



Ekonomická
fakulta
Faculty
of Economics

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Ekonomická fakulta

Habilitační práce

Implementace a integrace štihlé výroby a Průmyslu 4.0 ve zpracovatelském průmyslu

Vypracoval: Ing. Martin Pech, Ph.D.

České Budějovice 2024

Prohlašuji, že jsem autorem této habilitační práce a že jsem ji vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

České Budějovice 23. 8. 2024

Podpis

Anotace

Dnešní podniky zavádějí digitální technologie a metody, které zvyšují produktivitu a kvalitu, aby se vyrovnaly se složitostí moderních trhů, které se vyznačují vysokou mírou komplexity. Koncept Lean 4.0 tak představuje další krok ve výrobních postupech, které spojují proces snižování plýtvání a zvyšování flexibility. Cílem habilitační práce bylo zhodnotit úroveň implementace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby v podnicích ČR, propojit tyto koncepce a charakterizovat jejich vzájemný vztah, a posoudit vliv na výkonnost se zaměřením na odvětví zpracovatelského průmyslu. Výzkum zkoumá koncepty štihlé výroby a Průmyslu 4.0 prostřednictvím dotazníkového šetření v 517 podnicích zpracovatelského průmyslu a strukturovaných rozhovorů.

Výsledky v podnicích odhalují opatrný přístup k zavádění technologií Průmyslu 4.0. Nejpokročilejší oblastí je digitalizace, zejména v oblasti interakce s dodavateli a zákazníky. Míra zavádění se značně liší, přičemž vyšší je u digitalizace, ale nižší u pokročilých technologií, jako je umělá inteligence a robotika. K posouzení úrovně implementace byl vytvořen index Průmyslu 4.0 (PI4). Ten ukazuje, že větší podniky investují více a dosahují větší míry digitalizace, ačkoli se potýkají s problémy v oblasti robotiky. Naopak menší podniky se potýkají s integrací systémů. V zavádění pokročilých technologií, zejména 3D tisku a robotiky, vede odvětví výroby elektroniky, zatímco výroba spotřebního zboží zaostává.

Výzkum štihlé výroby odhalil, že zavádění metod a principů štihlé výroby se v jednotlivých podnicích značně liší. Štihlá výroba je ve výrobních podnicích ve srovnání s technologiemi Průmyslu 4.0 populárnější a rozšířenější. Přestože mnohé považují štihlou výrobu za strategický cíl, skutečná implementace je často podprůměrná. Základní principy štihlé výroby, jako je 5S, TQM a ISO 9001, jsou široce přijímány, ale pokročilejší metody se uplatňují méně často. K posouzení současné úrovně implementace byl vyvinut Index implementace štihlé výroby (SV4). Větší podniky mají tendenci zavádět štihlé metody ve větší míře a zaměřují se na vizualizaci a standardizaci procesů, zatímco menší podniky kladou důraz na respektování a odpovědnost zaměstnanců. Vliv odvětví je méně výrazný, ačkoli odvětví výroby elektroniky vede v zavádění pokročilých štihlých metod.

Další analýzy odhalily rostoucí integraci mezi metodami štihlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0. Toto zjištění shrnuje sjednocující model Lean 4.0, který vytváří rámec pro rozhodování o zavádění technologií Průmyslu 4.0 do štihlých systémů. Kombinuje čtyři klíčové prvky Průmyslu 4.0, které rozšiřují štihlé výrobní systémy podporou technologicky orientovaného prostředí. Výsledky ukázaly, že vyšší míra zavádění technologií často doprovází metody štihlé výroby a naopak. Regresní analýza zdůraznila, že modely zahrnující proměnné odvětví a velikost, byly spolehlivější, což specifičnost a význam kontextu integrace technologií a metod. Nebyl však zjištěn statisticky významný vztah mezi úrovní implementace Průmyslu 4.0, štihlé výroby a finanční výkonností, což naznačuje, že přínosy mohou být patrnější spíše v provozních ukazatelích.

Abstract

Today's companies are adopting digital technologies and methods that improve productivity and quality to cope with the complexity of modern markets, which are characterised by high levels of complexity. Therefore, the Lean 4.0 concept represents the next step in manufacturing practices that combine reducing waste and increasing flexibility. This work aimed to evaluate the level of implementation of Industry 4.0 and Lean Manufacturing in companies, to link these concepts and characterise their interrelationship, and to assess the impact on performance with a focus on the manufacturing industry. The research explores the concepts of lean manufacturing and Industry 4.0 through a questionnaire survey of 517 manufacturing enterprises and structured interviews.

The results of Industry 4.0 technologies in enterprises reveal a cautious approach to technology adoption. The most advanced area is digitalisation, especially in interaction with suppliers and customers. Adoption rates vary considerably, with higher rates for digitalisation but lower rates for advanced technologies such as artificial intelligence and robotics. An Industry 4.0 index (PI4) has been created to assess the level of implementation, showing that larger enterprises are investing more and achieving greater digitalisation. However, they face challenges in robotics, while smaller enterprises struggle with systems integration. The electronics manufacturing sector leads in adopting advanced technologies, especially 3D printing and robotics, while consumer goods manufacturing lags.

Research on lean manufacturing has revealed that implementing lean methods and principles varies considerably from enterprise to enterprise. Lean manufacturing is more popular and widespread in manufacturing enterprises than Industry 4.0 technologies. Although many consider lean manufacturing a strategic goal, implementation is often below average. Basic lean manufacturing principles such as 5S, TQM, and ISO 9001 are widely accepted, but more advanced methods are less frequently applied. A Lean Manufacturing Implementation Index (SV4) has been developed to assess the current level of implementation. Larger enterprises tend to implement lean methods to a greater extent and focus on visualisation and standardisation of processes, while smaller enterprises emphasise the respect and accountability of employees. The industry's influence is less pronounced, although the electronics manufacturing sector is the leader in adopting advanced lean methods.

Further analysis reveals a growing integration between lean manufacturing methods and Industry 4.0 technologies. This result summarises a unifying model of Lean 4.0 that provides a framework for making decisions about introducing Industry 4.0 technologies into lean systems. It combines four key elements of Industry 4.0 that enhance lean manufacturing systems by supporting a technology-driven environment. The results showed that higher technology adoption rates often accompany lean manufacturing methods. Regression analysis highlighted that models that included industry and size variables were more reliable, giving specificity and importance to the context of technology integration and methods. However, no statistically significant relationship was found between the level of implementation of Industry 4.0, lean manufacturing, and financial performance, suggesting that the benefits may be more apparent in operational indicators.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Kontext výzkumu	4
2.1	Zpracovatelský průmysl.....	4
2.1.1	Hlavní oblasti zpracovatelského průmyslu.....	4
2.1.2	Význam zpracovatelského průmyslu v české ekonomice	6
2.1.3	Současný vývoj zpracovatelského průmyslu.....	10
2.1.4	Výhody a nevýhody zpracovatelského průmyslu.....	12
2.2	Digitalizace a Průmysl 4.0.....	13
2.2.1	Technologie v České republice.....	13
2.2.2	Úroveň zavádění Průmyslu 4.0	16
2.3	Štíhlá výroba a management.....	18
3	Teoretická východiska.....	21
3.1	Průmysl 4.0.....	21
3.1.1	Průmyslové revoluce	21
3.1.2	Pojem Průmysl 4.0	24
3.1.3	Principy a zásady Průmyslu 4.0	26
3.1.4	Digitalizace, digitální transformace a inteligentní továrny	27
3.1.5	Modely připravenosti a úrovně zavádění Průmyslu 4.0	29
3.1.6	Technologie Průmyslu 4.0.....	31
3.1.7	Průmysl 5.0.....	39
3.2	Štíhlá výroba.....	41
3.2.1	Štíhlost, štíhlé myšlení a Lean management	41
3.2.2	Pojem štíhlá výroba.....	42
3.2.3	Zavádění štíhlé výroby	44
3.2.4	Kultura a principy štíhlé výroby.....	47
3.2.5	Metody štíhlé výroby.....	60

3.3	Koncept Lean 4.0.....	69
3.3.1	Perspektivy integrace Lean 4.0	72
3.3.2	Zavádění Lean 4.0	75
3.3.3	Lean 4.0 a výkonnost.....	76
3.3.4	Integrace dalších konceptů s Lean.....	77
4	Metodika práce	81
4.1	Cíl práce.....	81
4.1.1	Výzkumné otázky.....	81
4.1.2	Hypotézy	83
4.2	Metodický postup	84
4.3	Data.....	86
4.3.1	Použité statistické klasifikace.....	86
4.3.2	Výzkumný vzorek	87
4.3.3	Výzkumný vzorek s finančními údaji.....	89
4.4	Použité metody	90
4.4.1	Dotazník	90
4.4.2	Strukturovaný rozhovor.....	91
4.4.3	Statistické metody	92
4.4.4	Vizualizace výsledků.....	96
4.4.5	Sledované finanční ukazatele	97
5	Průmysl 4.0.....	98
5.1	Strategie a implementace Průmyslu 4.0.....	98
5.2	Procesy podle Průmyslu 4.0	99
5.2.1	Digitalizace procesů	100
5.2.2	Digitalizace životního cyklu.....	101
5.2.3	Integrace systémů	102
5.2.4	Automatizace a robotizace	103
5.2.5	Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0.....	104

5.2.6	Vliv velikosti a odvětví na procesní oblasti Průmyslu 4.0	106
5.3	Technologie Průmyslu 4.0	114
5.3.1	Zhodnocení zavádění technologií Průmyslu 4.0	114
5.3.2	Vliv velikosti a odvětví podniku na využívání technologií.....	116
5.3.3	Faktorová analýza technologií Průmyslu 4.0	121
5.3.4	Kategorizace technologií Průmyslu 4.0.....	123
5.3.5	Celkové hodnocení úrovně Průmyslu 4.0 (index PI4).....	124
6	Štíhlá výroba.....	127
6.1	Strategie a implementace štíhlé výroby	127
6.2	Principy štíhlé výroby.....	128
6.2.1	Zhodnocení principů štíhlé výroby.....	129
6.2.2	Vliv velikosti a oboru podniků na principy štíhlé výroby	131
6.3	Metody štíhlé výroby	136
6.3.1	Zhodnocení metod štíhlé výroby.....	136
6.3.2	Vliv velikosti a odvětví podniků na metody štíhlé výroby.....	138
6.3.3	Faktorová analýza metod štíhlé výroby.....	143
6.3.4	Kategorizace metod štíhlé výroby	145
6.3.5	Celkové hodnocení implementace štíhlé výroby (index SV4).....	147
7	Integrace Lean 4.0	150
7.1	Korespondenční analýza.....	150
7.2	Korelační analýza	154
7.3	Vztah indexů Průmyslu 4.0 a Štíhlé výroby	156
7.3.1	Vliv velikosti a odvětví podniků na indexy.....	157
7.3.2	Modelování vztahů mezi indexy Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby	159
7.4	Vyhodnocení strukturovaných rozhovorů.....	162
7.5	Vliv Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby na finanční výkonnost.....	167
7.5.1	Korelační analýza finančních ukazatelů.....	169
7.5.2	Porovnání skupin podniků podle finanční výkonnosti	171

8	Vyhodnocení výzkumných otázek a diskuse	176
8.1	Vyhodnocení výzkumných otázek	176
8.2	Sjednocující model Lean 4.0	184
8.2.1	Řízení kvality	186
8.2.2	Flexibilní a statistické řízení.....	187
8.2.3	Řízení bezpečnosti a rizik.....	189
8.2.4	Optimalizace výroby	190
8.2.5	Diskuse modelu	192
8.3	Teoretické přínosy	194
8.4	Praktické přínosy	196
8.5	Omezení výzkumu	198
9	Závěr.....	202
10	Seznam použitých zdrojů	207
11	Seznam obrázků, tabulek a příloh	235
11.1	Seznam obrázků.....	235
11.2	Seznam tabulek.....	236
11.3	Seznam příloh.....	238

1 Úvod

V současném rychle se měnícím prostředí je nezbytné, aby podniky efektivně implementovaly nové technologie a metody, které zvyšují produktivitu a snižují náklady. Tématem habilitační práce je implementace a integrace technologií Průmyslu 4.0 a štihlých výrobních praktik v podnicích. Výzkum je zařazen do oblasti průmyslové výroby. Průmysl je jedním z nejdůležitějších odvětví české ekonomiky. Během své krátké historie prošel mnoha významnými změnami, které jsou označovány jako průmyslové revoluce. Současná průmyslová revoluce, označovaná jako Průmysl 4.0 představuje novou etapu založenou na zavádění pokročilých technologií a digitalizace do výrobních procesů. Jeho cílem je vytvořit flexibilní, efektivní a adaptabilní výrobní prostředí inteligentních továren, integrované dodavatelské řetězce, propojené výrobky a vylepšená pracoviště (Kagermann et al., 2012) s využitím pokročilých technologií ke zvýšení produktivity, kvality a konkurenceschopnosti. Toho lze také dosáhnout koncepcí štihlé výroby prostřednictvím eliminace plýtvání a zaměřením se na maximální přidanou hodnotu s minimálním využitím zdrojů (Krafcik, 1988; Womack et al., 1990). Nicméně, podle Kolberga & Zühlke (2015) štihlá výroba již dosáhla svého maximálního potenciálu v této technologicky vyspělé a globalizované době. V nestabilním a proměnlivém prostředí není dostatečně flexibilní, a proto by měla být obohacena o nové technologie.

Integrace metod štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 se označuje jako Lean 4.0. Tato koncepce představuje další krok ve výrobních postupech, neboť kombinuje principy snižování plýtvání a neustálého zlepšování Lean s digitalizací, automatizací a možnostmi analýzy dat Průmyslu 4.0 (Shahin et al., 2020). Průmysl 4.0 i štihlá výroba využívají decentralizované řízení a jejich cílem je zvýšit produktivitu a flexibilitu. Toto jedinečné spojení štihlých metod a pokročilých technologií umožňuje zvýšit úroveň produktivity a flexibility (Buer et al., 2018) optimalizací celého výrobního procesu a snížením plýtvání a nákladů. V současném kontextu průmyslových inovací je nezbytné pochopit, jak lze tyto dvě koncepce integrovat pro dosažení optimální výkonnosti.

Tato práce se zaměřuje na implementaci jednotlivých metod štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0, a zkoumá, jak se tyto dva přístupy vzájemně doplňují a podporují. Cílem habilitační práce je zhodnotit úroveň implementace a úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby v podnicích, propojit tyto koncepce a charakterizovat jejich vzájemný vztah, a posoudit vliv na výkonnost se zaměřením na odvětví zpracovatelského průmyslu. Tento cíl je důležitý pro pochopení synergií mezi tradičními výrobními metodami a moderními technologickými inovacemi, což může pomoci podnikům efektivněji plánovat a realizovat své strategie.

V současnosti integrace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby ve vědecké a akademické komunitě není dostatečně objasněná téma (Langlotz et al., 2021). Spojení nových technologií se stávajícími způsoby efektivní štihlé výroby je náročné, protože zatím neexistuje jasný postup, jak tyto koncepty propojit (Wagner et al., 2017). Integraci nástrojů štihlé výroby a Průmyslu 4.0 se věnuje pouze omezený počet studií. Toto omezení ukazuje, že integrace je novou vědeckou oblastí a stále existují výzkumy zaměřené na přínosy, bariéry a důsledky, které musí být potvrzeny (Alsadi et al., 2023). Studie zabývající se vztahem mezi Průmyslem 4.0 a štihlou výrobou poskytují rozporuplné empirické důkazy, což vyžaduje, aby výzkum v této oblasti pokračoval (Tortorella et al., 2021). Literatura o Lean 4.0 je perspektivní, ale je zapotřebí dalšího výzkumu, aby se zaplnily vědecké mezery a rozvinulo komplexní chápání jejich integrace (Alsadi et al., 2023). Potenciální mezery ve výzkumu vysvětlují rozmanitou povahu Lean 4.0 a jeho důsledky pro různé aspekty moderní výroby.

Tato habilitační práce bude usilovat o vyplnění následujících mezer ve výzkumu:

Absence sjednocující teorie. Z analýz současné literatury a literárních přehledů zaměřených na Lean 4.0 vyplývá, že chybí sjednocující teorie pro integraci štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Zejména s ohledem na různá odvětví či velikosti podniků. Podle Kolberga & Zühlke (2015) chybí ucelený koncept pro flexibilní integraci manuálních i automatizovaných pracovišť. Současné modely mají obvykle omezenou platnost a nejde je zobecnit. Ukázkou teoretických rámců, které by se mohly v budoucnu prosadit jsou například teoretický rámec pro implementaci štihlé automatizace (Tortorella et al., 2021), strukturovaný rozhodovací rámec MAUT (Tardio Paulo et al., 2024), integrace štihlé automatizace (Saraswat et al., 2024) a další.

Nedostatek empirických studií. Navzdory teoretickým přínosům konceptu Lean 4.0 existuje výrazná výzkumná mezera, pokud jde o empirické studie integrace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Příkladem takových empirických výzkumů je studie alžírských a francouzských společností různých velikostí (Najwa et al., 2022), profesionálů v oblasti provozní dokonalosti (Wankhede et al., 2024), dotazníkové šetření zaměřené na výrobní systémy (Gdoura et al., 2024), společnosti v Brazílii a Maďarsku v těžebním průmyslu (Oláh et al., 2023), empirické důkazy z malajského výrobního průmyslu (Y. H. Ooi et al., 2023) a další.

Nedostatek případových studií a praktických aplikací. Nedostatek empirických studií se vztahuje zejména na případové studie zaměřené na přínosy integrace štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Tato oblast je poměrně zpracována v oblasti farmaceutického průmyslu (Tetteh-Caesar et al., 2024), ve srovnávací studii mezi komerční leteckou společností a kosmetickou společností (De Carvalho et al., 2023), případové studii na čtyři společnosti z Velké Británie

(Queiroz et al., 2024), studii na mikro, malé a střední podniky z Indie (H. Singh & Singh, 2023), či v automobilovém průmyslu (Mrabti & Nouri, 2023) a dalších.

Nedostatek studií hodnotících výkonnost ve vztahu k integraci štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Výsledky současných studií ukazují, že vliv na finanční výkonnost není jednoznačný. Existuje poměrně mnoho studií potvrzujících pozitivní vliv integrace zvyšující výkonnost výrobních podniků (Pereira & Sachidananda, 2022; Tortorella & Fettermann, 2018), udržitelnou výkonnost (Y. H. Ooi et al., 2023; Saha et al., 2023), zlepšení efektivity (Hotrawaisaya et al., 2019), provozní efektivity (Chakroun et al., 2022) atd. Na druhou stranu existují studie, které souvislost s výkonností a pozitivní dopad Lean 4.0 nepotvrzují (Buer et al., 2018; Maemunah, 2021).

Rozsah využitelnosti integrace pro organizace. Tato oblast výzkumu se vztahuje k rozsahu využití technologií, které sice mohou podporovat štihlou výrobu v konkrétním podniku, ale nemusí existovat důkazy potvrzující účinnost této integrace ve všech typech organizací. Z tohoto důvodu je vhodné podporovat studie specifické pro různá odvětví či velikosti podniku. Nejčastěji citované práce jsou zaměřeny na automobilový průmysl (Ghouat et al., 2021; Markov & Vitliemov, 2022; Moro & Virgillito, 2022) a malé a střední podniky (Agarwal et al., 2024; Qureshi, Mewada, Kaur, et al., 2023; H. Singh & Singh, 2023). Z toho vzniká požadavek na větší rozmanitost ve složení výzkumných vzorků.

Mezi další mezery ve výzkumu lze označit roli lidského faktoru a podnikové kultury v Lean 4.0, obavy z kyberbezpečnosti, lidský faktor v Lean 4.0, business modely Lean 4.0, bariéry integrace, udržitelnost a Lean 4.0 či dynamika dodavatelských sítí.

Práce může přinést několik klíčových přínosů. Za prvé, určí současnou úroveň a charakteristiky štihlé výroby a Průmyslu 4.0 v České republice. Za druhé, poskytne hlubší pochopení významu a role velikosti a odvětví podniku na úspěšnou implementaci Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Za třetí, práce přispěje k akademické debatě o integraci moderních technologií a tradičních výrobních metod, což může vést k dalšímu výzkumu a inovacím v této oblasti. Za čtvrté, může potvrdit význam štihlé výroby a Průmyslu 4.0 pro finanční výkonnost podniků. Za páté, nabídne praktické poznatky a doporučení pro podniky, které se snaží zlepšit své výrobní procesy prostřednictvím těchto inovací. Za šesté, přispěje k rozšíření a obohacení dosavadních znalostí odpověďmi na výzkumné otázky z oblasti ekonomiky a managementu.

2 Kontext výzkumu

Průmysl patří mezi významné odvětví světového hospodářství zejména z důvodu rychlého zavádění vědeckých objevů a vynálezů do výroby. Průmysl zahrnuje výrobní činnosti, které prostřednictvím výrobních faktorů získávají nebo zpracovávají suroviny na výrobky. Ty mohou být využity jako další výrobní prostředky, nebo produkty určené ke konečné spotřebě.

2.1 Zpracovatelský průmysl

„Zpracovatelský průmysl se zabývá přeměnou surovin na hotové výrobky prostřednictvím výrobních procesů, které mohou zahrnovat ruční práci, nástroje, chemické procesy, stroje nebo jejich kombinace.“ (MPO, 2005). Hlavním cílem zpracovatelského průmyslu je zpracovat suroviny ze zemědělství a těžebního průmyslu, v průmyslových závodech vyrobit prostředky k uspokojování lidských potřeb, ale i k další výrobní činnosti (Oneindustry, 2019; Synapsis Consulting, 2024). Zpracovatelský průmysl se tedy provádí v podnicích, které přeměňují suroviny na konečný výrobek prostřednictvím organizovaných procesů za použití práce, strojů, nástrojů a moderních technologií (Synapsis Consulting, 2024). Z tohoto pohledu rozlišujeme těžký (těžební, zpracovatelský, energetický, chemický atd.) a lehký (spotřební, tj. potravinářský, oděvní, papírenský atd.) průmysl. Podle Skyplanner (2024) hlavní výhodou zpracovatelského průmyslu je, že díky automatizaci strojů lze vytvářet velké objemy výrobků nebo komponentů za nižší ceny. Nové technologie přinášejí inovace a růst produktivity práce ve výrobním procesu.

2.1.1 Hlavní oblasti zpracovatelského průmyslu

Hlavní oblasti zpracovatelského průmyslu jsou uvedeny v definici CZ-NACE (Kesely, 2018). „Zpracovatelský průmysl zahrnuje mechanickou, fyzikální nebo chemickou přeměnu materiálů nebo komponentů na nové produkty (zboží). Materiály, látky a suroviny, které se využívají jako vstupy zpracovatelského průmyslu, jsou produkty zemědělství, lesnictví, rybolovu a akvakultury, těžby, dobývání kamene a písků a jílu nebo se též může jednat o produkty jiných zpracovatelských činností“ (Kesely, 2018). Zpracovatelský průmysl rozlišuje podle CZ-NACE skupiny ekonomických činností zahrnutých v oddílech 10-33:

Strojírenství (oddíly 24-25, 29-30, 33). Z hlediska podílu na průmyslové produkci se jedná o nejvýznamnější odvětví českého hospodářství. Podílí se více než jednou třetinou na produkci celého průmyslu. Tento sektor je charakterizován mimořádně bohatým sortimentem výrobků, které zahrnují stroje, zařízení a přístroje, či např. automobily. Charakteristické pro tento obor je silná exportní orientace. Mezi klíčové hráče v tomto sektoru patří například Škoda Auto. Sektor

se vyznačuje vysokou mírou investic do nových technologií a inovací. Mezi hlavní výzvy patří udržování kvalifikované pracovní síly a potřeba neustálé modernizace výrobních procesů.

Elektrotechnický průmysl (oddíly 27-28). Elektrotechnický průmysl se podílí významně na celkových tržbách zpracovatelského průmyslu. Tento sektor zahrnuje výrobu elektrických strojů a přístrojů, elektronických zařízení, kancelářských strojů, počítačů, rádiových, televizních a spojovacích zařízení. Podobně jako strojírenství i elektrotechnický průmysl má silnou exportní orientaci. Klíčovými podniky v tomto sektoru jsou společnosti jako Siemens, ABB a další. Sektor je charakterizován vysokou mírou investic do nových technologií a výzkumu a vývoje. Elektrotechnický průmysl čelí výzvám, jako je potřeba neustálé inovace a modernizace výrobních procesů, globální konkurence a rizika spojená s dodavatelskými řetězci.

Potravinářský průmysl (oddíly 10-12). Potravinářský a tabákový průmysl představuje významnou část zpracovatelského průmyslu. Mezi jeho produkty patří výroba potravinářských výrobků a nápojů, zpracování tabáku, výroba mléčných produktů, masa, pečiva, cukrovinek a dalších potravinářských produktů. Významná část produkce potravinářského průmyslu směřuje na zahraniční trhy. Důraz je kladen na modernizaci zařízení a zavádění inovací do výroby. Potravinářský průmysl čelí výzvám spojeným s rostoucími nároky na kvalitu a bezpečnost potravin, změnami v legislativě a potřebou přizpůsobit se novým trendům v potravinářství, jako jsou biopotraviny a ekologicky šetrné produkty.

Výroba výrobků pro domácí spotřebu (oddíly 13-16, 31-32). Toto odvětví zahrnuje více skupin oborů lehkého průmyslu, který se soustředí na spotřební statky. Produkty zahrnují širokou škálu zboží od oděvů a obuvi, přes nábytek, až po hračky a další spotřební výrobky. Tyto výrobky jsou zaměřeny na konečného spotřebitele a zahrnují jak denní potřeby, tak dlouhodobé investiční předměty pro domácnosti. Významná část produkce je určena pro export, přičemž hlavními trhy jsou země Evropské unie. Mezi klíčové hráče patří společnosti jako IKEA (v oblasti nábytku). Sektor je charakterizován stálými investicemi do modernizace výrobních procesů a zavádění nových technologií, jako jsou automatizace, robotizace a využití pokročilých plánovacích systémů. Významné jsou také investice do udržitelných a ekologických technologií. Toto odvětví čelí výzvám spojeným s rostoucími požadavky na kvalitu a bezpečnost výrobků, tlakem na snižování nákladů a konkurenčními tlaky zejména z Asie.

Ostatní odvětví zpracovatelského průmyslu (oddíly 17-23).

Chemický a farmaceutický průmysl má rozhodující význam pro hospodářství a významný podíl na průmyslové produkci. Zahrnuje výrobu chemikálií, plastů, farmaceutik, hnojiv a dalších chemických produktů. Klíčové jsou produkty s vysokou přidanou hodnotou, jako jsou speciální

chemikálie a farmaceutické výrobky. Mezi významné firmy patří například Unipetrol, Spolana a Synthos. Výzvy zahrnují dodržování přísných ekologických a bezpečnostních předpisů. Trhu je charakteristický růstem s důrazem na inovace a vývoj nových produktů.

Plastikový a gumárenský průmysl. Gumárenský a plastikářský průmysl zaznamenal významný růst. Produkty zahrnují výrobu plastových výrobků, gumových výrobků, obalových materiálů, stavebních materiálů a dalších plastických komponentů. Významné firmy zahrnují například Gumotex a Semperflex. Mezi hlavní výzvy patří ekologické otázky spojené s plasty, potřeba recyklace a snižování environmentálního dopadu výroby. Z hlediska dalšího rozvoje jsou důležité investice do modernizace systémů, recyklačních technologií a udržitelných postupů.

Papírenský průmysl. Papírenský a polygrafický průmysl se podílel na tržbách zpracovatelského průmyslu. Tento sektor zahrnuje výrobu papíru, lepenky, celulózy a tištěných materiálů. Produkty se používají v různých odvětvích, od balení až po vydavatelskou činnost. Mezi významné firmy patří Mondi Štětí a Papírny Bělá. Dynamika trhu je ovlivněna poptávkou po balicích materiálech a tištěných produktech.

Průmysl nekovových výrobků. Průmysl skla, keramiky, porcelánu a stavebních hmot zaznamenal významný podíl na tržbách. Produkty zahrnují výrobu stavebních materiálů, skla, keramiky, porcelánu a dalších nekovových výrobků, které se používají v různých průmyslových a spotřebitelských aplikacích. Investice do modernizace výrobních zařízení, energeticky efektivních technologií a inovativních materiálů. Na trhu je ovlivněna poptávkou po stavebních materiálech a kvalitních nekovových výrobcích.

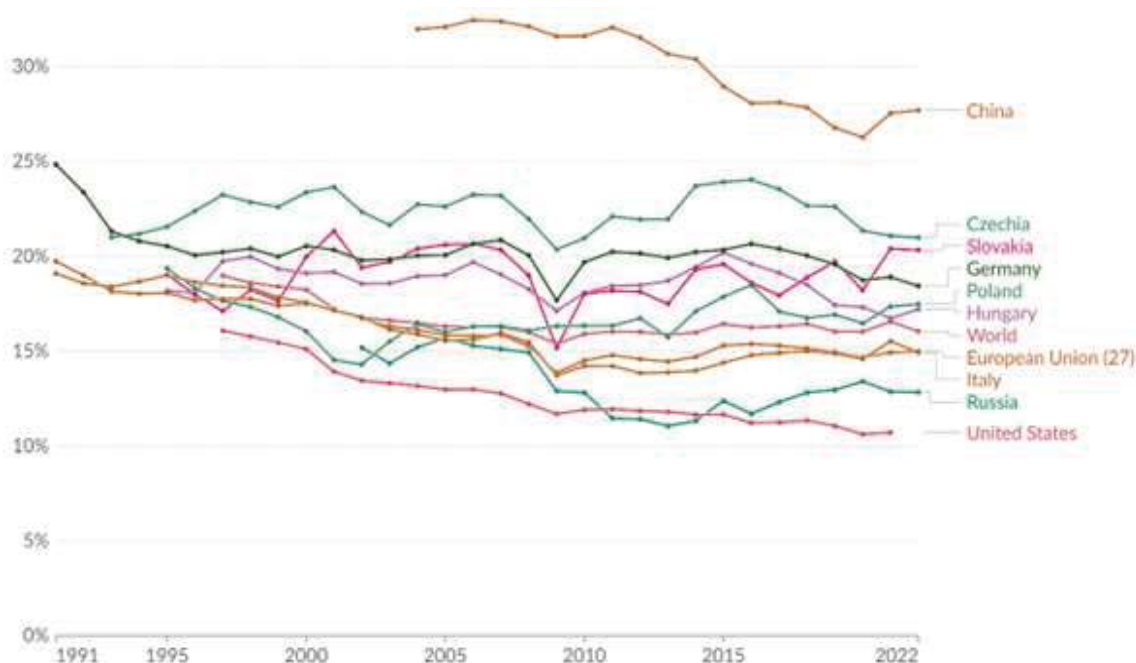
2.1.2 Význam zpracovatelského průmyslu v české ekonomice

Po roce 1989 prošla Česká republika výraznou ekonomickou transformací, která vedla k privatizaci velkých podniků a jejich postupnému přechodu do rukou zahraničního kapitálu. Tento vývoj měl za následek, že značná část zisků plynula za hranice, což vytvářelo tlak na udržení konkurenceschopnosti prostřednictvím zavádění nových metod a inovací. Zatímco velké podniky se musely přizpůsobit globálním standardům a implementovat štíhlou výrobu či Průmysl 4.0, menší české podniky často spoléhaly na levnou pracovní sílu a vyhýbaly se inovacím. Tato stagnace v produktivitě je často spojována s dotační politikou. Český průmysl, zejména malé a střední podniky, se mnohdy dožadují státní podpory namísto aktivního hledání řešení a zlepšení, což brání rozvoji a plné integraci moderních výrobních metod.

Z pohledu výkonnosti průmyslu se využívá jeho podíl na tvorbě přidané HDP. Zpracovatelský průmysl patří k rozhodujícím zdrojům tvorby hrubého domácího produktu. Ortová (2023) uvádí, že v České republice došlo k poklesu jeho významu z 32 % v devadesátých letech na současných

27 % v roce 2022. Významný podíl zpracovatelského průmyslu na ekonomice si Česko dlouhodobě udržuje i v období recese. Jeho význam dokládá také téměř třetina z celkových 5 milionů zaměstnaných osob. Z tohoto pohledu je průmysl stále významné odvětví českého hospodářství. Celkový počet pracujících ve zpracovatelském průmyslu je v České republice i v současnosti nejvyšší v porovnání se všemi ostatními odvětvími. Zaměstnanost ve zpracovatelském průmyslu jako podíl na celkové zaměstnanosti dosahuje podle MMR (2022) 25,6 %. Zpracovatelský průmysl má v české ekonomice klíčové postavení, neboť se také podílí čtyřmi pětinami na exportu (Sukup et al., 2005). V současnosti je český průmysl závislý na exportu do Německa. Průmyslové podniky mají největší podíl přidané hodnoty při výrobě průmyslových výrobků a při poskytování průmyslových služeb (Oneindustry, 2019).

Obrázek 1 Podíl zpracovatelského průmyslu na HDP (1991-2022)

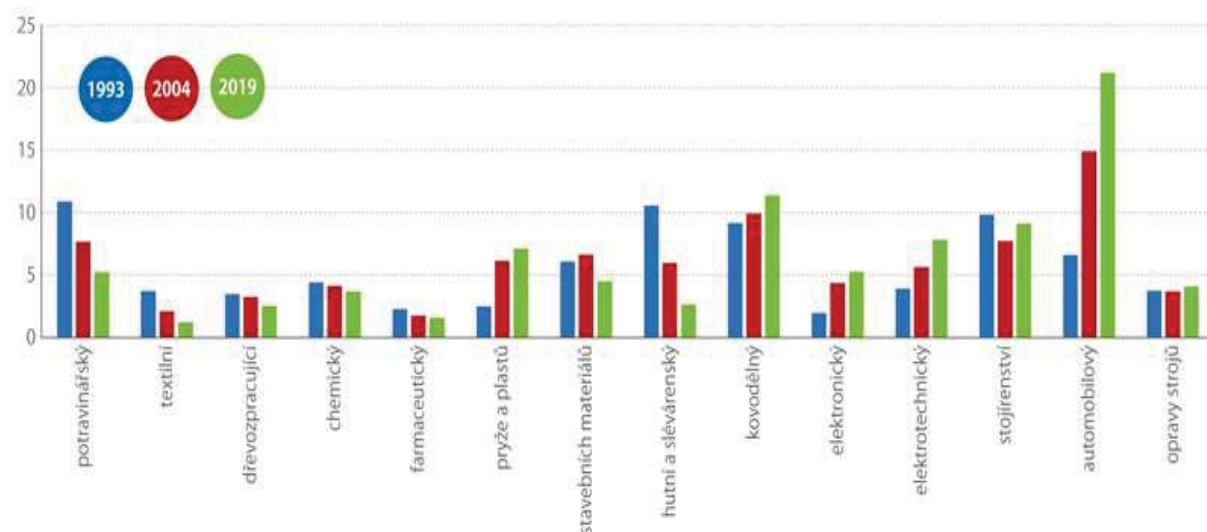


Zdroj: data World Bank upravena prostřednictvím Our World in Data (2024)

Význam zpracovatelského průmyslu pro českou ekonomiku je patrný také v mezinárodním srovnání. Z hlediska podílu zpracovatelského průmyslu na tvorbě hrubé přidané hodnoty se Česká republika s 21 % pohybuje na čele evropských zemí (MMR, 2022). Obrázek 1 ukazuje, že Česká republika v podílu zpracovatelského průmyslu na HDP převyšuje své nejbližší mezinárodními konkurenty (Německo 18,4 %, Slovensko 20,3 %, Polsko 17,5 %). V porovnání s průměrnou úrovní v Evropské unii 15 % jde o vyšší míru. Po krizi v roce 2009 lze pozorovat stoupající trend podílu zpracovatelského průmyslu na tvorbě hrubé přidané hodnoty (období 2015-2020). Nicméně v důsledku pandemie Covid-19 dochází k posloupnému poklesu této úrovně.

Zaměříme-li se na strukturu zpracovatelského průmyslu v České republice, zaznamenáme v prvních letech po vzniku České republiky jako nejsilnější odvětví potravinářský průmysl, hutnictví a strojírenství (Ortová, 2023). Obrázek 2 zachycuje vývoj podílu přidané hodnoty ve zpracovatelském průmyslu v letech 1993, 2004 a 2019 v jednotlivých odvětvích.

Obrázek 2 Podíl odvětví na přidané hodnotě zpracovatelského průmyslu (%)



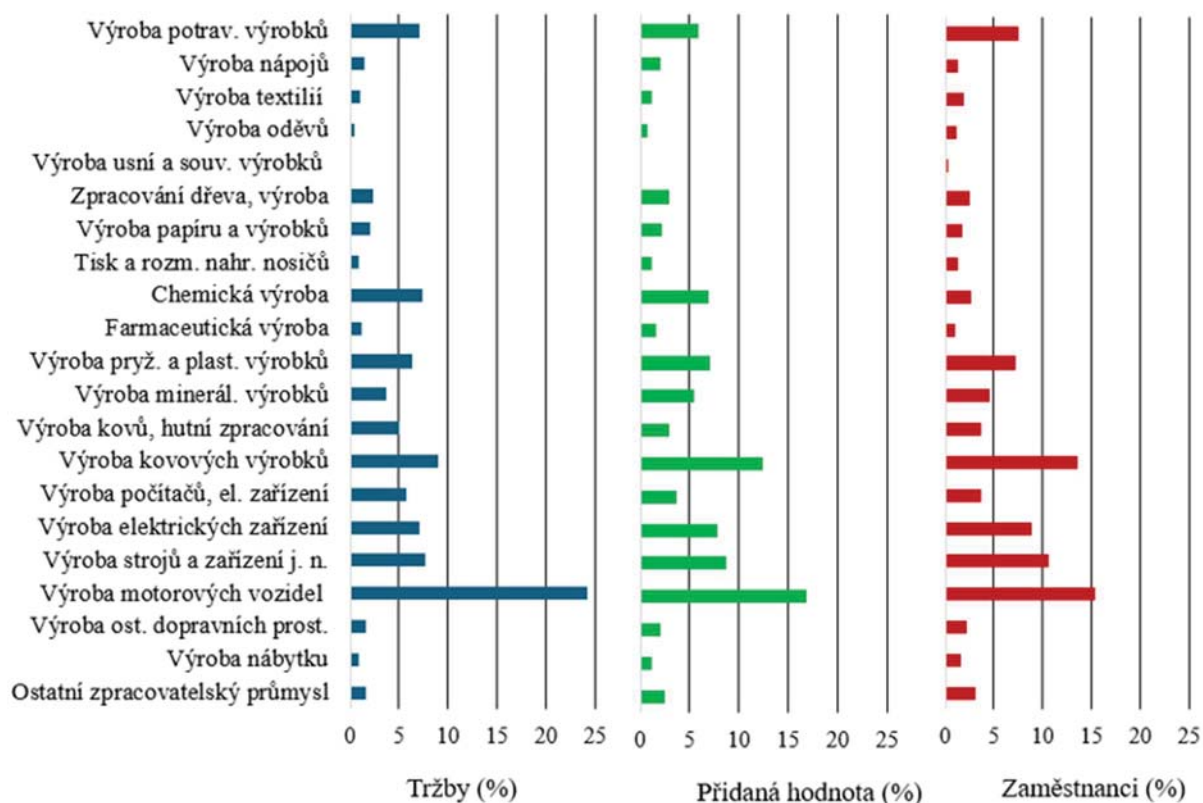
Zdroj: ČSÚ in Ortová (2023)

V tomto období došlo k výraznému nárůstu významu automobilového průmyslu, který vzrostl z 7 % na 12 % v roce 2000 a v roce 2019 na úroveň dosavadního maxima 21 %. To ukazuje na rostoucí dominanci tohoto odvětví v rámci zpracovatelského průmyslu. Dnes se jedná o klíčové průmyslové odvětví i v exportu. Výrazný nárůst vykazuje také strojírenství a elektronika, což odráží pokrok a zvýšenou poptávku v těchto oborech. Naopak textilní a dřevozpracující odvětví si udržují relativně nízké podíly na přidané hodnotě. To poukazuje na odklon od tradičních zpracovatelských odvětví. Odvětví potravinářství, chemického průmyslu, farmaceutického průmyslu, gumárenství a výroby plastů, stavebních materiálů, skla a keramiky, elektrotechniky a strojírenství vykazují mírný růst s určitými výkyvy.

V odvětví pryže a plastů dochází do roku 2019 k výraznému nárůstu, který je pravděpodobně způsoben inovacemi a větším využíváním těchto materiálů v různých odvětvích. Růst odvětví stavebních materiálů lze přičíst růstu ve stavebnictví a rozvoji infrastruktury. Celkově trendy naznačují širší průmyslovou transformaci charakterizovanou vzestupem high-tech oborů a automobilového průmyslu, zatímco tradiční odvětví, jako je textilní průmysl a zpracování dřeva, zůstávají stabilní, ale méně dominantní. Tento posun odráží změny ve spotřebitelské poptávce, technologický pokrok a hospodářskou politiku ovlivňující výrobní prostředí v průběhu 26 let.

Obrázek 3 uvádí analýzu odvětví zpracovatelského průmyslu, která zkoumá jejich přínos ve třech klíčových ekonomických ukazatelích: tržby (v tis. Kč), přidaná hodnota (v tis. Kč) a zaměstnanost (průměrný evidenční počet přečtený). Obrázek je strukturován do tří vertikálních oddílů, z nichž každý představuje jinou oblast ekonomiky výrobních odvětví.

Obrázek 3 Pozice odvětví v rámci zpracovatelského průmyslu v roce 2022



Zdroj: MPO (2022b)

Výsledky zdůrazňují zásadní význam automobilového průmyslu, který vede jak v tržbách, tak v přidané hodnotě a zároveň si udržuje významný podíl na zaměstnanosti. Chemické a elektronické odvětví jsou klíčová odvětví, která podporují ekonomickou výkonnost díky významným příspěvkům k tržbám a přidané hodnotě. Tradiční odvětví, jako je potravinářský průmysl a výroba kovových výrobků, ačkoli mají nižší tržby a přidanou hodnotu, zůstávají zásadní pro zaměstnanost, což zdůrazňuje jejich úlohu při udržení pracovní síly. Rostoucí příspěvky odvětví výroby strojů a zařízení a elektronických zařízení odrážejí širší průmyslové transformace a rostoucí poptávku po špičkových technologiích.

V porovnání z hlediska tržeb dominuje automobilový průmysl, který se na celkových tržbách podílí 24,14 %. Významně se na něm podílí také chemický průmysl (7,40 %) a výroba kovových výrobků s podílem přibližně 8,97 % na celkových tržbách. Neméně významné jsou obory výroby

elektrických zařízení, strojů a zařízení či počítačů a elektrických zařízení. Tyto údaje zdůrazňují význam špičkových technologií a automobilového průmyslu v ekonomickém prostředí.

Rozdělení přidané hodnoty vykazuje dominanci automobilového průmyslu, který se na celkové přidané hodnotě zpracovatelského průmyslu podílí přibližně 16,79 %. Dalším významným přispěvatelem je výroba kovových zařízení (12,40 %), což odráží zvýšenou poptávku. Silné zastoupení si udržuje výroba strojů a zařízení s přibližně 8,65 % podílem na přidané hodnotě. Kromě toho skromný, ale rostoucí podíl výroby pryžových a plastových výrobků (7,05 %) ukazuje na jeho rostoucí význam v odvětví.

Porovnání zaměstnanosti ve výrobních odvětvích je rozmanitější. Automobilový průmysl sice vede v tržbách a přidané hodnotě, ale zaměstnává 15,31 % pracovní síly. Více je zastoupena také výroba kovových výrobků s 13,58 % a výrobu strojů a zařízení 10,56 %, což ukazuje na vyvážený dopad na ekonomické ukazatele a zaměstnanost. Významným podílem na zaměstnanosti se vyznačují potravinářský průmysl a výroba strojů a zařízení, které se na zaměstnanosti podílejí přibližně 7-8 %. To ukazuje i na vyšší význam některých tradičních výrobních odvětví pro udržení úrovně zaměstnanosti, přestože jejich podíl na tržbách a přidané hodnotě je nižší.

Pro srovnání ČSU (2023a) na základě dat Eurostatu uvádí, že v přidané hodnotě na obyvatele v EU se jednotlivé země liší ve specializaci na jednotlivá odvětví zpracovatelského průmyslu. Výroba potravin, nápojů a tabákových výrobků je soustředěna v Německu, Francii a Itálii. Itálie vévodí výrobě textilu, oděvů a kožených výrobků. Výroba a zpracování dřeva či papíru je důležitým odvětvím v Německu, Polsku, Estonsku či Lotyšsku. Výroba motorových vozidel a dopravních prostředků je EU soustředěna do Německa, Francie ČR, SR či Rumunska. Dánsko, Belgie či Německo je také významným producentem farmaceutik. Podobně je chemický průmysl koncentrován v Belgii, Nizozemí a Německu. Výroba kovů a slévárenství je nejrozšířenější v Německu a Rakousku. Z toho se na kovové konstrukce zaměřuje ČR, Slovinsko či Slovensko. Stroje a elektronika, výroba počítačů je významná v Německu či Maďarsku. Výroba nábytku probíhá zejména v Polsku, Německu či Itálii.

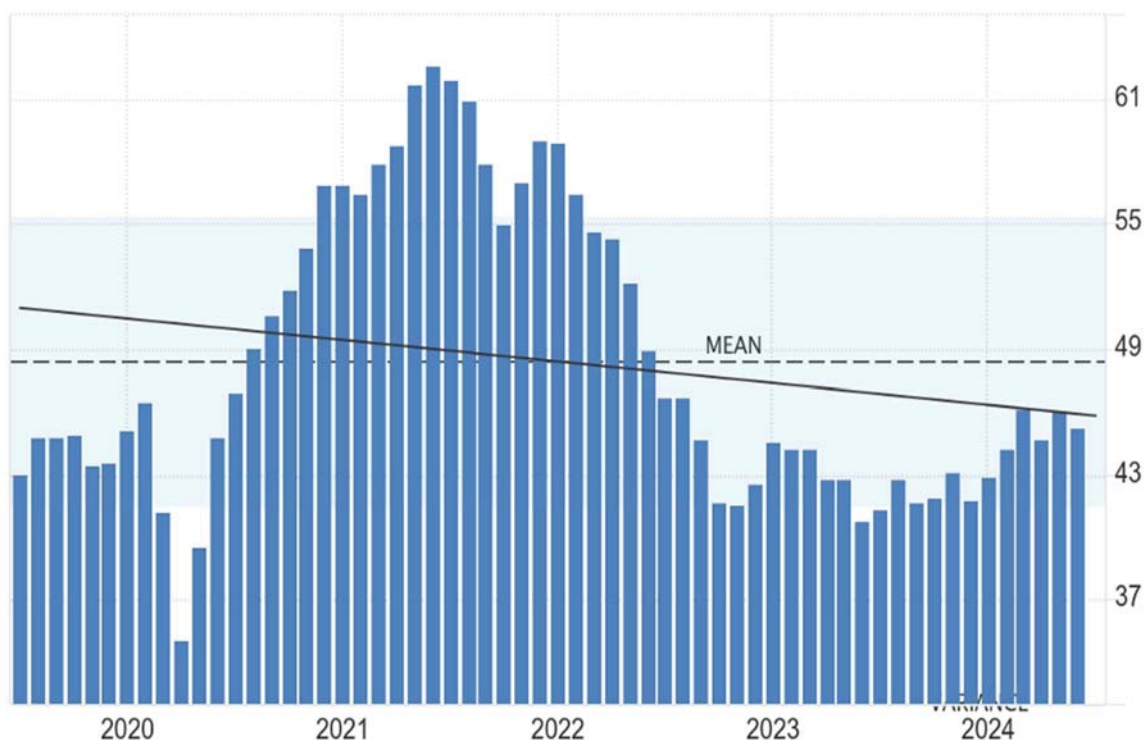
2.1.3 Současný vývoj zpracovatelského průmyslu

Svaz průmyslu a dopravy ČR (2024) v hodnocení současného stavu průmyslu uvádí, že za rok 2023 došlo k poklesu HDP o 0,4 %, ve zpracovatelském průmyslu naopak k růstu o 1 %. Hlavní podíl na tomto výsledku má výroba motorových vozidel, bez které by průmysl skončil záporný. Klesající tendenci mělo zejména odvětví nekovových minerálních výrobků, hutnictví a slévárenství i výroba elektřiny. Produkce většiny energeticky náročných zpracovatelských oborů se postupně začíná odrážet od svého dna. Tento stav byl vyvolán zejména růstem cen

vstupů, narušení dodavatelských řetězců, slabou poptávkou či dalších bariér. Jak uvádí zpráva Českého statistického úřadu (2024) produkce celého průmyslu je za svým vrcholem z období předpandemické konjunktury v roce 2019 a mírně zaostala (o 1,7 %). Hradil (2024) upozorňuje zejména na kombinaci poklesu počtu zaměstnanců v průmyslu o 2,0 % a nárůstu průměrné mzdy o 7,9 %.

ČTK (2024) uvádí, že se podmínky v zpracovatelském průmyslu dále zhoršují a aktuální oslabení sektoru trvá již 25 měsíců. Dokonce poklesl index nákupních manažerů (PMI) v důsledku náročných podmínek v poptávce na domácích i hlavních exportních trzích v Evropě a USA. Podle Hradila (2024) je poptávka utlumena u konečných spotřebitelů v důsledku krizového období a u podnikatelů z důvodu zhoršených podmínek u investic (zejména vysokých úrokových sazeb). Hodnota výrazně pod průměrem je podle S&P Global (2024) patrná také u indexu PMI ve zpracovatelském průmyslu v eurozóně (HCOB). Obrázek 4 zobrazuje vývoj PMI indexu České republiky v posledních pěti letech. Velký vliv na tuto špatnou situaci v průmyslu má podle Pastuchy (2024) stagnace německé ekonomiky, která je nejdůležitějším obchodním partnerem České republiky. Výsledkem jsou poklesy výroby, nových zakázek, nákupů i zaměstnanosti, zvyšování objemu zásob.

Obrázek 4 Vývoj PMI indexu v České republice



Zdroj: S&P Global (2024)

Pro Českou republiku pak specifické tyto trendy ve zpracovatelském průmyslu (Deloitte, 2024)

- Nedostatek pracovních sil (obtížné hledání talentů).
- Nestabilita dodavatelského řetězce.
- Iniciativy inteligentních továren (implementace digitálních technologií).
- Kybernetická bezpečnost.
- ESG investice (investice do podpory udržitelnosti).

Z výše uvedených trendů je zřejmé, že jedním z významných trendů ve zpracovatelském průmyslu jsou digitalizace a Průmysl 4.0. To zahrnuje zavádění nových technologií, automatizaci a transformaci výrobních procesů s cílem vytvořit inteligentní továrny. Neméně významným trendem zejména v oblasti automobilového průmyslu je bezesporu implementace Green Deal s klíčovými iniciativami a přechodem na nízkouhlíkové technologie. Zelené technologie a udržitelnost jsou v současnosti klíčovými oblastmi ekologických aktivit.

2.1.4 Výhody a nevýhody zpracovatelského průmyslu

Za hlavní výhody zpracovatelského průmyslu v České republice můžeme považovat následující:

- Silná exportní orientace. Otevřená exportní ekonomika pomáhá s růstem poptávky. Z pohledu zahraniční bilance má Česká republika třetí největší podíl v dodávkách výrobků zpracovatelského průmyslu do členských států EU.
- Strategická poloha a infrastruktura. Česká republika má výhodnou geografickou polohu ve střední Evropě. Z hlediska obchodu je důležitá dopravní a telekomunikační infrastruktura. Význam mají také členství v EU a NATO.
- Kvalifikovaná pracovní síla. Ve srovnání s ostatními zeměmi, si Česká republika zachovává poměrně vysokou úroveň kvalifikace při relativně nízkých mzdách. Významné je zejména technické vzdělání.
- Přímé zahraniční investice (PZI). Díky podpoře ze zahraničí podniky využívají moderní technologie, které umožňují lepší přístup na trh.
- Podíl na ekonomice. Celkově můžeme konstatovat (z výše uvedených analýz), že zpracovatelský průmysl si v České republice zachovává vysoký podíl na tvorbě HDP, přidané hodnoty a zaměstnanosti.

Naopak hlavními nevýhodami zpracovatelského průmyslu v České republice jsou:

- Nízký podíl komodit s vyšší přidanou hodnotou. Hlavním problémem současného průmyslu je zaměření činností podniků na kompletaci či montáž dílčích částí produktů.

V kontextu udržení konkurenceschopnosti je slabou stránkou malý podíl komodit s vyšší přidanou hodnotou.

- Závislost na automobilovém průmyslu. Hlavní výhody automobilového průmyslu mohou být v krizových dobách také rizikem. To se týká zejména dodavatelských řetězců či napojení na Německou ekonomiku.
- Globální rizika a hrozby. Vývoj může být ovlivněn v důsledku pandemie, geopolitické nestability, ceny surovin. Vývoj války na Ukrajině a s ní související vývoj cen energií vyvolává problémy s dostupností některých surovin a materiálů (MPO, 2022a).
- Nedostatek pracovních sil. Růst zpracovatelského průmyslu dlouhodobě brzdí nedostatek kvalifikované pracovní síly.
- Ekologické výzvy. Současný důraz na udržitelnost a ekologii vyvolává požadavky na rozvoj obnovitelných zdrojů energie, snižování emisí a využití zelených technologií.
- Pokles výroby a nových průmyslových zakázek na trhu (MPO, 2022a). Současný vývoj je odrazem růstu cen vstupů a dalších ekonomických faktorů, které negativně ovlivňují výrobu.

2.2 Digitalizace a Průmysl 4.0

Průmyslový sektor v České republice se aktivně zapojuje do transformace k Průmyslu 4.0 se zaměřením na automatizaci, využívání kolaborativních robotů a digitalizaci výrobních procesů. Podniky v České republice se nacházejí v různých fázích připravenosti na tuto transformaci včetně logistiky v různých odvětvích, jako je automobilový průmysl, zpracovatelský průmysl a elektronika (Zoubek et al., 2022).

Digitální úroveň podniků se sleduje pomocí indexu digitální náročnosti (DIL), který měří využívání 12 různých digitálních technologií v podnicích, například využívání umělé inteligence nebo elektronického prodeje. Index hodnotí podniky podle toho, kolik digitálních technologií používají na čtyřech úrovních (8-12 je maximum). V roce 2022 dosáhlo základní úrovně digitální intenzity 70 % všech podniků v EU (Evropská komise, 2023).

2.2.1 Technologie v České republice

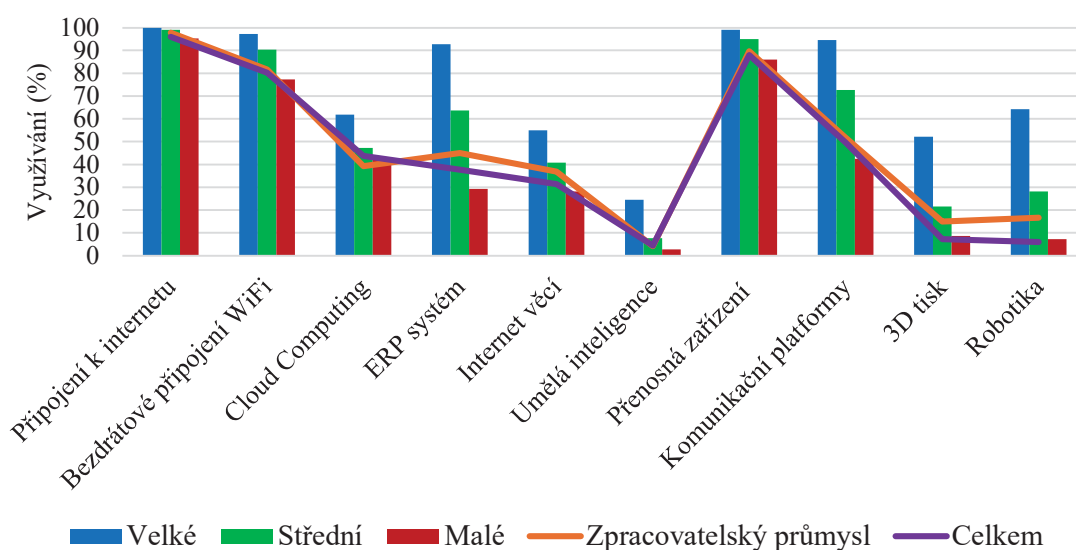
Český statistický úřad (2022, 2023b) uvádí některé zajímavé údaje o podnikatelském prostředí České republiky. Obrázek 5 zachycuje využívání nejdůležitějších sledovaných technologií.

K internetu bylo v roce 2022 připojeno celkem 96,1 % všech podniků, z toho 99,9 % velkých a 95,3 % malých podniků. Nicméně bezdrátový přístup WiFi využívá pouze 80,3 % podniků,

z toho 77,3 % malé a 97,3 % velké podniky. Ve zpracovatelském průmyslu to je 97,8 %, z toho nejméně v potravinářském (95,6 %), dřevozpracujícím a papírenském průmyslu (95,3 %).

Z hlediska využití technologie Cloud Computingu podle ČSU (2022) byly tyto služby podniky v České republice využívány v roce 2021 z 43,7 %, ve zpracovatelském průmyslu to bylo 32,2 %. V mezinárodním srovnání nejvíce využívají tyto služby ve Švédsku a Finsku (75 %), Nizozemsku a Dánsku (65 %) či Itálii (60 %). Velké rozdíly jsou patrné zejména mezi malými (42,1 %) a velkými podniky (61,8 %).

Obrázek 5 Využívání technologií v České republice (2021-2022)



Zdroj: ČSU (2022, 2023b)

Z vybraných informačních systémů byly v roce 2021 podle ČSU (2022) využívány nejvíce systémy ERP s 37,7 % (45 % ve zpracovatelském průmyslu). Porovnáme-li výsledky ERP s ostatními zeměmi EU (průměr 38 %), pak v čele stojí Belgie s 57 %, Portugalsko 52 %, Dánsko 50 % a Španělsko 49 %. Z hlediska velikosti podniků dominují ve využívání těchto informačních systémů velké podniky (92,7 %). Naopak malé podniky tyto systémy využívají pouze okrajově (29,2 %).

Při využívání internetu věcí bylo v roce 2021 zjištěno podle ČSU (2022) rozšířeno v 31,4 % podniků. Ve zpracovatelském průmyslu je to více 36,9 %. V porovnání dle velikosti podniků to bylo 28,2 % malých podniků, 40,8 % středních a 54,9 % velkých podniků. Tento výsledek je ve srovnání se zeměmi EU průměrný (průměr 29 %). Nejvíce technologii IoT využívají podniky v Rakousku (51 %), Slovinsku (49 %), Finsko a Švédsko (40 %), Německo (36 %).

Oblast umělé inteligence byla vyžívání v roce 2021 pouze z 4,5 % podle ČSU (2022), ve zpracovatelském průmyslu 4,2 %. Ve srovnání s EU to je podprůměrné (průměr 8 %). Nejvíce umělou inteligenci využívá (Evropská komise, 2023) Dánsko (24 %), Portugalsko (17 %), Finsko (16 %), Nizozemsko a Lucembursko (13 %). Velké podniky využívaly umělou inteligenci z 24,5 %, což je více než u středních (7,6 %) a malých podniků (2,7 %). Nicméně, je třeba zmínit, že teprve v roce 2022 vydala OpenAI umělou inteligenci ChatGPT. S příchodem velkých jazykových modelů se vývoj v této oblasti se pak začal prudce rozvíjet. Podle České asociace umělé inteligence ji nějakým způsobem využívá v současnosti přibližně 40 % tuzemských firem (Fišer, 2023).

Podniků poskytující zaměstnancům přenosná zařízení s přístupem na internet přes mobilní síť bylo v Česku v roce 2021 podle ČSU (2022) 88 %, z toho ve zpracovatelském průmyslu 89,7 %. V tomto ukazateli je ve srovnání s EU Česká republika na třetím místě za Finskem (98 %) a Slovinskem (88 %). Z hlediska velikosti dominují s 99 % velké podniky. Pro doplnění online komunikační platformy využívá 49,7 % podniků, z toho 51,8 % ve zpracovatelském průmyslu.

Podle ČSU (2023b) byl v České republice rozšířen v roce 2022 3D tisk u 7,2 % podniků, z toho 15 % ve zpracovatelském průmyslu. Nejvíce byla tato technologie využívána při výrobě počítačů, elektronických a optických přístrojů a zařízení (48,8 %), v automobilovém průmyslu (34,7 %) a při výrobě elektrických zařízení, strojů a zařízení (28,6 %). Nejvíce najdeme 3D tisk ve velkých podnicích (52,1 %), nejméně naopak v malých podnicích (8,6 %).

Průmyslové nebo servisní roboty podle ČSU (2023b) v České republice využívalo v roce 2022 5,9 % podniků. Ve zpracovatelském průmyslu je to ale více, necelých 17 %. S roboty se nejvíce setkáme v automobilovém průmyslu (42,8 %) a chemickém, farmaceutickém, gumárenském a plastovém průmyslu (CZ-NACE oddíl 19-23) 24,1 %. Roboty převážně využívají velké podniky (64,3 %), naopak malé pouze okrajově z 7,2 %. Podíváme-li se na mezinárodní srovnání, pak se počet instalovaných průmyslových robotů se ve zpracovatelském průmyslu počítá na 10 000 zaměstnanců. Nejvyšší hustotu robotů v roce 2021 podle Mezinárodní federace robotiky (IFR, 2022) má Jižní Korea (1000), Singapur (670), Japonsko (399), Německo (397) a Čína (322). Světový průměr činil 141 robotů na 10 000 zaměstnanců. Situace v České republice je nadprůměrná s počtem 168 robotů. Nejvyšší podíl celosvětově (39 %) připadá na automobilový průmysl, elektronický průmysl (20 %), zpracování kovů a výrobu oceli (10 %) a chemický průmysl (9 %).

2.2.2 Úroveň zavádění Průmyslu 4.0

V České republice podniky integrují pokročilé technologie do svých průmyslových postupů, což svědčí o rostoucím vlivu Průmyslu 4.0 na fungování organizací (Efimova & Briš, 2022). Analýza ekonomických indexů a odvětvových údajů z let 1995 až 2018 ukazuje, že přechod na Průmysl 4.0 v České republice probíhá plynule, což naznačuje rostoucí připravenost, aniž by došlo k radikálnímu narušení pracovní síly nebo ekonomiky (Marinič, 2022). Česká republika postupně začleňuje technologie Průmyslu 4.0 do svých odvětví a vykazuje spíše postupný evoluční přístup než náhlou revoluční změnu, což svědčí o mírné úrovni připravenosti na implementaci Průmyslu 4.0 s odlišnostmi v různých odvětvích ekonomiky (Biňasová et al., 2023).

Celková úroveň vyspělosti kvality 4.0 v českých výrobních podnicích je považována za podprůměrnou, což naznačuje, že tyto podniky ještě nejsou plně připraveny na zavádění postupů kvality 4.0. Vyšší úroveň vyspělosti vykazují ve srovnání s ostatními odvětvími podniky automobilového průmyslu (Nenadál et al., 2022). V České republice zavádí většina automobilových firem ve větší míře základní automatizační technologie (senzory, PLC, SCADA), méně jsou zaváděny pokročilé technologie (pouze 20 % IoT, AI) a autonomní logistická zařízení (Smolka & Papulová, 2022). Nábytkářský průmysl v České republice se aktivně zapojuje do technologií Průmyslu 4.0 zaměřením na inovativní výrobní a nevýrobní technologie, které jsou považovány za zásadní pro efektivitu podniku a vykazují výrazné zlepšení provozu o 30-50 % v průběhu pěti let (Červený et al., 2022).

Přibližně polovina českých výrobních podniků projevuje zájem o investice do digitální transformace a zavádění prvků Průmyslu 4.0, nicméně investiční záměry se výrazně liší podle velikosti podniku s výraznými rozdíly mezi velkými a mikro podniky (Kubickova et al., 2021). Větší podniky v České republice mají digitální strategie a jsou pokročilejší v zavádění technologií Průmyslu 4.0 oproti středně velkým podnikům, které se zaváděním začínají (Váně et al., 2021).

Velké podniky

Rozdíly mezi malými a středními podniky a velkými podniky v úrovni implementace Průmyslu 4.0 potvrdil výzkum Woodse (2022). Velké podniky mají vyšší motivaci a vnímají méně překážek při zavádění Průmyslu 4.0 než malé a střední podniky (Horváth & Szabó, 2019). Velké podniky často disponují většími zdroji, což usnadňuje větší investice do technologií Průmyslu 4.0. To vede k výraznějšímu dopadu na provozní výkonnost, včetně snížení kvality, nákladů, dodávek a flexibility (Ali & Johl, 2023). Podle Evropské komise (2023) dosáhlo v roce 2022 celkem 98 % velkých podniků základní úroveň digitální intenzity (DIL). Velké podniky měly větší podíl pro velmi vysokou (30 %) a vysokou digitální intenzitu (54 %).

Malé a střední podniky

Podobně zkoumali Müller et al. (2018) rozdíly ve vnímání výhod Průmyslu 4.0 ve studiích zaměřených na malé a střední podniky. Tyto studie zdůrazňují zejména rozdíly mezi velkými a malými a středními podniky (Prause, 2019). Evropská komise (2023) uvádí, že základní úroveň digitální intenzity dosahuje přibližně 69 % malých a středních podniků EU. Většina malých a středních podniků zaznamenala nízkou (38 %) nebo velmi nízkou (31 %) úroveň. Podíl MSP se základní úrovni digitální intenzity se pohyboval od 41 % v Řecku a 47 % v Bulharsku po 89 % v Dánsku a 90 % ve Finsku. Masood a Sonntag (2020) uvádějí, že přínosy technologií Průmyslu 4.0 pro malé a střední podniky jsou provozní náklady, provozní efektivita, flexibilita, kvalita a konkurenční výhoda. Malé a střední podniky se při zavádění technologií Průmyslu 4.0 potýkají s ekonomickými důvody nebo nedostatečným přístupem k pracovníkům s potřebnými dovednostmi (Váně et al., 2021). Studie zjistila, že pro úspěšné využívání nových technologií a způsobů práce (tzv. Průmysl 4.0) v malých a středních podnicích jsou velmi důležité určité faktory, zejména způsob řízení práce a projektů (Nwaiwu et al., 2020). Koncepty založené na Průmyslu 4.0 a vytvořené podle principu architektury orientované na služby umožňují malým a středním podnikům přijmout tyto technologie s rychleji, s vyšším úsilím a nižším rozpočtem (Váně et al., 2021). Dubrová et al. (2019) uvádí, že malé podniky často nedisponují vysokou technologickou úrovní; to může být způsobeno i jejich obtížemi s přístupem k volnému kapitálu a výdajům na IT.

Specifika odvětví podniků

Rozdíly ve vnímání příležitostí a výzev, které implementace Průmyslu 4.0 přináší ve vztahu k odvětví podniku, zkoumali zejména Müller et al. (2018).

- Výrobci automobilů na Slovensku a v České republice využívají nové technologie, jako jsou roboti a internet věcí, 3D tisk, aby vyráběli automobily lépe a rychleji, což ukazuje, jak důležité jsou tyto nástroje pro budoucnost výroby (Papulová et al., 2022).
- Průmysl 4.0 významně ovlivňuje elektrotechnický průmysl tím, že zlepšuje správu majetku prostřednictvím technologií, jako je analýza velkých objemů dat, internet věcí a pokročilých algoritmů (Biard & Nour, 2021). Ve studii Kapil & Prasad (2022) bylo zjištěno, že úroveň implementace Průmyslu 4.0 v elektrotechnickém průmyslu, zejména v oblasti přenosu energie, postupuje směrem ke zvýšení účinnosti systému a správy aktiv.
- Řešení Průmyslu 4.0 v potravinářství mohou vést k novým produktům, lepším výsledkům, vyšší provozní efektivitě a snížení dopadu na životní prostředí (Borowski, 2021). Průmysl 4.0 v potravinářském průmyslu zahrnuje optimalizaci velkých dat,

integraci senzorů, umělou inteligenci a internet věcí, což vede k inteligentnímu řízení, udržitelné výrobě a monitorování (Bratovčić, 2022).

- Tradiční výrobní odvětví, jako je obuvnictví a textilní průmysl, se snaží investovat do moderních technologií, což omezuje jejich schopnost těžit ze čtvrté průmyslové revoluce, která klade důraz na modulární struktury továren a prostředí internetu věcí (Jimeno-Morenilla et al., 2021).
- Zavádění Průmyslu 4.0 v chemickém průmyslu je charakterizováno transformací k digitalizaci, flexibilitě a udržitelnosti. Chemický průmysl využívá umělé inteligence a strojového učení ke zlepšení rozhodování, spolehlivosti, bezpečnosti, optimalizace procesů, řízení dodavatelského řetězce, či objevování materiálů (Chiang et al., 2022).

2.3 Štíhlá výroba a management

Současný stav zavádění štíhlé výroby v České republice je různorodý, nejvíce je implementována tradičně ve výrobním sektoru. V České republice jsou metody štíhlé výroby poměrně rozsáhle zaváděny, přičemž nejčastěji používanou metodou mezi výrobními podniky jsou normy ISO, dále pak Kaizen, 5S, TQM, TPM a další (Rajnoha et al., 2018). Implementace štíhlé výroby a logistiky významně souvisí s velikostí podniku a průmyslovým odvětvím a nejčastěji využívanými metodami průmyslového inženýrství jsou workshopy, procesní analýza, metoda 5S a OEE (Dolák & Suchánek, 2015). Celková průměrná úroveň štíhlosti výrobních podniků v České republice je 56 %, s velkými rozdíly mezi velkými a malými podniky (Medonos, 2021). Ve výrobních procesech zjistili Dolák a Suchánek (2015) jako oblasti největšího plýtvání nevyužitou kreativitu lidských zdrojů, čekání a vady. V logistických procesech to bylo zejména čekání, komunikace a doprava.

Velké podniky

Výzkum ukázal, že velikost podniku ovlivňuje zavádění štíhlé výroby jak v podniku, tak v jeho dodavatelském řetězci. Ze současné literatury vyplývá, že štíhlý systém zavedly a úspěšně jej realizovaly většinou pouze větší společnosti (Alkhoraif et al., 2019). Kulturní faktory mohou usnadnit implementaci štíhlosti a překonání lidských a kulturních bariér. Klíčovým faktorem je snížení nejistoty, identifikace orientace na budoucnost a přijetí institucionálního kolektivismu (DeSanctis et al., 2018).

Malé a střední podniky

U malých a středních podniků dochází k opatrnému, ale rostoucímu zavádění nástrojů štíhlé výroby, a to navzdory překážkám souvisejícím s lidskými zdroji, finančními omezeními

a organizační kulturou (Žebrucki & Kruczek, 2018). Aplikace štihlé výroby v malých a středních podnicích v různých odvětvích, včetně potravinářství a výroby automobilových součástek, je stále v počáteční fázi (Dora et al., 2013). Implementace kompletní metody Lean vyžaduje velké finanční náklady, než se projeví jakékoliv přínosy. Většina malých a středních podniků nemá velký objem financí k dispozici, včetně času potřebného na vzdělávání a rozvoj znalostí (Mazanai, 2012) či na zaměstnávání specializovaných Lean facilitátorů. Malé a střední podniky nemají takovou tržní sílu, která by jim umožnila ovlivnit síť dodavatelů při zavádění štihlých postupů (Dowlatshahi & Taham, 2009). Malé a střední podniky mají vztah přímý kontakt se zákazníky, nicméně nemají schopnost ovlivnit kolísání a variabilitu poptávky (Rymaszewska, 2014). Malé a střední podniky stále více zavádějí nástroje štihlé výroby, přestože se potýkají s problémy souvisejícími s lidskými zdroji, finančními omezeními a organizační kulturou (Žebrucki & Kruczek, 2018). Zavádění štihlé výroby v malých a středních podnicích může být náročné kvůli nedostatku porozumění a účinných postupů přizpůsobených jejich specifickým potřebám (Chong & A. Perumal, 2020). Pro implementaci štihlé výroby v malých a středních podnicích je klíčová úloha zaměstnanců v první linii (FLE), přičemž faktory jako kulturní změna, charakteristiky zaměstnanců a zapojení managementu působí jako faktory podporující nebo bránící přijetí štihlé výroby (Minh & Kien, 2021).

Specifika odvětví podniků

Štihlou výrobu a její zavádění ovlivňuje do značné míry také odvětví, v kterém podnik působí. Různé výzkumné studie uvádějí specifika a charakteristiky štihlé výroby v různých odvětvích. Rozdělíme-li tyto studie podle odvětví zpracovatelského průmyslu, pak je můžeme rozdělit do následujících skupin:

- Singh et al. (2023) hodnotí, jak štihlé postupy pomáhají snižovat náklady a plnit požadavky zákazníků eliminací plýtvání a optimalizací zdrojů u výrobních podniků ve strojírenství.
- V hutním průmyslu uvádí Carranza Inga et al. (2021), jak zavedení technik štihlé výroby může vést k výraznému zvýšení produktivity. Studie prokázala zvýšení produktivity v kovo zpracujícím podniku o 8 až 12 %.
- Výzkum v Malajsii zdůrazňuje význam štihlých výrobních postupů pro dosažení dlouhodobých ekonomických, environmentálních a sociálních zlepšení v automobilovém průmyslu (Abdul Ghafar & Mohd Razali, 2022).
- Zavedení zásad štihlé výroby může podnikům v elektrotechnickém průmyslu pomoci rychle identifikovat a řešit problémy, což zlepšuje jejich schopnost přizpůsobit se

změnám na trhu a udržet si konkurenční výhodu oproti ostatním společnostem, které metody štíhlé výroby nepoužívají (Tsigkas, 2013).

