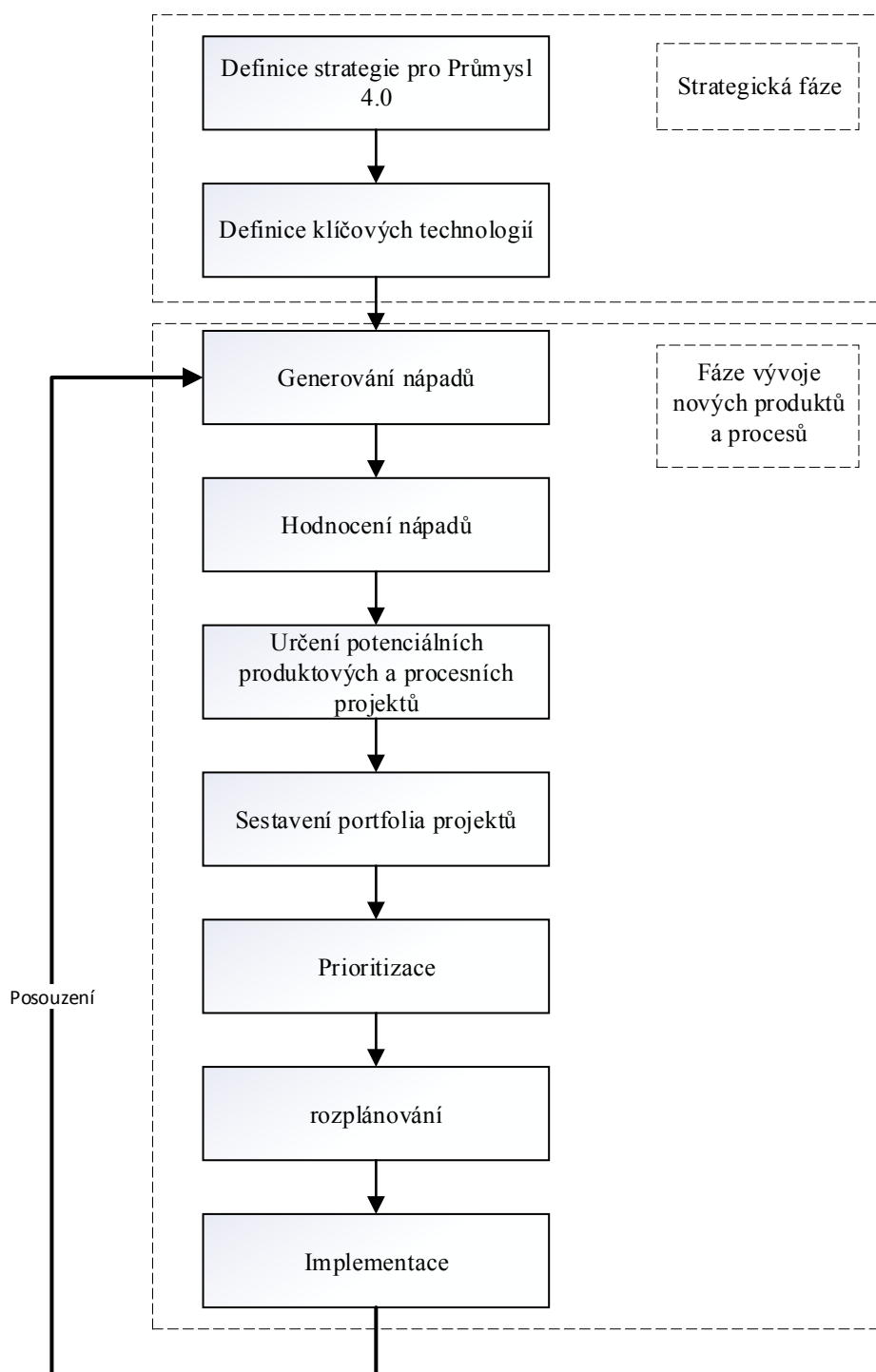
Zdroj: (Pessl, Sorko, & Mayer, 2017)

Dále doporučují standardní strategie, které tvoří předpoklady, v podobě:

- Štíhlé procesy, jeden z předpokladů pro digitalizaci a Průmysl 4.0. (digitalizovat nestandardizovaný proces je náročné).
- Investice do digitalizace ve všech oblastech podniku
- Podpora know-how zaměstnanců. Motivovanost a kompetence zaměstnanců.

Ustundag & Cevikcan (2018) sestavili vlastní, jednoduchou, ale názornou reprezentaci celého procesu, skládající ho se ze strategické fáze pro generování strategie a klíčových technologií. Druhá fáze řeší vývoj nových produktů a procesů. Posledním krokem je samotná implementace a spuštění projektů. Ačkoliv princip je velmi podobný s předchozím (i jinými modely), zde je znázorněn důraz na problematiku projektového portfolia a prioritizaci projektů. A samozřejmě i na problematiku vývoje nových produktů – NPD.

Obrázek 10: Technologická roadmapa Průmyslu 4.0



Zdroj: Vlastní zpracování (2023), upraveno podle (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Benefity mapování:

- Srovnání komerčních a technických strategií
- Podpora komunikace napříč týmy a organizací
- Průzkum potenciálních strategií a způsobů implementace

- Efektivní time management
- Prioritizace investic
- Podpora stanovení racionálních a konkurenčních cílů
- Vedení projektových týmů
- Vizualizace výsledků

3 Technologie čtvrté průmyslové revoluce

Technologie jsou stavebním kamenem pro Průmysl 4.0, umožňují změnu zažitých způsobů provádění činností a řízení. Vytvářejí zcela nové možnosti využití a nacházejí uplatnění ve všech oblastech v průmyslu i v životě. Jsou nezbytné pro systémovou integraci a vytvoření hodnototvorné sítě, ke které průmysl 4.0 směřuje, a umožňují transformaci tohoto světa.

Technologie je možné rozdělit na „jádrové“ a „podpůrné“ (Ustundag & Cevikcan, 2018) viz kapitola 2.1.1. Jádrové (základní) technologie tvoří základ a technologickou infrastrukturu umožňující nasazení „vyšších“, podpůrných technologií. Podpůrné technologie jsou přímo použitelné lidmi a procesy a odvádí určitou práci či plní nějakou funkci. V rámci základních technologií se jedná o senzory, akční členy, mobilní zařízení, RFID a RTLS. Do určité míry sem patří i virtualizace a Industriální Internet věcí. Na těchto technologiích je pak možné postavit kyber-fyzické systémy, aditivní výrobu, adaptivní robotiku a automatizované/autonomní systémy. Nejvyšší úroveň představují technologie spojené s Big daty, analýzou dat, AI, apod. Což vede k chytrým produktům a službám.

Například Industriální Internet věcí zabezpečí vytvoření sítě. Umožní propojení distribuovaných systémů v podobě sítě bezdrátových senzorů, zabudovaných systémů (CPS), cloudových systémů, autonomní robotiky a aditivní výroby. CPS a robotika zároveň vytvoří integrované, počítačové prostředí, které je možné simulovat a vytvářet 3D reprezentace. Celý systém zahrnuje datovou analytiku a nástroje pro samosprávu a rozhodování v reálném čase. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

3.1 Technologické směry a principy

Průmysl 4.0 je charakterizován principy, které jsou vymezeny výše v kapitole 1.2.2 (s.21-23). Tyto „design principy“ jsou podporovány a umožňovány novými technologiemi. Závislost principů a některých technologií je znázorněna na obrázku 11.

Obrázek 11: Závislosti mezi design principy a technologiemi

Technologie	Design principy						
	(1) Správa dat v reálném čase (Sběr, zpracování, analýza, vyhodnocení)	(2) Interoperabilita	(3) Virtualizace	(4) Decentralizace	(5) Agilnost, modularita	(6) Orientace na služby	(7) Integrované podnikové procesy
Adaptivní robotika					X		
Datová analýza a umělá inteligence	X			X	X	X	
Simulace			X		X		
Zabudované systémy, CPS				X			
Komunikace a síťování		X		X	X		X
Kyber bezpečnost		X					X
Cloudové technologie					X	X	X
Aditivní výroba					X		
Virtualizace (VR, AR)			X		X		
Senzory a akční členy	X			X			X
RFID, RTLS technologie	X			X	X		X
Mobilní technologie					X		

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), upraveno podle (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Kromě těchto principů lze určit i obecná témata a vývojové směry, ke kterým technologie tíhnou a jsou trendem dalšího vývoje. Likens (2022) uvádí 6 podstatných témat pro nastupující technologie:

Automatizace důvěry

(Automating trust) představuje směr zabývající se ověřováním dat a identit, pravostí údajů a umožnění bezpečných transakcí v kontextu digitálního světa. Důležitou roli v tomto ohledu představuje technologie blockchain, která má velký potenciál při ověřování transakcí, uchování informací a vytváření digitálních podpisů a klíčů bez možnosti zfalšování. Dalšími nezbytnými technologiemi pak jsou IoT a AI. Oblastí využití mohou být obchodní a finanční transakce, digitální identity, zdravotnictví, ale také sledování dodavatelských řetězců a polohy dodávek, respektive přepravních a manipulačních jednotek se zbožím, a jejich průchod dodavatelským řetězcem včetně jejich stavu, teploty, vlhkosti apod. Tyto informace pak mohou být bezpečně zaznamenané pomocí blockchainu, zajišťující důvěryhodnost, nezaměnitelnost a správnost zpracování informací.

Blockchain je způsob (systém) udržování a aktualizování distribuovaných (decentralizovaných) databází. Data jsou přidána jako blok odkazující na předchozí datový blok. Vytváří tak řetěz – blockchain. Problém představuje energetická náročnost množství zařízení a výpočetního výkonu pro ověřování transakcí. Kvůli náročné a nutné verifikaci každé transakce je negativně ovlivňována rychlost transakcí (nevýhoda decentralizovaného systému). Z legislativního hlediska může být problém nízká regulace. Dále těžší škálovatelnost a náročnost na úložný prostor (každé zařízení potřebuje kopii všech transakcí). Nepříjemná může být i vysoká transparentnost systému, kde všichni účastníci vidí všechna data (i ty, která se jich netýkají). Problém může být paradoxně i bezpečnost. Ačkoli je v podstatě nemožné zfalšovat či změnit transakci, je možné vytvořit novou, podvodnou transakci. Systém rovněž využívá hlasování. Pokud někdo vlastní většinu uzlů blockchainu, mohl by jím manipulovat validování záznamů (proof-of-stake, proof-of-identity). K přístupu k datům stačí získat (nabourat se) přístup k jednomu zařízení. (Ali, 2022)

Rozšířená realita

(Extended reality) je formou virtualizace fyzického světa pomocí neustálého vývoje imerzivních technologií. Spadají sem technologie typu virtuální reality (VR) a rozšířené reality (AR). Využití nachází v zábavním průmyslu, ale rozšiřuje se i do ostatních oblastí. Lze simulovat pracovní místa, úkony, vytvářet tréninková a školící prostředí nebo podporovat design a vývoj, umožňovat virtuální prototypování namísto fyzického, navrhování pracovního systému a zkoumání ergonomických řešení. Augmentovaná realita přináší velký potenciál pro zvýšení efektivity samotných procesů díky aktivní podpoře pracovníků obohacením skutečného světa o virtuální prvky. Lze očekávat, že trh s rozšířenou realitou bude nadále růst a má potenciál posílit globální ekonomiku.

Imerzivní rozhraní

(Immersive interfaces) značí nové způsoby interakce se zařízeními a digitálním prostředím a vytvořením naturální a lidštější komunikace s technologiemi. Tyto nové technologie pracují s lidskými vlastnostmi a pomocí umělé inteligence zpracovávají obrovské množství dat, přičemž jsou schopné spárovat tyto informace s kontextuálními daty o daném uživateli a situaci a umožnit tak intuitivní a plynulou interakci s fyzicko-digitálním světem. Snahou je vtáhnout uživatele do tohoto rozhraní jak koncepčně, tak i percepčně a poskytnout vstupní i výstupní techniku pro co nejpřirozenější a automatickou

komunikaci. Vedle dotykové a hlasové komunikace by bylo možné komunikovat pomocí emocí, chování, gestikulace a pohybů celého těla nebo mozkových vln. AI algoritmy umožní generovat umělá mediální data – obrázky, videa, zvuk a vytvářet tak tzv. „Deepfakes“. Může se jednat i o replikaci či úpravu skutečných dat. Kromě filmového průmyslu by se toto dalo využít v museích při tvorbě interaktivních exponátů, prezentace historických postav či objektů. Člověk by například s takto replikovanou osobou mohl vést dialog. V rámci mezinárodní komunikace by bylo možné přizpůsobit video projev instatní transkripcí, překladem a synchronizací pohybů rtů pro danou zemi a jazyk.

Spadají sem řečové technologie, převádění textu na řeč a naopak, rozpoznávání hlasu, dialogové systémy pro komunikaci člověk-stroj. Záznam pohybu – motion capture, analýza pohybu, počítačové vidění, technoloige NLP.

Rozsáhlá autonomie

(Working autonomy) představuje další krok automatizace od lokálních řešení k širší automatizaci a spojování oddělených systémů vedoucí k end-to-end automatizovaným systémům. Důležitou charakteristikou je inteligence takového systému. Měl by mít schopnost učení se z předešlých událostí, samostatně zpracovávat data a rozlišovat vzory a činit rozhodnutí – být autonomní. Také by měl být zcela funkční bez vnějšího zásahu a spolehlivý. Inteligentní automatizace se může týkat celé řady oblastí. Patrně jednou z velkých a sledovaných oblastí jsou autonomní vozidla, kde inteligentní systémy zvládají stále složitější situace. Budoucností by pak mohla být například zcela autnomní kamionová ale i jiná doprava. Inteligentní automatizace se týká i podnikových procesů, zpracování dat a robotiky například i roboti v nemocnicích pro doručování léků a vzorků z laboratoří.

Digitální odraz

(Digital reflection) je virtuální/digitální reprezentace jednoduchých i komplexních systémů a vzájemně závislých fyzických procesů a interakcí. Jedná se tak o převedení fyzického světa do digitálního. Týkat se to může produktů (př. CAD), procesů a výrobních procesů (př. CAM) a modelování rozsáhlých systémů včetně sociálních. Schopnost digitalizace a vytváření tzv. digitálních dvojčat (relativně přesný digitální model systému či zařízení, který je responzivní a umožňuje simulaci) v posledních letech roste. IoT, simulační modelování a analytické nástroje umožňují vytvářet do jisté míry přesné kopie reálného systému. Zde může docházet k testování systémů, scénářů,

provádění experimentů, následnému zhodnocení a podpoře při rozhodování. Kromě digitálních dvojčat továren podniků, lze takto reprezentovat i globální systémy umožňující zkoumat sociální vývoj, šíření epidemií, vodohospodářství, energetiku, dopravní infrastrukturu a vývoj klimatu. V souvislosti s konceptem „Smart City“ se vytváří digitální dvojčata měst podporující zavádění změn při územním plánování a sledování stavu města například z hlediska vytížení dopravní infrastruktury nebo kvality ovzduší.

Hyperpropojené sítě

Smyslem Hyperconnected networks je vytváření rozsáhlé infrastruktury vysokorychlostních, stabilních sítí s nízkou latencí s vidinou zvýšené a všudypřítomné konektivity – rozsáhlá páteřní infrastruktura. Inteligentní systémy, M2M komunikace, Internet věcí či Internet všeho generuje ohromné množství dat s důrazem na bezpečnost a rychlost výměny a zpracování. To přináší značnou zátěž na kapacity přenosových sítí. Jednou ze stěžejních technologií v současnosti je telekomunikační standard 5G, který má potenciál vysokých přenosových rychlostí pro bezdrátový přenos. Součástí jsou připojené IoT koncové body a Cloud. Topologie sítě by měla klást důraz na redundanci spojů. Umělá inteligence by měla podpořit komunikaci a usměrňovat datový přenos. Rozhodovat například o tom, kdy data zpracovat lokálně a kdy je odeslat na cloud na základě požadavku na dobu zpracování.

3.2 Podstatné technologie Průmyslu 4.0

V této kapitole budou uvedeny podstatné technologie a technologické trendy Průmyslu 4.0 až po jádrové technologie tvořící samotný základ.

3.2.1 Autonomní robotika

Roboti nabízejí vylepšené snímání, ovládání a inteligenci k automatizaci, rozšiřování či podpoře lidských činností (Likens, 2022). Robotika se týká jak výrobních, tak nevýrobních operací. Robotizaci administrativních činností umožňují softwaroví roboti tzv. Robotická automatizace procesů – RPA. Nové aplikace mají schopnost pracovat v měnícím se a nejistém prostředí a po boku lidí, aniž by pro ně byly nebezpečné (Likens,

2022). Práce robotů po boku lidí je však složitější. Využívají se k tomu kolaborativní roboti (Cobot), kteří mají oproti standardním průmyslovým robotům řadu omezení kvůli bezpečnosti. Kvůli tomu jsou i méně výkonní. Zvýšením jejich spolehlivosti a tím snížení těchto omezení by se však mohla zvýšit i jejich výkonnost.

Adaptivní roboti kladou vyšší důraz na využívání umělé inteligence, což je dělá chytřejšími. Kromě výpočetních, komunikačních a řídicích schopností jsou též autonomní a více společenští. To zvyšuje i jejich flexibilitu a efektivnější provádění činností (Ustundag & Cevikcan, 2018). Mohou tak být nasazeni i mimo hromadnou výrobu. Autonomní roboti dokáží o úkolu „přemýšlet“ a jejich práce je založená na rozpoznávání scénářů a reagováním na ně. Přidělené úkoly je navíc možné rozložit do jednodušších pod problémů a souborů modulů pro řešení jednotlivých problémů. Integrací těchto modulů po dokončení jednotlivých pod problémů je možné docílit optimálního řešení. Umožňuje to tak snazší výrobu diferencovaných produktů pomocí jejich segmentace a rozpoznávání nižších segmentů výrobních částí. Související technologií je koevoluční robotika, což je přístup k vývoji AI na základě Darwinových principů přírodní selekce pro vývoj nejnáročnějších mutací AI – evoluční (genetické) algoritmy založené na heuristice pro řešení náročných úloh (Soni, 2018). (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Obecnými znaky jsou (Ustundag & Cevikcan, 2018):

- Ethernetové a Wi-Fi sítě pro vysokorychlostní přenos dat a M2M komunikaci
- Jednoduchá integrace do komunikačních systémů strojů
- Kamerové detekční systémy a optické či obrazové zpracování pozice dílů.
- Integrovaný ovladač robota
- Mechanismus samostatného učení na základě paměti a případu a rozpoznávání aktivit

3.2.2 Aditivní výroba

3D tisk je soubor technologií, které vytváří trojrozměrné objekty na základě digitálního modelu pomocí aditivního procesu – vrstvení materiálu. Takto vyrábět lze přitom z nejrůznějších materiálů – plasty, sklo, keramika ale i kovy, dřevo nebo beton. Materiál může být ve formě kapaliny, prášku, vláken nebo plátků. (Likens, 2022) (Ustundag & Cevikcan, 2018). Pro aditivní výrobu je nutné nejprve sestrojít digitální model (CAD) včetně popisu a vlastností. Tento popis zároveň slouží jako plán/schéma a soubor

instrukcí pro stroj a tisk. Jednotlivé vrstvy je možné měřit s přesností na mikrometry (Ustundag & Cevikcan, 2018).

Hojné využití se nachází zejména v tvorbě prototypů. Stále častěji se však využívá i pro tvorbu dílů nebo kompletních produktů a dostává se i do stavebnictví pro tisk budov (Likens, 2022). NASA využívá 3D tisku pro rychlé a levné prototypování, v divadlech je možné tisknout vzorky kulis, lodě na moři mohou tisknout náhradní díly, nebo lze tisknout protézy a dělat je tak mnohem dostupnější (Tucker, 2015). Od výroby drobných dílů a prototypů se tak dostáváme k využití aditivní výroby i v hromadné výrobě, jelikož 3D tisk produktů je stále dostupnější. Tato technologie tak může mít zásadní dopad na budoucí podobu výroby. 3D tisk má potenciál rychlejší a levnější výroby. Dokáží se snáze vyrobit i jinak složité díly, které při využití jiné technologie často musí být složeny z mnoha dílčích součástí. Snižuje se i množství odpadu. 3D tisk materiál neubírá, ale přidává v potřebném množství. V kombinaci s topologickou optimalizací může být úspora materiálu značná.

Využití najde i v souvislosti s nanotechnologiemi a možností vytváření produktů vrstvami na úrovni molekul či jednotlivých atomů (nano částice, uhlíkové kvantové tečky) z nanomateriálů (nano kompozity, směsi pryskyřice, metalické inkousty, fotosenzitivní materiály, uhlíkové nanodráty), přičemž se využívá technologií – depozice elektronovým paprskem (FEBID) nebo dvou fotonové litografie (TPL), a to například v biotechnologii a lékařství či v elektronice. (Rose, 2022)

Ustundag & Cevikcan (2018) dále uvadí možnost tvorby zpočátku nemožných geometrických tvarů například pyramidových mřížkových struktur s dutými vazníky a zabudované chladicí kanálky v nástrojích. V integrovaném systému by se mohlo flexibilně reagovat na zákaznické požadavky a propojovat individuální procesní kroky s patřičným systémem operací aditivní výroby.

3.2.3 Cloudové technologie

Cloud je souhrnný pojem zastřešující poskytování služeb, programů, serverů a datových úložišť, nejčastěji přístupný pomocí internetu. Jedná se tak o opak místních tzv. on-premise řešení a často inklinuje k tzv. on-demand přístupu čili využívání prostředků jen když je potřeba. Cloudové služby mohou být poskytovány externí firmou, ale může se

jednat i o interní informační systém daného podniku, který sdružuje jednotlivé pobočky, které se připojí na centrální server organizace vzdáleně.

Poskytování takto geograficky oddělených datových center zajišťující vyšší dostupnost služeb je stále častější. Směrodatným faktorem je úroveň poskytovaných služeb a schopnost dodržení deklarovaných parametrů. Tuto problematiku řeší certifikace, standardy a normy jasně definující bezpečnost, dostupnost a vhodnost pro typické nasazení a typ dat (Mařík & kol, 2016). Typickými modely cloudu je například poskytování softwaru jako služby (SaaS), platformy (PaaS), funkce (FaaS) nebo IT infrastruktury (IaaS). Rozdíly jsou zejména v rozdělení zodpovědností mezi poskytovatelem a příjemcem služby. Neboli co je v režii odběratele a co u poskytovatele. Výhodou je, že cloud je dostupný takřka odkudkoli umožňující vyšší mobilitu zaměstnanců a vzdálenou práci.