- Malé podniky vyrábějící dřevěný nábytek by měly používat postupy štíhlé výroby, protože jim to pomáhá kvalitněji pracovat a mít obchodní úspěch (Susanty et al., 2022).
- Zásady štíhlé výroby se v potravinářském průmyslu stále více uplatňují s cílem zlepšit výkonnost a snížit plýtvání, přičemž se zaměřují na minimalizaci činností, které nepřinášejí přidanou hodnotu, a na zvýšení spolehlivosti potravinářských výrobních operací (Mazelan et al., 2021). V malých a středních podnicích zabývajících se zpracováním potravin se klade větší důraz na bezpečnost potravin než na metody zlepšování procesů, přičemž štíhlé postupy se zavádějí pomalu kvůli jedinečným problémům v odvětví, jako jsou výrobky podléhající rychlé zkáze a nepředvídatelná poptávka (Dora et al., 2013).
- Štíhlá výroba se v textilním průmyslu využívá pro zlepšení provozní výkonnosti. Poměrně vysoký počet podniků tyto postupy využívá v Pákistánu pro snížení plýtvání (Naeem et al., 2021).
- Rachid (2016) zdůrazňuje význam angažovanosti pracovníků do zavádění metod štíhlé výroby a kvality v dílnách podniků vyrábějících domácí spotřebiče v Brazílii.
- V případové studii společnosti vyrábějící chemikálie v Indonésii vedlo zavedení štíhlé výroby prostřednictvím metody VSM k efektivnějšímu výrobnímu systému, což se projevilo zkrácením průběžné doby výroby a snížením výrobních nákladů (Lie & Kusumastuti, 2021).
- Při zavádění štíhlé výroby ve farmaceutickém průmyslu některé společnosti tyto postupy aplikují ve značné míře, zatímco jiné se potýkají s problémy. Mezi hlavní překážky zavádění patří nedostatečné pochopení koncepce štíhlé výroby mezi zaměstnanci, odpor pracovníků v dílnách a nedostatečné odhodlání vrcholového vedení (Nagaich, 2022).
- Plastikářský průmysl v indonéské společnosti zabývajících se lisováním plastů, vykazuje značnou míru zavádění postupů štíhlé výroby. Výsledky případové studie ukazují na podstatné zkrácení času v různých činnostech bez přidané hodnoty, nárůst efektivity procesního cyklu. Tyto výsledky dokazují účinnost štíhlých postupů při zvyšování efektivity výroby (Sari et al., 2022).

3 Teoretická východiska

Tato kapitola se skládá ze tří částí. První pojednává o průmyslových revolucích, Průmyslu 4.0, jeho definici, hlavních principech, technologiích a jejich zavádění. Druhou část tvoří charakteristika štíhlé výroby, štíhlosti, lean managementu, definice, zavádění, principy a metody. Poslední část se věnuje konceptu Lean 4.0, který oba koncepty spojuje dohromady.

3.1 Průmysl 4.0

3.1.1 Průmyslové revoluce

Průmyslové revoluce označují období rychlého průmyslového růstu a technologických inovací, které zásadně mění ekonomické a sociální struktury společnosti. Rifkin (2014) uvádí, že vždy, když se současně změní doprava, komunikace a energetika, zrodí se nový ekonomický systém. V novodobých dějinách můžeme rozlišit čtyři průmyslové revoluce (Sendler, 2018):

První průmyslová revoluce na přelomu 18. a 19. stol. byla přechodem od ruční výroby ke strojové velkovýrobě s využitím parního stroje. Tradiční výroba v manufakturách byla postupně nahrazena strojovou výrobou. Stroje umožnily zvýšit výrobu a zrychlit výrobní procesy natolik, že se začaly objevovat první továrny. Mezi největší vynálezy tohoto období patří: parní stroj (James Watt), tkalcovský stav (Edmund Cartwright), první továrny (Richard Arkwright) a parní lokomotiva (George Stephenson).

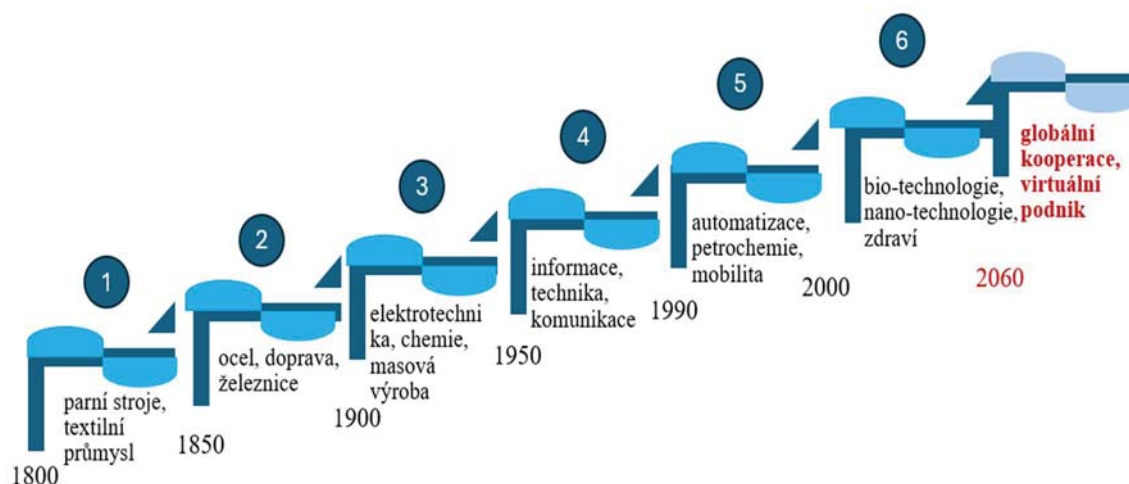
Druhá průmyslová revoluce od počátku 20. století znamenala rozšíření dělby práce, využití ropy a masovou výrobu s pomocí elektrické energie. Inovace v oblasti elektrifikace umožnily používání elektromotorů a nových výrobních metod, jako jsou pásové výrobní linky a hromadná výroba. Důležitými vynálezy této doby byly také žárovka (Thomas Edison), telefon (Alexander Graham Bell), automobil (Karl Benz) a hydraulické spřádací stroje v textilním průmyslu. Zdokonalily se také metody řízení, včetně vědeckého řízení a principů výrobních linek.

Třetí průmyslová revoluce v 60. letech 20. století je výsledkem elektronizace, využití počítačů ve výrobě a zavádění softwarových řídicích programů. Nové vynálezy, jako například první relé, počítače, CNC stroje, roboty a programy pracující v cyklech, přinesly průmyslu další významné výhody. Vývoj PLC usnadnil automatizaci výrobního procesu, což přineslo další úspory a zvýšení efektivity. Automatizace a roboti opět změnili tvář průmyslu, protože stále více výroby mohly provádět stroje a roboty. Pracovníci se museli přeškolit a stát se operátory, kteří dokážou obsluhovat stroje řízené počítačem.

Nyní jsme na začátku *čtvrté průmyslové revoluce*, která zásadně mění a vytváří nový životní styl (Schwab, 2017). Výraz „čtvrtá průmyslová revoluce“ byl poprvé použitý v roce 1988 pro označení procesů, kdy se vynálezy mění v inovace díky vědcům ve výrobních týmech (Rostow, 1988). Můžeme ji porovnat s ostatními třemi průmyslovými revolucemi, které se objevily v posledních staletích a které přinesly významné změny ve výrobě v důsledku převratného technologického pokroku (Schmidt et al., 2015). Čtvrtá průmyslová revoluce, označovaná jako Průmysl 4.0, představuje celkovou transformaci založenou na digitální integraci a inteligentním inženýrství (Muhuri et al., 2019). Jedná se o komplexní transformaci podniků a ekonomiky, která ovlivní všechna odvětví a průmyslové obory (Mavropoulos & Nilsen, 2020).

Průmysl 4.0 je revolucí i evolucí zároveň. Využívá stávající nebo nové technologie (Amoozad Mahdiraji et al., 2012). Jednotlivé etapy průmyslové revoluce jsou v souladu s ekonomickou teorií Kondratěvových cyklů (viz obrázek 6). Ty označují dlouhé hospodářské cykly v rozmezí cca. 40-60 let. Každý z těchto cyklů je přitom výsledkem nového vynálezu, který určuje vývoj v dalších letech (Tomek & Vávrová, 2014). Je zajímavé, že z pohledu ostatních průmyslových revolucí nemá Průmysl 4.0 základ v jedné zásadní inovaci. Jedná se spíše o různé technologie např. virtuální realita (1968), digitální dvojče (1970), 3D tisk (1986), internet (1987), Cloud (1997), CRISPR-Cas9 (2015), generativní umělá inteligence (2022) a další.

Obrázek 6 Kondratěvovy cykly a průmyslové revoluce

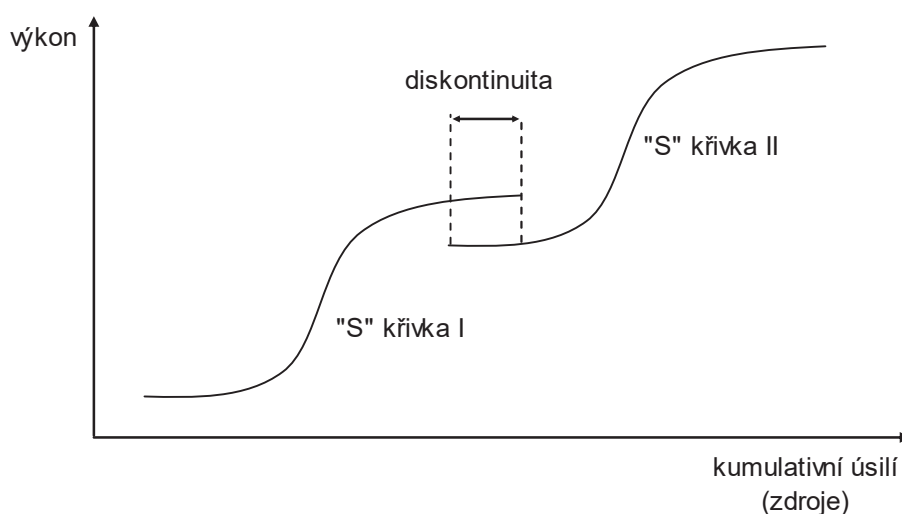


Zdroj: Tomek a Vávrová (2014)

Nové cykly jsou odrazem zavádění změn a nových technologií. Jejich přínos charakterizuje tzv. „S“ křivka. Vyjadřuje vztah mezi časem (tj. zdroji a úsilím, které do nové technologie vkládáme) na jedné straně a přínosy (výkonem) této inovace na straně druhé. První část křivky je plochá, neboť se výkon postupně zlepšuje. Nicméně od určitého bodu nastává obrat a přírůstky

výkonu jsou stále menší a menší. Další zlepšování by si tak vyžádalo nadměrně vysoké náklady, a to je čas pro radikálnější řešení – novou technologii. Ta se však v praxi neprojeví okamžitě jako výkonnější než stará technologie (obrázek 7). Prostřednictvím postupného zlepšování se naopak odstraňují různé nedostatky technického či organizačního charakteru, a proto její výkonnost začíná až pod původní křivkou „S“ křivka I. Teprve po určité době začne její výkonnost prudce růst a ukáží se její přednosti. Po čase ale i tato technologie zastarává a bude muset být nahrazena křivkou „S“ křivka II“ (Brynjolfsson & McAfee, 2015).

Obrázek 7 Dvojitá „S“ křivka změn



Zdroj: Brynjolfsson & McAfee (2015), upraveno

Vnímání technologických změn jako ekonomického procesu motivovalo vývoj modelů, které popisují různé cesty trvalého růstu. Ekonomický růst je podle Soukupa (2022) zvýšení výrobních kapacit v porovnání s předchozím obdobím. K tomu dochází v důsledku zvýšení kvality a množství vytvořeného produktu. Holman (2016) jej definuje jako zvýšení potenciálního produktu. V ekonomii existují různé způsoby, jak lze ekonomický růst vysvětlit. Nejznámější je pravděpodobně Solowův model (Solow, 1956), který prostřednictvím rovnice (zahrnující kapitál, investiční funkci, míru úspor, opotřebení kapitálu, populační růst a technologický pokrok jako faktor celkové produktivity) vysvětluje změny v kapitálu a produktu na osobu. K ekonomickému růstu dochází do té doby, dokud ekonomika nedosáhne svého rovnovážného stavu. Technologický pokrok je v rozšířeném modelu exogenní veličinou. Holman (2018) uvádí, že tuto situaci vysvětlují lépe endogenní růstové modely, které kapitál chápou nejen jako fyzický, ale také lidský a technologický. Předpoklad o klesajících výnosech z rozsahu u fyzického kapitálu, tak může být převýšen vlivem nehmotného kapitálu, nejčastěji technologického pokroku.

3.1.2 Pojem Průmysl 4.0

Průmysl 4.0 vznikl na základě projektu německé vlády, který propagoval koncept automatizace ve výrobních odvětvích. Tento koncept byl představen v roce 2011 na veletrhu v Hannoveru. Později vznikla na úrovni Německé vlády pracovní skupina i platforma Industrie 4.0 (Kagermann et al., 2013), která koordinuje tyto činnosti. Označení 4.0 demonstruje vazbu současné ekonomiky na čtvrtou průmyslovou revoluci (Tomek & Vávrová, 2014). Průmysl 4.0 využívá tradiční výrobní technologie na rychlejší, automatizovaný, flexibilní a efektivní proces výroby zboží vyšší kvality za nižší ceny (Mista et al., 2021).

Průmysl 4.0 (také I4.0) je označován v literatuře různými pojmy, jejichž jasné zařazení do oboru, či jejich přesné rozlišení, není jednoduché. V praxi se můžeme setkat s pojmy chytrá továrna, kyberneticko-fyzické systémy (CPS), samoorganizace, nové systémy v distribuci a zásobování a další (Ahmed et al., 2020).

Definice můžeme kategorizovat do čtyř skupin dle jejich zaměření:

Zaměření na integraci technologií a digitalizaci

Průmysl 4.0 představuje současný trend v oblasti automatizačních technologií ve výrobním průmyslu a zahrnuje především podpůrné technologie, jako jsou kyberneticko-fyzikální systémy (CPS), internet věcí (IoT) a Cloud Computing (Tortorella, Miorando, et al., 2019). Průmysl 4.0 označuje integraci digitálních technologií a automatizace do výrobních procesů. Zahrnuje využití technologií, jako je internet věcí (IoT), umělá inteligence (AI) a analýza velkých objemů dat, které optimalizují výrobu a umožňují chytré továrny (Sanders et al., 2016). Průmysl 4.0 je označení pro současné technologické trendy, jako je automatizace, výměna dat mezi propojenými zařízeními a interoperabilita. Dále zahrnuje různé podpůrné technologie do průmyslových výrobních procesů, jako jsou CPS, Cloud Computing a IoT (Mista et al., 2021).

Termín Průmysl 4.0 označuje čtvrtou průmyslovou revoluci a je často chápán jako aplikace obecného konceptu kyberneticko-fyzických systémů (CPS) na průmyslové výrobní systémy (Belhadi et al., 2023). Tento pojem je zastřešujícím pojmem, který zahrnuje soubor budoucího technologického vývoje v oblasti kyberfyzikálních systémů, IoT, Velkých dat (Big Data), Cloud Computing, rozšířené reality (AR) a robotiky (Pereira & Romero, 2017). Průmysl 4.0 není jen digitalizace v oblasti průmyslu, zasahuje do všech oblastí. Průmysl 4.0 je součástí digitalizace celé lidské společnosti (Sendler, 2018). Průmysl 4.0 je technologický vývoj v oblasti výroby, který umožňují kyberfyzikální systémy a internet věcí a služeb (Boudella et al., 2018).

Zaměření na výrobu a produktivitu

Průmysl 4.0 je chápán jako revoluční způsob výroby. Přináší nový pohled na synergii výroby s moderními technologiemi, maximální možnou produkcí, a minimálním využitím zdrojů (DKE, 2023). Průmysl 4.0 znamená výrobní systém, ve kterém stroje s digitálními technologiemi vykonávají rutinní činnosti a zároveň komunikují s obsluhou a ostatními stroji prostřednictvím internetu věcí (Ribeiro et al., 2022). Průmysl 4.0 je podle Zhonga (2017) kombinace vestavěných výrobních procesů a inteligentních výrobních procesů, které zásadně mění hodnotové řetězce a obchodních modelů v průmyslu. Průmysl 4.0 je označení pro nadcházející inovace a změny ve výrobních procesech. V této souvislosti se výrobní systémy posouvají na vyšší intelektuální úroveň spojenou s flexibilními a inteligentními technologiemi a rekonfigurovatelnými procesy (Shen & Norrie, 1999).

Zaměření na strategii a konkurenceschopnost

Koncept Průmyslu 4.0 může být vnímán jako strategie konkurenceschopnosti pro budoucnost (Mrugalska & Wyrwicka, 2017). Průmysl 4.0 je všeobecně považován za nadcházející čtvrtou průmyslovou revoluci, jejímž motorem je digitalizace a automatizace výroby a hodnotového řetězce (Bauer et al., 2018). Průmysl 4.0 je považován za nástroj k dosažení konkurenční výhody prostřednictvím učení se znalostem z velkých dat, vysoké flexibility, nových technologií a komunikace mezi stroji (Mařík, 2016). Koncept Průmysl 4.0 je vnímán jako konkurenční strategie pro budoucnost se silným důrazem na optimalizaci hodnotového řetězce díky autonomnímu řízení a dynamické výrobě (Türkeş et al., 2019).

Zaměření na inteligentní systémy a chytré továrny

Cílem Průmyslu 4.0 je vytvořit inteligentní továrny, kde se výrobní technologie modernizují a transformují pomocí kyberfyzických systémů, internetu věcí (IoT) a Cloud Computingu (Goh & Goh, 2019). Průmysl 4.0 lze charakterizovat jako „složitě distribuované systémy vzniklé inteligentní integrací dílčích, samostatně operujících částí. Integrace je zabezpečována především vhodnou komunikací každého s každým dle potřeby, koordinací činností a kooperací mezi autonomními subsystémy“ (Mařík, 2016). Tortorella & Fettermann (2018) uvádějí, že průmysl 4.0 představuje odvětví charakterizované propojením strojů, systémů a chytrých výrobků, jakož i vzájemně provázanými řešeními. Průmysl 4.0 označuje technologický pokrok, kdy internet a podpůrné technologie slouží jako páteř pro integraci fyzických objektů, lidských subjektů, inteligentních strojů, výrobních linek a procesů napříč organizačními hranicemi s cílem vytvořit nový druh inteligentního síťového a agilního hodnotového řetězce (A. Schumacher et al., 2016).

Koncepce Průmyslu 4.0 se rozšířily do celého světa a dále se rozšiřují. V USA má Průmysl 4.0 významný vliv na iniciativy v oblasti inteligentní výroby a probíhá zde spolupráce s organizací

Industrial Internet Consortium. Roste také počet organizací a zemí, kde se Průmysl 4.0 začíná prosazovat. V podstatě všechny z nich využívají koncepci Průmyslu 4.0, bez ohledu na různé názvy (viz tabulka 1).

Tabulka 1 Koncepce Průmysl 4.0 celosvětově

Rakousko	Industrie 4.0 Österreich	Čína	Made in China 2025
Belgie	Factories of the future	Japonsko	Society 5.0
Česká republika	Průmysl 4.0	Německo	Industrie 4.0
Dánsko	MADE	USA	Industrial Internet
Francie	L'Industrie du Futur		Smart Manufacturing
Maďarsko	IPAR 4.0		Industry 4.0 (I4.0)
Itálie	Industria 4.0	Velká Británie	Industry 4.0
Portugalsko	Indústria 4.0		4IR Initiative
Jižní Korea	Manufacturing Industry Innovation 3.0	Švédsko	Smart Industry
Španělsko	Industria Conectada 4.0		Produktion 2030
		Nizozemí	Smart Industry

Zdroj: I-SCOOP (2017), doplněno

3.1.3 Principy a zásady Průmyslu 4.0

Průmysl 4.0 je založen na třech pilířích (Schlechtendahl et al., 2015):

- Digitalizace výroby.
- Automatizace a robotizace.
- Automatické řízení výroby a výměna dat (např. s využitím umělé inteligence).

Z hlediska Průmyslu 4.0 lze v organizacích implementovat následující principy (Boudella et al., 2018; Mařík, 2016; Vaidya et al., 2018):

- *Horizontální integrace* napříč globálním dodavatelským řetězcem (sítí). Optimalizovaný materiálový a informační tok plynoucí od různých dodavatelů v hodnotovém řetězci od výrobce k spotřebitelům.
- *Vertikální integrace* informačních systémů řízení a výroby (od senzorů k ERP). Jedná se o síťové propojení v rámci podniku od úrovně výroby a podnikového informačního systému ERP až po nejnižší úroveň senzorů.
- Hlubková, komplexní *integrace inženýrských procesů* v celém životním cyklu výrobku. V rámci celého hodnotového řetězce jde o základní nástroj pro řízení optimalizovaných dodávek výrobků dle individualizovaných požadavků zákazníka.

Z hlediska designu byla I4.0 charakterizována pomocí principů (Mařík, 2016; Panbathi, 2018):

- Interoperabilita, tj. schopnost komponent podniku vzájemné komunikace a propojení.
- Virtualizace, tj. schopnost propojovat fyzické systémy s virtuálními modely.
- Decentralizace, tj. autonomní rozhodování a řízení na nižších úrovních.
- Schopnost pracovat v reálném čase, tj. okamžitá odezva na komunikaci.
- Modularita, tj. stavebnicovost či sestavitelnost výrobku kombinací různých částí.
- Transparentnost, tj. oddělení interpretace dat při přenosu.
- Proaktivita, tj. iniciativa systému založená na inteligentním chování.
- Rekonfigurabilita, tj. schopnost autonomní konfigurace dle automatického rozpoznání situace.
- Technická asistence, tj. základní úroveň služeb technické podpory.
- Interkonektivity, tj. spolupráce mezi stroji a lidmi (Shamim et al., 2017)

Zásady čtvrté průmyslové revoluce pro zpracovatelský průmysl jsou (Rathi et al., 2024):

- Orientace na služby: funkce systémů musí být možné nabízet jako služby.
- Interoperabilita: fyzické, virtuální a lidské systémy komunikují transparentně.
- Virtualizace: fyzické systémy umožňují jejich přepis do virtuálního světa.
- Decentralizace: jednotlivé systémy mohou činit autonomní rozhodnutí, čímž se upouští od potřeby příkazů vyššího managementu.
- Modularizace: návrh systémů, které se přizpůsobují neustále se měnícím požadavkům.
- Synchronizace: schopnost shromažďovat, zpracovávat a poskytovat informace a akce v reálném čase.

3.1.4 Digitalizace, digitální transformace a inteligentní továrny

Digitalizace a digitální transformace

V literatuře jsou pojmy digitalizace a digitální transformace vnímány různě. Podle Oxford English Dictionary (Waite, 2013) je digitalizace převod analogových dat (např. obrázků, zvuků, videa a textu) do digitální podoby, kterou lze snadno číst a zpracovávat počítačem. Digitalizace znamená převedení všech informací (analogových dat) do jedné ze dvou číslic, buď nula, nebo jedna (digitální forma), které jsou dále zpracovávány počítači (Parviainen et al., 2022). Digitální forma přenáší písemné informace, knihovny a také zvuk (digitální hudební nahrávky), obrázky (fotografie) a řadu dalších. Digitalizace umožňuje okamžité využití všech informací shromážděných v minulosti. Jedná se tedy o čistě materiální proces konverze jednotlivých analogových toků informací na digitální bity (Brennen & Kreiss, 2016).

Digitalizace začleňuje digitální technologie do každodenního života tím, že digitalizuje vše, co lze elektronizovat, aby se změnil způsob podnikání (Cozmiuc & Pettinger, 2021). Digitalizace je obecný výraz ho nasazování jak technických prostředků (internetu, nosových sítí, velkých datových úložišť, rychlých náročných programů), ale i pokročilé automatizace a strojů (pro ukládání a vyhledávání velkých objemů, pro přípravu rutinních rozhodnutí a kontrolních operací apod.), vše hardwarově, softwarově (kyberprostor) a zabezpečeno proti jakýmkoliv útokům. Základem digitalizace je zachycení reality (obrazu, zvuku, zápisu, dat atd.) nikoliv analogovými prostředky (klasická fotografie, film, záznam zvuku na vinylové desce, ruční zápis), ale digitálně, posloupaností číselných údajů (Veber & et al., 2016).

Nová průmyslová revoluce mění pravidla hospodářské soutěže, protože obchodní modely se zcela mění v důsledku digitalizace továren a zavádění internetu, a to jak v oblasti výroby, tak v oblasti konceptu věcí (Dalenogare et al., 2018). Podle Robleka et al. (2016) bude Průmysl 4.0 znamenat digitalizaci podnikových procesů jako celku, včetně nákupu materiálu, výroby a dodávek zboží zákazníkovi. V této oblasti bude automatizovaný proces vyžadovat určitý stupeň automatizace zaměstnanců. Lidé však budou stále moci používat svůj mozek.

Inteligentní továrny

Průmysl 4.0 (I4.0) zavádí nové způsoby vývoje chytrých výrobků, zavádí technologické nástroje k vytvoření nové koncepce továrny: inteligentní továrny (Bittencourt, Alves, et al., 2019). Inteligentní továrna (smart factory) představuje budoucí stav plně propojené výroby, systémů, aniž by bylo zapotřebí významného množství lidské práce (Osterrieder et al., 2020). Průmysl 4.0 je založen na nejmodernějších informačních a komunikačních technologiích a digitální transformaci průmyslu na inteligentní továrny (Pech & Vaněček, 2022). Podle Chena et al. (2018) je inteligentní továrna kombinace softwaru a hardwaru, která by měla vést k optimalizaci výroby a omezení plýtvání omezenými zdroji. Toto řešení poskytuje adaptivní a flexibilní výrobní procesy. Hlavní vizí a rozhodujícím konceptem Průmyslu 4.0 je inteligentní továrna, která sleduje své okolí prostřednictvím strojů bez lidské síly a jejich senzorů a činí decentralizovaná, ale vysoce informovaná rozhodnutí pro optimalizaci výroby (Osterrieder et al., 2020). Za součást inteligentních továren můžeme považovat:

- Data a algoritmy (velká data, senzory, Cloud, digitální dvojčata).
- Technologie (roboty, CPS, RFID, 3D tisk, IoT).
- Procesy a řízení (tažný systém, umělá inteligence, decentralizace).
- Lidé (koboti, rozšířená a virtuální realita).
- Kybernetická bezpečnost.

3.1.5 Modely připravenosti a úrovně zavádění Průmyslu 4.0

Modely se používají jako nástroj pro konceptualizaci a měření toho, jak jsou organizace nebo proces připraveny dosáhnout určitého cíle. V tomto případě je cílem dosažení čtvrté průmyslové revoluce – Průmyslu 4.0 (Pöppelbuß & Röglinger, 2011). Existuje celá řada modelů, uvedeny budou pouze ty nejvýznamnější.

Nejznámějším modelem pro Průmysl 4.0 je *Schumacherův model* (A. Schumacher et al., 2016) založený na devíti oblastech (celkem 62 položek dotazníku): strategie, leadership, zákazníci, produkty, operace, kultura, lidé, správa, technologie. Hodnocení v tomto modelu je založeno na Likertových pětistupňových škálách (hodnocení 1-5). Výhodou tohoto modelu je zahrnutí organizačních faktorů do modelu.

Model PwC vychází z globálního průzkumu (PricewaterhouseCoopers, 2016), kterého se zúčastnilo více než 2 000 účastníků z devíti hlavních průmyslových odvětví a 26 zemí. Studie zkoumá přínosy digitalizace horizontálních a vertikálních hodnotových řetězců a také budování portfolia digitálních produktů a služeb. Tento model se zaměřuje na 7 oblastí: digitalizace a integrace vertikálního a horizontálního řetězce hodnot; digitalizace nabídky produktů a služeb; digitalizace obchodních modelů a přístupu k zákazníkům; data a analytika; agilní IT architektura; dodržování předpisů, bezpečnost, právo a daně; organizace, zaměstnanci a digitální kultura. Tyto oblasti jsou pak zkoumány na čtyřech úrovních: digitální začátečník, vertikální integrátor, horizontální spolupracovník a digitální šampion. Model zdůrazňuje technologie Průmyslu 4.0: mobilní zařízení, IoT platformy, lokalizační a detekční technologie, rozhraní člověk-stroj, autentizace a detekce podvodů, chytré senzory, analýza velkých dat a algoritmy (Big Data), víceúrovňová interakce se zákazníkem a jeho profilování, rozšířená realita a nositelná technika, Cloud Computing.

Model připravenosti IMPULS (VDMA et al., 2023) je založený na sebehodnocení a zahrnuje 6 oblastí s 18 položkami: zaměstnanci, strategie a organizace, chytrá továrna, chytré operace, chytré produkty, daty řízené služby. Každá ze šesti úrovní připravenosti (0 až 5) zahrnuje minimální požadavky, které musí být splněny, aby bylo možné danou úroveň dokončit. Model rozděluje podniky do 6 úrovní (0 – outsideři, 5 – špička).

Podobně Maldonado-Guzmán et al. (2023) uvádí *model Průmyslu 4.0* založený na 8 položkách:

- Systémy, které integrují fyzický svět s virtuálním výpočetním prostorem.
- Propojení malých výpočetních zařízení zabudovaných ve výrobcích a předmětech s internetem, které umožňuje přijímat a odesílat data.

- Automatizované technologie schopné navrhovat, konstruovat a provozovat bez zásahu člověka v průběhu procesu.
- Oficiální průmyslový standard využívající 3D tisk k vytváření komponent ve výrobě.
- Praxe sestávající ze sítě vzdálených serverů, které umožňují ukládání, zpracování a správu dat ve srovnání s lokálním serverem.
- Velké a různorodé soubory dat.
- Menší elektrická, optická a mechanická zařízení.
- Distribuovaná digitální technologie.

Mařík et al. (2016) uvádí z hlediska připravenosti na budoucí svět Průmyslu 4.0 pět úrovní digitální zralosti podniku:

1. Podnik má zaveden informační systém pro řízení výroby, začíná uvažovat o digitalizaci.
2. Podnik realizuje první projekty, webové stránky jsou interaktivní, je zapojený do informačních toků v rámci řetězců.
3. Podnik má nastavenou digitální strategii a využívá více platforem, základy datové kultury.
4. Podnik má digitální strategii distribuovanou a personalizovanou a je integrován v digitálním světě. Datová architektura je integrována od zákazníka po dodavatele.
5. Podnik je digitalizační platformou propojující on-line a off-line svět, využívá moderní technologie (3D tisk, roboty, kyber-fyzické systémy, digitální dvojčata).

Rathi et al. (2024) popisuje úrovně *modelu připravenosti na Průmysl 4.0* a uvádí technologie, které podporují čtvrtou průmyslovou revoluci. Tyto technologie pak přiřazuje do čtyř oblastí: viditelnost - získávání a poskytování dat v reálném čase (chytré senzory, průmyslový internet věcí, kybernetická bezpečnosti); transparentnost – úplný pohled na data po jejich kontextualizaci (velká data, vertikální a horizontální integrace systémů, Cloud Computing, kybernetickofyzikální systémy); prediktivní schopnosti – předpověď odchylek v procesech než se uskuteční (digitální simulace, rozšířená realita, aditivní výroba, kolaborativní roboty).

Vlastní *maturity index* uvádí také Yánez (2017), který rozděluje Průmysl 4.0 do osmi oblastí zaměřených na tvorbu hodnoty. Tento model vychází z pojetí digitální transformace v automobilovém klastru CEAGA (Automotive Cluster of Galicia). Jednotlivými oblastmi jsou pak: operační procesy, průmyslová aktiva, energie, lidé, kvalita, synchronizace dodávek a poptávky, čas uvedení na trh, vnitřní logistika a řízení dodavatelského řetězce. Každá z oblastí se člení dále na tři části, z nichž v každé je možné získat od 1 – 5 bodů, celkem tedy 3 – 15 bodů za oblast. Výsledná hodnota indexu se pak uvádí v procentech.

3.1.6 Technologie Průmyslu 4.0

Mavropoulos & Nilsen (2020) vybrali deset technologií, které způsobují posun směrem k Průmyslu 4.0: umělá inteligence (AI), internet věcí (IoT), kybernetická bezpečnost, simulace, blockchain, Cloud Computing, rozhraní člověk-stroj (HMI), strojové učení, autonomní roboty a aditivní výroba. Tutak & Brodny (2022) uvádějí, že autoři se v literatuře shodují na devíti základních technologických pilířích (obrázek 8), které významně ovlivňují průmyslové činnosti a služby. Klíčovými technologickými prvky Průmyslu 4.0 jsou průmyslové roboty, bezdrátové senzory a akční členy (WSAN) pro nové montážní linky a komunikace mezi stroji (M2M), dále pak infrastruktura síťových řídicích systémů a průmyslové kyberneticko-fyzikální systémy (Raptis et al., 2019). Wai Yie Leong et al. (2020) mezi tyto pilíře naopak zařazují: analýzu velkých dat, optimalizaci a simulaci, cloudové technologie, virtuální a rozšířenou realitu (VR/AR), horizontální a vertikální systémovou integraci, průmyslový internet věcí (IIoT), inkrementální technologie (3D tisk), autonomní roboty a kybernetickou bezpečnost. Cifone et al. (2021) uvádí IoT zařízení, virtuální a rozšířenou realitu, metody rozšířené analýzy, autonomní vozidla, robotiku a digitální výrobu využívající simulaci a 3D tisk. Průmysl 4.0 využívá dle Panbathi (2018) moderní technologie (automatizace, Cloud Computing, rozšířená realita, autonomní roboti, simulační software, big data, internet věcí, kyberneticko-fyzikální systémy) k urychlení a zefektivnění průmyslových operací a obchodních rozhodnutí.

Obrázek 8 Technologie Průmyslu 4.0



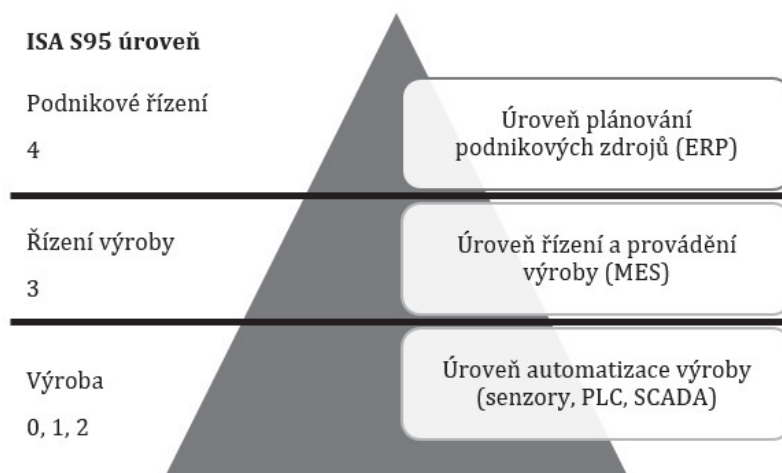
Zdroj: Roche (2019)

Technologické trendy jsou podle Kusiaka (2019) založeny na existenci významných řešení s využitím nejmodernějších digitálních technologií, jako jsou Big Data Analytics (BDA), kyberfyzikální systémy (CPS), Internet věcí (IoT), senzory, umělá inteligence (AI), aditivní výroba, virtuální realita (VR), rozšířená realita (AR), RFID a další. Technologie Průmyslu 4.0 zahrnují plánování a řízení výroby, servitalizaci, řízení oběhového dodavatelského řetězce, internet věcí, analýzu velkých dat a cloud (Zheng et al., 2021). Podpůrné technologie a systémy v Průmyslu 4.0 zahrnují digitalizaci, automatizaci, informační a komunikační technologie a zapojení v reálném čase v celém hodnotovém řetězci (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Klíčovými technologiemi v Průmyslu 4.0 jsou mobilní technologie, nanotechnologie, mobilní technologie, simulace a drony (Bai et al., 2020). Lu (2017) uvádí, že Průmysl 4.0 úzce souvisí s internetem věcí, kyberneticko-fyzikálními systémy, ICT, podnikovou architekturou (EA) a podnikovou integrací (EI).

Informační technologie a systémy

Tjahjono et al. (2017) definuje požadavky Průmyslu 4.0 na IT infrastrukturu z hlediska automatizace strojů, autonomního řízení (autonomní vozidla), zvýšené potřeby reality, extrémně velkého počtu monitorovaných a spravovaných zařízení a automatizace procesů. Mnoho současných síťových technologií (2G, 3G, 4G - 2., 3. a 4. generace mobilních sítí) je v současnosti využíváných pro přenos dat telekomunikačních technologií (NFC – Near Field Communication, ANT – Adaptive Network Topology, Bluetooth, GSM – Global System for Mobile communication, atd.) nejsou pro budoucnost příliš dobré. Budoucí flexibilita nabízí standardizace mobilních telekomunikačních technologií 5G. Tato infrastruktura povede k vertikálnímu a horizontálnímu propojení sítí a využití konceptu průmyslového internetu (Rao & Prasad, 2018).

Obrázek 9 Standard ISA-95



Zdroj: Meyer et al. (2009)

Implementace Průmyslu 4.0 využívá koncepci automatizační pyramidy (viz obrázek 9 podle standardu ISA-95) ve spojení s informačními technologiemi. Pyramida úzce souvisí s vertikální integrací informací a systémů v podniku. Mezi typická řešení a technologie v rámci této vertikální integrace patří: senzory pro sběr dat; programovatelné logické automaty (PLC), které řídí výrobní procesy a přijímají úrovně řízení; dohledové řízení a sběr dat (SCADA), které umožňuje řídit úroveň podpůrných procesů a dohledu; systémy pro řízení výroby (MES), které řídí a kontrolují výrobní procesy; a inteligentní řízení podnikových zdrojů (ERP) pro úroveň řízení podniku (Aghenta & Iqbal, 2019).

Sběr a sdílení dat

Proces sběru dat zahrnuje vyhledávání, výběr a generování dat (Mayer-Schönberger & Cukier, 2014). Analýzu dat lze vyjádřit různými pojmy, jako je dolování dat, shlukování, klasifikace, analýza, agregace, anotace, kombinování, extrakce, vyhodnocování a filtrování. Analýza dat se provádí buď přímo prostřednictvím různých služeb Cloud Computing, nebo na koncových počítačích uživatele (Gantz & Reinsel, 2011). Sdílení dat mezi společnostmi umožňuje strategické příležitosti, provozní efektivitu a nové obchodní modely, podporuje spolupráci a inovace napříč dodavatelskými řetězci a ekonomikami platform (Huttunen et al., 2019). Podniky mohou sdílet informace o životním cyklu výrobku a zaměřit se na jeho návrh (Vezzetti, 2009). V praxi se jedná o společné navrhování, vizualizaci a analýzu výroby a společný výzkum a návrh (Li et al., 2004). Vznikají tak různé systémy pro výměnu a sdílení informací o výrobku mezi uživateli a platformami (Zhao et al., 2000). Sdílení dat mezi podniky v síti dodavatelského řetězce má vliv na celkový výkon celého řetězce. Informace o zásobách jsou často sdílěna se zákazníky, zatímco prognózy jsou běžně sdílěna s dodavateli (Martin & Patterson, 2006).

Velká data (Big Data) a jejich analýza (BDA)

Objem uložených dat roste čtyřikrát rychleji než světová ekonomika a výpočetní výkon se zvyšuje devětkrát rychleji. V roce 2000 byla pouze čtvrtina objemu světových informací uložena v digitální podobě, dnes se tento podíl blíží 95 % (Mayer-Schönberger & Cukier, 2014). Velká data se vyčísľují v petabajtech (10^{15}), protože není možné je v rozumném čase přijímat, ukládat, zabezpečovat, zpracovávat a vizualizovat pomocí běžného hardwaru a softwaru (Mayer-Schönberger & Cukier, 2014). Velkými daty se rozumí rozsáhlé datové soubory s rozmanitější a složitější strukturou a souvisejícími procesy vizualizace, analýzy a ukládání (Sagiroglu & Sinanc, 2013). Velká data nejprve využívali výzkumné instituce a společnosti Google, eBay nebo Amazon, které se snažili zmapovat výtěžnost z klikání uživatelů na webu (Rejnek, 2016).

Hlavní charakteristiky velkých dat jsou označovány jako „6V“ (B. B. Gupta, 2024). Jedná se o rychlost generování dat (Velocity), shromažďování velkých datových souborů (Volume),

rozmanitost různých forem (Variety), důvěryhodnost a spolehlivost (Veracity), variabilita (Variability) Nejdůležitější je převést každou z těchto dimenzí na hodnotu (Value), která je skutečně užitečná (B. B. Gupta, 2024). Vhodná analýza dat může odhalit nové informace a usnadnit včasnou reakci na vznikající příležitosti a hrozby (Sivarajah et al., 2017). Veber (2016) uvádí, že analýza velkých dat (BDA) je založena na 6C: konektivité (connection), výpočtech a datech na vyžádání (cloud), kyberprostoru (cyber), obsahu a kontextu (content/context), komunitě sdílení a spolupráce (community) a přizpůsobení (customization).

Cloud a Cloud Computing

Cloud označuje využití vzdálených serverů na internetu k ukládání, správě a zpracování dat. Jde o distribuovaný internetový softwarový systém poskytující služby prostřednictvím virtualizace, dynamického nasazení a správy aplikací (Pahl et al., 2018). Cloud jsou hardwarové služby nabízející výpočetní, síťovou a úložnou kapacitu (McKinsey, 2009). Cloudy jsou provozovány na základě různých modelů: veřejný cloud, privátní cloud, hybridní cloud, cloud a komunitní cloud (Trakadas et al., 2019). Cloud zahrnuje koncept Cloud Computing, který vychází z poskytování služeb nebo programů uložených na serverech a internetu. Cloud Computing rozlišuje tři typy distribučních modelů (Xu, 2012): IaaS (infrastruktura jako služba), PaaS (platforma jako služba) a SaaS (software jako služba).

Blockchain

Blockchain je digitální technologie, která poskytuje decentralizovanou databázi pro zaznamenávání transakcí v síti počítačů. Blockchain je typ technologie distribuované účetní knihy, kde se transakce zaznamenávají pomocí neměnného kryptografického podpisu zvaného hash (Lashkari & Musilek, 2021). Technologie blockchain v architektuře internetu vytlačuje standardní model klient-server. Jde o to, že jednotlivé transakce mezi různými subjekty jsou pro všechny transparentní, ale nikdo jiný než dva subjekty, které akci provedly, nemůže tento záznam ovlivnit a změnit (Parn & Edwards, 2019). Hlavní charakteristiky Blockchainu (Ghiro et al., 2021): neměnnost při zaznamenávání, transparentnost pro všechny účastníky, anonymita.

Simulace a digitální dvojče

Simulace je definována jako napodobení skutečné věci, stavu nebo procesu. Obecně to znamená, že zobrazení nebo modelování některých klíčových vlastností a chování některých fyzikálních nebo abstraktních systémů. pro účely testování, optimalizace a vzdělávání. Simulace výrobků a procesů se hojně využívají ve výrobě, zejména procesy vizualizace, reprezentace a modelování (Nikolakis et al., 2019). Využití simulací k řízení a optimalizaci výrobků a výrobních systémů v reálném čase je koncept známý jako digitální dvojče (Söderberg et al., 2017).

Digitální dvojče je virtuální model výrobního procesu, který odráží jeho fyzický protějšek a umožňuje provádět analýzy, předpovídat ziskovost, předvídat problémy a optimalizovat návrhy výrobních systémů pomocí simulací (Riveros et al., 2022). Digitální dvojče je počítačem vytvořená replika fyzického objektu nebo systému (Kanagachidambaresan & Bharathi, 2023). Koncept použití „dvojčat“ pochází z programu Apollo NASA (Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku); později byl použit i v letectví, např. u letadla Iron Bird (Rosen et al., 2015). Digitální dvojče je technologie vytvářející virtuální prototypy produktů s využitím internetu věcí, umělé inteligence a dalších technologií k analýze dat, předvídání výsledků a zlepšování výkonu zařízení/procesů (Prarthana et al., 2021).

3D tisk

3D tisk označuje proces vytváření a vizualizace trojrozměrných objektů v digitálním prostředí pomocí virtuální reality, 3D modelování a technologií 3D tisku (Delgado-Algarra, 2022). První 3D tiskárny začaly vznikat v osmdesátých letech 20. století. Současný pokrok v této oblasti vychází z projektu RepRap, který v roce 2005 umožnil rozšíření open source návodu, jak si levně sestavit 3D tiskárnu, mezi širokou veřejnost. 3D tiskárna umožňuje vrstvení a krájení dat 3D objektu pro dosažení tisku a laminování po vrstvách s pevným bodem, což vede k fyzickému vytvoření virtuálního objektu (Banu Rekha et al., 2023).

Éra 3D tisku povede k zásadní a revoluční změně v globálním dodavatelském řetězci v oblasti módy. Nové paradigma nevyhnutelně povede ke konečnému přijetí digitální výroby, která je stimulována novým designovým myšlením, efektivními procesy 3D CAD, odpovídajícími možnostmi 3D tiskáren, dostupným otevřeným zdrojovým kódem a flexibilními a podpůrnými službami (Sun & Zhao, 2017). 3D tisk využívá různé typy materiálů jako je tisková struna (filament) vytlačovaná FDM či FFF technologií, tekutý materiál vytvrzovaný světelným paprskem (metoda SLA), či jemný prášek (SLS metoda) spékáný laserem (Průša, 2019).

Učící software a umělá inteligence

Učící se software využívá vzorové a strojové učení (ML), které vychází z některých mechanismů lidské mysli umožňující zabývat se extrémně složitým řešením problému s rychlostí překonávající i ty nejrychlejší počítače (Schlank, 1982). Strojové učení představuje obor, který klade důraz na vytváření efektivních algoritmů využívajících data, které umožňují počítačům získávat z dat nové poznatky (Lim et al., 2023). Hluboké učení je podmnožinou strojového učení, která zahrnuje trénování hlubokých neuronových sítí k modelování složitých vztahů mezi vstupními daty a výstupními předpověďmi (Almasi, 2023). Tyto neuronové sítě, inspirované lidským mozkem, se skládají ze vzájemně propojených uzlů, které zpracovávají informace a vytvářejí předpovědi (Hashemi & Dowlatshahi, 2023).

Umělá inteligence (AI) je definována jako obor informatiky, který se zabývá vývojem počítačových systémů schopných vykonávat úkoly, které obvykle vyžadují lidskou inteligenci. Mezi tyto úkoly patří uvažování, učení, řešení problémů, vnímání, porozumění jazyku a rozhodování (Simmons & Chappell, 1988). Umělá inteligence je počítačový algoritmus využívající analytické a statistické metody pro podporu analýzy dat a automatizovaného rozhodování (Muniz Junior et al., 2023). Termín umělá inteligence vznikl v době, kdy se objevily první programovatelné počítače. V té době se zdálo, že jejich možnosti jsou prakticky neomezené, hlavní motivace tedy byla naučit počítače myslet a jednat tak, jako jednají lidé (Jirkovský et al., 2011). Umělá inteligence se tedy obecně označuje schopnost stroje napodobovat inteligentní lidské chování (Marcondes et al., 2023).

Generativní umělá inteligence (GAI) označuje systémy AI schopné samostatně vytvářet nový obsah, jako je text, obrázky, zvuk a video (Lv, 2023). Strojové učení může usnadnit generativní umělé inteligenci učení nového obsahu z obrovského množství dat a vytváření různorodého obsahu na základě různých souborů dat (Lim et al., 2023). Generativní umělá inteligence využívá velké jazykové modely (Large Language Models, LLM, či nově Foundation Models). To jsou pokročilé algoritmy hlubokého učení, které využívají lidský jazyk ve velkém měřítku pro různé úlohy (Schaefer et al., 2023). Tyto modely nejsou jen nástroji pro zpracování jazyka (NLP), ale jsou také schopny vykazovat hodnoty a osobnostní rysy závislé na kontextu a přizpůsobovat se různým perspektivám (Kovač et al., 2023). Schopnosti LLM modelů se využívají pro tvorbu generátorů, vyhledávačů, analyzátorů a chatbotů jako např. ChatGPT, Google Bard, Microsoft Bing a další.

M2M a Internet věcí

Pojem Internet věcí zavedl Kevin Ashton z MIT v rámci projektu Auto-ID (Ashton, 2009). Internet věcí je (Burian, 2014): dynamická globální síťová infrastruktura s vlastními možnostmi konfigurace, založená na standardních komunikačních protokolech a interoperabilitě (vzájemné spolupráci zařízení), kde fyzické a virtuální věci mají vlastní identitu, fyzické atributy a virtuální personalizované používané inteligentní rozhraní a jsou integrovány do informační sítě. IoT nabízí pokročilou konektivitu fyzických objektů, umožňuje komunikaci mezi stroji a sdílení informací v reálném čase prostřednictvím Internetu (Marcondes et al., 2023). Internet věcí představuje inteligentnější propojení objektů (výrobků, zařízení či strojů), které přináší nové funkce vycházející z aktuálního stavu. Internet věcí se skládá ze tří složek (Placidi et al., 2021): senzory a technologie rozpoznávání obrazů (Burian, 2014), propojení věcí prostřednictvím sítí a internetu a jejich spolupráce, vestavěná inteligence integrující lidi procesů a systémů do funkcí (Cirani et al., 2018). Za IoT zařízení lze považovat senzory, kamery, chytrá zařízení která sbírají a sdílejí

data prostřednictvím Internetu (Cifone et al., 2021). Podle Vebera et al. (2016) se Internet věcí od M2M liší a nejedná se pouze o spojení dvou naprogramovaných strojů. M2M (Machine to Machine) je synonymem pro technologii, která komunikuje bez zásahu člověka.

Chytré senzory

Senzory jsou zdrojem informací pro řídicí systém (počítač, mozek) a technická zařízení, které měří určité fyzikální a technické veličiny a převádějí je na signál, který je dálkově ovládan, přenášen a dále zpracováván. Jedná se o různé snímače GPS, kamery, a mikrofony, které tvoří digitální nervový systém. Tato zařízení získávají informace o poloze, vzdálenosti, pohybu, rychlosti, posunu, teplotě, suchu, vlhkosti, zvuku, vibracích, plynech, chemických látkách, průtoku, síle, zatížení, tlaku, hladině, elektřině, zrychlení, náklonu, světla atd. (Vrchota & Pech, 2019). Nejběžnější typy bezdrátových senzorů pracují s technologií radiofrekvenční identifikace (RFID), ZigBee a Bluetooth (Chen et al., 2018). Kalsoom et al. (2020) uvádí následující charakteristiky chytrých senzorů: úspornost, adaptabilita, automatická diagnostika, miniaturizace, robustní provedení, připojitelnost, schopnost zpracovávat a sdílet data v reálném čase, nízká cena.

Roboty

Automatizace výrobních systémů zavedením průmyslových robotů je pokračujícím procesem a je nyní v souladu s vývojem informačních technologií (Zhong et al., 2017). Robot je obecně charakterizován jako stroj s pevným pohybem, vyznačující se kovovým vnějším pláštěm, s živou představou matic a šroubů používaných ke stavbě těchto robotů (Cho et al., 2009). Havel (1980) uvádí, že „robot je automatický nebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Jedná se o zařízení ovládané počítačem, schopné vnímat a analyzovat vlastnosti prostředí, dorozumívat se s člověkem a samostatně do prostředí zasahovat (Vebrová & Krajíček, 2006). Nejmodernější roboty jsou označovány jako koboty (cooperative robots), spolupracující synchronní manipulátory. Kolaborativní roboty jsou určeny pro přímou spolupráci s lidskými pracovníky a nemusejí být instalovány v ochranných klecích. Jejich učení probíhá postupnou definicí pohybů úchopem ramena robota v učícím módu (Nývlt, 2015). Tito roboti spolu komunikují a při práci se učí od lidských pracovníků (Mista et al., 2021). Kamarul Bahrin et al. (2016) předpovídají, že inteligentní roboti by mohli nahradit lidi, a to nejen při jednoduchých, strukturovaných úkolech v uzavřených místnostech. Roboty jsou úspěšné zejména tam, kde nahrazují pravidelnou monotónní práci, v nepříznivých pracovních podmínkách (Pfeiffer, 2016). Ve výrobním procesu mohou být roboty využity pro lepší fyzické možnosti (síla, rychlost atd.), funkční možnosti (manipulovatelnost, přizpůsobivost, atd.) a inteligenci (Kolíbal, 2009). Roboty se používají především v hromadné výrobě pro zvyšování produktivity (Mařík, 2016).

Radiofrekvenční identifikace (RFID)

V literatuře nejvíce skloňovaná technologie RFID (Radio Frequency Identification) je také jednou z klíčových technologií pro implementaci internetu věcí. V technologii RFID se jedná o aktivní a pasivní tag, kdy aktivní senzor vysílá informace na stovky metrů a pasivní tag je přijímá (Chen et al., 2018). Jako nosiče dat jsou v tomto systému používány identifikační štítky (tagy) s vysokou kapacitou uchování dat. Tagy mají většinou podobu odolných plastových štítků, které obsahují čip a miniaturní anténu a mohou být vybaveny i vlastním zdrojem energie v podobě lithiové baterie s životností až 15 let (Pernica, 2008).

Drony

Záliba v létání s modely letadel má dlouhou tradici, ale po několik desetiletí neměla žádný význam pro řešení environmentálních nebo vědeckých problémů. Změna nastala v důsledku technologického pokroku, zejména vývojem baterií jako zdrojů energie pro létání modelů, nástupem GPS a vývojem lehkých kamer (Simic Milas et al., 2018). Dron je známý také jako bezpilotní letadlo (UAV). Jedná se o létající robot, který může být řízen na dálku nebo autonomně (Krishnan et al., 2022). Dron je vybavený senzory, GPS a softwarem pro různé aplikace, jako je fotografování, sledování, reakce na různé události či vojenské operace. Po pilotovaných letadlech a platformách na oběžné dráze Země jsou drony považovány za třetí generaci zdrojů dat dálkového průzkumu Země. Jejich funkcí je poskytovat cenné informace ze zemského povrchu (Simic Milas et al., 2018).

Samostatné (autonomní) automobily

Autonomní vozidla, známá také jako propojená vozidla (CAV), jsou inteligentní vozidla schopná fungovat bez zásahu člověka, samostatně se rozhodovat a komunikovat se svým okolím. Autonomní vozidla využívají různé prvky a technologie ke komunikaci s řidičem, ostatními vozidly na silnici, silniční infrastrukturou, chodci a cloudem (Benamer et al., 2021). Tato vozidla mohou vnímat své okolí a navigovat se s minimální nebo žádnou lidskou kontrolou, což může zvýšit kapacitu silnic a umožnit cestujícím věnovat se jiným činnostem než řízení. Tím se doba cesty stává užitečnější a snižuje se její nákladnost (Van Den Berg & Verhoef, 2016). Vývoj samostatných automobilů se zaměřuje v současnosti na funkční bezpečnost, efektivitu jízdy a replikaci složitých lidských řídicích úkolů prostřednictvím robotiky, včetně vnímání prostředí, rozhodování a řízení (Takacs et al., 2018).

Nové materiály a nanotechnologie

Průmyslová revoluce je odrazovým můstkem pro použití materiálů v různých průmyslových odvětvích, jako je ocel, keramika, sklo a kompozity. S technologickým pokrokem vznikly lehčí, pevnější, přizpůsobivé a recyklovatelné materiály (Mista et al., 2021). Nanotechnologie je věda

zaměřená na navrhování, syntézu a aplikaci materiálů v nano měřítku (1-100 nm) s jedinečnými fyzikálně-chemickými vlastnostmi, které jsou klíčové pro pokrok v různých průmyslových odvětvích (Aleya & Abdel-Daim, 2020). Jedná se v podstatě o manipulaci s materiály v nano měřítku (Sim & Wong, 2021).

Virtuální a rozšířená realita

Virtuální realita (VR) je počítačem trojrozměrné prostředí generované počítačem, které simuluje více senzomotorických podnětů, jako jsou vizuální, sluchové a hmatové podněty, a vytváří tak pro uživatele realistický zážitek (Novotny & Joo (Grace) Ahn, 2022). Pojem zavedl v roce 1984 Jaron Lanier, zakladatel virtuálních programovacích jazyků (Urban et al., 2011). Uživatelé komunikují s tímto virtuálním světem prostřednictvím specializovaných zařízení, jako jsou displeje na hlavě a ruční ovladače, které sledují jejich pohyby a podle toho upravují virtuální scénu (Bozgeyikli & Bozgeyikli, 2022). VR slouží jako prostředník mezi člověkem a reálným světem, poskytuje vizualizaci, která napodobuje prostředí reálného světa, a zlepšuje tak zážitky v oblastech, jako je vzdělávání, zábava a hraní her (Chakraborty & Dey, 2023). Pojem VR je odvozen od konceptu virtuálního prostředí a reality, kterou lidé zažívají v reálném světě. VR vytváří realistické 3D umělé prostředí, které je směsí softwaru a hardwaru (Mista et al., 2021). Jedná se o interaktivní zkušenost, ve které jsou objekty reálného světa reprezentovány virtuálními či objekty přidávanými pomocí počítačem generované vnímané informace (Cifone et al., 2021).

Rozšířená realita (AR - augmented reality) je speciální aplikace poskytující jejím uživatelům přímý nebo nepřímý pohled na reálné prostředí, jehož části jsou doplněné, resp. obohacené, o dodatečné digitální vizuální prvky (Jurášková et al., 2012). Tyto pokročilé technologie AR představují uživatelům interaktivní a digitálně manipulované prostředí přidáním digitálních prvků do skutečného prostředí, čímž vytvářejí rozšířený pohled (Mista et al., 2021). AR byla nejprve doménou herního průmyslu a byla spojena s různými přídavnými zařízeními, které simulovaly (promítaly) vizuální efekty před oči uživatele a navozovaly tak stav vjemu založeného na virtuálním prostředí (Matoušek & Osman, 2015). Podle Maříka (2016) se využívají dva principy: video see-through (mobil, tablet) a optical see-through (průhledové brýle).

3.1.7 Průmysl 5.0

Evropská komise v roce 2021 rozhodla, že Průmysl 4.0 není lepším konceptem pro dosažení evropských cílů do roku 2030 (Renda et al., 2021). Současný vývoj ukazuje, že vztah mezi člověkem a strojem hraje v technologických revolucích a vývoji stále důležitější roli. V budoucnu to bude průmysl, který využívá nejmodernější technologie a klade důraz na udržitelnost, automatizaci a digitalizaci.

Tento nový rozměr je součástí konceptu Průmyslu 5.0, který klade důraz na rovnici „lidé – planeta – prosperita“ (Xu et al., 2021). Průmysl 5.0 je definován jako koncepce průmyslového rozvoje zaměřená na člověka, která se zaměřuje na udržitelnost a odolnost a jejímž cílem je řešit společenské problémy prostřednictvím integrace inovativních technologií (Ghobakhloo et al., 2023). Průmysl 5.0 je koncepce rozvoje průmyslu zaměřená na člověka, jejímž cílem je udržitelnost se zaměřením na ekologické a digitální prvky v logistických činnostech (Mustapić et al., 2023).

Klíčem k budoucí udržitelnosti a úspěchu ekonomiky mohou být nové modely založené na cirkulární a sdílené ekonomice. Průmysl 5.0, cirkulární ekonomika a sdílená ekonomika jsou vzájemně propojeny svým zaměřením na udržitelnost a technologický pokrok. Průmysl 5.0 integruje lidské pracovníky do automatizovaných procesů a řeší sociální a environmentální problémy (Waheed et al., 2022). Principy cirkulární ekonomiky podporují optimalizaci zdrojů a snižování množství odpadu (Turner et al., 2022). Současně může sdílená ekonomika pomoci snížit sociální nerovnosti a zlepšit přístup menších podniků a jednotlivců ke zdrojům. Výzkum Voulgaridise et al. (2022) potvrdil, že technologie Průmyslu 5.0 v tomto spojení hrají roli prostředníků. Tyto koncepty společně nabízejí cestu k udržitelnějšímu a efektivnějšímu fungování podniku.

Agrilovski et al. (2024) uvádějí pro srovnání hlavní rozdíly mezi koncepty Průmyslu 4.0 a Průmyslu 5.0. Průmysl 5.0 se vyznačuje převážně přizpůsobivostí, orientací na člověka, high-tech výroby a vysokým sociálním a environmentálním dopadem, což vede k výraznější podpoře potřeby udržitelnosti. Jeho hlavní charakteristiky jsou:

- Udržitelnost, životní prostředí, orientace na člověka a obnovitelnost.
- Automatizace zaměřená na zlepšení lidské práce nikoliv strojů.
- Hyper kustomizace, tj. produkty nebo služby se přizpůsobují konkrétním potřebám nebo preferencím jednotlivých zákazníků na velmi detailní úrovni.
- Zavedení umělé inteligence do rozhodování v pracovním prostředí.
- Investice do strategie a zlepšení způsobu řízení podniků.
- Rozšíření konceptu adaptability o flexibilitu lidských zdrojů.
- Soustředění na spolupráci s technologiemi s cílem posílit kreativitu, inovace a personalizovaná řešení.
- Zaměření na zákaznickou zkušenost s Hi-tech produkty.
- Zaměření na sociální dopady s cílem zlepšit život (well-being).
- Využití technologií s důrazem na rozvoj lidských zdrojů, spolupráci lidí a strojů a umělá inteligence.

3.2 Štíhlá výroba

3.2.1 Štíhlost, štíhlé myšlení a Lean management

Pettersen (2009) tvrdí, že chybí jasná definice *štíhlosti*, což vede ke komunikačním potížím, komplikuje vzdělávání a výzkum. Existuje tendence k zjednodušování, že štíhlost je pouze soubor nástrojů, které se mají používat ke zvýšení produktivity. Štíhlost ovlivňuje všechny aspekty organizace a lze ji spíše považovat za filozofii řízení (AlManei et al., 2017). Pojem štíhlost se používá jako analogie systematického snižování plýtvání, které bylo rozpoznáno v továrnách uplatňujících přístup TPS, a snižování tuku, které je nezbytné pro to, aby se člověk stal štíhlejší (Pereira et al., 2019). Štíhlost je vědomé jednání, při kterém se řeší skutečné problémy externích, ale i interních zákazníků, což vede k neustálému zvyšování produktivity, efektivity a kvality procesů (Patermann, 2022).

Pět principů štíhlosti (Kumar, 2020):

- Snaha o dokonalost: neustále hledejte nové způsoby, jak zlepšit a zdokonalit svůj proces.
- Implementace systému tahu: zpracovávejte pouze to, co zákazník potřebuje, když to potřebuje, a reagujte na spouštěcí mechanismus.
- Přidaná hodnota: hodnotu definuje zákazník.
- Mapování hodnotového toku: hodnotový tok je posloupnost kroků, které jsou prováděny za účelem vytvoření hodnoty.
- Zavedení plynulého toku: výrobky a služby se pohybují plynuleji a bez přerušení.

Štíhlé myšlení je vize, filozofie maximalizace hodnoty produktů, eliminace všech činností, které nepřidávají hodnotu z pohledu zákazníka, tedy plýtvání (Bittencourt, Saldanha, et al., 2019). Štíhlé myšlení podporuje podniky v odstraňování plýtvání a generování zisku (Qureshi, Mewada, Buniya, et al., 2023). To se projevuje schopností umět vidět a popsat problémy, jejichž vyřešení nás pokaždé posune o kousek blíže k ideálnímu cíli, který se v daný moment zdá nedosažitelný (Patermann, 2022). Štíhlý přístup je popisován jako myšlení založené na neustálém zlepšování, které umožňuje lidem na všech úrovních odstraňovat plýtvání a maximalizovat to, co má pro zákazníka hodnotu (Kumar, 2020). Štíhlé myšlení vzniklo ve výrobním prostředí, v současné době se s ním setkáváme nejen v průmyslu, ale v jakémkoli odvětví činnosti, jako jsou služby, stavebnictví, zdravotnictví a vzdělávání (Alves et al., 2014; Stone, 2012).

Lean management (LM) vytváří dobře definovaný proces, který zvyšuje produktivitu organizace tím, že uspokojuje potřeby zákazníků s minimálním plýtváním (Bhamu & Sangwan, 2014). LM by neměl být považován za řešení okamžitých problémů, ale jako dlouhodobá strategie pro

eliminaci plýtvání (Maware & Parsley, 2023). V současnosti se o Lean managementu hovoří jako o organizační filozofii založené na principech eliminace plýtvání a zvyšování hodnoty pro zákazníka (Abreu-Ledón et al., 2018). Lean je způsob myšlení o vytváření hodnoty za současného snižování zdrojů a omezování plýtvání. Lean je metoda založená na neustálém experimentování s cílem najít perfektní hodnotu s nulovým plýtváním (Lean Enterprise Institute, 2008).

Lean management a štíhlá výroba jsou dva úzce související koncepty, které se často používají zaměnitelně, ale mají své specifické zaměření a aplikace. Lean management je širší koncept, který se aplikuje na celkové řízení organizace. Zahrnuje principy a techniky zaměřené na zlepšení efektivity, snížení plýtvání a zvýšení hodnoty pro zákazníka. Díky tomu může být aplikován v různých typech organizací, nejen ve výrobě, ale také ve službách, zdravotnictví, administrativě a dalších sektorech. Štíhlá výroba je pak specifickou aplikací principů Lean managementu na výrobní procesy. Primárně se aplikuje ve výrobním prostředí, kde se zaměřuje na optimalizaci a zlepšení výrobních procesů, logistiku, řízení zásob a další aspekty výroby

3.2.2 Pojem štíhlá výroba

Termín „štíhlá výroba“ (Lean manufacturing, Lean production, LP) prvně použil v roce 1988 Krafcik (1988) při popisu výrobního systému TPS (Toyota Production System). Tento systém se dostal do celosvětového povědomí díky výzkumu Womacka et al. (1990). Štíhlá výroba je tedy v podstatě Toyota Production System, který vznikl v Japonsku v automobilovém průmyslu po druhé světové válce (AlManei et al., 2017).

*Motto: vyrábět více a lépe s menším množstvím zdrojů („to do more with less“),
tj. s menším počtem dělníků, na menším prostoru atd.*

Štíhlá výroba podle Womacka et al. (1990) ve srovnání s hromadou výrobou vyžaduje méně výrobních faktorů (méně práce, výrobních prostor, investic, hodin dělníků, času výroby na výrobu výrobku). Není to však proto, že by apriori jejím cílem bylo snižování nákladů, či se outsourcovaly zdroje. Hlavním důvodem je účinná eliminace všech nečinností, ztrát a plýtvání, které nepřidává hodnotu pro zákazníka (Pech & Vaněček, 2023).

Definice můžeme kategorizovat do čtyř skupin dle jejich zaměření:

Hlavní principy štíhlé výroby

Štíhlá výroba je definována jako schopnost výrobního systému zajistit zefektivnění procesů, eliminaci plýtvání a přidávání hodnoty. Štíhlá výroba zajišťuje výrobu v souladu s poptávkou zákazníků. Štíhlý systém zahrnuje soubor prvků, nástrojů/technik, řídicích pravidel pro zvýšení konkurenceschopnosti organizací (Vinodh, 2023). Štíhlá výroba, známá také jako Lean Thinking,

je filozofie řízení, jejímž cílem je maximalizovat hodnotu eliminací plýtvání ze všech činností. Zaměřuje se na neustálé zlepšování, snižování množství odpadu a efektivní využívání zdrojů (Womack & Jones, 1997). Termín „štíhlá výroba“ je přístup praktikovaný k eliminaci plýtvání ve výrobě, které spotřebovává zdroje, ale nevytváří žádnou hodnotu pro zákazníky (Alireza et al., 2011). Štíhlá výroba je výrobní strategie, jejímž cílem je eliminovat plýtvání a činnosti nepřidávající hodnotu v procesu a zároveň maximalizovat úkoly s přidanou hodnotou podle požadavků zákazníka (Farokhi & Seshagiri Rao, 2016). Štíhlá výroba je způsob, jak zaznamenat a odstranit plýtvání, tj. neziskové činnosti, neustálým zlepšováním pomocí nepřetržitého toku výrobku k zákazníkovi s dokonalostí (Sharma, 2014).

Systémový přístup a neustálé zlepšování

Mnoho autorů definuje štíhlou výrobu jako integrovaný systém velkého množství různých metod a principů (Womack & Jones, 1994). Štíhlá výroba je proces založený na výkonnosti, který se používá ve výrobních organizacích ke zvýšení konkurenční výhody (Saurabha Masurkar, 2015). Štíhlá výroba je výrobní systém, který byl zahájen společností Toyota a nyní je používán mnoha výrobci po celém světě (Sharma, 2014). V podstatě jde o způsob myšlení, který se soustřeďuje na zajišťování nepřerušovaného toku výrobků, jenž vychází od poptávky zákazníků zpět postupně tak, že se v krátkých intervalech doplňuje jen to, co odebírá následující činnost, a na kulturu, v níž každý neustále usiluje o zlepšení (Womack et al., 1990). Štíhlá výroba je definována jako systematický přístup k identifikaci a eliminaci plýtvání prostřednictvím neustálého zlepšování, toku produktu dle poptávky zákazníka ve snaze o dokonalost (Prakash & Kumar, 2011). Štíhlá výroba se zaměřuje především na jednodušší a méně náročná opatření, nevyžadující náročné investice, ale tato opatření je třeba realizovat průběžně, každý den.

Organizační a kulturní dopady

Štíhlá výroba je považována za přístup, který přesahuje rámec strategie řízení výroby; jedná se o způsob uvažování o řízení organizací, který usiluje o snížení množství odpadu ve výrobním řetězci. Štíhlá výroba je také považována za soubor zásad a postupů, které mají eliminovat všechny formy plýtvání v organizaci (Mostafa et al., 2013). Štíhlá výroba, nebo také štíhlá produkce, filozofie Just in Time, výrobní systém Toyota, nebo častěji jen "Lean", je filozofie, která zohledňuje využití zdrojů pro jakýkoli cíl s vytvořením hodnoty pro konečného spotřebitele (Varela et al., 2019).

Optimalizace procesů a výkonnosti

Hlavním cílem štíhlé výroby je zvýšit spolehlivost, efektivitu a schopnost výrobního procesu (Ghaithan et al., 2021). Štíhlá výroba je technika, která zahrnuje eliminaci plýtvání, činností bez přidané hodnoty a rozvoj štíhlé pracovní síly (Landry & Ahmed, 2016). Štíhlou výrobu lze

definovat jako výrobní postupy, jejichž cílem je snížit množství odpadu a maximalizovat hodnotu v celém výrobním řetězci (Norhana Mohd Aripin et al., 2023). Štíhlá výroba je integrovaný sociotechnický systém, jehož hlavním cílem je eliminovat plýtvání současným snížením nebo minimalizací dodavatelské, zákaznické a interní variability (R. Shah & Ward, 2007). TPS sleduje dva hlavní cíle: (1) snížení nákladů prostřednictvím omezení plýtvání a (2) zacházení s pracovníky jako s lidskými bytostmi a s ohledem na ně. (Sugimori et al., 1977).

3.2.3 Zavádění štíhlé výroby

Zavedení štíhlé výroby znamená strategický přístup zaměřený na zvýšení efektivity a konkurenceschopnosti odstraněním plýtvání a zvýšením produktivity v organizacích (Mathlouthi, 2023). Neexistuje pouze jeden postup, jak dosáhnout štíhlosti, i uznávané metodiky je třeba přizpůsobit každé organizaci (AlManei et al., 2017).

Tři fáze zavádění štíhlé výroby, jak je navrhl Anvari et al (2011):

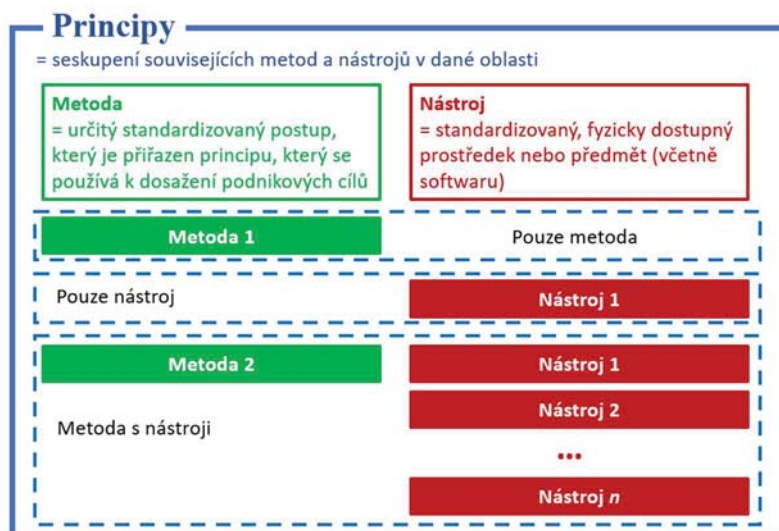
1. Fáze 1 (příprava): zahrnuje posouzení mezer v strategickém plánování a pochopení plýtvání. Poté jsou stanoveny hlavní cíle a nastavena správná organizační struktura. Pro úspěch je nutné nalézt agenta změny a vytvořit realizační tým. Dále se zaškolují zaměstnanci v budování týmu a zásadách štíhlé výroby. Do celého procesu jsou zapojeni dodavatelé i zákazníci. Většina zaměstnanců by si měla uvědomit potřebu změny.
2. Fáze 2 (návrh): dále je nutné provést mapování hodnotových toků a analýzu podniku z hlediska příležitostí ke zlepšení. Na základě zjištění je možné naplánovat změny, určit hlavní ukazatele měření výkonnosti a mechanismu zpětné vazby
3. Fáze 3 (implementace): v poslední fázi je zahájen pilotní projekt. V případě úspěchu jsou spuštěny další projekty. Změny je nutné vyhodnotit a udržovat. To zahrnuje změnu systémů a filozofie, tj. celé kultury podniku. V rámci této filozofie je třeba zdůrazňovat výhody štíhlého myšlení. Cílem je snaha o dokonalost, úspěch je nutné rozšířit dále.

Bordás (2006) uvádí sedm fází zavádění štíhlé výroby:

1. Přípravná fáze (školení, ukázka, tým, komunikace).
2. Diagnostická fáze (současný stav, metoda VSM).
3. Strategická fáze (budoucí stav, eliminace plýtvání).
4. Fáze stability (disciplína, kontrola, výsledky).
5. Akční fáze (zavedení auditů).
6. Vyhodnocení (vyhodnocení, projekty změn).
7. Nový cyklus (rozšíření na další útvary či výrobky, neustálé zlepšování).

Jádrem úspěšného úsilí o zavedení štihlé výroby je provozní kultura založená na neustálém zlepšování, do níž jsou zapojeni zaměstnanci a která se zaměřuje na odstraňování plýtvání. (Goel & Singh, 2014). Principy a metody štihlé výroby se zaměřují na vytvoření kultury neustálého zlepšování, která zapojuje zaměstnance do snižování časové, materiálové a kapitálové náročnosti nezbytné pro uspokojení potřeb zákazníka (Goel & Singh, 2014).

Obrázek 10 Vztah mezi principy, metodami a nástroji štihlé výroby



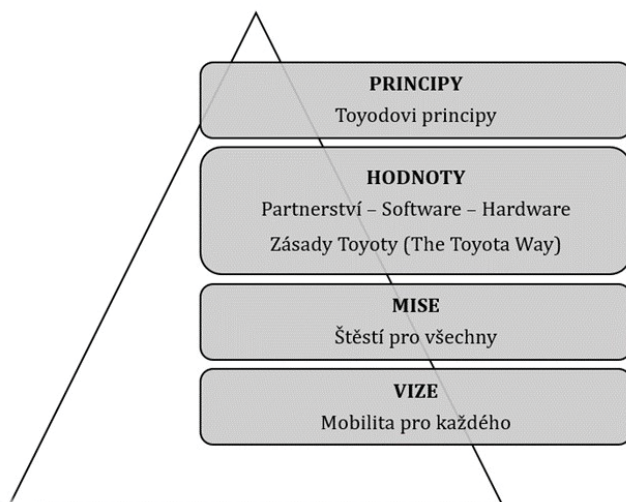
Zdroj: Womack & Jones (1996)

Obrázek 10 zachycuje vztah mezi principy, metodami a nástroji štihlé výroby. Základem filozofie štíhlosti je soubor principů, které podporují procesní, lidské a strategické složky organizace. Spíše než pouhé nasazení souboru technických nástrojů štihlé výroby vyžaduje aplikace konceptu štihlé výroby výrazné kulturní přizpůsobení (Ingelsson & Mårtensson, 2014). Zavedení štihlé výroby znamená systematický přístup k různým principům a postupům řízení. Principy jsou prvky strategické úrovně a představují ideály a zákonitosti systému, jako jsou identifikace hodnoty z pohledu zákazníka, eliminace všech druhů plýtvání, výroba podle tahu zákazníka a nepřetržitý tok výroby (Womack & Jones, 1996). Praktiky jsou prvky, které zásady štihlé výroby uvádějí do praxe. K nejznámějším praktikám patří dílenské postupy systémů pull/kanban a další metody štihlé výroby (Tortorella et al., 2017).

Filozofie Toyoty má několik úrovní, které zachycuje obrázek 11. Nejdůležitější principy vytvořil její zakladatel Sakichi Toyoda. Těchto pět principů se zaměřuje na (Toyota, 2024a): věrnost k povinnostem a rozvoji společnosti, píli a kreativitu, praktičnost a vyhýbání lehkovážnosti, budování domácí přátelské atmosféry na pracovišti, úctě k duchovním záležitostem a vděčnost. Dále jsou filozofií zdůrazňovány hodnoty jako: software (zlepšování založené na lidech a pochopení podstaty věcí), hardware (tvorba platformy pro mobilitu lidí

a věcí) a partnerství (spojení partnerů, komunit, zákazníků a zaměstnanců). Posláním (misí) Toyoty je „štěstí pro všechny“. To znamená vyrábět stále lepší automobily s ohledem na moderní technologie (elektrifikace, automatické řízení). Vizí společnosti je: „Vytváříme mobilitu pro všechny.“ Toyota snaží zvyšovat kvalitu a dostupnost mobility. Jejím cílem je vytvářet nové možnosti pro celé lidstvo a podporovat udržitelný vztah k naší planetě (Toyota, 2024b).

Obrázek 11 Filozofie Toyoty



Zdroj: Toyota (2024a)

Podobně se přistupuje k principům v některých podnicích. Například společnost Bosch navrhla vlastní referenční model štíhlé výroby – takzvaný výrobní systém Bosch (BPS) – který se v současné době používá v přibližně 250 závodech po celém světě. Tento systém je založen na původním výrobním systému Toyoty TPS s důrazem na bezpečnost, ochranu životního prostředí (Gnoni et al., 2013) a konceptu QCD (kvalita, náklady, dodávky). Principy tedy ukazují směr a cíle systému. V tomto systému jsou jednotlivé principy realizovány prostřednictvím nástrojů (metod) štíhlé výroby.

Sýkora in Vaněček et al. (2013) popisuje BPS systém vycházející z 8 všeobecných principů:

1. Orientace na procesy (procesní management).
2. Princip tahu.
3. Vyvarování se chyb (odstranění plýtvání).
4. Flexibilita (rytmus a přizpůsobení se zákazníkům).
5. Standardizace (týmově orientovaná produkce).
6. Transparentnost.
7. Neustálé zlepšování (CIP – Continuous Improvement Process, Kaizen).
8. Osobní zodpovědnost.

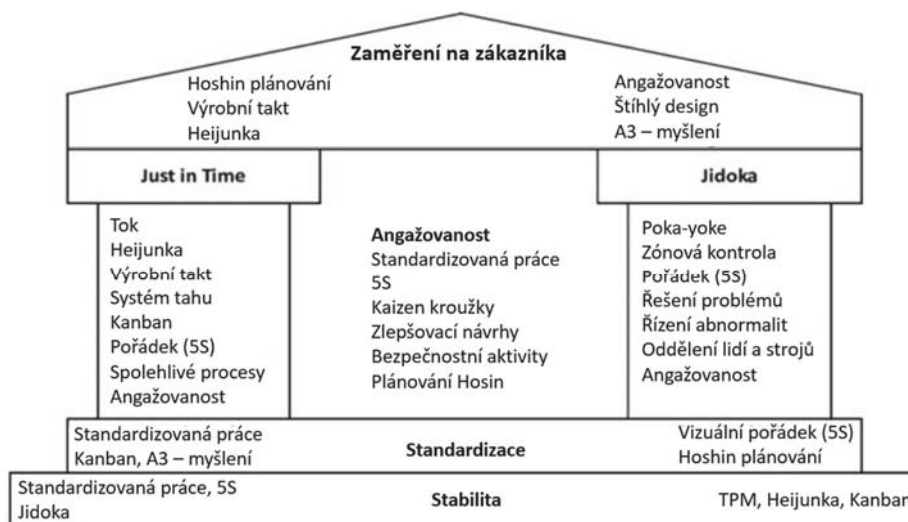
Model TPS

V prvním vytvořeném modelu byl výrobní systém Toyota (TPS) znázorněn jako dům. Důvodem pro metaforu domu je to, že dům je druh systému. Bez pevných základů, stejně jako silných pilířů a dobré střechy se tento „dům zboří“. Hlavní cíle TPS jsou znázorněny na střeše – kvalita, náklady a dodávka (QCD) prostřednictvím zkrácení výrobního toku eliminací plýtvání. Dva hlavní pilíře TPS jsou Just in Time (JIT) a Jidoka, které se vzájemně posilují. Vytvoření toku JIT vede ke zvýšení kvality. Pokud se vyskytnou časté problémy s kvalitou, tak bez rezerv v zásobách hromadné výroby systémy JIT selžou. Dům TPS musí stát na základech stability (Liker & Lamb, 2000). Středobodem štíhlé výroby jsou lidé, kteří systém neustále zlepšují (Kaizen).

Model štíhlého domu

Podobně Korry Electronics implementovala štíhlou výrobu pomocí modelu štíhlého domu (House of Lean). Tento model je podobný TPS, stěny tvoří dodávky částí výrobků JIT a Jidoka či automatizace s lidským rozumem. Cílem (střechou) systému je zaměření na zákazníka: dodávat zákazníkovi nejvyšší kvalitu s nejnižšími náklady a v nejkratší době. Srdcem systému je angažovanost, flexibilní, motivovaní členové týmu, kteří neustále hledají lepší způsob (Dennis, 2002). Tento model byl doplňován dalšími metodami a nástroji štíhlé výroby (obrázek 12).

Obrázek 12 Dům štíhlosti



Zdroj: Dennis & Shook (2007)

3.2.4 Kultura a principy štíhlé výroby

Podstatou štíhlé kultury je Kaizen. Filozofie Kaizen vnáší do štíhlé výroby myšlenku kontinuálního zlepšování. Štíhlá kultura se zaměřuje na výuku a školení lidí v oblasti neustálého zlepšování, upřednostňování lidí před procesy (Akers, 2014). Štíhlá kultura se člení do tří úrovní

(Schein, 1983): základní přesvědčení (společná etika, být dobrý), hodnoty (pokora, soulad, bezpečí, respekt atd.) a výše pak nalezneme praktiky, jako jsou pracovní návyky a jednoduché zvyky (společné zlepšování, standardizace, týmová práce, vizualizace, vědecké metody, procesní management), které lze snadno změnit (J. Miller et al., 2017). Štíhlá kultura je odlišná specifickými rutinami a vzorci chování, pro které se vžil v Japonsku výraz „kata“ (obrázek 13). Pojem pochází z označení základních forem pohybu v bojových uměních, které se po celé generace dědí z mistra na žáka. V podstatě se jedná o tréninkovou metodu či dril. Jedná se o obvyklý postup pro řešení veškerých problémů (Pech & Vaněček, 2023). Kata je metoda či rutina, jak něco dělat. Jádrem kultury je všudypřítomná Kata, která funguje na úrovni procesů a detailů pracovních činností. Je to způsob uvedení věcí do vzájemného souladu (Rother, 2017).

Obrázek 13 Kata štíhlé výroby



Zdroj: Soltero & Boutier (2012)

Soltero & Boutier (2012) uvádějí sedm různých druhů Katy:

1. Kata zlepšování (Improvement / Kaizen). Opakující se rutina, jejímž prostřednictvím se organizace zlepšuje, přizpůsobuje a rozvíjí.
2. Kata instruování (Learn to Teach / Job Instruction). Definuje, jak by manažeři měli správně předávat instrukce, úkoly a zaškolovat ve standardních pracovních operacích tak, aby pracovníci pracovali správně, bezpečně a svědomitě.
3. Kata koučování (Teaching to Learn). Opakující se rutina, jejímž prostřednictvím manažeři a lídři vyučují všechny ostatní v organizaci následovat katu zlepšování.

4. Kata řešení problémů (Problem-Solving). Systematický přístup k řešení problémů založený na faktech, učení a zaměření na příčiny.
5. Kata pracovních vztahů (Job Relations). Zahnuje pozitivní vztahy mezi zaměstnanci se zaměřením na spolupráci a týmovou práci. Řeší roli vedoucího, vztahy na pracovišti.
6. Kata bezpečnosti (Job Safety / Duplex). Zavádí bezpečnostní zásady jako součást pracovních postupů.
7. Kata pracovních metod (Job Methods). Jejím cílem je zaškolení do štíhlých metod a zlepšovacích iniciativ v běžné praxi.

Principy štíhlé výroby jsou základními zásadami odvozenými z japonských manažerských postupů, jejichž cílem je optimalizovat hodnotu pro zákazníka eliminací plýtvání a zefektivněním procesů (Mahadevan & Chejarla, 2023). Tyto zásady jsou hluboce zakořeněny ve filozofii poskytování optimální hodnoty prostřednictvím efektivního využívání zdrojů a minimalizace plýtvání (Helmold, 2020). Tyto principy nejsou jen teoretickými koncepty, ale nesou v sobě záměr teorie, kterou představují, fungují jako most mezi teorií a praxí a usnadňují vysvětlení (Skaar et al., 2020) důvodů, proč metody fungují či nikoliv.

Womack a Jones (1990) definovali pět principů štíhlé výroby:

- Specifikace hodnoty: definování hodnoty z pohledu zákazníka a její vyjádření v podobě konkrétního produktu nebo služby.
- Práce na dokonalosti: plná eliminace plýtvání tak, aby všechny činnosti vytvářely hodnotu pro zákazníka prostřednictvím průlomových projektů a projektů neustálého zlepšování.
- Zmapování toku hodnot: zmapování všech kroků s přidanou hodnotou i bez přidané hodnoty, které vytvářejí produkt nebo službu zákazníkovi.
- Vytvoření toku: nepřetržitý tok produktů, služeb a informací od začátku ke konci procesu.
- Zavést systém tahu: v předcházejícím procesu se nic nedělá, dokud zákazník v následném procesu nesignalizuje potřebu, skutečná poptávka neprotáhne produkt/službu hodnotovým tokem.

Wilson (2010) uvádí principy štíhlé výroby:

- Perspektiva zákazníka: přesné pochopení požadavků zákazníka. Štíhlý systém se zaměřuje na efektivní plnění požadavků zákazníka.
- Snížení plýtvání: Identifikace subjektů, které z pohledu zákazníka nepřidávají hodnotu. Plýtvání nepřidává hodnotu je třeba jej omezit a odstranit.

- Hodnota produktu z pohledu zákazníka: Lean se zaměřuje na naplňování hodnoty produktu z pohledu zákazníka, nikoliv z pohledu výrobce.
- Systém tahu: výroba výrobků na základě poptávky zákazníka. Výroba je v souladu s poptávkou zákazníka.
- Eliminace činností nepřidávajících hodnotu: Cílem je minimalizace a eliminace plýtvání.
- Procesy správně hned napoprvé: Cílem je provádět činnosti správně napoprvé bez chyb.
- Dokonalá kvalita napoprvé: Koncepce Lean je založena na měření procesu s dokonalým dodržováním kvality.
- Dodání materiálu správně včas: Dodavatelé musí dodávat suroviny ve správný čas, aby bylo možné zahájit tok hodnot.
- Zefektivnění zásob: zásoby je třeba snížit a zefektivnit k zajištění plynulého toku hodnot.
- Synchronizace procesů: Procesy lze synchronizovat snížením zásob a doby nastavení.
- Využití tvůrčích schopností lidí: Je třeba využít tvůrčí a inovativní schopnosti pracovní síly, aby bylo možné inovovat procesy.

Liker (2015) uvádí 14 zásad (principů) štíhlé výroby:

1. Zakládat manažerská rozhodnutí na dlouhodobé filozofii, a to i na úkor krátkodobých finančních cílů.
2. Vytvořit nepřetržitý procesní tok, který umožní odkrýt problémy.
3. Využívat systém tahu, vyhnout se nadvýrobě.
4. Vyrovnávat pracovní zatížení.
5. Vytvářet kulturu, která dovoluje zastavit proces, aby se vyřešily problémy a aby se správné jakosti dosáhlo hned napoprvé.
6. Standardizovat úkoly.
7. Užívat vizuální kontroly, aby nezůstaly skryty žádné problémy.
8. Užívat pouze důkladně prověřených technologií, které prospívají lidem i procesům.
9. Vychovávat vůdčí osobnosti, které rozumějí práci, žijí filozofií firmy a učí druhé.
10. Rozvíjet výjimečné lidi a týmy.
11. Projevovat ohled vůči širší síti partnerů a dodavatelů prostřednictvím pomoci při zlepšování.
12. Přesvědčit se na vlastní oči, aby se důkladně poznala situace.
13. Rozhodnutí přijímat pomalu, na základě široké shody, po zvážení všech možností. Následovat pak musí rychlá implementace.
14. Stát se učící se organizací pomocí neustálého promýšlení (Hansei) a zlepšování (Kaizen).

Princip snižování ztrát (koncepte Muda)

V rámci snižování ztrát se snažíme odstranit ve výrobním procesu plýtvání. Liker (2015) definuje plýtvání jako vše, co zabírá čas, ale nepřináší zákazníkům přidanou hodnotu. Podle Shaha & Warda (2003) tvoří plýtvání zásoby rozpracované výroby a zbytečné prodlevy v toku času. Základem metody 3MU (obrázek 14) jsou Muda, Muri a Mura. Tyto tři koncepty jsou vzájemně propojeny řetězcem příčin a následků ve fyzickém světě, kde Mura vytváří Muri a oba společně vytvářejí Muda (Pieńkowski, 2014).

Obrázek 14 Vysvětlení metody 3MU (Muri, Mura a Muda)



Zdroj: Pech & Vaněček (2023)

Muda termín v japonštině znamená ztrátu, plýtvání a používá se též pro označení všech činností, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka a v podstatě představují plýtvání (Radin Umar et al., 2023). Podle Slacka (2010) je plýtváním vše, co je jiné než minimální množství zařízení, předmětů, dílů a pracovníků nezbytných pro výrobu. Muda na pracovišti představuje jakýkoli faktor, který nepřispívá k výrobnímu procesu, ale pouze zvyšuje náklady (Rabakawi et al., 2013). Pro Canela et al. (2000) Muda představuje vše, co není minimálním množstvím, které je naprosto nezbytné pro tvorbu hodnoty výrobku nebo služby.

Těchto 8 typů plýtvání se společně označuje zkratkou DOWNTIME (Imai, 2005):

1. Ztráty nadprodukcí.
2. Ztráty v nadměrných zásobách.
3. Ztráty v důsledku oprav zmetků a neopravitelných výrobků.
4. Ztráty způsobené zbytečnými pohyby.
5. Ztráty při zpracování.
6. Ztráty čekáním.
7. Ztráty v dopravě

Někteří autoři (Emiliani, 2007) přidávají k těmto původním sedmi druhům ztrát ještě osmý:

8. Ztráty nevyužitím kvalifikace pracovníků.

Muri představuje o nadměrné přetěžování lidí nebo zařízení, tedy využívání strojů nebo osob nad jejich přirozené meze. Přetěžování bývá příčinou poruch a zmetků. Existují tři hlavní příčiny Muri (Pieńkowski, 2014): špatně organizované pracoviště, nedostatek standardizované práce a kolísání objemu výroby. Muri je také častou příčinou poruch, pokud jde o stroje, a absenci lidí.

Mura znamená kombinaci obou předchozích konceptů dohromady, neboť ve výrobních systémech nastávají situace, jejichž důsledkem je nevyrovnanost a nepravidelnost výroby, kolísání atd. Mura znamená variabilitu nebo nerovnoměrnost. Odkazuje na plýtvání nerovnoměrností v objemu výroby. Může mít dvě různé podoby:

- Variance v plánování výroby.
- Nerovnoměrnost objemu výroby a tempa práce.

Jednou z hlavních příčin Mura je dávková výroba, kterou reprezentuje mnoho firem. Filozofie výroby ve velkých dávkách má za cíl maximalizovat využití klíčových zdrojů a minimalizaci nákladů na jednotku. Přináší však problémy s flexibilitou, brání společnosti reagovat na neustálé změny poptávky zákazníků.

Princip flexibility

Flexibilita ve štíhlé výrobě znamená schopnost výrobního systému rychle a efektivně se přizpůsobit změnám, poruchám a nejistotám. Princip pružnosti ve štíhlé výrobě se týká zlepšení hlavního plánování, aby bylo možné efektivně zvládat změny, což umožňuje rychlé a nákladově efektivní přizpůsobení se pozdním změnám a využití příležitostí plynoucích ze změn vyvolaných zákazníky (Vaagen & Ballard, 2021). U výrobních linek je nutné podle Vaněček et al. (2013) s flexibilitou počítat již při jejím návrhu. To znamená, že se využití linek ani jejich součástí neplánují podle jednoho výrobku. Ideální je řešení, které umožňuje budoucí změny či jejich alternativní použití. Kromě toho, je nutné přizpůsobit výrobu i organizaci práce aktuálním požadavkům zákazníka.

Princip standardizace

Standardizace ve štíhlé výrobě znamená zavedení konzistentních, stabilních procesů a postupů (Medynski et al., 2023) a zjednodušení práce. Standardizovaná práce je v podstatě přesný postup pro každého pracovníka ve výrobě. Díky tomu se snižuje rozkolísanost výkonů na jednotlivých pracovištích, snižuje se riziko pracovních úrazů, usnadňuje se zaškolení nových pracovníků a náročnost na obsluhu. Tento pojem vyjadřuje totéž, co normovaná práce. Standardizace snižuje počet a rozmanitost možných řešení. Cílem standardizované práce je vyrábět co nejefektivněji, podle jasných pracovních postupů a tempem odpovídajícím požadavkům zákazníka (Vaněček et al., 2013). Vyrovnávání časů jednotlivých operací ve výrobě probíhá pomocí balancování linky.

Princip plynulého toku

Princip plynulého toku ve štíhlé výrobě označuje ideální stav hodnotových toků, kdy se materiál, informace a práce pohybují plynule a rovnoměrně. Jeho dosažení je náročné, ale nezbytné pro efektivitu a eliminaci plýtvání (Wikner, 2018). Princip kontinuálního toku ve štíhlé výrobě zahrnuje tok jednoho kusu se sdílenými zdroji, jehož cílem je optimální rovnováha a výroba Just in Time, na rozdíl od dávkové výroby. Zvyšuje efektivitu a minimalizuje plýtvání (Skołod et al., 2015). Ideálním tokem je tzv. tok jednoho kusu (One Piece Flow). Cílem tohoto principu je zvýšit produktivitu, zkrátit dobu cyklu a odstranit plýtvání zavedením různých štíhlých technik (H. Shah et al., 2022).

Princip vizualizace

Princip vizualizace ve štíhlé výrobě se vztahuje k využití technik vizuálního managementu (VM) ke zvýšení provozní efektivity a usnadnění neustálého zlepšování (Minh et al., 2017). Jedná se o holistický přístup poskytující vizuální informace, které usnadňují týmu i jednotlivcům získat lepší přehled o jejich úloze a přínosu. Usnadňuje identifikaci úzkých míst a zvyšuje provozní transparentnost (Wilson, 2010). Galsworth (2005) stanovil deset cest, které pomáhají dosáhnout vizuálního rozvoje v celém podniku. Jedná se o následující: (1) pořádek pro spolupracovníky; (2) standardy pro inženýry a vedoucí pracovníky; (3) vizualizace pro plánovače a vedoucí pracovníky; (4) metriky a řešení problémů pro výkonné pracovníky, manažery a vedoucí pracovníky; (5) kontroly a vizuální systémy tahu pro manipulanty s materiálem, plánovače-inženýry a supervizory; (6) záruky pro inženýry-techniky kvality; (7) vizuální stroje (údržba); (8) štíhlá kancelář pro podpůrný personál; (9) makrovizuální prostředí pro speciální tým; (10) proces vizuálních zkoušek pro pracovníky z více oddělení.

Princip neustálého zlepšování (PDCA nebo DMAIC cyklus)

Základy štíhlé výroby využívají procesy neustálého zlepšování, které se zaměřují na eliminaci plýtvání nebo kroků, které nepřidávají hodnotu v organizaci (Saurabha Masurkar, 2015). Cílem TPS je neustálé zlepšování se zapojením všech zaměstnanců s optimálním využitím pracovní síly a strojů. Cílem je snížení doby nečinnosti a neprůchodnosti toků pomocí nástrojů štíhlé výroby, jako je mapování toku hodnot a Kaizen (Dhiravidamani et al., 2018). Toto kontinuální zlepšování probíhá formou PDCA cyklů. V překladu se jedná o cyklus založený na čtyřech krocích: naplánuj, proved' (udělej), zkontroluj a jednej (zasáhni). V Toyotě každý krok, každá změna představuje jeden cyklus PDCA. Místo jednoho dlouhého cyklu je pak využito série stovek až tisíců rychlých PDCA cyklů (Rother, 2017).

Princip tahu (Pull systém)

Metoda výroby řízené poptávkou, při níž jsou zásoby dodávány v okamžiku, kdy je materiál nebo výrobek objednan následnými spotřebiteli. Princip tahu spoléhá na přesné a včasné metriky o tom, jaký materiál nebo služby jsou nezbytné k dodání konečného výrobku s minimálním plýtváním (Rabakawi et al., 2013). V tomto systému se zásoby neukládají ve velkých skladech nebo na parkovištích, ale dodávají se při objednávce nového automobilu nebo výrobku následnými spotřebiteli (Nelson, 2016). Metoda řízení výroby, při níž navazující činnosti signalizují své potřeby předchozím činnostem. Pull systém se snaží eliminovat nadvýrobu a je jednou ze tří hlavních součástí systému Just in Time (Lean Enterprise Institute, 2008).

Princip transparentnosti

Podle Womacka et al. (1990) je transparentnost schopnost vnějších osob vidět systém v akci, pochopit jeho logiku a ověřit jeho výkonnost. Ve štíhlé výrobě zahrnuje transparentnost zpřístupnění a sdílení informací o procesu zaměstnancům, což jim usnadňuje práci a zlepšuje výkonnost procesu. Princip transparentnosti zahrnuje systematické používání vizuálních nástrojů pro zlepšení toku informací, což umožňuje včasné řešení problémů a spolupráci mezi účastníky projektu pro lepší plánování a kontrolu (Brady et al., 2018). Transparentnost je koncept, kdy je výkonnost procesu nebo celé linky „vidět“, protože se nachází na podlaze. Obecně to neumožní sada grafů – naopak, jde o sadu vizuálních kontrol, jako jsou Andony, hejrunka tabule a prostorové značky, které činí výkon procesu transparentním (Wilson, 2010). Transparentnost je nezbytná pro neustálé zlepšování. Transparentnost znamená, že každý zná své úkoly a cíle, neboť ulehčuje orientaci ve všech činnostech a zlepšuje uvědomění si všech souvislostí (Vaněček et al., 2013).

Princip zaměření na procesy (procesní management)

Principy štíhlé výroby se zaměřují především na optimalizaci procesů eliminací plýtvání a zefektivněním operací s cílem zvýšit efektivitu a hodnotu poskytovanou zákazníkům. Řízení procesů zahrnuje standardizaci, podporu kultury neustálého zlepšování a posílení postavení pracovníků (Tahir et al., 2022). Podstatou tohoto principu je vytvoření, řízení, optimalizace a zlepšování procesů. Nicméně, nestačí zlepšovat jednotlivé dílčí procesy. Je nutné provádět komplexní zlepšování celého procesu (Vaněček et al., 2013).

Princip zaškolení formou mentoringu

Štíhlá výroba v Toyotě vytváří jedinečné prostředí, ve kterém má každý pracovník svého mentora, se kterým může diskutovat (Rother, 2017). Sensei (mentoring) je japonský termín, který znamená „vážený učitel“ a je charakteristický pro vývojové vztahy v bojových uměních a pro nejlepší výuku. Mentoring ve společnosti Toyota zahrnuje realizaci programů, jejichž cílem je zlepšit výsledky vzdělávání a spolupráci s průmyslem ve vzdělávacích institucích (Arif & Sofyan, 2019).

Leuschel (2020) uvádí, že americké firmy nebyly při zavádění TPS úspěšné, a to právě kvůli zanedbávání japonské stránky managementu, včetně mentorských vztahů, které podporují spolupráci a důvěru mezi pracovníky a vedením. Dokázala to studie podniku Toyota Motor Manufacturing Kentucky (TMMK), ve kterém se zdůrazňoval význam kulturních prvků v TPS. Mentoring má také význam v oblasti kariérní a psychologické podpory a usnadňuje osobní rozvoj jednotlivce i organizace jako celku (Smith & Lindsay, 2014).

Princip koučování (coaching)

Princip koučování vychází z Katy koučování a stanovuje způsob, jakým se mezi lidmi v Toyotě předávají zkušenosti a sdílejí znalosti. Koučování je strukturovaný přístup k školení a podpoře zlepšování (Rother, 2017). Kouč vede žáka cestou vzájemného a soustavného dialogu. Interakce mezi koučem a žákem probíhá v předem naplánovaných koučovacích cyklech (Ferenhof, 2020). Pracovníci se tak zapojují do učení a řešení problémů, což podporuje kulturu neustálého zlepšování. Miller (2014) uvádí, že kata koučování je klíčem ke změně chování a změna chování je klíčem ke změně kultury. Koučování musí probíhat podle katy a musí být prováděno s úmyslem a pochopením toho, jak se návyky vytvářejí. Kouč denně provádí koučovací cykly s manažerem (mentorem), který je zodpovědný za realizaci inovačního procesu prostřednictvím Katy zlepšování. Nicméně, na tyto kouče dohlíží druhý kouč, jehož úkolem je zpětná vazba a zodpovědnost za efektivitu procesu učení kouče (Rother, 2018). Samotný koučovací cyklus zahrnuje 7 kroků: pozitivní předpoklady, přesně určené chování, poznání současného stavu, modelování, nácvik chování, procvičování chování, pozitivní posilování. K písemné podpoře dialogu mezi mentorem a žákem slouží tzv. A3 dokument.

Princip nepřetržitého a systematického řešení problémů

Princip neustálého a systematického řešení problémů ve štihlé výrobě se týká snahy o identifikaci, pochopení a odstranění plýtvání (Muda) ve všech formách v rámci výrobního procesu s cílem zlepšit efektivitu a kvalitu. Tato zásada je zakořeněna ve filozofii štihlé výroby, která zdůrazňuje význam neustálého zlepšování (Kaizen) a respekt vůči lidem (Islam, 2023). Podstatou tohoto procesu řešení problémů je poznání a vyjasnění problémů, dále pochopení situace (Go and See – Jít a vidět na vlastní oči), odhalení příčin problému, navržení a realizace protipatření, vyvození závěrů a standardizace výsledků (Soltero & Boutier, 2012). K experimentování využívá Kata řešení problémů PDCA cyklů, metodu pětkrát proč (5x WHYS) a další metody, které zdůrazňují vědecký přístup k osvojování si znalostí.

Princip podpory týmové práce

Zásady týmové práce ve štihlé výrobě zdůrazňují vytváření multifunkčních týmů, které podporují spolupráci, komunikaci a sdílení odpovědnosti mezi členy týmu s cílem zlepšit vývoj výrobků,

produktivitu a standardy kvality (Camuffo & Micelli, 1997). Týmová práce se používá pro řešení problémů. To znamená jít ke zdroji problému, najít fakta, aby bylo možné provést správné rozhodnutí založené konsensu a dosažení cílů (Pech & Vaněček, 2023). Týmová práce umožňuje díky synergickému efektu maximalizovat individuální i týmovou výkonnost. V systémech štíhlé výroby je aktivita týmu podporována participativním rozhodováním, vztahy mezi týmy a procesem týmového učení při vytváření společného smyslu práce (Grant & Hallam, 2016).

Princip bezpečnostních zásad (Duplex Kata)

Tento princip rozvíjí myšlenku spojení bezpečnostních zásad a pracovních postupů. V tomto duchu jsou totiž pracovní postupy nastaveny. Podle Soltera & Boutiera (2012) Duplex Kata slouží dvojímu účelu: lze ji použít na zlepšování (Kaizen), nebo k řešení problémů. Smyslem bezpečnosti je zvážit opatření a přijmout opatření předtím, než dojde k bezpečnostní události, jejíž následky se projeví. Tato Kata překlenuje mezeru mezi klasickým školením o bezpečnosti a specializovaným školením zaměřeným na vyšetřování mimořádných událostí (havárií, úrazů).

Princip učící se organizace (best practices)

Princip učící se organizace zdůrazňuje neustálé zlepšování a inovace prostřednictvím efektivního řízení znalostí a procesů učení. Tato zásada je nedílnou součástí štíhlé výroby, neboť usiluje o snížení plýtvání a zlepšení provozní efektivity podporou prostředí, v němž je neustálé učení a přizpůsobování se součástí organizační kultury (Tortorella et al., 2015). Učící se organizace jsou místa (Senge, 1990) „kde lidé neustále rozšiřují svou schopnost dosahovat výsledků, po kterých skutečně touží, kde se rozvíjejí nové způsoby a vzorce myšlení, kde se všichni zapojují do kolektivní úsilí o organizační a individuální efektivnost prostřednictvím učení a kde se lidé neustále učí vidět celek společně.“

Princip osobní zodpovědnosti

Princip osobní zodpovědnosti se týká vztahu mezi lean managementem a řízením lidských zdrojů. Zdůrazňuje úlohu personálního řízení a potenciálně působí jako určovatel tempa s konkrétními důsledky pro rozvoj systému vedení (Reiss, 1993). Princip osobní zodpovědnosti zahrnuje vzájemné porozumění, důvěru a snahu o respektování a týmovou práci s důrazem na zlepšování individuální a skupinové výkonnosti (Tsigkas, 2013). V praxi to znamená, že zaváděním štíhlé výroby dochází postupně k vytvoření systému, ve kterém jsou lidé motivováni a vzájemně propojeni. Podporují se tedy navzájem a komunikují i složité problémy. Každý pracovník tak musí znát přesně své úkoly, má určité kompetence a přidělenou osobní odpovědnost. Tento systém tak vytváří prostor pro tvořivost a kreativní řešení problémů (Vaněček et al., 2013).

Princip neustálého zlepšování

Neustálé zlepšování (Kaizen) je základním principem štihlé výroby. Zahrnuje neustálé úsilí o zlepšování všech aspektů organizace, od výrobních procesů až po administrativní postupy. Cílem je provádět malé, postupné změny, které v průběhu času společně vedou k významnému zlepšení. Tento přístup nejen zvyšuje produktivitu a efektivitu, ale také podporuje proaktivní kulturu na pracovišti, která podporuje inovace (Velanganny et al., 2021). Podstatou je motto: „Musíme běžet, abychom zůstali na místě“ (Liker, 2015), tedy neustálé (dlouhodobé) zlepšování. Opakující se rutina Katy zlepšování probíhá takto (Rother, 2017): (1) s ohledem na vizi, směr nebo cíl a (2) s prvotním pochopením současného stavu se definuje (3) cílový stav na cestě k vizi. Když se pak (4) snažíme postupovat krok za krokem směrem k tomuto cílovému stavu, narážíme na překážky (z nichž se učíme), které určují, na čem je třeba pracovat.

Princip respektu k zaměstnancům

Tento princip znamená skutečný respekt k lidem. Ukazuje, jak být lídrem, naslouchat a vynaložit úsilí k porozumění ostatních. Jen tak lze převzít odpovědnost a budovat vzájemnou důvěru. Úcta k lidem (Ljungblom & Lennerfors, 2021) klade důraz na rozvoj zaměstnanců a vytváření pozitivního pracovního prostředí, které je pro úspěšnou implementaci štihlé výroby nezbytné. Management tento respekt lidem projevuje ve formě pozitivního pracovního prostředí, podpoře týmové práce, rozvoji schopností (Coetzee et al., 2019), náročných pracovních příležitostí, bezpečných pracovních podmínek, empowermentu, zprostředkování smyslu práce, vzájemné podpory, podpory odlišností a práce, která vytváří hodnotu.

Princip usilování o dokonalost

Ve štihlé výrobě je usilování o dokonalost založeno především na neustálém zlepšování procesů, odstraňování plýtvání a zvyšování kvality s cílem poskytovat zákazníkům vyšší přidanou hodnotu. Odstraňování ztrát vychází z koncepce Muda, která popisuje osm druhů plýtvání. Identifikováním a odstraněním těchto ztrát mohou podniky zefektivnit provoz, snížit náklady a zlepšit kvalitu výrobků, čímž se přiblíží k provozní dokonalosti. Kromě odstranění zjevného plýtvání znamená usilování o dokonalost také vyvarování se chyb, tedy prevence. Preventivní opatření zvyšují bezporuchovost a stabilitu procesů. Cílem tohoto principu jsou „žádné zmetky“ ve výrobě. Respekt vychází také z přesvědčení, že lidské schopnosti jsou více než schopnosti stroje (Liker, 2015).

Princip angažovanosti zaměstnanců

Empowerment v kontextu štihlé výroby je v zásadě zvyšování výkonnosti organizace prostřednictvím aktivního zapojení zaměstnanců do rozhodovacích procesů a úsilí o neustálé zlepšování. Štihlá výroba podporuje aktivní účast zaměstnanců na všech úrovních. Toto zapojení

pomáhá využívat kolektivní odborné znalosti a poznatky zaměstnanců a podporuje kulturu týmové práce a inovací (Pascu et al., 2016). Tato zásada vychází z přesvědčení, že ti, kteří se přímo podílejí na pracovních procesech, mají cenné poznatky, které mohou přispět k odstranění plýtvání a zvýšení efektivity. Posílení pravomocí ve štíhlé výrobě tedy spočívá především ve snaze zapojit pracovníky přímo do výrobního procesu a rozhodování s cílem zvýšit provozní efektivitu a spokojenost (Cole, 1995).

Princip zaměření na zákazníka

Smyslem tohoto principu je vyrábět právě ten výrobek, který zákazník aktuálně požaduje. Cílem je dát zákazníkovi přesně, co chce bez zbytečného plýtvání. V praxi se jedná o aplikaci systému tahu, který do výroby vnáší aktuální odvolávky od zákazníka. Tím se maximalizuje přidaná hodnota, nevyrábí se na sklad se zbytečnými náklady. Současně je nutné sladit potřeby zákazníka s funkcemi produktu tak, aby byly všechny potřeby splněny na míru (Košturiak et al., 2010). Činnosti, které vedou k plýtvání, je třeba eliminovat. Taichi Ohno prohlásil: „je třeba vyrábět pouze to, co požaduje zákazník! Nic víc a nic méně.“ Vše ostatní než to co požaduje zákazník, je bráno jako plýtvání, za které nechce platit.

Princip zaměření na příčiny problémů

Genchi Genbutsu zdůrazňuje, že je důležité jít ke zdroji a zjistit fakta pro správné rozhodování, pochopení situace a řešení problémů (Mohapatra et al., 2023). Díky spolupráci s lidmi v první linii a se mohou na vlastní oči přesvědčit o daných problémech a pochopit je. Zaměření na příčiny problémů je nedílnou součástí štíhlé výroby, protože se snaží identifikovat a odstranit základní příčiny plýtvání a neefektivity, nikoli pouze řešit symptomy. Tento přístup je podporován různými nástroji a metodikami štíhlé výroby, jako je například mapování hodnotových toků (metoda VSM), metoda 5x proč atd., které pomáhají identifikovat příčiny plýtvání a oblasti pro zlepšení v rámci výrobního procesu (Ljungblom & Lennerfors, 2021). Metoda pětikrát proč (5x WHYS) slouží k řešení problémů dotazováním se „proč“ pětikrát (nebo i vícekrát) za sebou stále podrobněji, což umožní dostat se ke skutečné příčině problému (Pech & Vaněček, 2023).

Princip rozvoje a zpětné vazby dodavatelů

Rozvoj a zpětná vazba dodavatelů pro štíhlou výrobu jsou kritickými prvky, které zajišťují účinnost a efektivitu dodavatelského řetězce a přispívají k celkové štíhlé transformaci výrobních procesů. Dodavatelé díky tomu mohou v reálném čase získat informace o zásobách. Pomoc s rozvojem dodavatelů zahrnuje řadu kroků, jejichž cílem je zvýšit výkonnost dodavatelů tak, aby splňovali zásady štíhlé výroby, tj. minimalizovat plýtvání a maximalizovat hodnotu. To zahrnuje předběžnou kvalifikaci, hodnocení výkonnosti a úsilí o neustálé zlepšování s cílem splnit standardy, normy kvality a spolehlivosti dodávek. Nedílnou součástí tohoto procesu jsou

mechanismy zpětné vazby. Dodavatelé tak mají informace o tom, jak mohou zlepšit své operace, aby byly v souladu s cíli štihlé výroby. To zahrnuje kombinaci osvědčených postupů (best practice) a metod štihlé výroby pro hodnocení výkonnosti dodavatelů, což zajišťuje zavedení metodiky neustálého zlepšování (Pei & Song, 2018).

Princip oddělení lidí a strojů (person-machine separation)

Princip označuje koncept rozlišování mezi rolmi a činnostmi, které jsou nejlépe vykonávány lidmi, a těmi, které by měly být automatizovány nebo zpracovávány stroji (Sharma, 2014). Tato zásada vychází z širšího cíle štihlé výroby, kterým je optimalizace efektivity a produktivity při současném snížení plýtvání. Z těchto principů vyplývá, že by lidské schopnosti měly být využívány optimálně tam, kde je potřeba rozhodování, řešení problémů, či úkoly řízení kvality. Podobně by stroje měly naopak provádět opakované úkoly umožňující automatizaci. Oddělování osob od strojů ve štihlé výrobě zahrnuje rozlišování mezi lidskými a nelidskými objekty pomocí senzorů pro nastavení ochranných vzdáleností, což zvyšuje efektivitu spolupráce člověka a robota v průmyslových aplikacích (Himmelsbach et al., 2021).

Princip dlouhodobého zaměření

Vychází z dlouhodobého zaměření a nabízí filozofické zdůvodnění poslání. V tomto pojetí jsou hodnoty stavěny na dlouhodobé filozofii a historie propojena s budoucností společnosti (Huntzinger, 2007). Smyslem podnikání je naplňování dlouhodobých cílů organizace v souladu s jejími hodnotami. Při rozhodování je proto důležitá nezávislost, sebedůvěra, vlastní schopnosti, znalosti, dovednosti a odpovědnost za vlastní chování (Pech & Vaněček, 2023).

Princip zapojení a integrace zákazníka

Princip integrace zákazníků do procesu návrhu a výroby zdůrazňuje strategické zapojení zákazníků do procesů navrhování, výroby a zlepšování s cílem zvýšit kvalitu výrobků, snížit náklady a zefektivnit dodavatelské řetězce (Asmae et al., 2020). Začlenění zákazníků do výrobního procesu umožňuje pružnější a pohotovější výrobní systém, který se dokáže snáze přizpůsobovat měnícím se požadavkům trhu. To vyžaduje posun od tradičního řízení provozu k přístupu více orientovanému na vztahy, který se zaměřuje na řízení vnějších vztahů se zákazníky a dodavateli (Jadeja et al., 2008). Spojení se zákazníky může zajišťovat CRM (Customer Relationship Management System) nebo ECR (Effective Customer Response). Tyto strategie zdůrazňují význam zkrácení dodacích lhůt a rychlého přizpůsobení se požadavkům zákazníků. To vyžaduje spolupráci všech členů dodavatelského řetězce s cílem efektivněji reagovat na požadavky spotřebitelů, a tím zlepšit celkovou hodnotu poskytovanou zákazníkům (Inuwa & Rahim, 2022).

Princip vyrovnávání pracovního zatížení (Worklead balance)

Tento princip se zaměřuje na to, jakým způsobem je možné vyrovnávat přetížení lidí, výrobních zařízení a nevyváženost harmonogramu výroby (Heijunka). Podstatou je podle Hohmanna (2005) pomalejší, vytrvalá rychlost výroby (želva), která přinese menší ztrátu než rychlé skoky, zastavení, čekání a přetěžování výroby (zajíc). Nemusí být nejvyšší prioritou co nejvíce vytěžovat dělníky co nejrychlejší výrobou dílů. Vhodnější je vytvořit zásobu hotových výrobků, aby se vyrovnal harmonogram výroby, než vyrábět podle skutečné rozkolísané poptávky dané objednávkami zákazníků (Pech & Vaněček, 2023).

3.2.5 Metody štíhlé výroby

Štíhlá výroba využívá různé metody, samozřejmě v závislosti na tom, jak se na pracovišti osvědčí. Metody štíhlé výroby jsou dílčími nástroji využitelnými v konkrétních podmínkách. Pro efektivní fungování systému, který se neustále zlepšuje, je nutné tyto metody vhodně skloubit dohromady. Systém metod štíhlé výroby není striktně omezen, uplatňují se nové metody, pokud lépe vyhovují nové technologii výroby (Pech & Vaněček, 2018). Štíhlé výrobní postupy mají zaručit, že snížení nákladů bude dosaženo odstraněním plýtvání, zlepšením toku, uspokojením požadavků zákazníků, posílením postavení zaměstnanců a vytvořením zcela nových hodnot pro nabízené výrobky a služby (Liker, 2004; Ohno & Bodek, 2019).

Shah & Ward (2007) představili 22 postupů štíhlé výroby, které zahrnují spolupráci s dodavateli, kanban, neustálé zlepšování, kompletní údržbu, programy bez poškození atd. V literatuře bylo identifikováno deset dimenzí štíhlé výroby. Jedná se o zpětnou vazbu od dodavatelů, Just in Time, rozvoj dodavatelů, zapojení zákazníků, pull systém, kontinuální tok, zkrácení doby seřízení, celkovou preventivní údržbu, statistickou kontrolu procesů a zapojení zaměstnanců (Sahoo, 2019). Na základě systematického přehledu literatury Naeem et al. (2021), identifikovali následujících devět štíhlých postupů (1. angažovanost zákazníků, 2. angažovanost dodavatelů, 3. angažovanost zaměstnanců, 4. 5S, 5. Jidoka - automatizace, 6. JIT, 7. rozložení zařízení a strojů, 8. neustálé zlepšování Kaizen, 9. rychlé přeseřízení). Pro měření postupů štíhlé výroby měřili Maldonado & Guzmán (2023) podle metodiky vytvořené Fariás et al. (2019) postupy štíhlé výroby na stupnici pomocí 6 kritérií: JIT praktiky, optimální velikost šarže (Lot Size), neustálé zlepšování, preventivní údržba, angažovanost zaměstnanců, doba cyklu.

Kaizen

Kaizen lze přeložit jako „změna k lepšímu“, zatímco jiné jej volně spojují s „neustálým zlepšováním“ (Kumar, 2020). Kaizen představuje neustálé zlepšování všech procesů (činností) v postupných krocích za účasti všech pracovníků (Rother, 2017). Kaizen podporuje kulturu, v níž

jsou všichni zaměstnanci, od vedení až po pracovníky v první linii, zapojeni do procesu identifikace plýtvání a přispívají k zlepšením, aniž by bylo nutné vynakládat další zdroje (Doran, 2023). Tento koncept je základem výrobního systému Toyota, který zdůrazňuje význam stabilních výrobních procesů jako předstupeň zlepšování procesů a zvyšování hodnoty výrobních činností. Kaizen označuje praxi neustálého zlepšování, kdy jsou malé, postupné změny ceněny více než rozsáhlé akce. Klade důraz na průběžné, kolektivní zlepšování na pracovišti (Akers, 2014). Nakamuro (Kumar, 2020) definuje „Kaizen“ jako "seberozvoj", kdy jednotlivci mění své vlastní jednání, aby si vytvořili nové myšlení. Toyota učí své zaměstnance, že mají dva úkoly: (1) Dělat svou práci (dodržovat standardizovanou práci) a (2) Zlepšovat svou práci („Kaizen“).

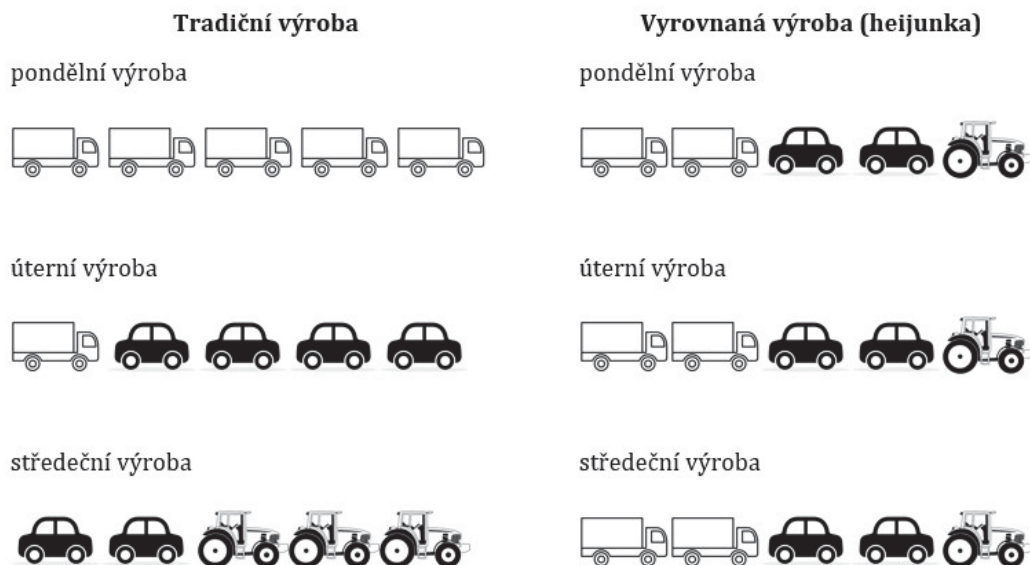
Kaizen se v první řadě věnuje inovacím (Imai, 2011). Iwao (2017) popisuje Kaizen z pohledu inovací jako shromažďování podobně malých, vzájemně nezávislých, inkrementálních inovačních procesů prováděných pracovníky, pracovními týmy a jejich vedoucími. V kontrastu s filozofií Kaizen Hammer & Champy (2000) zavedli zásadní přehodnocení a radikální změnu podnikových procesů označovanou jako „reengineering“. Podle Gunasekarana & Kobu (2002) se reengineering podnikových procesů (BPR) týká dramatického a trvalého zlepšení kvality, nákladů, služeb, doby realizace, flexibility a inovací.

Heijunka (nivelizace)

Heijunka je jiný termín pro vyrovnávání výroby, které zahrnuje snížení nerovnoměrnosti výroby a řízení úrovně zásob a flexibilitu výroby. Jde o řídicí systém, který se používá k vyrovnávání výroby podle míry poptávky koncového zákazníka změnou pracovního zatížení výrobních procesů (Socconini, 2021). Vyrovnávání výroby je účinná metoda pro snížení nerovnoměrnosti výrobního procesu a udržení lepší kontroly nad úrovní zásob (Rewers, 2019). Podstata metody Heijunka spočívá ve schopnosti vytvořit efektivnější a flexibilnější výrobní systém, který dokáže efektivněji reagovat na požadavky zákazníků a zároveň minimalizovat plýtvání a maximalizovat využití zdrojů (P. Gupta & Kumar, 2021).

Heijunka je označení pro rovnoměrný plán (stejnou úroveň výroby), který napomáhá vyrovnávat kolísání požadavků na výrobu (obrázek 15). Díky tomu může výroba efektivně plnit požadavky zákazníků a zároveň se vyhnout dávkování, což vede k minimálním zásobám, investičním nákladům, pracovní síle a průběžné době výroby v celém hodnotovém toku (Lean Enterprise Institute, 2008). Na základě měsíčního plánu jsou požadavky na výrobu nivelizovány tak, aby byl každý den vyráběn stěžejní typ (tzv. High Runner) v požadovaném (neustále stejném) množství a zbývající čas směny je využit pro výrobu dalších vyráběných typů. Méně časté typy výrobků (tzv. exoty), které mají malý a nepravidelný odběr od zákazníků, jsou vyráběny na základě interně optimalizovaných zakázek (Pech & Vaněček, 2023).

Obrázek 15 Tradiční a rovnoměrný výrobní program



Zdroj: Šrom (2015)

Just in Time (JIT)

Metoda Just In Time (JIT), která je základem štíhlé výroby, je definována jako výrobní strategie, která usiluje o zlepšení návratnosti investic podnikem snížením zásob v procesu výroby a souvisejících nákladů. Jde o výrobní přístup zaměřený na minimalizaci plýtvání dodáváním dílů nebo materiálů právě tehdy, když jsou ve výrobním procesu potřeba, což snižuje náklady na zásoby (Demir & Paksoy, 2023). Uplatňování této metody předpokládá podle Heizer & Render (2004) odstranění všech ztrát v podniku (ztráty způsobené špatným stavem strojů, špatnou údržbou, zbytečným skladováním, nahrazením nekvalifikovaných pracovníků kvalifikovanými apod.). JIT vyžaduje celopodnikovou angažovanost, která zahrnuje vše od nákupu až po výrobu, a do značné míry se opírá o silné vztahy s dodavateli, řízení kvality a oddanou pracovní sílu (Srinidhi & Tayi, 2004).

Kanban

Kanban je informační systém, který harmonicky řídí produkci výrobků v potřebném množství a v potřebném čase v každém procesu závodu i mezi podniky (Monden, 2012). Kanban funguje na principu vizualizace práce, kdy jsou úkoly znázorněny na kanbanových kartách a jejich postup je sledován v jednotlivých fázích na tabuli. Tyto signály pomáhají řídit tok práce a usnadňují týmům stanovit priority úkolů a pochopit, co je třeba udělat dále (Bentaha et al., 2015). Cílem je omezit rozpracovanou výrobu (WIP) a upozornit na úzká místa ve výrobním procesu, čímž umožňuje efektivnější řízení pracovních postupů (Papalexi et al., 2016). Pokud jsou všechny kapacity plně využity, nebudou pak vyráběny další zakázky, protože to není provozně možné.

Supermarket

Supermarket je sklad zásob, kde pracovník „nakupuje“ potřebné díly. Supermarkety by měly být seskupeny tak, aby je pracovník s materiálem mohl navštívit na svých pravidelných trasách (Bicheno & Holweg, 2009). Tato metoda čerpá inspiraci ze způsobu, jakým supermarkety skladují zboží na základě poptávky zákazníků, čímž zajišťují plynulé zásobování bez nadměrných nebo nedostatečných zásob. V kontextu štíhlých výrobních systémů zahrnuje metoda supermarketů zřízení „supermarketové“ oblasti v rámci výrobního prostředí, kde jsou díly skladovány a doplňovány podle tahu navazujících procesů, nikoli podle tlaku navazujících výrobních plánů. Tím je zajištěno, že výroba je v těsném souladu se skutečnou poptávkou, což snižuje úroveň zásob a dodací lhůty a zlepšuje celkovou reaktivitu systému (J.-C. Lu et al., 2011). Nejčastěji má podobu skříně s mnoha přihrádkami pro jednotlivé díly, je bez čelní a zadní stěny. Z čelní strany je doplňován, ze zadní strany je materiál odebírán. V supermarketu je přesně definovaná zásoba každého používaného dílu s vyznačeným maximem, či minimem stavu zásob, čímž je dosaženo většího přehledu o zásobách ve výrobě (Pech & Vaněček, 2023).

Milkrun

Milkrun je označení pro cyklický systém dodávek materiálu určený ke zvýšení efektivity přepravy a operací dodavatelského řetězce. Tento systém se vyznačuje tím, že funguje ve smyčce, kdy se materiál dodává z centrálního bodu do různých míst určení, jako jsou montážní stanice ve výrobním závodě, a poté se vrací do výchozího bodu, kde se proces opakuje (Altin & Sipahioglu, 2021). Metoda Milkrun přispívá k filozofii Just in Time tím, že usnadňuje včasné a efektivní dodávky komponentů, čímž předchází nedostatku na montážních linkách a minimalizuje riziko zpoždění výroby (Gyulai & Monostori, 2022). Jedná se o nástroj, který zajistí zásobování několika míst v přesných dávkách a krátkých intervalech. To umožňuje snížit zásoby v meziskladech (Supermarketech) vyšší frekvencí dodávek (Pech & Vaněček, 2023). V podnicích bývají trasy Milkrun vlaků různě barevně odlišeny. Každý vlak má přesně stanovený „jízdni řád“ a zastávky, na kterých vykládá materiál, nabírá prázdné obaly a Kanban karty (Sýkora, 2011).

SMED

Rychlé přeseřízení (SMED – Single Minute Exchange of Dies) znamená upravit linku tak, aby mohla vyrábět jiný, podobný výrobek. Cílem je zkracovat proces přechodu výrobního zařízení z jedné výrobní dávky na druhou (Vaněček et al., 2013). SMED je nástroj určený ke zkrácení času potřebného k přechodu z jednoho výrobku na druhý ve výrobním procesu, jehož cílem je zkrátit dobu seřizování a výměny obvykle pod 10 minut. Tento přístup má zásadní význam pro zvýšení flexibility výrobního systému a konkurenceschopnosti na trzích. V podstatě minimalizuje činnosti, které nepřinášejí přidanou hodnotu, a tím zvyšuje provozní efektivitu (Braglia et al.,

2023). Podstata SMED spočívá ve strukturovaném přístupu k identifikaci a oddělení interních činností (prováděných při zastavení výrobního procesu) a externích činností (prováděných za chodu stroje) s cílem převést interní činnosti na externí, kdekoli je to možné (Sýkora, 2011).

Metoda 5S

Jedná se o metodu zamezující ztráty pomocí lepší organizace pracovišť a tím získání většího přehledu o průběhu procesů. Cílem je uspořádání a udržení organizovaného, bezpečného a vysoce výkonného pracoviště. Výhodou čistšího pracovního prostředí je vyšší produktivita, lepší využití prostoru a množství použitých nástrojů, méně odpadu, oprav a nehod. (Vaněček et al., 2013). Tato metoda podle Chandrayana et al. (2019) zvyšuje efektivitu, produktivitu a kvalitu tím, že pracoviště je uspořádané, příjemné a organizované. 5S je technika úklidu používaná různými organizacemi odvozená z pěti japonských slov (Lean Enterprise Institute, 2008): Seiri (tříditi a oddělit potřebné a nepotřebné položky, nástroje, díly, materiály atd.), Seiton (uspořádat úhledně co zbylo a určit tomu správné místo), Seiso (vyčistit a umýt uspořádané položky a provést kontrolu), Seiketsu (standardizovat zavedený stav a stanovit jasná pravidla pro udržování stavu) a Shitsuke (udržovat disciplínu a stabilizovat stav).

Jidoka

Jidoka je označení pro soubor metod, které pomáhají operátorům vyhnout se chybám při práci způsobeným výběrem nesprávného dílu, vynecháním dílu, opačnou instalací dílu atd. Označují se také „mistake-proofing“ (ochrana proti chybám), či „baka-yoke“ (ochrana proti hlouposti). Jidoka je japonský výraz pro automatizaci (Powell, 2024). Jedná se o vybavení strojů systémy, které částečně simulují „lidskou inteligenci“. Duchovním tvůrcem této metody je Sakichi Toyoda. Tato opatření umožňují automaticky detekovat a předcházet chybám při výrobě (Pech & Vaněček, 2023). Cílem je poskytnout strojům a obsluze možnost zjistit, kdy došlo k abnormálnímu stavu, a okamžitě zastavit práci. K tomuto účelu jsou využívány senzory a vypínače, které automaticky řídí výrobní proces. Princip Jidoka brání defektům v přechodu do další fáze výroby a omezuje plýtvání výrobou řady vadných předmětů (Lean Enterprise Institute, 2008).

Systém Poka-yoke

Poka-yoke (z jap. „chyba-předcházení“, také anglicky „mistake-proofing, error proofing či fool-proofing“) je japonský výraz pro nástroj, který pomáhá vyvarovat se chyb, zajišťuje kvalitu a bezpečnost při výrobních procesech, popřípadě je i zvyšuje (Pech & Vaněček, 2023). V praxi jde o použití procesních nebo konstrukčních prvků k předcházení chybám nebo jejich negativním dopadům. Poka-yoke je technika zajištění kvality vyvinutá japonským výrobním inženýrem Shigeo Shingem (Jedhav et al., 2014). Poka-yoke je jakákoli tvorba nápadu nebo vývoj mechanismu ve výrobním procesu, který pomáhá operátorovi vyhnout se chybám (Yokeru). Poka-

yoke je koncept v celkovém řízení kvality, který souvisí s omezením chyb u samotného zdroje (Kumar, 2015). Design produktů je tvarem způsoben tak, aby znemožňoval instalaci dílů jiným než správným způsobem. Tento nástroj je možné přirovnat k zámku, do kterého lze vsunout jen jeden určitý klíč (Vaněček et al., 2013). Poka-yoke usnadňuje detekci a prevenci abnormálních stavů ve výrobním procesu, aby se zabránilo vzniku vadných výrobků. Řešení Poka-yoke musí být logické a nákladově efektivní (Wilson, 2010).

Chaku-Chaku

Metoda Chaku-Chaku je definována jako manuální výrobní systém, který klade důraz na efektivitu nakládky a vykládky v rámci automatizovaných montážních stanic a na přepravu nedokončených výrobků mezi těmito stanicemi. Samotný termín „Chaku-Chaku“ se v angličtině překládá jako „vložit-vložit“ což výstižně popisuje základní činnosti pracovníků zapojených do těchto systémů. Tato metoda umožňuje škálovat výrobní výkon prostřednictvím variabilního přidělování lidských zdrojů při zachování (téměř) konstantní úrovně produktivity na zaměstnance (Husár et al., 2023). V praxi se využívá uspořádání výrobní linky do tvaru písmene U, které umožňuje flexibilní přechod pracovníků mezi jednotlivými pracovišti. Pracovník pouze vkládá nové díly do obsluhovaných strojů a obchází jednotlivá pracoviště ve směru materiálového toku (Vaněček et al., 2013). Chaku-Chaku znamená vedení toku jednoho kusu v buňce, kde stroje automaticky vykládají díly, takže obsluha může přenést díl přímo z jednoho stroje na druhý, aniž by se zastavila kvůli vykládání dílu, čímž se šetří čas a pohyb (Lean Enterprise Institute, 2008). Stroje v sekvenci automaticky vysunou díl, jakmile je dokončena operace.

Metoda VSM

Metoda mapování hodnotového toku (Value Stream Mapping, VSM) je strategický nástroj používaný k vizualizaci a pochopení toku materiálů a informací při průchodu výrobku procesem tvorby hodnoty. Je určena k identifikaci plýtvání a neefektivity v procesu, což umožňuje organizacím vytvořit novou mapu, která eliminuje toto plýtvání a optimalizuje výrobní linku (Kumar et al., 2023). Hodnotová mapa je grafické znázornění výrobních prvků a informací, které je základem pro analýzu hodnoty, a je zdrojem poznání skutečných omezení podniku, protože nám umožňuje vizualizovat, kde je hodnota a kde je plýtvání (Socconini, 2021). Jedná se o jednoduché schéma všech kroků v materiálových a informačních tocích, které jsou nutné k tomu, aby byl výrobek dodán od objednávky až po dodání k zákazníkovi. Mapy hodnotových toků lze nakreslit pro různé časové okamžiky za účelem povědomí o příležitostech ke zlepšení (Lean Enterprise Institute, 2008). VSM umožnil plně pochopit tok a hlavně odhalit činnosti, které nepřidávají procesu hodnotu; navíc byl jedním z pilířů pro stanovení plánů zlepšování s velmi přesným cílem a zaměřením (Socconini, 2021).

Hanedashi

Hanedashi (z jap. „třetí ruka“) je označení pro úpravu výrobního zařízení, kdy montážní přípravek nebo stroj je vybaven automatickým vyhazovačem hotového dílu ze zakládací části přípravku. Uvedené řešení usnadňuje obsluhu zakládání nového dílu do přípravku především na těch linkách, kde pracovník přechází mezi více stanovišti. Toto opatření má pozitivní vliv na produktivitu výroby, protože „neproduktivní“ úkony (vyjímání dokončeného dílu před možností založit díl nový) vykonává stroj místo člověka (Pech & Vaněček, 2023). Hanedashi je plynulé automatické vykládání a orientace nedokončeného výrobku z jedné operace nebo procesu, čímž se zajistí správný stav pro další vkládaný díl (Liker, 2004).

TPM

TPM jsou iniciály pro Total Productive údržbu. Skládá se z činností, jejichž cílem je předcházet poruchám, minimalizovat seřizování zařízení, které způsobuje výpadek výroby, a zajistit, aby strojní zařízení bylo bezpečnější, snadněji ovladatelné a provozované nákladově efektivním způsobem (Wilson, 2010). TPM je metodika zlepšování, která umožňuje nepřetržitý provoz strojů a zařízení zavedením pojmů: prevence, nulové závady způsobené stroji, nulové nehody, nulové poruchy, plná účast lidí (Socconini, 2021). Hlavním cílem TPM je eliminovat všechny ztráty související s výrobou a zvýšit tak efektivitu výroby. Pilíře TPM jsou: autonomní údržba, zlepšování procesů a nástrojů, plánovaná údržba, včasné zavedení nových zařízení, řízení kvality procesů, kancelářské TPM, vzdělávání a školení, řízení BOZP a ochrany životního prostředí (Wilson, 2010). TPM vyžaduje účast pracovníka, s důrazem na rozhodování založené na pozorovaných a zaznamenaných údajích, žádné poruchy. Stroje také pečlivě čistí a udržují pořádek i v jejich bezprostředním okolí (Vaněček et al., 2013). Cílem TPM je snížení počtu poruch výrobních zařízení, respektive zvýšení jejich spolehlivosti. Zároveň je v rámci pravidelných a preventivně prováděných údržeb možné ušetřit celkové náklady na údržbu (Pech & Vaněček, 2023).

Andon

Andon je japonský výraz pro „lampu“. Jedná se o stropní tabule (obrazovky) s řadami čísel odpovídající pracovním stanicím nebo strojům. Systém Andon, je označení pro vizuální a zvukový komunikační systém, který signalizuje stav operací a upozorňuje na případné abnormality, čímž usnadňuje okamžité řešení problémů a úsilí o neustálé zlepšování (X. Ma et al., 2017). Andon může indikovat stav výroby, abnormalitu a potřebné akce. Andon lze také použít k zobrazení stavu výroby z hlediska počtu plánovaných jednotek v porovnání se skutečnou produkcí. Barevné osvětlení na horní části strojů, které signalizuje problémy (červená) nebo normální provoz (zelená), je dalším typem Andonu (Lean Enterprise Institute, 2008).

Záchranná brzda

Záchranná brzda (line-position stop) slouží k zastavení linky a zajištění výrobního procesu, kdykoli se vyskytne problém nebo závada. U automatizovaných linek to obvykle zahrnuje instalaci senzorů a spínačů, které automaticky zastaví linku při výskytu abnormality. U manuální linky se často instaluje systém zastavení s pevnou polohou (fixed-position stop). Ten umožňuje obsluze zatáhnout za závěsnou šňůru nebo stisknout tlačítko, které zastaví proces na konci pracovního cyklu, pokud se vyskytnutý problém nepodaří odstranit během cyklu (Lean Enterprise Institute, 2008). V tomto případě se jedná o nástroj umožňující zavolat pomoc v případě problémů. Stačí, když pracovník zatáhne za signalizační lanko nad stanovištěm, kde k tomuto problému došlo. Takto se automaticky zastaví celá linka, přivolá pomoc a problém je signalizován na obrazovce (Andon). Záchranná brzda zvyšuje spolehlivost zařízení, strojů a minimalizuje výskyt odchylek a problémů ve výrobě (Pech & Vaněček, 2023). Jednoduché poruchy může odstranit přímo seřizovač, avšak vážnější problémy pak řeší tým specialistů, které svolává koordinátor výroby. Tento tým společně definuje dlouhodobé opatření, které má status projektu a je zaznamenáno na tabuli záchranné brzdy, kde jsou všechny takové problémy sledovány (Lean Enterprise Institute, 2008).

Gemba Walk

Gemba Walk je definován jako terénní průzkum, procházení výrobní haly vedoucími pracovníky a manažery za účelem pozorování skutečného pracovního procesu, spolupráce se zaměstnanci a identifikace plýtvání a příležitostí k neustálému zlepšování. Vychází ze zásady, že pro skutečné pochopení a zlepšení podnikových procesů je třeba jít přímo na místo (Gemba), kde se práce odehrává (Stolarska-Szeląg, 2022). Počáteční písmena Gemba znamenají (Pech & Vaněček, 2023): Genchi Genbutsu (procházka po pracovišti, aby tým viděl problémy), Engage (angažovanost, je nutné se ptát pětkrát proč a pochopit příčiny), Muda, Mura, Muri (hledají se různé druhy plýtvání), Úcta a respekt, Analýza (vyhodnocení, co tým zjistil, včetně lidí). Ohnův kruh, pojmenovaný po Taiichi Ohnovi, doplňuje Gemba Walk tím, že se zaměřuje na intenzivní pozorování určité oblasti nebo procesu. Na této cestě je nutné si s sebou vzít poznámkový blok, dělat si poznámky a sledovat, jak se proces postupně rozvíjí. Ohno nakreslil na podlaze továrny kruh, v němž stál delší dobu a pečlivě pozoroval konkrétní proces nebo činnost, aby zjistil neefektivitu a plýtvání. Tato praxe podporuje porozumění a kritické myšlení o každém aspektu úkolu, aby se odhalily problémy, které by z dálky nemusely být patrné (Price et al., 2015). Tento přístup umožňuje hodnocení v reálném čase a budování vztahů se zaměstnanci, které jsou pro úspěšnou implementaci principů Lean klíčové (Kriegel, 2022).

Vizualizace

Vizualizace navazuje na stejný princip a nabízí prostřednictvím vizuálního managementu konkrétní praktické příklady vizualizace. Vizuální management zahrnuje strategické rozmístění vizuálních podnětů, jako jsou značky, grafy a barevně odlišené indikátory, za účelem efektivního předávání informací, zvýraznění abnormalit a zefektivnění procesů (Van Assen & De Mast, 2019). Vaněček et al. (2013) uvádí, že za základní nástroje vizualizace patří Andon, 5S, standardizace pracovních oděvů, či označování ploch (repas a vadné díly, hranice ploch, barevné značení). Bicheno & Holweg (2009) uvádějí celou řadu nástrojů: stroje a skladovací místa označeny barvami, značení dopravních cest, instrukční fotografie u strojů, grafy s výkony na pracovištích, zobrazování časů přeseřízení, Heijunka Box jako plánovací kalendář, Kanban tabule pro vizualizaci výrobních kroků, využívání světél k signalizaci, upozornění na údržbu či dodržování zásad, různá hudba v místnostech, anketa pracovník měsíce, informace o produktech, nákladech, kvalitě atd.

Výrobní takt

Výrobní takt je časový interval mezi odvedením dvou po sobě následujících součástí. Takt se určuje pro jednotlivá pracoviště, linky, dílny. Výrobní takt linky je dán nejdelším taktům pracoviště (Vaněček & Pech, 2019). Takt je doba cyklu výrobního procesu, která odpovídá poptávce zákazníka, normalizovaná podle výrobního plánu. Je to klíčový výpočet, který se používá při synchronizaci dodávek zákazníkovi. Takt se vypočítá vydělením dostupné pracovní doby poptávkou po výrobku. Systém je pak navržen tak, aby vyráběl výrobek touto rychlostí. Pokud budeme vyrábět s dobou cyklu vyšší, než je takt (tedy nedostatečně), nebudeme schopni zásobovat zákazníka poptávkou. Pokud však vyrábíme s dobou cyklu nižší než takt (nadvýroba), buď zvýšíme zásoby, nebo zastavíme linku, abychom zastavili nadvýrobu (Wilson, 2010).

Buňkové uspořádání

Buňková výroba je ve štíhlé výrobě definována jako výrobní přístup, který organizuje výrobní halu do malých, flexibilních jednotek (buněk) určených k výrobě určité skupiny výrobků nebo komponent. Tyto buňky jsou strukturovány tak, aby zvládaly různé úkoly tradičně prováděné postupně v různých odděleních, čímž se minimalizuje plýtvání a zvyšuje efektivita (Black, 2023). Buňka je kombinace lidí, zařízení a pracovních stanic uspořádaných v pořadí procesního toku za účelem výroby celé výrobní jednotky nebo její části. Nicméně z pojmu buňka vyplývá, že má průtok jednoho kusu nebo velmi malé série; často se používá pro skupinu výrobků; má zařízení, které je správně dimenzované a velmi specifické pro tuto buňku; je obvykle uspořádána do tvaru písmene C nebo U, takže vstupující suroviny a materiály jsou v ní odcházející hotové výrobky snadno sledovat; má flexibilně vyškolené lidi, což umožňuje jejich střídání (Wilson, 2010).

Tok jednoho kusu

Tok jednoho kusu (One Piece Flow) je definován jako postup, při kterém jeden kus prochází všemi fázemi výrobního procesu bez přerušení, čímž se minimalizují zásoby rozpracované výroby (WIP) a zvyšuje produktivita. Tato metoda je v ostrém kontrastu s tradiční sériovou výrobou, jejímž cílem je zefektivnit operace, zkrátit průběžné doby a eliminovat plýtvání tím, že výrobky jsou vyráběny a posouvány procesem postupně (H. Shah et al., 2022). Tok jednoho kusu je ideální případ tokově orientované výroby, kdy velikost výrobní dávky představuje jeden kus probíhající mezi jednotlivými operacemi výrobního cyklu bez meziskladů. Z hlediska zákazníka tok jednoho kusu optimální. Výhodou je rychlá detekce vadného dílu ve výrobním procesu, čímž se zamezí rozsáhlejšímu výskytu chyb (Pech & Vaněček, 2023).