Zavedení cloudu má vliv na růst produktivity, optimalizaci nákladů a výpočetního výkonu a dělá technologie dostupnější i pro malé podniky, které nemusí budovat vlastní datová a výpočetní centra. Také se jedná o formu zvyšování flexibility a individuálního přístupu k zákazníkům. V případě potřeby je možné sehnat požadovanou technologii s možností škálovatelnosti. Cloud také představuje společné prostředí, integrující celý systém připojením IoT zařízení, umožňující rychlé zpracování a sdílení dat. Složité výpočty a simulace mohou probíhat prakticky v reálném čase s využitím výpočetního výkonu z „celého“ světa. Největší bariérou je otázka bezpečnosti, jelikož tento způsob klade vysoké nároky na kybernetickou bezpečnost a problematický může být i legislativní rámec pro zacházení s daty v různých zemích. (Mařík & kol, 2016)

Cloud je tedy integrujícím prvkem a zahrnuje také cloudovou výrobu a design. To znamená koordinovanou i provázanou výrobu k dispozici na vyžádání využívající distribuované zdroje a konfigurovatelné kyber-fyzické procesy. Důsledkem by měla být vyšší účinnost, rychlejší reakce a vyšší rozhodování na základě dat. (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Podle způsobu nasazení cloudu lze rozlišit soukromý, veřejný, hybridní a multi-cloud.

3.2.4 Analýza dat, Big data

Na analýzu dat je kladen stále větší důraz. S tím, jak se rozvíjí technologie a narůstá objem dat, roste i potřeba pro jejich zpracování a využití. 90 % dat bylo vygenerováno

v posledních letech, přičemž valná většina z nich je v nestrukturované a těžko zpracovatelné formě (Marr, 2018; Tucker, 2015). Vzhledem k množství, povaze a rozmanitosti se však nemusí jednat o lehký úkol a je zapotřebí sofistikovanějších nástrojů. Schopnost zpracování zaostává a většina znalostí zůstává nevyužitá v datech (Mařík & kol, 2016). Dá se říci, že data tvoří jeden z hlavních pilířů Průmyslu 4.0 a jejich zpracování leží nad celým systémem. Inteligentní systémy, autonomie, umělá inteligence, AR systémy, lokalizace a navigace, strojové a hluboké učení (deep learning) a další směry, to vše je v základu postaveno na datech a znalostní bázi.

Big data představují velmi objemná, mnohdy nestrukturovaná, rozmanitá data z různých zdrojů s vyšší rychlostí získávání, zejména v momentě zpracování v reálném čase. Někdy se pro popis užívá tzv. model 3V(4V) – **Volume, Velocity, Variety, Variability** (Sehgal & Singh, 2015). Jedná se rovněž o soubor technik a technologií. Dle Tucker (2015) Big data umožňují více lidem analyzovat více informací z více zdrojů než kdy předtím. S Big daty se rovněž pojí dolování dat (data mining), které je metodologií pro získávání informací a skrytých významů z dat. Big data využívá tedy matematické analýzy i statistické indukce a zkoumá nelineární vazby na vyvození zákonů o datech (na rozdíl od BI, která se soustředí na deskriptivní statistiku a data s vysokou hustotou informací) (Sehgal & Singh, 2015). Lze tak predikovat výsledky či chování a odhalovat závislosti. Je dobré říci, že tato objemná data mohou mít velmi nízkou hustotu informací, které je skutečně nutné „vydolovat“ důkladnou analýzou. Organizace, které si osvojí Big data mohou získat užitečné informace pro podporu rozhodování u obchodních strategií a zvyšování konkurenceschopností díky hodnocení celých procesů (Tucker, 2015; Ustundag & Cevikcan, 2018). V užší podstatě jsou Big data jen schromazdiště dat, nad kterými pracují aplikace a AI.

Společnosti hledají cesty pro zlepšení informačního toku, adoptují informační a znalostní technologie, což v souvislosti s Průmyslem 4.0 vede k získávání dat z výroby, logistiky, R&D, údržby či obchodu a to (často) v reálném čase. Roste tak požadavek rychlého zpracování nehledě na formát a zdroj dat (Ustundag & Cevikcan, 2018). Data mohou pocházet také z internetu, IoT, senzorů a čidel (CPS), měření, sociálních sítí, CRM, satelitních pozorování, analyzátorů (genové, chemické), kamer, dronů. Data z družicových systémů mají využitelný potenciál v rámci smart cities, zemědělství a řízení životního prostředí. (Mařík & kol, 2016). Integrace dat z procesů a analýza big dat umožňuje optimalizaci výroby, služeb, podpůrných činností, distribuce. Na základě

datového toku je možné analyzovat propojené procesy a stroje a zlepšit škálovatelnost a přizpůsobování. Pomocí technik vytěžování dat je možné získat informace z různých senzorů a pomocí nich vyhodnotit stav a konfiguraci strojního vybavení, včetně environmentálních a okolních podmínek s vlivem na výrobu. Lze získat informace o spotřebě energie, prostojích, opotřebění, hlídat dostupnost materiálu a snižovat náklady na údržbu (prediktivní údržba). Rozsáhlá data rovněž pomáhají při digitálním modelování a simulacích (Mařík & kol, 2016; Ustundag & Cevikcan, 2018)

Dle Mařík et al. (2016) rychlejšímu pokroku Big dat brání vědecký pokrok v matematice, informatice a nedostatek odborníků pro datovou analýzu a vědu (data science). Poptávka těchto pozic je i nadále vysoká. Při integraci dat napříč dodavatelským řetězcem je nutné zajistit ochranu duševního vlastnictví obsaženého v těchto datech.

3.2.5 Umělá inteligence

Umělou inteligenci je možné chápat jako softwarové algoritmy, které jsou schopné provádět a řešit komplexní úlohy a automatizovat rozhodování. Do jisté míry napodobují lidské myšlenkové pochody a smysly. Tyto programy a systémy dokáží samy sebe učit díky metodám strojového učení. Dokáží chápat, uvažovat, plánovat a jednat (řídit) na základě dat (Likens, 2022). S tím souvisí i schopnosti klasifikace a rozpoznávání.

Je možné rozlišit různou úroveň umělé inteligence, která se od sebe liší svou inteligencí a schopností myslet. Nejzákladnější formou mohou být systémy, které se snaží simulovat nějaké chování, využívají vzorů, pravidel a jednoduchých třídících algoritmů, ale nejedná se o skutečné myšlení. Příkladem může být AI ve hrách, která má budit dojem, že sama přemýšlí. Tyto systémy nejsou umělou inteligencí v pravém slova smyslu. V rámci skutečně smýšlející umělé inteligence je možné rozlišit (Labbe & Wigmore, 2021):

- **Úzká, slabá inteligence** (Narrow AI, NAI): Řeší úzce vymezené úlohy. Vysoce funkční systém replikující i překračující lidskou inteligenci. Spadají sem boti a chatboti, virtuální asistenti (Alexa, Siri), rozpoznání obrazu, hlasu a obličeje, systémy doporučení obsahu, prediktivní údržba i autonomní řízení vozidel. Nevýhodou je neschopnost řešení věcí mimo jejich zaměření a jejich schopnosti jsou závislé na tréninkových datech.
- **Obecná, silná inteligence** (General AI, AGI): Vysoce inteligentní systém, který dokáže řešit úlohy i bez předchozího učení. Dokáží se učit a aplikovat znalosti, jsou schopni kritického myšlení, kreativity a vyjádření emocí. Mají komplexní

znalosti a kognitivní schopnosti nerozpoznatelné od člověka, kterého převyšují v rychlosti zpracování dat. Mají vědomí.

V současné době všechny AI systémy spadají do slabé inteligence.

Umělá inteligence je postavena na datech (Big datech), které tvoří její tréninkovou/znalostní bázi. Kvalita těchto dat může mít vliv na kvalitu učení/inteligence. Pokud tréninková data obsahují zaujaté a nesprávné informace, výsledný model umělé inteligence může být stejně zaujatý a podávat nesprávné výsledky (Labbe & Wigmore, 2021). Zpracováním dat, hlubokém učení, shlukováním a klasifikací se zabývá řada oblastí AI: dolování dat, strojové učení (učení s učitelem/bez učitele, zpětnovazební), metody podpurných vektorů, algoritmy rozhodovacích stromů, neuronové sítě, heuristické a evoluční algoritmy, metody optimalizace a celočíselné a stochastické programování, metody NLP, Bayesovské sítě, počítačové vidění apod. (Ustundag & Cevikcan, 2018). Východiskem pro řízení složitých systémů jsou multiagentní systémy, kde jde o autonomní chování, kooperaci a koordinaci jednotek (agentů, uzlů sítě) (Mařík & kol, 2016).

3.2.6 Technologie pro virtualizaci – VR, AR

Virtualizace vytváří počítačově podporovaný obraz reálného prostředí doplněný dodatečnými informacemi. Realita může být rozšířena o virtuální informace, objekty a elementy s cílem obohacení lidského vnímání. Pohled na aktuální prostředí je doplněn o grafické rozhraní, se kterým uživatel může dále interagovat a ovlivňovat vizuální reprezentaci elementů pomocí příkazů a menu (Ustundag & Cevikcan, 2018). Zatímco virtuální realita vytváří počítačovou simulaci prostředí, rozšířená realita spojuje fyzický a virtuální svět dohromady.

Virtuální realita většinou využívá speciální brýle – headset nebo helma a případně i další fyzické předměty jako ovladače nebo senzory pohybu těla, pomocí kterých generuje unikátní 3D simulaci prostředí - obraz, zvuk a další vjemy. Ty mají uživateli navodit pocit, jako by se v generovaném prostředí skutečně nacházel a umožnit mu s tímto světem interagovat. (Tucker, 2019). Kromě herního průmyslu jej lze využít jako trénovací pomůcka pro odbornou přípravu a simulace scénářů a pracovních úkonů, podpora konstruování a designu – prohlížení 3D VR modelu, virtuální prohlídky nebo ke zlepšování ergonomie nějakého prostředí. Benefitem může být jak snížení nákladů a rychlost tréninku, tak i možnost simulace náročných a riskantních situací (Likens, 2022).

Rozšířená realita je vizuální nebo zvukové překrytí obrazu fyzického světa. Kontextuální digitální informace je možné zobrazovat na displeji mobilních zařízení po jejich namíření na daný objekt. Největší potenciál je však v chytrých brýlích (možná i očních čočkách). Mařík et al. (2016) tyto principy rozlišuje na „**Video see-through**“ kde se přenáší videosignál na obrazovku, což může být přesnější. Zařízení je však nutné držet, obraz může být zpožděný a záběr se může lišit od pohledu pracovníka. „**Optical see-through**“ jsou brýle, ale jejich nevýhoda je riziko rušivých chyb vizuální synchronizace, zejména při rychlých pohybech. Patrně tak záleží na vývoji technologie a překonání těchto bariér. To by mohlo zvýšit efektivitu a usnadnit práci ve skladech zobrazováním potřebných informací u skladových položek a balíků, ale i ve výrobních podporou montážních činností díky virtuálnímu průvodci a návodům, v logistice a dalších oblastech. (Likens, 2022). Například v automobilech by mohla být projekce informací na čelní sklo (Mařík & kol, 2016).

Aby tyto technologie správně fungovaly, je nutné zajistit několik požadavků: snímání prostředí, identifikace prostředí, zpracování prostředí a vizualizaci. Sestavit navigační systém a prostorová data pro vazbu informací ke konkrétním lokacím – digitální mapy. Vyřešit tedy kde je uživatel a co vidí (Mařík & kol, 2016; Ustundag & Cevikcan, 2018). Je tedy nutné zajistit infrastrukturu s pomocí jadrových technologií, senzorů, algoritmy počítačového vidění, gyroskopy, akcelerometry, Wi-Fi a GNSS – navigační systémy.

S využitím hologramů lze vytvářet i virtuální 3D objekty (ale je to zatím poměrně nákladné).

3.2.7 Komunikace, síťování – IoT

IoT propojuje fyzické objekty a vytváří síť mezi nimi a distribuovanými systémy. Senzory, stroje, software a jiná zařízení spolu mohou interagovat, vyměňovat a zpracovávat informace a vzájemně se koordinovat při dosahování společného cíle a zabudovat inteligentní systémy (senzory) do fyzických procesů. Prvky systému a ostatní technologie svým propojením tvoří IoT, který obsahuje a zastřešuje i jiné nástroje Průmyslu 4.0. IoT tak není jen samostatná technologie, ale vzniká pomocí jiných technologií a systémů, při vytváření RTLS, AR, M2M, CPS, sbírání dat apod. Lepší je na IoT nahlížet jako na komunikační infrastrukturu, síťové technologie a protokoly umožňující komunikaci a konektivitu objektů v síti a integraci napříč podnikovými

procesy, a to kdykoli, kdekoli, komukoli na cokoli. (Likens, 2022; Ustundag & Cevikcan, 2018)

IoT by mělo umožňovat distribuované a paralelní výpočty a zpracování dat, vysokou spolehlivost a nízkou latenci. Pro sestavení IoT sítě je zapotřebí celá řada komunikačních (síťových) technologií a protokolů. Důležitá je jejich standardizace, zajišťující kompatibilitu i se staršími technologiemi a standardy pro velké množství různých zařízení. Nároky na komunikaci a připojování malých nízkoenergetických zařízení s omezenými schopnostmi přináší nové protokoly – 6LoWPAN, CoAP. Důležité protokoly v IoT jsou rovněž MQTT, XMPP, AMQP a DDS podporující vysoký počet zařízení a práci v reálném čase. Základní topologie IoT se dá rozdělit na vrstvy:

1. Okrajovou – koncová zařízení, WSN, I/O, industriální ethernet.
2. Platformní – transformace a zpracování dat.
3. Podniková – uživatelská rozhraní, aplikace, web 2.0. (Gilchrist, 2016)

Další problematika se týká alokace zdrojů typu – radiové spektrum a adresovací prostor. Je známé, že IPv4 nemá dostatečný prostor pro IoT i přes vytvoření beztrždního systému. Společně s IoT tak roste využívání IPv6, které nabízí 2^{128} adres. (Gilchrist, 2016)

Transformace industriálních sítí a sítí obecně zvyšuje tlak na jejich bezpečnost. To zahrnuje datový přenos, šifrování, zmenšování broadcastových domén (virtualizace např. VLAN), předpisy a standardy komunikačních protokolů, různé úrovně autorizace přístupů, detekce neoprávněných přístupů a zvláštního chování a zahrnutí bezpečnostních prvků a nastavení v síti. Industriální sítě (a M2M) se nepotýkaly s bezpečnostními hrozbami často, jelikož využívaly nestandardních operačních systémů, jiné architektury a protokolů (non-IP protokoly) či sběrnic a vnitřní propojení sítě obsahovalo mezery zajišťující izolaci různých částí. Mohlo se tak jednat o lokální izolované sítě bez většího zabezpečení. V případě přístupu k internetu (propojení různých poboček) se často jednalo o jedinou výchozí bránu s VPN tunelem. S konceptem IoT a podnikovou či mezipodnikovou integrací se to radikálně mění. (Gilchrist, 2016; Ustundag & Cevikcan, 2018)

3.2.8 Senzory a akční členy, RFID, RTLS

Senzory, snímače, čidla a měřicí systémy jsou jedním ze stavebních kamenů Průmyslu 4.0. Umožňují vytvoření zabudovaných (kyber-fyzických) systémů, automatizaci,

robotizaci a tvoří součást IoT. Sensory sbírají data, snímají okolí a jsou řízeny a monitorovány řídicí jednotkou (například mikrokontroléry), ke které jsou připojeny pomocí sběrnic (Fieldbus). Akční členy (aktuátor) zpracovávají informační vstup a následně interagují s reálným systémem, například mechanicky – vykonávají pohyb. Jsou v podstatě opakem senzoru. Jedná se tak o různé pohonné a regulační jednotky (ventily, pohony, některé elektrosoučástky – stykače, zesilovače...). (Ustundag & Cevikcan, 2018).

Snímače mohou být například indukční, kapacitní, magnetické, optické nebo ultrazvukové. Sem patří i infračervené senzory nebo senzory přiblížení. Pro monitorování stavu (množství) materiálu nebo polohy dílu může být využité i vážení. Nutností je ovšem velmi přesné zjištění váhy dílu a její standardizace (s malou odchylkou), aby naměřené hodnoty v automatizovaném systému byly vyhodnoceny správně. Dalšími senzory mohou být hladinové pro řízení zásob, zejména množství kapalných látek, dále senzory teploty pro monitorování stavu zařízení nebo produktů v dodavatelském řetězci a senzory tlaku, vlhkosti, průtoku či rychlosti toku kapalin. (RGBSI, 2022)

Pokroky v sensorice v kombinaci s dalšími technologiemi umožňují lepší propojení fyzického a digitálního světa a tím mohou vznikat i inteligentní systémy. V rámci produkčního systému je umožněno sledování v reálném čase, dokumentace a kontinuální sběr dat pro Big data analýzy, monitorování stavu, snímání hladin materiálu apod.

RFID (Radiofrekvenční identifikace) je štítek/čip s informacemi o jednotce a její identifikaci. Je nadstavbou čárových kódů, má širší funkčnost a funguje i v prašném prostředí. RTLS (lokalizační systém v reálném čase) je systém skládající se z identifikačních štítků a čipů, sensorů a řídicího softwaru. Reálný systém je osazen senzory a sledované jednotky jsou vybaveny ID prvkem. Díky tomu je možné sbírat lokalizační data a pomocí softwaru je zpracovat a vytvořit vizualizaci systému, digitální mapy. Kromě RFID čipů se využívá bezdrátové komunikace UWB, BLE, WiFi a GPS. Hlavními znaky RTLS je možnost identifikace, lokalizace a snímání. To umožňuje sledování materiálových toků a logistických procesů, odhalování úzkých míst, optimalizaci výroby a zvýšenou flexibilitu montážních linek pro různé verze produktu. (Manifold, 2022; Ustundag & Cevikcan, 2018)

Podstatnou část tvoří i CPS viz 1.2.1 a 1.2.2 (s.19), simulace procesů a produktů viz digitální odraz (3.1, s.43) a řečové či obrazové technologie (3.1, s.42-43). Mobilní technologie, vyšší výpočetní výkon a nové funkce umožňují praktické způsoby interakce se systémy Průmyslu 4.0 a mobilní přístup k informacím. Stejně je to i pro nositelná zařízení – např. náramek s aplikací průvodce na výletní (zaoceánské) lodi, koncertech, sportovních akcích apod. Velký rozmach je i v oblasti sw aplikací jak pro zákazníky, tak pro zaměstnance. Nové využití se nachází i pro drony. Kromě kinematografie také k doзору a průzkumu, k doručování a ke sbírání dat pro stavební projekty a v zemědělství nebo pro inspekci staveb. Detailně zmapovaný terén může být vstupem pro relativně přesné modely. Ve firmách může pomoci s řízením zásob – doručování, zjišťování stavu, dohled nad výrobou. (Likens, 2022; Tucker, 2019)

4 Faiveley Transport Plzeň s.r.o.

Součástí této kapitoly bude představení společnosti Faiveley Transport Plzeň, analýza současného stavu ve firmě z hlediska Průmyslu 4.0, rozbor probíhajících inovačních projektů a konečné zhodnocení a návrh doporučení pro implementaci dalších inovací. Data byla sbírána pomocí dotazníkového šetření, rozhovorů s pracovníky operativního řízení a osobního kontaktu s prostředím podniku.

4.1 Představení společnosti

Faiveley Transport Plzeň je společností s ručením omezeným a patří do skupiny Faiveley Transport a Wabtec Corporation. Společnost sídlí nedaleko Plzně v areálu firmy DIOSS Nýřany a.s. a vznikla 3. prosince 2003 zápisem do OR. Jednatel společnosti je Dr. Pino Cordini. Jediným společníkem a zároveň mateřskou společností je francouzská Faiveley Transport s rozhodujícím vlivem a 100% podílem na základním kapitálu ve výši 200 000 Kč, jehož výše není navyšována.

Jako předmět podnikání je v OR uvedeno:

- Velkoobchod
- Výroba strojů a zařízení pro všeobecné účely
- Zprostředkování obchodu a služeb
- Specializovaný maloobchod a maloobchod se smíšeným zbožím
- Skladování zboží a manipulace s nákladem
- Technické činnosti v dopravě

(Justice.cz, 2023)

Společnost působí v železničním průmyslu a hlavním předmětem činnosti je poskytování výrobních prací při výrobě klimatizačních jednotek do kolejových vozidel a logistické služby v rámci skupiny Wabtec. Wabtec patří mezi přední světové výrobce a dodavatele zařízení a komponent v železničním průmyslu. Díky tomu je součástí silného celku, na který se může spoléhat a nepodstupuje velké riziko, jelikož její činnost a vývoj je ovlivněn převážně děním ve skupině. Produktové portfolio Wabtec zahrnuje výrobky pro nákladní i osobní soupravy a lokomotivy. Jedná se například o brzdové a dveřní systémy, řešení digitálních systémů a elektroniky, trakční a pohonné systémy, klimatizační systémy, sanitární systémy, lokomotivy či malé komponenty a mnoho dalšího včetně řady služeb.

Společnost má velmi těsný vztah se sesterskou společností Faiveley Transport Leipzig GmbH, která je jednak hlavním obchodním partnerem stojícím za většinou realizovaných kontraktů, a také figuruje jako poskytovatel výrobních prostředků a materiálů. Společnost tak využívá prostředků a zázemí ve vlastnictví sesterské společnosti a zajišťuje nákup materiálu na její účet i jméno. Její činnost spočívá v poskytování výrobních a logistických služeb při kompletaci klimatizačních jednotek, jejich kontrole a expedici zákazníkům na účet i jméno sesterské společnosti. To se projevuje i na struktuře majetku, jehož aktiva jsou tvořeny převážně z oběžných aktiv – pohledávky a peněžní prostředky. Financování je zajištěno z větší části vlastním kapitálem, který je tvořen převážně z nerozděleného zisku, a cizími zdroji - převážně krátkodobé závazky a rezervy. (Faiveley Transport Plzeň s.r.o., 2021)

Z finančního hlediska tak firma disponuje nízkým objemem stálého majetku a materiálovou základnou, má nízkou zadluženost, relativně vysoký čistý provozní kapitál a dostatek volných finančních prostředků. Firma zadržuje svůj zisk a vlastní kapitál představuje majoritní část financování. V poměru ke stálému majetku by se dalo hovořit o překapitalizovaném podniku. To znamená vyšší finanční stabilitu a konzervativní způsob financování oběžných aktiv na úkor efektivnosti vložených prostředků. Na druhou stranu oběžná aktiva jsou téměř výhradně tvořena jen pohledávkami. Výše krátkodobých závazků je tvořena závazky k zaměstnancům a souvisejícím položkám. Volné finanční prostředky firma poskytuje v rámci skupiny v investičních činnostech a půjčkách. Ve skupině se uplatňuje systém centralizace volných peněžních prostředků (cash pool) jednotlivých společností skupiny. V případě potřeby tak může firma získat podobnou podporu od ostatních členů. Výnosnost je určena dle měsíčního průměru sazeb PRIBOR sníženého o 0,15 % (Faiveley Transport Plzeň s.r.o., 2021). Většinu nákladů podniku tvoří osobní náklady, vyplývající z povahy podniku a typu činnosti. Firma vykazuje stabilní růst tržeb i výsledku hospodaření. Cashflow podniku se vyvíjí různě, ale v posledních letech nedošlo k nedostatku peněžních prostředků, přičemž se cashflow periodicky střídalo mezi kladným a záporným. Patrně tak dochází k vykrývání záporného CF předchozího roku z například vyšších investičních výdajů. Snížená likvidita ale neměla vliv například na schopnost vyplácení mezd. Firma je schopna vygenerovat dostatek finančních prostředků a dále navyšuje objem peněz vložených do systému centralizace. Struktura majetku je do jisté míry stále stejná.