Statistické řízení procesů

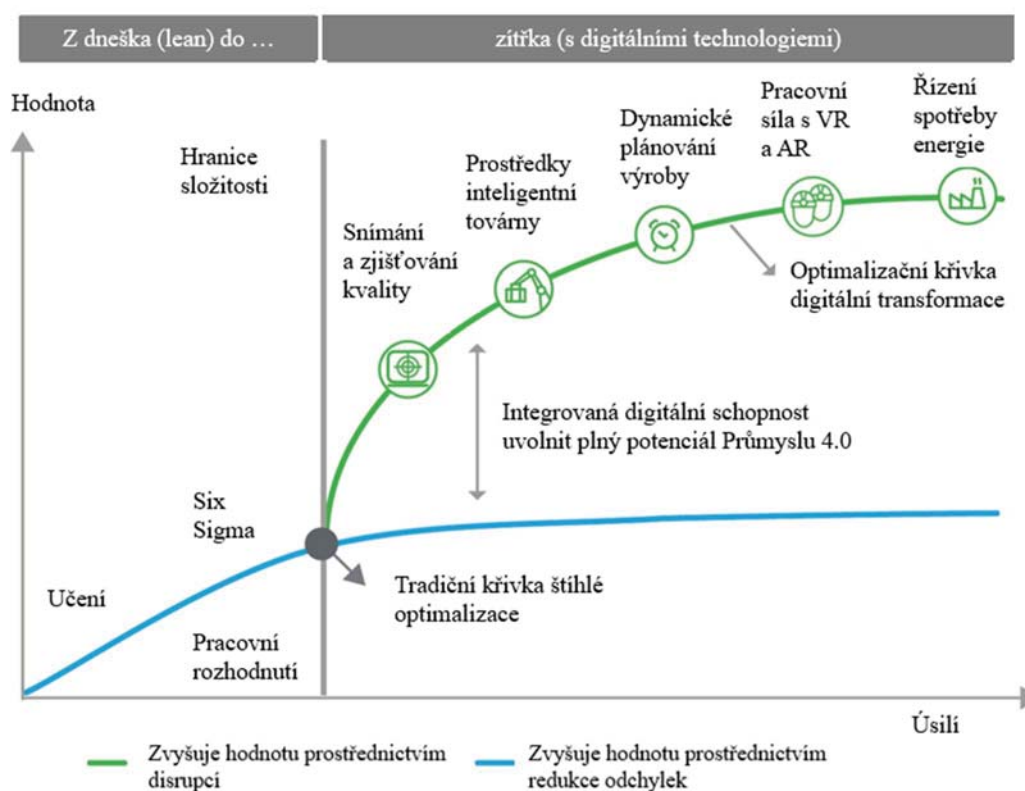
Statistické řízení procesů ve štíhlé výrobě je přístup, který integruje různé statistické nástroje a metodiky pro sledování, řízení a zlepšování kvality a efektivity výrobních procesů. Základem je statistické řízení procesů (SPC), které využívá statistické metody ke sledování a řízení výrobních procesů s cílem zajistit, aby fungovaly s maximální možnou efektivitou a produkovaly výrobky nejvyšší kvality s minimálním plýtváním (Pascu et al., 2020). Součástí je statistická regulace procesu, jejíž cílem je zjistit, zda je proces pod kontrolou. To znamená, že příčinou odchylek jsou přirozené, náhodné příčiny a výkon je předvídatelný (Vaněček et al., 2013). Prostředkem statistické regulace jsou regulační diagramy. Tyto diagramy se vztahují k vizuálním nástrojům, které usnadňují sledování, analýzu a zlepšování výrobních procesů pomocí statistického znázornění dat s cílem identifikovat zákonitosti, odchylky a příležitosti k eliminaci plýtvání. V nich se na vodorovnou osu nanášejí pořadová čísla a čas kontrolních výběrů, na svislou osu hodnoty statistických výběrových ukazatelů sledované jakostní vlastnosti, vypočtené z každého kontrolního výběru. Jestliže statistický ukazatel překročí předem stanovené meze, znamená to, že je porušena dosud dosahovaná jakost a že je nutné zpřísnit kontrolu nebo zasáhnout do výrobního procesu (Pech & Vaněček, 2023).

3.3 Koncept Lean 4.0

Koncepce štíhlé výroby prošla několika fázemi vývoje, vycházela z poučení se z minulých neúspěchů a přizpůsobení se novým požadavkům trhu a digitalizaci pod hlavičkou Průmyslu 4.0. Štíhlá výroba ve své nejčistší podobě pochází z výrobního systému TPS a jejíž počátky sahají až do 50. let minulého století, je zcela nezávislá na jakýchkoli informačních a komunikačních technologiích. S nástupem stále pokročilejších ICT řešení se však zvýšilo výzkumné úsilí zaměřené na to, jak mohou štíhlá výroba a ICT spolupracovat, aby bylo dosaženo lepších výsledků (Buer et al., 2018).

Integrace dvou konceptů označuje proces kombinování myšlenek, metod nebo teorií z různých oblastí za účelem vytvoření jednotného, komplexnějšího porozumění nebo řešení složitých problémů. To je v našem případě Lean 4.0, integrující koncepty (principy, metody atd.) štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Termín Lean 4.0 (L4.0) byl poprvé použitý v roce 2017. Kombinuje štihlost s Průmyslem 4.0 tak, že porovnává kompatibilitu technologií I4.0 s metodami štihlé výroby (Gil-Vilda et al., 2021).

Obrázek 16 Koncept Lean 4.0



Zdroj: Deloitte Insights, Laaper & Klefer (2020)

Prinz et al. (2018) se domnívají, že podniky, které se soustředí na odstraňování plýtvání a neustálé zlepšování výrobních procesů prostřednictvím tradičních nástrojů štihlé výroby, mohou zpočátku dosáhnout velkého pokroku. Nárůst produktivity se však v průběhu času zvyšuje stále pomaleji. S digitálními technologiemi nicméně mohou podniky stavět na štihlých základech a vyřešit dříve neřešitelné problémy, které uvolňují nové hranice produktivity (viz obrázek 16).

Na první pohled to vypadá, že metodiky štihlé výroby jsou v rozporu s čtvrtou průmyslovou revolucí, protože nová éra oceňuje automatizaci a digitalizaci, zatímco metodika štihlé výroby má lidskou podstatu (Bittencourt, Saldanha, et al., 2019). Lean 4.0 má nicméně historické kořeny v socio-technické teorii (STT). Lidé a technologie společně hrají významnou roli při

maximalizaci výkonu. Jak lidé, tak technologie mohou být izolovaně využity ke zvýšení maximální výkonnosti (Kessler, 2013). Socio-technická teorie je metoda pro řešení interakcí mezi lidmi a technologiemi na pracovišti. STT podporuje myšlenku, že lepší výkonnost je výsledkem kombinované optimalizace technických a sociálních systémů organizace (Hong et al., 2014). Podle STT je výsledkem synchronního sladění sociálních a technických systémů úspěšný systém potřebný pro řízení výrobního dodavatelského řetězce (Marcon et al., 2022). Ostatně, Japonská vláda představila koncept Společnost 5.0 již v roce 2015. Jejím cílem je zaměření na budoucí super inteligentní společnost (Gallo et al., 2021). Tento proces klade důraz na lidskost, odolnost a udržitelnost, přičemž mezi hlavní hodnoty patří masové přizpůsobení a hyperpersonalizace. Kombinuje podobně jako teorie STT přístup k člověku s technologiemi.

Mnoho metod štihlé výroby bylo zdokonaleno díky moderním technologiím v období čtvrté průmyslové revoluce, která se vyznačuje především digitalizací, robotizací a umělou inteligencí. Zlepšení se netýkají pouze běžné výroby, ale celého hodnotového řetězce, od vývoje nových výrobků přes výrobu až po recyklaci na konci jejich životnosti (Pech & Vaněček, 2019). Cílem Průmyslu 4.0 je zlepšit propojení výrobků a systémů. Umožňuje přechod od centralizované výroby k flexibilní výrobě. Průmysl 4.0 je podporován kyberneticko-fyzikálními systémy, které zahrnují dva zásadní prvky (integrováný software a připojení k síti různých systémů). Automatizace rozšiřuje přístupy a koncepce štihlé výroby. Technologie Průmyslu 4.0 umožňují novou úroveň automatizace, která zvyšuje efektivitu štihlých firem.

Největší potenciál integrace Lean a Průmyslu 4.0 stojí na zdokonalování nástrojů Lean prostřednictvím prvků Průmyslu 4.0, jako jsou kyberfyzikální systémy, cloudová úložiště, automatizace, digitalizace, IoT, 3D tisk atd. (Hurta & Noskievicova, 2021). Připravenost na implementaci štihlé výroby v České republice umožňuje integrace nástrojů ICT, se zvláštním důrazem na expertní systémy, software pro projektové řízení a inteligentní systémy, které jsou klíčové pro zefektivnění implementace a řízení principů štihlé společnosti (Dolák & Wolf, 2012).

Lean 4.0 lze tedy chápat jako metodiku, která kombinuje principy a metody štihlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0 s tím, že se vzájemně doplňují a posilují. Lean 4.0 také využívá analytické metody Průmyslu 4.0. Díky pokročilým algoritmům mohou podniky zkoumat data a odhalovat neefektivitu v procesech, takže dochází k minimálnímu plýtvání ve výrobě tím, že se zamezí postupům nepřidávajícím hodnotu (Queiroz et al., 2024). Při výzkumu kompatibility štihlé výroby s konceptem Průmyslu 4.0 bylo zjištěno, že se z hlediska nástrojů štihlosti vzájemně doplňují (Mayr et al., 2018). Integraci digitálních technologií do postupů štihlé výroby si Lean 4.0 klade za cíl dále zvýšit efektivitu, produktivitu a flexibilitu výrobních procesů. Využívá data

v reálném čase, konektivitu a automatizaci s cílem umožnit lepší rozhodování, zkrátit dobu realizace a zvýšit celkovou provozní výkonnost (Danut-Sorin et al., 2020).

3.3.1 Perspektivy integrace Lean 4.0

Bittencourt et al. (2019) uvádí tři hlavní perspektivy integrace štihlé výroby a Průmyslu 4.0:

1. *V první perspektivě jsou štihlá výroba a Průmysl 4.0 ve vzájemném konfliktu a aktivně bojují o dominanci.* Jinými slovy, buď si podnik vybere štihlou výrobu, nebo Průmysl 4.0. Zásady štihlé výroby jsou obecně považovány za předpoklad, ale zároveň i za potenciální konflikt s technologiemi Průmyslu 4.0, který nabízí příležitosti a výzvy pro implementaci štihlého řízení (Müller & Birkel, 2020). Enkel et al. (2017) dokonce tvrdí, že Průmysl 4.0 a štihlá výroba mohou mít negativní vztah. Ma et al. (2017) i Kolberg et al. (2017) poukazují, že metody štihlé výroby narážejí v kontextu Průmyslu 4.0 na své limity v komplexním výrobním prostředí a jsou překážkou kreativních inovací. Tento problém je patrný zejména u masové kustomizace, neboť štihlé systémy nejsou podle Yin et al. (2018) dostatečně flexibilní a mají pomalou reakci na zákazníka. Proto vidí budoucnost masové kustomizace v inteligentních továrnách a Průmyslu 4.0, nikoliv štihlé výrobě. Výzkum v této oblasti se dále zaměřuje zejména na bariéry zavádění Lean 4.0. Alsadi et al. (2023) uvádí hlavní problémy při implementaci Lean 4.0: chybějící model fungování Lean 4.0 (Kolberg & Zühlke, 2015), lidský faktor (Gallo et al., 2021), náklady a technologická připravenost (Yilmaz et al., 2022) a další. Podobné bariéry jsou zkoumány při integraci Průmyslu 4.0 a Lean Six Sigma (Macias-Aguayo et al., 2022): kulturní vhodnost (lidský faktor, leadership, odpor ke změnám, komunikace), finance (náklady, neznalost výhod), procesní a operační faktory (standardizace, bezpečnost, úroveň zkušeností) a technologická proveditelnost (kompatibilita, infrastruktura).
2. *Podle druhé perspektivy Průmysl 4.0 podporuje štihlou výrobu.* V tomto pojetí hrají technologie rozhodující roli v implementaci štihlé výroby. Existující výzkumy naznačují, že Průmysl 4.0 pozitivně podporuje štihlou výrobu. Kamble et al. (2020) zdůrazňuje, že integrace technologií Průmyslu 4.0 významně zlepšuje postupy štihlé výroby, což následně zvyšuje udržitelnou výkonnost organizace v indických výrobních podnicích. Mayr et al. (2018) zkoumali přínos řešení Průmyslu 4.0 k usnadnění implementace totálně produktivní údržby (TPM) v úseku lisování kovů v průmyslu elektrických součástí. Integrace významného nástroje Lean (Kanban) s technologií Průmyslu 4.0 (Cloud Computing) může přinést praktický užitek (Shahin et al., 2020). Aplikace Průmyslu 4.0 mohou podporovat principy štihlou výroby. Na podporu tohoto výzkumu vytvořili Wagner et al. (2017) matici dopadů, která kombinuje přístupy

Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Využití kyberneticko-fyzikálních systémů pro metodu Just in Time je příkladem zlepšení štihlých procesů technologiemi Průmyslu 4.0 (Wagner et al., 2017). Průmysl 4.0 lze integrovat do štihlé výroby, a kromě toho zlepšit štihlou výrobu zvýšenou integrací informačních a komunikačních technologií. Příkladem tohoto spojení je digitalizace kanban systému prostřednictvím e-Kanbanů, které rozpoznávají automaticky pomocí senzorů chybějící či prázdné zásobníky (Kolberg & Zühlke, 2015). Výzkum prokazuje, že je důležité, aby výrobci využívali technologie Průmyslu 4.0 nikoli jako náhradu štihlé výroby, ale jako doplňkový přístup, který může vést k výraznému zvýšení výkonnosti. Buer et al. (2021) zjistili silnou korelaci mezi podniky využívající digitálních technologií a implementovanými postupy štihlé výroby, což naznačuje kompatibilitu mezi těmito dvěma oblastmi. Technologie Průmyslu 4.0 podporují štihlost. Například použití inteligentních senzorů zlepšuje TPM a snížení objemu rozpracované výroby (WIP) lze dosáhnout použitím RFID (Chiarini et al., 2020). Vztah mezi Průmyslem 4.0 a štihlou výrobou je silnější u organizací, které si filozofii štihlé výroby osvojují dlouhodobě než u těch, které si štihlou výrobu osvojily krátkodobě. Výzkum odhalil, že délka fungování štihlé výroby ovlivňuje to, jak metody Průmyslu 4.0 ovlivňují štihlou výrobu a má vliv výkonnost (Maware & Parsley, 2023).

3. *Třetí perspektiva zdůrazňuje vliv štihlého myšlení na implementaci Průmyslu 4.0.* V tomto pojetí má štihlost vliv na Průmysl 4.0 a je předpokladem pro další rozvoj technologií. Ciano et al. (2021) prostřednictvím různých případových studií zjistili, že štihlá výroba má významný pozitivní vliv na Průmysl 4.0. Štihlost je tedy brána jako základ pro implementaci Průmyslu 4.0 (Hambach et al., 2017). Kolberg & Zühlke (2015) zdůraznili roli štihlé výroby v procesu implementace Průmyslu 4.0 a k popisu této integrace použili pojem „Lean Automation“. Standardizace práce, organizace a transparentnost, byly vyzdvíženy jako hlavní principy podporující implementaci technologií Průmyslu 4.0. Prinz et al. (2018) zkoumali „učící továrnu“, jejímž hlavním cílem je připravit pracovníky na novou realitu průmyslu 4.0. Podle publikace je pro úspěšnou implementaci nových technologií nutné výrobní proces optimalizovat a organizovat podle principů a zásad štihlé výroby. Jelikož jsou postupy štihlosti zaměřeny na snižování plýtvání v průběhu procesu (Womack & Jones, 2003), efektivnější proces je předpoklad pro jakoukoli jeho budoucí digitalizaci (Buer et al., 2018). Cifone et al. (2021) zjistili, že výrobní podniky, které zavedly štihlou výrobu, dosáhly větší efektivity při zlepšování činností Průmyslu 4.0. Pokud zaměstnanci pochopí činnosti, v nichž Průmysl 4.0 přináší výhody, mohou pak v kontextu štihlosti neustále hledat a řešit problémy s využitím technologií Průmyslu 4.0 (Enke et al., 2018). Štihlá výroba

ovlivňuje některá důležitá rozhodnutí a identifikuje klíčové principy, jako je respekt k lidem, zaškolování lidí a potřebu porozumět zainteresovaným stranám a důvěřovat jim, což ovlivňuje řešení Průmyslu 4.0 (Uriarte et al., 2018). Gil-Vilda et al. (2021) ve své studii potvrdil, že Lean je předpokladem pro digitalizaci. Prinz et al. (2018) prokázali, že podniky profitují z technologické implementace Průmyslu 4.0 prostřednictvím zvýšení provozní výkonnosti s propracovaným štihlým systémem. Buer et al. (2018) ukazují, jak zjednodušený proces bez plýtvání dosažený díky transformaci Lean zjednodušuje další úsilí o automatizaci a digitalizaci výrobního procesu, čímž podporuje implementaci Průmyslu 4.0. Akmal et al. (2022) zjistili, že měkké postupy štihlé výroby zvyšují připravenost organizace na úspěšnou realizaci Průmyslu 4.0.

Roser (2018) kromě výše uvedených popisuje ještě další tři perspektivy:

4. *Čtvrtou perspektivu charakterizuje úplné oddělení Průmyslu 4.0 od štihlé výroby s tím, že spolu tyto koncepty nemají nic společného.* Podle této perspektivy jsou studovány oba koncepty odděleně a Lean 4.0 neexistuje. V starší literatuře nalezneme články orientující se pouze na štihlou výrobu, či pouze na Průmyslu 4.0. Tento přístup je tradiční a výzkum se většinou zabývá zkoumáním dané oblasti (Průmyslu 4.0 nebo štihlé výroby), jejími charakteristikami, zaváděním či jejich vlivem na výkonnost a jiné organizační proměnné. Nejvýznamnějšími autory o Průmyslu 4.0 jsou: Ghobakhloo (2020); Schumacher et al. (2016), Brynjolfsson & McAfee (2015), Lasi et al. (2014); pro štihlou výrobu: Womack & Jones (1994), Krafcik (1988), Ohno (1988), Liker (2004), Rother (2017) a další.
5. *Pátá perspektiva je charakteristická překryvem štihlosti a Průmyslu 4.0.* Znamená to, že obě koncepce sdílejí společné myšlenky a vize, ale existuje také mnoho odlišných částí. Z hlediska výzkumu se zaměřuje na sdílené oblasti. Davies et al. (2017) ve svém výzkumu prezentují Průmysl 4.0 a štihlou výrobu jako vzájemně se podporující. Metody štihlé výroby jsou vnímány jako facilitátory Průmysl 4.0 a Průmysl 4.0 je analyzován jako faktor posilující Lean.
6. *Šestá perspektivu charakterizuje úplná integrace do jednoho přístupu.* Mezi štihlostí a Průmyslem 4.0 není žádný rozdíl, jde o totéž. Není tedy nutné studovat obě koncepce odděleně, naopak hledají se společné oblasti, které jsou pak prezentovány jako nástroje. Proto může být rozumná a přínosná integrace Průmyslu 4.0 do globálního rámce teorie štihlé výroby (Cattaneo et al., 2017). Tento nový přístup nenahrazuje Lean a oba koncepty mohou a měly by být integrovány (Nunes et al., 2017). Mezi štihlou výrobou a Průmyslem 4.0 existuje synergický efekt a reálné případy ukazují osvědčené postupy integrace obou paradigmat v různých průmyslových odvětvích (Sanders et al., 2016).

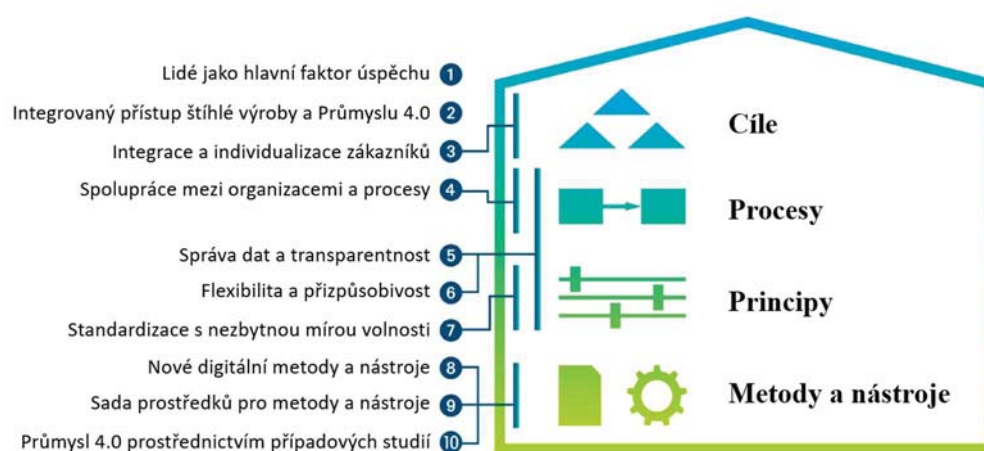
Valamede & Akkari (2020) navrhuji holistickou integraci nástrojů štíhlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 a identifikovali hlavní synergické body: autonomie, minimalizace plýtvání, integrace procesů, zařízení a zúčastněných stran.

Většina modelů se zabývá vlivem štíhlé výroby na Průmysl 4.0 či naopak. Funguje-li oboustranná závislost obou konceptů, může dojít až k jejich úplnému splynutí. V opačném případě jsou nesourodé oblasti označeny za části s odlišnostmi.

3.3.2 Zavádění Lean 4.0

Přechod od štíhlé výroby k výrobnímu systému Lean 4.0 vyžaduje aktualizaci fyzického výrobního systému, transformaci štíhlých nástrojů, vybudování kybernetického výrobního systému, definování a implementaci nástrojů Lean 4.0 a jejich propojení do nového integrovaného kyberneticko-fyzického systému (Danut-Sorin et al., 2020). Tento přechod je komplexní projekt, který vyžaduje pečlivé plánování a realizaci. Zavedení Lean 4.0 může organizacím přinést několik výhod. Může vést ke zlepšení kvality, snížení nákladů, zvýšení spokojenosti zákazníků a zvýšení konkurenceschopnosti (Sanders et al., 2016).

Obrázek 17 Postup zavádění Lean 4.0



Zdroj: Schumacher et al. (2021)

Obrázek 17 zachycuje postup pro návrh výrobních systémů Lean 4.0, jak je nastínil Schumacher et al. (2023). Schéma je strukturováno do čtyř hlavních oblastí: cíle, procesy, principy a metody a nástroje. Každá sekce je spojena s konkrétními prvky, které jsou klíčové pro implementaci a úspěch štíhlých výrobních systémů v kontextu Průmyslu 4.0.

Zavádění Lean 4.0 přináší výzvy. Organizace musí investovat do potřebné infrastruktury, technologií a dovedností, aby podpořily integraci digitálních technologií do štíhlých postupů. Musí také řešit otázky kybernetické bezpečnosti a zajistit soukromí a ochranu dat (Sanders et al.,

2016). Pro úspěšnost Lean 4.0 hrají kritické faktory úspěchu (CSF) moderující roli a poskytují dobrou podporu při vytváření vztahů mezi faktory implementace a výsledky. CSF související s Lean 4.0 zahrnují: povědomí o Lean 4.0, připravenost zaměstnanců na změnu, stanovení priorit štihlých nástrojů a postupů a tlak konkurence (Qureshi, Mewada, Buniya, et al., 2023).

Rathi et al. (2024) uvádí, že nejvýznamnější vliv na implementaci konceptu Lean 4.0 hrají následující faktory (CSF):

- Sladění iniciativ Průmyslu 4.0 a štihlé výroby se strategií a vizí organizace.
- Závazek a vedení vrcholového managementu.
- Informovanost, školení a zapojení zaměstnanců.
- Přidělení zdrojů a infrastruktury.
- Jasně cíle, úkoly a odpovědnosti.
- Vhodné dovednosti pracovníků a odborné znalosti manažerů.
- Podpora znalostí, motivace, komunikace a řízení změn.
- Vhodný výběr a stanovení priorit projektů a technologií.
- Řízení kybernetické bezpečnosti.
- Objektivní připravenost zavádění štihlé výroby a Průmyslu 4.0.

Valamede & Akkari (2020) uvádějí některé metody štihlé výroby, které jsou vhodné pro Lean 4.0 a jejichž vztah byl zkoumán společně s technologiemi. Jsou to např: Just in Time 4.0, Kanban 4.0, Poka-yoke 4.0, VSM 4.0, Kaizen 4.0 a Total Productive Maintenance 4.0.

3.3.3 Lean 4.0 a výkonnost

Integrace principů štihlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0, často označovaná jako Lean 4.0, má podle některých studií významný dopad na výkonnost organizace v různých dimenzích. Výzkum prokázal, že zavádění technologií Průmyslu 4.0 může pozitivně ovlivnit vztah mezi postupy štihlé výroby a udržitelnou výkonností organizace a zlepšit environmentální, sociální a ekonomické výsledky (L. L. Ooi et al., 2023). Bylo zjištěno, že společná aplikace postupů štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 významně zvyšuje výkonnost organizace v oblasti udržitelnosti v bangladéšském konfekčním odvětví (Saha et al., 2023).

Empirické důkazy také naznačují přímý vztah mezi zaváděním technologií Průmyslu 4.0 a štihlými procesy, což má dopad na výkonnost organizace (Pereira & Sachidananda, 2022). Ukázalo se, že uspořádání průmyslových zařízení, pokud je optimalizováno pomocí přístupů štihlé výroby v kontextu Průmyslu 4.0, zvyšuje celkovou efektivitu výroby (Chakroun et al., 2022). Výzkum výrobního sektoru v Thajsku potvrdil, že postupy štihlé výroby společně

s implementací Průmyslu 4.0 vedly ke zlepšení provozní i finanční výkonnosti (Hotrawaisaya et al., 2019). Současné zavádění postupů štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 v brazilských výrobních podnicích prokázalo pozitivní souvislosti, které vedly ke zlepšení výkonnosti (Tortorella & Fettermann, 2018). Integrace postupů štihlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0 může významně zvýšit provozní výkonnost továren snížením plýtvání a zvýšením efektivity (Shahin et al., 2020).

Integrace mezi tradičním štihlým řízením a Průmyslem 4.0, konkrétně nazvaná Lean 4.0, zvyšuje výkonnost. Integrace štihlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0 může výrazně zvýšit produktivitu a snížit náklady v různých výrobních procesech (Bonamigo & Souza, 2023). Někteří autoři uvádějí, že Průmysl 4.0 zprostředkovává spojení mezi štihlou výrobou s výkonností organizace (Rosin et al., 2020; Tortorella & Fettermann, 2018). Vyčerpávající přehled studií, metod a použitých indikátorů s cílem zjistit vztah Lean 4.0 k finanční a tržní výkonnosti poskytují Abreu-Ledón (2018). Jedná se velmi často o tyto ukazatele:

- Finanční výkonnost = ROA, růst tržeb, ROS, tržní podíl, růst ROI, podíl zisku na tržbách, cash flow, objem tržeb, celková ziskovost.
- Tržní výkonnost = tržní podíl, růst prodejů, ziskovost.

Nicméně je nutné zmínit, že výzkum v této oblasti stále ještě probíhá a zdaleka všechny studie pozitivní dopad Lean 4.0 na výkonnost nepotvrzují. Zavedení technologie Průmyslu 4.0 nemusí mít žádný vliv na vztah mezi metodami štihlé výroby a výkonností podniku. Podle Maemunaha (2021) se dopad může lišit v závislosti na konkrétním organizačním kontextu. Některé výzkumy navíc potvrzují přímý vliv štihlé výroby a Průmyslu 4.0 na výkonnost organizace, aniž by mezi nimi prokázali jakýkoli vztah (Buer et al., 2018).

3.3.4 Integrace dalších konceptů s Lean

Kromě samotného Lean 4.0 se v literatuře objevují i další spojení štihlé výroby s jinými koncepcemi a filozofiemi. Jedná se zejména o Lean Six Sigma (LSS), Lean Agile, Lean a udržitelnost a Lean Services (štihlé služby).

Lean Six Sigma

Lean Six Sigma je synergický manažerský koncept založený na štihlé výrobě a Six Sigma. Zatímco štihlá výroba se tradičně orientuje na eliminaci plýtvání zeštíhlením procesů, cílem Six Sigma je zlepšování kvality výstupů prostřednictvím včasné identifikace a odstraňování příčin vad (chyb) a minimalizace variability (výrobních a obchodních) procesů. Lean Six Sigma tedy zajišťuje jak kvalitu na výstupu, tak odstraňuje zbytečné plýtvání v celém procesu (Pech &

Vaněček, 2023). Six Sigma snižuje počet vad k dosažení nulového počtu (přesněji 3,4 ppm – 3,4 vady na 1 milion kusů). Výsledkem je vyšší kvalita a obchodní proces bez defektů. Toho dosahuje prostřednictvím nejrůznějších zejména technik statistického řízení jakosti, metod analýzy dat a DMAIC cyklu zlepšování. Cílem Lean Six Sigma (LSS) je tedy dokonalost podnikových procesů prostřednictvím eliminace plýtvání a snižování počtu vad. LSS zahrnuje nasazení štíhlých nástrojů v procesu DMAIC Six Sigma. LSS se zaměřuje na dokonalost procesů prostřednictvím systematického školení lidí v metodách LSS. Projekty LSS jsou zaměřeny na zlepšování procesů pomocí metody DMAIC. Pro realizaci projektů LSS je zapotřebí angažovanost vedení a zapojení pracovníků (Wilson, 2010). Tissir et al. (2023) se zaměřují na identifikaci tří kritických oblastí LSS 4.0: vztahů, implementace a výkonnosti:

- První fáze a výchozí bod se zaměřuje na spojení mezi LSS a Průmyslu 4.0. Nicméně, přístupy ke vztahu mezi oběma paradigmaty se značně liší. Někteří autoři tvrdí, že metoda LSS významně zjednodušuje zavádění nových technologií, protože odstraňuje neefektivitu a odchylky před tím, než se uchýlí k zavedení nových technologií.
- Druhá fáze rámce zahrnuje učení se, jak správně začlenění LSS 4.0 do stávajících procesů a seznámení se s těmito procesy, metodikami a nástroji používanými při implementaci.
- Poslední částí je vyvinout inteligentní klíčové ukazatele výkonnosti pro nasazení LSS 4.0, které pomohou při udržování a zlepšování systému pomocí metodiky PDCA.

Lean-Agile koncept

Lean-Agile je syntézou dvou přístupů v oblasti řízení projektů a vývoje softwaru: Lean a Agile. Lean, pocházející ze štíhlé výroby, je filozofie zaměřená na snižování plýtvání (činností nepřidávajících hodnotu) a zvyšování efektivity výrobních procesů. Zdůrazňuje význam dodávání vysoce kvalitních výrobků a služeb při současném odstraňování neefektivních činností, čímž se zvyšuje celková produktivita a spokojenost zákazníků (Barrett & Goodell, 2022). Integrace Lean a Agile, využívá silné stránky obou přístupů: efektivitu a redukci plýtvání Lean s flexibilitou a zaměřením na zákazníka Agile. Tento hybridní přístup je obzvláště účinný v prostředí, kde je rozhodující jak nákladová efektivita, tak schopnost rychle reagovat na změny na trhu (Mohammed et al., 2008). Koncept Lean-Agile vytváří hybridní strategii, která klade důraz na efektivitu, flexibilitu a rychlou realizaci organizačních procesů a vývoje produktů. Principy Lean se zaměřují na eliminaci plýtvání (činností nepřidávajících hodnotu), optimalizaci pracovních postupů a poskytování hodnoty zákazníkovi. To je zdůrazněno souborem strategických priorit a organizování postupů v rámci organizací s cílem rozvíjet výkonnost (Vilkas et al., 2021).

Lean a udržitelnost

Cílem štíhlé výroby je minimalizovat a eliminovat plýtvání, a tím zvýšit přidanou hodnotu. Ekologické plýtvání je považováno za devátý zdroj plýtvání v Muda. Nástroje štíhlé ekonomiky mají potenciál vypořádat se s environmentálním odpadem (Vinodh et al., 2011). V této souvislosti, jelikož štíhlé techniky usnadňují eliminaci plýtvání a výrobu podle požadavků zákazníka, přispívají k aspektu udržitelnosti využití zdrojů. Cesta ke štíhlé udržitelnosti zahrnuje různé stupně vyspělosti, od počátečních pokusů až po úplnou integraci štíhlého myšlení do organizační kultury. Udržitelnost v kombinaci se štíhlou výrobou je založeno na trvalém uplatňování zásad a postupů štíhlé výroby s cílem zvýšit efektivitu, snížit plýtvání a podporovat neustálé zlepšování způsobem, který je ekonomicky životaschopný, ekologicky odpovědný a společensky prospěšný. Tento koncept je zakořeněn ve filozofii LM, původně odvozeného z TPS, který klade důraz na eliminaci plýtvání ve všech formách, efektivní tok informací a procesů a zapojení všech zaměstnanců do snahy o neustálé zlepšování (Protzman et al., 2022). Štíhlá udržitelnost je nový koncept, který spojuje principy štíhlé výroby s cíli udržitelnosti a usiluje o zvýšení provozní efektivity při současné minimalizaci plýtvání a podpoře ekonomického, sociálního a environmentálního blahobytu. Ve své podstatě se štíhlá udržitelnost zaměřuje na minimalizaci plýtvání a zvyšování hodnoty a usiluje o neustálé zlepšování procesů s cílem dosáhnout udržitelných výsledků v různých odvětvích, včetně stavebnictví, výroby, zdravotnictví a služeb (Suresh et al., 2023).

Štíhlé služby

Štíhlé služby (Lean Services) se podobně jako štíhlá výroba zaměřují na zvýšení efektivity a odstranění plýtvání v rámci činností s cílem zvýšit spokojenost zákazníků a provozní výkonnost. Štíhlé služby vycházejí z výrobních principů a přizpůsobují tyto koncepty jedinečným charakteristikám odvětví služeb, přičemž zdůrazňují důležitost pochopení rozdílů v procesech mezi službami a výrobou (Fenner & Netland, 2023). Cílem iniciativ štíhlých služeb je respektovat a zapojit zaměstnance, protože jejich angažovanost je rozhodující pro identifikaci a eliminaci plýtvání a zlepšení poskytování služeb (Zayati et al., 2012). Bicheno (2008) uvádí hlavní charakteristiky štíhlých služeb:

- Zákazník na prvním místě. Jinými slovy „náš zákazník, náš pán“. V tomto kontextu bychom měli o přemýšlet o vysněné službě.
- Procesní orientace. Štíhlá výroba se nezaměřuje na optimalizaci funkcí nebo oddělení, ale na komplexní hodnotové toky, které se vycházejí z integrace činností a procesů.
- Více než soubor nástrojů. Kromě nástrojů jsou důležité principy a vize.
- Zaměření na přidanou hodnotu. Když se hodnota zvyšuje, náklady se snižují.

- Odstranění plýtvání. Znalost „tří MU“ (Muda, Muri, Mura) umožňuje úplnější pochopení štihlosti.
- Revoluce i evoluce. Revoluce odmítla koncepty masové výroby a úspor z rozsahu a zaměřila se na řízení organizací. Evoluce vyvinula detaily a nástroje štihlé výroby.
- Decentralizované rozhodování. Přenesení odpovědnosti na nižší úroveň řízení.
- Význam ekologie. Je možné být nejen štihlý a „zelený“, ale díky zaměření na plýtvání materiály a energii také ziskový a atraktivní pro zákazníky.

Oborově zaměřené koncepty štihlosti

Štihlá výroba prošla v průběhu let významným vývojem, protože se podniky snaží zefektivnit provoz, minimalizovat plýtvání a zvýšit efektivitu. Vedle vámi zmíněných integrací, jako je Lean Six Sigma, Lean-Agile a Lean Sustainability, jedná se zejména o:

- Štihlé podnikání (Lean Startups): Tato metodika, kterou zpopularizoval Eric Ries ve své knize „The Lean Startup“ (Ries, 2015), aplikuje principy štihlosti na proces založení nového podniku nebo uvádění nových produktů na trh. Základní myšlenkou je ověřování obchodních konceptů prostřednictvím krátkých iteračních cyklů vývoje produktu a zpětné vazby od zákazníků, známých jako smyčka „build-measure-learn“. Tuto myšlenku dále rozvíjí Maurya (2016), který ukazuje, jak lze snadno připravit cestu novému produktu na trh.
- Štihlá zdravotní péče (Lean Healthcare): Koncepce aplikuje principy Lean na zdravotnictví s cílem zvýšit efektivitu, zlepšit péči o pacienty a eliminovat plýtvání v procesech zdravotní péče. To zahrnuje zkrácení čekací doby, minimalizaci chyb a zvýšení produktivity personálu (Nuno Lopes & Monteiro, 2023). Ve farmaceutickém sektoru klade Průmysl 4.0, označovaná jako Pharma 4.0, důraz na automatizaci a integraci v celém dodavatelském řetězci a řeší výrobní problémy, které mohou ovlivnit zdravotní péči o pacienty (Mali et al., 2023).

4 Metodika práce

Tato kapitola se zabývá metodickým postupem, cílem habilitační práce a výzkumnými otázkami. Blíže jsou charakterizována data a jednotlivé použité analytické metody.

4.1 Cíl práce

Cílem habilitační práce je zhodnotit úroveň implementace a úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby v podnicích, propojit tyto koncepce a charakterizovat jejich vzájemný vztah, a posoudit vliv na výkonnost se zaměřením na odvětví zpracovatelského průmyslu.

Dílčí cíle:

a) Oblast Průmyslu 4.0

Dílčí cíl 1: Charakterizovat využití technologií průmyslu 4.0 v podnicích.

Dílčí cíl 2: Kategorizovat technologie Průmyslu 4.0 podle jejich využití v podnicích.

Dílčí cíl 3: Určit úroveň zavedení průmyslu 4.0 a technologií v podnicích.

Dílčí cíl 4: Posoudit vliv velikosti a odvětví podniků na implementaci Průmyslu 4.0.

b) Oblast Štihlé výroby

Dílčí cíl 5: Určit úroveň implementace metod a principů štihlé výroby v podnicích.

Dílčí cíl 6: Kategorizovat metody štihlé výroby podle jejich využití v podnicích.

Dílčí cíl 7: Posoudit vliv velikosti a oboru podniků na implementaci štihlé výroby

c) Oblast Lean 4.0 a výkonnosti

Dílčí cíl 8: Zhodnotit vztah metod štihlé výroby a technologií průmyslu 4.0 v podnicích.

Dílčí cíl 9: Určit sílu vztahu mezi úrovní implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0.

Dílčí cíl 10: Posoudit vliv úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby na finanční výkonnost.

Dílčí cíl 11: Zhodnotit praktické využití technologií Průmyslu 4.0 a metod štihlé výroby v podnicích.

4.1.1 Výzkumné otázky

Výzkum se snažil dát odpovědi na otázky týkající se štihlé výroby, Průmyslu 4.0, Lean 4.0 a vztahu k výkonnosti.

První výzkumná otázka: Jaký je stav a úroveň implementace průmyslu 4.0 v podnicích?

Tato výzkumná otázka byla stanovena na základně analýzy studií v kapitole 2.2 (Digitalizace a Průmysl 4.0). Česká republika aktivně postupuje směrem k Průmyslu 4.0 a zaměřuje se na zavádění automatizace, kolaborativních robotů a digitalizaci výrobních procesů. Celková vyspělost konceptu průmyslu 4.0 ve výrobě je považována za podprůměrnou, což naznačuje, že mnoho podniků ještě není plně připraveno na komplexní implementaci. Integrace pokročilých technologií do průmyslových procesů postupuje a vyznačuje se spíše evolučním přístupem než náhlým posunem. To odráží mírnou a rostoucí úroveň připravenosti na Průmysl 4.0. Zavádění pokročilejších technologií, jako je internet věcí a umělá inteligence, je však méně časté, častěji jsou implementovány základní automatizační technologie.

Druhá výzkumná otázka: Jaký je stav a úroveň implementace štihlé výroby v podnicích?

Výzkumná otázka vychází ze zjištění empirických studií viz kapitola 2.3 (Štihlá výroba a management). Zavádění štihlé výroby v České republice je různorodé, přičemž tradičnější uplatnění nachází ve zpracovatelském průmyslu. Mezi výrobními podniky se nejčastěji uplatňují normy ISO, dále Kaizen, 5S, Total Quality Management (TQM) a Total Productive Maintenance (TPM). Celková průměrná úroveň štihlosti českých výrobních podniků je průměrná, přičemž existují značné rozdíly mezi podniky.

Třetí výzkumná otázka: Jaký je vztah mezi implementací štihlé výroby a Průmyslu 4.0?

Vztah mezi implementací štihlé výroby a Průmyslu 4.0 nejlépe popisuje kapitola 3.3.1 (Perspektivy integrace Lean 4.0) Bittencourt at al. (2019) a Roser (2018), kteří popsali dohromady šest perspektiv vztahů mezi těmito koncepty. Jedná se o těchto šest možností: Průmysl 4.0 a štihlá výroba jsou ve vzájemném konfliktu; Průmysl 4.0 podporuje implementaci štihlé výroby; štihlá výroba má vliv na implementaci Průmyslu 4.0; oba koncepty spolu nemají nic společného; oblasti štihlé výroby a Průmyslu 4.0 se částečně překrývají; oba koncepty jsou integrovány do Lean 4.0.

Čtvrtá výzkumná otázka: Jaký vliv má velikost podniku na implementaci Průmyslu 4.0 a štihlé výroby?

Výzkum ukazuje, že velikost podniku významně ovlivňuje zavádění technologií Průmyslu 4.0 i štihlé výroby. Tato otázka je diskutována v kapitolách 2.2 (Digitalizace a Průmysl 4.0) a 2.3 (Štihlá výroba a management). Velké podniky, které mají dostatek zdrojů, čelí překážkám a mohou snadněji investovat, zlepšovat kvalitu, náklady, dodávky a flexibilitu. Malé a střední podniky se však potýkají s ekonomickými omezeními, nedostatkem kvalifikovaných pracovníků a omezenými finančními prostředky, což jim brání v zavádění těchto pokrokových technologií.

Malé a střední podniky postrádají také čas, znalosti a specializované pracovníky, kteří by se věnovali jejich plné implementaci. Kulturní faktory a úloha zaměstnanců v první linii v těchto podnicích dále ovlivňují proces zavádění štihlé výroby i technologií Průmyslu 4.0.

Pátá výzkumná otázka: *Jaký vliv mají odvětví zpracovatelského průmyslu na implementaci Průmyslu 4.0 a štihlé výroby?*

Cílem této výzkumné otázky je zjistit, jak se liší jednotlivá odvětví zpracovatelského průmyslu při implementaci koncepcí Průmyslu 4.0, štihlé výroby a Lean 4.0. Specifika jednotlivých odvětví jsou diskutována v kapitolách 2.2 (Digitalizace a Průmysl 4.0) a 2.3 (Štihlá výroba a management).. Zavádění štihlé výroby a Průmyslu 4.0 se v jednotlivých odvětvích liší. Výrobci automobilů na Slovensku a v České republice používají roboty, internet věcí a 3D tisk a integrují štihlé postupy, jako je metoda 5S. Elektrotechnický průmysl přijímá podobné technologie a efektivitu zařízení. Potravinářský průmysl využívá big data, umělou inteligenci a internet věcí pro inteligentnější řízení ve spojení s na míru šitými metodami štihlé výroby. Tradiční odvětví, jako je obuvnictví a textilní průmysl, se potýkají s technologiemi a zaváděním štihlé výroby. Chemický průmysl využívá digitalizaci, umělou inteligenci a strojové učení ke zlepšení provozu a integruje štihlé postupy napříč různými odvětvími.

Šestá výzkumná otázka: *Jaký mají vliv koncepce štihlé výroby a Průmyslu 4.0 na výkonnost podniků?*

Tato výzkumná otázka byla stanovena na základě empirických zjištění představených v kapitole 3.3.3 (Lean 4.0 a výkonnost). Metody štihlé výroby, pokud jsou integrovány s technologiemi Průmyslu 4.0, významně zvyšují výkonnost výrobních podniků tím, že zlepšují provozní i ekonomické ukazatele. Některé studie však naznačují, že ačkoliv Lean 4.0 přispívá k efektivitě výroby, výsledky ohledně tohoto dopadu na výkonnost nemusí být zřetelné. Odpověď na tuto otázku tedy není podle dosavadních výsledků výzkumů jednoznačná, část studií hypotézu o vztahu mezi štihlou výrobou, Průmyslem 4.0 a výkonností potvrdila, část nikoliv.

4.1.2 Hypotézy

Na základě dílčích cílů a výzkumných otázek byly připraveny hypotézy k statistickému ověření.

H1: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace procesů podle různých velikostí podniků a odvětvích.

H2: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace životního cyklu podle různých velikostí podniků a odvětvích.

H3: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 integrace systémů podle různých velikostí podniků a odvětvích.

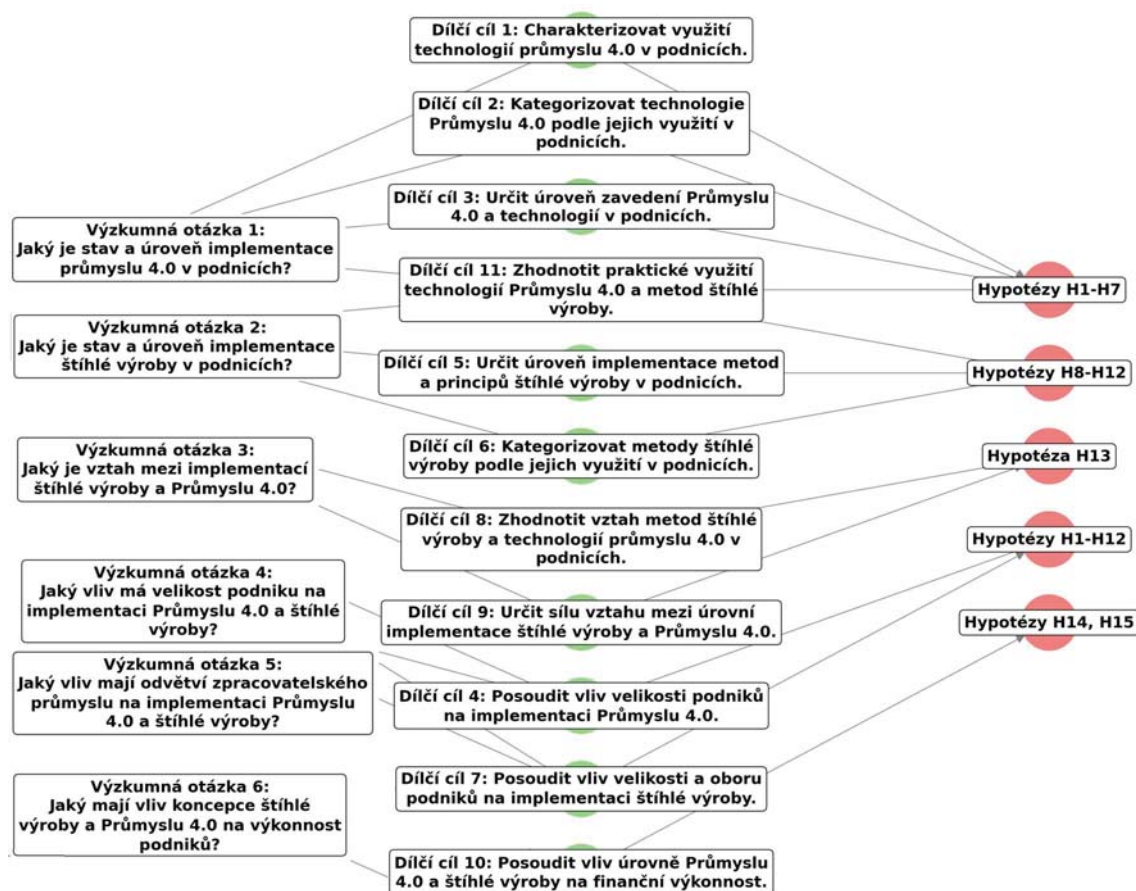
- H4: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 robotizace a automatizace podle různých velikostí podniků a odvětvích.
- H5: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých velikostí podniků.
- H6: Neexistují žádné významné rozdíly v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých odvětví podniků.
- H7: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení skóre Průmyslu 4.0 (indexu PI4) podle různých velikostí podniků a odvětví.
- H8: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých velikostí podniků.
- H9: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých odvětví podniků.
- H10: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace metod štihlé výroby podle různých velikostí podniků.
- H11: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace metod štihlé výroby podle různých odvětví podniků.
- H12: Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení skóre štihlé výroby (indexu SV4) podle různých velikostí podniků a odvětví.
- H13: Mezi indexy neexistuje závislost.
- H14: Neexistuje žádný významný rozdíl v ukazatelích finanční výkonnosti v různých velikostech podniků a odvětvích.
- H15: Neexistuje významný rozdíl v ukazatelích finanční výkonnosti mezi shluky podniků.

4.2 Metodický postup

Metodický postup práce byl rozdělen do několika kroků, které jsou blíže popsány:

1. Studium literatury a příprava literárního přehledu zaměřeného na koncept Průmyslu 4.0 a moderních technologií, štihlé výroby, jejich principů a metod a konceptu Lean 4.0, který spojuje obě oblasti dohromady. Tato část je zpracována v kapitole teoretická východiska.
2. Formulace výzkumného problému, mezer ve výzkumu, stanovení cílů výzkumu, výzkumných otázek a hypotéz vztahujících se k tématu. Obrázek 18 přehledně zachycuje vazby mezi nimi. Výzkumný problém a mezery ve výzkumu jsou uvedeny v kapitole 1 (Úvod).
3. Specifikace a výběr subjektů pro realizaci kvantitativně orientovaného výzkumu doplněného o prvky kvalitativního výzkumu. Pro účely výzkumu byly osloveni manažeři podniků, kteří mají informace o implementaci sledovaných konceptů v podniku.

Obrázek 18 Vazby mezi výzkumnými otázkami, dílčími cíli a hypotézami



Zdroj: vlastní výzkum

4. Navržení a tvorba výzkumných nástrojů a metodiky umožňujících realizaci cílů výzkumu. Navržené výzkumné nástroje vycházejí z možností použití výzkumných metod a zpracování dat. Reliabilita (spolehlivost) vybraných položek dotazníku byly hodnoceny prostřednictvím Cronbachova alfa.
5. Realizace výzkumu dotazníkovým šetřením. Spuštění šetření s cílem získat data byla využitelná pro tvorbu dvou výzkumných vzorků. První vzorek bude obsahovat všechny typy podniků (definované v bodě 3) ve snaze reprezentovat současný stav. Součástí druhého vzorku budou pouze podniky, ke kterým budou k dispozici finanční data.
6. Provedení strukturovaných rozhovorů v rámci kvalitativního výzkumu s 10 vybranými podniky se zaměřením na Průmysl 4.0 a štihlou výrobu.
7. Výběr vhodných metod statistické analýzy pro vyhodnocení získaných dat.
 - Procesy Průmyslu 4.0 byly vyhodnoceny prostřednictvím četností a základních deskriptivních statistik, k analýze vlivu velikosti a odvětví podniků použita ANOVA.

- Technologie Průmyslu 4.0 byly vyhodnoceny pomocí deskriptivních statistických metod. K hodnocení vlivu velikosti a odvětví použity Kruskal-Wallisovi testy. Ke kategorizaci technologií byla využita faktorová analýza. Faktory byly použity k tvorbě souhrnného indexu PI4. Vlivy na index byly posouzeny prostřednictvím ANOVA.
 - Principy štihlé výroby byly vyhodnoceny pomocí deskriptivní statistiky, k vlivu velikosti a odvětví podniků budou použity Kruskal-Wallisovi testy.
 - Metody štihlé výroby byly hodnoceny prostřednictvím deskriptivní statistiky, k vlivu velikosti a odvětví podniků použity Kruskal-Wallisovi testy. Ke kategorizaci metod bude využita faktorová analýza. Faktory budou dále použity k tvorbě souhrnného indexu SV4. Vlivy na tento index byly posouzeny prostřednictvím ANOVA.
 - Lean 4.0 kombinující Průmysl 4.0 s konceptem Lean managementu byla hodnocena pomocí korespondenční analýzy, na kterou navazuje korelační analýza s cílem zjistit vzájemné závislosti. Součástí analýzy je bližší charakteristika závislostí mezi metodami a technologiemi prostřednictvím Spearmanových korelačních koeficientů. Vztah mezi indexy PI4 a SV4 jsou modelovány prostřednictvím regresní analýzy.
 - Vztah Lean managementu a Průmyslu 4.0 k finanční výkonnosti je hodnocen pomocí korelační analýzy. Dále jsou podniky rozřazeny do čtyř shluků podle úrovně hodnocení indexů PI4 a SV4. Mezi těmito skupinami jsou následně hodnoceny rozdíly s ohledem na finanční ukazatele pomocí ANOVA a Kruskal-Wallisovi ANOVA.
8. Interpretace získaných výsledků a formulace možných dopadů a nových přístupů v kontextu výzkumných hypotéz a otázek. Tvorba sjednocujícího koncepčního modelu.
 9. Syntéza a formulace závěrů vyplývajících z realizace a výsledků výzkumu.

4.3 Data

Habilitační práce se zaměřuje na odvětví zpracovatelského průmyslu, které je charakteristické využíváním většího množství nejrůznějších konceptů a metod v oblasti výroby.

4.3.1 Použité statistické klasifikace

Klasifikace velikosti podniků podle Evropské komise

Klasifikace podniků podle velikosti je v této práci založena na počtu zaměstnanců podniku, jak je definováno metodikou Evropské komise (2003). Podle této klasifikace jsou rozlišovány čtyři skupiny podniků: mikro (<10 zaměstnanců), malé (10-49 zaměstnanců), střední (50-249 zaměstnanců) a velké podniky (nad 250 zaměstnanců). Kromě těchto kritérií obsahuje tato metodika ještě obrat v milionech eur a pro velké podniky také bilanční sumu roční rozvahy v milionech eur. Kromě toho může ovlivnit zařazení podniku jako partnerského či propojeného.

Klasifikace odvětví NACE REV. 2

Rozdělení podniků podle odvětví průmyslu (specializace) vychází z převažujícího odvětvového zaměření. Pro tyto účely se používá od roku 2008 statistická klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE) označená jako NACE REV. 2 (ČSU, 2008). Tato klasifikace rozděluje odvětví do několika hierarchicky uspořádaných skupin, přičemž zpracovatelský průmysl má označení C. Pro zjednodušení byly jednotlivé skupiny uvedené v metodické příručce sloučeny dohromady a vzniklo tak pro účely této práce celkem pět skupin oborů zpracovatelského průmyslu:

- strojírenská výroba: výroba kovů, hutních a kovodělných výrobků (oddíly 24–25), automobilový průmysl a výroba ostatních dopravních prostředků (oddíly 29–30), opravy a instalace strojů a zařízení (oddíl 33).
- elektrotechnická výroba: výroba počítačů, elektronických a optických přístrojů a zařízení (oddíl 26), výroba elektrických zařízení, výroba strojů a zařízení n. j. (oddíly 27–28).
- výroba potravinářského zboží: potravinářský, nápojový a tabákový průmysl (10–12).
- výroba výrobků pro domácí spotřebu: výroba nábytku; ostatní zpracovatelský průmysl (oddíly 31–32), dřevozpracující, textilní, oděvní, kožedělný a obuvnický průmysl (oddíly 13–16).
- ostatní: papírnický a tiskařský průmysl (oddíly 17–18), chemický, farmaceutický, gumárenský a plastový průmysl; průmysl skla a stavebních hmot (oddíly 19–23).

Technologická intenzita

Technologická intenzita byla využita pouze pro popis vzorků jako doplňková charakteristika. Tato klasifikace definuje skupinu odvětví s vysokou technologickou náročností (high-tech sektor, HT), které využívají ve velké míře pokročilé technologie, vývoj výstupů doprovázejí vysoké náklady na inovace a/nebo na výzkum a vývoj. Konkrétní seznam odvětví byl definován Eurostatem a vychází z klasifikace NACE Rev. 2 (ČSU, 2019). Zpracovatelský průmysl lze tak členit na odvětví s vysokou technologickou náročností (HTS – oddíly 21, 26; skupina 30.3), středně vysokou technologickou náročností (MHTS – oddíly 20, 27, 28, 29; skupiny 3.2, 30.4, 30.9, 25.4, 32.5), středně nízkou technologickou náročností (MLTS – oddíly 19, 22, 23, 24, 25 bez 25.4, 33; skupiny 18.2, 30.1) a nízkou technologickou náročností (LTS – oddíly 10-17, 31, 32 bez 32.5; skupina 18.1).

4.3.2 Výzkumný vzorek

Kvantitativní empirický výzkum je založen na dotazníkovém šetření, které bylo administrováno od 1. května 2021 do 21. června 2022. Příprava výzkumného vzorku zahrnovala nejprve určení počtu podniků, které budou použity pro dotazníkové šetření. Pro samotný výběr podniků byla

použita metoda nepravděpodobnostního účelového výběru. Nepravděpodobnostní výběr je technika výběru vzorku, při níž nelze vypočítat pravděpodobnost výběru kteréhokoliv člena vzorku. Účelový výběr znamená, že vzorek byl vybrán na základě znalostí o populaci a výzkumu.

Na základě údajů Českého statistického bylo zjištěno, že v roce 2022 bylo v České republice 288 736 aktivních podniků zpracovatelského průmyslu. Osloveno bylo 25 901 podniků, aby byla zajištěna podmínka 95% míry spolehlivosti při maximálně 5% chybovosti a 1,5 % minimální návratnosti dotazníků. Údaje byly shromážděny na základě online dotazování manažerů podniků, nebo osobní návštěvy v podniku (vytištěný dotazník). Kontakty na manažery podniků z celé České republiky byly získány z databáze Albertina.

Dotazníkové šetření probíhalo prostřednictvím online dotazování (Google Forms). Vzhledem k tomu, že 1 162 dotazníků nebylo doručeno (neexistující kontakt, spam filtr), bylo respondenty shledáno 11,47 % dotazníků a celková návratnost byla 2,28 %. Z celkového počtu respondentů tedy nakonec souhlasilo se spoluprací a účastí na dotazníkovém šetření 563 podniků. Z toho 32 dotazníků bylo odstraněno z důvodu neúplných dat a chyb v odpovědích. Odstraněno bylo dále 5 duplikátů (stejně podniky) a 9 dotazníků podniků z oblasti služeb. Výzkumný vzorek tvoří celkem 517 vyplněných dotazníků, tj. při 95 % míře spolehlivosti míra chybovosti 4,31 %. Vzorek dat byl zpracován podle velikosti a odvětvových charakteristik podniků.

Tabulka 2 Charakteristika výzkumného vzorku 1

Charakteristika výzkumného vzorku		Velikost podniku				Celkem	
		mikro	malý	střední	velký	Četnost	%
Odvětví	strojírenská výroba	33	97	55	44	229	44,29
	elektrotechnická výroba	9	12	16	14	51	9,87
	potravinářská výroba	8	13	21	9	51	9,87
	výroba pro domácí spotřebu	22	22	18	5	67	12,96
	ostatní (plasty, chemi-tech.)	12	36	45	26	119	23,02
Technologická intenzita	HT (HTS + MHTS)	20	52	63	54	189	36,56
	HTS	4	8	10	11	33	6,38
	MHTS	16	44	53	43	156	30,17
	LT (LTS + MLTS)	64	128	92	44	328	63,44
	MLTS	28	86	41	24	179	34,62
	LTS	36	42	51	20	149	28,82
Vlastník	Zahraniční	5	21	47	59	132	25,53
	Domácí	79	159	108	39	385	74,47
Celkem četnosti		180	84	155	98	517	-
Celkem relativní četnosti (%)		34,82	16,25	29,98	18,96	100,00	-

Zdroj: vlastní zpracování

Pro rovnoměrné zastoupení podniků ve výzkumném vzorku bylo přihlédnuto k přibližné velikosti podniků (přibližně 50 % mikropodniků a malých podniků; 50 % středních a velkých podniků) a odvětví podniků (strojírenská a elektrotechnická výroba 50 %; ostatní podobory zpracovatelského průmyslu 50 %). Složení vzorku zhruba odpovídá tomuto plánovanému rozdělení. Tabulka 2 zachycuje jeho hlavní charakteristiky.

4.3.3 Výzkumný vzorek s finančními údaji

Dále byla zpětně získána z databáze Albertina finanční data a údaje o podnicích zapojených v dotazníkovém šetření. Bližší charakteristiky výzkumného vzorku 2 uvádí tabulka 3.

Tabulka 3 Charakteristika výzkumného vzorku 2 s finančními údaji

Charakteristika výzkumného vzorku		Velikost podniku			Celkem	
		malý	střední	velký	Četnost	%
Odvětví	strojírenská výroba	49	29	32	110	44,90
	elektrotechnická výroba	4	11	12	27	11,02
	potravinářská výroba	7	14	7	28	11,43
	výroba pro domácí spotřebu	10	9	4	23	9,39
	ostatní (plasty, chemi-tech.)	13	24	20	57	23,27
Technologická intenzita	HT (HTS + MHTS)	26	38	44	108	44,08
	HTS	2	4	10	16	6,53
	MHTS	24	34	34	92	37,55
	LT (LTS + MLTS)	57	49	31	137	55,92
	MLTS	37	20	16	73	29,80
	LTS	20	29	15	64	26,12
Roční obrat	1 - 99,99 mil. Kč	62	13	0	75	30,61
	100 - 499,99 mil. Kč	18	51	4	73	29,80
	500 - 1499,99 mil. Kč	2	18	27	47	19,18
	1,5 mld. Kč a více	1	5	44	50	20,41
Součást zahraniční firmy	Zahraniční	11	31	49	91	37,14
	Domácí	72	56	26	154	62,86
Celkem		83	87	75	245	-
Celkem relativní četnosti (%)		33,88	35,51	30,61	100,00	-

Zdroj: vlastní zpracování

Napárovat dotazníky se podařilo celkem 270 podniků, z toho bylo dále odstraněno 25 mikro podniků. Při párování byla hlavním kritériem úplnost dat, tak aby bylo možné spočítat všechny plánované ukazatele. Výzkumný vzorek s finančními údaji tvoří celkem 245 podniků, u kterých byla k dispozici finanční data pro výpočet finančních ukazatelů. Ke každému podniku z druhého

výzkumného vzorku byla použita finanční data z období, ve kterém bylo u daného podniku provedeno dotazníkové šetření (byl-li dotazník vyplněn v roce 2022, pak byla použita finanční data z roku 2022).

Pro rovnoměrné zastoupení podniků ve výzkumném vzorku s finančními údaji bylo přihlédnuto k přibližné velikosti podniků (přibližně 33 % malých podniků; 33 % středních a 33 % velkých podniků), technologické náročnosti (přibližně 50 % high-tech a 50 % low-tech podniků) podniků a odvětví podniků (strojírenská a elektrotechnická výroba 50 %; ostatní podobory zpracovatelského průmyslu 50 %). Složení výzkumného vzorku s finančními údaji zhruba odpovídá tomuto plánovanému rozdělení.

4.4 Použité metody

4.4.1 Dotazník

Dotazník se zaměřil na hlavní skupiny charakteristik Průmyslu 4.0 a Štíhlé výroby. Položky dotazníku byly definovány na základě literatury a z konzultací s manažery podniků v rámci předchozího výzkumu. Finální položky dotazníku byly ověřeny manažery pomocí Delphi metody. Zpětná vazba pomohla nastavit vhodné škály v dotazníku. Zjišťovány základní charakteristiky o zkoumaném podniku (název, IČO, sídlo, převažující činnost / odvětví, hlavní výrobky a počet pracovníků). Dotazník je dále strukturován do několika částí (viz Příloha 1):

1. Strategie a strategické priority
 - V této části jsou dichotomické otázky (ano/ne) týkající se strategie (písemná strategie, součást strategie Průmyslu 4.0, štíhlé výroby a udržitelnost).
2. Průmysl 4.0 a nové technologie
 - Zahrnuje nejprve subjektivní posouzení implementace Průmyslu 4.0 na škále 1 – 5 (plán zavádění, současná implementace a priorita Průmyslu 4.0).
 - Procesy Průmyslu 4.0. Tyto otázky byly hodnoceny na škále 1 – 5 a vycházejí z výzkumu Yánez (2017). Hlavními oblastmi jsou: úroveň digitalizace, digitalizace životního cyklu, integrace systémů a úroveň robotizace a automatizace.
 - Moderní technologie. Celkem 17 technologií posuzovaných na škále 0 – 3. Tyto technologie vycházejí z výzkumu Vrchota a Pech (2019), Rathi (2024), doplněny o RFID, drony spojeny s kategorií autonomní auta (Marcondes et al., 2023).
3. Štíhlá výroba
 - Zahrnuje nejprve subjektivní posouzení implementace štíhlé výroby na škále 1 – 5 (plán zavádění, současná implementace a priorita štíhlé výroby).

- Principy štihlé výroby. Celkem 26 principů hodnocených na škále 1 – 5. Pro výběr principů, bylo využito více zdrojů: Sýkora in Vaněček et al. (2013), Liker (2015), Wilson (2010), Womack a Jones (1990; 1997), Davies a Greenough (2001), Schumacher et al. (2023).
- Metody štihlé výroby. Celkem 21 metod bylo posuzováno na škále 0 – 3. Výběr metod byl založený na přehledech uvedených v publikacích Lean Enterprise Institute (2008), Liker (2015), Cifone et al. (2021), Tortorella et al. (2017), Barcia et al. (2022), Bhutta et al. (2017), Naeem et al. (2021), Anand a Kodali (2010), Nedjwa et al. (2022), Sony (2018), Rossi (2022), Shah a Ward (2003) a dalších.
- Dále bylo zjišťováno, zda jsou v podniku implementovány koncepce TQM, Kaizen, ISO 9001, Six Sigma a KPI (klíčové indikátory výkonnosti). Tyto koncepty byly využity jako doplňující metody štihlé výroby (to platí zejména pro metodu Kaizen).

Spolehlivost (reliabilita) položek dotazníku bude hodnocena prostřednictvím Cronbachova alfa. Doporučená hodnota v literatuře je alespoň 0,7 (Kline, 1993). Siswaningsih et al. (2017) uvádí, že hodnota Cronbachova alfa je velmi dobrá při $\alpha \geq 0,9$; dobrá při $0,8 \leq \alpha < 0,9$; akceptovatelná $0,7 \leq \alpha < 0,8$; diskutabilní $0,6 \leq \alpha < 0,7$; špatná $0,5 \leq \alpha < 0,6$ a neakceptovatelná $\alpha < 0,5$.

4.4.2 Strukturovaný rozhovor

Součástí použitých metod byly také strukturované rozhovory s 10 podniky zaměřené na nové technologie a využití metod štihlé výroby. Rozhovory byly cíleny na manažery podniků či vedoucí útvarů v daných společnostech a uskutečnili se v rozmezí března až května 2024. Mezi zapojenými podniky do rozhovorů byly: Efaflex, VIscofan, Magma Cartech s.r.o., Akuterm Sklo a.s., RM Gastro, Myslivna Resort s.r.o., Oknotherm spol. s.r.o., Univeler ČR, spol. s.r.o., Zonepi, s.r.o., Vishay Electronic spol. s.r.o.

Otázky (viz Příloha 2) byly zaměřeny na následující oblasti:

- Perspektivy vývoje nových technologií v organizacích
- Zavedené technologie Průmyslu 4.0.
- Role technologií při odstraňování plýtvání.
- Dominantní druhy plýtvání.
- Budoucnost umělé inteligence v organizacích.
- Technologie a lidské zdroje.
- Současný stav využívání metod štihlé výroby v organizacích.
- Možnosti uplatnění metod štihlé výroby.
- Faktory ovlivňující zavádění nových technologií do praxe.
- Klíčové ukazatele výkonnosti a metriky hodnocení technologií.

4.4.3 Statistické metody

K analýze byly v habilitační práci využity nejrůznější statistické metody, které jsou dále blíže charakterizovány. Tyto metody jsou součástí software R, Statistica a SPSS. Důvodem pro využití více druhů software byla rozdílnost a hloubka poskytovaných výstupů z jednotlivých programů. Snahou bylo získat více informací a přehledné grafické výstupy. Statistické metody byly vyhodnoceny primárně na hladině významnosti 0,05. Nicméně pro větší přehlednost byly do tabulek uvedeny symboly signifikance výsledků (symbolem *). Pro hladinu významnosti 0,05, jsou výsledky označeny symbolem *, velmi významné (pro hladinu významnosti 0,01) se označují symbolem **. Proměnné, které nejlépe popisují závislou proměnnou ($\alpha < 0,001$), jsou označeny symbolem ***. K vyhodnocení dat byly použity následující statistické metody:

Explorativní faktorová analýza

Faktorová analýza byla zvolena pro klasifikaci nejdůležitějších proměnných ovlivňujících úroveň připravenosti podniku na Průmysl 4.0 a štihlé výroby. Cílem faktorové analýzy je zredukovat počet proměnných prostřednictvím menšího počtu společných faktorů a odhalit strukturu vztahů mezi proměnnými. Faktorová analýza v širším slova smyslu zahrnuje řadu statistických modelů, tak i řadu zjednodušujících postupů pro přibližný popis dat (McDonald, 1985). Základem faktorové analýzy je předpoklad, že pozorovaná kovariance (vztahy, tj. korelace) mezi proměnnými jsou výsledkem působení společných faktorů, a nikoli vzájemného vztahu mezi proměnnými. Gorsuch (2015) poukázal na to, že cílem faktorové analýzy je stručně, ale přesně shrnout vzájemné vztahy mezi proměnnými pro následnou konceptualizaci. Každý faktor představuje oblast zobecnění, která je kvalitativně odlišná od oblasti reprezentované jakýmkoli jiným faktorem. Míra zobecnění mezi každou proměnnou a každým faktorem se vypočítá a označuje se jako faktorová zátěž (náboj).

Ke zkoumání hlavních dimenzí a vytvoření nových indexů Průmyslu 4.0 a štihlé výroby byla použita explorační faktorová analýza (EFA). Škály položek použitých ve faktorové analýze byly hodnoceny na čtyřstupňové škále 1-3, přičemž jsme použili stejný rozsah jako ve výzkumu Veza (2015), kteří zhodnotili úroveň vyspělosti Průmyslu 4.0 v chorvatských podnicích. Tato škála dosáhla lepších výsledků pilotního výzkumu než škála 1-5, kterou použili Frank et al. (2019) nebo Schumacher (2016) pro určení implementace technologií v podnicích. Faktorová analýza pomohla určit vnitřní strukturu kovariance proměnných indexů a rozlišit odlišné skupiny faktorů.

Vhodnost struktury dat pro faktorovou analýzu byla analyzována pomocí Bartlettova testu (Pett et al., 2003) a Kaiser-Meyer-Olkinova testu (KMO) (Hutcheson & Sofroniou, 1999; Kaiser, 1974). Bartlettův (1954) test ověřil, že se pozorovaná korelační matice významně odchyluje od

matice identity při hladině významnosti alfa 0,05. Následně byl vypočten Kaiser-Meyer-Olkinův poměr přiměřenosti vzorku. Zde je za přijatelnou považována hodnota vyšší než 0,7 (Cohen, 1988). Tabachnick a Fidell (2019) doporučili kontrolovat korelační matici, zda korelační koeficienty nepřesahují hodnotu 0,30. Mnoho korelačních koeficientů tento požadavek nespĺňuje, ale téměř všechny tyto koeficienty byly statisticky významné na hladině 0,05. Reliabilita (spolehlivost) položek faktorů byla dále hodnocena prostřednictvím Conbachova Alfa, u kterého se doporučuje hodnota vyšší než 0,7 (Taber, 2018).

Test ANOVA

ANOVA vychází z následujících předpokladů o datech:

- Nezávislost pozorování. Každý subjekt by měl patřit pouze do jedné skupiny. Mezi pozorováními v jednotlivých skupinách neexistuje žádný vztah. Nevyužívají se opakovaná měření u stejných dotazovaných.
- U žádné proměnné nejsou významné odlehle hodnoty.
- Normalita. Vzorek by měl být dostatečně velký a/nebo populační rozdělení pro každou proměnnou přibližně normálně rozdělena. K určení normality bude využitý Shapiro-Wilkův test. Hypotézy o normalitě jsou následující: H_0 : Rezidua jsou normálně rozdělena; H_0 : Rezidua nejsou rozdělena normálně. Podle Shapiro-Wilkova testu normality je hodnota p vyšší než 0,05. Hypotézu H_0 tedy nelze zamítnout.
- Homogenita rozptylů. Rozptyl výsledné proměnné by měl být u každé proměnné shodný. Za tímto účelem bude použitý Leveneův test o shodě rozptylu. Hypotézy jsou následující: H_0 : Mezi rezidui existuje homogenita rozptylu; H_A : Mezi rezidui není homogenita rozptylu. Podle těchto testů je hodnota p vyšší než 0,05. Hypotézu H_0 tedy nelze zamítnout. Homogenita rozptylu mezi rezidui existuje, lze ji interpretovat.

Metodický postup ANOVA:

1. Hodnocení předpokladů o datech.
2. Analýza rozptylu ANOVA.
 - H_0 : $m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_m$ (kde m je počet srovnávaných skupin). Tato hypotéza předpokládá, že všechny srovnávané skupiny mají stejnou střední hodnotu.
 - H_A : Alternativní hypotéza předpokládá, že střední hodnoty jsou odlišné. To znamená, že alespoň jedna ze středních hodnot se liší od ostatních.
3. Post-hoc testy – Turkeyův HSD test pro vícenásobné porovnání.

V případě porušení předpokladů o datech byla místo analýzy rozptylu ANOVA použita Kruskal-Wallisova ANOVA, u multifaktorové ANOVA konkrétně Scheirer-Ray-Hare test.

Scheirer-Ray-Hare test

Scheirerův-Ray-Hareův test je obdobou parametrické vícefaktorové ANOVY zkoumající vliv dvou různých faktorů na míru, pro kterou jsou k dispozici různé výběry faktorů (Scheirer et al., 1976). Tyto testy byly součástí rozšíření „rcompanion“ software R. Náhradou za Turkeyův HSD test je v tomto případě Wilcoxon–Mann–Whitney test. V hraničních případech porušení normality dat byla testována transformace dat a pro případnou kontrolu vypočteny parametrické i neparametrické varianty testů. Tyto alternativy jsou v přílohách této práce.

Regresní analýza

Regresní analýza je použití matematických a statistických metod k analýze experimentálních dat a k sestavení matematických modelů pro odhad neznámých parametrů (Mostoufi & Constantinides, 2023). Tato analýza je založená na vysvětlení vztahu mezi nezávislou proměnnou (prediktivní proměnnou) a závislou proměnnou (proměnnou odpovědi) vytvořením matematického modelu. Cílem regresní analýzy je popsat vztah mezi proměnnými a předpovědět jednu proměnnou na základě ostatních (Arias-Castro, 2022). Existují různé druhy lineárních i nelineárních regresních modelů, v této práci byly využity následující:

a) Lineární regresní model

Předpoklady modelu jsou podobné jako pro analýzu ANOVA:

- Vztah mezi proměnnými je lineární pomocí parametrů.
- Pozorování by měla být na sobě nezávislá.
- Rezidua by měla být rozdělena normálně (Q-Q graf, Shapiro-Wilkův test).
- Mezi rezidui musí být zajištěna homogenita rozptylu (Breusch-Paganův test).