Produktem společnosti jsou klimatizační jednotky HVAC systémů kolejových vozidel, které mají za úkol udržet komfortní prostředí pro řidiče i pasažéry soupravy, tzn. správná vnitřní teplota a vlhkost vzduchu, rychlost proudění, odstraňování nečistot a zvyšování kvality vzduchu. Musí se vypořádat s externími vlivy prostředí př: teplota, vlhkost, sůl, sluneční záření, znečištění, vyrovnávání rychlosti vzduchu a tlakové vlny při míjení se s jiným vlakem nebo v tunelu. Interními vlivy jsou: množství pasažérů, oxid uhličitý, vyzařovaná teplota lidí a zařízení apod. Základními funkcemi jsou chlazení, topení, filtrace a ventilace. Klimatizační jednotky se mohou lišit velikostně, tvarově i technologicky dle projektu, typu vozidla, místa nasazení a požadavků zákazníka.

Výroba je řešena zakázkově. Často se jedná o dlouhodobé kontrakty na určitý počet dané jednotky. Výroba a dodávky konkrétního projektu jsou řešeny v menších sériích (opakovaná). K tomu je uzpůsobené i prostorové uspořádání výroby, které je řešeno spíše technologicky (svařovna, příprava plechů, podpurná pracoviště, hlavní montáž atp.). Hlavní výroba (montáž jednotek) však umožňuje plynulý průchod jednotky systémem, a tedy na sebe montážní (př. kontrolní) úseky (procesy) navazují. Montáž jednotek je řešena na pracovištích v mezioborových pracovních týmech/skupinách.

4.2 Analýza současného stavu

Z hlediska Průmyslu 4.0 podnik nevyužívá mnoho pokročilých technologií a principů spojených s tímto trendem. Ve firmě se vyskytuje velmi málo strojů a většina práce je manuální a týmová, přičemž se jedná o specifické a manuálně náročné operace. Firma získá komponenty od dodavatelů a provádí kompletaci finálního výrobku. Technologické způsoby výroby ve většině případů znemožňují automatizaci či nasazení robotů, alespoň v nejbližších letech. Potenciál se tak nachází zejména v podpurných procesech.

Podnik se v poslední době zaměřuje na digitalizaci, jelikož v této oblasti začínaly být rezervy. Digitální technologie se tak dostávají do různých oblastí podniku včetně výroby. Dochází k integraci systémů, zavádění mobilních technologií a digitalizaci některých procesů vedoucí k eliminaci nadbytečného množství papíru, evidování výrobního procesu a kontroly a zefektivnění interní logistiky a operativního řízení.

4.2.1 Současné technologie Průmyslu 4.0 v podniku

Jedním z hlavních pilířů každého podniku, zvláště v současné době, je podnikový informační systém. Ten představuje hlavní složku informačních a komunikačních

technologií. V současnosti se využívá ERP informační systém Infor M3, který je zaměřen na výrobní a distribuční podniky. Specificky je zaměřen na výrobní operace, které následně produkty i distribuují. Od toho je odvozeno i označení M3 (Make – Move – Maintain). Výhodou je možnost cloudového a multi-podnikového nasazení včetně podpory dané lokalizace (jazyk, měny). Systém tak lze zavést pro několik podniků/poboček, včetně nastavení podnikové hierarchie a práv a vzdáleného přístupu (webový přístup přes aplikaci, dříve Citrix) na centrální server s technologiemi MDM (Master data management). Vytváří se tak struktura systému, která je rozdělena na jednotlivé podniky a jejich výrobní závody a vše zastřešuje řídicí organizace. K řízení více právních jednotek se využívá systém MUC (Multiple Unit Coordination), který řídí toky informací a rozdělení práv. (Infor, 2023a) (Infor, 2023b)

Systém disponuje velkou flexibilitou, nastavitelností a rozšiřitelností s dobře strukturovanými moduly. Možností je BI modul s PALO/OLAP serverem. V porovnání s ostatními systémy si vede z hlediska funkčnosti velice dobře a řadí se tak mezi nejlepší. (Technology Evaluation Centers, 2023)

V rámci řízení výroby se dále využívá výrobní informační systém (MES). Přestože tento systém má plnit vazbu mezi ERP a nižší funkční vrstvou (PCS, SCADA, PLC, senzory apod.), není zatím vybaven funkčním rozhraním s nadřazeným systémem. Ve firmě se využívají dále PDM/PLM systém (př. Teamcenter) a CAD (Creo Design - MCAD a ECAD 2D/3D). Produkty tak mají vlastní digitální obraz a simuluje se jeho vyrobitelnost a použití. CAD/CAM návrhy lze poslat do stroje, existuje tedy jistá úroveň propojení stroje se systémem.

Ve firmě se využívají a dále zavádí mobilní a RFID technologie v rámci digitalizace. Dochází k eliminaci papírování, ke sběru dat a vytváření digitálního obrazu výroby. Digitalizují se výrobní postupy, vytváří se návody a fotobooky, zlepšuje se sledovatelnost jednotek a materiálu. Zajišťuje se prokazatelně zkontrolovaný a evidovaný proces výroby jednotky a její historie. Zlepšuje se skladová logistika díky digitální podpoře a částečné automatizaci zahrnující karuselové zakladače. Stroje a pracoviště jsou vybaveny terminály, případně tablety, pro komunikaci se systémem.

Z takto digitálně podporovaných procesů je firma schopna sbírat data a evidovat informace rovnou do systému MES/ERP. Velké množství dat je možné shromažďovat automaticky.

V provozu se využívá i cloudu pro běh aplikací i k ukládání dat. V omezené míře se využívají i 3D tiskárny pro tisk plastových dílů. Jedná se spíše o podporu prototypování či řešení kvality a problémů. Jiné, pokročilejší, technologie se v podniku nevyužívají a spíše se dochází k zavedení základních, jádrových: technologií.

4.2.2 Vyhodnocení zralosti podniku

V rámci analýzy stavu ve firmě z hlediska Průmyslu 4.0 bylo provedeno šetření postavené na modelu autorů Ustundag a Cevikcan (2018) , který byl doplněn modelem vyspělosti IMPULS. Využitý dotazník je připojen v příloze A. Tabulka hodnocení je v příloze B. Dotazník sestává z 84 otázek a byl distribuován skrze asynchronní online komunikační kanál. Nejasnosti byly řešeny stejnou cestou, případně telefonicky. Vzorek respondentů byl vzhledem k povaze dotazníku, který byl zaměřen na faktické údaje, menší a spíše se skládal ze specialistů na konkrétní oblast.

Model zralosti (Ustundag & Cevikcan, 2018) pracuje se čtyřmi úrovněmi, jejichž popis a limitní hodnoty pro dosažení úrovně shrnuje tabulka 1.

Tabulka 1: Úrovně zralosti a limitní hodnoty

Úroveň	Popis	Dolní limit	Horní limit
Úroveň 0: Absence	Firma nesplňuje žádné nebo jen některé požadavky na nízké úrovni.	0,00	0,90
Úroveň 1: Existence	Zaváděny pilotní iniciativy a zvažování implementace strategie průmyslu 4.0. Produkty nejsou úplně chytré, nízká úroveň integrace a automatizace, nízké využití dat. Digitální technologie a cloud jsou nasazeny jen částečně. Infrastruktura je na nízké úrovni. Nevyhovuje organizační struktura.	0,90	1,80
Úroveň 2: Přežití	Služby založené na datech na střední úrovni. Produkty jsou schopné zpracovat data v reálném čase a lze je sledovat mezi různými místy. Integrace procesů, zpracování a sdílení dat, agilnost jsou na střední úrovni. Přípravenost procesů na decentralizaci, interoperabilita je možná v některých oblastech. Vypracování plánů a investice do průmyslu 4.0, včetně organizační struktury a vytváření partnerství. Nové obchodní modely.	1,80	2,70
Úroveň 3: Vyspělost	Chytré produkty a služby založené na datech na vysoké úrovni. Vysoká úroveň integrace, zpracování dat, agilnosti. Téměř vše lze decentralizovat a umožňuje interoperabilitu. Pokročilé digitální technologie. Vysoká podpora a investice. Organizační struktura podporuje transformaci podniku, je vytvářeno mnoho partnerství a digitální obchodní modely jsou integrovány a generují příjmy.	2,70	3,00

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Zkoumané oblasti jsou hodnoceny v souladu s kritérii a požadavky pro dosažení určité úrovně. Požadavky pro každou oblast shrnují tabulky 2, 3 a 4.

Tabulka 2: Chytré produkty a služby - požadavky

Úroveň	Popis
Úroveň 0: Absence	Žádné nebo minimální využití prvků Průmyslu 4.0.
Úroveň 1: Existence	Komunikace s produkty, platformami, stroji a externími systémy. Sběr dat. Lokalizace napříč výrobou a interní distribucí. Služby/poznatky ze získaných dat jen pro vlastní potřebu.
Úroveň 2: Přežití	Komunikace a sběr dat. Uchování dat v cloudu nebo vlastním systému produktu. Deskriptivní, diagnostické a prediktivní datové analýzy. Sledování produktu napříč výrobou a distribucí až k zákazníkovi. Nabízené služby a poznatky z dat pro zákazníky.
Úroveň 3: Vyspělost	Komunikace, sběr a uchování dat. Existence platformy, na které produkty nebo cloudová aplikace pracuje. Rozšíření o preskriptivní analýzu. Sledování produktu po celý životní cyklus. Služby a poznatky jsou nabízené navíc partnerům, zlepšování produktu na základě dat.

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Tabulka 3: Chytré podnikové procesy - požadavky

Úroveň	Popis
Úroveň 0: Absence	Žádné nebo minimální využití prvků Průmyslu 4.0.
Úroveň 1: Existence	Integrace procesů SCM (podnik – dodavatel- zákazník) - základní komunikace a výměna dat. Omezené množství SW systémů. Výrobní systémy částečně automatizovány na úrovni strojů. Částečná sledovatelnost operačního procesu v digitálním prostředí na úrovni stroje, viditelnost end-to-end nízká, přizpůsobení výroby nízké. Využití dat ve vývoji nových produktů nízké. Simulace vyrobiteľnosti a užití produktů na nízké úrovni. Malé využití a prospěch z dat v procesech poprodejních služeb, služby jen v málo oblastech. Chytré a spouštěcí (triggering) technologie (VR, AR, mobilní tech, cloud, 3D tisk...) se nevyužívají nebo jen velmi málo. Nízké zpracování dat z prostředí a analytika. Data se nevyužívají k oceňování a dynamickému oceňování produktů. Nízká integrace kampaňových systémů a prodejních kanálů, neměří se výkonnost kampaní. Integrace komunikačních kanálů a spolupráce s partnery je nízká. Menší využití provozních dat v oblasti lidských zdrojů, nesdílí se data v reálném čase s pracovníky v terénu a neexistuje e-learning. IT zabezpečení dat tekoucích skrz cloudové služby je plánováno či zaváděno. Neexistence IT dashboardů. Stroje a systémy jsou částečně řízeny pomocí IT. Automatizace finančních služeb je nízká, analýzy jsou založena na historických datech.
Úroveň 2: Přežití	Integrace procesů SCM se strategickými dodavateli/zákazníky – sdílení dat. Využití některých SW systémů. Výrobní systém automatizován na úrovni strojů a/nebo částečně na úrovni výrobních linek/buněk. Sledovatelnost operačního procesu v digitálním prostředí na úrovni výrobní linky/buňky. Střední úroveň přizpůsobitelnosti a end-to-end viditelnost. Střední využití dat ve vývoji nových produktů. Střední využití simulací vyrobiteľnosti a užití produktů ve fázi vývoje. Společnost těží z většího množství dat v procesech poprodejních služeb a nabízí služby v některých oblastech. Chytré a spouštěcí (triggering) technologie jsou využívány na střední úrovni. Využití analytiky a zpracování dat z prostředí. Data využívána k dynamickému oceňování produktů. Kampaňové systémy a prodejní kanály integrovány na střední úrovni. Analytické nástroje jsou používány k měření výkonnosti kampaní. Integrace komunikačních kanálů a spolupráce s partnery na střední úrovni. Vyšší využití provozních dat v oblasti lidských zdrojů, sdílení dat v reálném čase s pracovníky v terénu, dostupnost e-learningu. In-house IT zabezpečení sdílení dat je zaváděno nebo implementováno. Využití IT dashboardů. Komunikace stroj-stroj je možná. Střední automatizace finančních služeb, analýzy na základě historických dat.

Úroveň	Popis
Úroveň 3: Vyspělost	Plně sjednocený dodavatelský řetězec mezi podnikem – dodavatelem – zákazníkem s možností plánování v reálném čase. Mnoho SW systémů. Výrobní systém je automatizován na úrovni výrobních linek/buněk nebo částečně na tovární úrovni. Sledovatelnost operačních procesů v digitálním prostředí na tovární úrovni. Přizpůsobivost výroby a end-to-end viditelnost vysoká. Vysoké využití dat ve vývoji nových produktů. Vysoká úroveň simulací vyrobitelnosti a užití produktu. V procesech poprodejních služeb má podnik užitek z velkého množství dat a nabízí služby v širokém rozsahu. Chytré a spouštěcí (triggering) technologie jsou využívány na vysoké úrovni. Analytické výzkumy a zpracování dat velmi využíváno. Data z prostředí využité pro dynamické oceňování produktů. Vysoká integrace kampaňových systémů a prodejních kanálů. Měření výkonnosti kampaní. Vysoká integrace komunikačních kanálů a spolupráce s partnery. V rámci lidských zdrojů je velké využití operačních dat v mnoha oblastech, sdílení dat v reálném čase s pracovníky v terénu. Implementace IT bezpečnostních řešení sdílení dat s obchodními partnery. Využití IT dashboardů a zcela aplikován princip interoperability. Vysoká automatizace finančních služeb, analýzy dat v reálném čase.

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Tabulka 4: Strategie a organizace - požadavky

Úroveň	Popis
Úroveň 0: Absence	Žádné nebo minimální využití prvků Průmyslu 4.0.
Úroveň 1: Existence	Produkty/služby nekompatibilní s digitálními obchodními modely, podpora zdroji na nízké úrovni. Povědomí o modelech nabízení něčeho „jako služba“. Příjmy z data-driven služeb (0-2,5%). Pilotní iniciativy a zkoumání benefitů. Menší množství strategických partnerství se stakeholdery. Malý rozpočet a plány investic do technologií v několika málo oblastech. Organizační struktura nedostatečná, omezená interakce mezi odděleními, IT funguje centrálně, OT/IT fungují odděleně. Pracovníci s digitálními dovednostmi v technologických oblastech, nepřipravení k projektům transformace.
Úroveň 2: Přežití	Kompatibilita produktů a služeb s digitálními modely a podpora zdroji na střední úrovni. Vysoké povědomí o modelu „jako služba“, příjmy z data-driven služeb (2,5-10%). Formulovaná strategie a několik strategických partnerství. Vedení uznává výhody a potenciál, plánuje investice. Středně velký rozpočet, provádění investic v některých funkčních operacích. Roční CBA a finanční analýzy. Vhodná organizační struktura pro počátek, většina oblastí podniku má dobře rozvinuté digitální dovednosti a pracovníci jsou přiděleny ke konkrétním projektům v rozdílných týmech. Existence místní IT jednotky (oddělení) pro každou oblast, kde je pracovní prostředí a spolupráce IT/OT. Oddělení jsou otevřená spolupráci napříč podnikem.
Úroveň 3: Vyspělost	Podpora digitálních obchodních modelů na vysoké úrovni. Modely „jako služba“ jsou implementovány a nabízeny. Příjmy z data-driven služeb (>10%). Mnoho strategických partnerství a strategie je implementována nebo se implementuje. Rozsáhlá podpora Průmyslu 4.0 vedením a v širším podnikatelském prostředí. Vysoký rozpočet na technologie, investice téměř ve všech funkčních oblastech. CBA a finanční analýzy prováděny častěji (čtvrtletně). Organizace dobře strukturovaná, špičkové digitální a analytické dovednosti převažují napříč podnikem a jsou alokovány k projektům ve stejných týmech. Připravený IT expert pro každou oblast, kde je potřeba a kde dochází ke střetu a spolupráci IT/OT. Oddělení spolupracují napříč podnikem a jsou otevřené ke kolaboraci pro inovace a zlepšování.

Zdroj: Vlastní zpracování (2023), (Ustundag & Cevikcan, 2018)

Zodpovězené dotazníkové otázky byly bodově ohodnoceny v rozsahu 0-3 bodů a získané odpovědi byly následně vyhodnoceny. U otázek, kde bylo více možností odpovědí, došlo k přepočtu bodů poměrově ke každé možnosti. Každá možnost tak měla hodnotu 3/n.

Pokud byly možnosti odpovědí rozděleny do sloupců, byl každý sloupec váhově ohodnocen a došlo tak k rozdělení bodů mezi sloupce. Při hodnocení byl brán zřetel na požadavky úrovní zralosti. Výsledné bodové ohodnocení bylo určeno dle vztahu:

$$O = \frac{3}{n_1} * m_1 * p_1 + \dots + \frac{3}{n_n} * m_n * p_n \quad (1)$$

Kde:

O... skóre otázky

n_i ... počet možností sloupce

m_i ... počet zaškrtnutých možností ve sloupci

p_i ... váha sloupce

Výsledné skóre zralosti bylo určeno dle vzorců:

Zralost oblasti:

$$Z_{DPi} = \frac{\sum_{j=1}^n O_{Pij}}{n} \quad (2)$$

Zralost dimenze:

$$Z_D = \frac{\sum_{i=1}^m Z_{DPi}}{m} \quad (3)$$

Celková zralost:

$$Z_O = \min(Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n) \quad (4)$$

Kde:

Z_{DPi} ... zralost oblasti

Z_D ... zralost dimenze

Z_O ... zralost celková

P_i ... přidružená oblast

O_{Pij} ... skóre otázky přidružené oblasti

n ... počet otázek

m ... počet přidružených oblastí

První zkoumanou oblastí byly **Chytré produkty a služby**. Firma vyrábí klimatizační jednotky, které jsou osazeny technologiemi a čidly potřebnými pro provoz. Jednotka je

schopna sbírat provozní data a provádět diagnostiku a měření provozních parametrů. Kromě standardních funkcí a řízení v provozu jednotka nijak nekomunikuje ani nesbírá data z okolí či napříč systémy ve výrobním procesu či v provozu. Využívá základních technologií ICT (slaboproudá část elektroinstalace jednotky) - řídicí jednotku (regler, počítač) a přenosové technologie pro komunikaci se systémem vlaku, umožňující řízení a monitorování klimatizačního systému. Pokročilé technologie IoT, které by dělaly produkt „chytrým“ a kompatibilním s IoT obchodními modely, nejsou v provozu. Alespoň ne samostatně. Jedná se o jednu část vlaku a pokud lze celý vlak označit za chytrý, pak stačí, aby jednotka byla jen schopna komunikace s vlakem.

Firma nesbírá žádná data, a tedy nenabízí žádné poznatky a služby založené na datech z produktů např. v souvislosti s IoT obchodními modely, ani s produkty nijak nekomunikuje. Na základě provozních dat by však bylo možné nabízet diagnostické či prediktivní datové analýzy jako službu (IoT byznys model), to se týká spíše nadřazeného subjektu (podniku) nad zkoumaným podnikem.

Produkty nijak s ničím neinteragují ani neovlivňují výrobní procesy, nenavigují se samostatně skrz výrobu a nejsou opatřeny chytrými technologiemi. Procesy a produkty neumožňují aktivní interakci produkt x proces/systém a nepodporují autonomii. Ve stavu, ve kterém opouští podnik se jedná o „jednoduchý“ produkt. Jsou ale jednoznačně identifikovatelné a je možné je vnitropodnikově sledovat. V podnikovém systému je tedy možné digitálně zachycovat stav jednotky a informace o výrobním procesu a historii. Nejedná se však o funkce produktu, jako spíše o funkce procesu. Produkt tyto informace nijak nesbírá, nezpracovává ani neukládá.

Oblast byla vyhodnocena stupněm 0 – Absence (0,625 – 0,875), přičemž se však blíží ke stupni 1. Produkty nelze považovat za chytré, nedisponují potřebnými funkcemi a nemají aktivní vliv na výrobní či distribuční procesy (rozhodování, autonomie, aktivní podpora výrobního procesu, sběr/ukládání/zpracování dat, provádění výpočtů).

Tabulka 5: Hodnocení oblasti chytrých produktů

Otázka č. 1	0 / 1	-
Otázka č. 2	1,5	-
Otázka č. 3	1	-
Otázka č. 4	0	-
Celkové skóre	0,625 / 0,875	Úroveň 0

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

V kontextu organizace a povahy výroby (úroveň a možnost automatizace) je sběr dat a uchování v informačních systémech dostatečný a inteligence výrobku a autonomie v tuto chvíli nemá ve výrobě žádné využití. Vzhledem k tomu, že nabízení služeb na základě dat z provozu výrobku by se pravděpodobně týkalo nadřazené organizace, bylo by možné tuto část z modelu vyloučit. Tím by výsledná úroveň vzrostla na 1 – Existence.

Druhou hodnocenou oblastí byly **podnikové procesy**. První část se týkala chytré výroby a operací. Firma využívá několik informačních systémů, které jsou z větší části napojeny na hlavní systém. Problém je ovšem v oblasti integrace dodavatelského řetězce, kde dochází jen k výměně základních dat a řetězec neumožňuje end-to-end viditelnost (malá integrace). Přitom hlavní dodavatel / odběratel je partnerská firma ze skupiny Faiveley. Firma shromažďuje větší množství dat z procesů, nicméně zaostává v jejich využití zejména v souvislosti s pokročilými principy Průmyslu 4.0. Na nižší úrovni se využívá mobilních technologií a 3D tisku. Pokročilé a inovativní (podpůrné) technologie chybí. Firma buduje infrastrukturu – jádrové technologie. Operace lze do jisté míry sledovat v digitálním prostředí a dochází k virtualizaci na úrovni pracovních buněk. Firma se vyznačuje velkou mírou personalizace produktu, ale nízkou mírou automatizace jak výrobních (složitě až nemožné), tak i podpůrných procesů. Naopak výzkum a vývoj je na velmi dobré úrovni, ale nedostatkem je opět využívání dat sbíraných produktem. Pracuje se tak zejména se zpětnou vazbou zákazníků. Přesto firma dosahuje relativně dobrého výsledku, především díky výzkumu a vývoji.

Tabulka 6: Hodnocení chytré výroby a operací

Chytrá výroba a operace	1,87485	Úroveň 2
Výroba, logistika a zásobování	1,3497	-
Výzkum a vývoj	2,4	-

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Druhá část byla zaměřena na chytrý marketing a prodej. Tato oblast byla problematická z důvodu, že řada činností jde mimo rozsah organizace. Činnosti spojené s marketingem, propagací, stanovováním cen, analýzami ziskovosti a prodejem jsou doménou nadřazené organizace. Což jen podtrhuje závislost podniku na celé skupině a znemožňuje nezávislý rozvoj firmy a budování samostatnosti. To představuje překážku i pro transformaci na podnik Průmyslu 4.0. Na druhou stranu podnik má velmi stabilní a silnou pozici právě

díky tomuto vztahu. Pokud se bude brát v potaz celý kontext existence podniku, pak lze tyto oblasti do jisté míry považovat za nerelevantní a otázka jejich rozvoje a transformace na Průmysl 4.0 je v zodpovědnosti nadřazeného subjektu. Zkoumaný podnik by se zaměřoval jen na transformaci v oblasti výroby a souvisejících procesů.

Bylo možné hodnotit komunikaci se zákazníky, kde se opět vyskytoval problém s malou integrací a výměnou dat v reálném čase, a tedy i nízkým využitím digitálních technologií při podpoře prodeje a v procesech poprodejních služeb. Omezené je i množství služeb a datové analytiky nabízené v poprodejních službách. Naopak firma shromažďuje velké množství dat z poprodejních procesů a zpětné vazby zákazníků, které dále využívá pro zlepšování kvality, odhalování problémů a jejich snižování. Často jde i o data ze záručního a pozáručního servisu, která se mohou projevit změnou v kvalitě a designu jednotky či způsobu provedení práce. Firma tak zvyšuje své know-how. Kvalita výrobků je klíčová, jelikož se na ně často vztahuje velmi dlouhá záruční doba. To se dále projevuje v optimalizaci rezerv a plánování náhradních dílů. Hodnocení bylo upraveno o nehodnocené činnosti. Oblast cen a propagace byla zcela vypuštěna.

Tabulka 7: Hodnocení chytrého marketingu a prodeje

Chytrý marketing a prodej	0,72	1,083	Úroveň 0-1
Poprodejní služby	1,167	1,167	-
Stanovení cen/propagace	0	-	-
Prodejní a distribuční kanály	1	1	-

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Ve třetí části se hodnotily oblasti jako lidské zdroje, IT a finance. Z hlediska lidských zdrojů je na tom firma relativně dobře. Firma se zajímá o zvyšování kvalifikace zaměstnanců různými vzdělávacími a školicími kurzy a řízení znalostí je na dobré úrovni. Podnikové systémy mají schopnost sdílení dat s pracovníky v terénu v reálném čase a trénování/školení pracovníků lze v určitých oblastech provádět ve virtuálním prostředí. Společnost shromažďuje a analyzuje řadu různých druhů dat z personální oblasti, alespoň co se týče základních metrik.

Při hodnocení IT (zabezpečení, ICT) se vycházelo z omezených informací i odhadů. Úroveň informačních technologií je na relativně dobré úrovni. Nedostatky lze ovšem nalézt v kontextu některých principů Průmyslu 4.0, například interoperabilita/integrace systémů, nižší úroveň virtualizace nebo M2M komunikace. Ačkoli mohou být pro firmu

relevantní, jejich zavedení je problematické nebo v momentálním stavu nemožné. Komunikace se stroji/systémy je řešena pomocí místních terminálů. Chybějící či omezené napojení na systém, řízení přes mobilní technologie či využívání rozšířené reality pouze podtrhuje nedostatky výše zmíněných principů.

Informace o úrovni chytrých financí nebyly dostupné a nelze je tedy přesně hodnotit a říci, do jaké míry se využívají pokročilé technologie a principy Průmyslu 4.0 v této oblasti. Při porovnání s dosahovaným skóre u jiných oblastí se lze pouze domnívat, že i zde by bylo skóre na podobných hodnotách a pravděpodobnost dosažení maximálního hodnocení je nízká. Pokud by ovšem tyto činnosti chyběly nebo byly v režii nadřazeného subjektu, pak by to zcela oprávněně snižovalo zralost podniku. Zralý podnik by si měl uvědomovat důležitost finančních údajů a jejich využívání a provádění kalkulací i v reálném čase a do určité míry i automatizovat finanční systémy.

Tabulka 8: Hodnocení podpůrných operací

Podpůrné operace	1,4305	Úroveň 1
Podpůrné operace - úprava o chytré finance	2,1458	Úroveň 2
Lidské zdroje	2,625	-
Informační technologie	1,67	-
Chytré finance	0	-

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Z hodnocení dílčích částí bylo možné určit skóre chytrých podnikových procesů. Opět bylo vypočteno skóre i s přihlédnutím k nehodnoceným oblastem. Podnik se pohybuje mezi úrovní zralosti chytrých procesů 1-2.

Tabulka 9: Hodnocení oblasti podnikových procesů

Chytré podnikové procesy	1,2760	Úroveň 1
Chytré podnikové procesy s úpravou	1,7013	Úroveň 1

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Třetí hodnocenou oblast představovala **strategie a organizace**. Produkty ani služby podniku nejsou v souladu s inovativními IoT obchodními modely a v podniku není žádný takovýto model implementován a nenabízí žádnou službu „as-a-service“. Podobně jako u marketingu a prodeje je problematika inovativních obchodních modelů v režii nadřazené

organizace. Nabízení dalších služeb tak jde mimo rozsah činností podniku a v jeho kontextu to lze považovat za nerelevantní. V hodnocení tak lze tuto oblast vyloučit. Nicméně to stále lze považovat za překážku pro jeho další rozvoj a nacházení nových způsobů zpeněžování činností a služeb, a tím i pro budování samostatnosti, pokud by to bylo žádoucí.

Podnik v tento moment nemá žádná partnerství pro projekty Průmyslu 4.0 například z řad dodavatelů, akademické sféry či poskytovatelů technologií. Dá se ovšem předpokládat, že by získal podporu z vnitřku skupiny a partnerem by byla nadřazená organizace. Strategie ještě není jasně formulovaná a neexistuje žádný systém indikátorů monitorující implementaci. Strategie je přitom zásadní pro úspěšnou transformaci. Momentálně se zahajují a běží pilotní iniciativy, přičemž hnací silou jsou mobilní technologie, senzory a RFID/RTLS. Zaměřenými oblastmi jsou pouze výroba a logistika.

Organizační struktura není zcela připravena na změny spojené s transformací Průmyslu 4.0. V podniku nefiguruje organizační jednotka zaměřená na Průmysl 4.0 ani direktor transformace. Není zavedena ani žádná struktura založená na datech a její analýze. Vybavenost digitálními dovednostmi je nižší napříč celým podnikem. Zaměstnanci s určitými digitálními dovednostmi jsou jen ve vybraných oblastech, především v technologicky zaměřených. Momentálně neprobíhá žádný trénink či školení zaměstnanců pro digitální transformaci. Komunikace a interakce napříč podnikem je mezi odděleními vysoká a je zde otevřené prostředí pro mezi funkční spolupráci. Systematické řízení inovací není zavedeno. Inovace jsou řízeny jen postupným zlepšováním – Kaizen.

Hodnocení zohledňuje zahrnutí i nezahrnutí nehodnocených oblastí a malý odhad chybějících údajů. Výsledný rozdíl skóre zralosti není signifikantní a na výslednou úroveň zralosti to nemá žádný vliv.

Tabulka 10: Hodnocení oblasti strategie a organizace

Obchodní modely	0	-
Strategická partnerství	0,33	0,83
Investice do technologií	0,4375	0,7187
Organizační struktura a vedení	0,7857	0,85
Strategie a organizace	0,5141	0,6005
Strategie a organizace s úpravou	0,6855	0,8006

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Na základě hodnocených oblastí bylo možné určit úroveň zralosti podniku. Dle autorů modelu je finální zralostí minimum ze všech oblastí. V tomto případě se jedná o úroveň 0 – Absence, se skóre v rozmezí od 0,5 – 0,6, což je lehce nad polovinou intervalu. Nutno dodat, že model zkoumá všechny možné oblasti podniku, ale ne vše musí být pro podnik relevantní. V kontextu zkoumaného podniku má větší relevanci oblast podnikových procesů, zejména výroba, logistika a konstrukce s kvalitou, kde dosahovala oproti ostatním oblastem dobrých výsledků. Naopak služby a chytré produkty nejsou tolik důležité a jdou většinou zcela mimo organizaci. Firma by se pak měla zaměřit na relevantní oblasti a u těch se snažit o zlepšení. Jelikož i když zralost ve všech oblastech je určitým ideálem firmy Průmyslu 4.0, ne vždy je to možné splnit ve všech případech.

Nicméně slabé výsledky vykazuje i oblast strategie a organizace, a to by měla být jedna z priorit každého podniku. Z výsledků je tedy zřejmé, že firma se nachází na samém začátku digitální transformace a adopce nových přístupů. Strategie není zcela definovaná a organizační struktura není zcela v souladu se změnami. V rámci digitalizace se zavádí pilotní projekty, které mají za úkol převádět zastaralé činnosti prováděné manuálně a fyzicky do digitální podoby. Začíná se budovat infrastruktura postavená na jádrových technologiích, bez kterých další transformace není možná.

Průměrná výše hodnocení byla mezi 1 – 1,3, což odpovídá zralosti úrovně 1 a v kontextu organizace a různé důležitosti oblastí to vystihuje stav podniku nejlépe. Finální zralost podniku se tak pohybuje okolo úrovně **1 – Existence**. Místy se pohybuje mezi úrovní 1 a 2.

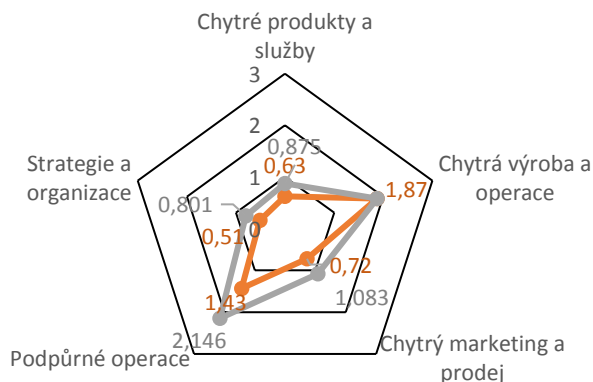
Tabulka 11: Celkové hodnocení zralosti podniku

Chytré produkty a služby	0,625 – 0,875	0 – Absence
Chytré podnikové procesy	1,2760 – 1,7013	1 – Existence
Chytrý výroba a operace	1,87485	2 – Přežití
Chytrý marketing a prodej	0,72 – 1,083	0/1 – Absence/Existence
Podpůrné operace	1,4305 – 2,1458	1/2 – Existence/Přežití
Strategie a organizace	0,5141 – 0,8006	0 – Absence
Celková zralost podniku (min)	0,5-0,6	0 – Absence
Průměrně dosahovaná zralost	1,0737 – 1,3718	1 - Existence

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

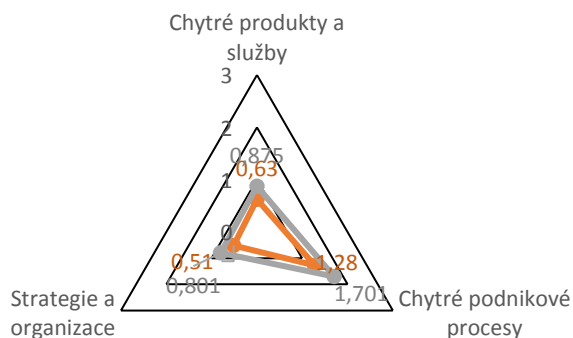
Grafické znázornění zralostí zobrazují radarové grafy 1 a 2.

Graf 1: Zobrazení dílčích částí hodnocení



Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

Graf 2: Zobrazení hlavních částí hodnocení



Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

K ověření zralosti byl využit i model Industrie 4.0 – Readiness IMPULS. Ten využívá 6 stupňovou škálu hodnocení od 0-5 a zkoumaným oblastem přiřkládá různou váhu. Výsledky jsou velmi podobné a do určité míry potvrzují výsledky prvního modelu.

Tabulka 12: Hodnocení zralosti podniku dle IMPULS

Strategie a organizace	Úroveň 2	Středně pokročilý	Váha – 0,254
Inteligentní továrna	Úroveň 1	Začátečník	Váha – 0,143
Chytré operace	Úroveň 1-2	Středně pokročilý	Váha – 0,102
Chytré produkty	Úroveň 0-1	Outsider/začátečník	Váha – 0,185
Služby založené na datech	Úroveň 0	Outsider	Váha – 0,138
Zaměstnanci	Úroveň 2-4	Středně pokročilý / Expert	Váha – 0,179
Celková zralost	1,398 – 1,571	Úroveň 1 – 2 Začátečník / středně pokročilý	-

Zdroj: Vlastní zpracování (2023)

4.3 Probíhající inovační projekty

V podniku probíhají dva hlavní projekty. První je zaměřen na digitalizaci procesů spojených s výrobou, sledování jednotek a sběr a uchování dat. Druhý projekt se zaměřuje na automatické skladové systémy.

4.3.1 Digitalizace výroby

Jedním cílem je převedení papírové dokumentace do digitální podoby, zavedení řízeného toku dokumentů a evidence výrobní historie výrobku – mít tak prokazatelně zkontrolovaný proces u každé jednotky. Ke každé klimatizační jednotce byl přiřazen dokument, do kterého se postupně zaznamenávaly údaje tak, jak šla jednotka celým procesem od příjmu až po expedici. Jedná se o záznamy o izolaci a těsnosti jednotky, elektrické a zámečnické montáži včetně checklistu, tlakových a vysokonapěťových zkoušek. Do tohoto dokumentu se také zadávala identifikační čísla hlavních komponent (př. ventilátory, kompresory, el. svazky a počítače, topení apod.) a také ID momentových klíčů a krimpovacích kleští. K tomuto dokumentu se dále připojuje dokument kontroly kvality (checklist), případně záznam o nalezení a odstranění chyby (list závad) a také dokument z funkčního testu jednotky, případně další záznamy. Výsledná dokumentace se následně přepisovala a skenovala do systému.

Řešením je a bylo zavedení tabletů a terminálů na jednotlivá pracoviště a pro kontrolory kvality. Každé pracoviště se tak může přihlásit do systému, zadat projekt/zakázku, jednotku a její ID/sériové číslo a všechny potřebné údaje do elektronického protokolu. Přístupové údaje mají jednotliví pracovníci. V případě, že na pracovišti běží souběžně několik projektů, jsou nasazeny tablety v potřebném množství tak, aby nedocházelo k prostojům, kdy na sebe týmy/pracovníci musí čekat, aby mohli zadat údaje a pokračovat v práci. Kontrola kvality může rovněž zadávat průběh kontroly rovnou do systému. Pracoviště funkčního testování je vybaveno počítači a lze je použít k nahrávání údajů do systému.

Vzhledem k tomu, že nová mobilní zařízení mají i fotoaparát, odpadá potřeba digitálních fotoaparátů, které se využívaly při kontrole například k focení závad a ID štítků komponent montované do dané jednotky. Tyto fotografie se následně musely nahrát do počítače a podnikového systému. Z mobilního zařízení to lze nahrát rovnou do systému k historii dané jednotky. Odpadá tak zbytečná chůze z pracoviště k počítači a nahrání

fotek. Navíc kontrolor nemusel mít u sebe fotoaparát vždy, takže následovala cesta pro fotoaparát, zpět na pracoviště a pak k počítači fotografie nahrát. Což zabere několik minut zbytečného pohybu. Dále dochází k decentralizaci, jelikož některé činnosti jsou v tomto ohledu přesouvány na pracovníky montáže. Je možné, že samotní pracovníci mohou fotit ID komponent a touto činností se kontrolor vůbec nemusí zabývat. Což ve výsledku může zrychlit proces montáže, jelikož se na kontrolu nemusí čekat před namontováním dílu a zlepšuje se plynulost.

Údaje se sbírají i o použitých nastavitelných momentových klíčích. Záznam je jak o použití, tak i o nastavení a přezkoušení utahovacího momentu, což podporuje evidenci montážního procesu a zvyšuje jeho transparentnost. Stejný systém se zavádí i pro krimpovací kleště, jejichž identifikační čísla se již zadávala do dokumentace jednotky, ale seřizování lisovací síly a kontrola kleští probíhala intervalově na odděleném místě pověřenou osobou. Přezkoušené kleště byly označeny zkušebním štítkem s datem platnosti (roční/měsíční). Tímto se však spoléhalo na to, že kleště budou funkční po celou dobu a nedojde u nich například k výraznému snížení lisovací síly nebo k poškození lisovacích čelistí, což by mělo za následek nekvalitní lisované spoje a konektory. Zároveň to nevyklučovalo použití kleští s propadlou kontrolou. Nově se tak budou aktivně zkoušet / zkoušejí se i krimpovací kleště přímo pracovníky montáže. V historii jednotky tak bude záznam o použitých kleštích, datum použití a záznam a datum o jejich kontrole.

Údaje se do systému zadávají ručně. Výjimku tvoří identifikace jednotky, kterou je možné naskenovat čtečkou z QR kódu. Skenery jsou součástí tabletů na pracovištích případně se používají samostatné čtečky v jiných oblastech. Skenování kódu se využívá i u krimpovacích kleští a momentových klíčů. Pracovníci mohou pro přihlášení do systému využívat automatické identifikace pomocí kódu na průkazce pracovníka.

Digitalizace těchto procesů umožňuje sledování milníků jednotky, a tedy získání údajů o tom, v jaké fázi se jednotka nachází. V systému se může sledovat, co již bylo uděláno, jaké komponenty byly namontovány a v jaký čas. Lze tak sbírat data, případně to přináší možnosti sběru dat, o průběžných dobách výroby (základem je údaj o času příchodu a odchodu jednotky z pracoviště), době pro montáž určité části, chybách a jakostních kvótách, chybovosti materiálu, využití/vytižení pracovníků, zbývající práce a dalších výkonnostních metrikách. V podstatě to rozvíjí a podporuje virtualizaci pracovišť, což dělá celý montážní proces více transparentním a zjednodušuje jeho řízení. Pro samotnou montáž by to mělo představovat zeštíhlení některých činností, což by se mělo projevit na

celkové produktivitě / efektivitě. Řídící pracovníci si mohou najít konkrétní pracoviště a jednotku, kde vidí stav, co bylo uděláno, procento rozpracovanosti, odhad zbývajících pracností, doby sestavení apod. Rovněž jsou zde vidět informace o průběhu a problémech. Pokud dojde k pozastavení prací v důsledku problému či chybějícímu materiálu, lze to označit jako zastavenou linku, což dává jasný příkaz k řešení problému. Do systému lze k příkazům přidávat poznámky.

Rovněž to přináší nové a efektivnější možnosti komunikace. Pracovníci jsou například schopni si zavolat kontrolora kvality tím, že do systému dají žádost o kontrolu. Odpadá čekání na kontrolora, nebo jeho shánění a běhání po hale a zvyšuje se tak plynulost výrobního procesu. V případě výstupní kontroly to byl problém tehdy, pokud bylo nutné tuto jednotku expedovat co nejdříve. Někdy se však jednalo o průběžnou kontrolu a evidenci komponent k montáži, což zamezovalo pokračování prací, jelikož štítky se sériovým číslem potom nemusí být vidět. Další zlepšení komunikace je v oblasti materiálu, zejména velkých komponent. V systému lze zadat požadavek do skladu na dodání komponenty. Což opět zlepšuje plynulost procesů. Důležité je, aby pracovníci požadavek dávali nejlépe v dostatečném předstihu. Může se stát, že komponenta nebude ihned připravená na skladě, protože z nějakého důvodu došlo k chybě v komunikaci či plánování a nikdo si nevšiml, že chybí. Pokud si tak pracovník všimne, že nemá kabelový svazek ve chvíli, kdy ho chce dávat do nové jednotky, může trvat několik hodin, než dorazí. A jelikož to bude spěchat, tak na pracoviště dorazí ještě zabalen v krabici, a to není ideální. Poslední zlepšení komunikace je směrem k vedení, zejména k operativnímu vedení. Ti totiž mohou sledovat výrobu díky digitálnímu sběru dat, a i v terénu jsou vybaveni chytrým telefonem či tabletem. Odpadá tak využívání psacích desek a ručního odškrtávání průběhu plánu a při každodenních obchůzkách.

V rámci komunikace se rovněž zavedly digitální tabule či obrazovky na klíčová místa v provozu. Zde jsou uvedeny jednotky, které mají být z příjmu vychystány na pracoviště izolace a připraveny pro uvolnění do montáže. Rovněž to dává pokyn pro vývoz materiálu, na sklad velkých dílů apod. Mělo by tak dojít k sladění procesů a zjednodušení komunikace, která byla v minulosti řešena převážně vývěsními tabulemi a chůzí pracovníků operativního řízení, kteří zajišťovali přenos informací.

Výhoda zadávání rovnou do systému je také v tom, že může kontrolovat zadávané údaje a obsahovat mechanismus odolný proti chybnému záznamu. Samozřejmě na chybný či chybějící záznam může upozornit kontrolor kvality již na pracovišti. Ale správnost

sériového čísla, respektive jeho duplicita se ověří až po přepisu papírové dokumentace do systému. V ojedinělých případech mohlo být sériové číslo duplicitní a prodleva mezi uvolněním jednotky a zjištěním této závady představovala problém při dohledávání a nápravě (musela být provedena vizuální kontrola ID štítku a potvrzení chyby, pokud nebyl vidět, tak vymontování dílu, a poté úprava v systému a tisk nového štítku).

Součástí projektu digitalizace je i vytváření digitálních návodů a fotoknih a digitalizují se výrobní postupy. Tyto návody jsou pro kontrolu kvality, kde jsou fotografie a postup kontroly co a jak krok za krokem. V kombinaci s digitálním checklistem to vytváří jednotný způsob kontroly kvality a omezuje to riziko přehlédnutí vady na výrobku. Dále to zrychluje a zlehčuje zaučení nových kontrolorů kvality. Pro elektrikáře a zámečníky jsou dostupné a dohledatelné digitální verze výkresů, schémat zapojení a kusovníků. Což je dobré zejména pro udržení pořádku na pracovišti a dispozice požadované technické dokumentace. Také je mnohem snazší udržovat digitální dokumenty aktuální. Nemělo by se tak stávat, že na pracovišti bude stará verze výkresu bez nově zavedené změny. Prvky virtualizačních technologií (VR, AR) nejsou v provozu.