Pokud má být závislá proměnná vysvětlena pomocí jediné nezávislé proměnné, nazývá se jednoduchá lineární regrese.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Y_i ... hodnota závislé proměnné, β_0 ... koeficient regresní přímky, β_1 ... koeficient sklonu regresní přímky, X_i ... hodnota nezávislé proměnné, ε_i ... reziduální chyba

Vícenásobná lineární regrese je jednou z metod analýzy, která se používá v případě, že závislou proměnnou chceme vysvětlit pomocí více než jedné nezávislé proměnné. Model vícenásobné lineární regrese je uveden níže:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2)$$

Y_i ... hodnota závislé proměnné, β_1 a β_2 ... koeficienty regresní přímky, β_0 ... koeficient regresní přímky, β_1 ... koeficient sklonu regresní přímky, X_i ... hodnota nezávislé proměnné, ε_i ... reziduální chyba

Adekvátnost použití modelu se testuje prostřednictvím hodnoty F-statistiky a hodnoty p . Ty slouží k testování hypotézy, zda je parametr sklonu roven nule, či nikoli. Vytvořené testy hypotéz jsou: H_0 : Rezidua jsou normálně rozdělena; H_A : Rezidua nejsou rozdělena normálně.

b) Polynomiální model

Polynomiální regrese modeluje vztah mezi nezávislou proměnnou x a závislou proměnnou y prostřednictvím polynomu n -tého stupně, což umožňuje flexibilně zachytit nelineární vztahy (Draper & Smith, 1998). Zahrnuje polynomické členy (např. x^2 , x^3), které odpovídají spíše křivkám než přímkám, takže je vhodná pro data se zakřivením (Montgomery et al., 2012). Polynomickou regresi získáme tak, že si vezmeme stupně nezávislé proměnné. Důležité přitom je kolik stupňů má tento model obsahovat. Pro tyto účely je vhodné experimentovat a porovnávat výsledky RMSE a R^2 hodnot pro zajištění vyšší přesnosti modelu (Dilber, 2021).

c) Spline model

Dalším způsobem, jak se vypořádat s nelineárním vztahem, je spline regrese. Spline regrese zvyšuje flexibilitu tím, že se přizpůsobuje po částech polynomům spojeným v uzlech, což zajišťuje hladké přechody (Wahba, 1990). Správným spojením uzlů se zadaným stupněm lze vytvořit regresní přímku. Tato metoda vyvažuje vysokou míru detailnosti a hladkosti, takže je vhodná pro velké soubory dat a složité vzory (Eilers & Marx, 1996). Ve spline regresi se obvykle používá model s 3 stupni. Při určování uzlů se používá kvantilová funkce. Používají se celkem 3 různé uzly s kvantily 0,1; 0,5 a 0,9 souboru dat (Alboukadel, 2017).

d) Kernel Smoothing model

Metoda vyhlazování jader (Kernel Smoothing) je neparametrická technika, která odhaduje průběh náhodné proměnné bez předpokladu konkrétní funkce, což umožňuje flexibilní modelování složitých datových vzorců (Wasserman, 2006). Tato metoda poskytuje vyhlazené odhady prostřednictvím lokálního průměrování (Hastie et al., 2009). Díky své flexibilitě je metoda vhodná pro průzkumnou analýzu dat. Cílem optimálního výběru parametrů metody je minimalizovat střední kvadratickou chybu vyvážením kompromisu mezi zkreslením a rozptylem (Wand & Jones, 1995). Postup této metody v software R popisuje Helwig (2021).

Korelační analýza

Korelace je statistická metoda, které popisuje míru, do jaké se dvě proměnné mění společně, a udává sílu a směr vztahu mezi nimi. Tento koncept se široce používá v různých oblastech výzkumu k pochopení a předvídání chování, výsledků a vztahů.

- Pearsonův korelační koeficient (r) je mírou lineárního vztahu dvou proměnných. Hodnoty korelačního koeficientu se pohybují od -1 do +1. Kladné hodnoty korelačního koeficientu naznačují tendenci jedné proměnné k růstu nebo poklesu spolu s druhou proměnnou. Záporné hodnoty korelačního koeficientu naznačují tendenci, že nárůst hodnot jedné proměnné je spojen s poklesem hodnot druhé a naopak (Kirch, 2008).
- Spearmanův koeficient korelace. Vyjadřuje míru těsnosti vztahu mezi ordinálními statistickými proměnnými. Hodnoty koeficientu leží vždy v intervalu od -1 do 1. Hodnota korelačního koeficientu blízká 1 vyjadřuje kladný a blízká -1 záporný vztah mezi proměnnými. Je-li hodnota korelačního koeficientu blízká nule, není mezi hodnotami proměnných významný vztah (Čihák, 2014). Cooksey (2020) přiřazuje hodnotám korelačních koeficientů (míře závislosti) slovní popis následovně: slabá $r < +0,2$; středně slabá $+0,2 \leq r < +0,4$; střední $+0,4 \leq r < +0,6$; středně silná $+0,6 \leq r < +0,8$; silná $+0,8 \leq r < +1,0$. Tato míra může být nicméně vykládána v různých oborech odlišně.

Korespondenční analýza

Pro zjišťování skupin podobných kategorií se využívá korespondenční analýza, která narozdíl od shlukové analýzy vychází přímo ze zdrojové datové matice. Smyslem této analýzy je zobrazení kategorií v redukovaném souřadném systému. V případě dvou proměnných je základem dvourozměrná tabulka sdružených relativních četností. Korespondenční matice se skládá z řádkových marginálních relativních četností (řádkové zátěže) a sloupcových marginálních relativních četností (sloupcové zátěže). Cílem je redukovat vícerozměrný prostor vektorů řádkových a sloupcových profilů do prostoru menší dimenze (Řezanková, 2007).

4.4.4 Vizualizace výsledků

Pro lepší přehlednost byly pro vizualizaci některých vztahů mezi proměnnými využity softwarové knihovny Python Networkx a Matplotlib. Tyto knihovny rozšiřují možnosti běžných statistických aplikací Statistica a SPSS. Matplotlib bylo použito pro zobrazení technologií, metod či principů na paprskových grafech vzhledem k velikosti a odvětví podniků. Networkx pak usnadňuje dynamické zachycení síťových vztahů mezi metodami a technologiemi, včetně síly těchto vazeb.

4.4.5 Sledované finanční ukazatele

Při hodnocení finanční výkonnosti podniků se využívá finanční analýza, která s pomocí dat z finančního výkaznictví třídí, agreguje a poměruje mezi sebou navzájem jednotlivé údaje (Sedláček, 2011). základním nástrojem finanční analýzy je výpočet a interpretace poměrových ukazatelů, které mohou vypovídat o hlavních rysech podniku (Bláha & Jindřichovská, 2006). Tabulka 4 zobrazuje poměrové ukazatele včetně výpočtu, které byly použity při hodnocení závislosti proměnných a výkonnosti podniku. Finanční údaje byly získány z databáze Albertina.

Tabulka 4 Metodika výpočtu finančních ukazatelů

Ukazatel	Vzorec pro výpočet
Celková zadluženost - %	Cizí zdroje / Aktiva
(ROE) Rentabilita vlastního kapitálu - %	Zisk / Vlastní kapitál
(ROA) Rentabilita celkového kapitálu - %	Zisk / Aktiva
(ROCE) Rentabilita dlouhodob. kapitálu z EBIT - %	Zisk / (Aktiva - Kr. závazky do 1 roku)
(ROS) Rentabilita tržeb - %	Zisk / Tržby
Nákladovost	Celkové náklady / Celkové výnosy
(ROI) Rentabilita celkových nákladů - %	Zisk / Celkové náklady

Zdroj: Valach (1999), doplněno

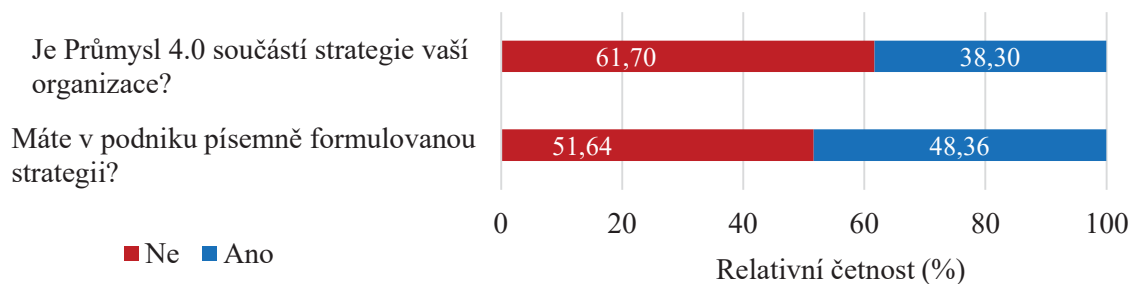
5 Průmysl 4.0

Kapitola pojednává o využívání Průmyslu 4.0 v podnicích. Nejprve byly z dotazníkového šetření vyhodnoceny otázky týkající se strategického zaměření, priorit a postavení Průmyslu 4.0 v podnicích. Dále bylo vyhodnocení zaměřeno na podnikové procesy, které ovlivňují technologie Průmyslu 4.0 včetně vlivu velikosti a odvětví podniků na ně. Druhou část kapitoly tvoří samotné zhodnocení aplikace technologií Průmyslu 4.0 v podnicích (Dílčí cíl 1). Prostřednictvím faktorové analýzy byly jednotlivé technologie kategorizovány do několika skupin (Dílčí cíl 2), které vytvářejí základ pro celkové hodnocení zavedení Průmyslu 4.0 v podnicích (Dílčí cíl 3). Součástí hodnocení bylo posouzení vlivu velikosti a oboru podniku na implementaci technologií Průmyslu 4.0 (Dílčí cíl 4).

5.1 Strategie a implementace Průmyslu 4.0

Obrázek 19 zachycuje v sloupcovém grafu, zda mají podniky písemně formulovanou strategii, a zda je součástí strategie také Průmysl 4.0. Výsledky ukazují, že více než 51.64 % podniků nemá formulovanou strategii v písemné formě. Z výsledků vyplývá, že většina podniků zatím nezařadila Průmysl 4.0 do své strategie. Pouze 38,29 % podniků potvrdilo, že je pro ně Průmysl 4.0 strategicky důležitý.

Obrázek 19 Vyhodnocení strategického zaměření pro Průmysl 4.0

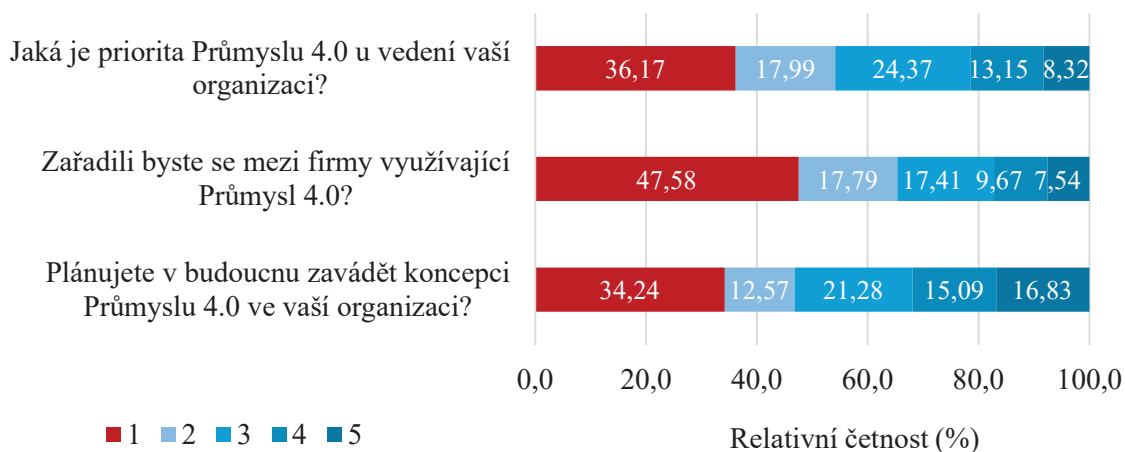


Zdroj: vlastní zpracování

Tato zjištění poukazují určité mezery v strategickém řízení, zejména po formální stránce. Data naznačují, že podniky lze rozdělit na přibližně dvě stejně velké skupiny, pokud jde o formalizaci jejich strategií v písemné formě, což může odrážet různé úrovně strategického rozvoje. Podniky zatím plně nepřijaly principy Průmyslu 4.0, neboť strategií Průmyslu 4.0 v organizačních ještě není příliš rozšířená. Důvodem může být počáteční fáze zavádění nových technologií, která je charakteristická pilotními projekty. Až v dalších fázích obvykle dochází k formulaci strategie orientované na Průmyslu 4.0.

Dále byly zjišťovány současné a budoucí priority managementu v oblasti implementace Průmyslu 4.0 na pětistupňové škále (1 – malý, 5 – velký), viz obrázek 20.

Obrázek 20 *Vyhodnocení implementace Průmyslu 4.0 (v %)*



Zdroj: vlastní zpracování

Nejvíce respondentů (36,17 %) vnímá Průmysl 4.0 v řízení své organizace s nízkou prioritou, na stupnici s hodnocením 1. Míra implementace Průmyslu 4.0 na základě sebehodnocení manažerů se vyznačuje jako spíše podprůměrná. Téměř polovina manažerů (47,58 %) hodnotí současný stav Průmyslu 4.0 v podnicích velmi nízkým hodnocením (hodnocení 1). Toto zjištění potvrzuje opatrnější zapojení podniků do čtvrté průmyslové revoluce. Důvodem může být určitá váhavost či neutrální postoj mnoha podniků. Proto je vhodné se zaměřit na pochopení překážek a bariér implementace. Na druhou stranu menší, ale významná část je již připravena přijmout nový technologický vývoj a v budoucnu plánuje přijetí tohoto konceptu. Zájem o potenciální budoucí implementaci (16,83 % hodnocení 5) signalizuje povědomí o přínosech nových technologií a možný posun k rozsáhlejší integraci v dlouhodobém horizontu. Větší množství podniků je tedy nakloněno přijetí Průmyslu 4.0 v budoucnosti. Celkově situace ukazuje, že je zpracovatelský průmysl na prahu transformace. Podniky zkoumají výhody a přínosy Průmyslu 4.0, ale při jeho implementaci jsou spíše zdrženlivější a zvažují pozitiva i negativa.

5.2 Procesy podle Průmyslu 4.0

Koncept Průmyslu 4.0 ovlivňuje způsob provádění a realizaci podnikových procesů. Nové technologie vytvářejí prostor pro růst efektivity a produktivity. Nicméně ovlivněny jsou i navazující, nevýrobní procesy, které také procházejí změnou. Tato transformace vychází z procesu digitalizace a automatizace a je doprovázena i změnou pracovních postupů.

Před samotným vyhodnocením procesů, byla testována reliabilita jednotlivých položek dotazníku. Spolehlivost byla zjišťována u oblastí digitalizace, životního cyklu, integrace systémů a robotizace. Tabulka 5 ukazuje analýzu spolehlivosti dotazníkových položek týkajících se klíčových procesů.

Tabulka 5 Spolehlivost (reliabilita) položek dotazníku

Proměnná	Cronbachovo alfa	Standardizovaná alfa	Průměrná meziprvková korelace
Digitalizace	0.896	0.896	0.643
Životní cyklus	0.850	0.854	0.564
Integrace systémů	0.871	0.873	0.587
Robotizace	0.674	0.747	0.401

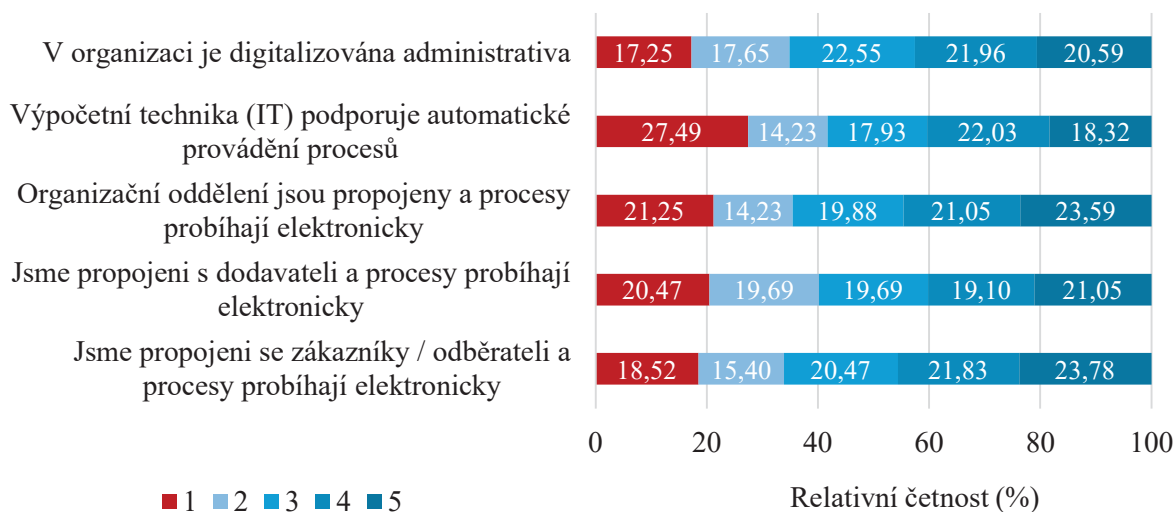
Zdroj: vlastní zpracování

Celkově lze konstatovat, že hodnoty Cronbachovo alfa jsou pro většinu konstruktů poměrně vysoké. Výjimku tvoří konstrukt robotizace, jejíž Cronbachova standardizovaná alfa 0,747 je však stále vyšší než limitní hodnota 0,7. To se také odráží v nižší průměrně mezipoložkové korelaci 0,401, která však stále ukazuje na přijatelnou úroveň koherence položek. Analýza spolehlivosti celkově potvrzuje, že konstrukty digitalizace, životní cyklus a integrace systémů jsou vysoce spolehlivé pro účely výzkumu. Zatímco položky konstruktů robotizace vykazují střední úroveň spolehlivosti. U položek robotizace, je tedy vhodné do budoucna zvážit další zpřesnění nebo přidání dalších položek dotazníku pro zvýšení spolehlivosti.

5.2.1 Digitalizace procesů

Prvním krokem k implementaci Průmyslu 4.0 je digitalizace. Digitální transformace je posuzována v pěti hlavních oblastech. Obrázek 21 zachycuje hodnocení (1 – malý, 5 – velký). Výsledky digitalizace procesů ukazují, že podniky mohou přijímat digitální transformaci v různé míře. Zatímco v administrativních úkonech (22,5 % v kategorii 3) a interakcích s dodavateli a zákazníky (23,8 % hodnocení 5) je patrný určitý pokrok směrem k digitalizaci, ve vnímání IT podpory automatizovaného zpracování stále zůstávají rezervy (27,5 % hodnocení 1). Je patrné, že existují podniky, ve kterých výpočetní technika neslouží k automatizaci procesů, ale spíše k podpoře běžné práce. Na druhou stranu jsou podniky ochotny spolupracovat se zákazníky prostřednictvím digitálních kanálů ve snaze uspokojit přání zákazníků. Tyto rozdíly poukazují na potenciální oblasti pro strategické vylepšení, aby se dosáhlo harmoničtějšího přijetí digitalizace. Příklon k elektronickému propojení útvarů, které je v digitalizaci silnější oblastí (23,6 % v kategorii 5), je pozitivním znakem vnitřní organizační synergie v digitální oblasti. Výsledky průzkumu potvrzují probíhající cestu digitální transformace a ukazují, kde mají podniky rezervy.

Obrázek 21 Vyhodnocení digitalizace procesů (v %)

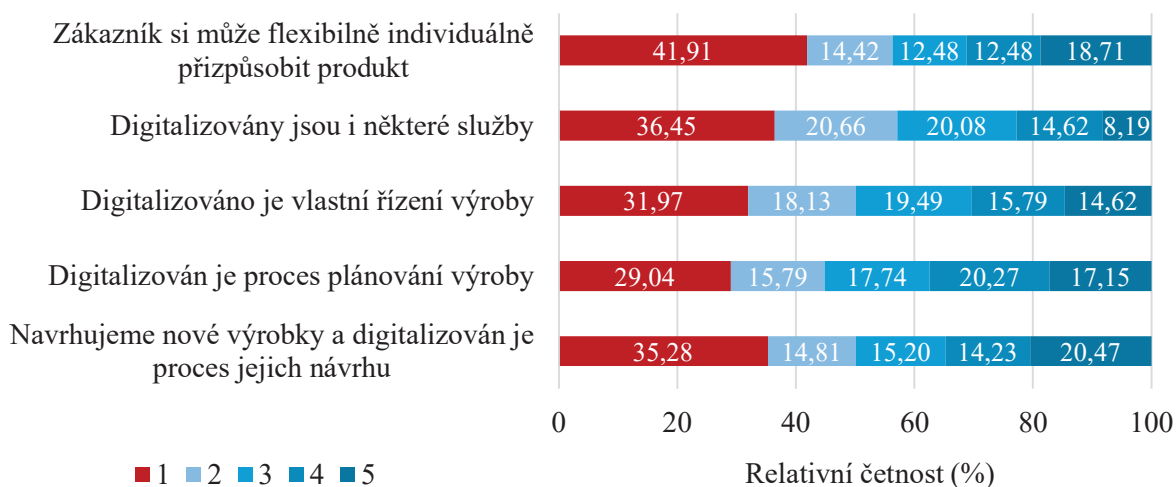


Zdroj: vlastní zpracování

5.2.2 Digitalizace životního cyklu

Speciální oblast digitalizace se vztahuje k životnímu cyklu výrobku od jeho návrhu, přes vývoj, výrobu až po dodání zákazníkovi. Obrázek 22 graficky znázorňuje míru digitalizace v různých fázích životního cyklu výrobku, jak ji vnímají účastníci průzkumu. Každá z položek je rozdělena do pěti barevně odlišených kategorií na základě hodnotící škály od 1 do 5 (1 – malé, 5 – velké). Ve srovnání digitalizací základních procesů, je u životního cyklu patrné, že existuje více podniků, které tuto oblast nemají příliš rozvinutou.

Obrázek 22 Vyhodnocení digitalizace životního cyklu (v %)



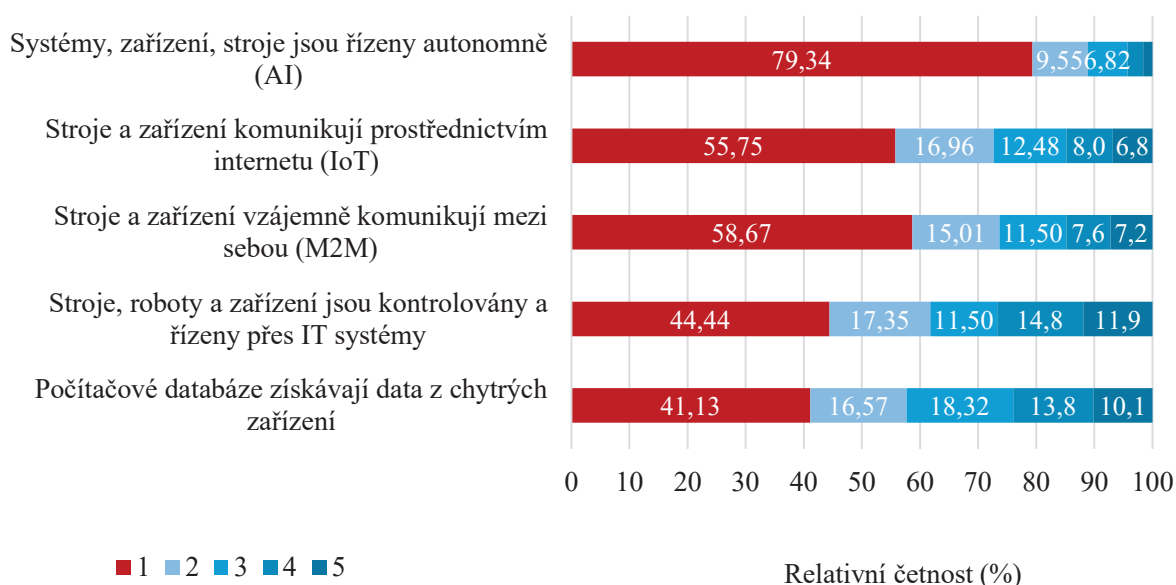
Zdroj: vlastní zpracování

Nejvýznamnějším zjištěním z digitalizace v různých fázích životního cyklu výrobku jsou možnosti zlepšování a rezervy v oblasti nástrojů pro přizpůsobení zákazníkům (41,9 % v hodnocení 1) či digitalizace služeb (36,5 % pro hodnocení 1). Tento výsledek naznačuje, že mezi současnou digitální nabídkou a potenciálem personalizovanější zákaznické zkušenosti existuje výrazná propast. Naopak návrh nových produktů je digitalizován nejvíce (20,5 % hodnocení 5). Údaje naznačují situaci, kdy některé společnosti mohou vynikat v začleňování digitalizace do svých inovačních procesů, zatímco jiné se stále potýkají s integrací digitálních technologií do zákaznických a provozních procesů. Digitalizace procesu plánování výroby je ve srovnání s digitalizací vlastního řízení na vyšší úrovni. Toto hodnocení poukazuje na potenciální oblasti, na které mohou podniky zaměřit své úsilí o digitální transformaci, aby zvýšily efektivitu a splnily očekávání zákazníků.

5.2.3 Integrace systémů

Další část implementace Průmyslu 4.0 se vztahuje k vertikální integraci systémů, tj. propojení senzorů, strojů a zařízení navzájem a také s vnitřními IS/IT systémy v podniku. Obrázek 23 znázorňuje vnímané přínosy integrace systémů podle hodnocení respondentů. Graf je rozdělen do pěti různých kategorií, z nichž každá odpovídá jinému aspektu systémové integrace (1 – malé, 5 – velké). Výsledky ukazují na stále nízkou úroveň implementace autonomních systémů založených na umělé inteligenci.

Obrázek 23 *Vyhodnocení integrace systémů*



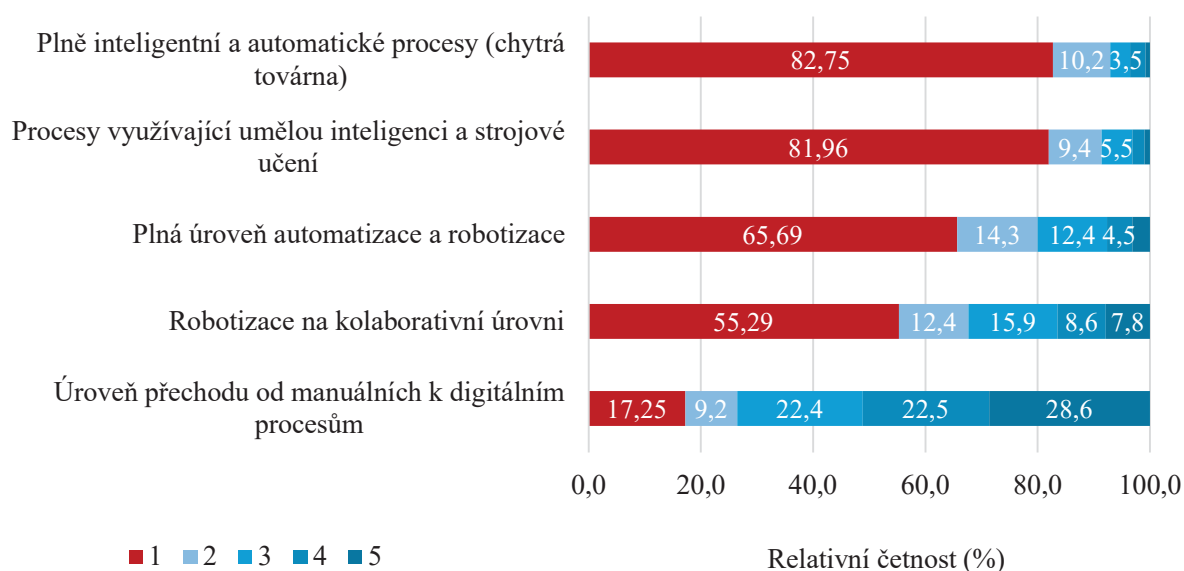
Zdroj: vlastní zpracování

Souhrnně lze říci, že údaje z průzkumu ukazují na velké rezervy v integraci systémů. Využití umělé inteligence je v podnicích stále na nízké úrovni (79,3 % hodnocení 1). Výsledky tedy naznačují, že současný trend k zavádění AI pro autonomní správu systémů se zatím neprojevil. Podobné je to ve využívání technologií internetu věcí (55,8 % hodnocení 1), M2M (58,7 % hodnocení 1) či řízení přes IT systémy (44,4 % hodnocení 1) i získávání dat z chytrých zařízení. To limituje budoucí využití autonomních, propojených, na datech založených pokročilejších technologií. Ukazuje se, že zpracovatelský průmysl je v této oblasti stále ještě na startovní čáře a digitální transformace do této fáze ještě nepokročila. Na druhou stranu jsme v současnosti svědky nových trendů a posunu směrem k inteligentnější a efektivnější integraci systémů. Ačkoli je úroveň přijetí stále na počátku, trendy naznačují obrysy budoucnosti nových technologií.

5.2.4 Automatizace a robotizace

V oblasti automatizace a robotizace byly na základě průzkumu odhaleny významné poznatky o současném stavu jejich zavádění. Obrázek 24 zachycuje hodnocení úrovně automatizace a robotizace v rámci různých procesů, jak ji uvedli respondenti průzkumu. Nabízí vizualizaci míry zavedení automatizace a robotizace, rozdělenou do pěti různých úrovní od manuálních procesů až po plně inteligentní a automatické systémy. Je nutné konstatovat, že z hlediska robotizace se podniky stále drží spíše stranou technologického rozvoje.

Obrázek 24 *Výhodnocení automatizace a robotizace*



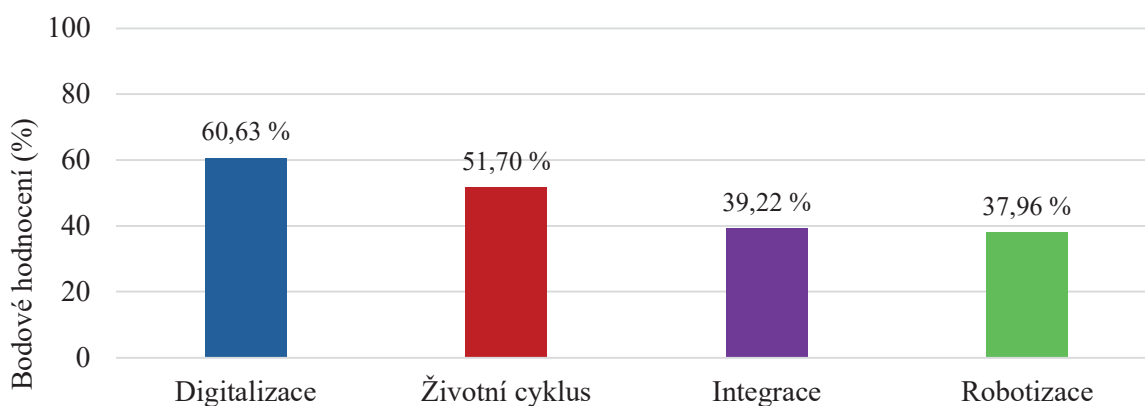
Zdroj: vlastní zpracování

Oblast automatizace a robotizace procesů vykazuje nízké hodnocení z hlediska připravenosti a implementace moderních technologií. Velké využití mají v továrnách stále manuální procesy (pouze v 17,3 % se nevyužívají). Tradiční procesy a operace u mnoha podniků přetrvávají. Nicméně, u části podniků byly již manuální procesy částečně digitalizovány. Nejrozšířenějším typem automatizace je v současnosti kolaborativní robotika (7,8 % hodnocení 5), charakterizovaná technologiemi určenými k práci po boku lidské obsluhy. Celkově je však zřejmé, mnoho podniků inteligentní procesy, umělou inteligenci, automatizaci i robotizaci nevyužívá. V České republice je pouze mizivé procento plně inteligentních továren. Můžeme tedy konstatovat, že tento typ technologií není zatím příliš rozšířen. Moderní technologie však mají velký potenciál a současné trendy mohou tuto situaci zvrátit.

5.2.5 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0

Pokud sečteme dohromady dosažené bodové skóre za každou z procesních oblastí Průmyslu 4.0, pak dostaneme celkový přehled o implementaci. Obrázek 25 poskytuje přehled tohoto souhrnného hodnocení. Jednotlivé sloupce vizualizují, které aspekty Průmyslu 4.0 již zaznamenaly větší pokrok, a na které je možná třeba se více zaměřit při další implementaci.

Obrázek 25 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0



Zdroj: vlastní zpracování

Digitalizace

Digitalizace je v implementaci Průmyslu 4.0 vedoucí oblastí s hodnocením 60,63 %, což signalizuje vyšší úroveň zavádění digitálních technologií. Tato oblast zahrnuje transformaci obchodních modelů pomocí inovativních digitálních řešení, a to jak v oblasti administrativy, automatizace procesů, propojení jednotlivých útvarů, dodavatelů či zákazníků. Silná pozice v této oblasti je základem pro další rozvoj koncepce Průmysl 4.0. Bez této úrovně se další navazující zavádějí velice obtížně. Z tohoto důvodu je digitalizace prvním krokem k Průmyslu 4.0.

Životní cyklus

Digitalizace životního cyklu dosáhla průměrného skóre 51,70 %. To ukazuje na střední úroveň implementace. Tato úroveň (někdy označovaná jako integrace všech inženýrských procesů v rámci životního cyklu produktu) zahrnuje proces návrhu a přizpůsobení výrobku, plánování a řízení výroby a poskytování služeb zákazníkům. Digitalizace umožňuje logické propojení těchto procesů a jejich postupnou automatizaci. Je nezbytné, aby se podniky soustředily nejen na počáteční fáze návrhu a výroby, ale také na zajištění toho, aby byly zákazníkům poskytovány moderní digitální služby. Ty mohou také zahrnovat sledování produktu až do ukončení jeho životnosti, tak aby se minimalizoval jeho dopad na životní prostředí.

Integrace systémů

Integrace systémů je již hodnocena pouze 39,22 %, což ukazuje na podprůměrnou úroveň míry implementace Průmyslu 4.0. Ačkoli existují důkazy o pokroku v digitalizaci, toto skóre naznačuje, že dosažení plynulého toku informací a dat mezi různými digitálními systémy a procesy by se mohlo zlepšit. Efektivní integrace je klíčem k uvolnění plného potenciálu Průmyslu 4.0, protože usnadňuje harmonickou interakci mezi různými zařízeními a umožňuje pokročilejší analýza dat, řízení dodavatelského řetězce či procesy orientované na zákazníka. Pro zlepšení v této oblasti je zapotřebí společné úsilí o zavedení standardů interoperability (pro komunikaci M2M), podporu sdílení dat napříč platformami a vytvoření soudržnějšího technologického ekosystému. Pak mohou být implementovány vyšší úrovně řízení pomocí umělé inteligence.

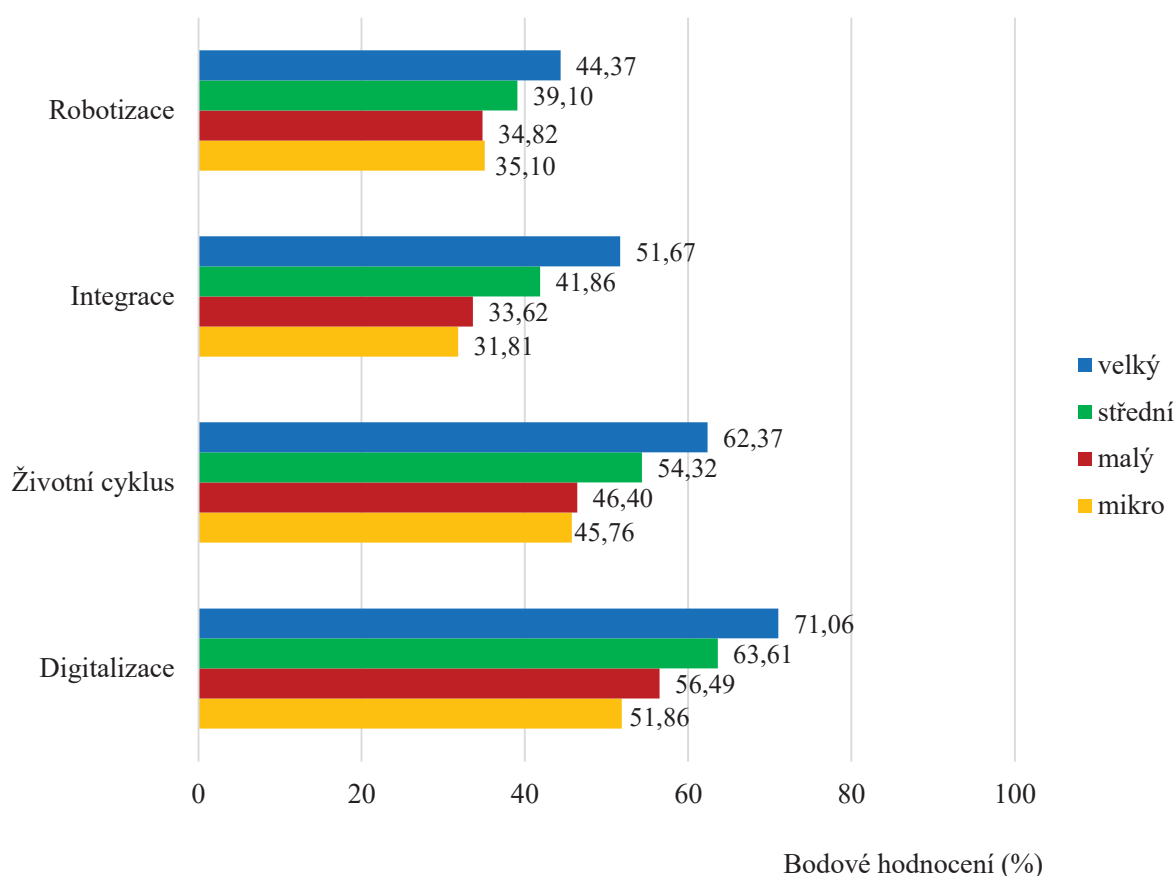
Automatizace a robotizace

Robotizace získala nejnižší skóre 37,96 %. To naznačuje, že tato oblast může být v počátečních fázích implementace nebo jí není věnována taková pozornost jako jiným oblastem v rámci současného prostředí Průmyslu 4.0. Navzdory tomu nelze význam robotiky podceňovat, neboť má zásadní význam pro automatizaci úkolů, zvýšení přesnosti a zlepšení efektivity výroby a přechodu od manuálních procesů k digitálním. Nízké skóre může naznačovat strategické rozhodnutí alokovat zdroje do oblastí, které jsou v současnosti považovány za významnější, nebo potřebu širšího uznání přínosů, které robotika může přinést. Pro pokrok v této oblasti mohou podniky více investovat do robotických technologií a školení dovedností. Tím mohou zajistit, aby robotika byla integrována způsobem, který doplňuje a posiluje lidskou práci, a ne ji pouze nahrazuje. Ostatně kolaborativní roboty mohou být příkladem této spolupráce.

5.2.6 Vliv velikosti a odvětví na procesní oblasti Průmyslu 4.0

U jednotlivých procesních oblastí Průmyslu 4.0 byl dále testován vliv velikosti podniku a odvětví podniku. Velké podniky mají konkurenční výhodu vyplývající z lepší dostupnosti zdrojů, malé mohou těžit z flexibility. Některá odvětví jsou více technologicky náročná a vyžadují více zapojení moderních technologií. Obrázek 26 zachycuje hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0 podle velikosti podniků. Výsledky zobrazené ve sloupcovém grafu odhalují míru integrace čtyř kritických procesních oblastí: digitalizace, robotizace, integrace systémů, digitalizace životního cyklu. Skóre každé procesní oblasti je znázorněno svislým pruhem různých barev.

Obrázek 26 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0 dle velikosti



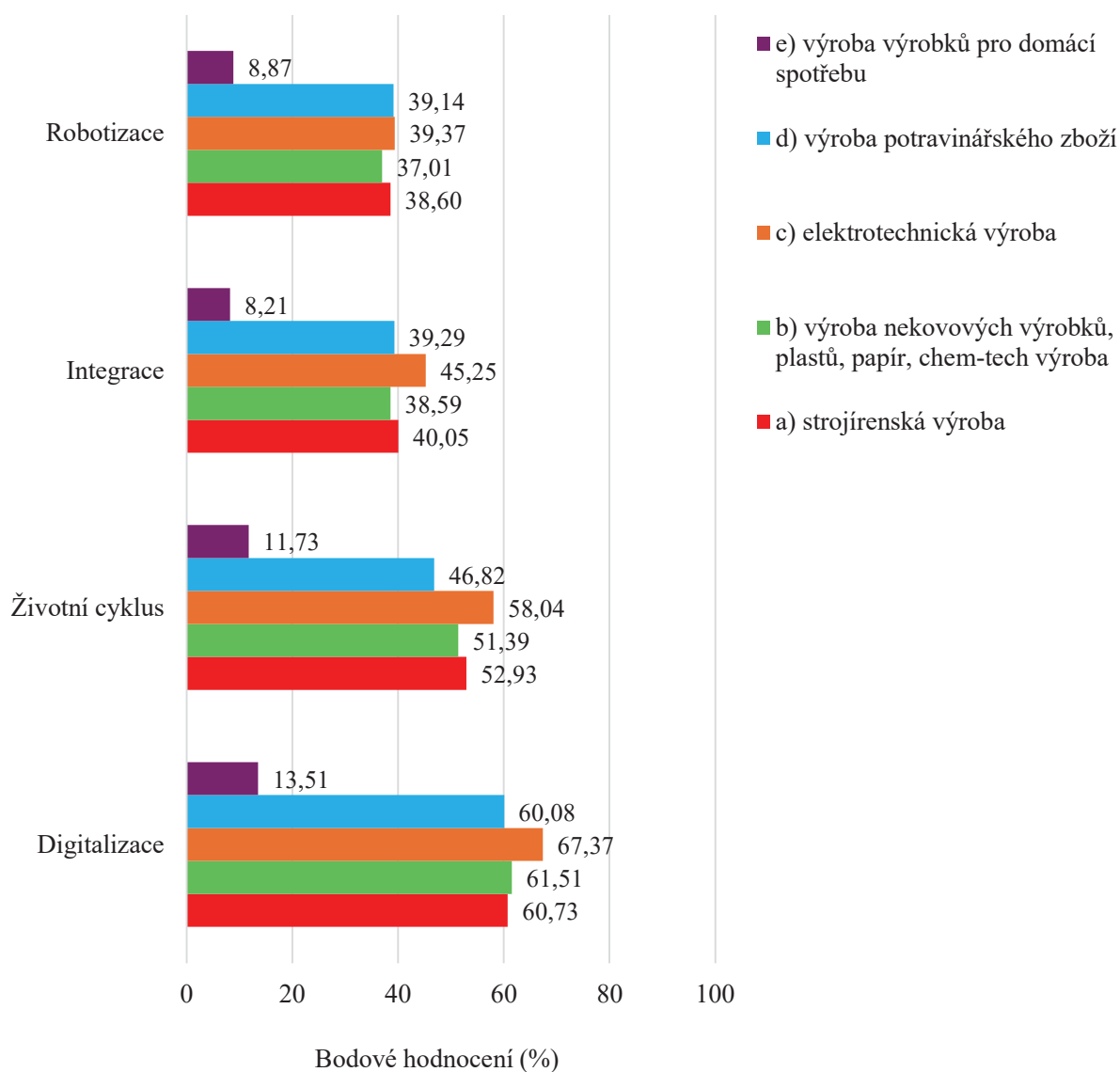
Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledků je patrné, že digitalizace dominuje bez ohledu na velikost podniků. Nejvyššího skóre dosáhla u všech velikostí podniků, nejvíce (71,06 %) u velkých podniků. To odráží jejich konkurenční výhodu a strategickou prioritu digitální infrastruktury. Podobně je hodnocena u podniků pořadí digitalizace životního cyklu. I v tomto případě ji všechny podniky shodně hodnotili v druhém pořadí. Rozdíl je patrný v hodnocení pořadí (priority) integrace systémů

a robotizace. U velkých (44,37 %) a středních podniků (39,10 %) je nejhůře hodnocena oblast robotizace. Naopak v malých (33,62 %) a mikro podnikcích (31,38 %) nejhůře hodnotí integraci systémů. Z pohledu na dosažené skóre v jednotlivých procesních oblastech je také zřejmé, že nejméně rozdílů najdeme mezi mikro a malými podniky. Jejich hodnocení různých oblastech je téměř totožné.

Obrázek 27 zachycuje výsledky souhrnné analýzy oblastí Průmyslu 4.0, měřeno v procentech na sloupcovém grafu rozděleného podle odvětví zpracovatelského průmyslu. Jedná se o tyto dílčí odvětví: strojírenství, elektrotechniku, výrobu potravin, výrobu zboží pro domácí spotřebu a ostatní odvětví (kovové výrobky, plasty, výrobu papíru, chemicko-technickou výrobu).

Obrázek 27 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0 dle odvětví



Zdroj: vlastní zpracování

Vysoká úroveň digitalizace zvyrazňuje meziodvětvový trend směrem k digitální transformaci a uznání klíčové role digitalizace při udržení konkurenceschopnosti. Z výsledků je patrné, že nejvyššího skóre ve všech sledovaných procesních oblastech Průmyslu 4.0 dosahuje odvětví elektrotechnické výroby. Ta je také metodicky zařazena mezi tzv. sektory vysoce technologicky náročné. Z tohoto pohledu tedy nejsou výsledky překvapivé. Zajímavější je skóre digitalizace u odvětví výroby nekovových výrobků, plastů, papíru a chemicko-technologické výroby, které dosahuje vyššího skóre (61,51 %) než strojírenská výroba (60,73 %). Jinak totiž strojírenská výroba nad tímto odvětvím dominuje. Nejhůře je pak hodnocena ve všech procesních oblastech výroba spotřebního zboží, tedy sektor s nízkou technologickou náročností.

Závěry

Výsledky naznačují vliv velikosti a odvětví podniku na implementaci procesů. Větší podniky dosahují vyšší skóre v procesních oblastech. Na druhou stranu malé a mikro podniky na rozdíl od velkých a středních podniků mají odlišné slabé místo. Podniky se liší v dosaženém pořadí prisuzovanému robotizaci a integraci systémů. Podobná je situace také v jednotlivých odvětvích, kde v Průmyslu 4.0 dominuje odvětví elektrotechnické výroby, naopak nejméně je rozšířen v odvětví výroby výrobků pro domácí spotřebu. Tyto výsledky vyplývají z rozdílů v technologické intenzitě a náročnosti odvětví.

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu velikosti podniku a odvětví na jednotlivé procesní oblasti Průmyslu 4.0 byla využita ANOVA, případně její neparametrická alternativa.

a) Digitalizace procesů

Hypotéza H1:

- H_{10} (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace procesů podle různých velikostí podniků a odvětvích.
- H_{1A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace procesů podle různých velikostí podniků a odvětvích.

Nejprve je nutné otestovat předpoklady pro využití ANOVA. Ze Shapiro-Wilkova testu vyplývá, že předpoklad normality je porušen ($W = 0,985$, $p = 0,000$). Leveneův test neukazuje na heteroskedasticitu pro celkový efekt ($F = 0,742$; $p = 0,776$) a odvětví ($F = 0,148$; $p = 0,964$). Nicméně homoskedasticita nebyla prokázána pro velikost podniků ($F = 3,170$; $p = 0,024$). S větší velikostí vzorku mohou i malé odchylky od normality způsobit, že parametrické testy jako ANOVA jsou nevhodné a neparametrické testy jsou spolehlivější. Proto byly využity neparametrické alternativy ANOVA, konkrétně Schreierův-Ray-Hareův test.

Při hodnocení vlivu odvětví a velikosti podniku na digitalizaci procesů byl použit Scheirerův-Ray-Hareův test (tabulka 6) z důvodu porušení předpokladu normality a homogenity rozptylů. Hodnota rozptylu je extrémně blízká jedné ($D = 0,997$), což naznačuje, že data jsou téměř dokonale rovnoměrně rozložena v jednotlivých kategoriích. To je poměrně vzácné a svědčí to o velmi vysoké míře konzistence napříč pozorováními. Výsledky ukázaly, že odvětví nemá statisticky významný vliv na digitalizaci ($p = 0,300$). Naproti tomu velikost podniku se projevila podstatným vlivem ($p < 0,001$). Interakce mezi odvětvím a velikostí naznačovala potenciální vzájemné působení ($p = 0,072$), ale na hladině alfa 0,05 nedosáhla statistické významnosti.

Tabulka 6 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro „digitalizaci procesů“

	<i>Df</i>	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
Odvětví	4	4,880	0,300	
Velikost	3	32,147	0,000	***
Odvětví:velikost	12	19,767	0,072	
Rezidua	497			

Zdroj: vlastní zpracování

Následné post-hoc testy (tabulka 7) byly provedeny prostřednictvím párového srovnání za účelem dalšího rozlišení vlivu velikosti podniku na procesy digitalizace. Tyto testy objasnily významné rozdíly mezi různými velikostními kategoriemi: mikro versus střední organizace ($p = 0,004$), malé versus střední ($p = 0,046$), mikro versus velké ($p < 0,001$) a malé versus velké ($p < 0,001$). Výsledky naznačují rozdíly v úrovni digitalizace procesů podle velikosti podniků. V tomto případě trend, kdy větší velikost organizace odpovídá vyšší míře digitalizace procesů.

Tabulka 7 Post-Hoc testy pro „digitalizaci procesů“

Porovnání skupin	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>p.adj</i>	Sig.
mikro – střední	-3,433	0,001	0,004	**
malý – střední	-2,663	0,008	0,046	*
mikro – velký	-5,290	0,000	0,000	***
malý – velký	-4,886	0,000	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

b) Digitalizace životního cyklu

Hypotéza H2:

- H₂₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace životního cyklu podle různých velikostí podniků a odvětvích.
- H_{2A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 digitalizace životního cyklu podle různých velikostí podniků a odvětvích.

Na základě analýzy rozložení dat a rozptylu zkoumáme klíčové předpoklady homogenity rozptylu a normality reziduí. Vzhledem k významnému výsledku Shapiro-Wilkova testu normality ($W = 0,981$; $p = 0,000$) se zdá, že předpoklad normality byl porušen. Hodnoty Leveneova testu pro celkový efekt ($F = 0,579$; $p = 0,922$), odvětví ($F = 0,570$; $p = 0,684$) a velikost ($F = 0,450$; $p = 0,718$) podniku jsou vysoko nad obvyklou hranicí 0,05, což naznačuje, že mezi skupinami vymezenými těmito faktory nejsou významné rozdíly v rozptylech. Vzhledem k tomu, že při velkém objemu dat očekáváme tendenci k normálnímu rozdělení, byla zvolena ANOVA. Nicméně pro porovnání byla vypočtena i neparametrická verze výsledků (Příloha 3).

Analýza rozptylu (obrázek 22) byla provedena za účelem zjištění vlivu průmyslového odvětví a velikosti organizace na průběh digitalizace životního cyklu v podnicích. Hlavní vliv odvětví průmyslu byl mírně nesignifikantní ($F = 3,593$; $p = 0,059$), což naznačuje mírný, ale ne statisticky významný vliv odvětví na digitalizaci. Naopak velikost podniku přinesla výrazný efekt ($F = 32,973$; $p < 0,001$), což potvrzuje jeho podstatnou roli v procesu digitalizace. Interakce mezi sektorem a velikostí nebyla statisticky významná ($F = 0,230$; $p = 0,632$). Celková statistika ($F = 3,157$ s hodnotou $p = 0,000$) potvrzuje model. Nicméně model vysvětlil menší část rozptylu ($R = 0,108$), což naznačuje, že životní cyklus v organizacích mohou ovlivňovat i jiné faktory.

Tabulka 8 Analýza rozptylu pro „digitalizaci životního cyklu“

	<i>Df</i>	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
Odvětví	1	3,593	0,059	
Velikost	1	32,973	0,000	***
Odvětví:velikost	1	0,230	0,632	
Rezidua	513			

Zdroj: vlastní zpracování

Post-hoc srovnání (tabulka 9) se zaměřilo na rozdíly mezi podniky z hlediska jejich velikosti. Tabulka 9 zobrazuje pouze statisticky významné rozdíly. Mikropodniky ve svém úsilí o digitalizaci životního cyklu významně zaostávají za středními ($p = 0,036$) a velkými podniky ($p < 0,000$). Podobný trend byl zjištěn u malých podniků, které jsou méně digitalizované než střední ($p = 0,010$) a velké podniky ($p < 0,001$). Kromě toho byl významný i rozdíl v digitalizaci mezi středními a velkými podniky ($p = 0,041$), což podporuje vliv velikostí podniku. Tato zjištění potvrzují, že větší organizace mají lepší předpoklady nebo větší pravděpodobnost přijmout a integrovat digitální procesy v celém svém životním cyklu.

Tabulka 9 Post-Hoc testy pro „digitalizaci životního cyklu“ ($n = 507$)

Porovnání skupin	Z	p	p.adj	Sig.
mikro – střední	-2,760	0,006	0,036	*
mikro – velký	-4,870	0,000	0,000	***
malý – střední	-3,150	0,002	0,010	*
malý – velký	-5,550	0,000	0,000	***
střední – velký	-2,720	0,007	0,041	*

Zdroj: vlastní zpracování

c) Integrace systémů

Hypotéza H3:

- H₃₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 integrace systémů podle různých velikostí podniků a odvětvích.
- H_{3A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 integrace systémů podle různých velikostí podniků a odvětvích.

Vzhledem k výsledkům diagnostických testů nemusí být předpoklady požadované pro ANOVA zcela splněny. Shapiro-Wilkův test potvrzuje hodnotu p menší než 0,05 ($W = 0,951$; $p = 0,000$), což znamená, že rezidua nejsou normálně rozdělena. Leveneův test rovnosti rozptylů dokládá významné rozdíly na $p < 0,05$. To naznačuje, že rozptyly nejsou ve skupinách shodné ($F = 1,890$; $p = 0,013$), ani pro obor ($F = 2,890$; $p = 0,022$) a velikost ($F = 7,670$; $p = 0,000$). Zpochybněna je tedy normalita i homogenita rozptylů a bude využito neparametrických testů.

Vzhledem k nenormálnímu rozdělení závislé proměnné, byl použitý Scheirerův-Ray-Hareův test (tabulka 10). Hodnota rozptylu je extrémně blízká 1 ($D = 0,975$), což naznačuje, že data jsou téměř dokonale rovnoměrně rozložena v různých kategoriích. Faktor odvětví nevykazoval významný vliv na integraci systémů ($H = 5,340$; $p = 0,254$). Odvětví tedy není určujícím faktorem v rámci sledovaného souboru dat. Naproti tomu faktor velikost podniku vykazoval významný vliv ($H = 63,369$; $p < 0,001$). Je zřejmé, že velikost podniku hraje rozhodující roli. Na druhou stranu interakce mezi odvětvím a velikostí podniku nebyla významná ($H = 6,424$; $p = 0,893$).

Tabulka 10 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro „integraci systémů“

	Df	H	p	Sig.
Odvětví	4	5,340	0,254	
Velikost	3	63,369	0,000	***
Odvětví:velikost	12	6,424	0,893	
Rezidua	497			

Zdroj: vlastní zpracování

V post-hoc analýze byla provedena párová srovnání, aby se objasnily rozdíly v integraci systémů mezi různě velkými skupinami podniků. Významné rozdíly byly zjištěny při porovnání mikro a středních podniků ($Z = -4,687$, upravené $p < 0,001$), malé a střední podniky ($Z = -4,133$, upravené $p < 0,001$), mikro a velké podniků ($Z = -6,944$, upravené $p < 0,001$) a malé a velké podniky. ($Z = -6,774$, upravené $p < 0,001$). To svědčí o výrazně vyšší úrovni integrace s rostoucí velikostí podniků. Navíc při porovnání velikostí střední a velké byl zjištěn mírný, ale významný rozdíl ($Z = -3,080$, adjustované $p = 0,012$), což posiluje trend, že ve velkých podnicích je vyšší úroveň integrace systémů.

Tabulka 11 Post-Hoc testy pro „integraci systémů“

Porovnání skupin	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>p.adj</i>	Sig.
mikro – střední	-4,687	0,000	0,000	***
malé – střední	-4,133	0,000	0,000	***
mikro – velké	-6,944	0,000	0,000	***
malé – velké	-6,774	0,000	0,000	***
střední – velké	-3,080	0,002	0,012	*

Zdroj: vlastní zpracování

d) Robotizace a automatizace

Hypotéza H4:

- H4₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 robotizace a automatizace podle různých velikostí podniků a odvětvích.
- H4_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení procesní oblasti Průmyslu 4.0 robotizace a automatizace podle různých velikostí podniků a odvětvích.

Nejprve byly testovány předpoklady ANOVA analýzy. Shapiro-Wilkova testovací statistika (W) je 0,958, ale hodnota p je 0,000, což znamená, že rezidua nemají normální rozdělení. Z výsledků testu homogenity rozptylů, vyplývá, že rozptyly jsou homogenní ($p > 0,05$). To platí pro celý efekt ($F = 1,240$; $p = 0,218$) a odvětví ($F = 0,653$; $p = 0,625$). V případě rozptylu u faktoru velikost ($F = 4,460$; $p = 0,004$) je však hodnota p významná, což naznačuje, že rozptyly nejsou ve skupinách vymezených velikostí stejné. Vzhledem k tomu, že byla narušena normalita i částečně homoskedasticita v datech, nelze zaručit splnění předpokladů pro ANOVA analýzu. Z toho vyplývá použití neparametrických testů.

Použitím Scheirer-Ray-Hareova testu, neparametrické obdoby dvoucestné ANOVY, byl posuzován vliv kategoriálních nezávislých proměnných na závislou proměnnou (tabulka 12). Analýza přinesla hodnotu $p = 0,664$ pro faktor odvětví, což naznačuje, že mezi různými obory není významný rozdíl v robotizaci a automatizaci. Naopak faktor velikost podniku vykazoval

hodnotu p nižší než 0,001, což naznačuje významné rozdíly v robotizaci a automatizaci v závislosti na velikosti zkoumaných subjektů. Interakční člen postrádá přítomnost významného interakčního efektu. Zjištěná hodnota Cohenova $D = 0,982$ ukazuje výraznou velikost účinku, a tedy výraznější rozdíl mezi porovnávanými skupinami.

Tabulka 12 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro oblast „robotizace“

	<i>Df</i>	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
Odvětví	4	2,392	0,664	
Velikost	3	31,189	0,000	***
Odvětví:velikost	12	11,882	0,455	
rezidua	497			

Zdroj: vlastní zpracování

Dále byly provedeny post-hoc analýzy, aby byla zjištěna přesná povaha těchto rozdílů. Zejména srovnání mezi kategoriemi malý a střední odhalilo záporné Z skóre a upravenou hodnotu $p = 0,005$, což potvrdilo významný rozdíl mezi oběma velikostními skupinami. Stejně tak srovnání zahrnující kategorie mikro a velký a malý a velký přineslo hodnoty p menší než 0,001, což jednoznačně potvrzuje závěr, že větší subjekty jsou více robotizované a automatizované než jejich menší protějšky. Tato zjištění objasňují trend, kdy nárůst velikosti subjektu pozitivně ovlivňuje úroveň robotizace díky schopnostem větších subjektů investovat do těchto technologií.

Tabulka 13 Post-Hoc testy pro oblast „robotizace a automatizace“

Porovnání skupin	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>p.adj</i>	Sig.
malý – střední	-3,317	0,001	0,005	**
mikro – velký	-4,276	0,000	0,000	***
malý – velký	-5,182	0,000	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

Závěry

Výsledky naznačují, že velikost podniku je klíčovým faktorem určujícím úroveň digitalizace podnikových procesů, životního cyklus, integrace systémů i robotizace a automatizace. Je zřejmé, že větší podniky investují více do implementace technologií a podporují digitalizaci i v rámci procesů ovlivňujících životní cyklus výrobku či robotizace. Oproti původním předpokladům postrádalo odvětví významný přímý vliv. Interakční člen však vybízí k budoucímu zkoumání, jakým způsobem mohou odvětví a velikost společně ovlivňovat procesní oblasti Průmyslu 4.0. Souhrnně tato zjištění poukazují na nutnost strategií, které zohledňují rozsah činnosti organizací. Intervence zaměřené na posílení digitalizace, automatizace a robotizace by měly být pro svou účinnost přizpůsobeny velikosti organizace.

5.3 Technologie Průmyslu 4.0

Kromě procesů, byla dále analyzována také úroveň zavádění technologií Průmyslu 4.0. Přehled sledovaných technologií vychází z uskutečněných výzkumů a literatury (blíže viz metodika).

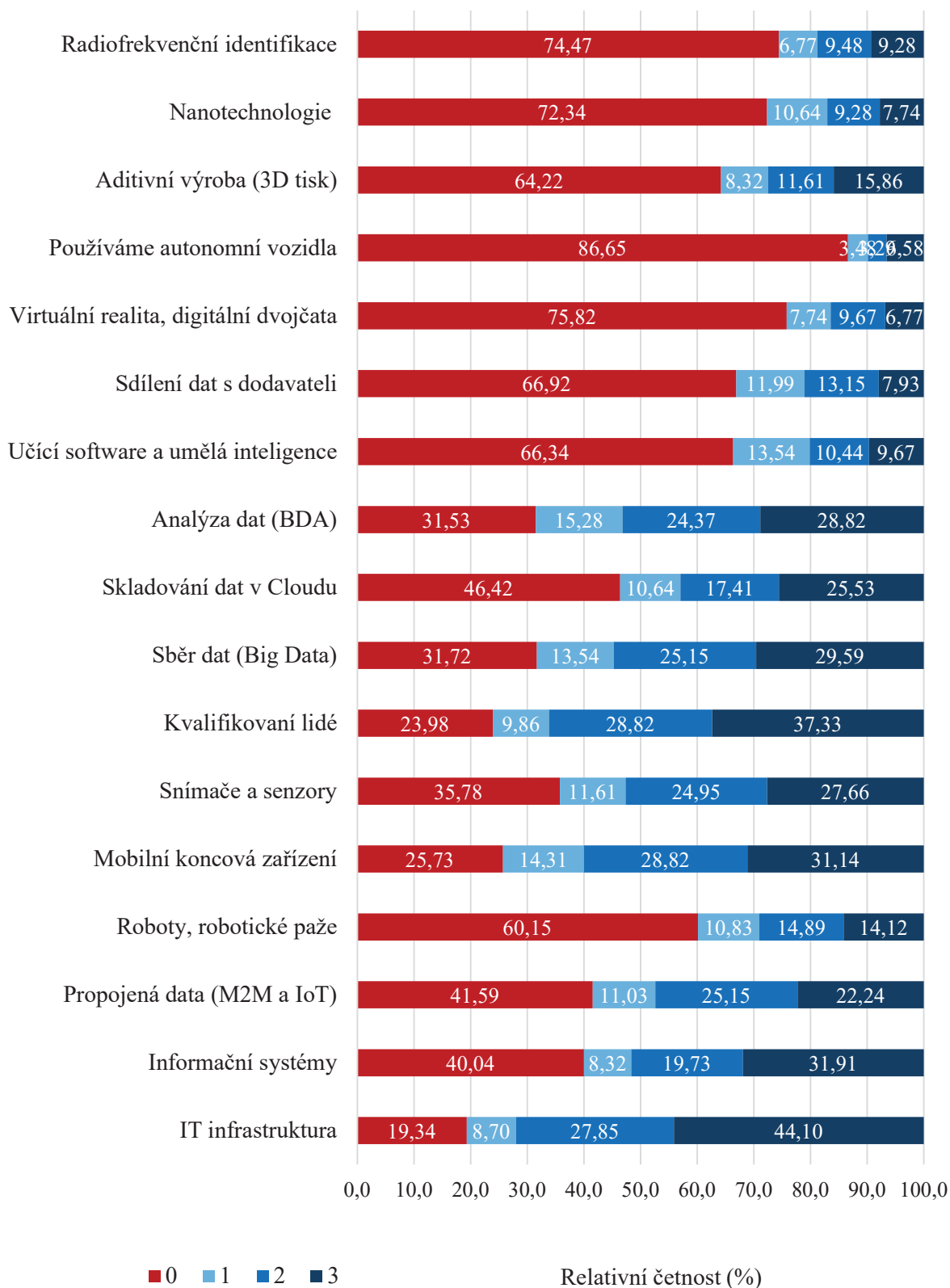
5.3.1 Zhodnocení zavádění technologií Průmyslu 4.0

Na základě výsledků dotazníkového šetření byla zhodnocena míra zavádění technologií Průmyslu 4.0 v podnicích zpracovatelského průmyslu. Obrázek 28 zachycuje relativní četnosti v procentech v pruhovém grafu (hodnotící stupnice využívání technologií: 0 – nemáme, 1 – zavádíme, 2 – máme částečně, 3 – máme funguje).

Na jedné straně je patrné nedostatečné využívání nejmodernějších technologií, jako je RFID, nanotechnologie, 3D tisk, virtuální realita, autonomní vozidla, robotika, sdílení dat s dodavateli a učící se software (AI), což naznačuje značnou mezeru v implementaci. Virtuální realitu a autonomní vozidla celých 75,8 %, resp. 86,7 % podniků je zatím neimplementovalo. 3D tisk, nabízející možnosti výroby na míru, je plně zaveden pouze v 8,3 % subjektů, přičemž 64,2 % nedokáže využít jeho možností. RFID nemá 74,5 % podniků zavedenou komplexně. Nasazení nanotechnologií a nových materiálů je plně realizováno pouze v 10,6 % podniků, přičemž 72,3 % organizací dosud nevyužívá jejich výhody. Využití robotů stále omezené, v 10,8 % s plnou funkčností a v 60,2 % s žádnou mírou implementace. Nicméně podle IFR (Wessling, 2024) je Česká republika nad světovým průměrem. Sdílení dat s dodavateli vykazuje podobný vzorec, pouze 12,0 % jej plně využívá, zatímco 66,9 % nikoli. Dále učící se software (a AI) není v 66,3 % podnicích implementováno. Jeho míra zavádění je pouze 9,7 % podniků. Ostatně tato čísla potvrzuje například výzkum MNFORCE (Seyfor, 2024), podle kterého jen 10 % z oslovených hodnotí své zkušenosti s ChatGPT jako extrémně dobré.

Na druhou stranu některé technologie, jako je IT infrastruktura, vhodně proškolený kvalifikovaný personál, informační systémy, sběr a analýza dat zaznamenaly širší přijetí, což odráží jejich klíčovou roli v moderních výrobních procesech. Za klíčovou technologii můžeme označit zejména IT infrastrukturu, která se byla úplně implementována v 44,1 % podniků. Stejně významné jsou také vysoce kvalifikované lidské zdroje (37,3 %). Ve vysoké míře jsou také zavedeny v podnicích informační systémy, které dosáhly 31,9 % míry plné integrace. Významnou roli hrají mobilní koncová zařízení, která dosáhla 31,1 % míry přijetí, což odráží trend zvyšování agility pracoviště prostřednictvím přenosných technologií. Podobně propojená data (M2M) vykazují 22,2 % míru plné integrace. Kromě toho Cloudové úložiště dat plně využívá 25,5 % respondentů. Technologie sběru a analýzy dat plně integruje 29,6 %, resp. 28,8 % podniků. Tyto technologie podporují snahu o využití dat pro řízení a optimalizaci procesů.

Obrázek 28 Relativní četnosti technologií Průmyslu 4.0 (v %)



Zdroj: vlastní zpracování

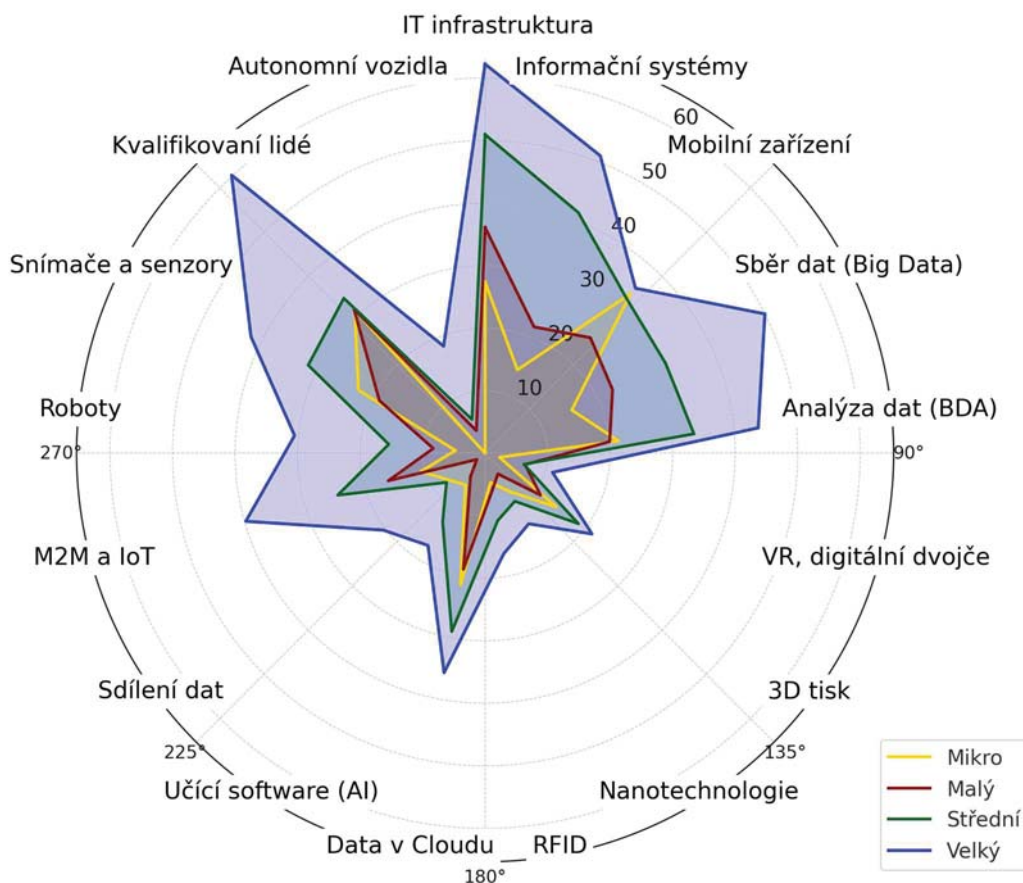
5.3.2 Vliv velikosti a odvětví podniku na využívání technologií

V této části budou analyzovány výsledky s ohledem na velikost a odvětví podniků.

a) Vliv velikosti podniku na využívání technologií

Dále byl posuzován vliv velikosti podniku na využívání technologií Průmyslu 4.0. Obrázek 29 ukazuje rozdíly v implementaci moderních technologií v podnicích dle velikosti. Nejvíce jsou technologie Průmyslu 4.0 implementovány ve velkých podnicích, naopak nejméně v mikro podnicích. Je zřejmé, že větší podniky mají tendenci zavádět více technologií. Toto rozložení zavedených technologií je přímo úměrné velikosti podniků. V obrázcích nalezneme tento trend prakticky u všech sledovaných technologií. Navíc je poměrně zachována významnost jednotlivých technologií v rámci velikostních skupin.

Obrázek 29 Technologie Průmyslu 4.0 podle velikosti podniků



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Z výsledků nejvíce implementovaných technologií je zřejmé, že mezi podniky nejsou z hlediska velikosti výraznější rozdíly. U většiny podniků převažuje IT infrastruktura, informační systémy a lidé jsou kvalifikováni na technologie bez ohledu na velikost podniků. Nejzajímavější odchylkou je situace u mikro podniků, které jsou oproti ostatním více zaměřeny na mobilitu a flexibilitu technologií. Mikro podniky kladou vyšší důraz na mobilní koncová zařízení (34,52 %) či skladování dat v Cloudu (21,43 %) v kontrastu ke klasické IT infrastruktuře. Důvodem může být požadavek na vyšší flexibilitu a finanční náročnost při budování vlastní informační infrastruktury. U velkých podniků jsou naopak specifické zejména snímače a senzory (41,84 %), které bývají přítomné na moderních strojích a zařízeních. Sofistikovanější stroje umožňují díky senzorům moderní formy řízení. Velké podniky investují více do technologií, a z tohoto důvodu mají větší možnosti při jejich výběru.

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu velikosti podniku na implementaci technologií Průmyslu 4.0 byly využity neparametrické Kruskal-Wallisovi testy. Důvodem byly výsledky Shapiro-Wilkova testů, které neprokázali normalitu rozdělení (Příloha 4a).

Hypotéza H5:

- H₅₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých velikostí podniků.
- H_{5A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých velikostí podniků.

Z výsledků Kruskal-Wallisových testů (tabulka 14) je zřejmé, že jsou rozdíly mezi podniky statisticky významné u všech sledovaných technologií. To znamená, že byl prokázán významný vliv velikosti podniku na implementaci technologií Průmyslu 4.0. Míru významu zachycují hodnoty p , které jsou velmi nízké a ve většině případů jsou tak rozdíly významné i na $\alpha = 0,01$.

Dále byly provedeny Post-hoc testy, které odhalují, mezi kterými kategoriemi podniků byly tyto rozdíly. Příloha 5a zachycuje pouze výsledky párových testů, u kterých byly zjištěny statisticky významné rozdíly. Kromě Z -skóre jsou uvedeny jednotlivé hodnoty p a sloupec s hodnocením statistického významu (Sig). Z výsledků je zřejmé, že většinou jsou rozdíly v implementaci mezi mikro a velkými podniky, malými a velkými podniky. Ve velkém množství případů byly rozdíly také mezi skupinou malých a středních podniků, mikro a středních podniků. I střední podniky tak vykazují určité rozdíly oproti mikro podnikům. Můžeme tedy konstatovat, že rozdíly jsou výraznější u skupin podniků s výrazně odlišnou velikostí.