Co se týká lokalizačního systému, ten funguje převážně na čárových a QR kódech a jejich ručnímu skenování (případně ručním zadáváním čísel do systému). Takto lze identifikovat klimatizační jednotky, komponenty, plechy a materiál připravený a spočítaný přesně na zakázku. Údaje o množství (obecného) materiálu na pracovištích v tuto chvíli nejsou sbírána. Obecným materiálem je myšlen spotřební materiál typu šroubky, nýty, stahovací pásky apod. Tento materiál je dostupný u výdejního místa, odkud je distribuován na pracoviště dle potřeby a pracovníci si mohou chodit své zásoby doplňovat. Toto výdejní místo využívá systému kanban s elektronickou výměnou dat s dodavatelem v rámci zásobování. Pohyb komponent či plechů není dostatečně monitorován a současný systém nepodporuje výměnu dat v reálném čase. S ohledem na to, že digitální transformace je v iniciační fázi, je možné, že při vybudování dostatečné infrastruktury založené na technologiích RFID/RTLS bude možné sledovat pohyb jednotek i tok materiálu a komponent v dostatečné míře a řadu věcí tak plně zautomatizovat. Což je i cíl a prostor pro zlepšení do budoucna.

Tento projekt je prvním, ale zároveň velmi důležitým krokem, jelikož bude tvořit základ, který bude možno dále rozvíjet, a vytváří prostor do budoucna. Již tyto změny mají

výrazný vliv na štíhlost a plynulost těchto procesů. Výroba je více transparentní, monitorování a řízení se stává jednodušším a rychlejším. Eliminace papírové dokumentace uspoří ročně až desítky tisíc listů papíru. Na každou jednotku může připadat cca 9-12 listů papíru jen ve výrobě, tedy bez dokumentace funkčního testu, expediční dokumentace a případných dalších papírů. Ročně se vyprodukuje kolem 3600 jednotek a roční úspora by tak čítala ~ 32 400 - 43 200 listů. Společně s tím se uspoří i čas vynaložený na přípravu a zpracování dokumentů. Čas by měl být uspořen i v samotné montáži a kontrole kvality například vlivem snížení prostojů, mikro přestávek či zbytečných pohybů. Ročně to může znamenat stovky ušetřených hodin, zkrácení průběžné doby výroby, a tedy zvýšení ročního objemu produkce. Papíru je ale i tak stále dost. Pro představu, každý přivezený materiál na pracoviště, komponenty, plechy z vysekávacích strojů, trubky, svařence mají doklad / průvodku materiálu. Potenciál v podobě jen ušetřeného papíru je enormní. Palety s materiálem by například mohly být jen označeny čárovým / čárovými kódy nebo RFID čipem. Případně ještě štítkem s ID číslem a či základními informacemi o počtu, podle kterých se orientují pracovníci ve výkresech při montáži. V naprosté většině případů pracovníkovi stačí znát pouze ID číslo, které je uvedeno ve výkresu a kusovníku. V ostatních případech, při řešení problému, by stačilo naskenovat kód. Stejný způsob by mohl být uplatněn i pro plastové krabičky s drobným materiálem. Všechny informace by tak bylo možné načíst z kódu. Pokud se materiál kontroluje a přepočítává dle průvodky, lze i tuto kontrolu zadávat digitálně například pomocí tabletu hned na místě při naskenování kódu. Nehledě na to, že všechny doklady jsou a byly opatřeny čárovým kódem i v minulosti.

4.3.2 Automatizované skladové systémy

V rámci skladové logistiky dochází k většímu nasazování mobilních technologií mezi pracovníky skladu a zlepšování identifikace a lokalizace položek a skladových míst. Nutno dodat, že společnost řídí zásoby velmi operativně v krátkodobém horizontu. Zásoby pořizuje pouze do přímé spotřeby a nevytváří zásoby materiálu ani zboží na skladě. Materiál k výrobním pracím je nakupován jménem a na účet odběratele služeb, který ho eviduje ve své skladové evidenci. Využívá se tak určité formy řízení zásob dodavatelem – VMI. VMI je způsob, který je podporován i v rámci informačního systému Infor M3. Využívání nových technologií se tak týká i dodavatele materiálu. Hojně se

využívá chytrých čteček při skenování a zadávání množství odebíraného materiálu. Manipulanti využívají chytrých telefonů.

Nejvýraznější změnou je zavedení automatizovaných systémů skladování malých dílů. Konkrétně se jedná o systém dynamického skladování drobných dílů Jungheinrich. Jde o karuselové zakladače využívající oběžného principu páternoster. Pomocí terminálu lze rychle najít požadované díly. Materiál rotuje k vychystávacímu oknu v dolní části, kde je přístup k celé řadě (dle velikosti okna i k více řadám) boxů s drobným materiálem. Celý zakladač je možné napojit na systém řízení skladu (WMS) pomocí vestavěného rozhraní. Pohyby a stav materiálu lze tak aktualizovat v reálném čase v hlavním systému. Výhodou je rychlejší doba vychystávání drobných dílů oproti statickému řešení a hledání v regálových pozicích a rychlý přístup ke všem položkám z jednoho místa. Optimalizuje se i efektivní využití skladové plochy.

4.4 Zhodnocení stavu a návrh doporučení

Vyspělost podniku z hlediska Průmyslu 4.0 byla hodnocena dvěma modely. Dle obou modelů se podnik nachází na začátku digitální transformace. V užší perspektivě, při zaměření na pro firmu důležité oblasti, si podnik vede o něco lépe než celkově. Výroba, logistika, zásobování je tak jednou z nejlépe hodnocených oblastí podniku. To lze považovat za klíčovou oblast, která by se měla primárně rozvíjet. Na této oblasti podnik v podstatě stojí. Například marketing jde naopak mimo organizaci. To je důvod, proč firma v některých oblastech dosahuje alespoň základních hodnot kritérií a v jiných dosahuje minima bodů či úplné absence principu Průmyslu 4.0. Jedná se tak o určení toho, co má smysl v podniku rozvíjet, a co naopak je pro podnik zbytečné a nežádoucí. Zcela vyspělý a „ideální“ podnik by dosahoval dobrých výsledků ve všech oblastech hodnocení. V kontextu tohoto podniku je však jediným hlavním cílem zabezpečit výrobu a logistiku, což je jeho úkol v rámci skupiny, která zajišťuje vše ostatní. Hlavním zaměřením podniku by tak mělo být zlepšování výrobních a logistických procesů a jejich podpora digitálními technologiemi, kde je stále velký potenciál pro zlepšování.

4.4.1 Obecné zhodnocení stavu a doporučení

Z hlediska technologií firma vykazuje pokroky. Není to tak dávno, kdy ve firmě v podstatě fungoval jen základní informační systém, a nyní dochází k rozšíření mobilních

technologií, prvků RFID či senzorů a částečné virtualizaci a digitálnímu sběru dat a sledování metrik. V této fázi zatím nemůže být řeč o zavedení složitých technologií. Nejdříve je nutné vybudovat základní infrastrukturu, která je postavená na jádrových technologiích typu RFID/RTLS, mobilní technologie, senzory, akční členy, budování IoT a virtualizace. To umožní převedení fyzické továrny do digitálního světa a vytvoření CPS, což zlepší monitorování a řízení celého systému a zautomatizuje řadu činností. Vzhledem k povaze výroby je potenciál v nevýrobních a podpurných procesech, ačkoli i manuální práce lze digitálně podporovat například chytrými nástroji a digitálním obrazem celého výrobku – může se tak sledovat proces montáže, jestli byly utaženy všechny šrouby apod. I z toho hlediska je nasazení robotů velmi problematické. Výjimkou by mohly být vysekávací stroje, či řezání a ohýbání trubek nebo svařování jednoduchých dílů, ačkoli i zde se naráží na problémy (složitost, rozmanitost dílů). Reálnější využití je spíše v oblasti zásobování, vychystávání materiálu, tedy částečná automatizace skladového systému a případně i distribuce na pracoviště pomocí automaticky řízených vozíků (AGV). Naopak virtualizační technologie v podobě AR by mohla být využitelná jak v rámci vnitropodnikové logistiky, tak i montáže.

Průmysl 4.0 není jen o technologiích. Je to i o přístupu firmy, práci s informacemi, lidmi a o komunikaci. Pro nasazení technologií je důležité mít zmapované a nastavené podnikové procesy. Jak jinak digitalizovat něco, co nemá nastaven standardní průběh. Zaměřit se na data, sledovat metriky a výkonnost celého systému a tím i lépe řídit operace. V neposlední řadě se zaměřit na lidské zdroje, vzdělávání a ergonomii.

Velký nedostatek je v oblasti Strategie a organizace kde chybí jasně formulovaná dlouhodobá strategie a nejsou tak popsány záměry a cíle do budoucna, čím se řídit a jak postupovat. Nedefinovaný přístup k digitální transformaci znamená i chybějící systém indikátorů, podle kterých by se sledoval pokrok. Doporučením do budoucna je formulovat strategii digitální transformace v souladu se zájmy podniku i celé skupiny. Na základě toho sestavit implementační strukturu a systém řízení a z toho vyvodit indikátory ke sledování stavu implementace. Využit lze i systému řízení technologií a inovací. V případě velkých změn by bylo na místě sestavit tým či jmenovat direktora pro digitální transformaci a podporovat spolupráci napříč odděleními s cílem zlepšování a rozvoje partnerství na projektech v rámci skupiny.

Co se týká chytrých produktů, je firma schopná sledovat pohyb jednotky v rámci podniku a evidovat výrobní data. Nejedná se o chytrost jako takovou, pro podnik se jedná o pravděpodobně nepříliš zajímavou oblast a autonomní řízení procesu výroby produktem je zde zbytečné a neaplikovatelné. Produkty nejsou vybaveny žádnými doplňkovými funkcemi ICT jako paměť, integrace, self-reporting, lokalizace, automatická identifikace apod. Nicméně zajímavým řešením by bylo osadit jednotky například RFID čipem a po halách rozmístit RFID brány. Tím by bylo možné automaticky sledovat pohyb jednotky uvnitř systému a eliminovalo by se jakékoliv ruční čtení a zapisování ID jednotky, například na pracovišti. Nebo zavést podobné řešení umožňující self-reporting, lokalizaci, automatickou identifikaci. Tyto technologie by bylo možné využít i pro sledování materiálových toků, zejména velkých komponent. V návaznosti na to firma nenabízí ani žádné služby založené na datech a jejich nabídka jde pravděpodobně mimo rozsah firmy. Nicméně potenciál by byl například v oblasti servisu a nabízení diagnostických a prediktivních služeb.

V rámci chytrých procesů by firma měla zvážit možnost integrace dosavadních systémů s IT infrastrukturou a tomu, zda je vůbec možné systémy zlepšit. Především se zaměřit na integraci dodavatelského řetězce, kde se sdílí jen základní údaje a zlepšit end-to-end viditelnost, tedy digitalizovat dodavatelské řetězce, poskytnou dostupnost a transparentnost dat napříč dodavatelským řetězcem a vytvořit jeho digitální dvojče. Přitom výhradním dodavatelem materiálu a zakázek a odběratelem služeb je partnerská společnost ze skupiny a integrace či společné plánování by tak bylo na místě. Zaměřit se ale i na vnitropodnikové sdílení dat, zjistit kde jsou úzká místa a kde lze využít potenciál z integrací sdílení informací. Dále zhodnotit procesy z hlediska adaptability a kompatibility se stroji, systémy a automatizací. Může se to týkat i nevýrobních procesů, například materiálových toků, sběru dat, či zavedení RPA na některé administrativní procesy.

Firma je na tom relativně dobře co se týká sběru dat, výrobních i poprodejních, a dobře s nimi pracuje. Některá data se ale stále získávají ručně a neprovádí se příliš rozsáhlá analýza dat či hledání vzorů. Ve firmě se nesbírají data ze strojů a nepoužívají se k prediktivní údržbě. Možností je tak prozkoumat potenciál v dolování informací v již sbíraných datech, v automatizaci jejich sběru a jejich vyhodnocování. Dále se zaměřit na sběr ekonomických dat a využívat je k hodnocení efektivnosti operací, a také na

personální data, vytíženost zaměstnanců, analyzovat schopnosti, kompetence a výkonnost.

Integrace systémů a zaměření na data a komunikaci vyžaduje dostatečné zabezpečení. Je nutné zabezpečit externí i interní komunikaci a úložiště. Se zaváděním nových technologií a změnami v informačních tocích bude potřeba i aktualizovat bezpečnostní politiku a strategii v oblasti zabezpečení dat. Integrace systémů také zvyšuje riziko úniku informací, neautorizovaných přístupů a propojené systémy jsou náchylnější na šíření malwaru.

Momentálně nejsou uzavřena žádná strategická partnerství pro digitální transformaci. Firma má silného spojence v podobě skupiny. Jedná se o lídra na trhu se značným know-how. Dá se tak očekávat, že případné sdílení znalostí a společné řešení by firmě velmi pomohlo a zjednodušilo implementaci změn. Což je ve finále přínosné pro celou skupinu.

Nynější projekt digitalizace má kladný vliv na transparentnost procesu, historie výrobku je jasně evidovaná a zlepšuje se tak obraz společnosti a spolehlivost v očích zákazníka. Dochází k zeštíhlování procesů omezením papíru a ztrátového času. Obecně papír lze označit za problémový a dle názoru autora se firma utápí v papíru. Může se tak jednat o ne zcela zjevné plýtvání v oblastech, kterým se v tomto ohledu nedává tak velká pozornost, jako je například plýtvání v administrativě. Digitalizace by tomu mohla výrazně pomoci. Zefektivňuje se řízení a operativní pracovníci musí méně běhat mezi úseky. Na druhou stranu zvýšená komunikace skrze online kanály dostává řídicí pracovníky pod větší tlak, jelikož jsou neustále zahlcováni zprávami. Podvědomě tak cítí potřebu neustále něco řešit a hned reagovat a kontrolovat zprávy. Pocitově jsou tak více vytíženi, i když se jim práce zjednodušila. Zejména pokud povaha jejich práce vyžaduje být mobilní a nejsou neustále u počítače a zprávy se tak hromadí. Možná by tak bylo vhodné rozlišit komunikační kanály na rychlé a pomalé, rozlišovat zprávy dle urgentnosti a směřovat zprávy příjemcům, pro které je obsah relevantní tak, aby nedocházelo k zahlcování a plýtvání v podobě nadprodukce (zbytečné zprávy, příliš mnoho příjemců v kopiích apod.). Obecně by bylo vhodné informace a sbíraná data graficky vizualizovat v podobě dashboardů a výkonnostních ukazatelů, důležité zprávy v podobě varování apod. Nové technologie částečně umožňují trénování či školení zaměstnanců ve virtuálním prostředí a dochází k digitalizaci výrobních postupů.

Současné změny dokumentace se často týkají toho, že vyplňování papírových formulářů je převedeno do vyplňování digitálních formulářů. Na druhou stranu zaměstnanec montáže by měl montovat a vyplňováním papírů či údajů do systému by měl trávit co nejméně času. Dalším krokem by tak mělo být zautomatizování alespoň některých záznamů, u kterých je to možné. Buď formou automatické identifikace nebo prostým naskenováním čárového kódu jednotky či komponenty.

V rámci komunikace sice došlo ke zlepšení a částečné integraci komunikačních kanálů. Nicméně řada věcí se stále musí vyřizovat ručně a v papírové podobě a materiálové toky nejsou zcela podchyceny. Zejména se jedná o problém s vyvážením materiálu, plechů, či požadavky o materiál navíc, řešení reklamací a vrácení dílů z čehož plyne i požadavek na náhradu dílu. To vede k nesouladu v tom, co bylo vyvezeno dle záznamu v systému a co bylo skutečně dovezeno na místo určení, jelikož se materiál někde „ztratil“, zapomněl se vyvézt nebo nedošlo k započítání vyreklamovaných kusů, které ve výrobě chybí. Také stále převládá zvyk z minulosti, kdy se vše vyřizovalo osobně, a nemusí tak dojít ke kontrole systému či zpráv a požadavků v digitální formě nebo se věci řeší mimo informační systém. Přitom veškeré tyto věci by měly být k dispozici v daném systému. Je nutné vše propojit a umožnit transparentní informační tok, a to oběma směry. Aby se eliminovala situace, kdy dojde k uvolnění materiálu v daném počtu kusů, při montáži se jeden vyreklamuje, ale tato informace se už na začátek nedostane a neuvolní se náhradní díl. Umožnit zadávání žádanek jednoduše skrze systém. Monitorovat materiálové toky pomocí systému buď čárových kódů a čteček nebo systému automatické identifikace RFID. Vytvořit systém bran či kontrolních bodů a pomocí toho sledovat, kde se materiál, paleta s plechy nachází. Pokud by manipulační jednotky a místa určení byly označeny identifikátorem, bylo by možné sledovat jejich polohu dle záznamů.

Nový systém umožňuje pracovníkům provádět vlastní kontrolu montáže, jelikož obsahuje checklist. Pracovník tak může porovnat záznamy a skutečnost, ID čísla a provést základní kontrolu provedených činností (např. utažené šrouby u komponenty, šroubové spoje utažené na moment označené barvou apod.). Tím dochází ke zplnomocňování pracovníků a decentralizaci. Kontrolorům kvality se částečně odlehčí a hlavní kontrola se provede až před expedicí. Bohužel se to může projevit i negativně, jelikož kontrola není prováděna nezávislou osobou. Na pracovníka působí řada vjemů, může být roztržitý, zapomene utáhnout šroub a při vlastní kontrole na to nepřijde. Na chybu se tak přijde až při expedici. Situace také může být velmi napjatá z hlediska objemu produkce a pracovník jednoduše

nebude mít na kontrolu moc času a pokud ho věnuje kontrole, poklesne jeho celkový potenciální objem výstupu.

Z toho vychází obava, že zavedení těchto technologií a zplnomocňování pracovníků povede k tomu, že se bude navyšovat jejich zodpovědnost, jelikož díky tabletu mohou řadu věcí zadat a zkontrolovat samostatně. Dojde tak k navýšení kontrolních, řídicích či administrativních činností na úkor toho, co by měla být jejich hlavní odvedená práce – montáž. Původní zeštíhlení procesů tak bude negativně vykompenzováno časem ztraceným nadbytečným vyplňováním digitálních protokolů a kontrol. Samotný nápad ovšem nelze zcela zavrhnout a může fungovat. Jen je potřeba najít správný balanc mezi tím, co svěřit pracovníkovi montáže tak, aby to nebylo kontraproduktivní. Systém vlastní kontroly práce je také velmi závislý na svědomitosti a spolehlivosti daného pracovníka. Zatímco u někoho to může velmi dobře fungovat, kontrolu dělá systematicky, neztratí tím tolik času a chyb dělá málo, někdo jiný tím ztratí 20 minut a chybu nakonec ani neodhalí.

Nedostatků se tak ve firmě vyskytuje stále dost. Na první pohled se často nabízí relativně jednoduché řešení. Bohužel se často naráží na to, že problém je ve skutečnosti mnohem komplexnější a je zakořeněn hluboko v procesech společnosti. I jednoduchá změna by tak ve výsledku vyžadovala mnohem větší zásahy. Malá připravenost procesů na digitalizaci to dále komplikuje. Tento stav prohlubuje aplikaci neúplných či polovičních řešení, což vytváří složitý a zamotaný systém, který dále znesnadňuje další změny. Je potřeba tento systém narovnat a co nejlépe sjednotit. Některé problémy mají organizační příčinu nebo naráží na kapacitní omezení, zejména na velikost prostorů. Aplikace technologií je tedy náročná, nebo by udělala současný systém ještě náročnějším na kapacity, z důvodu přeorganizování. Nebo by zaváděný digitální systém musel být tak sofistikovaný, že by dokázal efektivně pracovat a sledovat materiálové toky několika zakázek na jednom pracovním místě. Například množství souběžně běžících zakázek na jednom pracovišti a množství rozdílného materiálu nejde jednoduše rozdělit, přiřadit jim pevné místo v regálu a rozprostřít na větší plochu, jelikož na to kapacitně není místo. Možností je tedy zavést tažný princip všude, kde je to trochu možné. Zároveň to přináší komplikace i tehdy, kdy se na pracoviště přivážejí jednotky stylem tlačného principu, kdy jednotka bude stát do druhého dne, než se na ní začne pracovat. Průběžná doba výroby se totiž počítá od vstupu, respektive naskenování jednotky na pracovišti. Pokud bychom tak chtěli jednotky identifikovat automaticky po příjezdu na pracoviště, tento časovač by se sepnul také i přesto, že by se na ní začalo pracovat až druhý den. Tím by došlo ke zkrácení

času, po který se na jednotce pracovalo a od čeho se odvíjí sbírané metriky pracnosti. Z definice průběžného času by to však bylo dobře, jelikož se jedná o dobu, která uplyne od příchodu do odchodu jednotky ze systému včetně prostoje. Musely by se tak nějakým způsobem tyto časy odlišit. Implementace tak musí být v souladu s tím, jak se měří časy, jestli se měří celý průchod od příjmu po expedici, časy jednotlivých úseků apod. Procentuální ukazatel rozpracovanosti jednotky by tím také neměl být ovlivněn.

Z hlediska design principů interoperabilita není příliš rozvinutá. Ačkoli dle firmy se může jednat o relevantní princip, současné systémy nelze tímto způsobem vylepšit. Stále se vyskytují problémy s kooperací a informačním tokem. Pro decentralizaci opět nejsou zavedené chytré systémy, CPS a technologie (vestavěné počítače) neřídí žádné činnosti. Pracoviště a pracovníci jsou schopni řešit určité problémy a samostatně se rozhodovat. V tomto ohledu jsou pravomoci do určité míry rozloženy mezi podřízené prvky a lze hovořit o existující míře decentralizace. Virtualizace je jedním z momentálně nejvíce uplatňovaných principů. Ve vývoji se běžně využívají simulační nástroje. Vytváří se odraz fyzického světa v digitálním. Do určité míry lze sledovat operace v digitálním prostředí na úrovni výrobních buněk. Princip orientace na služby je opět omezený, ačkoli v rámci podnikových procesů lze částečně vypožorovat principy tahu. Modularita a agilnost je i vzhledem k různorodé výrobě na dobré úrovni. Schopnost práce v reálném čase je částečně využívána při sledování operací a sběru dat. Vzhledem k technologické úrovni se nejedná o automatickou komunikaci a řízení systémů či strojů.

4.4.2 Konkrétní doporučení

V předchozí podkapitole byly uvedeny některé problémy a doporučení. Týkaly se informačních, a hlavně materiálových toků. Tyto oblasti by tak měly být další prioritou. Určitě by pomohlo záměr ukotvit ve strategii a vyvarovat se rychlých a reaktivních řešení. V oblasti sledování materiálových toků či zavádění elektronického kanban systému jsou dvě možnosti. Lze jít cestou čárových kódů a manuálního skenování čtečkami či využití pevných senzorů na klíčových místech. Nebo jít cestou RFID technologií, které celý systém zautomatizují a údaje na čipu lze modifikovat. Nicméně zavedení bude složitější a dražší. Pro sledování hladin materiálu lze využít ultrazvukových senzorů či digitální váhy. Pomocí toho by se dalo zautomatizovat pořizování zásob do kanban beden s drobným materiálem – šroubky, matičky, hlídat obsah krabiček s materiálem nebo

přítomnost dílu na nějakém místě (přítomnost lze sledovat i pomocí čárových kódů či RFID). Nicméně v tuto chvíli je to pravděpodobně zbytečné řešení a aplikovatelnost je nejasná.

Pro oba způsoby je nutné postavit infrastrukturu, zmapovat toky materiálu a určit, kde budou klíčová místa pro detekci manipulačních jednotek. Dále určit míru detailu lokalizace. Podle toho se bude odvíjet množství kódů, RFID čipů a čteček a antén. Materiál bude označen kódem nebo RFID čipem/nalepovacím štítkem. Označena může být celá manipulační jednotka nebo její obsah – zejména velké díly. Na klíčových místech dojde buď k ručnímu naskenování nebo načtení RFID bránou. Celý proces se skládá ze 3 kroků – označení materiálu, vytyčení čtecích zón a mapování pohybu mezi nimi. Množství čtecích zón je ovlivněno mírou detailu lokalizace. Na základě toho se sledovaný prostor rozloží na jednotlivé zóny. V těchto zónách bude jednotka načítána buď ručně, nebo automaticky dle zvolené technologie. V rámci RFID lze pohyb více specifikovat, antény mohou příchod detekovat několikrát, nicméně odchod se detekuje hůř. Podle toho se musí určit i způsob mapování pohybu mezi zónami. V rámci pracoviště by například šlo dát malé čtecí zařízení na vstup a druhé na výstup. To je ovšem neekonomické. Schůdnější varianta je tak využití jedné antény a čtecího zařízení. Při pohybu z místa A do místa B dojde k načtení jednotky v místě B a z toho lze vyvodit, že jednotka opustila místo A. Druhou variantou je vytyčení tzv. geo-fence každé antény neboli její dosah. Když jednotka opustí dosah antény a nevrátí se například do 20 sekund, bude to vyhodnoceno jako opuštění zóny. V případě potřeby lze sledovat přesnou polohu prvku pomocí softwaru, který vypočítá přesnou polohu pomocí trilaterace z alespoň 3 záznamů (délka přenosu). Tento software někdy bývá součástí RFID řešení od dodavatele. Do budoucna to tak přináší o možnost absolutní lokalizace v reálném čase. Pracoviště lze považovat za otevřený prostor, který lze pokrýt RFID vysílačem. Tam, kde je to možné je nejvhodnější využít dveří, koridorů, pásů, kterými lze jednoduše sledovat pohyb. Do takovýchto míst se obecně instalují RFID brány například v podobě rámu nebo čtecích hlav.

Základní čtecí zóny by měly odlišovat hlavní prostorové uspořádání. Například alespoň sklad, plechy, montáž, test, expedice. Aby mohlo být jednoznačně uvedeno, že došlo k vyvezení materiálu na montáž. Detailnější verze by mohla rozložit montáž na hlavní úseky od příjmu až po funkční test. Stupněm nad tím by bylo vytyčení zón pro každé pracoviště, čímž by se dal sledovat stav a tok materiálu přímo na konečné místo. Po

zbudované síti, která se v základu skládá ze čtecích zařízení a antén, lze sledovat téměř cokoliv. Záleží na tom, co vše bude osazeno RFID tagem.

V rámci RFID se rozlišují druhy UHF, HF, LF, dle použitého kmitočtu. V tomto použití by se jednalo převážně o UHF (ultra high frequency), které jednak disponují velkými rychlosti čtení/zápisu, možností identifikace velkého počtu tagů, a hlavně dokáží pracovat na mnohem větší vzdálenosti okolo 10 metrů. V rámci pokrytí pracovišť se tak jedná o ideální volbu. Obecně bývají nejčastějším řešením v průmyslu pro sledování materiálu. Díky tomu jsou často levnější, jsou ovšem náchylnější na rušení. V rámci RFID tagů lze doporučit pasivní variantu, která je mnohem levnější a je ideálním způsobem pro sledování výroby. Většinou je realizována jako nalepovací štítek. Aktivní verze čipu dokáže komunikovat sama, na velké vzdálenosti, má větší paměť a hodí se k budování RTLS systémů včetně venkovního použití. Vzhledem k jejich ceně je ale použití pro sledování velkého počtu jednotek velmi drahé a hodí se spíše pro sledování objemných zásilek.

Lze tak zajistit automatickou identifikaci jednotky a nahrazení manuálního načítání. Případně doplnit identifikaci na místech, kde načítání jednotky chybí. Sledování nejen vstupu/výstupu na pracoviště, ale celého pohybu jednotky. Od příjmu, izolace, přes montáž, finální test až po expedici dle rozmístění čteček a antén.

Sledování velkých dílů by umožnilo transparentnost stavu zásob na pracovištích. Při montáži a zápisu komponenty k jednotce, což by indikovalo její spotřebování, by tato informace mohla vést k modifikaci stavu množství komponent na pracovišti a mohlo tak informovat o budoucím nedostatku a pokynu pro doplnění. Informace obsažené v identifikaci ale musí obsahovat počet dílů a umožnit jejich vyškrtávání při spotřebě. Alternativně sledovat spotřebování celé palety. Paleta by byla označena tagem s množstvím komponent. Po jejich spotřebování a odvezení palety by se stav snížil o paletu a bylo by možné určit spotřebu a současný stav.

Jak již bylo uvedeno, sériová čísla velkých komponent se do systému/protokolu dané jednotky zapisují ručně. Samotnou jednotku lze naskenovat pomocí tabletu. Mělo by se tak pracovat na řešení, které by umožnilo skenování kódu komponenty nebo jen zkopírování čísla a vložení do dokumentu a vyhnout se tak ručnímu opisování. Problém se jeví v tom, že komponenty nemají interní identifikační číslo. Sériové číslo je údajem v databázi dodavatele a pravděpodobně to tvoří překážku pro skenování a automatický

zápis. Pokud tomu tak je, mělo by dojít k integraci s interním systémem. Komponenty případně opatřit vlastním, interním číslem – sekundární klíč. Tento klíč pak spárovat (vytvořit vazbu) v databázi se sériovým číslem dodavatele.

Další aplikace je spjatá s dodávkami topení. Ty se vyrábí interně na odděleném pracovišti a dodávají se na jednotlivá pracoviště montáže. Řízení výroby probíhá dle plánu a průběhu výroby, jaké jednotky se vyrábí, v jaké počtu, a z toho se určí potřeba pro daný typ topení. Zásobování lze přirovnat k tažnému principu a kanbanu. Menší jednotky, které se rychleji sestavují, jsou většinou zásobovány hromadnou dodávkou o několika kusech topení. Jejich spotřeba i výroba je rychlá a často se tak pracoviště předzásobí na polovinu či celou zakázku. U velkých jednotek je dodávka tvořena jen několika kusy, například na další dvě, tři někdy čtyři jednotky. Záleží na situaci a velikosti předzásobení. Nicméně udržovat přehled o celé montáži a čisté potřebě dalších topení je relativně náročný úkol a dochází k problémům s informačním a materiálovým tokem. Podle toho, jak se všechna montáž stíhá a jak je vše synchronizováno, se někdy stává, že topení na pracoviště dorazí ve formě JIT. V horším případě dorazí pozdě nebo vůbec. To znamená, že montáž jednotky se musí zastavit. Sestavení velkého topení zabere klidně několik hodin. Pokud se musí nejdříve sestavit od zámečnicka a následně vydrátovat elektrikářem, může jednotka čekat až do druhého dne. Příčinou mohou být organizační nedostatky i problém v informačním toku. Předávání informací bylo řešeno osobní komunikací. Pracovník zodpovědný za topení také prochází montáž a monitoruje stav a domlouvá se s týmem na pracovišti, jestli mají topení, případně kolik a kdy budou potřebovat a na jaký druh jednotky.

Nabízí se zavedení elektronické výměny dat nebo elektronického kanban systému. Pracoviště mohou přes tablety dávat požadavek na vývoz velkého dílu ze skladu. Podobné řešení by se dalo použít i zde. Montáž topení by byla vybavena terminálem a vytvořil by se komunikační kanál mezi ním a montáží jednotek. V případě potřeby by tak pracovník zadal požadavek na topení, ale v dostatečném předstihu. Sofistikovanějším řešením by bylo využití RFID technologií, které by umožnily monitorovat stav zásob topení na pracovišti a daly možnost vytvoření elektronického kanbanu. Tyto údaje by bylo možné sledovat v terminálu na pracovišti topení a dle toho řídit jejich výrobu. Alternativně by se instalovala digitální tabule / obrazovka kde by se vizualizoval stav zásob na pracovištích a barevně lze rozlišit míru urgencye. V podstatě jde o to vytvořit transparentní a vizualizovaný systém s údaji o materiálovém toku v reálném čase.

V systému by byly údaje o pracovišti, typ jednotky, množství a pořadí dle informací získaných ze vstupního senzoru nebo ručního naskenování na vstupu pracoviště v kombinaci s krátkodobým plánem výroby, který určuje konkrétní plán na daný týden a předstih na další týdny. Topení by byla označena RFID tagem, pomocí kterého by bylo možné zjistit jejich přítomnost na pracovišti a množství. Při montáži a naskenování topení by se snížilo množství na pracovišti v systému. Informace o stavu jednotky jsou viditelné v systému. Je tedy možné určit, pro které jednotky topení je k dispozici nebo byly již namontovány a pro které jednotky se musí dodat. Tyto údaje lze agregovat a vztáhnout globálně na celou montáž. Data získaná v reálném čase lze porovnat s plánem výroby a určit celkový (zbývající) požadavek na topení.

Firma dokáže relativně dobře sledovat průběh výroby a stav rozpracovanosti jednotky. Budoucnou by bylo možné zavést grafickou vizualizaci, která by velmi rychle ukázala stav ve výrobě. Momentálně se každé pracoviště musí sledovat v systému ručně. Pro kontrolu stavu je nutné rozkliknout danou jednotku v systému, kde jsou uvedeny údaje o stavu, zbývající čas apod. Na první pohled to ovšem vidět není. Bylo by tak možné vizualizovat alespoň základní údaje, které by na první pohled podaly informaci o tom, co se děje. Využit lze dashboardů, varování a ukazatelů namísto seznamů, textů a čísel v řádcích. Například pokud by se vytvořila virtuální mapa montáže s jasnou vizualizací stavu na pracovišti a barevně zvýraznit metriky o stíhání či nestíhání plánu na pracovišti. Nepříliš podstatnou funkcí by bylo zavedení sledování polohy zaměstnanců neboli kde/na jakém pracovišti se nachází a kolik jich tam je. V podstatě by se jednalo o elektronickou podporu toho, co se dělá ručně a v terénu parťáky ve výrobě. Řada pracovníků, hlavně elektrikářů, se přesouvá mezi projekty dle potřeby. Na pracovišti by byl terminál, kde by se pracovník zapsal přes osobní kartu. Tím by bylo transparentně vidět, na čem pracovník pracoval. V minulosti se například vyplňovaly papíry o tom, na jakých projektech dotyčný zaměstnanec pracoval, což by mohlo pomoci s měřením výkonnosti pracovníků. Údaje o lokaci a množství v reálném čase by mohly pomoci s efektivní alokací zaměstnanců mezi projekty, které stíhají, mají rezervu, ale pracuje tam moc lidí. Přebytečná pracovní síla by mohla být poslána na výpomoc na pracoviště ve skluzu. Díky vizualizaci by to bylo vidět takřka na první pohled v globálním měřítku.

Poslední, a velmi rychlý, bod se týká integrace komunikace v systému – příprava materiálu, sklad, plechy a integrovat plánování dle plánu výroby jednotek. Umožnit komunikaci, sdílení informací v systému, což v některých případech stále není možné.

Parták ve výrobě si do jisté míry operativně řídí to, co bude vyráběno s ohledem na harmonogram, časovou náročnost a dostupnost materiálu. Může mít tak své individuální požadavky na vývoz a přípravu materiálu což se řeší buď osobní domluvou nebo přes email, telefon nebo software pro chat. Efektivnější by tak bylo sjednocení systémů s možností komunikace a zadávání požadavků. Dojde tak k větší decentralizaci, eliminuje se chůze a domlouvání. Tato spolupráce je klíčová zejména na pracovištích s malými jednotkami, kde souběžně běží velký počet zakázek což zvyšuje náročnost na operativní řízení. Obdobě jako si pracovníci montáže mohou zadávat požadavky na velké díly, by bylo vhodné zajistit i partákům možnost elektronického zadávání požadavků ve všech směrech skrze kanál, který podporuje rychlou komunikaci a kde budou požadavky jasně viditelné v systému. Najít tak způsob jednoduché a do jisté míry zautomatizované komunikace.

Řada problémů je procesního charakteru a jak bylo uvedeno, východiskem pro úspěšnou digitalizaci jsou optimalizované a standardizované procesy. Firma by se tak měla zaměřit na provedení procesních analýz, odhalené nedostatky vyřešit, procesy zoptimalizovat a zeštíhlit. To pomůže k odstranění zakořeněných problémů a k narovnání procesů, což povede i k jednodušší a efektivnější digitalizaci. Zejména se zaměřit na zdroje plýtvání. Někde by stačilo provést jednoduchý úklid, který by odhalil nepoužívané nástroje či nadbytečný materiál. Nepodcenit plýtvání v oblastech, kde to není zřejmé, například administrativa, a nalézt příčiny konstruktérských a technologických chyb, které se objevují a řeší ve výrobě. Zdrojem chyb by například mohly být nesprávné informace a nesoulad mezi podklady pro konstrukci a realitou ve výrobě.

Dle dostupných informací v podniku nefiguruje žádné oddělení procesního inženýringu nebo pracovníci, kteří by se vyloženě zaměřovali na optimalizaci procesů a eliminaci plýtvání a potřebné znalosti mohou ve firmě chybět. Možná se tak objevuje potřeba kvalifikačního růstu pracovníků

Závěr

V práci byl popsán historický vývoj průmyslu od velké průmyslové revoluce až po čtvrtou průmyslovou revoluci. Čtvrtou průmyslovou revoluci charakterizuje rychle se měnící prostředí, velmi rychlý vývoj technologií a stále rostoucí důležitost a využívání informačních technologií, internetu a dat. Data a informace se stávají jednou z nejdůležitějších komodit a dochází k transformaci na znalostní ekonomiku. Tyto změny budou mít zásadní vliv na společnost a trh práce.

Dále byl popsán koncept Průmyslu 4.0, jež byl poprvé představen jako Industrie 4.0 na průmyslovém veletrhu v Německu, který je vyznačován inteligentními továrnami a produkty. Spojováním fyzického a digitálního světa a tvořením kyber-fyzikálních systémů, které jsou integrovány s dalšími systémy i napříč dalšími podniky a obsahují tak celé dodavatelské řetězce. Vzniká internet věcí, případně industriální internet věcí. Znakem těchto systémů je velká automatizace a autonomie. Velký důraz na data, cloudové technologie, předplatné a různé druhy „pronájmu“ se projevují i ve službách, vytvářením nových byznysových modelů založených na nových principech a technologiích a zaváděním škálovatelných systémů „As-a-service“. Formou služby mohou být poskytovány jak informační technologie, tak například přebytečná kapacita výrobních systémů, stroje apod. (EaaS). V rámci tohoto konceptu byly následně uvedeny základní principy určující Průmysl 4.0 jež jsou:

- Interoperabilita
- Decentralizace
- Virtualizace
- Orientace na služby
- Modularita a agilnost
- Schopnost práce v reálném čase

Definování principů je podnikům nápomocné při zavádění iniciativ Průmyslu 4.0, uvádí směr, jakým by firmy měly pokračovat a každý princip je realizován určitými technologiemi, což může pomoci při určení toho, na jaké technologie by se měla firma soustředit. Technologie Průmyslu 4.0 lze zavádět v synergii se štíhlou výrobou, existují vztahy mezi technologiemi a druhem plýtvání a nástroji štíhlé výroby. To opět podporuje rozhodování o tom, jaké technologie zavést pro zavedení systémů a nástrojů štíhlé výroby a jaký druh plýtvání to omezuje. Všechny tyto vztahy jsou znázorněny různými

frameworky, které firmám mohou ulehčit adoptování principů Průmyslu 4.0. Také mohou využít obecných postupů a roadmap pro implementaci. Přehled o technologiích a správný postup implementace je důležitý pro úspěšnou transformaci podniku. Podnik je nutně na změny připravit, upravit organizační strukturu společnosti, sestavit interdisciplinární týmy či zvolit direktora pro aplikaci Průmyslu 4.0 a optimalizovat a standardizovat procesy, které mají být digitalizovány či automatizovány. Klíčová je podpora vrcholového vedení a soulad se strategií podniku. Pro získání informací o stávajícím stavu (as-is), nalezení problémových míst a pro definici budoucího stavu (to-be), mohou firmy využít modelů hodnocení zralosti.

Hlavními technologickými směry jsou automatizace důvěry, kam patří například ověřování dat, autorizace a autentizace. Spadá sem kyberbezpečnost a technologie blockchainu. Dalším směrem je rozšířená realita, tedy obohacení fyzického světa o virtuální prvky. Dále imerzivní rozhraní, jako řečové technologie, ovládání pomocí pohybů. Rozsáhlá autonomie se týká automatizace a umělé inteligence, rozpoznávání obrazů, digitální dvojčata a hyper propojené sítě. V rámci technologií lze rozlišovat technologie základní, které tvoří nejnižší vrstvu a vytváří infrastrukturu na které lze stavět pokročilé systémy a technologie. Jde o senzory, akční členy, PLC, RFID a mobilní zařízení. Nezbytné je vytvoření komunikačních sítí a patřičného zabezpečení komunikace. Z tohoto základu lze sestavit systémy RTLS, CPS, vytvářet digitální dvojčata a využívat technologií pro virtualizaci. Technologiemi charakteristickými pro Průmyslu 4.0 jsou například autonomní roboti, virtuální a rozšířená realita, aditivní výroba a 3D tisk, cloudové technologie, umělá inteligence a big data, M2M komunikace. Dochází k horizontální a vertikální integraci, zavádí se industriální internet věcí, simulace a digitální dvojčata.

V druhé části práce byl představen podnik Faiveley Transport Plzeň s.r.o. a došlo k popsání některých skutečností týkajících se existence a provozu podniku. Následovala analýza současného stavu podniku a jeho zhodnocení. Při analýze a hodnocení byly aplikovány poznatky získané při zpracovávání teoretického základu. Výsledky analýzy a hodnotícího modelu zralosti poukazují na nižší úroveň zralosti podniku z hlediska aplikace technologií a principů Průmyslu 4.0. Jako jeden z velkých nedostatků se v modelu projevovala nesamostatnost podniku a závislost na nadřazených organizacích skupiny. V důsledku toho jsou některé oblasti mimo rozsah činností a zájmu podniku a v modelu se projevovala absencí. Mírné zlepšení úrovně zralosti nastalo po úpravě

modelu o tyto oblasti a ponecháním jen relevantních oblastí. Celková zralost se však výrazně nezměnila a dosahovala stejné úrovně. Některé, pro podnik důležité, oblasti dosahovaly relativně dobrého výsledku izolovaně. Výsledná zralost tak dosahovala úrovně 0 (na škále 0-1-2-3). Průměrná dosahovaná úroveň izolovaných oblastí byla úroveň 1. V některých izolovaných oblastech se podnik přibližuje či dokonce dosahuje úrovně 2. Což vzhledem k náročnosti požadavků je relativně dobrý výsledek. Počátečních úrovní podnik dosahoval i v druhém modelu.

Tento výstup odráží fakt, že firma je teprve na začátku iniciačních projektů digitalizace, v jejichž důsledku se převádí fyzický svět do digitální podoby, dochází k měření a sledování podnikových procesů, virtualizaci, využívání nižších technologií a jejich napojování do vyšších systémů např. MES. Tyto změny by měly přinést zeštíhlení podnikových procesů a připravenost na budoucí transformační změny. Hlavní zaměření je na digitalizaci protokolů, vytváření integrovaných informačních toků a sledování materiálu.

V souvislosti s tím byla uvedena řada doporučení pro firmu, jako definování strategie či cílového stavu a systému indikátorů pro měření. Dále byly adresovány nedostatky současného stavu a doporučení možných řešení. V poslední části byly uvedeny doporučení týkající se zejména sledování materiálových toků pomocí technologií RFID a čárových kódů.

Při zpracování práce ve spolupráci s firmou jsem měl možnost poznat problematiku digitalizace podnikových procesů v praxi, jakým způsobem lze procesy digitálně podpořit a jaké obtíže se mohou vyskytnout. Pro firmu jsem poskytl nezávislé zhodnocení stavu a adresoval jsem problémy, které v některých případech mohly být známy, ale bylo nutné je říci nahlas. Představení nového pohledu je pro firmu podnětem pro zamyšlení se nad těmito problémy.

Z hlediska definovaných cílů práce byla v teoretické části představena čtvrtá průmyslová revoluce a Průmysl 4.0, uvedla se problematika jeho zavádění v praxi a charakterizovaly se základní i pokročilé technologie a technologické směry. V praktické části se analyzoval současný stav ve firmě z hlediska Průmyslu 4.0, došlo k rozboru jejich inovačních projektů. Na základě získaných informací došlo k zhodnocení stavu a návrhu doporučení dalších inovací k jeho zlepšení. Dle obsahu práce byly definované cíle splněny.