Tabulka 14 Kruskal-Wallisův test technologií Průmyslu 4.0 podle velikosti podniku

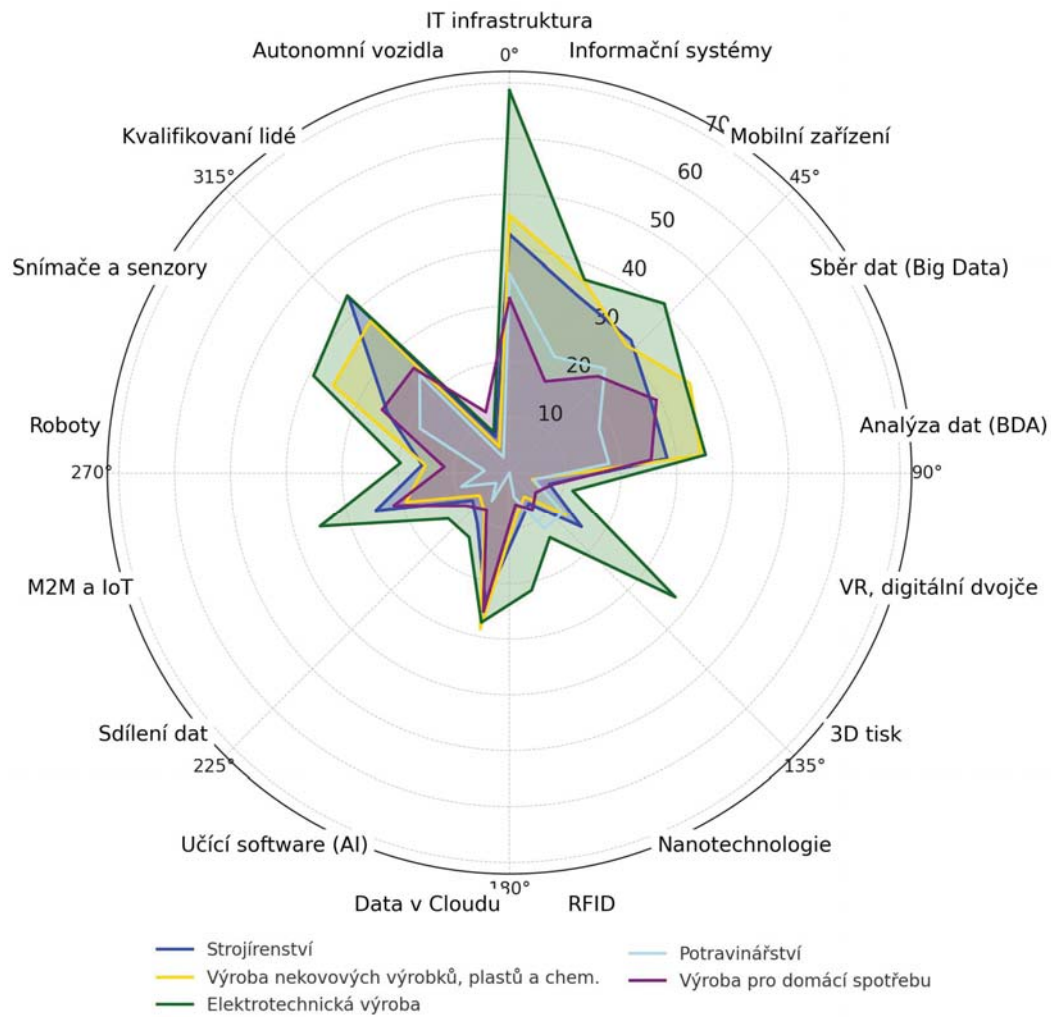
Technologie	H	p	Sig.
IT infrastruktura	45,352	0,000	***
Informační systémy	87,661	0,000	***
Propojená data (M2M a IoT)	62,864	0,000	***
Roboty, robotické paže	112,154	0,000	***
Mobilní koncová zařízení	10,456	0,015	*
Snímače a senzory	51,334	0,000	***
Kvalifikovaní lidé	44,029	0,000	***
Sběr dat (Big Data)	32,597	0,000	***
Skladování dat v Cloudu	28,703	0,000	***
Analýza dat (BDA)	27,490	0,000	***
Učící software a umělá inteligence	35,345	0,000	***
Sdílení dat s dodavateli	48,856	0,000	***
Virtuální realita, digitální dvojčata	15,674	0,001	**
Autonomní vozidla	34,449	0,000	***
Aditivní výroba (3D tisk)	23,073	0,000	***
Nanotechnologie	17,975	0,000	***
Radiofrekvenční identifikace	44,025	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

b) Vliv odvětví podniku na využívání technologií

Dále byl posuzován vliv odvětví podniku na využívání technologií Průmyslu 4.0. Z pohledu jednotlivých odvětví, je technologicky nejvíce rozvinutý elektrotechnický průmysl. Nejméně naopak výroba pro spotřební průmysl. Obrázek 30 ukazuje tyto rozdíly mezi podniky v různých odvětvích. Výsledky ukazují, že výrobní odvětví zpracovatelského průmyslu se silně spoléhají na IT infrastrukturu a kvalifikované pracovníky, kteří jsou schopni využívat a ovládat pokročilé technologie. Sběr a analýza dat jsou klíčové pro optimalizaci výrobních procesů napříč různými odvětvími. Specifické technologie jako senzory, snímače, 3D tisk a cloudová úložiště jsou důležité v závislosti na konkrétních potřebách jednotlivých odvětví. Elektrotechnická výroba je charakteristická vyšší mírou využívání aditivní výroby (37,25 %) a chytrých senzorů (39,22 %). 3D tisk umožňuje rychlou prototypizaci a výrobu složitých komponent, což zkracuje čas potřebný k vývoji nových produktů. Tradiční strojírenské odvětví a výroba nekovových výrobků, plastů a chemická výroba zdůrazňují využívání informačních systémů, sběr a analýzu dat. V tomto případě hrají informační systémy zásadní roli při řízení a optimalizaci výroby, či monitorování procesů a kvality. Naopak potravinářská výroba a výroba pro domácí výrobu preferují využití Cloudu (cca. 25 %) pro ukládání a analýzu dat a lepší sledování výrobních procesů.

Obrázek 30 Nejvíce implementované technologie Průmyslu 4.0 podle odvětví



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu odvětví na implementaci technologií Průmyslu 4.0 byla využita neparametrická Kruskal-Wallisova ANOVA. Důvodem byly výsledky Shapiro-Wilkova testů, které neprokázaly normalitu rozdělení (Příloha 4a).

Hypotéza H6:

- H₆₀ (nulová hypotéza): Neexistují žádné významné rozdíly v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých odvětví podniků.
- H_{6A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení implementace technologií Průmyslu 4.0 podle různých odvětví podniků.

Výsledky Kruskal-Wallisova testu ukazují hlavní rozdíly v implementaci technologií Průmyslu 4.0 mezi podniky v různých odvětvích. Většina technologií (viz tabulka 15) vykazuje statisticky významné rozdíly v rámci odvětví. Zejména IT infrastruktura, roboty, senzory, umělá inteligence, virtuální realita a 3D tisk, u kterých je hodnota $p < 0,001$. Naopak u Cloudu, analýzy dat, autonomních vozidel a nanotechnologií nebyly zjištěny významné rozdíly ($p > 0,05$), což naznačuje široké využití napříč zkoumanými odvětvími zpracovatelského průmyslu.

Tabulka 15 Kruskal-Wallisův test technologií Průmyslu 4.0 podle odvětví podniku

Technologie	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
IT infrastruktura	21,320	0,000	***
Informační systémy	13,846	0,008	**
Propojená data (M2M a IoT)	11,652	0,020	*
Roboty, robotické paže	19,827	0,001	**
Mobilní koncová zařízení	10,466	0,033	*
Snímače a senzory	22,215	0,000	***
Kvalifikovaní lidé	13,564	0,009	**
Sběr dat (Big Data)	12,570	0,014	*
Skladování dat v Cloudu	5,477	0,242	
Analýza dat (BDA)	6,493	0,165	
Učící software a umělá inteligence	6,554	0,161	
Sdílení dat s dodavateli	10,900	0,028	*
Virtuální realita, digitální dvojčata	15,028	0,005	**
Autonomní vozidla	5,790	0,215	
Aditivní výroba (3D tisk)	38,219	0,000	***
Nanotechnologie	2,364	0,669	
Radiofrekvenční identifikace	15,451	0,004	**

Zdroj: vlastní zpracování

Post-hoc testy

Příloha 5b ukazuje významné rozdíly v zavádění technologií v různých průmyslových odvětvích. Nejvýraznější odlišnosti byly zjištěny mezi elektrotechnickým odvětvím a ostatními odvětvími zpracovatelského průmyslu. Elektrotechnická výroba se liší zejména od výroby pro domácí spotřebu či potravinářským průmyslem. Výrazněji odlišný od ostatních je také průmysl výrobků pro domácí spotřebu. Elektrotechnická výroba a výroba pro domácí spotřebu vykazují nejvýraznější rozdíly zejména v oblasti pokročilých technologií, jako je 3D tisk a robotika.

Závěry

Shrňme-li zjištěné závěry z analýz vlivu velikosti a odvětví podniku, pak lze konstatovat, že větší vliv na osvojení si principů štihlé výroby má spíše velikost podniku. Bylo prokázáno, že

tento vliv je patrný téměř u všech technologií Průmyslu 4.0. Tyto rozdíly jsou výraznější u skupin podniků s výrazně odlišnou velikostí. Velké podniky využívají chytré senzory, které jsou součástí moderních strojů. Výraznější odlišnost mají mikropodniky preferující mobilní zařízení či Cloud. Odvětví podniku je také významným determinantem využívání technologií. Vliv však nemělo u skladování dat v Cloudu, analýze dat či umělé inteligenci. Nejvýraznější odlišnosti jsou mezi elektrotechnickým a ostatními odvětvími zpracovatelského průmyslu. Elektrotechnická výroba je charakteristická celkovou vyšší mírou implementace technologií, zejména pokročilejšími technologiemi na rozdíl od nejméně technologicky náročné výroby pro domácí spotřebu.

5.3.3 Faktorová analýza technologií Průmyslu 4.0

Kategorizace technologií Průmyslu 4.0 byla provedena prostřednictvím explorační faktorové analýzy. Faktorová analýza vycházela z proměnných – technologií, na jejichž využívání byly podniky dotazovány v souvislosti s implementací Průmyslu 4.0. Bylo provedeno několik variant analýzy s různými parametry. Proměnnou autonomní vozidla však nevyužívá 86,7 % společností. Tato položka byla proto vyřazena. Nakonec bylo pro konečný návrh vybráno 16 proměnných.

Validita faktorové analýzy

Platnost struktury dat pro faktorovou analýzu byla analyzována Bartlettovým testem sféricity (Pett et al., 2003) a Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) testem (Hutcheson & Sofroniou, 1999). Bartlettův test ověřil, že se pozorovaná korelační matice významně liší od matice identity při $\alpha = 0,05$ s $p < 0,000$. Následně byl vypočten Kaiser-Meyer-Olkinův koeficient přiměřenosti vzorku, jehož hodnota byla 0,889. Taková hodnota je považována za vysokou (vyšší než 0,7), takže využití faktorové analýzy bylo vhodné (Cohen, 1988). Tabachnick a Fidell (2019) doporučují kontrolu korelační matice s korelačními koeficienty vyššími než 0,30. Tento požadavek je splněn, téměř všechny koeficienty byly statisticky významné na hladině $\alpha = 0,05$.

Extrakce faktorů

K extrakci faktorů byla využita metoda analýzy hlavních komponent (PCA). Tato metoda je založena na velkém počtu proměnných s cílem najít menší soubor nových proměnných (sutinový graf Příloha 6a), aby poskytla co nejlepší reprezentaci dat (Řezanková, 2007). Nalezené čtyři faktory představovaly celkem 58,616 % rozptylu. První faktor vysvětlil 34,878 % rozptylu. Vlastní hodnota druhého faktoru byla 1,813 a rozptyl vysvětlený tímto faktorem činil 11,329 %. Třetí faktor pak vysvětlil 6,819 % rozptylu (viz tabulka 16). Čtvrtý faktor měl 5,590 % vysvětleného rozptylu. Tento faktor byl zahrnutý, ačkoliv Kaiser–Guttman kritérium o velikosti vlastních čísel ukazovalo pouze na tři faktory. Důležitá pro tento krok byla interpretovatelnost výsledků a vzniklých konstruktů. Toto rozhodnutí je diskutováno v omezeních výzkumu.

Tabulka 16 Extrakce hlavních komponent k technologiím Průmyslu 4.0

Faktor	Vlast. číslo	% celkem	Kumulativní	Kumulativní
1	5,580	34,878	5,580	34,878
2	1,813	11,329	7,393	46,207
3	1,091	6,819	8,484	53,026
4	0,894	5,590	9,379	58,616

Zdroj: vlastní zpracování

Faktorové zátěže a rotace

Při extrakci faktorů byly pro každou položku vypočteny faktorové zátěže, které představují korelace mezi faktory a proměnnými. Ty mohou být použity k interpretaci faktorů. Zpracováním dat byly extrahovány čtyři poměrně konzistentní faktory (bez rotace). Protože počáteční extrakce faktorů obvykle neposkytuje interpretovatelné výsledky, byla rotace provedena pomocí metody Varimax. Tabulka 17 zachycuje tučně proměnné s primárním faktorovým zatížením. Hodnoty představují faktorové zátěže rotujících faktorů. Kromě metody Varimax byly použity i další metody, ale ukázalo se, že tyto výsledky jsou nejlépe interpretovatelné.

Tabulka 17 Faktorové zátěže k technologiím Průmyslu 4.0

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Spolehlivost
IT infrastruktura	0,649				Cronbachovo $\alpha = 0,813$ $(R^2 = 0,482)$
Informační systémy	0,613				
Mobilní koncová zařízení	0,507				
Sběr dat (Big Data)	0,795				
Analýza dat (BDA)	0,791				
Virtuální realita, digitální dvojčata		0,689			$\alpha = 0,657$ $R^2 = 0,325$
Aditivní výroba (3D tisk)		0,745			
Nanotechnologie		0,673			
Radiofrekvenční identifikace		0,480			
Skladování dat v Cloudu			0,609		Cronbachovo $\alpha = 0,669$ $R^2 = 0,404$
Učící software a umělá inteligence			0,718		
Sdílení dat s dodavateli			0,692		
Propojená data (M2M a IoT)				0,389	Cronbachovo $\alpha = 0,739$ $R^2 = 0,416$
Roboty, robotické paže				0,717	
Snímače a senzory				0,662	
Kvalifikovaní lidé				0,611	
<i>Vysvětlená variabilita</i>	<i>3,144</i>	<i>2,140</i>	<i>1,908</i>	<i>2,187</i>	-
<i>Rozdělení celkového rozptylu</i>	<i>0,196</i>	<i>0,134</i>	<i>0,119</i>	<i>0,137</i>	-

Zdroj: vlastní zpracování

Pro lepší interpretovatelnost byly faktory označeny jako úrovně 1-4 Průmyslu 4.0 v podnicích. Tabulka 17 uvádí, že úroveň 1 byla nasyčena především IT infrastrukturou, informačními

systemy, mobilními koncovými zařízeními, sběrem dat (Big Data) a analýzou dat (BDA). Tyto proměnné jsou charakteristické tím, že tvoří základní infrastrukturu Průmyslu 4.0 a jsou prerekvizitami pro další technologie. Druhou úroveň tvoří proměnné, které představují pokročilé výrobní technologie, jako jsou virtuální realita a digitální dvojčata, aditivní výroba (3D tisk) nanotechnologie a RFID. Úroveň 3 zahrnovala vyšší úroveň Průmyslu 4.0, kterou lze vyjádřit jako sdílený systém pomocí učícího se softwaru a umělé inteligence, sdílení dat s dodavateli a ukládání dat v Cloudu. Poslední čtvrtý faktor je tvořen technologiemi, které poskytují schopnosti robotům, tj. propojená data (M2M a IoT), snímače a senzory, kompetence lidí.

Reliabilita (spolehlivost) faktorů

Pro posouzení vnitřní konzistence nástrojů průzkumu byl použitý ukazatel Cronbachova alfa, jak uvádí tabulka 17. Cronbachova alfa pro faktor komunikační a informační infrastruktura měla vysokou hodnotu 0,813, čemuž odpovídala i průměrná mezipoložková korelace 0,482 s vysokou vnitřní konzistencí. Oproti tomu faktory pokročilé výrobní technologie a sdílené informační systémy měly nižší skóre reliability. Mechatronické systémy měly vyšší vnitřní konzistenci s hodnotou Cronbachovy alfy 0,739 a standardizovanou alfou 0,416. Celkově tyto výsledky ukazují, že použité škály měly přijatelnou úroveň spolehlivosti pro cílové konstrukty, ačkoli jejich rozptyl naznačoval různou míru homogenity jednotlivých škál. Faktory „Komunikační a informační infrastruktura“ a „Mechatronické systémy“ vykazují vysokou spolehlivost, zatímco stupnice „Pokročilé výrobní technologie“ a „Sdílené inteligentní systémy“ vykazují spolehlivost na střední úrovni. Průměrná korelace mezi položkami všech stupnic je v ideálním rozmezí, což podporuje individuální spolehlivost položek v rámci každé stupnice.

5.3.4 Kategorizace technologií Průmyslu 4.0

Výsledky faktorové analýzy byly dále použity k vytvoření indexu úrovně implementace Průmyslu 4.0 (PI4) v podniku. Na základě těchto údajů bylo možné pomocí faktorové analýzy rozdělit 16 technologií do čtyř úrovní implementace Průmyslu 4.0 v podniku, přičemž čísla za jednotlivými oblastmi představují jejich faktorovou zátěž.

Faktor 1 - Informační infrastruktura

Faktor 1 „informační infrastruktura“ zahrnuje základní technologie hardware (0,649) a software, které jsou nezbytné pro implementaci složitějších technologií. Hardware je tvořen servery, koncovými počítačovými stanicemi, rozvody a dalšími komponentami tvořící interní počítačovou síť. U softwaru se předpokládá propojení s podnikovým informačním systémem (0,613) a ve výrobě systémem MES. Kromě fixně umístěných zařízení zahrnují také přenosná mobilní zařízení (0,507), která rozšiřují přístupnost a vizualizaci. Nezbytný je požadavek na aktuální data, bez

kterých nelze pokročilé systémy řídit. V Průmyslu 4.0 se jedná o velké objemy dat označované jako Big Data (0,795). Hlavním cílem jejich sběru je následná analýza (0,791).

Faktor 2 - Pokročilé výrobní technologie

Faktor 2 „pokročilé výrobní technologie“ se zaměřuje na inovativní aspekty výroby. Jedná se o technologie, které mění tradiční továrnu na inteligentní. Jedná se o zejména o nástroje vytvářející digitální obraz výroby či produktu za účelem simulace výrobních procesů, jejich plánování a zobrazení ve virtuální či rozšířené realitě (0,689). V budoucnu najdeme ve výrobě i při vývoji produktů využití pro 3D tisk (0,745) a nové materiály s unikátními vlastnostmi založené na nanotechnologiích (0,673). V oblasti logistiky se častěji setkáme s technologií radiofrekvenční identifikace (0,480), která nahradí klasické čárové kódy. Všechny tyto technologie jsou při aplikaci specifické a nemusí být využívány ve všech podnicích ve stejné míře.

Faktor 3 - Inteligentní sdílení

Faktor 3 „inteligentní sdílení“ spojuje technologie, které zažívají boom. Jejich základem může být Cloudové uložiště (0,609), které umožňuje sdílení dat (0,692) s obchodními partnery, dodavateli i v rámci celého podniku. Data a podnikové aplikace jsou tak dostupné online a mohou být využita k prediktivní analýze. S využitím učícího software (0,718) a technik strojového učení se posouvají hranice funkčnosti stávajících informačních systémů. Algoritmy hlubokého učení a neuronových sítí změní tradiční centralizované struktury informačních systémů. Podniky budou moci těžit z výhod generativní umělé inteligence, která postupně proniká do jednotlivých odvětví průmyslu i obchodu.

Faktor 4 - Mechatronické systémy

Faktor 4 „mechatronické systémy“ představuje technologie, které podporují využití robotů (0,717). Tato oblast stojí na pomezí mechaniky, elektroniky, softwaru a řízení. Zahrnuje propojení (synergii) strojů mezi sebou (M2M) či prostřednictvím internetu věcí (0,389). Objektům či strojům dává možnost vnímat prostředí prostřednictvím chytrých senzorů a snímačů (0,662), aby tato data mohla být následně využita v řízení. Nastavení a tvorba těchto systémů vyžaduje kvalifikované pracovníky (0,611) s odpovídajícími kompetencemi (mechatronici, seřizovači a technologové, programátory, analytici atd.), kteří jsou schopni týmové práce. Cílem je integrace technologií na systémové úrovni pro realizaci požadovaných funkcí zařízení.

5.3.5 Celkové hodnocení úrovně Průmyslu 4.0 (index PI4)

Pokud dohromady zkombinujeme hodnoty jednotlivých faktorů v podnicích a faktorové skóre jako váhy, získáme míru implementace Průmyslu 4.0 v podnicích. Index (PI4) vyjadřuje, do jaké

míry podniky využívají jednotlivé technologie Průmyslu 4.0. Hodnoty indexu byly převedeny na relativní vyjádření v % umožňující stanovit míru hodnocení úrovně pro každý podnik.

Vztah celkového skóre indexu k subjektivnímu hodnocení

Hodnocení implementace Průmyslu 4.0 bylo porovnáno se subjektivním vnímáním manažerů. Toto hodnocení bylo založeno na tvrzení, zda by se „zařadili mezi firmy využívající Průmysl 4.0“, hodnocené na škále od 1 do 5. Z výsledků vyplynulo, že korelace mezi indexem PI4 a tímto sebehodnocením je poměrně vysoká ($r = 0.587$), signifikantní na hladině $\alpha = 0,05$. To naznačuje, že nastavený index PI4 vykazuje výraznou shodu se subjektivním hodnocením manažerů a má poměrně solidní spolehlivost.

Vliv velikosti podniku a odvětví podniků na celkové skóre indexu

Dále byl sledován vliv faktorů velikosti a odvětví podniku na toto celkové skóre indexu PI4. K tomuto posouzení byla využita ANOVA.

Hypotéza H7:

- H7₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení skóre Průmyslu 4.0 (indexu PI4) podle různých velikostí podniků a odvětví.
- H7_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení skóre Průmyslu 4.0 (indexu PI4) podle různých velikostí podniků a odvětví.

Nejprve byly hodnoceny předpoklady analýzy ANOVA. Pro tyto účely zachycuje Příloha 7a čtyři diagnostické grafy získané ze software R.

Test normality reziduí byl vyhodnocen pomocí Shapiro-Wilkova testu, který přinesl marginálně významnou p -hodnotu 0,035 ($W = 0,994$). Leveneův test homogenity rozptylu pro index PI4 neukázal prokazatelné výsledky heteroskedasticity pro celý model ($F = 1,020$; $p = 0,436$), odvětví ($F = 1,220$; $p = 0,301$) i pro velikost podniku ($F = 0,655$; $p = 0,580$). Celkově diagnostika naznačuje, že regresní model pro index PI4 je robustní s ohledem na předpoklady linearity, homoskedasticity a normality reziduí. Pro další hodnocení tedy byla využita ANOVA. Nicméně pro porovnání byla vypočtena také neparametrická verze výsledků (Příloha 8).

Výsledky ANOVA

Výsledky ANOVA pro index PI4 zachycuje tabulka 18. Výsledky jsou patrné u faktorů odvětví i velikosti podniku, přičemž oba faktory vykazují výrazný vliv na index (obě s $p < 0,000$). Interakce mezi těmito dvěma faktory však k variabilitě PI4 významně nepřispěla ($p = 0,286$). Model vysvětloval podstatnou část variability indexu, jak naznačuje upravené $r = 0,217$. Robustnost modelu dále potvrzuje F statistika ($F = 48,72$) s významnou p -hodnotou ($p < 0,001$).

Tabulka 18 Analýza rozptylu pro souhrnný index PI4

	Df	F	p	Sig.
Odvětví	1	15,620	0,000	***
Velikost	1	129,410	0,000	***
Odvětví:Velikost	1	1,141	0,286	
Rezidua	513			

Zdroj: vlastní zpracování

Post-Hoc testy

Post-hoc analýza rozdílů v indexu PI4 shrnuje hlavní rozdíly (tabulka 19). Ukazuje se, že mikropodniky i malé podniky dosahují nižšího skóre než střední a velké podniky. To znamená, že s rostoucí velikostí podniků dochází k výraznému poklesu skóre. Odvětví výroby zboží pro domácí spotřebu je nižší než strojírenství, elektrotechnická výroba a odvětví nekovové výrobky, plasty, papír a chemické výroby. Odvětví elektrotechnické výroby pak vyniká také nad odvětvím potravinářství. Tato odvětví jsou tedy v některých aspektech měřených indexem PI4 pokročilejší.

Tabulka 19 Post-Hoc testy pro souhrnný index PI4

Skupiny	z	p	p.adj	Sig
mikro – střední	-6,760	0,000	0,000	***
mikro – velký	-10,100	0,000	0,000	***
malý – střední	-5,360	0,000	0,000	***
malý – velký	-9,380	0,000	0,000	***
střední – velký	-4,570	0,000	0,000	***
strojírenská výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,930	0,000	0,001	**
nekovové výrobky, plasty, papír, chemtech - výroba pro domácí spotřebu	3,280	0,001	0,011	*
elektrotechnická výroba – potravinářská výroba	3,120	0,002	0,019	*
elektrotechnická výroba – výroba pro domácí spotřebu	4,560	0,000	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

Závěry

Výsledky ANOVA a testů ukazují, že jsou velikost podniku i odvětví, ve kterém působí důležitým faktorem při posuzování úrovně implementace Průmyslu 4.0. Bylo patrné, že velké podniky dosahují vyšších hodnot indexu PI4 než malé a mikro podniky. Rozdíly v odvětví odhalují rozdílnost u výroby zboží pro domácí spotřebu a elektrotechnické výroby. U elektrotechnické výroby se potvrdila její technologická náročnost, a tedy vyšší míra implementace technologií. Naopak u výroby zboží pro domácí spotřebu nižší skóre indexu PI4. Při posuzování úrovně implementace Průmyslu 4.0 je tedy nutné počítat s odlišnostmi velikosti a odvětví podniku.

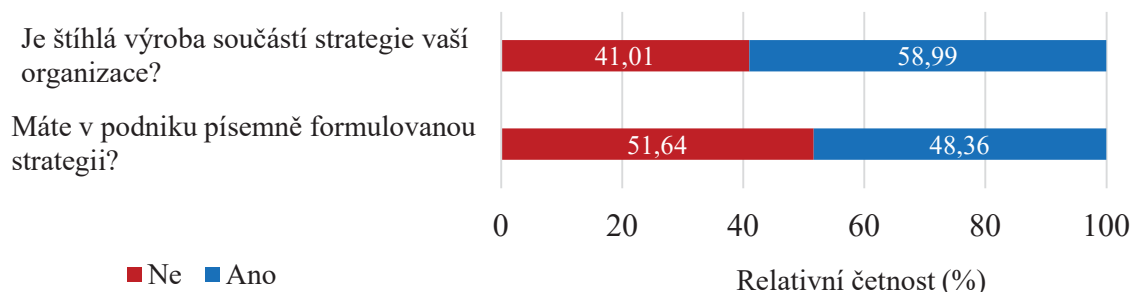
6 Štíhlá výroba

Tato kapitola se primárně zaměřuje na štíhlou výrobu a oblast Lean managementu. Výzkum začíná zhodnocením strategického přístupu a sebe-hodnocení podniků při implementaci štíhlé výroby. Pak je analyzována úroveň implementace principů a metod štíhlé výroby (Dílčí cíl 5), a to s ohledem na velikost a obor podnikání podniků. Součástí výsledků je také kategorizace principů a metod prostřednictvím faktorové analýzy (Dílčí cíl 6). Nakonec je zhodnocena celková míra implementace metod štíhlé výroby (index SV4). Součástí hodnocení metod štíhlé výroby bylo také posouzení vlivu velikosti a oboru podniku na jejich implementaci (Dílčí cíl 7).

6.1 Strategie a implementace štíhlé výroby

Výsledky dotazníkového šetření zaměřeného na formalizaci štíhlé výroby v strategickém zaměření podniků zachycuje obrázek 31. Pro většinu podniků, téměř 59 %, je štíhlá výroba součástí strategie. To svědčí o ukotvení této filozofie do strategického rámce podniků a jejím využívání. Pro úplnost obrázek 31 obsahuje také vyhodnocení otázky týkající se existence písemné formy strategie.

Obrázek 31 Vyhodnocení strategického zaměření na štíhlou výrobu

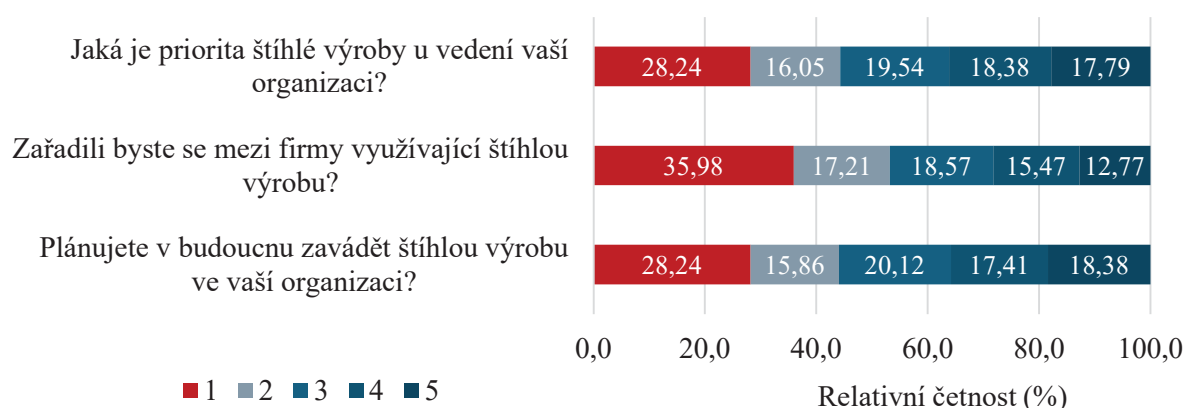


Zdroj: vlastní zpracování

Tento průzkum odhalil těsné rozdělení (téměř padesát na padesát) podniků využívajících písemnou (zejména velké podniky) a nepísemnou formu strategie. Ačkoliv je filozofie štíhlé výroby převážně uznávána jako součást strategie podniků, existuje značná část, která tyto principy dosud plně nezačlenila do své formální strategické dokumentace. Tento zdánlivý rozpor naznačuje rozdíl mezi koncepčním přijetím štíhlé výroby a její praktickou implementací v strategické dokumentaci, resp. strategii podniku. Důsledky tohoto rozporu naznačují, že myšlenky štíhlé výroby získávají na popularitě. Převedení těchto zásad do písemných, realizovatelných plánů je oblastí, která vyžaduje další pozornost a rozvoj při samotné tvorbě a implementaci strategie.

Dále byly zjišťovány současné a budoucí priority a perspektivy implementace štihlé výroby v podnicích na pětistupňové škále (1 – malý, 5 – velký). Obrázek 32 ukazuje, že 17,8 % podniků přikládá štihlé výrobě nejvyšší prioritu v managementu a řízení organizace. Naopak větší část dotázaných subjektů (28,2 %) ji nepovažuje za významnou prioritu.

Obrázek 32 *Vyhodnocení sebe-hodnocení implementace štihlé výroby (v %)*



Zdroj: vlastní zpracování

V rámci sebe-hodnocení vlastní úrovně implementace štihlé výroby, se převážná část podniků (36 %) hodnotí spíše negativně (nízké hodnocení 1). Na druhou stranu se za podniky plně využívající štihlou výrobu považuje 12,8 %. K tomu můžeme připočítat cca. 15,5 % podniků, které mají štihlou výrobu částečně zavedenou. Při pohledu do budoucna je patrný mírný příklon k zavádění štihlé výroby v podnicích. Větší podíl respondentů (18,4 %) signalizuje silný záměr přijmout štihlé postupy v nadcházejících obdobích, což odpovídá optimismu na škále. Naopak 28,4 % podniků neuvazuje zavádět v budoucnu filozofii štihlé výroby. Výhled na budoucí přijetí a implementaci štihlé výroby je optimističtější, nicméně významnější část subjektů ji neplánuje zavádět. Na druhou stranu, v porovnání s implementací Průmyslu 4.0 je zřejmé, že koncept štihlé výroby je u podniků oblíbenější a v současnosti i více implementován.

6.2 Principy štihlé výroby

Principy štihlé výroby jsou zásady, které přesahují hranice jednotlivých útvarů a mohou být aplikovány ve všech typech organizacích i struktur. Tyto principy vytvářejí základ podnikové kultury a týkají se nejrůznějších oblastí managementu. V každé organizaci může být kladen na jednotlivé principy různý důraz, součástí vyhodnocení tak bude také posouzení vlivu velikosti a odvětví podniku. V rámci dotazníkového šetření bylo sledováno celkem 26 principů štihlé výroby.

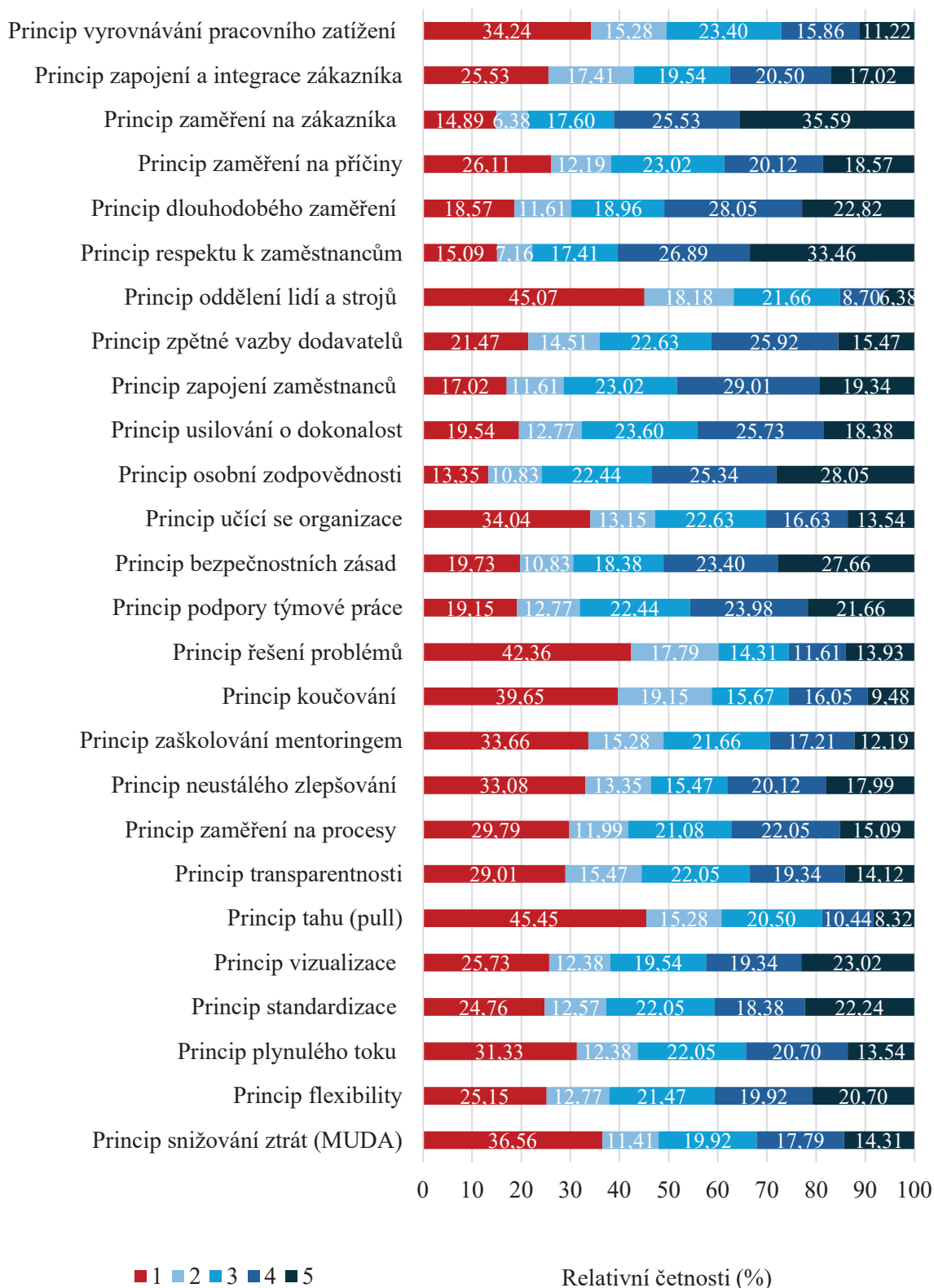
6.2.1 Zhodnocení principů štíhlé výroby

Principy byly vybrány na základě literatury a charakteristik štíhlé výroby (blíže viz metodika). Obrázek 33 zobrazuje relativní četnosti hodnocení jednotlivých principů štíhlé výroby (na stupnici 1 – málo důležité, 5 – nejdůležitější).

Výsledky analýzy ukazují, že ve výrobním sektoru jsou nejčastěji uplatňované obecnější principy jako respekt k zaměstnancům, důraz na zapojení pracovníků, osobní odpovědnost a orientace na zákazníka, která zdůrazňuje důležitost definování hodnoty z pohledu zákazníka. Nejrozšířenější je zásada zaměření na zákazníka, implementovaná v míře 35,59 %, která posiluje vnímání hodnoty z pohledu zákazníka. Dále je nejvíce implementován respekt k zaměstnancům (33,46 % míra přijetí), což odráží angažovanost a posílení postavení zaměstnanců pro procesy neustálého zlepšování. Na druhou stranu je v podnicích důležitá zásada osobní odpovědnosti, která s 28,5 % posiluje individuální přínos každého pracovníka. Dodržování bezpečnostních standardů je významné u 27,66 % a princip vizualizace implementovalo 23,02 % podniků. Mezi nejvýznamnější implementované principy můžeme zařadit také standardizaci s 22,24 % a flexibilitu s 20,70 %. Neméně důležitá je také týmová práce, která je zdůrazňována v 21,66 % podniků a podporuje kooperaci mezi pracovníky. To pak vytváří kulturu, ve které lze sdílet osvědčené postupy a spolupracovat.

Naproti tomu specifitější zásady a principy, jako je vyvážení pracovní zátěže, oddělení lidí od strojů a podpora učící se organizace, které vykazují překvapivě velmi nízkou míru osvojení. Některé z těchto principů jsou pro úspěšnou transformaci na štíhlý podnik rozhodující. Vyrovnávání pracovní zátěže není zavedeno u 34,24 % dotazovaných subjektů, což snižuje prostor pro spravedlivé rozdělení úkolů a prevenci úzkých míst. Oddělení lidí od strojů nerealizuje 45,07 % podniků. Zásady učící se organizace nevyužívá 34,04 % podniků. Ukazuje se tak, že mnoho podniků ještě nepovýšilo neustálé zlepšování na strategickou úroveň. To potvrzuje i nízká úroveň implementace principu řešení problémů (v 42,36 %), který je nezbytný pro systematický přístup. Neustálé zlepšování není integrováno u 33,08 % respondentů, což naznačuje příležitost k důslednějším uplatňování. Jeden z rozhodujících principů podporujících zvyšování kvalifikace a předávání znalostí, tj. zásady koučování a mentoringu, vykazují u 39,65 % podniků nízkou míru zavádění. Princip tahu, klíčová součást systému JIT, vykazuje také nízkou míru implementace 45,45 % (hodnocení 1). Konečně princip snižování plýtvání, označovaný jako Muda, ukazuje, že se mu 36,56 % podniků nevěnuje. To poukazuje na značný prostor pro rozšíření metodiky štíhlé výroby ve snaze o zefektivnění provozu. Tento nepoměr představuje příležitost pro širší uplatnění štíhlé filozofie, které zvýší provozní účinnost v různých odvětvích.

Obrázek 33 Relativní četnosti principů štihlé výroby



Zdroj: vlastní zpracování

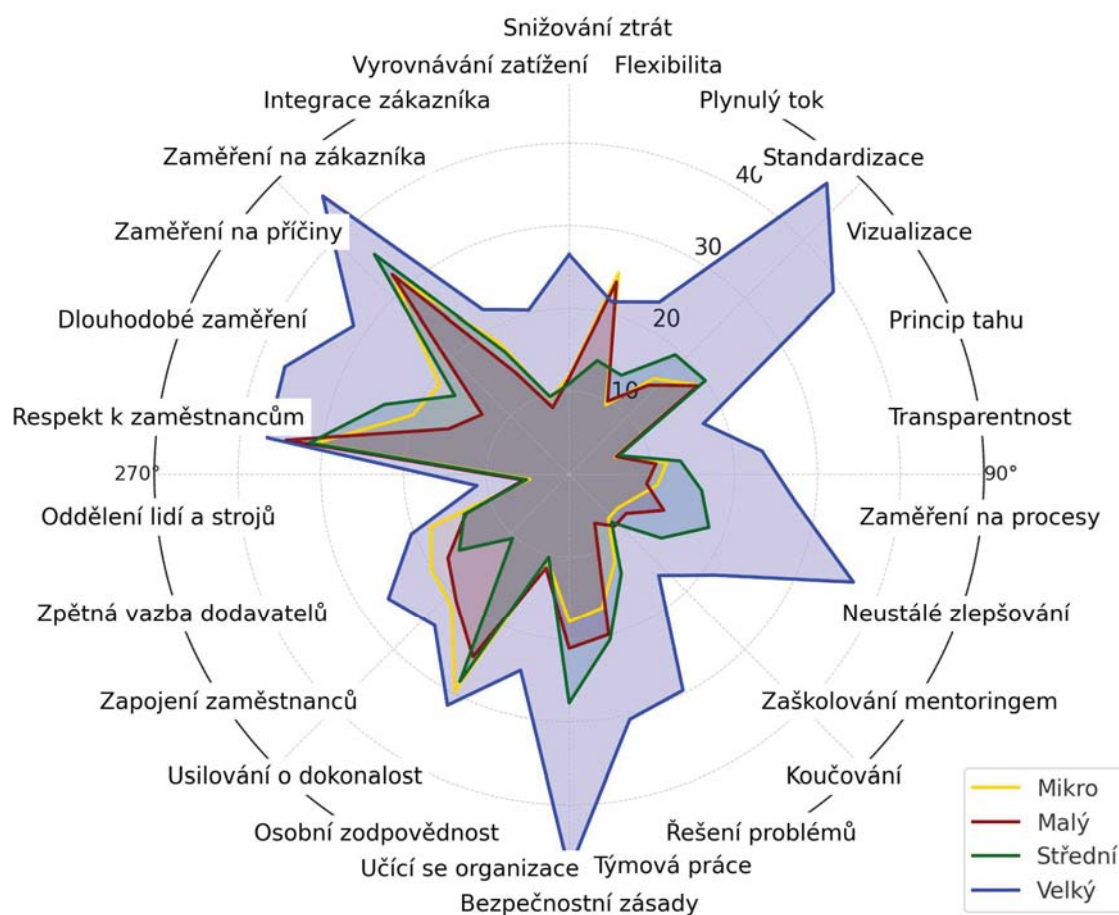
6.2.2 Vliv velikosti a oboru podniků na principy štíhlé výroby

Nyní se podíváme, jakou roli při hodnocení principů mají vybrané charakteristiky podniků. To znamená, zda se podniky při přijetí principů štíhlé výroby liší dle velikosti či odvětví. U principů bude cílem odhalit, jaké jsou charakteristické rysy podniků.

a) Vliv velikosti podniku na osvojení si principů štíhlé výroby

Dále byla provedena analýza vlivu velikosti podniku na osvojení si principů štíhlé výroby. Obrázek 34 ukazuje, že nejvíce jsou principy osvojeny zaměstnanci ve velkých podnicích. V ostatních velikostních kategoriích podniků jsou hodnoty obecně nižší.

Obrázek 34 Nejvíce osvojené principy štíhlé výroby podle velikosti podniků



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Z výsledků vyplývá, že zatímco některé principy jsou univerzální, jiné se liší v závislosti na velikosti podniku a jejich specifických potřebách podniků. Velké podniky se zaměřují na standardizaci (46,94 %) a vizualizaci (38,78 %), protože jejich rozsáhlé operace vyžadují konzistentní a jasně definované procesy. Kromě toho velké podniky zdůrazňují princip neustálého

zlepšování a dlouhodobého zaměření (36,73 %), U středních, malých a mikro podniků nalezneme spíše univerzální principy. Středně velké podniky kladou důraz na respekt k zaměstnancům (31,61 %) a osobní odpovědnost (28,39 %), což podporuje motivaci a angažovanost zaměstnanců, podobně jako v malých podnicích. Mikro podniky se zaměřují kromě těchto principů také na flexibilitu (25 %) a usilování o dokonalost (21,43 %), protože jejich menší velikost umožňuje rychlé inovace a přizpůsobení se.

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu velikosti podniku na osvojení principů štíhlé výroby byly využity neparametrické Kruskal-Wallisovi testy. Důvodem byly výsledky Shapiro-Wilkova testů, které neprokázaly normalitu rozdělení (Příloha 4b).

Tabulka 20 Kruskal-Wallisův test principů štíhlé výroby k porovnání podle velikosti

Principy	H	p	Sig.
Princip snižování ztrát (Muda)	47,868	0,000	***
Princip flexibility	14,997	0,002	**
Princip plynulého toku	55,016	0,000	***
Princip standardizace	82,320	0,000	***
Princip vizualizace	33,240	0,000	***
Princip tahu (pull)	67,297	0,000	***
Princip transparentnosti	35,421	0,000	***
Princip zaměření na procesy	63,097	0,000	***
Princip neustálého zlepšování	51,851	0,000	***
Princip zaškolování mentoringem	49,684	0,000	***
Princip koučování	39,121	0,000	***
Princip řešení problémů	55,926	0,000	***
Princip podpory týmové práce	23,807	0,000	***
Princip bezpečnostních zásad	49,329	0,000	***
Princip učící se organizace	38,052	0,000	***
Princip osobní zodpovědnosti	5,421	0,143	
Princip usilování o dokonalost	9,081	0,028	*
Princip zapojení zaměstnanců	11,525	0,009	**
Princip zpětné vazby dodavatelů	12,923	0,005	**
Princip oddělení lidí a strojů	43,143	0,000	***
Princip respektu k zaměstnancům	8,610	0,035	*
Princip dlouhodobého zaměření	34,490	0,000	***
Princip zaměření na příčiny	21,325	0,000	***
Princip zaměření na zákazníka	13,724	0,003	**
Princip zapojení a integrace zákazníka	6,241	0,101	
Princip vyrovnávání pracovního zatížení	32,594	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

Hypotéza H8:

- H_{8_0} (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých velikostí podniků.
- H_{8_A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých velikostí podniků.

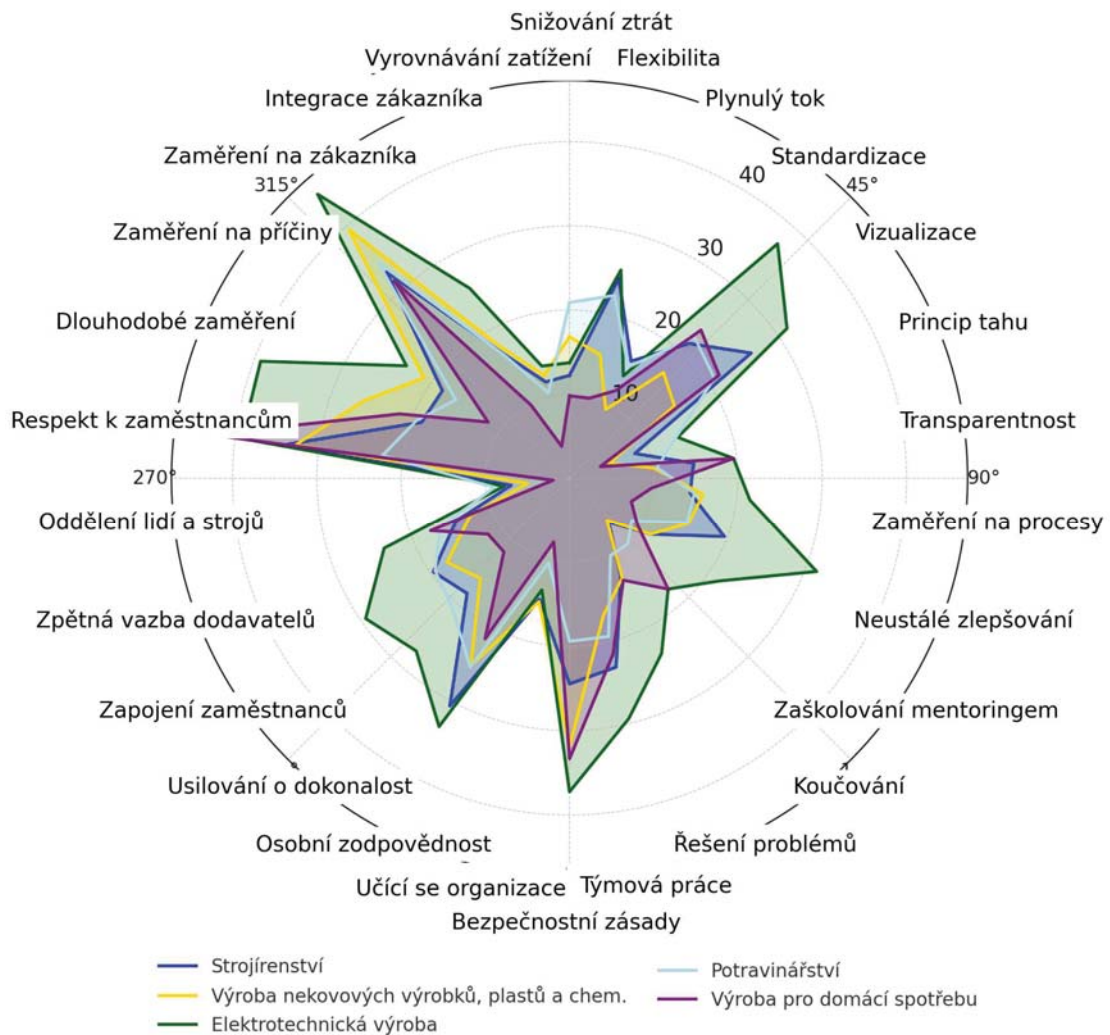
Z výsledků Kruskal-Wallisových testů (tabulka 20) je zřejmé, že jsou rozdíly mezi podniky statisticky významné u většiny sledovaných principů. To znamená, že byl prokázán významný vliv velikosti podniku na osvojení si principů štihlé výroby. Míru tohoto významu zachycují hodnoty p , které jsou velmi nízké a ve většině případů jsou tak rozdíly významné i na $\alpha = 0,01$. Výsledky nebyly významné u principů osobní zodpovědnost a integrace zákazníka.

Dále byly analyzovány pomocí Post-hoc testů principy, u kterých byl zjištěn mezi velikostními kategoriemi Kruskal-Wallisovým testem rozdíl. Příloha 9a uvádí pouze statisticky významné výsledky párových testů. Nejvýraznější rozdíly z pohledu velikosti vykazuje princip standardizace, tahu, oddělení strojů a lidí, zaměření na procesy. Právě těmito principy se podniky dle velikosti liší nejčastěji. Z výsledků také vyplynulo, že nejvýraznější jsou v míře osvojení si principů štihlé výroby rozdíly mezi mikro a velkými podniky, resp. malými a velkými podniky. To může vyplývat z vyšší míry implementace štihlé výroby ve velkých podnicích.

b) Vliv odvětví podniku na osvojení si principů štihlé výroby

Jak zachycuje obrázek 35 nejvíce jsou mezi zaměstnanci rozšířeny principy v odvětví elektrotechnické výroby, které vykazují nejvyšší hodnoty. Naopak nejméně jsou rozšířeny principy v odvětví výroby výrobků pro domácí spotřebu. Z analýzy výsledků v různých výrobních odvětvích lze identifikovat několik klíčových principů, které jsou společné napříč sektory. Jedná se zejména o respekt k zaměstnancům, zaměření na zákazníka, osobní odpovědnosti a bezpečnostních zásad. Strojírenská výroba klade důraz na vizualizaci (26,20 %), protože vizuální nástroje zlepšují pochopení a řízení složitých procesů. Bezpečnostní zásady (24,45 %) jsou kritické pro ochranu zaměstnanců v nebezpečném prostředí. Odvětví nekovové, plastové a chemické výroby vyžaduje dlouhodobé zaměření (26,05 %), protože tyto průmysly často investují do vývoje nových materiálů. Elektrotechnická výroba se spoléhá na standardizaci (37,25 %), aby zajistila konzistentní kvalitu a bezpečnost výrobků. Potravinářská výroba zdůrazňuje respekt k zaměstnancům (43,14 %), což je důležité pro udržení motivace, a standardizace (23,53 %) nutné k zajištění, že všechny výrobky splňují přísné normy kvality a bezpečnosti. Výroba pro domácí spotřebu preferuje flexibilitu (22,39 %) a standardizace (23,53 %) je nezbytná pro udržení kvality a důvěry spotřebitelů v produkty.

Obrázek 35 Nejvíce osvojené principy štihlé výroby podle odvětví



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu odvětví podniku na osvojení principů štihlé výroby byly využity neparametrické Kruskal-Wallisovi testy. Důvodem byly výsledky Shapiro-Wilkova testů, které neprokázali normalitu rozdělení (Příloha 4b).

Hypotéza H9:

- H₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých odvětví podniků.
- H_{9A} (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení osvojení si principů štihlé výroby podle různých odvětví podniků.

Výsledky Kruskal-Wallisových testů (tabulka 21) ukazují statisticky významné rozdíly pouze u několika principů. Vliv odvětví v tomto případě není jednoznačný. Rozdíly mezi podniky byly zjištěny u principu flexibility, standardizace, zaškolování mentoringem, řešení problémů, respektu k zaměstnancům a dlouhodobého zaměření. U ostatních principů nebyly zjištěny rozdíly.

Tabulka 21 Kruskal-Wallisův test principů štihlé výroby podle odvětví

Principy	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
Princip snižování ztrát	4,878	0,300	
Princip flexibility	12,508	0,014	*
Princip plynulého toku	3,484	0,480	
Princip standardizace	11,924	0,018	*
Princip vizualizace	8,999	0,061	
Princip tahu (pull)	6,040	0,196	
Princip transparentnosti	6,518	0,164	
Princip zaměření na procesy	4,295	0,368	
Princip neustálého zlepšování	7,333	0,119	
Princip zaškolování mentoringem	9,907	0,042	*
Princip koučování	5,054	0,282	
Princip řešení problémů	11,884	0,018	*
Princip podpory týmové práce	3,217	0,522	
Princip bezpečnostních zásad	7,753	0,101	
Princip učící se organizace	6,887	0,142	
Princip osobní zodpovědnosti	6,276	0,180	
Princip usilování o dokonalost	3,071	0,546	
Princip zapojení zaměstnanců	2,622	0,623	
Princip zpětné vazby dodavatelů	5,525	0,238	
Princip oddělení lidí a strojů	2,468	0,650	
Princip respektu k zaměstnancům	13,941	0,008	**
Princip dlouhodobého zaměření	13,149	0,011	*
Princip zaměření na příčiny	6,666	0,155	
Princip zaměření na zákazníka	5,604	0,231	
Princip zapojení a integrace zákazníka	3,244	0,518	
Princip vyrovnávání pracovního zatížení	5,768	0,217	

Zdroj: vlastní zpracování

Pomocí Post-hoc testů bylo zjišťováno, které konkrétní kategorie odvětví mají mezi sebou rozdíly. Výsledky (Příloha 9b) ukazují, že nejvíce rozdílů bylo prokázáno u elektrotechnické výroby. Ta se také často odlišuje zejména výroby výrobků pro domácí spotřebu. Ukazuje se, že elektrotechnická výroba je oproti ostatním typům výrob odlišná z pohledu osvojení si principů štihlé výroby.

Závěry

Shrneme-li výsledky, které byly zjištěny o vlivu velikosti a odvětví podniku, pak můžeme konstatovat, že větší vliv na osvojení si principů štíhlé výroby má zejména velikost podniku. Bylo prokázáno, že tento vliv je patrný téměř u všech sledovaných principů, zejména mezi mikro a velkými podniky, resp. malými a velkými podniky. Velké podniky se zaměřují na standardizaci a vizualizaci, naopak střední, malé a mikro podniky se orientují spíše na univerzální principy jako je respekt k zaměstnancům, osobní odpovědnost. Vliv odvětví byl patrný pouze u malého počtu principů. Odlišné bylo zejména odvětví elektrotechniky, které vykazuje rozdíly u principů flexibility, standardizace, řešení problémů a dlouhodobého zaměření.

6.3 Metody štíhlé výroby

Metody štíhlé výroby jsou konkrétní postupy, které se využívají v podnicích k uplatnění principů štíhlé výroby. Jedná se o nástroje sloužící k eliminaci plýtvání a odstranění ztrát ve výrobě s cílem zvýšení efektivity a produktivity. Tyto metody jsou různorodé a nejsou využitelné pouze ve výrobě, ale mají uplatnění také v jiných útvarech. V rámci dotazníkového šetření bylo sledováno celkem 25 metod štíhlé výroby.

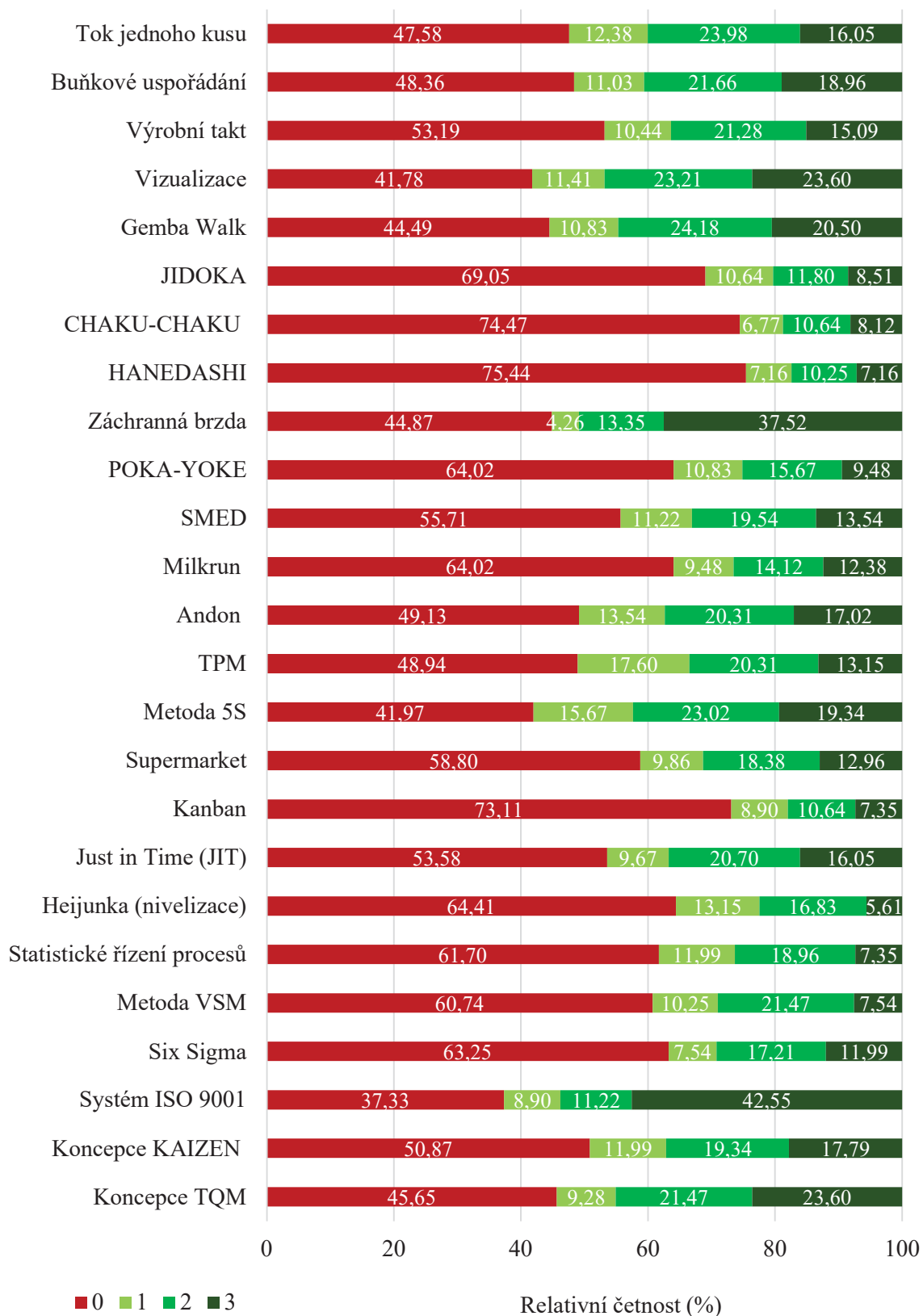
6.3.1 Zhodnocení metod štíhlé výroby

Metody štíhlé výroby byly rozděleny do dvou různých skupin podle míry jejich implementace. Každá skupina je charakterizována souborem 6 až 12 samostatných metod, které se liší příslušným nejvyšším procentem implementace.

Shrneme-li výsledky, pak můžeme konstatovat, že převážně podniky používají systémy ISO 90001 zaměřené na řízení kvality, mechanismy nouzového zastavení výroby pro zajištění bezpečnosti a vizualizační nástroje pro lepší rozhodování a komunikaci. Metoda ISO 90001 je v podnicích implementována s 42,53 % a s ní souvisí zavádění metodik konceptu TQM (v 23,60 %). Dále je v nejvyšší míře 37,52 % v podnicích využívána metoda záchranné brzdy, která rozšiřuje možnosti bezpečnostních prvků ve výrobě. Významné postavení mají také nástroje vizualizace, které jsou plně implementovány v 23,60 % podniků. Kultura neustálého zlepšování je v praxi podporována metodou Gemba walk (procházek pro pracovišti) s mírou využití 20,5 %. Rozmístění a rozvržení výroby je v podnicích ve štíhlé výrobě často buňkové (plná implementace v 18,96 % podniků). Metodu 5S založenou na pořádku na pracovišti plně zavedlo 19,34 % podniků.

Naopak nižší míra implementace je v podnicích u specificky zaměřených metod jako je Jidoka, Chaku-Chaku či systém Kanban. Tyto metody vytvářejí základ pro zvýšení produktivity, zajištění kontinuálního toku a optimalizaci zásob.

Obrázek 36 Relativní četnosti metod štihlé výroby



Zdroj: vlastní zpracování

Jidoka, spojující automatizaci s kontrolou kvality, nebyla implementována v 69,05 % případů. Ačkoliv metoda Chaku-Chaku umožňuje obsluhu dohlížet na více strojů a vytvářet plynulý materiálový tok, vykazuje ještě o něco vyšší míru absence v podnicích, a to 74,47 %. Je zajímavé, že systém Kanban nevyužívá 73,11 % podniků. V návaznosti je méně rozšířená také metoda supermarketu usnadňující doplňování zásob na lince. Podobně jsou hodnoceny také metody Heijunka pro vyrovnávání výroby či Poka-yoke pro prevenci vad. Jejich úplnou implementaci nenajdeme v 64,02 % podniků. Podobně je nízká míra implementace metody Milkrun, statistická kontrola procesů či mapování hodnotových toků (VSM). Metodický rámec pro zlepšování procesů (Six Sigma) není využíván v 63,25 %.

6.3.2 Vliv velikosti a odvětví podniků na metody štíhlé výroby

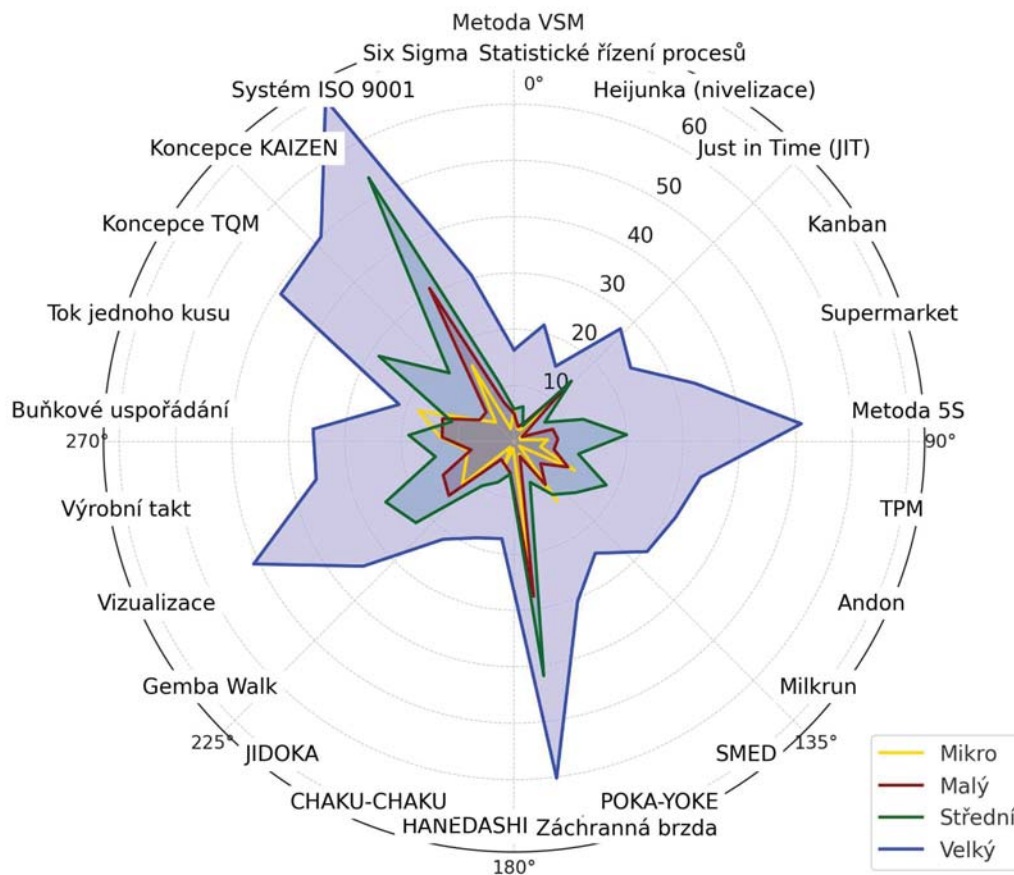
Podobně jako u principů i u metod štíhlé výroby byl hodnocen vliv velikosti a odvětví podniku. V praxi se ukazuje, že menší a větší podniky mají odlišné preference při zavádění těchto metod. Často je toto rozhodnutí založeno na dostupnosti financí a investic. Současně technologicky náročnější odvětví vyžadují rozdílný přístup při určování priorit. Lze tedy očekávat i rozdíly mezi podniky v různých odvětvích.

a) Vliv velikosti podniku na implementaci metod štíhlé výroby

Obrázek 37 zachycuje v zavádění metod převahu velkých podniků nad ostatními podniky. Velké podniky tak mají implementováno nejvíce metod, ačkoliv je nutné je propojit s principy. Z výsledků vyplývá, že základní metody jako ISO 90001 a záchranná brzda jsou univerzálně využívány. Na druhou stranu se v závislosti na velikosti podniku se celá řada metod, zejména v oblasti řízení kvality a procesů liší.

Velké podniky se zaměřují na metody, které podporují dlouhodobé zlepšování a efektivní řízení rozsáhlých operací. To znamená, že kladou důraz na vizualizaci, 5S (51,02 %) a koncepci Kaizen (50,00 %). Důvodem je potřeba efektivně řídit rozsáhlé operace. Základem pro zajištění kvality a rychlé řešení problémů jsou ISO 90001 (69,39 %) a záchranná brzda (60,20 %). Středně velké podniky kombinují metody zajišťující kvalitu s těmi, které umožňují pochopení a řízení reálných procesů. K tomu využívají TQM (28,39 %) a Gemba Walk (22,58 %) pro dlouhodobé zlepšování a pochopení reálných procesů přímo na pracovišti. Vizualizace (25,16 %) je důležitým nástrojem pro komunikaci a řízení. Malé a mikro podniky upřednostňují flexibilitu a efektivitu, aby se rychle přizpůsobily změnám na trhu a maximalizovaly využití omezených zdrojů. Malé podniky se zaměřují na tok jednoho kusu (16,11 %) a Just in Time (13,13 %). Mikro podniky upřednostňují SMED a buňkové uspořádání (13,10 %), aby mohly rychle měnit výrobní program.

Obrázek 37 Nejvíce implementované metody štihlé výroby podle velikosti podniku



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Statistické vyhodnocení

K posouzení vlivu velikosti podniku na implementaci metod štihlé výroby byly využity neparametrické Kruskal-Wallisovi testy. Důvodem byly výsledky Shapiro-Wilkova testů, které neprokázaly normalitu rozdělení (Příloha 4c).

Hypotéza H10:

- H10₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace metod štihlé výroby podle různých velikostí podniků.
- H10_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení implementace metod štihlé výroby podle různých velikostí podniků.

Kruskal-Wallisovi testy potvrdily statisticky významné rozdíly u všech sledovaných metod štihlé výroby. Velikost podniku je tedy výraznou determinantou při implementaci těchto metod. Tabulka 22 uvádí všechny podstatné výsledky včetně míry hodnocení efektu (Sig.). Vzhledem k počtu statisticky významných porovnání jsou kompletní výsledky host-hoc testů uváděny v Příloze 10a.

Tabulka 22 Kruskal-Wallisův test metod štihlé výroby podle velikosti podniku

Velikost	H	p	Sig.
Koncepce TQM	89,428	0,000	***
Koncepce Kaizen	98,996	0,000	***
Systém ISO 9001	97,041	0,000	***
Six Sigma	76,732	0,000	***
Metoda VSM	36,125	0,000	***
Statistické řízení procesů	97,568	0,000	***
Heijunka (nivelizace)	55,008	0,000	***
Just in Time (JIT)	32,994	0,000	***
Kanban	82,550	0,000	***
Supermarket	85,663	0,000	***
Metoda 5S	99,187	0,000	***
TPM	80,850	0,000	***
Andon	40,398	0,000	***
Milkrun	72,989	0,000	***
SMED	37,928	0,000	***
Poka-yoke	94,446	0,000	***
Záchranná brzda	46,654	0,000	***
Hanedashi	56,088	0,000	***
Chaku-Chaku	53,609	0,000	***
Jidoka	73,127	0,000	***
Gemba Walk	39,306	0,000	***
Vizualizace	97,321	0,000	***
Výrobní takt	65,956	0,000	***
Buňkové uspořádání	44,116	0,000	***
Tok jednoho kusu	12,259	0,007	**

Zdroj: vlastní zpracování

b) Vliv odvětví podniku na implementaci metod štihlé výroby

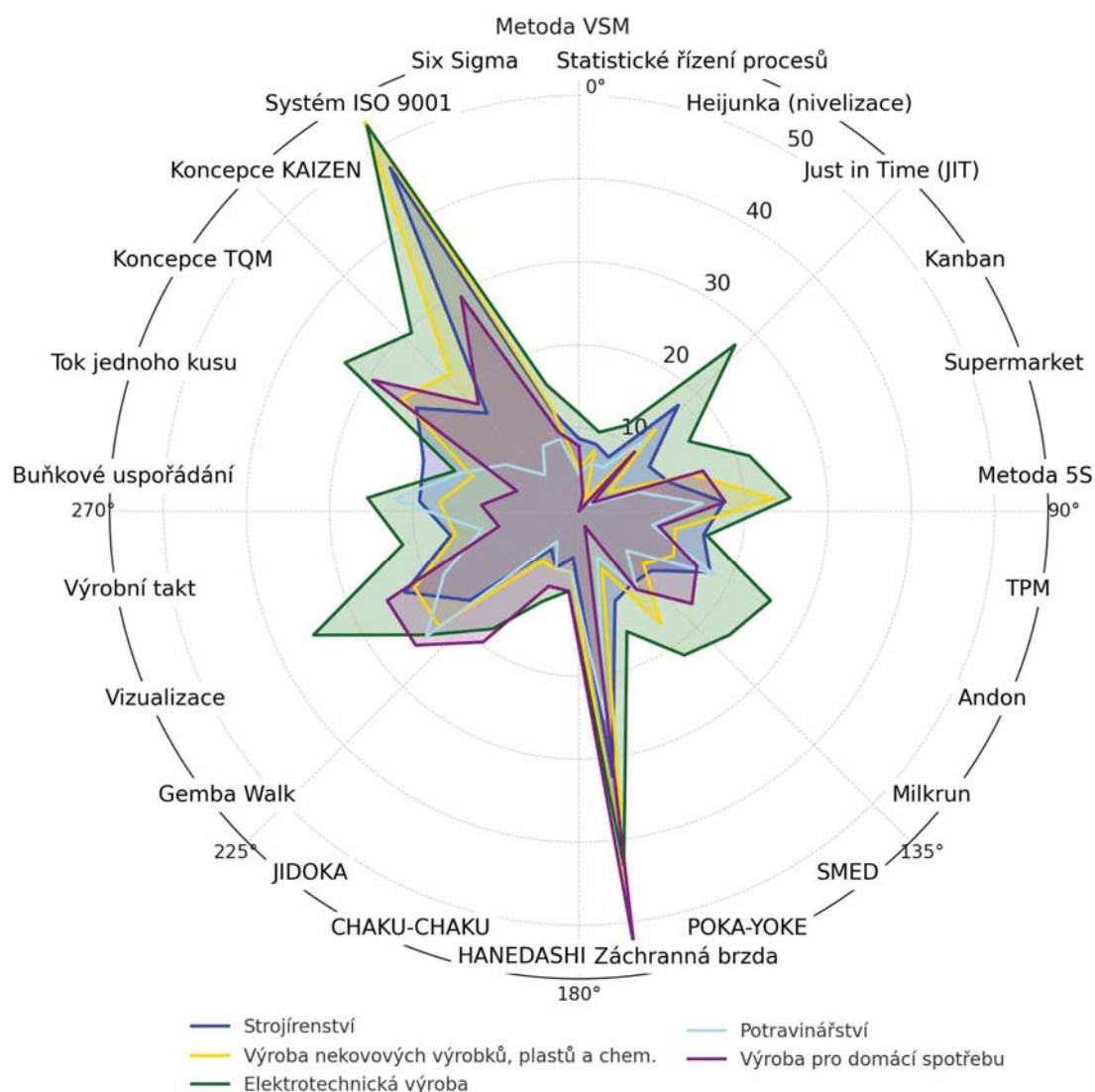
Dále byl analyzován vliv odvětví podniku na implementaci metod štihlé výroby v podnicích. Výsledky zobrazuje obrázek 38, přičemž největší plochu pokrývá křivka v elektrotechnické výrobě. Ta se bude pravděpodobně lišit od ostatních odvětví vzhledem k její vyšší technologické náročnosti. Podobně se budou lišit implementované metody u výroby pro domácí spotřebu.