Seznam použitých zdrojů

- Ali, F. (2022, 17. června). *The Top 6 Problems With Blockchain Technology*. <https://www.makeuseof.com/problems-with-blockchain-technology/>
- Beck, E. (2022, 25. března). *Invention of the Light Bulb*. <https://www.historycrunch.com/invention-of-the-light-bulb.html#/>
- Borgini, J. (2022, 11. února). *Top 9 IoT business models for 2022*. <https://www.techtarget.com/iotagenda/tip/Top-9-IoT-business-models>
- Brinker, S. (2016). *Martec's Law: the greatest management challenge of the 21st century*. <https://chiefmartec.com/2016/11/martecs-law-great-management-challenge-21st-century/>
- Brinker, S. (2020). *Bending Martec's Law: 2020 has taught us we're more agile than we thought*. <https://chiefmartec.com/2020/08/bending-martecs-law-2020-taught-us-agile-thought/>
- Britannica. (2022, 2. září). *Moore's law*. <https://www.britannica.com/biography/Gordon-Moore>
- Convercon. (2021, 3. dubna). *Smart products development approaches for Industry 4.0*. <https://convercon.com/smart-products-development-approaches-for-industry-4-0/>
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (27. 11. 2020). *Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles*. School of Engineering and Digital Sciences, Nazarbayev University. doi:10.3390/su12239927
- Erol, S., Schumacher, A., & Sihn, W. (2016). *Strategic guidance towards Industry 4.0 – a three-stage process model*. International Conference on Competitive Manufacturing 2016 (COMA'16). Stellenbosch, South Africa. https://www.researchgate.net/publication/286937652_Strategic_guidance_towards_Industry_4.0_-_a_three-stage_process_model
- esp. (2020). *Kanban – jak výroba tahem optimalizuje stav zásob a přispívá k efektivitě ve výrobě?* <https://esp.cz/cs/blog/kanban-vyroba-tahem-optimalizuje-stav-zasob-prispiva-efektivite-vyrobe>
- Faiveley Transport Plzeň s.r.o. (2021). *Účetní závěrka [2021], výroční zpráva [2021], zpráva o vztazích [2021], zpráva auditora*. <https://or.justice.cz/ias/ui/vypis-sl-firma?subjektId=178507>
- Fortune Business Insights. (2022, 26. září). *At 13.1% CAGR, Smart Manufacturing Market Size to Reach USD 658.41 Billion in 2029*. GlobeNewswire. <https://www.globenewswire.com/news-release/2022/09/26/2522400/0/en/At-13-1-CAGR-Smart-Manufacturing-Market-Size-to-Rreach-USD-658-41-Billion-in-2029.html>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. APress. doi:10.1007/978-1-4842-2047-4
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Technische Universität Dortmund Working Paper No.01.2015. doi:10.13140/RG.2.2.29269.22248
- IBM. (2022). *System 360: From Computers to Computer Systems*. <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/system360/>

iED. (2019, 30. června). *The 4 Industrial Revolutions*. <https://ied.eu/project-updates/the-4-industrial-revolutions/>

Infor. (2023a). *Infor M3*. <https://www.infor.com/cs-cz/products/m3>

Infor. (2023b). *M3 Business Engine User Documentation Library (Cloud)*. <https://docs.infor.com/m3udi/16.x/en-us/m3beud/default.html?helpcontent=landing.html>

James, L. (2022, 27. července). *Moore's Law in 2022: What's the status quo?* <https://www.power-and-beyond.com/moores-law-in-2022-whats-the-status-quo-a-dc63a87e669b554d4d33d2a5ba73692a/>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, P. R., Suman, R., & Gonzalez, S. E. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers* (3), 203-217. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

Justice.cz. (2023, 10. února). *Výpis z obchodního rejstříku: Faiveley Transport Plzeň s.r.o.* <https://or.justice.cz/ias/ui/rejstrik-firma.vysledky?subjektId=178507&typ=PLATNY>

Labbe, M., & Wigmore, I. (2021, červen). *narrow AI (weak AI)*. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/narrow-AI-weak-AI>

Likens, S. (2022, 12. ledna). *Eight emerging technologies and six convergence themes you need to know*. <https://www.pwc.com/us/en/tech-effect/emerging-tech/essential-eight-technologies.html>

Manifold, S. (2022, 11. listopadu). *RTLS Is Changing Manufacturing But What Is It?* <https://industrytoday.com/rtls-is-changing-manufacturing-but-what-is-it/>

Manufacturing Operations Management Institute. (2016, 14. dubna). *The Internet of Services in Industry 4.0*. <https://www.mom-institute.org/the-internet-of-services-in-industry-4-0/>

Marr, B. (2018, 21. května). *How Much Data Do We Create Every Day? The Mind-Blowing Stats Everyone Should Read*. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/05/21/how-much-data-do-we-create-every-day-the-mind-blowing-stats-everyone-should-read/?sh=2be510fa60ba>

Mařík, V., & kol. (2016). *Průmysl 4.0 - Výzva pro Českou republiku*. Praha: Management Press.

Němec, V., & Surý, J. (2022). *Anglická průmyslová revoluce a její rozšíření*. <https://www.dejepis.com/ucebnice/anglicka-prumyslova-revoluce-a-jeji-rozsireni/>

Niiler, E. (25. 1 2019). *How the Second Industrial Revolution Changed American's Lives*. <https://www.history.com/news/second-industrial-revolution-advances>

Norman, J. (2022, 22. října). *Henry Ford Sponsors Improvements in the Automotive Assembly Line*. <https://www.historyofinformation.com/detail.php?id=3127>

Pessl, E., Sorko, R. S., & Mayer, B. (2017, 6. listopadu). Roadmap Industry 4.0 – Implementation Guideline for Enterprises. *International Journal of Science, Technology and Society*(5), 193-202. doi:10.11648/j.ijsts.20170506.14

Phoenix, K. (2017, 2. srpna). *The New Frontier: Intro*. <https://vivisumpartners.com/the-new-frontier-intro/>

- Plex Systems. (2022). *7th Annual State of Smart Manufacturing Report*. <https://www.plex.com/resources/7th-annual-state-of-smart-manufacturing>
- PricewaterhouseCoopers. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- PricewaterhouseCoopers. (2022). *Maturity Assessment*. pwc. <https://digitalstore.pwc.com.sg/maturity-assessment>
- Razdan, N. (2017, 20. prosince). *History of Lean Manufacturing*. <https://www.linkedin.com/pulse/history-lean-manufacturing-nikhil-razdan>
- RGBSI. (2022). *5 Types of Smart Sensors that Enable Industry 4.0*. <https://blog.rgbsi.com/5-smart-sensors-enable-industry-4.0>
- Rockwell Automation. (2014). *The Connected Enterprise Maturity Model*. https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_-en-p.pdf
- Rose, H. (2022, 28. října). *Advantages of 3D Printing in Nanotechnology*. <https://nanografi.com/blog/advantages-of-3d-printing-in-nanotechnology/>
- Sehgal, S., & Singh, Y. (2015). Big Data: A Volume or Technology ? *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT), NCETEMS – 2015* 3(10). doi:10.17577/IJERTCONV3IS10084
- Schumacher, A., Erol, S., & Wilfried, S. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* 52, 161-166. doi:10.1016/j.procir.2016.07.040
- Six Sigma Daily. (2017, 18. prosince). *Henry Ford and the Roots of Lean Manufacturing*. <https://www.sixsigmadaily.com/henry-ford-lean-manufacturing>
- Soni, D. (2018, 18. února). *Introduction to Evolutionary Algorithms*. <https://towardsdatascience.com/introduction-to-evolutionary-algorithms-a8594b484ac>
- Takvir, A. (2018). Milkrun 4.0” for Smart Manufacturing. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*(3), 125-127. https://www.researchgate.net/publication/324808728_Milkrun_40_for_Smart_Manufacturing
- Technology Evaluation Centers. (2023). *Infor M3 - Features & Functions List*. <https://www3.technologyevaluation.com/selection-tools/features-list/31756/infor-m3>
- Tucker, R. B. (2015, 9. ledna). *Five Tech Trends That Are Changing the Game*. <https://www.linkedin.com/pulse/five-tech-trends-changing-game-robert-b-tucker>
- Tucker, R. B. (2019, 25. února). *Nine Technologies Ready for Rollout*. <https://www.linkedin.com/pulse/nine-technologies-ready-rollout-robert-b-tucker>
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-57870-5
- VDMA; IW Consult; RWTH Aachen. (2015). *Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses*. <https://www.industrie40-readiness.de/?lang=en>
- Wikipedia. (2022, 15. června). *Průmysl 4.0*. https://cs.wikipedia.org/wiki/Průmysl_4.0

Seznam tabulek

Tabulka 1: Úrovně zralosti a limitní hodnoty	59
Tabulka 2: Chytré produkty a služby - požadavky	60
Tabulka 3: Chytré podnikové procesy - požadavky	60
Tabulka 4: Strategie a organizace - požadavky	61
Tabulka 5: Hodnocení oblasti chytrých produktů.....	63
Tabulka 6: Hodnocení chytré výroby a operací.....	64
Tabulka 7: Hodnocení chytrého marketingu a prodeje.....	65
Tabulka 8: Hodnocení podpůrných operací.....	66
Tabulka 9: Hodnocení oblasti podnikových procesů.....	66
Tabulka 10: Hodnocení oblasti strategie a organizace	67
Tabulka 11: Celkové hodnocení zralosti podniku	68
Tabulka 12: Hodnocení zralosti podniku dle IMPULS	69

Seznam obrázků

Obrázek 1: Průmyslové revoluce - historický vývoj technologií.....	10
Obrázek 2: Exponenciální růst technologií v letech.....	13
Obrázek 3: Martec's Law	14
Obrázek 4: Zobrazení vztahů technologie x princip	25
Obrázek 5: Vztah technologie x druh plýtvání.....	27
Obrázek 6: Vztah technologie x lean nástroje.....	27
Obrázek 7: Model vyspělosti IMPULS	32
Obrázek 8: Proposed Industry 4.0 Maturity Model.....	35
Obrázek 9: Roadmap Průmysl 4.0.....	37
Obrázek 10: Technologická roadmapa Průmyslu 4.0	38
Obrázek 11: Závislosti mezi design principy a technologiemi	41

Seznam grafů

Graf 1: Zobrazení dílčích částí hodnocení	69
Graf 2: Zobrazení hlavních částí hodnocení	69

Seznam zkratk a značek

AGI	Artificial general intelligence
AI	Artificial intelligence
AMQP	Advanced message queuing protocol
AR	Augmented reality
BI	Business Intelligence
BLE	Bluetooth low energy
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
CBA	Cost-Benefit Analysis
CIM	Computer integrated manufacturing
CoAP	Constrained application protocol
CPS	Cyber-physical system
CRM	Customer relationship management
DDS	Data distribution service protocol
DMAIC	Define-Measure-Analyze-Improve-Control
EaaS	Equipment as a service
ECAD	Electrical computer aided design
ERP	Enterprise resource planning
FaaS	Function as a service
FEBID	Focused electron beam-induced deposition
GNSS	Global navigation satellite system
GPS	Global positioning systém
HVAC	Heating, ventilation and air conditioning
IaaS	Infrastructure as a service
IoT	Internet of things

IoS	Internet of services
IPv4	Internet protocol version 4
IPv6	Internet protocol version 6
IT/OT	Internet technology / Operational technology
MCAD	Mechanical computer aided design
MDM	Master data management
MES	Manufacturing execution system
MQTT	Message queue telemetry transport protocol
MUC	Multiple unit coordination
M2M	Machine to machine komunikace
NAI	Narrow artificial intelligence
NLP	Natural language processing
OLAP	Online analytical processing
PaaS	Platform as a service
PALO	OLAP database server and BI tool
PCS	Process control systems
PDM	Product data management
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PLC	Programmable logic controller
PLM	Product lifecycle management
RFID	Radio frequency identification
RPA	Robotic process automation
RTLS	Real-time locating system
SaaS	Software as a service
SCM	Supply chain management
SCADA	Supervisory control and data acquisition

TPM	Total productive maintenance
TPL	Two-photon lithography
UWB	Ultra-wideband
VLAN	Virtual local area network
VMI	Vendor managed inventory
VPN	Virtual private network
VR	Virtual reality
WIP	Work in progress
XMPP	Extensible messaging and presence protocol
6LoWPAN	IPv6 over low-power wireless networks

Seznam příloh

Příloha A: Dotazník pro hodnocení vospělosti

Příloha B: Tabulka hodnocení vospělosti

Příloha A: Dotazník pro hodnocení vyspělosti

DOTAZNÍK PRO DIPLOMOVOU PRÁCI

Výzkumník: Bc. Jindřich ŠEDA

Téma diplomové práce: Technologie čtvrté průmyslové revoluce v inovačních projektech

Cíl: Cílem dotazníku je vyhodnotit zralost a připravenost firmy z hlediska Průmyslu 4.0.

Počet otázek: 84

Dotazník se skládá ze 3 hlavních oblastí: *Chytré produkty a služby, chytré podnikové procesy, strategie a organizace*. Tyto oblasti jsou dále rozčleněny do přidružených oblastí. Každé oblasti náleží několik otázek. Otázky umožňují odpovědi typu ano/ne, výběr jedné odpovědi z několika možností a výběr více možností.

Kritérium hodnocení je založeno na principech Průmyslu 4.0 pro každou přidruženou oblast, jako jsou: *Správa dat v reálném čase, Virtualizace, Interoperabilita, Orientace na služby, Decentralizace, Agilita a Integrace podnikových procesů*. A technologiích, jako jsou: *Adaptivní robotika, Analýza dat a umělá inteligence, Simulace, Zabudované systémy, Cloud, Kybernetická bezpečnost, Komunikace a sítě, Aditivní výroba, Virtualizační technologie, Senzory a akční členy, RFID a RTLS, Mobilní technologie*.

Vážím si Vaší pomoci a předem děkuji za Váš čas a námahu vynaloženou při vyplňování tohoto dotazníku.

QUESTIONNAIRE FOR MASTER'S THESIS

Researcher: Bc. Jindřich ŠEDA

Master's thesis topic: Technologies of the Fourth Industrial Revolution in innovation projects.

The objective: The objective of this questionnaire is to conduct a company maturity assessment with respect to Industry 4.0.

No. of questions: 84

The questionnaire consists of 3 main areas: *Smart products and services, Smart Business Processes, Strategy and Organization*. These areas are further broken down into associated fields. Each field has several questions. The questions allow for yes/no answers, multiple choice and single choice.

Assessment criterion is based on Industry 4.0 principles for each associated field such as: *Real-time data management, Virtualization, Interoperability, Service oriented, Decentralization, Agility and Integration of business processes*. And technologies such as: *Adaptive robotics, Data analytics and Artificial intelligence, Simulation, Embedded systems, Cloud, Cyber security, Communication and networking, Additive manufacturing, Virtualization technologies, Sensors and actuators, RFID and RTLS, Mobile technologies*.

I appreciate your help and thank you in advance for your time and effort in filling out this questionnaire.

1. Chytré produkty a služby

1. Jaké funkce mohou produkty vaší společnosti plnit?

- Komunikace s jinými produkty/platformami, stroji a externími systémy.	<input type="checkbox"/>
- Shromažďování dat z prostředí a dalších systémů.	<input type="checkbox"/>
- Uchovávání shromážděných dat ve svém systému nebo v cloudu.	<input type="checkbox"/>
- Existující platforma, na které produkt nebo cloudové aplikace pracují.	<input type="checkbox"/>

2. Jaké fáze analýzy dat může produkt provádět?

- Popisné – zachycení stavu, prostředí a provozu výrobků.	<input type="checkbox"/>
- Diagnostika – zkoumání příčin snížené výkonnosti nebo selhání výrobku.	<input type="checkbox"/>
- Prediktivní – detekce vzorů, které signalizují blížící se události.	<input type="checkbox"/>
- Preskriptivní – identifikace opatření ke zlepšení výsledků nebo nápravě problémů.	<input type="checkbox"/>

3. Do jaké míry lze produkty sledovat v průběhu jejich životního cyklu? (digitalizace produktu)

- Žádné nebo omezené sledování produktů.	<input type="checkbox"/>
- Produkty lze sledovat při jejich pohybu mezi výrobními a interními distribučními místy.	<input type="checkbox"/>
- Produkty lze sledovat v průběhu výroby a distribuce, dokud se nedostanou k zákazníkovi.	<input type="checkbox"/>
- Produkty lze sledovat po celou dobu jejich životního cyklu.	<input type="checkbox"/>

4. Komu nabízíte služby/poznatky podle uživatelských dat získaných z produktu?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Obchodní, byznys (podnikům)	<input type="checkbox"/>
- Zákazníci	<input type="checkbox"/>
- Partneři	<input type="checkbox"/>

2. Chytré podnikové procesy

2.1 Výroba, logistika a zásobování

1. Který z následujících systémů používáte? Je systém opatřen rozhraním k vedoucímu systému? (integrace)

	V provozu		Rozhraní s vedoucím systémem	
	Ne	Ano	Ne	Ano
MES—manufacturing execution system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ERP—enterprise resource planning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PDM—product data management	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PPS—production planning system	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PDA—production data acquisition	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MDC—machine data collection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAD—computer-aided design	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCM—supply chain management	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLM — product lifecycle management	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Do jaké míry je současný dodavatelský řetězec integrovaný?

- Ad hoc reaktivní komunikace s dodavateli a zákazníky.
- Základní komunikace a sdílení dat s dodavateli a zákazníky, pokud je to nutné.
- Přenos dat mezi klíčovými strategickými dodavateli/zákazníky (například stavy zásob u zákazníků).
- Plně integrovaný systém s dodavateli/zákazníky pro příslušné procesy (například integrované plánování v reálném čase).

3. Do jaké míry jsou výrobní zařízení a systémy automatizovány?

- Úroveň stroje: Částečné.
- Úroveň stroje: Přesné (Nakládání/vykládání + provoz).
- Úroveň výrobní linky/buňky: Částečné.
- Úroveň výrobní linky/buňky: Přesné (Nakládka/vykládka + provoz + přeprava).
- Tovární úroveň: Částečné.

4. Vyjádření úrovně personalizace ve výrobě.

- Nízká — velikost dávky 10 000+. Neschopnost individualizovat produkty
- Střední. Individualizace z velkého množství variant
- Vysoká — velikost dávky 1. Zákazník může zcela definovat podobu produktu

5. Jaké údaje/data o vašich strojích, procesech, výrobcích a o poruchách a jejich příčinách se shromažďují během výroby a jakým způsobem?

	Ručně	Automaticky
Inventární/skladová data	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Doba průchodnosti výroby/průběžná doba výroby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vytíženost/využití kapacity zařízení	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Výrobní zbytky, odpad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chybovost, jakostní kvóty	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Využití/vytížení zaměstnanců	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Údaje o zbývajícím zpracování (zbývajících práce)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Celková efektivnost zařízení (OEE)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
jiné:		

6. Jak se shromážděná data používají ve výrobě?

- Prediktivní údržba	<input type="checkbox"/>
- Optimalizace logistických a výrobních procesů	<input type="checkbox"/>
- Vytvoření transparentnosti celého výrobního procesu	<input type="checkbox"/>
- Řízení kvality	<input type="checkbox"/>
- Automatické řízení výroby pomocí dat v reálném čase	<input type="checkbox"/>
- Optimalizace spotřeby zdrojů (materiál, energie)	<input type="checkbox"/>
- Ostatní:	<input type="checkbox"/>

7. Jak se shromážděná data používají v logistice, zásobování a obstarávání?

- Prediktivní řízení rizik u dodavatelů (včasné odhalení selhání dodavatele).	<input type="checkbox"/>
- Digitální systém ukazatelů dodavatelů (scorecard), cíle a sledování zlepšení.	<input type="checkbox"/>
- Automatizované sledování plnění cílů a vyplacení bonusů.	<input type="checkbox"/>
- Digitální systém správy pohledávek/závazků, dodávek, pojistných událostí a nároků (claim management) s integrovaným automatickým varovným systémem.	<input type="checkbox"/>
- Analýza velkých objemů dat, odhalení nových dodavatelů po celém světě.	<input type="checkbox"/>

8. Do jaké míry Váš dodavatelský řetězec umožňuje komplexní přehled (end-to-end viditelnost)?

- Žádná integrace s dodavateli nebo zákazníky.	<input type="checkbox"/>
- Umístění, kapacita, zásoby a operace jsou viditelné mezi dodavateli a zákazníky prvního stupně.	<input type="checkbox"/>
- Umístění, kapacita, zásoby a operace jsou viditelné v celém dodavatelském řetězci.	<input type="checkbox"/>
- Umístění, kapacita, zásoby a operace jsou viditelné v reálném čase v celém dodavatelském řetězci a slouží k monitorování a optimalizaci.	<input type="checkbox"/>

9. Jaká je úroveň sledovatelnosti operací v reálném čase v digitálním prostředí? (koncept digitálních dvojčat)

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Úroveň stroje	<input type="checkbox"/>
- Úroveň výrobní linky/buňky	<input type="checkbox"/>
- Tovární úroveň	<input type="checkbox"/>

10. Jaká je úroveň využití technologií ve výrobě, logistice a zásobování?

	Mobilní a virtuální technologie	3D Tiskárny	Adaptivní a kolaborativní roboti
Žádná	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nízká	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Střední	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vysoká	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.2 Výzkum a vývoj – vývoj produktů

1. Do jaké míry se při vývoji výrobku simuluje jeho vyrobiteľnosť a podmienky použitia?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Nízké	<input type="checkbox"/>
- Střední	<input type="checkbox"/>
- Vysoké	<input type="checkbox"/>

2. Do jaké míry se při vývoji nového výrobku využívají údaje získané z výrobku?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Nízké	<input type="checkbox"/>
- Střední	<input type="checkbox"/>
- Vysoké	<input type="checkbox"/>

3. Využíváte 3D tiskárny při výrobě/prototypování?

- Ne	<input type="checkbox"/>
- Ano	<input type="checkbox"/>

4. Jsou informace o návrhu výrobku automaticky přenášeny pomocí CAD/CAM do stroje?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

5. Mohou si zákazníci před výrobou přizpůsobit produkty podle svých preferencí?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

2.3 Poprodejní služby

1. Jaké výhody vám přinášejí data, která shromažďujete v rámci poprodejních služeb

- | | |
|---|--------------------------|
| - Včasné odhalení problémů s kvalitou výrobků a cílené stahování z trhu. | <input type="checkbox"/> |
| - Vylepšený design výrobku. | <input type="checkbox"/> |
| - Pokročilé dodavatelské záruky, vymáhání nároků, obnovovací proces (supplier recovery) | <input type="checkbox"/> |
| - Optimalizované plánování náhradních dílů. | <input type="checkbox"/> |
| - Minimalizace podezřelých a podvodných nároků. | <input type="checkbox"/> |
| - Snížená míra zjištěných problémů, vratků a reklamací. | <input type="checkbox"/> |
| - Zvýšená přesnost předpovědi rezerv. | <input type="checkbox"/> |
| - Vylepšená kvalita služeb a informace o službách. | <input type="checkbox"/> |
| - Intenzivnější důvěrný vztah se zákazníky a další nejlepší akce. | <input type="checkbox"/> |

2. Jaké služby poskytujete s využitím datové analytiky a dalších technologií v poprodejních službách?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Vzdálená údržba | <input type="checkbox"/> |
| - Pomoc při problémech nebo závadách v reálném čase | <input type="checkbox"/> |
| - Správa nároků ze vztahů s pomocí IT | <input type="checkbox"/> |
| - Správa objednávek (CRM, historie objednávek, sledování dodávek atd.) | <input type="checkbox"/> |
| - Zobrazení historie produktů | <input type="checkbox"/> |
| - Předpověď dodávek | <input type="checkbox"/> |

3. Využíváte digitální technologie (mobilní a virtualizační technologie) v procesech poprodejních služeb?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