Na uvedeném obrázku jednotlivých metod můžeme identifikovat napříč odvětvími klíčové metody štihlé výroby, které jsou implementovány ve všech odvětvích. Jedná se zejména o systém ISO 90001, záchrannou brzdu a metodu vizualizace.

Hledáme-li specifika jednotlivých odvětví, pak v odvětví kovové, plastové a chemické výroby a elektrotechnické výrobě, podniky implementují koncepci TQM (25,21 %) a Kaizen (25,00 %).

Ty podporují neustálé zlepšování. Strojírenská výroba pak zdůrazňuje metodu toku jednoho kusu (19,65 %) či vizualizaci (23,14 %). U výroby pro domácí spotřebu a potravinářské výroby patří mezi důležité metody Gemba Walk (23,88 %) pro a přímé pozorování procesů a následně rychlé řešení problémů. Výroba pro domácí spotřebu bývá často realizována v buňkovém uspořádání (22,39 %).

Obrázek 38 Nejvíce implementované metody štihlé výroby podle odvětví



Zdroj: vlastní zpracování v Matplotlib

Statistické vyhodnocení

Vzhledem k výsledkům Shapiro-Wilkových testů, které neprokázaly normalitu rozdělení (Příloha 4c), bylo využito pro statistickou analýzu neparametrických Kruskal-Wallisových testů. Ty se snažily posoudit vliv odvětví podniku na implementaci metod štihlé výroby.

Hypotéza H11:

- H11₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení implementace metod štíhlé výroby podle různých odvětví podniků.
- H11_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení implementace metod štíhlé výroby podle různých odvětví podniků.

V případě odvětví výsledky Kruskal-Wallisovi analýzy ukazují, že je statisticky významných zhruba polovina sledovaných metod. Tabulka 23 ukazuje, že rozdíly byly zjištěny u koncepcí TQM, Kaizen, systému ISO 90001, Six Sigma a dále metod Kanban, Supermarket, Milkrun, SMED, Poka-yoke, záchranné brzdy a Jidoka. U ostatních metod nebyly rozdíly statisticky prokázány.

Tabulka 23 Kruskal-Wallisův test metod štíhlé výroby k porovnání podle odvětví

Metody	<i>H</i>	<i>p</i>	Sig.
Koncepce TQM	13,953	0,007	**
Koncepce Kaizen	21,376	0,000	***
Systém ISO 90001	57,008	0,000	***
Six Sigma	13,016	0,011	*
Metoda VSM	6,275	0,180	
Statistické řízení procesů	15,763	0,003	**
Heijunka (nivelizace)	6,553	0,162	
Just in Time (JIT)	9,386	0,052	
Kanban	21,254	0,000	***
Supermarket	10,072	0,039	*
Metoda 5S	8,086	0,089	
TPM	5,102	0,277	
Andon	6,816	0,146	
Milkrun	11,230	0,024	*
SMED	11,887	0,018	*
Poka-yoke	13,430	0,009	**
Záchranná brzda	19,055	0,001	**
Hanedashi	2,062	0,724	
Chaku-Chaku	8,388	0,078	
Jidoka	33,346	0,000	***
Gemba Walk	7,696	0,103	
Vizualizace	8,018	0,091	
Výrobní takt	9,422	0,051	
Buňkové uspořádání	6,624	0,157	
Tok jednoho kusu	9,373	0,052	

Zdroj: vlastní zpracování

Dále byly prostřednictvím post-hoc testů zjištěny, které konkrétní kategorie se mezi sebou u daných metod liší. Výsledky ukazují (Příloha 10b), že nejvíce rozdílů v aplikaci metod řízení kvality a procesů se objevuje mezi elektrotechnickou výrobou a výrobou pro domácí spotřebu. Rozdíly odrážejí specifické potřeby elektrotechnické výroby pro technickou kvalitu a inovace oproti potřebě rychlé reakce na tržní změny ve výrobě pro domácí spotřebu. Elektrotechnická výroba a výroba pro domácí spotřebu se výrazně liší v aplikaci metod jako jsou Koncepce TQM, Koncepce Kaizen, Systém ISO 9001, Statistické řízení procesů, Kanban a Jidoka.

Závěry

Shrneme-li hlavní závěry, pak z výsledků vyplynulo, že velikost podniku je výraznou determinantou implementace metod štíhlé výroby. Rozdíly mezi velikostními kategoriemi byly zjištěny u všech sledovaných metod. Velké podniky se zaměřují zejména na vizualizaci procesů, 5S koncept, ISO 90001. Naopak malé a mikro podniky zdůrazňují metody tok jednoho kusu, Just in Time, SME či buňkové uspořádání. Pokud jde o vliv odvětví podniků, pak zde byly rozdíly prokázány u zhruba poloviny sledovaných metod, zejména metody Kaizen, Jidoka, Kanban či ISO 9001. Rozdílné bylo zejména odvětví výroby pro domácí spotřebu, které se lišilo zejména od elektrotechnického odvětví.

6.3.3 Faktorová analýza metod štíhlé výroby

Ke kategorizaci metod štíhlé výroby byla využita faktorová analýza. Do faktorové analýzy bylo vybráno 24 metod, jejichž míra implementace v podnicích byla zjišťována prostřednictvím dotazníkového šetření. Výběr metod vychází z literatury a je specifikován v metodické části.

Validita faktorové analýzy

Nejprve bylo ověřeno, zda data splňují podmínky na provedení faktorové analýzy. Výsledky Bartlettova testu sféricity (Bartlett, 1954) ukázaly, že korelační matice není náhodná ($\chi^2 = 6344,371$, $p < 0,001$) a liší se významně od matice identity. Kaiser–Meyer–Olkinovo (KMO) kritérium vykazuje hodnotu 0,959. Tato hodnota je vyšší než 0,7 (Kaiser, 1974), proto je využití faktorové analýzy vhodné.

Extrakce hlavních komponent

K identifikaci nejvýznamnějších faktorů byla použita analýza hlavních komponent (PCA). Tabulka 24 obsahuje vlastní čísla a hodnoty rozptylu. První faktor představoval 44,832 % celkového rozptylu s vlastním číslem 10,760. V tomto případě se jednalo o nejvýznamnější část vysvětleného rozptylu. Druhý faktor vysvětluje 5,245 % rozptylu, což je kumulativně 50,077 %. Dále přispěly třetí a čtvrtá faktory s rozptylem 4,518 %, resp. 3,969 %. Dohromady tedy tyto

komponenty dosahují kumulativního rozptylu 58,564 %. To je také hodnota, kterou metody zahrnuté do analýzy popisují sledovanou proměnnou (metody štíhlé výroby).

Tabulka 24 Extrakce hlavních komponent a vlastní čísla k metodám Štíhlé výroby

Faktor	Vlast. číslo	% celkem	Rozptyl	Kumulativní
1	10,760	44,832	10,760	44,832
2	1,259	5,245	12,019	50,077
3	1,084	4,518	13,103	54,595
4	0,953	3,969	14,055	58,564

Zdroj: vlastní zpracování

Následný sutinový graf (Příloha 6b) znázorňuje hodnoty vlastních čísel získaných z analýzy hlavních komponent v závislosti na pořadí vlastního čísla. Výrazné je zejména zalomení u první vlastní hodnoty. Kaiser–Meyer–Olkinovo kritérium ukazovalo na pouze tři faktory. Nicméně, finální rozhodnutí o zahrnutí čtyř faktorů bylo založeno také na jejich empirickém vysvětlení. Důležitá byla interpretovatelnost výsledků a vzniklých konstruktů faktorů. Toto rozhodnutí je diskutováno v omezení výzkumu.

Faktorové zátěže a rotace

Po extrakci faktorů byly dále vypočteny faktorové zátěže pro každou z proměnných. U vstupního nerotované řešení bylo pro účely snazší interpretace provedena rotace. Testovány byly různé varianty rotace, nicméně nakonec byla vybrána normalizovaná metoda Varimax. Tabulka 25 zachycuje u proměnných pouze hodnoty faktorových zátěží patřících do daného faktoru. Hodnota faktorových zátěží se pohybuje v rozmezí 0,437 až 0,793. Je zřejmé, že některé z metod mají nižší hodnotu zátěží (např. TPM, supermarket). V řešení byly nicméně ponechány s ohledem na jejich nezastupitelný dopad při implementaci některých principů štíhlé výroby. Zjištěné čtyři faktory se snaží vystihnout povahu štíhlé výroby v kontextu výrobních systémů.

Reliabilita (spolehlivost) faktorů

Spolehlivost výběru jednotlivých proměnných byla posouzena prostřednictvím hodnot Cronbachova alfa. Současně byla vypočtena hodnota průměrných mezipoložkových korelačních koeficientů. Výsledky naznačují, že byla zjištěna vysoká míra vnitřní konzistence jednotlivých faktorů (tabulka 25). Konkrétně, řízení kvality (faktor 1) vykazuje hodnotu standardizované Cronbachova alfa 0,839, optimalizace výroby (faktor 2) 0,842, řízení bezpečnosti a rizik 0,855 (faktor 3) a flexibilní a statistické systémy (faktor 4) hodnotu 0,828. Všechny tyto hodnoty jsou vyšší než doporučená minimální hodnota 0,7, složení faktorů je tedy poměrně spolehlivé.

Odpovídající průměrné mezipoložkové korelace jsou také poměrně vysoké (od 0,434 do 0,516). Oba koeficienty reliability potvrzují vnitřní strukturu vytvořených faktorů.

Tabulka 25 Faktorové zátěže k metodám štihlé výroby

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Spolehlivost
Koncepce TQM	0.666				Cronbachovo $\alpha = 0,839$ $R^2 = 0,516$
Koncepce Kaizen	0.608				
Systém ISO 9001	0.788				
Metoda 5S	0.549				
TPM	0.437				
Just in Time (JIT)		0.457			Cronbachovo $\alpha = 0,842$ $R^2 = 0,434$
Andon		0.562			
SMED		0.494			
Gemba Walk		0.625			
Vizualizace		0.541			
Buňkové uspořádání		0.678			
Tok jednoho kusu		0.755			
Milkrun			0.531		Cronbachovo $\alpha = 0,855$ $R^2 = 0,498$
Poka-yoke			0.530		
Záchranná brzda			0.575		
Hanedashi			0.768		
Chaku-Chaku			0.634		
Jidoka			0.729		
Six Sigma				0.501	Cronbachovo $\alpha = 0,828$ $R^2 = 0,448$
Metoda VSM				0.465	
Statistické řízení procesů				0.568	
Heijunka (nivelizace)				0.517	
Kanban				0.793	
Supermarket				0.469	

Zdroj: vlastní zpracování

6.3.4 Kategorizace metod štihlé výroby

Čtyři vytvořené faktory byly pojmenovány podle proměnných (metod štihlé výroby) s nejvyšší zátěží. Ty jsou podrobněji vysvětleny v této části.

Faktor 1 - Řízení kvality

Tento faktor integruje metody, které zlepšují a podporují kvalitu podnikových procesů. Jedná se zejména o přístup Total Quality Managementu (0,666), který do středu staví kvalitu a zaměřuje se na neustálé zlepšování všech oblastí podnikových procesů za přispění všech zaměstnanců. Neustálé zlepšování pak vychází z koncepce Kaizen (0,608), která zapojuje všechny lidi v podniku do provádění postupných změn. Kaizen vytváří takovou kulturu, kde jsou všichni v organizaci zaměřeni na neustálé zlepšování. Toto prostředí vede k vzniku kvality management systému založeného na standardu ISO 9001 (0,788). Kromě toho je tento systém podporován metodami 5S (0,549) a TPM (0,437). Metoda 5S se zaměřuje na zaměstnance, kteří vytvářejí systém organizace práce a úklidu na pracovišti. Zatímco TPM je zaměřená na stroje a zařízení.

Faktor 2 - Optimalizace výroby

Druhý faktor se zaměřuje na zlepšování efektivity, rychlosti a výkonnosti výrobních procesů. Tato efektivita může být dosažena prostřednictvím metody Just in Time, která odstraňuje zbytečné zásoby. Jejím důsledkem je snížení nákladů. JIT (0,457) přispívá k plynulému toku materiálů bez zásob nedokončené výroby, označovanému jako tok 1 kusu (0,755). Do této skupiny patří také metody zaměřené na vizualizaci pracovního prostředí (0,541), jedná se o různá značení, signály, vizuálně speciálně označené zóny, či přímo obrazovku Andon (0,562), která v reálném čase zobrazuje důležité informace o výrobě pro operátory a manažery. Plynulý tok je uplatňován také při změně výrobního programu, pro tyto účely se využívá metoda přestavení výrobních linek SMED (0,494). Kromě linek se jedná také o buňkovou výrobu (0,678), při které jsou stroje a procesy úzce provázány a umístěné ve výrobní buňce. V případě problémů lze provést úplný průzkum pracoviště Gemba Walk (0,625).

Faktor 3 - Řízení bezpečnosti a rizik

Charakteristikou faktoru 3 je přesnost a eliminace chyb ve výrobních procesech. Tyto nástroje se souhrnně označují jako Jidoka (0,729), jejichž cílem je odhalit abnormality procesu a následně je odstranit. Jedná se o zařízení pro autodetekci problémů, která nahrazují lidskou práci. V případě problémů na lince je součástí také záchranná brzda (0,575), která umožňuje pracovníkům zastavit výrobu na lince z důvodu vzniku chyb. Jedná se také o koncept Hanedashi (0,768), který slouží k automatickému zavádění nebo vyjímání dílů ze stroje. Poka-yoke (0,530) je naopak charakterizován mechanismem předcházení chybám. Podobně může sloužit metoda Chaku-Chaku (0,634), která usnadňuje pracovníkům multitasking na mnoha strojích, aniž by se dopouštěli zbytečných chyb a pohybů. Pohyby na pracovišti mohou být zcela odstraněny s využitím metody Milkrun (0,531) pro doplňování materiálu ze skladu na výrobní linku. Tento faktor klade důraz na minimalizaci chyb, zvýšení bezpečnosti a kvality výrobních procesů.

Faktor 4 - Flexibilní a statistické řízení

Čtvrtý faktor se zabývá flexibilitou a statistickým řízením procesů. To znamená využití statistického řízení procesů (0,568) a metodologie Six Sigma (0,501) pro snížení chyb na minimum. Six Sigma využívá nejrůznějších metod řízení kvality. Kromě statistického řízení může být prostřednictvím metody Heijunka (0,517) zaveden vyrovnaný výrobní program. Takový program odstraňuje, podobně jako Six Sigma, variabilitu procesů a nabízí snadné plánování. Heijunka boxy proto bývají osazovány Kanbany (0,793), které slouží jako vizuální systém pro plánování objednávek. Tyto karty putují výrobním procesem v boxech, jsou uchovávány v heijunka boxech nebo čekají na zpracování v supermarketech (0,469). Samotné zajištění flexibility a odstranění plýtvání je zajištěno důkladným mapováním přidané hodnoty prostřednictvím metody VSM (0,465).

6.3.5 Celkové hodnocení implementace štihlé výroby (index SV4)

Podobně jako index PI4 hodnotící implementaci technologií Průmyslu 4.0 byl vypočten i index implementace metod štihlé výroby (SV4). Jako váhy faktorů byly použity hodnoty faktorových zátěží z faktorové analýzy. Hodnoty indexu SV4 byly následně převedeny na % vyjádření pro lepší představu z kolika % jsou jednotlivé metody štihlé výroby implementovány.

Vztah celkového skóre indexu k subjektivnímu hodnocení

Toto hodnocení implementace metod štihlé výroby bylo porovnáno se subjektivním vnímáním manažerů. Toto hodnocení bylo založeno na tvrzení, zda by se „zařadili mezi firmy využívající štihlou výrobu“, hodnocenou na škále od 1 do 5. Z výsledků vyplynulo, že korelace mezi indexem SV4 a tímto sebe-hodnocením je poměrně vysoká ($r = 0,612$), signifikantní na hladině $\alpha = 0,05$. To naznačuje, že nastavený index SV4 vykazuje shodu se subjektivním hodnocením manažerů a má poměrně solidní spolehlivost.

Statistické vyhodnocení vlivu velikosti podniku a odvětví na celkové skóre

Dále byl sledován vliv faktorů velikosti a oborů podniku na toto celkové skóre štihlé výroby. Pro posouzení obou efektů byla využita ANOVA.

Hypotéza H12:

- H12₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v hodnocení skóre štihlé výroby (indexu SV4) podle různých velikostí podniků a odvětví.
- H12_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v hodnocení skóre štihlé výroby (indexu SV4) podle různých velikostí podniků a odvětví.

Nejprve byly hodnoceny předpoklady analýzy ANOVA. K tomuto účelu byly využity (Příloha 7b) čtyři diagnostické grafy získané ze software R. Shapiro-Wilkův test normality zjistil, že rezidua nejsou normálně rozdělena ($W = 0,980$; $p = 0,000$). Výsledky Leveneova testu homogenity rozptylu ukazuje významné rozdíly ve skupinách rozptylů pro celý model ($F = 2,620$; $W = 0,000$), i pro jednotlivé vlivy. Heteroskedasticita tak byla zřejmá i pro odvětví ($F = 4,940$; $p = 0,001$) a velikost podniků ($F = 14,300$; $p = 0,000$). Vzhledem k porušení předpokladů rovnosti rozptylů a normality reziduí bylo vhodnější využít neparametrický přístup k ANOVA.

Výsledky neparametrické ANOVA

K neparametrickým testům byl vybrán Schreier-Ray-Hareův test, který odhalil statisticky významné rozdíly u obou sledovaných vlivů (tabulka 26). Vliv odvětví naznačuje ($H = 9,657$; $p = 0,047$), že celkově je efekt odvětví na implementaci metod štihlé výroby významný. Podobně byl prokázán vliv velikosti podniku ($H = 118,685$; $p < 0,000$). Nicméně interakce obou vlivů nebyla významná a tyto vlivy působí spíše nezávisle.

Tabulka 26 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro souhrnný index SV4

	<i>Df</i>	<i>Sum Sq</i>	<i>H</i>	<i>p.value</i>	<i>Sig.</i>
Odvětví	4	215298	9,657	0,047	*
Velikost	3	2646098	118,685	0,000	***
Odvětví: velikost	12	178804	8,020	0,784	
Rezidua	497	8199818			

Zdroj: vlastní zpracování

Post-Hoc testy

Post-hoc testy potvrzují prokázané rozdíly a slouží k hlubší analýze zjištěných odlišností. Nejvíce rozdílů bylo zjištěno mezi subjekty různých velikostí, zejména mezi nejmenšími a největšími podniky. Ukazuje se, že velké podniky trvale vykazují vyšší úroveň implementace metod štihlé výroby. Rozdíly specifické pro jednotlivá odvětví naznačují, že některá odvětví, mají v rámci hodnocení indexu P14 zcela odlišné charakteristiky (např. výroba pro domácnosti). Tyto výsledky prokazují, že jak odvětví, tak velikost podniku ovlivňují významně implementaci štihlé výroby.

Závěry

Výsledky neparametrické analýzy ANOVA a post-hoc testů potvrdily, že jak odvětví, tak velikost podniku ovlivňují významně implementaci štihlé výroby. Bylo dále prokázáno, že nejvíce rozdílů najdeme u kontrastnějších velikostních kategorií podniků. Z hlediska odvětví je odlišný zejména obor výroby výrobků pro domácnost. Ten je oproti ostatním odvětvím zpracovatelského průmyslu odlišný a vykazuje obecně nižší skóre indexu SV4. Proces implementace metod štihlé výroby vyžaduje v závislosti na velikost a odvětví individuální přístup.

Tabulka 27 Post-Hoc testy pro index SV4

Porovnání	Z	p	p.adj	Sig.
mikro – střední	-6,202	0,000	0,000	***
malý – střední	-4,898	0,000	0,000	***
mikro – velký	-9,970	0,000	0,000	***
malý – velký	-9,390	0,000	0,000	***
střední – velký	-4,975	0,000	0,000	***
strojírenství – výroba výrobků pro domácnost	3,598	0,000	0,003	**
Výroba nekovových výrobků, plastů, papíru, chemtech výroba – výroba výrobků pro domácnost	3,313	0,001	0,009	**
Elektrotechnická výroba – výroba výrobků pro domácnost	4,409	0,000	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

7 Integrace Lean 4.0

Tato kapitola se zaměřuje na charakteristiku vztahu mezi technologiemi Průmyslu 4.0 a metodami štihlé výroby v podnicích (Dílčí cíl 8). K tomu byla využita korespondenční, korelační a regresní analýza. Součástí je také určení síly tohoto vztahu mezi úrovněmi implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0 (Dílčí cíl 9). V kapitole jsou také zhodnoceny praktické aplikace využití Lean 4.0, technologií a metod v podnicích (Dílčí cíl 11). Nakonec je posouzen vliv úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby na finanční výkonnost podniků (Dílčí cíl 10).

7.1 Korespondenční analýza

Pomocí korespondenční analýzy byly zjišťovány vazby u podniků s plně implementovanými metodami štihlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0 (na stupnici hodnota 3). Nejprve byla vytvořena korespondenční tabulka (viz Příloha 11), obsahující četnosti výskytu jednotlivých kombinací technologií a metod. Dále byl proveden výběr dimenzí pro korespondenční analýzu na základě analýzy hlavních komponent (PCA).

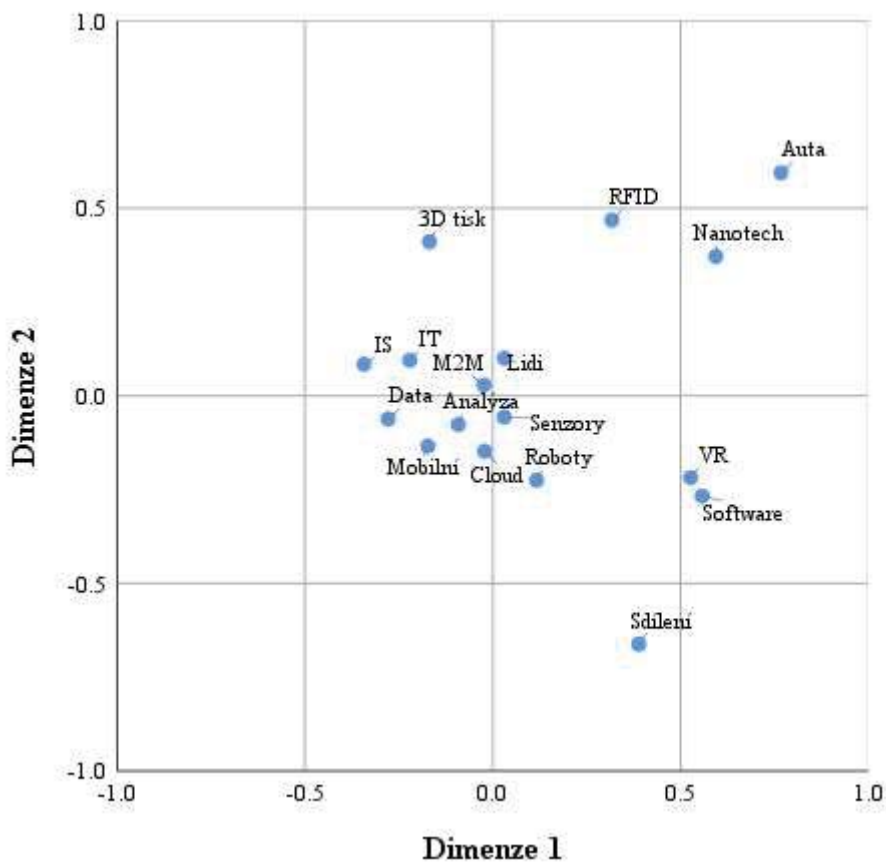
Technologie Průmyslu 4.0

Každá z vytvořených dimenzí (faktorů) představuje osu prostoru korespondenční analýzy. První dimenze má nejvyšší vlastní číslo 0,076 pokrývající 37,6 % celkové variability. Následující dimenze vykazovaly postupně nižší hodnoty vlastních čísel, což naznačuje snižující se podíl na celkovém rozptylu. Například druhá dimenze měla hodnotu vlastního čísla 0,052, což představuje dalších 17,6 % rozptylu (tj. kumulativní rozptyl 55,6 %).

Dále bylo určeno skóre každé technologie a metody v jednotlivých dimenzích. Tyto hodnoty byly použity k tvorbě grafů (jako souřadnice x a y). Jejich cílem je zobrazit asociace a potenciální korelace ve vícerozměrném prostoru, který byl pro zjednodušení redukován na dvě hlavní dimenze. Osy grafu tak představují největší rozptyl získaný ze souboru dat. Jednotlivé technologie mohou mít tendenci se shlukovat.

Obrázek 39 zachycuje tento jev. Například „sběr dat“, „mobilní platformy“, „analýza dat“, „Cloud“ jsou úzce propojeny a naznačují, že se pravděpodobně budou společně v podnicích vyskytovat. Nalevo od nich najdeme „IT infrastrukturu“ a „IS (informační systémy)“, které jsou základem technologického rámce. Na okraji, vystupují „RFID“, „autonomní automobily“ a „nanotechnologie“, které jsou od ostatních více specializovány (případně odlišné). Podobná je situace u „VR (virtuální reality“ a „učící se software (umělá inteligence)“ zdůrazňující inovativní povahu těchto technologií. Technologie „roboty“ si udržuje centrální pozici, ačkoliv více inklinuje k dimenzi 2. Naproti tomu „3D tisk“ a „kvalifikování lidí“ zaujímají spíše okrajovou polohu.

Obrázek 39 Výsledky korespondenční analýzy pro technologie Průmyslu 4.0

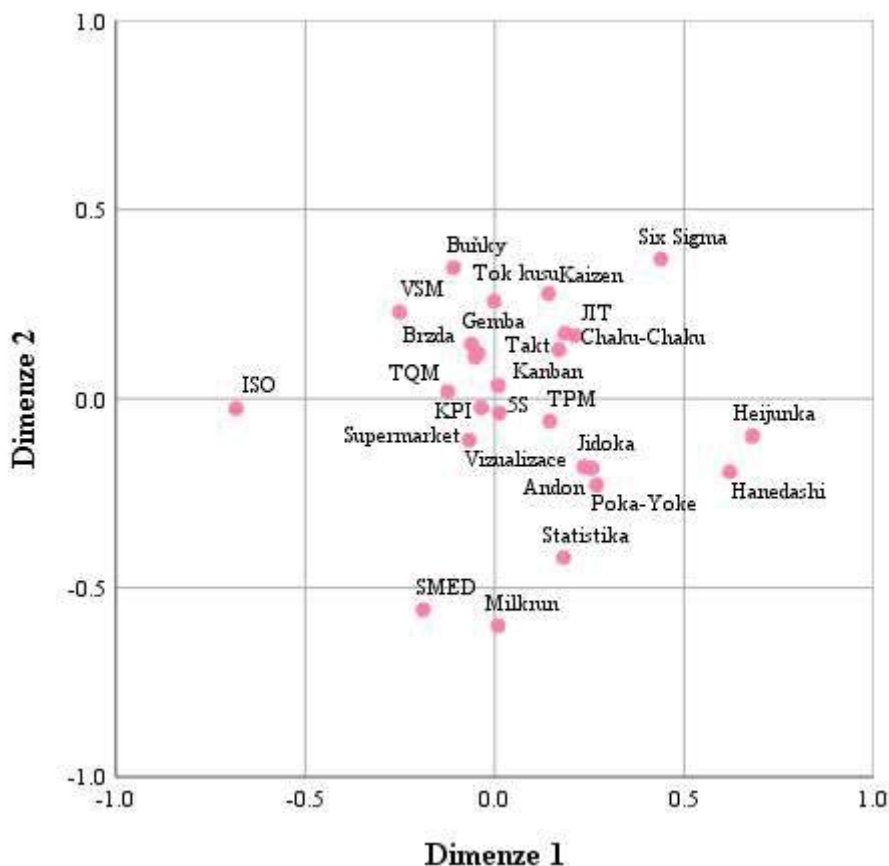


Zdroj: vlastní zpracování

Štíhlá výroba

Podobně byl vytvořen graf pro metody štíhlé výroby. I v tomto případě tvoří osy dvě dimenze (faktory) získané redukcí souboru dat. Hodnoty vynesené na grafu představují skóre jednotlivých metod pro tyto dimenze. Obrázek 40 zachycuje jednotlivé metody štíhlé výroby v prostoru podle jejich příslušnosti k jednotlivým dimenzím. Zvláštní postavení má koncepce „ISO 90001“, která je umístěna blízko hodnoty 0 na ose y (dimenze 2). Metody „VSM“, „Gemba Walk“ a „Kaizen“ mají v této dimenzi vysoké hodnocení. To naznačuje jejich roli v neustálém zlepšování. Na opačném konci jsou seskupeny metody „Six Sigma“, „JIT“ a „Heijunka“. To poukazuje na odlišný přístup k optimalizaci procesů. Metody „SMED“, „milkrun“ a „statistické řízení“ jsou na grafu izolované od ostatních, což odráží jejich specializovanou funkci při aplikacích. Centrální pozici na grafu zaujímají metody „TPM“ a „TQM“, čímž demonstrují svůj široký význam při implementaci. Naopak metody „Jidoka“, „Andon“ a „Poka-yoke“ jsou si bližší, což naznačuje jejich společnou preventivní funkci.

Obrázek 40 Výsledky korespondenční analýzy pro metody štíhlé výroby



Zdroj: vlastní zpracování

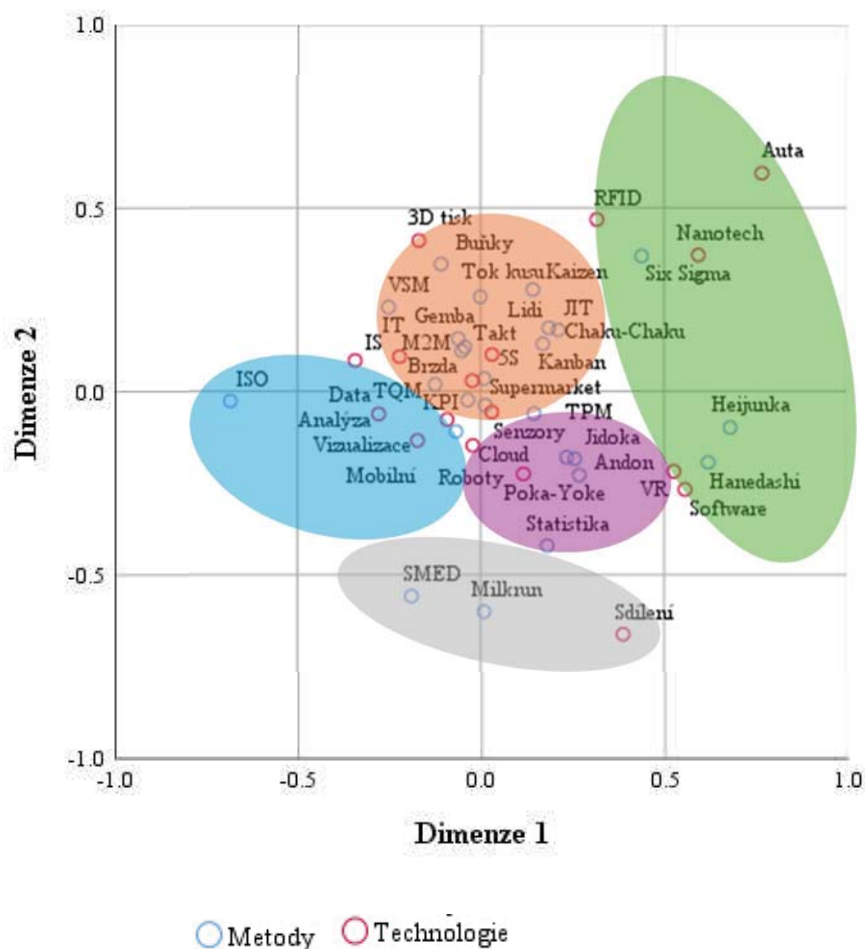
Lean 4.0

Nakonec byl vytvořen souhrnný graf, který obsahuje jak technologie Průmyslu 4.0, tak metody štíhlé výroby závislosti na kombinaci dimenzí. Dimenze slouží jako ukazatele relativních pozic odvozených z analýzy a odrážejí potenciální synergie mezi technologiemi a metodami štíhlé výroby. Tato vizualizace zdůrazňuje vícerozměrnou povahu vztahů. Na základě grafu je patrné, že některé metody jsou úzce spjaty s konkrétními technologiemi a vytvářejí shluky.

Základní metody Lean a podpůrné technologie (oranžový centrální shluk). V centrálním shluku na se výrazně projevují základní metody štíhlé výroby, jako jsou Gemba Walk, VSM, Kaizen, 5S, Supermarket, výrobní takt, Chaku-Chaku, Kanban, TPM a JIT. Tyto metody štíhlé výroby jsou úzce spojeny s moderními technologiemi, jako jsou M2M, Internet věcí, IT, roboti, 3D tisk a velká data. Tato integrace odráží synergický vztah, kdy jsou tradiční postupy štíhlé výroby obohaceny o digitální technologie a technologie konektivity. Tyto technologie usnadňují sběr dat v reálném čase, bezproblémovou komunikaci a automatizaci procesů.

Pokročilé a vznikající technologie (zelený shluk vpravo). Pravý shluk identifikuje metody Six Sigma, Heijunka, Hanedashi. Six Sigma, které je výrazně spojeno s pokročilými technologiemi RFID, autonomními vozidly a nanotechnologiemi. Přísný statistický přístup Six Sigma ke zlepšování kvality nachází silný doplněk v technologii RFID, která zlepšuje sledování a řízení zásob pomocí přesných údajů v reálném čase. Učící software a Heijunka pomáhají řídit a optimalizovat složité výrobní systémy. Toto spojení určuje trend integrace high-tech řešení do postupů řízení kvality s cílem dosáhnout vyšší přesnosti a efektivity štihlých operací.

Obrázek 41 Výsledky korespondenční analýzy pro metody a technologie



Zdroj: vlastní zpracování

Soulad a standardizace (modrý shluk vlevo). V levém shluku jsou analýza dat a informační systémy klíčovými technologiemi spojenými s metodami štíhlé výroby zaměřenými na rychlou tvorbu prototypů a flexibilitu výroby. ISO 9001, která je široce přijatou normou pro řízení kvality, je umístěna izolovaně, což naznačuje její roli jako univerzálního rámce pro zajištění kvality. TQM, KPI, Analýza dat jsou seskupeny, což posiluje myšlenku, že tato oblast se zaměřuje na

udržování a sledování kvality, výkonnosti a vizualizaci dat. Tento shluk se orientuje na dodržování předpisů, standardizace a průběžného sledování kvality.

Nové vizualizační a senzorické technologie (centrální fialový shluk). Technologie VR a chytré senzory souvisejí s vizualizací a zpětnou vazbou používanou v moderní výrobě, zejména pro školení, navrhování nebo zlepšování provozního povědomí v reálném čase. Andon a Jidoka jsou nástroje štíhlé výroby související s vizuální kontrolou a autonomií, což znamená, že umožňují pracovníkům zastavit výrobní linky, když se vyskytnou problémy, a umožňují tak okamžité řešení problémů. Tento klastr odráží technologie, které zlepšují interakci člověka se strojem, sběr dat, což potenciálně vede k pružnějším a efektivnějším výrobním systémům.

Speciální štíhlé metody (šedý shluk dole). Dolní shluk zdůrazňuje vztah mezi metodami SMED a Milkrun a technologiemi, jako je sdílení dat. Tyto metody jsou mírně vzdálené od centrálního shluku, což naznačuje, že se jedná o specifické nástroje, které se zaměřují na konkrétní výrobní problémy, ale nemusí být tak univerzálně použitelné nebo tak integrované s digitálními technologiemi jako centrální metody. Tento klastr zdůrazňuje integraci učící se software a automatizačních nástrojů pro dosažení konzistentního tempa výroby a efektivní využití zdrojů.

7.2 Korelační analýza

Mezi technologiemi Průmyslu 4.0 a metodami štíhlé výroby byla dále provedena korelační analýza. Výsledky s nejvyššími korelačními koeficienty shrnuje tabulka 28. V analýze byly použity data bez nulových hodnot (tyto korelace a vztahy vyjadřovaly shodu, že nejsou metody a technologie implementovány). Úplná korelační tabulka uvádí Příloha 12.

Nejvyšší míru Spearmanova koeficientu korelace vykazují kombinace metod a technologií: Andon a učící software (AI), Heijunka a učící software (AI), Jidoka a RFID. Součástí tabulky jsou kromě hodnot korelačních koeficientů také p hodnoty uvádějící statistický význam korelačních koeficientů na hladině významnosti 0,05. Cooksey (2020) uvádí, že nad 0,4 je síla koeficientu střední (splňuje pouze Andon a Učící software / AI). Nad 0,2 je pak korelační koeficient považován za středně slabý. Nutno poznamenat, že existence silné míry korelace však ještě neznamená, že daná technologie a metoda jsou společně v praxi využívány. Nicméně tento vztah je vhodné prozkoumat, neboť tomu tak může být.

Oborová specifika korelačních vztahů

Nejdůležitější vztahy mezi metodami a technologiemi byly také nahlíženy s ohledem na oborová specifika odvětví. Bylo tedy zjišťováno, zda jsou rozdíly mezi jednotlivými odvětvími ve využívání kombinací metod a technologií. Ve velikostních skupinách nebyly významnější rozdíly.

Strojírenská výroba. Výsledky korelační analýzy ukazují, že ve strojírenství byla míra závislosti nejvyšší mezi roboty a metodou VSM ($r = 0,437$), roboty a Chaku-Chaku ($r = 0,439$), senzory a Six Sigma ($r = 0,492$). Zejména kombinace robotů a metody Chaku-Chaku ukazuje, že lze vytvořit souvislý tok a usnadnit pracovníkům plnění úkolů prostřednictvím moderních technologií. Podobně pomáhají chytré senzory realizovat koncept Six Sigma, jehož cílem je eliminace chyb a zvyšování kvality.

Tabulka 28 Korelační analýza mezi metodami štihlé výroby a technologiemi

Metoda	Technologie	Spearman	$t(N-2)$	p	Sig.
Andon	Učící software	0,457	5,363	0,000	***
Heijunka	Učící software	0,399	4,192	0,000	***
Jidoka	RFID	0,397	3,700	0,000	***
Chaku-Chaku	M2M	0,378	4,267	0,000	***
Výrobní takt	Big Data	0,368	5,493	0,000	***
Milkrun	VR	0,359	3,374	0,001	**
Poka-yoke	Učící software	0,358	3,821	0,000	***
Výrobní takt	Roboty	0,357	4,474	0,000	***
Statistické řízení	Roboty	0,347	4,053	0,000	***
Six Sigma	Roboty	0,344	3,950	0,000	***
Buňková výroba	Big Data	0,326	4,932	0,000	***
ISO 9001	IS	0,325	5,344	0,000	***
Gemba Walk	3D tisk	0,325	3,988	0,000	***
Vizualizace	Sdílení dat	0,322	3,910	0,000	***
Chaku-Chaku	Roboty	0,322	3,152	0,002	**
Tok 1 kusu	Nanotechnologie	0,321	3,323	0,001	**
Jidoka	Sdílení dat	0,321	3,142	0,002	**
Jidoka	Senzory	0,319	4,058	0,000	***
Buňková výroba	Roboty	0,318	4,012	0,000	***
Poka-yoke	Nanotechnologie	0,315	2,989	0,004	**

Zdroj: vlastní zpracování

Výroba nekovových výrobků, plastů, papíru a chemická výroba. Prostřednictvím korelační analýzy byly zjištěny nejsilnější vazby technologie virtuální reality pro metody Kaizen ($r = 0,700$), Kanban ($r = 0,968$), Milkrun ($r = 0,685$), Poka-yoke ($r = 0,720$), buňková výroba ($r = 0,656$). Z výsledků je zřejmé, že může být virtuální prostředí prostředkem pro řešení nejrůznějších situací. Lze ji využít pro generování nápadů pro zlepšování, vizualizaci plánování výroby, optimalizaci logistických cest, testování metod předcházení chybám či nastavení procesu výroby na pracovišti. Vysoké korelační koeficienty vykazovalo také sdílení dat s dodavateli

s metodou Supermarket ($r = 0,674$), Hanedashi ($r = 0,760$) a Jidoka ($r = 0,615$). Všechny metody vytvářejí informace, které je vhodné sdílet s partnery pro lepší řízení výrobních procesů.

Elektrotechnická výroba. V odvětví elektrotechnické výroby dosahuje nejvyšší míry závislosti technologie RFID v kombinaci s metodami Kaizen ($r = 0,809$), Six Sigma ($r = 0,757$), JIT ($r = 0,725$), tok jednoho toku ($r = 0,713$) a dalších. Sledování výrobků či polotovarů ve výrobě přináší užitečná data pro optimalizaci výrobního procesu. Vysokou míru vykazovala také technologie využívání autonomních vozidel s TPM, Andon či buňkové výroby ($r = 0,999$). V tomto odvětví byla také významná kombinace virtuální a rozšířené reality s metodami Milkrun ($r = 0,968$), Andon ($r = 0,703$), statistické řízení procesů ($r = 0,696$).

Potravinářská výroba. Odvětví potravinářské výroby je specifické vysokou mírou spojení technologie 3D tisku s metodami Kanban ($r = 0,999$), JIT ($r = 0,825$) či ISO 9001 ($r = 0,843$). Aditivní výroba může být využita k tvorbě prototypů a modelů výrobků a může se stát standardem kvality. Vysokou míru korelace vykazuje také kombinace metody SMED v kombinaci s roboty ($r = 0,875$) a virtuální realitou ($r = 0,833$). Obě tyto technologie mohou pomoci s přípravou či samotnou realizací přeseřizení strojů.

Výroba výrobků pro domácí spotřebu. U výroby spotřebního zboží vykazovaly nejvyšší míru závislosti technologie RFID s metodami Six Sigma, Jidoka, Chaku-Chaku, TPM ($r = 0,999$), Andon ($r = 0,943$) a Poka-yoke ($r = 0,889$). Na tuto technologii pak navazuje sdílení informací s dodavateli, které jsou i výstupem RFID čipů. Vhodná je kombinace robotů a Hanedashi ($r = 0,913$), umožňující automatické operace strojů. Využívána je také umělá inteligence ve spojení s Andon tabulí ($r = 0,800$), Poka-yoke ($r = 0,897$) či metodou Jidoka ($r = 0,999$). V tomto směru jsou data využívána k trénování a optimalizaci výrobních systémů.

7.3 Vztah indexů Průmyslu 4.0 a Štíhlé výroby

Vztah metod štíhlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 lze také posoudit souhrnně prostřednictvím vytvořených indexů PI4 a SV4.

Obrázek 42 ukazuje, že hustota datových bodů je větší směrem k dolnímu konci osy SV4% a dolnímu až střednímu rozsahu osy PI4%. To naznačuje koncentraci podniků s nižšími hodnotami SV4% s širším rozsahem hodnot PI4%. S rostoucími hodnotami SV4% jsou hodnoty PI4% rozptýlenější, což ukazuje variabilitu na vyšších úrovních SV4%. Absence jednoznačného shlukování kolem středové přímky naznačuje, že pokud existuje vztah mezi SV4% a PI4%, může být nelineární nebo ovlivněný jinými faktory, které nejsou na tomto dvourozměrném grafu zobrazeny.

Statistické vyhodnocení

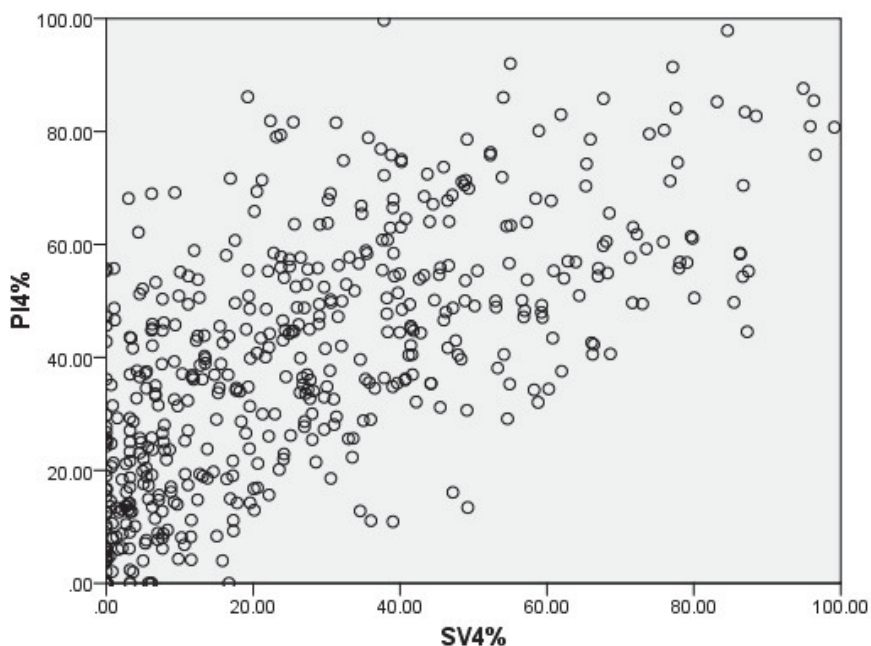
Pro úplnost byla provedena analýza vlivů velikosti podniků a odvětví. Extrémní hodnoty a testy normality (Příloha 4d) nepotvrdily u dat normalitu rozdělení. K analýzy byl tedy použitý Spearmanův korelační koeficient. Cílem bylo posouzení míry a významu závislosti obou indexů PI4 a SV4.

Hypotéza H13:

- H13₀ (nulová hypotéza): Mezi indexy neexistuje závislost (korelační koeficient $r = 0$).
- H13_A (alternativní hypotéza): Mezi indexy existuje závislost (korelační koeficient $r \neq 0$).

Výsledky testu ukazují na signifikantní rozdíly, neboť p hodnota je $< 0,001$. V praxi se jako silná závislost považuje korelační koeficient vyšší než 0,7. Hodnota $r = 0,691$ je blízko této hranice, takže to lze považovat za silnou závislost.

Obrázek 42 Vztah indexů technologií Průmyslu 4.0 a štihlé výroby

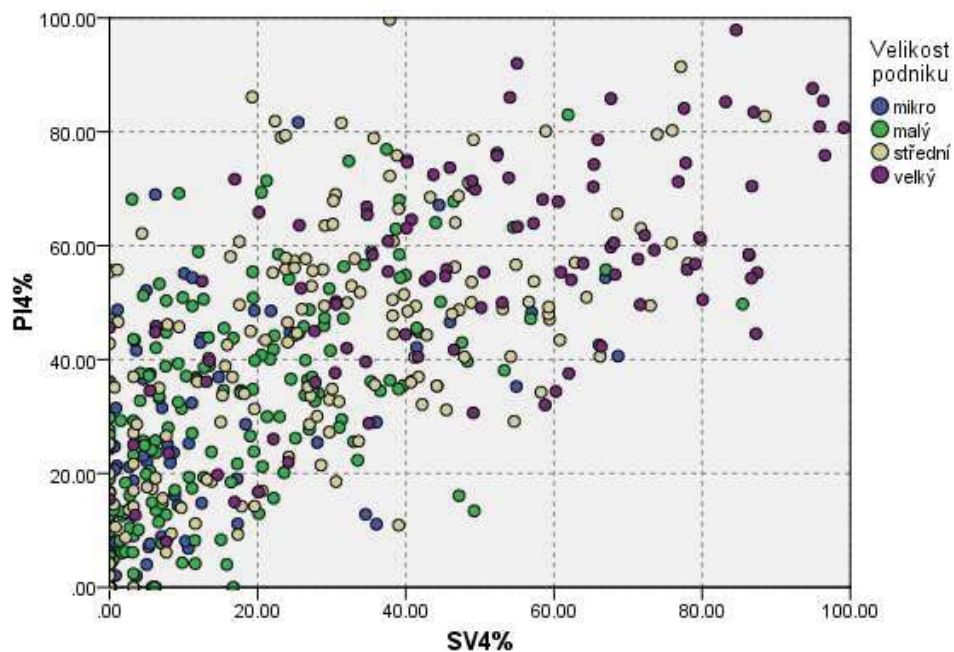


Zdroj: vlastní zpracování

7.3.1 Vliv velikosti a odvětví podniků na indexy

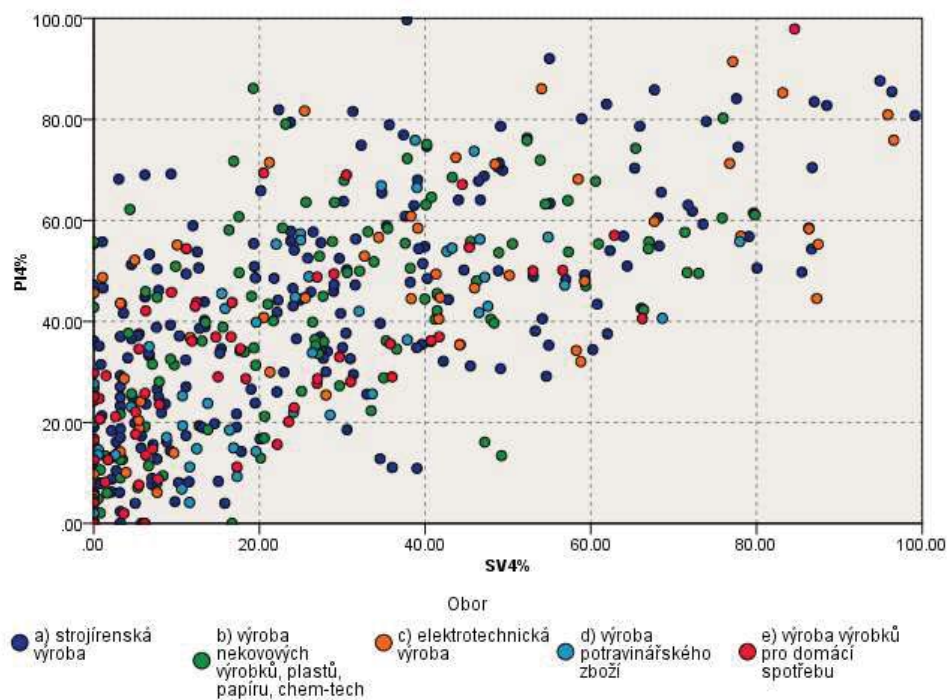
Obrázek 43 zobrazuje vztah mezi velikostí podniků a úrovní implementace SV4 a PI4. Body tvořící graf představují vzorek podniků rozdělených podle velikosti, které jsou rozptýleny po celé ploše grafu. Rozptyl hodnot naznačuje, že ačkoli velikost podniku může mít vliv na zavádění metod Lean a Průmyslu 4.0, vztah není striktně lineární a je ovlivněn mnoha faktory.

Obrázek 43 Hodnocení vlivu velikosti podniků na indexy SV4 a PI4



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 44 Hodnocení vlivu odvětví podniků na indexy SV4 a PI4



Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 44 znázorňující graf ilustruje různou úroveň zavádění technologií Průmyslu 4.0 a zavádění metod štihlé výroby podle různých průmyslových odvětví. Body v grafu jsou podle toho označeny různými barvami. Toto vizuální zpracování ukazuje rozdíly mezi podniky, které lze přičíst technologickému pokroku (Průmysl 4.0) či provozní efektivitě (v důsledku působení metod štihlé výroby). V horní části grafu se vyskytují oblasti se shluky podniků, zejména seskupení strojírenských a elektrotechnických podniků, které odráží jejich vyšší míru implementace technologií a metod štihlé výroby.

7.3.2 Modelování vztahů mezi indexy Průmyslu 4.0 a štihlé výroby

Vztah mezi jednotlivými indexy byl analyzován prostřednictvím metod korelační a regresní analýzy. Výsledky korelační analýzy naznačily, že jsou indexy silně závislé. Korelační koeficient indexů je vysoký ($r = 0,691$). To znamená, že úrovně obou indexů se vzájemně ovlivňují. S vyšší mírou jednoho z indexů roste také míra druhého z indexů. Podniky s vyšší mírou implementace metod štihlé výroby, tak mají také vyšší míru implementace technologií Průmyslu 4.0. Dále byly testovány různé modely regresní analýzy s cílem kvantifikovat vztahy mezi oběma indexy a porozumět jejich vlivu. K analýze bylo využito více modelů, které byly následně porovnány a dále zhodnoceny prostřednictvím koeficientu RMSE.

Modely zkoumající vliv SV na PI

Srovnávací analýza regresních modelů zaměřená na vliv indexu štihlé výroby na index Průmyslu 4.0 se snažila určit nejefektivnější model (viz tabulka 29). Základní lineární model, v němž byl prediktorem index štihlé výroby dosáhl hodnoty $R^2 = 0,462$ a $RMSE = 15,855$. To svědčí o střední úrovni shody. Navíc měl tento model problémy s předpokladem normality (Shapiro-Wilkův test; $W = 0,986$, $p = 0,017$) rozdělení. Po zahrnutí vlivu odvětví a velikosti podniků došlo k zlepšení výkonnosti modelu, přičemž R^2 se zvýšil na $0,489$ a $RMSE$ poklesla na $15,441$. To naznačuje, že vnější faktory mají pozitivní vliv na index Průmyslu 4.0 (v tomto případě nebyl porušen předpoklad normality u Shapiro-Wilkova testu při $W = 0,993$, $p = 0,339$).

Také byly testovány neparametrické modely. Polynomický model dosáhl $R^2 = 0,503$, nicméně zaznamenal vyšší $RMSE$ $17,860$. Potenciálně to naznačuje vyšší míru přizpůsobení modelu. Podobně spline model umožňující větší přizpůsobení dat vykázal nejvyšší $R^2 = 0,508$, ale také vyšší $RMSE$ $17,731$. Schopnost tohoto modelu přizpůsobit se kvantilům tak nabídlo odlišný pohled na identifikaci klíčových proměnných za cenu vyšší chyby predikce. Výše uvedená tabulka 29 navíc hodnotou F -statistik potvrzuje, že jsou všechny modely statisticky významné.

Nejvyšší míru shody modelu s daty pak poskytuje metoda kernel smoothing (vyhlazování jádra), která prostřednictvím křivky zdůrazňuje trend a lokální odchylky prostřednictvím průměrů

v daném okolí. Její vizualizace (Příloha 13a) zlepšuje pochopení dynamiky souboru dat a vyzdvihuje možnosti neparametrických metod.

Tabulka 29 Modely zkoumající vliv SV4 na PI4

	Charakteristiky modelu	F	p	R²	RMSE
Lineární model	<i>Rezidua: t = 14,660; p = 0,000</i> <i>SV4: t = 14,440; p = 0,000</i>	208,400	0,000	0,462	15,855
Lineární model s vlivy odvětví a velikosti podniků	<i>Rezidua: t = 7,872; p < 0,000</i> <i>SV4: t = 10,057; p < 0,000</i> <i>Odvětví: t = -2,559; p = 0,011</i> <i>Velikost: t = 2,799; p = 0,006</i>	76,990	0,000	0,489	15,441
Polynomiální model	<i>Rezidua: t = 39,847; p = 0,000</i> <i>Poly SV4 (1/5): t = 13,026; p = 0,000</i> <i>Poly SV4 (2/5): t = -3,263; p = 0,001</i> <i>Poly SV4 (3/5): t = 1,414; p = 0,159</i> <i>Poly SV4 (4/5): t = 0,280; p = 0,779</i> <i>Poly SV4 (5/5): t = -0,188; p = 0,851</i>	36,490	0,000	0,503	17,860
Spline model	<i>Rezidua: t = 3,434; p = 0,001</i> <i>SV4 knots 1: t = 0,623; p = 0,534</i> <i>SV4 knots 2: t = 1,599; p = 0,112</i> <i>SV4 knots 3: t = 4,571; p = 0,000</i> <i>SV4 knots 4: t = 3,756; p = 0,000</i> <i>SV4 knots 5: t = 5,663; p = 0,000</i> <i>SV4 knots 6: t = 4,602; p = 0,000</i>	30,370	0,000	0,508	17,731

Zdroj: vlastní zpracování

Modely zkoumající vliv PI4 na SV4

V modelech vlivu indexu Průmyslu 4.0 (PI4) na index štihlé výroby (SV4) byl patrný význam složitosti modelu a dodatečných úprav modelů. Základní lineární model dosáhl hodnoty $R^2 = 0,462$ při RMSE 18,383. Jde v podstatě o totožné hodnocení jako při opačném působení proměnných (nicméně předpoklad normality byl Shapiro-Wilkovým testem, $W = 0,990$; $p = 0,108$ potvrzen). Doplněním odvětvových a velikostních faktorů se zvýšila přesnost modelu. To potvrzuje vyšší míra $R^2 = 0,545$ a snížená hodnota RMSE = 16,906 (normalita byla potvrzena Shapiro-Wilkovým testem $W = 0,993$; $p = 0,291$).

Nicméně vysokou výkonnost modelu si udržuje také polynomiální model zahrnující nelineární závislosti s $R^2 = 0,533$ a RMSE = 14,214. Tento model si tak udržuje vysokou schopnost zachytit komplexní datové vzorce. Podobně si vedl také spline model využívající kvantily s $R^2 = 0,533$ a RMSE = 14,241. Spline si tak zachoval účinnost a srovnatelnou přesnost předpovědi i při zpracování různorodých rozdělení dat. Tabulka 30 dále také uvádí prostřednictvím *F*-statistiky, že všechny sledované modely jsou signifikantní.

Tabulka 30 Modely zaměřené na vliv PI4 na SV4

	Charakteristiky modelu	F	p	R²	RMSE
Lineární model	<i>Rezidua: t = -0,535; p = 0,593</i> <i>PI4: t = 14,435; p = 0,000</i>	208,400	0,000	0,462	18,383
Lineární model s vlivy odvětví a velikosti podniků	<i>Rezidua: t = -3,500; p < 0,000</i> <i>PI4: t = 10,057; p < 0,000</i> <i>Odvětví: t = -0,248; p = 0,804</i> <i>Velikost: t = 6,607; p = 0,000</i>	96,150	0,000	0,545	16,906
Polynomiální model	<i>Rezidua: t = 25,708; p = 0,000</i> <i>Poly PI4 (1/5): t = 12,693; p = 0,000</i> <i>Poly PI4 (2/5): t = 0,244; p = 0,807</i> <i>Poly PI4 (3/5): t = -0,550; p = 0,583</i> <i>Poly PI4 (4/5): t = 1,425; p = 0,156</i> <i>Poly PI4 (5/5): t = 0,267; p = 0,790</i>	32,710	0,000	0,533	14,214
Spline model	<i>Rezidua: t = 0,458; p = 0,647</i> <i>PI4 knots 1: t = 0,456; p = 0,649</i> <i>PI4 knots 2: t = -0,275; p = 0,783</i> <i>PI4 knots 3: t = 3,306; p = 0,001</i> <i>PI4 knots 4: t = 3,334; p = 0,001</i> <i>PI4 knots 5: t = 4,479; p = 0,000</i> <i>PI4 knots 6: t = 3,945; p = 0,000</i>	27,340	0,000	0,533	14,241

Zdroj: vlastní zpracování

Přehled všech modelů zachycuje Příloha 13b, která obsahuje tři hodnocené modely (lineární, polynomiální a spline) včetně kernel modelu zobrazujícího ideální proložení bodů v grafu.

Shrnutí

Srovnávací analýza různých regresních modelů ukazuje různou účinnost jednotlivých metod v závislosti na povaze dat a cílech analýzy. Modely zahrnující odvětvové a velikostní proměnné konzistentně překonávaly základní lineární modely, což potvrzuje důležitost zahrnutí relevantních kontextových faktorů. Nelineární modely, jako jsou polynomiální a spline, sice obecně vykazovaly vyšší hodnoty R², což svědčí o lepší shodě s rozptylem v datech. Zároveň ale zároveň vykazovaly vyšší RMSE, což naznačuje možný kompromis mezi zachycením složitosti dat a přesnosti predikce. Zejména spline modely jsou výhodné ve scénářích, kde je klíčové pochopení chvostů rozdělení nebo extrémních hodnot. Nejvyšší míru R² ze všech osmi modelů vykazoval lineární model doplněný o kontextuální faktory zdůrazňující vliv PI4 na SV4. Na druhou stranu nejnižší míru RMSE dosáhl polynomiální model vlivu PI4 na SV4. Z pohledu predikce je tedy přesnější. Tato zjištění poskytují empirické důkazy o převažujícím vlivu technologií na metody štihlé výroby. Z tohoto pohledu můžeme přijmout vliv technologií Průmyslu 4.0 na metody štihlé výroby jako základní rámec vztahů mezi SV4 a PI4.

7.4 Vyhodnocení strukturovaných rozhovorů

Strukturované rozhovory byly provedeny s cílem přiblížit aplikaci štihlé výroby a nových technologií v praxi. Analýza se zaměřila na deset oblastí, které charakterizují vztah podniků k těmto konceptům a vlastní zkušenosti manažerů. Celé rozhovory jsou uvedeny v Příloze 14, z důvodu zachování anonymity podniků byly označeny A – J. Z provedených rozhovorů byly vytaženy nejdůležitější poznatky, společné myšlenky manažerů (pokud se v odpovědích podniky shodují). Pak byly na základě analýzy formulovány příležitosti a výzvy do budoucna.

Perspektivy vývoje nových technologií v organizacích

Z rozhovorů vyplynulo, že za současný hlavní trend podniky považují automatizaci výrobních procesů a zavádění umělé inteligence. Budoucí systémy budou schopny plně automatizovat rozhodování bez lidského vědomí. Manažeři podniků zdůrazňují, že zavádění nových technologií je nezbytné pro dlouhodobé přežití a udržení konkurenceschopnosti. Rekvalifikace a celoživotní vzdělávání jsou považovány za důležité pro přizpůsobení pracovní síly novým technologickým požadavkům. Některé podniky již implementovaly technologie pro optimalizaci výrobních procesů a zlepšení plánování (např. rezervační systémy, identifikace dílů atd.), zatímco jiné kombinují lidské know-how s technologiemi pro maximální efektivitu.

Zavedené technologie Průmyslu 4.0

Automatizace a využívání dat v reálném čase jsou pro moderní výrobní procesy klíčové. Podniky zavádějí nové systémy pro sběr a analýzu dat, například systémy propojené s výrobními linkami, aby zlepšily výrobní procesy. Mezi hlavní cíle patří sledování výroby v reálném čase, eliminace manuálních aktualizací a zvýšení efektivity a přesnosti. Budoucí plány zahrnují přechod na pokročilé systémy, jako je SAP, pro plnou integraci s Průmyslem 4.0. Zavádějí se technologie umělé inteligence a strojového vidění pro kontrolu parametrů výrobků bez lidského zásahu (Podnik B). Významné místo zaujímá také digitalizace, robotizace, elektronická správa dokumentů, automatizované získávání dat z faktur a 3D vizualizace výkresů spolu se zaváděním průmyslových 3D tiskáren využívajících technologii SLS pro výrobu komponent (Podnik C). Některé podniky projevují odpor k plné automatizaci kvůli neschopnosti technologií plně nahradit lidské dovednosti (Podnik D) a dávají přednost kombinovanému přístupu, měření procesů a sledování efektivity pomocí interních informačních systémů (Podnik E). Vyvíjejí se nové způsoby pro inovace kosmetických výrobků s využitím výpočetních modelů (Podnik H). Zavádějí se systémy ERP pro zefektivnění zákaznického servisu a procesu expedice (Podnik I). Identifikační a sledovací technologie, jako jsou čárové kódy a QR kódy, jsou integrovány do výrobních procesů (Podnik G).

Role technologií při odstraňování plýtvání (Lean 4.0)

Technologie hrají důležitou roli také při odstraňování plýtvání a snížení chybovosti. Podniky zavádějí systémy Kanban či automatizovanou logistiku, aby minimalizovaly lidský dohled a čekání (Podnik A). Optimalizační software se také používá k výraznému snížení plýtvání materiálem (Podnik G). Technologie umělého vidění pomáhá identifikovat vadné výrobky a zabraňuje jejich dalšímu postupu ve výrobním procesu, čímž snižuje plýtvání (Podnik B). Digitalizace a 3D tisk jsou nedílnou součástí dosažení bezodpadové výroby, přičemž elektronická správa dokumentů a technologie 3D tisku vedou k recyklaci zbytkových materiálů (Podnik C). Technologie pro optimalizaci řezu skla pomáhají minimalizovat množství odpadu při výrobě (Podnik D). Roboty se využívají k vylepšení svařovacích procesů. Efektivitu logistiky lze zvýšit používáním RFID tagů (Podnik E). V pohostinství se zavedením tabletů zlepšily služby zákazníkům tím, že se zrychlila a zkvalitnila obsluha (Podnik F). Umělá inteligence se využívá k identifikaci alternativních komponent a optimalizaci výrobních procesů, čímž se zvyšuje efektivita a snižují náklady (Podnik H). Další modernizační úsilí zahrnuje zefektivnění skladových operací a zvýšení přesnosti montáže pomocí elektrických momentových klíčů (Podnik J).

Dominantní druhy plýtvání

Nejčastější problémy spojené s plýtváním zahrnují logistické problémy, neefektivní interní dopravu, zanedbávání údržby a zmetkovost způsobenou lidskými chybami. Podniky dále čelí problémům s nadvýrobou a neefektivními administrativními procesy. Tyto druhy plýtvání v podstatě kopírují druhy Muda. Digitalizace a automatizace procesů jsou pak v podnicích považovány za klíčové řešení. Hlavní druhy plýtvání ve sledovaných podnicích byly:

- Logistika a interní doprava: Nevhodné skladové pozice a špatné plánování vede k zbytečně dlouhým vzdálenostem mezi skladovacími a výrobními stanicemi (Podnik A). Přesuny zboží způsobené špatným uspořádáním nebo neefektivní logistikou (Podnik J).
- Údržba a prostoj strojů: Zanedbávání údržby způsobuje prostoje strojů, protože špatně udržované zařízení nefunguje optimálně (Podnik A).
- Informace a komunikace: I přes snahy o digitalizaci se stále spoléhá na papírovou komunikaci, což snižuje efektivitu (Podnik A). Nejvíce časových ztrát způsobují úkony, které nejsou digitalizovány (Podnik I).
- Defekty a nekvalita: Nejčastěji způsobené lidskými chybami ve výrobě a při manipulaci (Podnik B, Podnik D).
- Pracovní pohyby a manipulace: Nepotřebné pohyby a manipulace v rámci výroby vedou k plýtvání časem a energií (Podnik C).

- Administrativa a procesy: Potřeba zrychlit a zautomatizovat administrativní procesy (Podnik C).
- Lidské zdroje a plánování: Nedostatek pracovníků a nechuť zaměstnanců měnit pracovní postupy (Podnik E). Upravování pracovních rozvrhů podle sezónnosti a potřeby zvyšuje využití času zaměstnanců (Podnik F).
- Obalové materiály: Snaha o nalezení způsobů, jak opakovaně používat obalové materiály a snížit plýtvání (Podnik G).
- Plýtvání potravinami: Identifikace a přesné určení, kde dochází k plýtvání potravinami, a snaha o jeho snížení (Podnik H).
- Nadvýroba: Nadvýroba vede k dalším druhům plýtvání, včetně nadměrného transportu (Podnik J).

Tyto společné problémy zdůrazňují potřebu lepšího logistického plánování, lepších postupů údržby, digitalizace procesů a proaktivních strategií nakládání s odpady s cílem zvýšit celkovou efektivitu a snížit plýtvání v různých aspektech organizace.

Budoucnost umělé inteligence v organizacích

Podniky vidí potenciál umělé inteligence v automatizaci logistických, výrobních a administrativních procesů, což přispívá ke zvýšení efektivity a snížení chyb. Některé společnosti již implementují AI pro specifické úkoly, jako je HR nebo plánování výroby, a školí zaměstnance v používání AI nástrojů. I když někteří zůstávají rezervovaní, většina firem plánuje nebo již začala využívat AI technologie pro zlepšení svých procesů.

Podniky stále častěji plánují integrovat umělou inteligenci do svých logistických procesů v rámci celého dodavatelského řetězce, aby automatizovaly úlohy, jako je řízení zásob, plánování výroby, generování oznámení pro dopravce, automatické objednávání materiálu a porovnávání přijatého zboží s objednávkami. Očekává se zefektivnění a zpřesnění logistických úkolů, sníží lidský dohled a zrychlí celý proces (Podnik A).

Interně se AI využívá ke zvýšení efektivity a růstu, například interní online tržiště talentů Podniku H, které využívá AI k identifikaci personalizovaných kariérních příležitostí pro zaměstnance, čímž napomáhá rozvoji talentů a kariérní transparentnosti. Tento podnik také plánuje otevřít novou laboratoř AI, která se zaměří na inovace a růst prostřednictvím nové generace AI a datových modelů (Podnik H).

Významné postavení mají budou mít v budoucnu také asistenti AI a specializované aplikace. Společnost Podnik C plánuje vycvičit AI pro své firemní prostředí asistenta pro různé úkoly. Naopak společnost Podnik E experimentuje s AI v oblasti lidských zdrojů s cílem zefektivnit

proces nábory zaměstnanců a plánování výroby, přičemž se zaměřuje na správné používání příkazů AI a školení zaměstnanců. Mezi konkrétní implementace patří také plán společnosti Podnik F využít AI pro hotelovou reklamu či přesvědčení společnosti Podnik I, že technologický pokrok ji v budoucnu donutí AI využít.

Některé podniky však zůstávají zdrženlivé nebo integraci AI neplánují. Podnik B v současné době neplánuje implementovat AI a Podnik D sice nyní AI využívat neplánuje, ale jeho manažer věří, že by mohla v budoucnu zlepšit zpracování objednávek. Podnik G se tímto fenoménem zatím nezabývala a společnost Podnik J neplánuje AI implementovat. Tato škála odpovědí poukazuje na různou úroveň zavádění a plánování AI mezi společnostmi, přičemž některé plně využívají její potenciál a jiné zaujímají opatrnější nebo rezervovanější přístup.

Technologie a lidské zdroje

Důraz je kladen na komunikaci, školení a zapojení zaměstnanců do procesu změn. Podniky zdůrazňují potřebu strategického a humánního přístupu, který zahrnuje přemístění a rotaci pracovníků a minimalizaci propouštění. Školení a zvyšování kvalifikací zaměstnanců umožňují hladký přechod na nové technologie a udržení motivace a souhlasu zaměstnanců. Mezi společná témata organizací patří důležitost dobré komunikace při zavádění nových technologií, nutnost školení a zvyšování kvalifikace zaměstnanců a strategický a lidský přístup k řízení přechodů, který zajišťuje minimální propouštění a přesuny zaměstnanců v rámci společnosti.

Při zavádění technologií je nezbytný strategický přístup s ohledem na zaměstnance. Podnik A se raději zaměří na přesun pracovníků v rámci organizace namísto jejich propouštění. To podporuje důraz na spravedlivý a lidský přístup, který zahrnuje komunikaci, školení a zapojení zaměstnanců do dlouhodobých rozvojových projektů. Efektivní komunikace je při zavádění nových technologií klíčová. Společnosti Podnik B, Podnik E a Podnik C zdůrazňují, že je důležité vysvětlovat důvody změn a jejich výhody a nevýhody, zejména starším zaměstnancům, aby se zmírnily obavy o jistotu zaměstnání.

Zásadní význam má také školení a zvyšování kvalifikace. Společnosti jako Podnik F, Podnik I a Podnik H zdůrazňují zajištění školení, aby zaměstnanci mohli pracovat s novými technologiemi. Podnik H podporuje rekvalifikaci a zvyšování kvalifikace zaměstnanců prostřednictvím plánů rozvoje Future-Fit, které podporují dovednosti vhodné pro budoucnost. Přizpůsobení se technologickým změnám zahrnuje zavádění technologií, které šetří pracovní sílu, což je vítáno zejména na trzích s nedostatkem pracovních sil (Podnik G). Podnik H se zaměřuje na nové způsoby práce, posilování pocitu sounáležitosti a vytváření hodnot pro jednotlivce i organizaci. Podnik J testuje a zavádí technologie na základě jejich efektivity, i když se zaměstnanci změnám

brání. Některé společnosti, jako například Podnik J, zaujímají odtažitější přístup a orientují se výhradně na funkčnost nových technologií.

Současný stav využívání metod štihlé výroby v podnicích

Podíváme-li se na využívání metod štihlé výroby ve sledovaných podnicích, pak hlavním důvodem byla optimalizace procesů, zvýšení efektivity a kvality. Podniky využívají zejména metody štihlé výroby jako Kanban, Kaizen, vizualizační prvky, Just in Time a SMED.