2.4 Stanovení cen/propagace

1. Které z následujících studií se provádějí v rámci zákaznické analýzy?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Segmentace zákazníků | <input type="checkbox"/> |
| - Celoživotní hodnota zákazníka (CLV) | <input type="checkbox"/> |
| - Cross selling | <input type="checkbox"/> |
| - Správa kampaní | <input type="checkbox"/> |
| - Analýza tržního koše / sdružování produktů | <input type="checkbox"/> |
| - Doporučení produktu | <input type="checkbox"/> |
| - Analýza odlivu zákazníků | <input type="checkbox"/> |
| - Řízení produktového portfolia | <input type="checkbox"/> |

2. Využíváte data získaná z prostředí/jiných platform při tvorbě cen produktů nebo dynamických cen?

	Stanovení ceny produktu	Dynamická tvorba cen (automatické změny)
Ne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Vytváříte nové kampaně na základě údajů o nákupu a používání produktu?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

4. Fungují systémy pro správu kampaní integrovaně s jinými systémy?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

5. Analyzujete výkonnost kampaní, abyste tyto analýzy mohli využívat v nových kampaních?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

2.5 Prodejní a distribuční kanály

1. Jaká je úroveň podpory prodejního týmu v oblasti digitálních produktů a služeb a přístupu k systémům v reálném čase?

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádná | <input type="checkbox"/> |
| - Nízká | <input type="checkbox"/> |
| - Střední | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoká | <input type="checkbox"/> |

2. Provádíte analýzu ziskovosti v reálném čase?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

3. Používáte automatizované systémy řízení výkonnosti v reálném čase pro místní prodejce?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

4. Do jaké míry jsou Vaše prodejní kanály integrované?

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádné | <input type="checkbox"/> |
| - Nízké | <input type="checkbox"/> |
| - Střední | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoké | <input type="checkbox"/> |

5. Do jaké míry využíváte integrované kanály pro komunikaci se zákazníky a řízení interakce se zákazníky? (např. Výměna dat v reálném čase, integrace v rámci ERP)

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádné | <input type="checkbox"/> |
| - Nízké | <input type="checkbox"/> |
| - Střední | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoké | <input type="checkbox"/> |

6. Do jaké míry spolupracujete s partnery při oslovování zákazníků (např. Výměna informací o zákaznicích apod.)?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Nízké	<input type="checkbox"/>
- střední	<input type="checkbox"/>
- Vysoké	<input type="checkbox"/>

7. Jaké obsahové analýzy se provádějí na sociálních sítích?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Analýza sentimentu	<input type="checkbox"/>
- Analýza trendů	<input type="checkbox"/>

2.6 Lidské zdroje

1. V jakých oblastech se shromažďují data a používá se datová analytika?

	Data shromažďována	Data analyzována
Analýza schopností—(proces řízení talentů, který umožňuje identifikaci schopností nebo klíčových kompetencí, které chcete a potřebujete v podniku)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza kapacit—(snaží se zjistit, jak jsou lidé v podniku provozně efektivní)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza získávání kompetencí—(proces hodnocení, jak dobře nebo špatně Vaše firma získává požadované kompetence.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza odchodů zaměstnanců—(proces hodnocení míry fluktuace zaměstnanců ve snaze předvídat budoucnost a omezit odliv zaměstnanců.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza firemní kultury—Proces hodnocení a porozumění firemní kultury nebo různým kulturám existujícím v organizaci.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analytika náboru—(Proces vyhodnocování, odkud přichází nejlepší zaměstnanci a které náborové kanály jsou nejúčinnější.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza vedení—(rozkrývá různé dimenze výkonnosti vedení prostřednictvím dat získaných pomocí průzkumů, focus group, rozhovorů se zaměstnanci nebo etnografie.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Analýza výkonnosti zaměstnanců—(snaží se vyhodnotit individuální výkonnosti zaměstnanců.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Může Vaše společnost sdílet data v reálném čase se zaměstnanci v terénu?

- Ne
- Ano

3. Lze trénování/školení zaměstnanců provádět ve virtuálním prostředí?

- Ne
- Ano

2.7 Informační technologie

1. Jak daleko jste s řešením zabezpečení IT?

	Řešení plánované	Řešení probíhá	Řešení implementováno	Není relevantní
Zabezpečení interního úložiště dat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zabezpečení dat v cloudových službách	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zabezpečená komunikace pro vnitropodnikovou výměnu dat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zabezpečená komunikace pro datovou výměnu s obchodními partnery	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Jaká je úroveň zabezpečení dat?

- Nízké zabezpečení. Ochrana před viry a únikem informací v režii zaměstnance
- Zabezpečení interní a externí komunikace a ukládání dat
- Zavedená bezpečnostní politika pro dostatečnou ochranu před zásadními hrozbami
- Komplexní bezpečnostní strategie a politika. Podnik chráněn před známými hrozbami

3. Využíváte cloudové služby?

	Cloud-based software	Pro datovou analytiku	Pro datová úložiště
Výroba, logistika a zásobování	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Výzkum a vývoj – vývoj produktů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poprodejní služby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prodejní a distribuční kanály	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stanovení cen/propagace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lidské zdroje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informační technologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. Používají se IT dashboardy ke sledování podnikových procesů?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

5. Jak hodnotíte infrastrukturu vybavení, pokud jde o následující funkce?

	Ne, nedostupné	Ano, částečně	Ano, zcela
Stroje/systémy lze ovládat prostřednictvím IT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M2M: komunikace stroj-stroj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interoperabilita: možná integrace a kolaborace s jinými/dalšími stroji/systémy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. Jak je řešena komunikace lidí se stroji a systémy?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Pouze jednoduché stroje bez elektronického nastavení a výměny informací | <input type="checkbox"/> |
| - Použití ovládatelných strojů s místními terminály | <input type="checkbox"/> |
| - Stroje jsou napojeny na systém. Výměna dat a přístup i přes mobilní zařízení | <input type="checkbox"/> |
| - Využití rozšířené a asistované reality | <input type="checkbox"/> |

2.8 Chytré finance

1. Provádíte kalkulace nákladů v reálném čase na základě dat získaných z výroby?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

2. Analyzujete cashflow a investice společnosti na historickém základě?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

3. Do jaké míry využíváte při rozhodování o investicích finanční údaje?

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádné | <input type="checkbox"/> |
| - Nízké | <input type="checkbox"/> |
| - střední | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoké | <input type="checkbox"/> |

4. Do jaké míry jsou Vaše finanční systémy automatizované?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Nízké	<input type="checkbox"/>
- Střední	<input type="checkbox"/>
- Vysoké	<input type="checkbox"/>

5. Jak se provádí měření finančních rizik?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Historický základ	<input type="checkbox"/>
- V reálném čase	<input type="checkbox"/>

3. Strategie a organizace

3.1 Obchodní modely

1. Jsou Vaše existující produkty a služby v souladu s inovativními digitálními obchodními modely?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

2. Do jaké míry jste seznámeni s obchodním modelem "As-a-service"?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Žádné povědomí. | <input type="checkbox"/> |
| - Znalost konceptu s některými počátečními plány rozvoje | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoká informovanost a implementační plány jsou v přípravě | <input type="checkbox"/> |
| - "As-a-service" model byl zaveden a je nabízen zákazníkům | <input type="checkbox"/> |

3. Jaká míra zdrojů je přidělena digitálním obchodním modelům?

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádné | <input type="checkbox"/> |
| - Nízké | <input type="checkbox"/> |
| - Střední | <input type="checkbox"/> |
| - Vysoké | <input type="checkbox"/> |

4. Je v přechodném období vyhodnocen a aktualizován stávající obchodní model společnosti v otázce digitalizace?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

5. Do jaké míry zpeněžujete své nové služby založené na datech? (Pokud vůbec)

- | | |
|-----------|--------------------------|
| - Žádné | <input type="checkbox"/> |
| - 0–2.5% | <input type="checkbox"/> |
| - 2.5–10% | <input type="checkbox"/> |
| - nad 10% | <input type="checkbox"/> |

3.2 Strategická partnerství

1. Má Vaše společnost partnerství pro projekty Průmyslu 4.0 z následujících možností?

- Žádná	<input type="checkbox"/>
- Akademická sféra	<input type="checkbox"/>
- Poskytovatelé technologií	<input type="checkbox"/>
- Dodavatelé	<input type="checkbox"/>
- Zákazníci	<input type="checkbox"/>

2. Jak byste popsali stav implementace Vaší strategie Průmyslu 4.0?

- Neexistuje žádná strategie	<input type="checkbox"/>
- Zahájení pilotních iniciativ	<input type="checkbox"/>
- Strategie ve vývoji	<input type="checkbox"/>
- Formulovaná strategie	<input type="checkbox"/>
- Implementace strategie	<input type="checkbox"/>
- Strategie implementována	<input type="checkbox"/>

3. Používáte ukazatele ke sledování stavu implementace strategie Průmyslu 4.0?

- Ne, náš přístup není tak jasně definován	<input type="checkbox"/>
- Ne, ale systém indikátorů je v plánu	<input type="checkbox"/>
- Ano, máme systém indikátorů, který nám poskytuje určitou orientaci	<input type="checkbox"/>
- Ano, máme systém indikátorů, který považujeme za vhodný	<input type="checkbox"/>

3.3 Investice do technologií

1. Které technologie ve Vaší společnosti jsou hnací silou Průmyslu 4.0?

- Žádné	<input type="checkbox"/>
- Analýza dat a umělá inteligence	<input type="checkbox"/>
- Adaptivní robotika	<input type="checkbox"/>
- Simulace	<input type="checkbox"/>
- Zabudované systémy (CPS)	<input type="checkbox"/>
- Komunikace a vytváření sítí	<input type="checkbox"/>
- Kybernetická bezpečnost	<input type="checkbox"/>
- Cloud	<input type="checkbox"/>

- Aditivní výroba	<input type="checkbox"/>
- Technologie pro virtualizaci (VR a AR)	<input type="checkbox"/>
- Senzory a akční členy	<input type="checkbox"/>
- RFID a RTLS technologie	<input type="checkbox"/>
- Mobilní technologie	<input type="checkbox"/>

2. Do jaké míry vyčleňujete dostatečný rozpočet na investice do Průmyslu 4.0?

- Žádné. Neprobíhají investice	<input type="checkbox"/>
- Nízké. Malé investice nebo jsou v plánu	<input type="checkbox"/>
- Střední. Více investic, ale nejedná se o klíčovou oblast	<input type="checkbox"/>
- Vysoké. Průmysl 4.0 je považován za klíčovou oblast pro další rozvoj.	<input type="checkbox"/>

3. Jak často provádíte analýzu nákladů a přínosů investic do Průmyslu 4.0?

- Zatím žádné měřitelné investice do Průmyslu 4.0	<input type="checkbox"/>
- Zatím neprobíhá žádné posouzení analýzy nákladů a přínosů investic do Průmyslu 4.0	<input type="checkbox"/>
- Roční analýza nákladů a přínosů investic do Průmyslu 4.0	<input type="checkbox"/>
- Čtvrtletní analýza nákladů a přínosů investic do Průmyslu 4.0	<input type="checkbox"/>

4. Ve kterých oblastech Vaší společnosti jste investovali do implementace Průmyslu 4.0?

	Plánování investic	Investice dokončené
Výroba, logistika, zásobování a obstarávání	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Výzkum a vývoj – vývoj nových produktů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Poprodejní služby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stanovení cen/propagace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prodejní a distribuční kanály	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lidské zdroje	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informační technologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.4 Organizační struktura a vedení

1. Jsou obchodní jednotky / projektové týmy v organizaci strukturovány interdisciplinárně?

- Ne	<input type="checkbox"/>
- Ano	<input type="checkbox"/>

2. Existuje nějaká obchodní jednotka, která udržuje vztahy nebo komunikuje se zákazníky?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Zákaznický servis | <input type="checkbox"/> |
| - Řízení vztahů se zákazníky, řízení klíčových zákazníků | <input type="checkbox"/> |

3. Existuje nějaká organizační struktura založená na datech? (Datoví vědci, analytický tým, ředitel digitální transformace atd.)

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

4. Do jaké míry jsou zaměstnanci vybaveni příslušnými dovednostmi pro Průmysl 4.0?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Zaměstnanci mají s digitálními technologiemi malé nebo žádné zkušenosti | <input type="checkbox"/> |
| - Technologicky zaměřené oblasti podniku mají zaměstnance s určitými digitálními dovednostmi | <input type="checkbox"/> |
| - Většina oblastí podnikání má dobře rozvinuté schopnosti digitální a datové analýzy | <input type="checkbox"/> |
| - V celém podniku převládají špičkové digitální a analytické dovednosti | <input type="checkbox"/> |

5. Máte ve firmě školení pro digitální transformaci?

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

6. Jak je Vaše IT organizováno?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Žádné vlastní IT oddělení (využívá se poskytovatel služeb) | <input type="checkbox"/> |
| - Centrální IT oddělení | <input type="checkbox"/> |
| - Místní IT oddělení v každé oblasti (výroba, vývoj produktů atd.) | <input type="checkbox"/> |
| - Odborníci na IT v jednotlivých odděleních | <input type="checkbox"/> |

7. Do jaké míry oddělení vzájemně spolupracují?

- | | |
|---|--------------------------|
| - Podnik funguje na funkčním řízení (funkčních silách) | <input type="checkbox"/> |
| - Interakce mezi odděleními je omezená (např. Obchodně-provozní plánování) | <input type="checkbox"/> |
| - Oddělení jsou otevřená mezifunkční spolupráci | <input type="checkbox"/> |
| - Oddělení jsou otevřená spolupráci napříč firmami s cílem dosáhnout zlepšení | <input type="checkbox"/> |

8. Do jaké míry podporuje tým vedoucích pracovníků Průmysl 4.0?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Vedoucí tým neuznává hodnotu investic do Průmyslu 4.0 | <input type="checkbox"/> |
| - Vedoucí tým zkoumá možné přínosy Průmyslu 4.0 | <input type="checkbox"/> |
| - Vedoucí tým si uvědomuje finanční přínosy, které lze získat díky Průmyslu 4.0, a připravuje plány na investice do tohoto odvětví | <input type="checkbox"/> |
| - Široká podpora Průmyslu 4.0 jak v rámci vedení, tak v rámci celého podniku | <input type="checkbox"/> |

9. Jak je Váš tým Průmyslu 4.0 organizován pro realizaci inovativních projektů?

- | | |
|---|--------------------------|
| - Pro projekty Průmyslu 4.0 neexistuje žádný zaměstnanec | <input type="checkbox"/> |
| - Pro projekty Průmyslu 4.0 existují zaměstnanci, ale v různých obchodních jednotkách | <input type="checkbox"/> |
| - Pro projekty Průmyslu 4.0 jsou zaměstnanci ve stejné obchodní jednotce | <input type="checkbox"/> |

**10. Existuje nějaké pracovní prostředí, kde jednotky OT/IT spolupracují?
(Operational technology / Information technology)**

- | | |
|-------|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Ano | <input type="checkbox"/> |

11. Existuje systematické řízení inovací?

- | | |
|--|--------------------------|
| - Ne | <input type="checkbox"/> |
| - Inovace jsou řízeny stylem postupného zlepšování (KAIZEN), nejnižší stupeň inovací | <input type="checkbox"/> |
| - Probíhají radikálnější inovace izolovaně v rámci oddělení. Reaktivní inovace. | <input type="checkbox"/> |
| - Inovace jsou systematicky řízeny napříč všemi oblastmi | <input type="checkbox"/> |

4. Doplnující otázky

4.1 Strategie a organizace

1. Které technologie používáte v organizaci?

- Technologie senzorů, sensorika	<input type="checkbox"/>
- Mobilní koncová zařízení	<input type="checkbox"/>
- RFID	<input type="checkbox"/>
- Lokalizační systémy v reálném čase (RTLS)	<input type="checkbox"/>
- Velká data pro ukládání a vyhodnocování dat v reálném čase	<input type="checkbox"/>
- Cloudové technologie jako škálovatelná IT infrastruktura	<input type="checkbox"/>
- Zabudované IT systémy	<input type="checkbox"/>
- M2M komunikace	<input type="checkbox"/>

2. Ve kterých částech Vaší společnosti jste v posledních dvou letech investovali do implementace Průmyslu 4.0 a jaké máte plány do budoucna?

	Investice v posledních dvou letech				Investice v příštích 5ti letech			
	Velké	Střední	Malé	Žádné	Velké	Střední	Malé	Žádné
Výzkum a vývoj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Výroba/produkce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nákup	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logistika	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prodej	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Služby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Ve kterých oblastech má Vaše společnost systematické řízení technologií a inovací?

- IT	<input type="checkbox"/>
- Výrobní technologie	<input type="checkbox"/>
- Vývoj produktu	<input type="checkbox"/>
- Služby	<input type="checkbox"/>
- Centralizované, integrativní řízení	<input type="checkbox"/>
- Nemají	<input type="checkbox"/>

4.2 Smart factory

1. Jak hodnotíte přizpůsobivost infrastruktury Vašeho vybavení, pokud jde o následující funkce?

	Nerelevantní	Relevantní, ale nelze upgradovat	Upgradovatelné	Vysoká, funkčnost je již k dispozici
M2M: komunikace stroj-stroj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interoperabilita: Možná integrace a kolaborace s jinými stroji/systémy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Digitalizace továren umožňuje vytvoření digitálního modelu továrny. Shromáždíte již během výroby data o strojích a procesech?

- Ano, všechny	<input type="checkbox"/>
- Ano, některé	<input type="checkbox"/>
- Ne	<input type="checkbox"/>

4.3 Chytré operace

1. Kde jste do svého systému začlenili sdílení informací mezi odděleními? Rozlišujte mezi celopodnikovým (interním) a mezipodnikovým (externím) sdílením informací.

	Interně mezi odděleními		Externě se zákazníky a/nebo dodavateli	
	Ano	Ne	Ano	Ne
Výzkum a vývoj	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Výroba/produkce	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nákup	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Logistika	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prodej	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finance/účetnictví	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Služby	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nikde	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Vizi Průmyslu 4.0 je polotovarový/obrobek, který se autonomně řídí výrobou. Má již Vaše společnost případy použití, ve kterých se produkt/obrobek sám řídí výrobou?

- Ano, napříč podniky	<input type="checkbox"/>
- Ano, ale pouze ve vybraných oblastech	<input type="checkbox"/>
- Ano, ale pouze v testovací a pilotní fázi	<input type="checkbox"/>
- Ne	<input type="checkbox"/>

3. Má Vaše společnost výrobní procesy, které reagují autonomně/automaticky v reálném čase na změny výrobních podmínek?

- Ano, napříč podniky	<input type="checkbox"/>
- Ano, ale pouze ve vybraných oblastech	<input type="checkbox"/>
- Ano, ale pouze v testovací a pilotní fázi	<input type="checkbox"/>
- Ne	<input type="checkbox"/>

4. Využíváte již cloudové služby?

	Ano	Ne, ale plánujeme	Ne
Cloud-based software	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pro analýzu dat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pro ukládání dat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Jiné:

4.5 Chytré produkty

1. Nabízí Vaše společnost produkty vybavené následujícími doplňkovými funkcemi založenými na informačních a komunikačních technologiích?

	Ano	Ne
Paměť výrobku	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Self-reporting	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Integrace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lokalizace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asistenční systémy	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Monitorování	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informace o objektu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatická identifikace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.6 Služby založené na datech (datadriven)

1. Procesní data shromážděná ve výrobě a ve fázi používání umožňují poskytovat nové služby. Nabízíte takové služby?

- | | |
|---|--------------------------|
| - Ano a jsme integrováni s našimi zákazníky | <input type="checkbox"/> |
| - Ano, ale bez integrace s našimi zákazníky | <input type="checkbox"/> |
| - Ne | <input type="checkbox"/> |

2. Analyzujete data získaná z fáze používání výrobku?

- | | |
|---|--------------------------|
| - Ano | <input type="checkbox"/> |
| - Ne – data shromažďujeme, ale neanalyzujeme je | <input type="checkbox"/> |
| - Ne – ve fázi používání data neshromažďujeme | <input type="checkbox"/> |

4.7 Zaměstnanci

1. Jak hodnotíte dovednosti svých zaměstnanců, pokud jde o budoucí požadavky Průmyslu 4.0?

	Nerelevantní	Neexistující	Existující, nedostatečné	Adekvátní
IT infrastruktura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Automatizační technologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Datová analytika	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bezpečnost dat/bezpečnost komunikace	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vývoj nebo použití asistenčních systémů	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kolaborativní software	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Netechnické dovednosti, jako je systémové myšlení a porozumění procesům	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Příloha B: Tabulka hodnocení vospělosti

Abstrakt

Šeda, J. (2023). *Technologie čtvrté průmyslové revoluce v inovačních projektech* [Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni].

Klíčová slova: Průmysl 4.0, průmyslová revoluce, principy Průmyslu 4.0, technologie Průmyslu 4.0, internet věcí, kyber-fyzikální systémy CPS, inteligentní továrny.

Tato diplomová práce řeší problematiku Průmyslu 4.0 v podnikové praxi. Popisuje čtvrtou průmyslovou revoluci, charakterizuje Průmysl 4.0 a uvádí jeho základní principy. Pozornost je dále věnována Průmyslu 4.0 v kontextu organizace, jeho implementaci a hodnocení vyspělosti podniku. Práce k řešení těchto témat přistupuje převážně z pohledu technologií, které jsou v jejím hlavním zájmu. Teoretickou část uzavírají technologické směry či trendy vývoje a zásadní technologie. V praktické části se řeší analýza současného stavu ve vybraném podniku, vyhodnocení jeho zralosti v kontextu Průmyslu 4.0 a popisují se současné projekty digitalizace. V závěru se uvádí konečné zhodnocení současného stavu v podniku a prezentují se návrhy doporučení pro zlepšení stavu a zavedení nových inovačních projektů.

Abstract

Šeda, J. (2023). *Technologies of the Fourth Industrial Revolution in innovation projects* [Master's Thesis, University of West Bohemia].

Key words: Industry 4.0, Industrial Revolution, Principles of Industry 4.0, Technologies of Industry 4.0, Internet of Things, Cyber-physical systems CPS, Smart factories.

This Master's thesis deals with the issue of Industry 4.0 in business practice. It describes the fourth industrial revolution, characterizes Industry 4.0 and presents its basic principles. Attention is further paid to Industry 4.0 in the context of the organization, its implementation and the assessment of the maturity of the organization. The approach of this thesis to addressing these topics is mainly from the perspective of technologies. Technologies are in the main interest. The theoretical part concludes with technological directions or new trends and with the essential technologies. The practical part deals with the analysis of the current state in the selected organization, the evaluation of its maturity in the context of Industry 4.0 and describes the digitalization projects. It concludes with a final assessment of the current state of the organization and presents recommendations for improvement and introduction of new innovation projects.