Sledované podniky používaly Kanban podporovaný automatizovanými systémy pro doplňování zásob a limitování rozpracovaného materiálu (Podnik A, Podnik B, Podnik D). V mnoha podnicích je kladen důraz na neustálé zlepšování prostřednictvím Kaizen, pořádají se workshopy za účelem identifikace a regulace plýtvání (Podnik B, D, F, I, E).

Vizualizační prvky (jako obrazovky) jsou hojně využívány ke zvýšení informovanosti zaměstnanců a zlepšení ergonomie pracoviště (Podnik A, Podnik B, Podnik C, Podnik D, Podnik I, Podnik J). Systémy dodávek Just-in-time (JIT) se používají k minimalizaci stavu zásob a uvolnění finančních zdrojů (Podnik G, Podnik I). Metoda SMED pomáhá ke zkrácení doby potřebné k přechodu mezi výrobními cykly, čímž se zvyšuje efektivita (Podnik A, B, D, J).

Detekce chyb a bezpečnostní mechanismy, jako jsou zařízení Poka-yoke, zabraňují výrobě vadných výrobků. Systémy nouzového zastavení zastaví výrobu v případě problémů (Podnik J, Podnik D). Na některých výrobních linkách je zavedena preventivní údržba (TPM), která zajišťuje spolehlivost zařízení a zabraňuje prostojům (Podnik C, H). Mezi další snahy o neustálé zlepšování patří využívání systémů ERP pro optimalizaci skladového hospodářství (Podnik I) a metoda Heijunka, pro vyrovnávání zatížení výroby.

Možnosti uplatnění metod štihlé výroby

Z rozhovorů podle manažerů vyplynulo, že štihlé výroby mají široké uplatnění v různých oblastech a přispívají k celkové optimalizaci procesů. Kaizen, Kanban, vizualizační prvky, bezpečnostní opatření a preventivní údržba jsou implementovány nejčastěji a mají pozitivní dopad na efektivitu a kvalitu. Sledování trendů a postupné zavádění metod tam, kde to má smysl, je běžnou praxí pro dosažení zlepšení.

Faktory ovlivňující zavádění nových technologií do praxe

Hlavními faktory ovlivňujícími rozhodnutí o zavedení nové technologie jsou návratnost investic (ROI), zlepšení efektivity, kvality a bezpečnosti, a reakce na potřeby zákazníků a udržení konkurenceschopnosti. Podniky pečlivě hodnotí finanční přínosy a náklady spojené s novými technologiemi, aby zajistily, že přínosy převyšují investice.

KPI a metriky hodnocení technologií

Podniky používají různé metriky a KPIs, jako je efektivita obratu zásob, produktivita, uptime (časové využití strojní kapacity), zmetkovitost, odpady a OEE. Základními ukazateli jsou obvykle spokojenost zákazníků a zisk. Úspěšnost implementace technologií ovlivňuje také digitalizace procesů a rychlost zpracování objednávek. Celkově tyto metriky pomáhají podnikům monitorovat a zlepšovat výkonnost jejich výrobních a logistických procesů.

Shrnutí

Manažeři podniků vidí automatizaci a AI jako klíčové pro udržení konkurenceschopnosti a efektivitu, přičemž hlavní výzvou je překonání obav zaměstnanců a zajištění jejich rekvalifikace. Technologie pomáhají eliminovat plýtvání a zlepšovat kvalitu. Implementace AI v logistických a výrobních procesech nabízí příležitosti pro rozvoj talentů a kariérní růst. Klíčovým faktorem úspěchu je komunikace, školení a zapojení zaměstnanců do procesu změn, což podporuje hladký přechod na nové technologie. Podniky pečlivě hodnotí finanční přínosy a náklady nových technologií používající různé metriky k monitorování a zlepšování výkonnosti.

7.5 Vliv Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby na finanční výkonnost

Pro tyto účely byl použitý výzkumný vzorek 2 (blíže viz metodika), který spojuje výsledky dotazníkového šetření s finančními údaji. Pro účely analýzy byla využita data pouze 245 malých, středních a velkých podniků, která byla úplná pro možnosti výpočtu nejrůznějších finančních ukazatelů. Mezi tyto ukazatele patřila zadluženost, rentabilita vlastního kapitálu (ROE), rentabilita aktiv (ROA), rentabilita investovaného kapitálu (ROCE), rentabilita tržeb (ROS), nákladovost a rentabilita investic (ROI).

Tabulka 31 Popisné statistiky finančních ukazatelů

	Průměr	Medián	Sm, odch.	Var. Koef.	Šikmost	Špičatost
Zadluženost	48,752	43,970	36,782	75,448	3,031	17,548
ROE	23,405	13,380	128,903	550,746	13,579	203,311
ROA	8,435	7,183	15,134	179,415	-0,585	12,381
ROCE	14,263	10,840	27,783	194,796	0,064	11,190
ROS	4,682	4,150	8,976	191,708	0,390	7,069
Nákladovost	0,946	0,950	0,091	9,644	-0,465	5,650
ROI	7,605	5,350	14,248	187,347	6,040	63,686

Zdroj: vlastní zpracování

Nejprve začneme stručnou popisnou charakteristikou klíčových finančních ukazatelů podniků ve výzkumném vzorku 2. Výsledky analýzy (viz tabulka 31) odhalují značné rozdíly mezi podniky, což je patrné u ukazatele zadluženosti s vysokou mírou špičatosti (17,548). Podobně rentabilita vlastního kapitálu vykazuje mimořádně vysoký variační koeficient, směrodatnou odchylku a špičatost (203,311). To je znakem vysoké výnosnosti vlastního kapitálu u některých podniků. ROA a ROCE sice vykazují pouze mírné centrální tendence, nicméně mají také výraznější míru špičatosti (12,381; resp. 11,190). Rentabilita investic, podobně jako rentabilita vlastního kapitálu, vykazuje značnou variabilitu (variační koeficient 187,347) a extrémní hodnoty špičatosti (63,686). Naproti tomu se vyznačuje nákladovost nejnižší mírou variability. Výsledky nicméně podporují celkovou vyšší variabilitu ukazatelů v datech.

Vliv velikosti a odvětví podniků na finanční ukazatele

Pro úplnost byla provedena analýza vlivů velikosti podniků a odvětví na sledované finanční ukazatele ve vzorku 2. Extrémní hodnoty a testy normality (Příloha 4e) nepotvrdily u dat normalitu rozdělení a Leveneovy testy homogenitu rozptylů pro tradiční ANOVA. K analýze tedy byla využita Kruskal-Wallisova ANOVA. Cílem bylo posouzení vlivu velikosti podniku a odvětví na různé finanční ukazatele v rámci souboru dat.

Hypotéza H14:

- H14₀ (nulová hypotéza): Neexistuje žádný významný rozdíl v ukazatelích finanční výkonnosti (zadluženost, ROE, ROA, ROCE, ROS, nákladovost a ROI) v různých velikostech podniků a odvětvích.
- H14_A (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v ukazatelích finanční výkonnosti (zadluženost, ROE, ROA, ROCE, ROS, nákladovost a ROI) v různých velikostech podniků a odvětvích.

Tabulka 32 Kruskal-Wallisova ANOVA pro finanční ukazatele

	Velikost		Odvětví	
	<i>H</i>	<i>p</i>	<i>H</i>	<i>p</i>
Zadluženost	3,259	0,196	2,329	0,676
ROE	2,325	0,313	5,723	0,221
ROA	4,016	0,134	6,343	0,175
ROCE	4,764	0,092	3,923	0,417
ROS	3,000	0,223	4,222	0,377
Nákladovost	4,683	0,096	3,525	0,474
ROI	3,536	0,171	3,374	0,497

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky testů u všech sledovaných ukazatelů vykazují nesignifikantní rozdíly (všechny hodnoty p přesáhly obecně přijímanou hladinu alfa 0,05) napříč velikostními i odvětvovými kategoriemi podniků. Tabulka 32 tak dokládá, že jsou z tohoto pohledu data homogenní a nevykazují výraznější rozdíly z hlediska těchto externích vlivů. Tato zjištění ukazují, že velikost podniku a odvětví nemusí být v tomto vzorku převažujícími determinanty finančních výsledků. Rozdíly ve výsledcích podniků jsou tedy spíše výsledkem potenciálních provozních či tržních podmínek, které mohou být pro utváření finanční výkonnosti rozhodující.

Závěr

Vzhledem k tomu, že žádný z finančních ukazatelů nevykazoval statisticky významné rozdíly mezi různými velikostmi podniků a odvětvími, nulovou hypotézu nezamítáme. Tato absence statisticky významných zjištění u všech analyzovaných finančních ukazatelů naznačuje, že na výkonnost podniků nemá vliv jejich velikost a odvětvová charakteristika. Je tedy vhodné také sledovat alternativní faktory (v našem případě metody štihlé výroby a technologie Průmyslu 4.0), které mohou vést k finančnímu úspěchu v podnicích.

7.5.1 Korelační analýza finančních ukazatelů

V této části bude využita korelační analýza k hodnocení vztahu mezi metodami štihlé výroby, technologiemi Průmyslu 4.0, indexy SV4 a PI4 a finančními ukazateli. Vzhledem k výsledkům Shapiro-Wilkových testů, byly použity v analýze Spearmanovy korelační koeficienty.

Korelační analýza jednotlivých technologií a metod štihlé výroby s finančními ukazateli

Tabulka 33 ukazuje výsledky korelační analýzy mezi technologiemi Průmyslu 4.0 a finančními ukazateli. Pro zjednodušení, jsou uvedeny pouze korelace statisticky významné na hladině $\alpha = 0,05$. Je zřejmé, že významné korelace byly zaznamenány pouze mezi ukazateli zadluženost, ROE, ROA a ROCE a IT, nanotechnologiemi a kvalifikací lidí. Mezi klíčové poznatky patří pozitivní korelace mezi zadlužeností a investicí do kvalifikace ($r = 0,160$; $p = 0,012$). Ta naznačuje, že s rostoucí mírou zadlužeností byly tyto investice vyšší. Vyšší úroveň pozitivní korelace byla zjištěna také mezi ROA a IT infrastrukturou. Proto je lepší rentabilita aktiv spojena s vyšší mírou investic do IT infrastruktury. Jejich návratnost může být vyšší.

Podobně bylo přistupováno ke korelační analýze mezi finančními ukazateli a metodami štihlé výroby. Tabulka 34 opět zachycuje pouze statisticky významné korelace. V tomto případě byly zaznamenány významné korelační koeficienty pouze u finančních ukazatelů zadluženosti, ROE a metod Andon, tok jednoho kusu, záchranné brzdy a vizualizace. Nejvyšší míru závislosti můžeme pozorovat mezi mírou zadluženosti a metody Andon ($r = 0,241$; $p < 0,001$).

Tabulka 33 Korelace technologií Průmyslu 4.0 s finančními ukazateli

	Spearman (r)	t(N-2)	p	Sig.
Zadlužení – Kvalifikace lidí	0,160	2,528	0,012	*
Zadlužení – Nanotechnologie	0,145	2,285	0,023	*
ROE – IT infrastruktura	0,151	2,381	0,018	*
ROA – IT infrastruktura	0,176	2,780	0,006	**
ROCE – IT infrastruktura	0,141	2,228	0,027	*

Zdroj: vlastní zpracování

Dále existuje významná pozitivní korelace mezi zadlužeností a tokem jednoho kusu ($r = 0,162$; $p = 0,011$). Takový systém může vyžadovat vyšší míru investic, či je realizován ve větších podnicích s vyšší úrovní zadluženosti.

Tabulka 34 Korelace metod štihlé výroby s finančními ukazateli

	Spearman (r)	t(N-2)	p	Sig.
Zadlužení – Andon	0,241	3,869	0,000	***
Zadlužení – Tok jednoho kusu	0,162	2,565	0,011	**
ROE – záchranná brzda	0,131	2,061	0,040	*
ROE – vizualizace	0,145	2,288	0,023	*

Zdroj: vlastní zpracování

Závěr

Výsledky zdůrazňují určitou závislost mezi finančními ukazateli a vybranými technologiemi či metodami štihlé výroby. Nicméně celkově se jedná o spíše náhodné vztahy mezi těmito proměnnými, neboť statisticky významné korelační koeficienty byly zjištěny pouze u několika ze všech sledovaných vztahů (7 finančních ukazatelů vs. 26 metod, a vs. 17 technologií). Navíc byly úrovně korelačních koeficientů dle Cooksey (2020) velmi slabé (do 0,2). Korelační analýza tedy spíše pouze poukázala na některé méně významné závislosti. Lze tedy konstatovat, že se u většiny metod štihlé výroby či technologií Průmyslu 4.0 vliv na finanční výkonnost neprokázal.

Korelační analýza indexů Průmyslu 4.0 a štihlé výroby s finančními ukazateli

Dále se korelační analýza zaměřila na souhrnné indexy technologií Průmyslu 4.0 a metod štihlé výroby s finančními ukazateli. Nicméně, na základě předchozích výsledků jednotlivých proměnných se dalo očekávat, že vzájemné vztahy nebudou silně závislé. Před samotnou korelační analýzou byla ještě zjišťována normalita indexů SV4 a PI4 u druhého vzorku. U indexu SV4 nebyla Shapiro-Wilkovým testem normalita potvrzena ($W = 0,949$; $p < 0,001$), naopak u indexu PI4 potvrzena byla ($W = 0,989$; $p = 0,061$).

Pro přehled tabulka 35 uvádí Spearmanův koeficient korelace, neboť bylo vhodnější použití neparametrických statistik. Výsledky ukazují na velmi slabou závislost mezi indexem PI4 a ukazatelem zadluženosti ($r = 0,127$; $p = 0,046$). U všech ostatních finančních ukazatelů se blížili korelační koeficienty spíše k nule, což odráží malou nebo žádnou lineární závislost s indexy.

Tabulka 35 Korelační analýza vztahu indexů SV4 a PI4 s finančními ukazateli

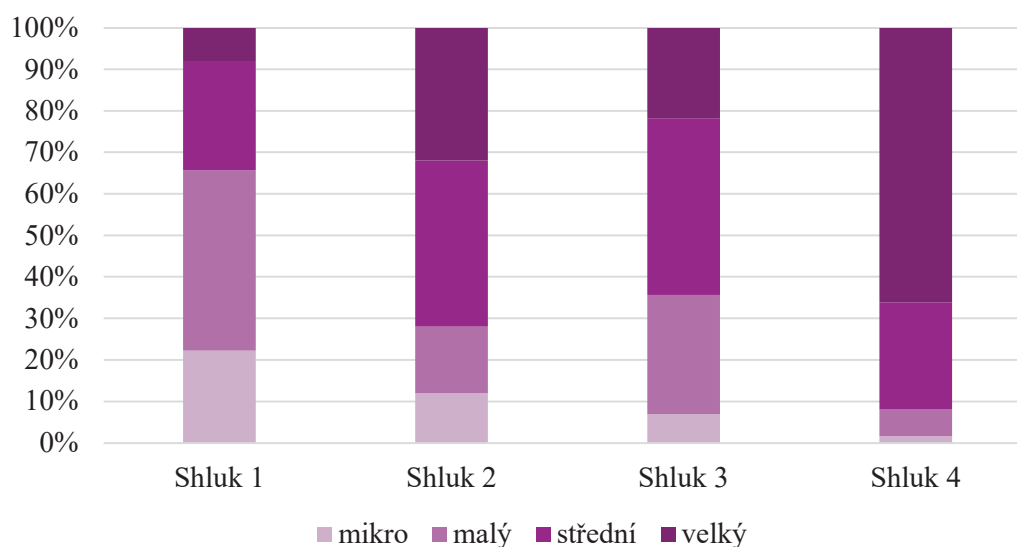
Ukazatel	Spearman (r)				Sig
	SV4	p	PI4	p	
Zadluženost	0,118	0,065	0,127	0,046	*
ROE	0,039	0,546	0,093	0,146	
ROA	0,006	0,931	0,056	0,384	
ROCE	-0,007	0,916	0,044	0,489	
ROS	-0,003	0,964	-0,045	0,670	
Nákladovost	0,006	0,919	-0,021	0,747	
ROI	-0,016	0,804	0,037	0,567	

Zdroj: vlastní zpracování

7.5.2 Porovnání skupin podniků podle finanční výkonnosti

Vzhledem k závěrům korelační analýzy, byl při zjišťování vlivů metod štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 na finanční výkonnost zvolen jiný přístup. Na základě hodnot indexů štihlé výroby (SV4) and Průmyslu 4.0 (PI4) byly vytvořeny čtyři skupiny (označené jako shluky) podniků. Pro rozdělení na vysoké a nízké hodnocení byla použita hodnota indexů (vysoké hodnocení $\geq 50\%$, nízké hodnocení $< 50\%$).

Obrázek 45 Shluky podle velikosti podniků



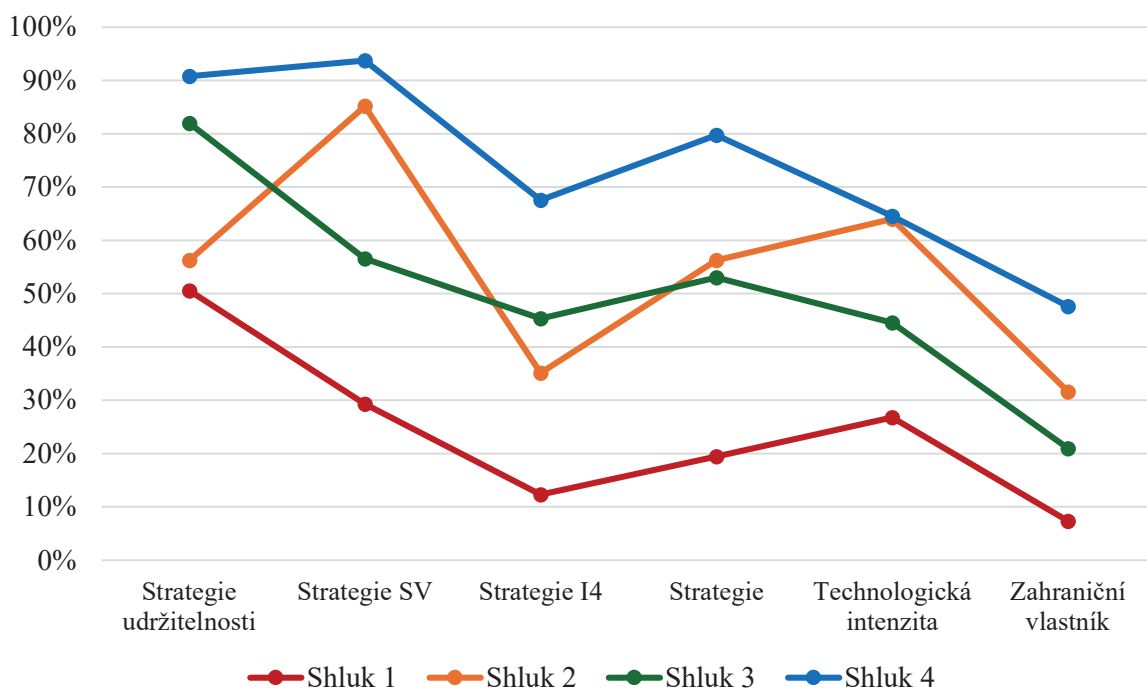
Zdroj: vlastní zpracování

Obrázek 45 ukazuje, že u prvního shluku převažují zejména malé a mikro podniky. Střední podniky převažují u druhého a třetího shluku. Nakonec je patrná největší preference velkých podniků u čtvrtého shluku. Z toho vyplývá, že čím větší je hodnota indexů, tím jsou podniky zařazeny do vyšších shluků (toto platí zejména pro podniky ve shluku 4).

U jednotlivých shluků byly následně zjišťovány různé charakteristiky. Jednalo se zejména o velikost podniků, existence strategie (celkově, zaměření na štíhlou výrobu, zaměření na Průmysl 4.0, zaměření na udržitelnost), technologická intenzita (nízká LT, vysoká HT), vlastník podniku (domácí, zahraniční). Charakteristiky podniků dle odvětví nevykazovaly žádnou preferenci k shlukům, z tohoto důvodu nebyly použity.

Obrázek 46 zachycuje další charakteristiky jednotlivých shluků. Jedná se zejména o rozdělení podle existence a zaměření strategie, která je formulována obecně i se zaměřením na I4, SV či udržitelnost zejména u shluku 4. Naopak u shluku 1 spíše není strategie formulována, zejména pak k jednotlivým oblastem jako je štíhlá výroba, Průmyslu 4.0 či udržitelnost. Podobně jsou rozdělené do shluků charakteristiky technologická intenzita a vlastnictví podniku. Vyšší technologická intenzita je spíše u shluku 2-4, stejně tak zahraniční vlastnictví (zejména shluk 4).

Obrázek 46 Ostatní charakteristiky shluků



Zdroj: vlastní zpracování

Charakteristika jednotlivých shluků

Shluk 1: nízký SV4 (<50 %), nízký PI4 (< 50 %)

Shluk 1 je tvořen podniky, které mají nízké oba indexy. To znamená, že úroveň zavedených metod štihlé výroby i technologií Průmyslu 4.0 je nízká. Tento shluk má následující zajímavé charakteristiky podniků:

- Převažují mikro (22,19 %) a malé podniky (43,47 %)
- Převaha podniků s českými vlastníky (92,66 %)
- Neformulována strategie štihlé výroby (70,73 %)
- Neformulována strategie Průmyslu 4.0 (87,71 %)
- Neformulována strategie (87,71 %)
- Nízká technologická intenzita (LT = 73,25 %)

Shluk 2: vysoký SV4 (≥ 50 %), nízký PI4 (< 50 %)

Shluk 2 je charakteristický převahou implementace metod štihlé výroby s nízkou mírou zavádění technologií Průmyslu 4.0. Jedná se o podniky, které se zaměřili pouze na oblast štihlé výroby.

- Převažují střední podniky (40,00 %)
- Převaha podniků s českými vlastníky (68,42 %)
- Formulována strategie štihlé výroby (85,19 %)
- Vysoká technologická intenzita (HT = 64,00 %)

Shluk 3: nízký SV4 (<50 %), vysoký PI4 (≥ 50 %)

Shluk 3 je charakteristický převahou implementace technologií Průmyslu 4.0 s nízkou mírou zavádění technologií metod štihlé výroby. Jedná se tedy o podniky, které využívají moderní technologie. Tyto podniky nicméně nezavedly štihlou výrobu.

- Převažují střední podniky (42,57 %)
- Převaha podniků s českými vlastníky (79,04 %)
- Formulována strategie udržitelnosti (81,98 %)
- Formulována strategie Průmyslu 4.0 (54,68 %)

Shluk 4: vysoký SV4 (≥ 50 %), vysoký PI4 (≥ 50 %)

Shluk 4 je tvořen podniky, které mají vysokou úroveň obou indexů. To znamená, že úroveň zavedených metod štihlé výroby i technologií Průmyslu 4.0 je vysoká. Tyto podniky můžeme označit za využívající koncept Lean 4.0.

- Převažují velké podniky (66,13 %)
- Vyrovnaný podíl podniků s českými (52,38 %) i zahraničními vlastníky (47,62 %)
- Formulována strategie udržitelnosti (90,77 %)
- Formulována strategie štihlé výroby (93,75 %)
- Formulována strategie (79,71 %)
- Vysoká technologická intenzita (HT = 64,52 %)

Statistické vyhodnocení

Mezi vytvořenými čtyřmi shluky byly statisticky vyhodnoceny rozdíly ve finanční výkonnosti. Leveneho test byl použit k posouzení rovnosti rozptylů mezi skupinami a následné testy analýzy rozptylu (ANOVA) k posouzení rozdílů v průměrech mezi více skupinami. Kromě toho byla použita Kruskal-Wallisova ANOVA, neparametrická alternativa, která doplňuje tradiční analýzy ANOVA. Ta byla použita v případě, že se jedná o data s nenormálním rozložením nebo porušenými předpoklady pro využití ANOVY. V případě statisticky významných rozdílů pak byly použity párové post-hoc testy. Cílem bylo posouzení, zda se shluky (charakteristické různou mírou implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0) liší ve finanční výkonnosti.

Hypotéza H15:

- $H15_0$ (nulová hypotéza): Neexistuje významný rozdíl v ukazatelích finanční výkonnosti (zadluženost, ROE, ROA, ROCE, ROS, nákladovost, ROI) mezi shluky podniků.
- $H15_A$ (alternativní hypotéza): Existují významné rozdíly v ukazatelích finanční výkonnosti (zadluženost, ROE, ROA, ROCE, ROS, nákladovost a ROI) mezi shluky podniků.

Níže uvedená tabulka 36 shrnuje výsledky porovnání shluků podle finančních ukazatelů.

Tabulka 36 Porovnání skupin podniků podle finanční výkonnosti

Proměnná	Levenův test		ANOVA		K-W ANOVA	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>H</i>	<i>p</i>
Zadluženost	2,375	0,070	1,127	0,338	2,667	0,446
ROE	0,556	0,644	0,207	0,892	3,509	0,319
ROA	1,013	0,387	1,019	0,385	3,013	0,390
ROCE	0,442	0,723	1,309	0,272	2,906	0,406
ROS	1,136	0,335	0,363	0,780	4,157	0,245
Nákladovost	23,530	0,000	4,745	0,003	5,858	0,119
ROI	2,913	0,035	1,582	0,194	0,767	0,857

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky Levenova testů dokládají, že nebyla u ukazatelů nákladovost a ROI homogenita rozptylů prokázána. To znamená, že pro tyto ukazatele bylo nutné použít Kruskal-Wallisovu ANOVU. Nicméně, jak je z vyplývá z výsledků, u nákladovosti ($p = 0,119$), ani u ROI ($p = 0,857$) nebyly mezi shluky zjištěny staticky významné rozdíly. Vyhodnotíme-li pak ostatní ukazatele, pak výsledky ANOVY u žádného z ukazatelů neprokázaly rozdíly mezi shluky.

Závěr

Při porovnání různých skupin (shluků) podniků, které byly charakteristické různou mírou implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0 nebyly zjištěny rozdíly u finančních ukazatelů. Z toho vyplývá, že se u těchto skupin neprokázal vliv na finanční výkonnost. To ani mezi skupinou podniků s nízkou mírou implementace štihlé výroby (index SV4) i Průmyslu 4.0 (index PI4) a skupinou s vysokou mírou jejich implementace. Tyto výsledky potvrzují závěry výzkumu Lorenz et al. (2019).

8 Vyhodnocení výzkumných otázek a diskuse

V této části jsou shrnuty hlavní výsledky výzkumu ve vztahu k výzkumným otázkám. Účelem tohoto oddílu je nastínit a shrnout výsledky a vyvolat diskusi. Součástí této kapitoly jsou také přínosy a omezení výzkumu, se kterými bylo nutné se zabývat.

8.1 Vyhodnocení výzkumných otázek

První výzkumná otázka: Jaký je stav a úroveň implementace průmyslu 4.0 v podnicích?

Výsledky výzkumu ukazují, že implementace Průmyslu 4.0 v podnicích je obecně podprůměrná. Mnoho manažerů nevnímá Průmysl 4.0 za hlavní prioritu a je zdrženlivých vůči jeho plné implementaci. Přestože existuje část podniků, která plánuje přijetí těchto technologií v budoucnu, většina zaujímá spíše opatrný přístup. Celkově jsou podniky na prahu transformace, zkoumají výhody Průmyslu 4.0, ale při jeho implementaci jsou opatrné a zvažují pozitiva i negativa. Je patrné, že některé základní technologie jsou široce integrovány, zatímco pokročilejší technologie jsou stále z velké části nevyužívány.

Digitalizace je v podnicích nejvíce pokročilou oblastí implementace Průmyslu 4.0, s hodnocením 60,63 %. Největší pokrok je patrný v administrativních procesech a interakcích s dodavateli a zákazníky. Přesto stále existují rezervy v IT podpoře automatizace zpracování a integraci systémů. Použití umělé inteligence (AI) je v podnicích stále na nízké úrovni. To omezuje využití pokročilých technologií založených na datech a autonomních systémech. Integrace systémů byla hodnocena pouze podprůměrně, což ukazuje na podprůměrnou úroveň implementace těchto technologií. Automatizace a robotizace procesů vykazují nejnižší míru implementace. Manuální procesy stále dominují, i když v některých podnicích dochází k jejich částečné digitalizaci. Robotizace má pak nejnižší míru implementace.

V rámci výzkumu zavádění moderních technologií Průmyslu 4.0 byla nejvíce implementována IT infrastruktura a vysoce kvalifikované lidské zdroje. Informační systémy, mobilní koncová zařízení a cloudové úložiště dat jsou také významně zastoupeny. Technologie sběru a analýzy dat jsou plně integrovány, což potvrzuje strategický důraz na rozhodování založeném na datech. Z výsledků je tedy zřejmé, že nejvíce jsou zaváděny v podnicích základní technologie vztahující se k digitalizaci procesů. Náročnější technologie jako virtuální realita, nanotechnologie, roboty, 3D tisk, autonomní vozidla, RFID, umělá inteligence jsou využívány spíše okrajově (nebyly zavedeny v 60,2 – 86,7 % podniků).

Technologie Průmyslu 4.0 byly kategorizovány prostřednictvím faktorové analýzy do čtyř skupin faktorů: informační infrastruktura, pokročilé výrobní technologie, inteligentní sdílení a mechatronické systémy. Tyto kategorie vhodně uspořádaly technologie do příbuzných skupin. Kombinací hodnot jednotlivých faktorů v podnicích a faktorového skóre byla získána celková míra implementace Průmyslu 4.0. Vytvořený index (PI4) vyjadřuje do jaké míry (a v %) podniky zavedly technologie Průmyslu 4.0. Tento index navazuje na dříve vytvořený VPI4 (Vrchota & Pech, 2019). Rozdíl mezi nimi je v použitých technologiích (PI4 přidává 3D tisk, nanotechnologie) a také počtem identifikovaných faktorů (rozšíření o čtvrtý faktor), tak aby více odrážel současný stav.

Druhá výzkumná otázka: Jaký je stav a úroveň implementace štihlé výroby v podnicích?

Podniky mají různé přístupy k implementaci štihlé výroby. Přestože existuje významná část podniků, které tuto filozofii považují za strategicky důležitou, celková míra implementace je podprůměrná (36 % podniků prakticky vůbec). Zatímco větší podniky a technologicky náročnější odvětví dosahují vyšších hodnot indexu SV4, méně technologicky náročná odvětví vykazují značné rezervy. Mnoho podniků stále neplánuje zavedení štihlé výroby (28,2 %), i když výhled do budoucna je optimističtější než v případě Průmyslu 4.0. Implementace metod štihlé výroby je důležitá pro zvýšení provozní efektivity a konkurenceschopnosti podniků.

Ve výrobním sektoru jsou nejčastěji uplatňovány principy jako respekt k zaměstnancům, angažovanost pracovníků, osobní odpovědnost a orientace na zákazníka. Některé klíčové zásady, jako vyvážení pracovní zátěže a oddělení lidí od strojů, jsou osvojeny méně často. Mezi nejčastěji používané metody patří systémy řízení kvality (ISO 90001), mechanismy nouzového zastavení výroby a vizualizační nástroje. Metody jako Jidoka, Chaku-Chaku či systém Kanban mají nižší míru implementace, což naznačuje potenciál pro zvýšení produktivity a zajištění kontinuálního toku.

Při kategorizaci metod štihlé výroby byly vytvořeny 4 skupiny faktorů, které se staly základem pro další výpočet indexu SV4. Jednalo se o řízení kvality, optimalizaci výroby, řízení bezpečnosti a rizik, flexibilní a statistické řízení. Podobně jako index PI4 hodnotící implementaci technologií Průmyslu 4.0 byl vypočten i index implementace metod štihlé výroby (SV4). Tento index vyjadřuje, do jaké míry podniky využívají jednotlivé technologie a metody štihlé výroby. Hodnoty indexu byly následně převedeny na procentuální vyjádření pro lepší představu o úrovni implementace. Index SV4 poskytuje ucelený pohled na úroveň implementace štihlé výroby v podnicích. Vyšší hodnoty indexu naznačují širší a efektivnější využití metod štihlé výroby, zatímco nižší hodnoty poukazují na potřebu dalšího rozvoje a implementace těchto metod.

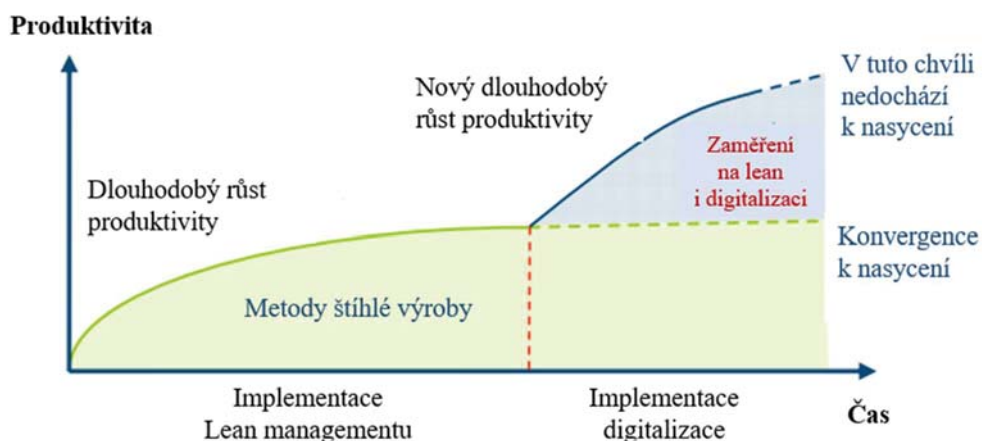
Třetí výzkumná otázka: Jaký je vztah mezi implementací štihlé výroby a Průmyslu 4.0 %?

Z výzkumu vyplynulo, že implementace štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 jsou vzájemně propojené a často se podporují. Tradiční metody štihlé výroby jako Gemba, Kaizen, 5S, Kanban a JIT jsou úzce spojeny s technologiemi Machine-to-Machine (M2M), Internet věcí (IoT) a Cloud Computing. Z Roserových šesti perspektiv vztahů mezi koncepty Průmyslu 4.0 a štihlé výroby lze na základě výsledků analýz konstatovat, že je v podnicích snaha o skloubení obou přístupů do konceptu Lean 4.0. Ukazuje se, že propojení technologií a metod štihlé výroby má v praxi své opodstatnění. Principy a metody štihlé výroby vnášejí do čistě technokraticky založeného konceptu technologií Průmyslu 4.0 lidský faktor. Tím odstraňují jeho hlavní nevýhody. Na druhou stranu nové technologie vhodně rozvíjejí a rozšiřují možnosti klasických metod štihlé výroby.

Korelační analýza konkrétně ukazuje, že některé metody štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 mají vysokou míru závislosti. Například kombinace metody Andon a učící software (AI), Heijunka a učící software (AI), Jidoka a RFID vykazují silné vzájemné propojení. To naznačuje, že zavedení vybraných technologií může efektivně podpořit implementaci specifických metod štihlé výroby. Podobně korespondenční analýza identifikovala shluky metod a technologií, které jsou vzájemně propojeny. V centrálním shluku byly metody jako Gemba a VSM úzce spojeny s technologiemi jako M2M a IoT. V jiných shlucích byly identifikovány specifické technologie jako 3D tisk nebo AI ve spojení s metodami zaměřenými na flexibilitu a vyrovnávání výroby.

Vytvořené indexy Průmyslu 4.0 (PI4) a štihlé výroby (SV4) byly použity k identifikaci významných vazeb. Kombinace indexů ukazuje, že podniky s vyššími hodnotami PI4 mají tendenci dosahovat vyšších hodnot indexu SV4. To naznačuje, že pokročilá implementace Průmyslu 4.0 podporuje efektivnější implementaci štihlé výroby. Toto zjištění potvrzuje také hypotéza H13, resp. vysoký korelační koeficient obou indexů. Srovnávací analýza regresních modelů dále potvrzuje, že zahrnutí kontextuálních faktorů, jako jsou odvětví a velikost podniku, zlepšuje pochopení vztahů mezi PI4 a SV4. Lineární modely doplněné o tyto faktory vykazovaly lepší výsledky. Spline modely poskytovaly přesnější predikce, což naznačuje důležitost zahrnutí složitějších vztahů do analýzy. Celkově dosahovaly regresní modely vyšší míry R^2 , upřednostňující vliv PI4 na SV4. Lze tedy konstatovat, že jsou vlivy Průmyslu 4.0 na štihlou výrobu výraznější (spíše než vlivy štihlé výroby na P4.0). Tyto výsledky jsou v souladu s modelem, který prezentuje Prinz et al. (2018). Rozdíly mezi Průmyslem 4.0 a štihlou výrobou jsou velké, nicméně mají společný cíl, zvyšování přidané hodnoty. Zatímco v minulosti bylo možné dosáhnout vyšší produktivity výrobních systémů metodami štihlé výroby, nyní lze produktivitu, i po vyčerpání standardních metod, zvýšit zavedením technologií Průmyslu 4.0 (viz obrázek 47).

Obrázek 47 Dopady implementace štíhlé výroby a Průmyslu 4.0 na produktivitu



Zdroj: Prinz et al. (2018)

Pro srovnání z výzkumu provedeného v deseti podnicích v České republice byl zaveden model hodnocení připravenosti implementace Průmyslu 4.0 ve spojení s Lean Six Sigma zaměřený na technologické, manažerské, finanční a lidské kategorie, který má českým podnikům pomoci úspěšně zavést postupy Průmyslu 4.0 (Efimova & Briš, 2022). Využitím digitálních technologií umožňuje Lean 4.0 sledování a řízení výrobních procesů v reálném čase, prediktivní údržbu a optimalizované řízení zásob. Usnadňuje také lepší spolupráci a komunikaci mezi různými zúčastněnými stranami ve výrobním ekosystému (Sanders et al., 2016). Wilson (2010) uvádí příklady spojení metod štíhlé výroby a technologií Průmyslu 4.0. Poka-yoke může být podpořeno senzorovým mechanismem založeným na IoT, který usnadňuje opravu chyb v nástrojích. Podobně umožňuje IoT automatický pohyb vozíků/kontejnerů díky podpoře informací získaných ze senzoru v Kanban systému. Monitorování údržby usnadňuje technologie AR, v níž lze udržovat a aktualizovat digitální historické karty. Údaje OEE lze sledovat a analyzovat prostřednictvím IoT s podporou Cloudových systémů. Prostřednictvím IoT mohou senzory zachycovat parametry OEE a dále je ukládat do cloudových systémů. To umožňuje mistrům na dílnách na dálku sledovat parametry OEE pro různé obráběcí stroje v různých výrobních dílnách.

Čtvrtá výzkumná otázka: Jaký vliv má velikost podniku na implementaci Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby?

Womack et al. (1990) tvrdí, že štíhlá výroba je použitelná ve všech podnicích bez ohledu na jejich velikost. Analýza dat však odhalila, že velikost podniku je klíčovým faktorem ovlivňujícím míru implementace jak Průmyslu 4.0, tak štíhlé výroby. Podniky se liší svým přístupem k zavádění obou konceptů a také velikostními charakteristikami (kapitál, lidské zdroje atd.). Výsledky analýz

zdůrazňujících vliv velikosti podniku potvrdily tento faktor jako statisticky významný Tyto rozdílly jsou patrné téměř u všech sledovaných technologií a metod.

Tabulka 37 Shrnutí výsledků statistických analýz podle velikosti podniku

Oblast	Hyp.	Zaměření hypotéz	Sig.
<i>Procesní oblasti Průmyslu 4.0</i>	H1	Digitalizace procesů	ANO
	H2	Životní cyklus	ANO
	H3	Integrace systémů	ANO
	H4	Robotizace a automatizace	ANO
<i>Technologie průmyslu 4.0</i>	H5	IT infrastruktura, Informační systémy, Propojená data (M2M a IoT), Roboty, robotické paže, Mobilní koncová zařízení, Chytré senzory, Kvalifikovaní lidé, Sběr dat (Big Data), Skladování dat v Cloudu, Analýza dat (BDA), Učící software (AI), Sdílení dat s dodavateli, Virtuální realita, Autonomní vozidla, 3D tisk, Nanotechnologie, RFID	ANO
	H7	Index PI4	ANO
<i>Principy štihlé výroby</i>	H8	Snižování ztrát (Muda), Flexibilita, Plynulý tok, Standardizace, Vizualizace, Princip tahu (pull), Transparentnost, Zaměření na procesy, Princip neustálého zlepšování, Zaškolování mentoringem, Koučování, Řešení problémů, Podpora týmové práce, Bezpečnostní zásady Učící se organizace, Usilování o dokonalost, Zapojení (angažovanost) zaměstnanců, Zpětná vazby dodavatelů, Oddělení lidí a strojů, Respekt k zaměstnancům, Dlouhodobé zaměření, Zaměření na příčiny, Zaměření na zákazníka, Vyrovnávání pracovního zatížení	ANO
		Osobní zodpovědnost, Zapojení a integrace zákazníka	NE
<i>Metody štihlé výroby</i>	H10	Koncepce TQM, Koncepce Kaizen, Systém ISO 9001, Six Sigma, Metoda VSM, Statistické řízení procesů, Heijunka (nivelizace), JIT, Kanban, Supermarket, Metoda 5S, TPM, Andon, Milkrun, SMED, Poka-yoke, Záchraná brzda, Hanedaski, Chaku-Chaku, Jidoka, Gemba Walk, Vizualizace, Výrobní takt, Buňkové uspořádání, Tok jednoho kusu	ANO
	H12	Index SV4	ANO

Zdroj: shrnutí vlastních výpočtů

Velké podniky. Mají tendenci investovat více do implementace technologií Průmyslu 4.0. Tyto podniky dosahují vyšších hodnot indexu PI4 i SV4. Více jsou implementovány metody štihlé výroby, jako jsou standardizace a vizualizace procesů. Velké podniky mají vyšší investiční kapacitu, což jim umožňuje rychlejší a rozsáhlejší implementaci jak Průmyslu 4.0, tak štihlé výroby. Jsou schopny financovat nákup pokročilých technologií a zavádění komplexních metod.

Střední podniky. Projevují snahu o implementaci technologií Průmyslu 4.0, ale jejich míra přijetí je nižší než u velkých podniků. Přesto je patrný zájem o digitální transformaci a určité pokroky v integraci systémů. Zaměřují se na určité klíčové oblasti, ale nemají stejnou úroveň zdrojů jako velké podniky.

Malé a mikro podniky. Čelí významným překážkám při implementaci Průmyslu 4.0. Mnoho z těchto podniků se potýká s omezenými zdroji a nedostatkem odborných znalostí, což vede k nižším hodnotám indexu PI4 a pomalejšímu tempu digitální transformace. Preferují univerzální principy štíhlé výroby, jako je respekt k zaměstnancům a osobní odpovědnost. Čelí však omezením v oblasti zdrojů a školení, což vede k nižší míře implementace specifických metod štíhlé výroby. Menší podniky mohou být flexibilnější a agilnější, což jim umožňuje rychleji adaptovat některé změny. Na druhou stranu mají omezené zdroje, což může bránit plné implementaci.

Spojíme-li koncepty štíhlé výroby a Průmyslu 4.0 dohromady, pak zavádění Lean 4.0 v malých a středních podnicích je charakterizováno integrací tradičních principů štíhlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0 s cílem zvýšit produktivitu, snížit plýtvání a dosáhnout udržitelných výrobních systémů. Mezi kritické faktory úspěchu při zavádění Lean 4.0 v malých a středních podnicích patří technologie podporující pracovníky, technologie podporované IT, finanční způsobilost, angažovanost managementu a zaměstnanců a systematický přístup k řízení různých metod a postupů řízení (Qureshi, Mewada, Buniya, et al., 2023). Model implementace Lean 4.0 (Shuriken framework) v malých a středních podnicích zahrnuje systematický přístup, který zahrnuje fáze, jako je diagnostika, vytvoření toku, umožnění toku, standardizace a udržení, se zaměřením na rychlé zlepšování procesů a řešení problémů s cílem přitáhnout pozornost vrcholového vedení (Manjallore & Dhotre, 2023).

***Pátá výzkumná otázka:** Jaký vliv mají odvětví zpracovatelského průmyslu na implementaci Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby?*

Odvětví zpracovatelského průmyslu vykazují rozdílné úrovně implementace technologií Průmyslu 4.0 a metod štíhlé výroby. Některá odvětví jsou technologicky náročnější a mají vyšší míru implementace, zatímco jiná jsou méně pokročilá. Výsledky statistických analýz ukazují, že odvětví má vliv na úroveň implementace jak Průmyslu 4.0, tak štíhlé výroby. Nicméně, tento vliv nebyl prokázán u procesních oblastí Průmyslu 4.0, 5 technologií, 2 principů a 13 metod štíhlé výroby. Odlišnosti mezi odvětvími odhalují, že technologická náročnost a specifické požadavky jednotlivých odvětví ovlivňují jejich schopnost zavádět pokročilé technologie a metody. Odvětví, jako je elektrotechnický a strojírenský průmysl, jsou charakterizované vyšší mírou implementace pokročilých technologií a metod štíhlé výroby. Naopak odvětví výroby pro domácí spotřebu vykazuje nižší úroveň implementace, což naznačuje potřebu specifických strategií pro podporu těchto sektorů. Pro srovnání Dolák & Suchánek (2015) uvádějí, že rozsah zavádění štíhlé výroby a logistiky se výrazně liší podle velikosti podniku a odvětví, přičemž mezi běžně používané metody patří workshopy, analýza procesů, metoda 5S a celková efektivita zařízení (OEE).

Strojírenská výroba. Strojírenský sektor vykazuje vysokou úroveň implementace metod štihlé výroby, zejména metody Kaizen, 5S a TPM. Tento sektor také investuje do technologií Průmyslu 4.0, což vede k vyšším hodnotám indexu PI4 a SV4. V kontextu Lean 4.0 jsou významné vazby mezi roboty s metodami štihlé výroby jako je Chaku-Chaku, Six Sigma.

Tabulka 38 Rekapitulace výsledků statistických analýz podle odvětví podniku

Oblast	Hyp.	Zaměření hypotéz	Sig.
<i>Procesní oblasti Průmyslu 4.0</i>	H1	Digitalizace procesů	NE
	H2	Digitalizace životního cyklu	NE
	H3	Integrace systémů	NE
	H4	Robotizace a automatizace	NE
<i>Technologie průmyslu 4.0</i>	H6	IT infrastruktura, Informační systémy, Propojená data, (M2M a IoT), Roboty, Mobilní koncová zařízení, Chytré senzory, Kvalifikovaní lidé, Sběr dat (Big Data), Sdílení dat s dodavateli, Virtuální realita, 3D tisk, RFID	ANO
		Skladování dat v Cloudu, Analýza dat (BDA), Učící se software (AI), Autonomní vozidla, Nanotechnologie	NE
	H7	Index PI4	ANO
<i>Principy štihlé výroby</i>	H9	Flexibilita, Standardizace, Zaškolování mentoringem, Řešení problémů, Respekt k zaměstnancům, Dlouhodobé zaměření	ANO
		Snižování ztrát (Muda), Plynulý tok, Princip vizualizace, Princip tahu (pull), Transparentnost, Zaměření na procesy, Neustálého zlepšování, Koučování Princip podpory týmové práce, Bezpečnostní zásady, Učící se organizace, Osobní zodpovědnost, Usilování o dokonalost, Angažovanost zaměstnanců, Zpětná vazba dodavatelů, Oddělení lidí a strojů, Zaměření na příčiny, Zaměření na zákazníka, Zapojení a integrace zákazníka, Vyrovnávání pracovního zatížení	NE
<i>Metody štihlé výroby</i>	H11	Koncepce TQM, Koncepce Kaizen, Systém ISO 9001, Six Sigma, Statistické řízení procesů, Kanban, Supermarket, Milkrun, SMED, Poka-yoke, Záchraná brzda, Jidoka	ANO
		VSM, Heijunka, JIT, 5S, TPM, Andon, Hanedashi, Chaku-Chaku, Gemba Walk, Vizualizace, Výrobní takt Buňkové uspořádání, Tok jednoho kusu	NE
	H12	Index SV4	ANO

Zdroj: shrnutí vlastních výpočtů

Elektrotechnický průmysl. Elektrotechnický průmysl se vyznačuje vysokou mírou implementace pokročilých technologií Průmyslu 4.0, jako jsou 3D tisk a robotika. Tento sektor dosahuje vysokých hodnot indexu PI4, což odráží jeho technologickou náročnost a schopnost integrovat nové technologie. V oblasti štihlé výroby elektrotechnický průmysl vykazuje vysokou míru standardizace, flexibility a řešení problémů, což přispívá k vyšším hodnotám indexu SV4. V tomto sektoru je Lean 4.0 charakteristický zejména propojením technologie RFID s metodami

Kaizen, Six Sigma, JIT, toku jednoho kusu. Podobně je to využívání autonomních vozidel s metodami TPM, Andon, buňkové výroby.

Výroba pro domácí spotřebu. Tento sektor je charakterizován nižší technologickou náročností a nižší mírou implementace jak technologií Průmyslu 4.0, tak metod štihlé výroby. Nižší hodnoty indexů PI4 a SV4 vysvětlují omezenější schopnost investovat do pokročilých technologií a metod. Lean 4.0 je charakteristický propojením zejména RFID technologie s metodami Six Sigma, Jidoka, Chaku-Chaku, TPM, Andon, Poka-yoke.

Potravinářský průmysl. Potravinářský průmysl vykazuje střední úroveň implementace technologií Průmyslu 4.0 a metod štihlé výroby. Tento sektor investuje do automatizace a standardizace procesů, ale čelí specifickým výzvám souvisejícím s regulacemi a bezpečností potravin. V této oblasti se Lean 4.0 projevuje propojením 3D tisku s metodou Kanban, JIT, ISO 90001. Podobně je významná metoda SMED ve spojení s roboty či VR.

Výroba nekovových výrobků a plastů dosahuje střední úroveň implementace technologií Průmyslu 4.0 s průměrnými hodnotami indexu PI4, zaměřenou na zlepšení výrobních procesů a optimalizaci zásobovacích řetězců. V oblasti štihlé výroby dosahuje průměrných hodnot indexu SV4, s důrazem na standardizaci, efektivitu a zapojení zaměstnanců. Lean 4.0 zde spojuje sledování výrobních procesů a analýzu dat s metodami štihlé výroby. Zejména jde o sdílení dat s dodavateli v kombinaci s metodami Supermarket, Hanedashi, Jidoka.

Výroba papíru a chemická výroba vykazují podobné trendy, chemická výroba má mírně vyšší hodnoty indexu PI4, zejména v oblasti bezpečnosti a řízení rizik, s častým využitím technologií jako RFID a AI. Chemický průmysl dosahuje průměrných hodnot indexu SV4 s důrazem na řízení kvality, bezpečnost a eliminaci chyb. Lean 4.0 zde propojuje pokročilé technologie s metodami na zlepšování kvality a bezpečnosti výroby. Zejména se jedná o virtuální realitu s metodami Kaizen, Kanban, Milkrun, Poka-yoke, buňková výroba.

Šestá výzkumná otázka: Jaký mají vliv koncepce štihlé výroby a Průmyslu 4.0 na výkonnost podniků?

Implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0 má potenciál zlepšit výkonnost podniků, ale vliv není vždy jednoznačný. Ukazuje se, že tento vliv závisí na několika faktorech, jako jsou velikost podniku, odvětví, ve kterém podnik působí, a míra integrace těchto koncepcí. Analýza v habilitační práci neprokázala statisticky významné rozdíly ve finanční výkonnosti mezi podniky s vysokou a nízkou mírou implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Korelační analýza ukázala, že finanční ukazatele nejsou výrazně ovlivněny úrovní implementace těchto metod a technologií. Statisticky významný (hypotéza H14) byl pouze Spearmanův korelační koeficient mezi

zadlužeností a indexem PI4 ($r = 0,127$). Statisticky významný (hypotéza H15) nebyl ani rozdíl při kategorizaci dle shluků podle úrovně indexů. Výsledky naznačují, že vliv na finanční výkonnost je omezený a může být ovlivněn dalšími externími faktory. Tento závěr koresponduje se studii (Buer et al., 2018; Maemunah, 2021), které pozitivní dopad Lean 4.0 na výkonnost nepotvrdily. Nicméně, většina studií zaměřených na roli štíhlé výroby a Průmyslu 4.0 poukazuje vztah k výkonnosti podniku.

Pro porovnání v literatuře se uvádí, že metody štíhlé výroby jsou pozitivně spojeny s technologiemi Průmyslu 4.0, což vede k většímu zlepšení výkonnosti výrobních podniků (Tortorella & Fettermann, 2018). Zavádění technologií I4.0 nejen zvyšuje účinky Leanness na provozní výkonnost, ale také přispívá ke zlepšení ekonomických výsledků. Výsledky však naznačují, že firmy dosahují vyšší výkonnosti buď zaměřením se na spolupráci s dodavateli v rámci environmentálních iniciativ, nebo investicemi do technologií I4.0 (De Giovanni & Cariola, 2021). Pozitivní vliv Lean 4.0 na udržitelnou výkonnost organizace potvrzuje také Ooi et al. (2023), Saha et al. (2023). Integrací inteligentních technologií do průmyslového procesu má Lean 4.0 za cíl učinit výrobní systémy pohotovějšími a přizpůsobivějšími, což povede k lepší výkonnosti organizace (Pereira & Sachidananda, 2022). Zavedením Lean 4.0 mohou firmy překonat různé výzvy, včetně organizačních, právních, strategických a technologických překážek, a usnadnit tak hladší přechod na Průmysl 4.0 a zlepšit celkovou efektivitu a snížit plýtvání (Hotrawaisaya et al., 2019). Uplatněním strategií Lean 4.0 mohou továrny zaznamenat každodenní zvýšení celkové efektivity výroby, což má přímý pozitivní dopad na provozní efektivitu (Chakroun et al., 2022).

8.2 Sjednocující model Lean 4.0

Při tvorbě sjednocujícího modelu Lean 4.0, který spojuje štíhlou výrobu a Průmysl 4.0 bylo využito struktury obou indexů. V indexu PI4 se uplatňují čtyři klíčové prvky, které vytvářejí technologickou konkurenční výhodu – informační infrastruktura, pokročilé výrobní technologie, inteligentní sdílení a mechatronické systémy. Tyto oblasti vytvářejí prostřednictvím implementace moderních technologií v podnicích technologické prostředí Průmyslu 4.0. Aplikací těchto nových technologií na štíhlé výrobní systémy, které mají implementovány štíhlé metody dochází k změnám obchodních modelů, které vedou k vyšší konkurenceschopnosti podniků. Těmito metodami je zajištěno (v indexu SV4) řízení kvality, optimalizace výroby, řízení bezpečnosti a rizik, flexibilní a statistické řízení. V důsledku toho je výzvou tvorba sjednocujícího koncepčního modelu založeného na korelaci obou postupů uplatňovaných, často izolovaně, v současné výrobě pro integraci klíčových prvků, které vytvářejí přidanou hodnotu.

Obrázek 48 Sjdnocující model Lean 4.0



Zdroj: vlastní zpracování

Pro tyto účely byla provedena korelační analýza mezi jednotlivými faktory. Výsledky této analýzy shrnuje tabulka 39. Všechny vypočtené korelační koeficienty jsou významné na hladině alfa 0,05. Nejprve je vhodné připomenout, že korelační koeficient obou souhrnných indexů byl vysoký ($r = 0,691$). Lze konstatovat, že hodnoty koeficientů jsou také poměrně vysoké, což naznačuje středně až velmi silnou míru závislosti faktorů. Vztah indexů posiluje zejména závislost mezi řízením kvality a pokročilými výrobními technologiemi ($r = 0,73$). Tento vztah má také své praktické opodstatnění, neboť s využitím pokročilých technologií jako je 3D tisk lze dosáhnout vyšší kvality. Pokročilé výrobní technologie mají celkově nejvyšší korelační koeficienty ($r = 0,67 - 0,73$) ve vztahů k faktorům štíhlé výroby. Podobně mají vyšší hodnocení také technologie sdružené pod mechatronické systémy ($r = 0,66 - 0,68$). Naopak nejméně jsou faktory štíhlé výroby závislé ve vztahu k inteligentnímu sdílení ($r = 0,56 - 0,61$).

Tabulka 39 Spearmanovy korelační koeficienty vztahu indexů PI4 a SV4

Proměnná	Informační infrastruktura	Mechatronicke systémy	Inteligentní sdílení	Pokročilé výrobní technologie
Řízení kvality	0,63	0,68	0,61	0,73
Optimalizace výroby	0,58	0,66	0,56	0,67
Řízení bezp. a rizik	0,59	0,67	0,56	0,68
Flexibilní a statist. řízení	0,59	0,67	0,56	0,68

Zdroj: vlastní zpracování

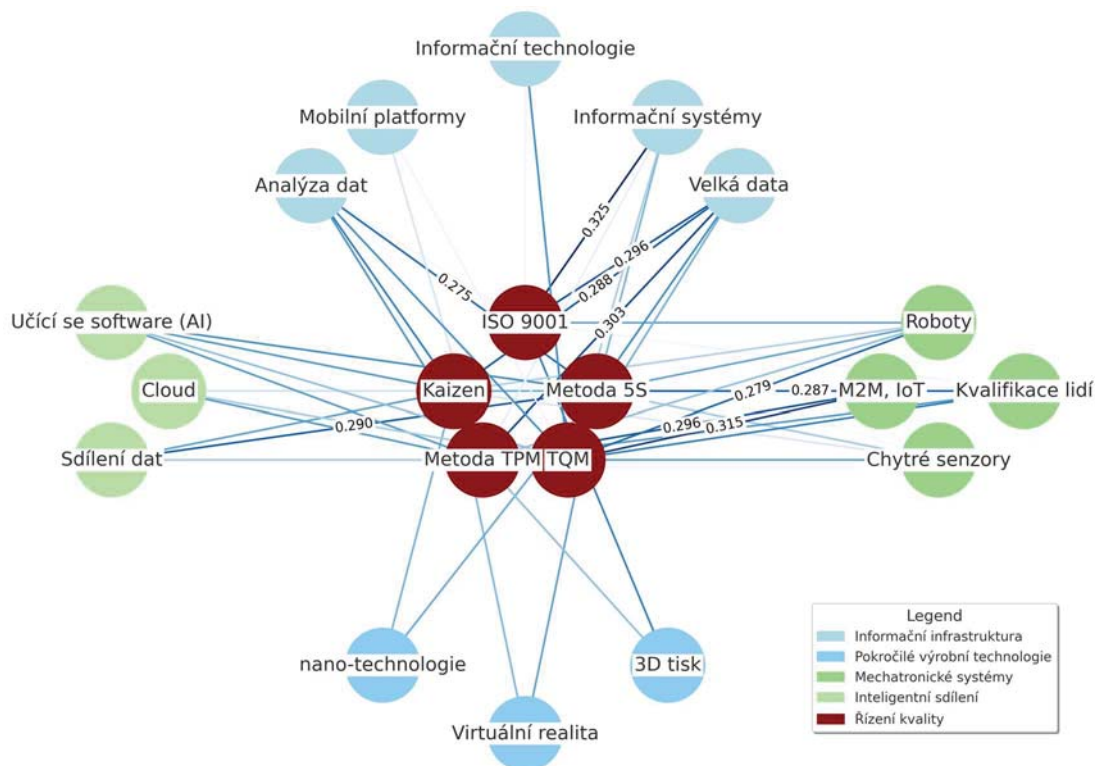
Z technologického hlediska přináší Průmysl 4.0 růst produktivity v důsledku technologických změn. Naopak štihlá výroba přináší identifikaci přidané hodnoty a eliminaci plýtvání. Začlenění metodiky a nástrojů štihlé výroby do inteligentních továren, stejně tak zavedení nových technologií do štihlých systémů, představuje výzvu pro současné podniky. To vyžaduje přizpůsobení procesů, aby prostřednictvím digitalizace a eliminace plýtvání zvýšily jejich provozní i organizační výkonnost. Po prozkoumání klíčových konceptů technologií Průmyslu 4.0 a nástrojů štihlé výroby aplikovaných v praxi lze zdůraznit příznivé účinky kombinace těchto dvou konceptů. Implementace infrastruktury Průmyslu 4.0 a štihlých systémů přispívá k zlepšování a inovacím na provozních úrovních podniku (tj. odděleních, výrobních dílnách a linkách), ale zajišťuje také propojení na organizační úrovni a mezi organizacemi navzájem. Kompatibilita a pozitivní vztah mezi implementovanými metodami štihlé výroby a technologiemi dle výsledků korelační analýzy (analyzovány výsledky z kapitoly 7.2) jsou popsány níže:

8.2.1 Řízení kvality

Na základě výsledků korelační analýzy je řízení kvality nejvíce podporováno technologiemi informační infrastruktury a mechatronických systémů (obrázek 49). V oblasti inteligentního sdílení bylo významnější pouze spojení na sdílení dat ($r = 0,290$).

Informační infrastruktura. Ve vztahu k informační infrastruktuře bylo významnější spojení informačních systémů a ISO 9001 ($r = 0,325$). Tento systém může být digitalizován a procesní management je tak součástí digitálního prostředí. Významnější korelační koeficienty byly také zjištěny pro velká data, resp. sběr dat pro další analýzu. Data jsou nejčastěji využívána při zlepšování Kaizen ($r = 0,288$), v systému managementu jakosti ISO 9001 ($r = 0,296$) či metodou TPM ($r = 0,303$) pro účely údržby. Postupné zlepšování Kaizen může být fakticky podpořeno sběrem relevantních dat, případně jejich analýzou. Analýza dat může být vhodná také pro metodu 5S ($r = 0,275$), kdy lze nejvhodnější způsob přípravy pracoviště získán na jejich základě.

Obrázek 49 Korelační vazby řízení kvality na moderní technologie



Zdroj: vlastní výpočty v python networkx

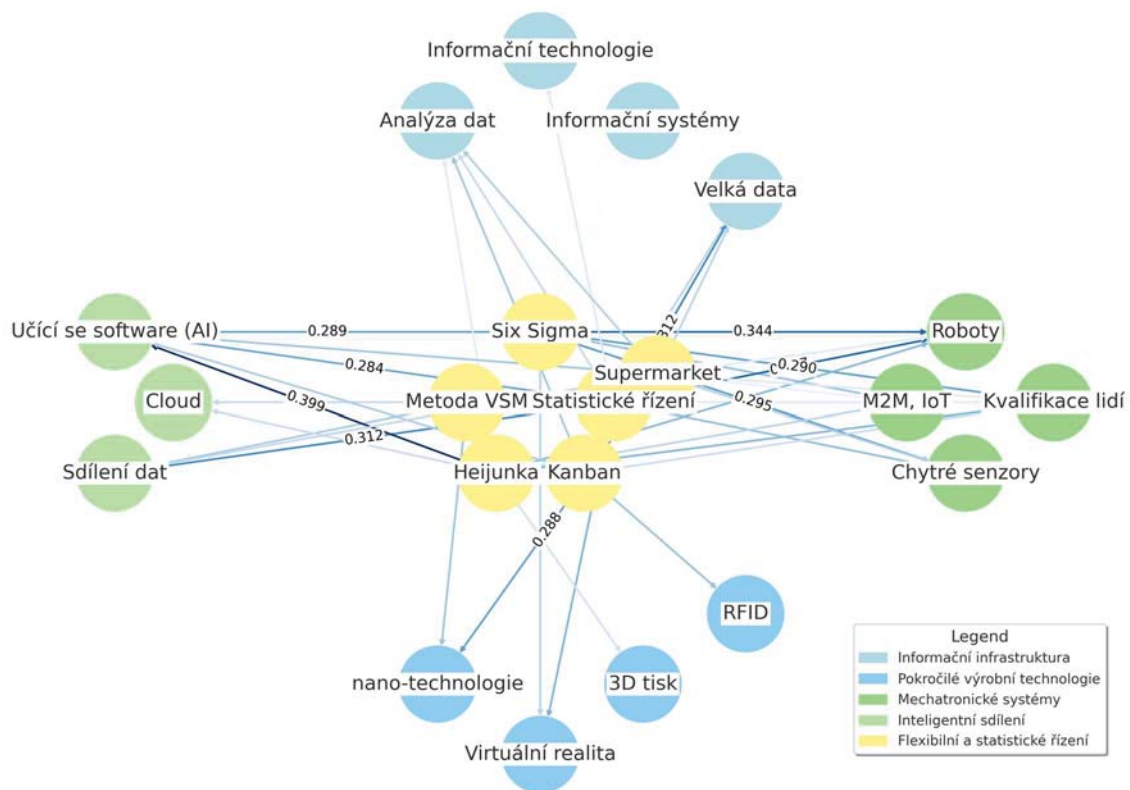
Mechatronické systémy. Významnější závislost byla zjištěna u technologie M2M (resp. IoT), zejména pro metodu TPM ($r = 0,296$). Údržba se tak může stát flexibilnější a údaje přístupné z různých zařízení. Internet věcí přináší možnosti vzdáleného přístupu a dohledu nad aktuálním stavem strojů a zařízení. Při aplikaci konceptu TQM může být některých zlepšení dosaženo prostřednictvím přenosových technologií M2M a IoT ($r = 0,315$). Nástrojem TQM může být také robotizace a automatizace procesů ($r = 0,279$). Pro metodu 5S je vhodné mít v podniku kvalifikovanou pracovní sílu, která umí zacházet s moderními technologiemi a má digitální kompetence ($r = 0,287$).

8.2.2 Flexibilní a statistické řízení

Korelační analýza ukázala, že metody flexibilního a statistického řízení mají nejvyšší míru závislosti s technologiemi obsaženými ve skupině mechatronických systémů a inteligentního sdílení (obrázek 50). U informační infrastruktury je významnější korelace mezi metodou Kanban a sběrem velkých dat ($r = 0,312$). Využití velkých dat při optimalizaci kapacit a plánování tak, aby došlo k zlepšení doby dodání a plynulosti toku. Z pokročilých výrobních technologií byla významnější vazba metody supermarket na nanotechnologie ($r = 0,288$).

Mechatronické systémy. Ve vazbě na technologie mechatronických systémů má nejvyšší korelační koeficienty metoda Six Sigma. Ta může být rozšířena prostřednictvím robotů ($r = 0,440$), kdy mohou být minimalizovány odchylky a lidské chyby. Na druhou stranu vyšší kvalifikace lidí ($r = 0,250$) může podpořit proces zvyšování kvality. Chytré senzory mohou poskytovat vysoce přesná data v reálném čase o různých parametrech procesů, jako jsou teplota, tlak, vibrace, vlhkost, průtok a další. Tato data mohou pomoci s odhalením odchylek a rychlou reakcí na problémy. Významná byla také korelace statistického řízení s roboty ($r = 0,347$). Integrace může pomoci s kontrolou kvality a monitoringu (např. histogramy). Roboty mohou navíc sbírat data automaticky a na základě sledování statistických výkyvů mohou automaticky zasáhnout, pokud se proces blíží nebo překračuje kontrolní limity.

Obrázek 50 Korelační vazby flexibilní a statistické řízení na technologie



Zdroj: vlastní výpočty v python networkx

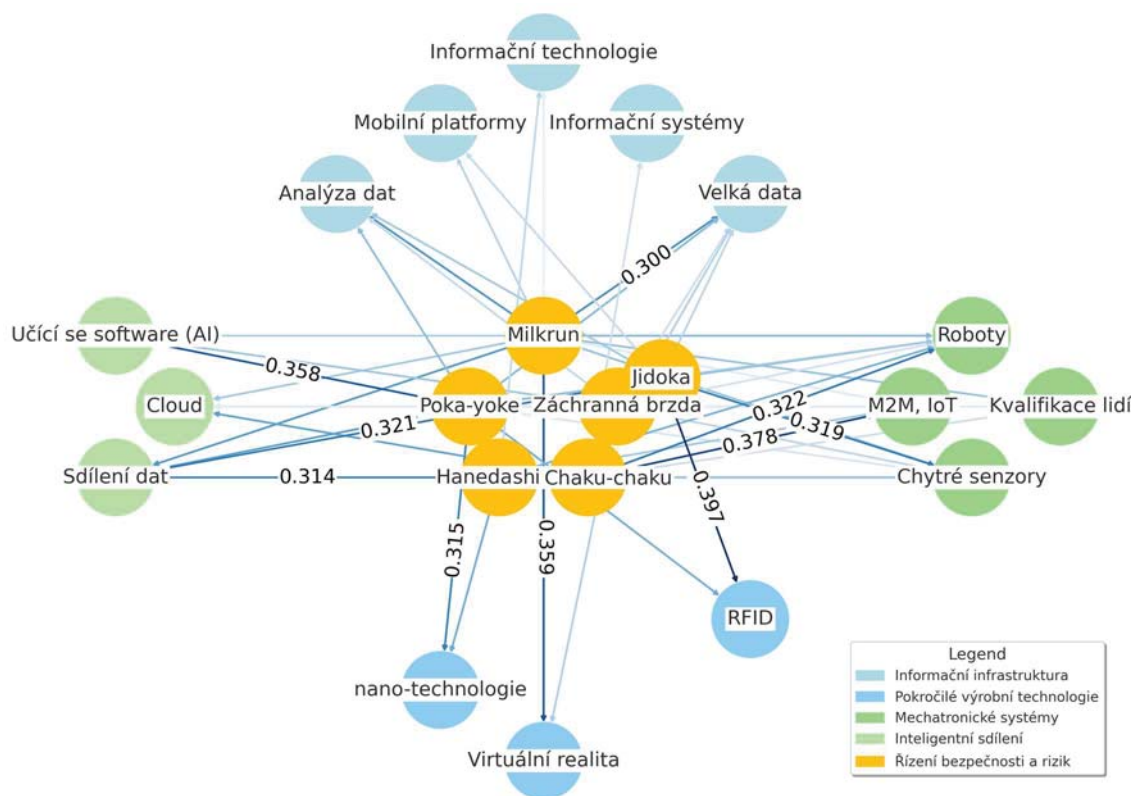
Inteligentní sdílení. Z technologií inteligentního sdílení je nejvýznamnější umělá inteligence (učící se software), která může pomoci se zlepšováním více metod. Zejména pro metodu heijunka může být umělá inteligence přínosem ($r = 0,399$), neboť může výrobní harmonogram upravovat díky lepším předpovědím a efektivním reakcím na změny v poptávce. Současně může AI umožnit vyšší míru personalizace ve výrobě, což by jinak vedlo k výrazným výkyvům ve výrobním procesu. Pro Six Sigma ($r = 0,289$) a statistické řízení ($r = 0,284$) nabízí umělá inteligence

pokročilé analytické schopnosti, které tyto metody doplňují a rozšiřují prostřednictvím prediktivního modelování chování. Pro statistické řízení procesů je neméně důležité sdílení dat ($r = 0,312$), které zvyšuje transparentnost a informované rozhodování při kolaborativní analýze.

8.2.3 Řízení bezpečnosti a rizik

Oblast řízení a bezpečnosti rizik může být ovlivněna moderními technologiemi seskupenými z více oblastí (obrázek 51). Významně působí mechatronické systémy, inteligentní sdílení i pokročilé výrobní technologie. Z informační infrastruktury byl vysoký korelační koeficient zjištěn pouze u metody Milkrun v kombinaci se sběrem velkých dat. Toto spojení bylo umožňuje lépe plánovat interní tok materiálu.

Obrázek 51 Korelační vazby řízení bezpečnosti a rizik na moderní technologie



Zdroj: vlastní výpočty v python networkx

Mechatronické systémy. V této oblasti bylo nejvýznamnější spojení moderních technologií a metody Chaku-Chaku. Integrace IoT do Chaku-Chaku ($r = 0,378$) výrobních procesů poskytuje nástroje pro real-time monitoring a lepší řízení kvality. Přidání robotů do systému vkládání a manipulace materiálu ($r = 0,322$) ve strojích vede k vyšší flexibilitě a rychlosti výrobního procesu. Roboty mohou převzít úkoly lidí spojené s nakládáním a vykládáním materiálu ze strojů. Chytré senzory mohou navíc oproti klasickým sensorům v systému Jidoka ($r = 0,319$) pomoci

s automatickým odesláním upozornění operátorům, údržbě či managementu. Chytré senzory mohou sledovat v reálném čase klíčové parametry výrobního procesu, jako jsou teplota, tlak, vibrace, rozměry výrobků nebo povrchové vady. Informaci o odchylce pak mohou automaticky vyslat signál a systém Jidoka automaticky zastaví výrobu.

Inteligentní sdílení. Nejvyšší míru závislosti v této oblasti dosahuje aplikace umělé inteligence na systémy Poka-yoke ($r = 0,358$). AI v tomto případě posiluje schopnost systémů Poka-yoke nejen detekovat a reagovat na chyby v reálném čase, ale také předvídat a předcházet jim dříve, než se vyskytnou. Nicméně, AI může pomoci těmto systémům již ve fázi jejich návrhu a pomoci s jejich správným nastavením. Významnou technologií je také sdílení dat, které pro systémy Hanedashi ($r = 0,314$) a Jidoka ($r = 0,321$) představují nástroj zlepšování a hledání nedostatků.

Pokročilé výrobní technologie. Nakonec mohou i pokročilé technologie pomoci se zlepšováním metod štíhlé výroby. Virtuální realita ($r = 0,359$) nabízí možnosti vyzkoušet si osobně výsledky plánovacího procesu pro Milkrun tok materiálu a trasy rozvozů. Nanotechnologie umožňuje vývoj nano-senzorů, které mohou detekovat chyby na úrovni jednotlivých molekul nebo atomů. Tyto senzory mohou být integrovány do výrobních procesů a monitorovat i systémy Poka-yoke ($r = 0,315$). Zajímavým propojením je také integrace systému Jidoka s radiofrekvenční identifikací (RFID) jednotlivých produktů na výrobní lince ($r = 0,397$). Data získaná z kontroly Jidoka mohou být uložena přímo na výrobek. Ten je pak může sdílet s ostatními aplikacemi, systémy i odpovídajícími pracovníky podniku.

8.2.4 Optimalizace výroby

Pro poslední oblast je charakteristická vazba metod optimalizace výroby na mechatronické systémy, inteligentní sdílení a pokročilé výrobní technologie. Obrázek 52 zachycuje toto nejdůležitější propojení v síťovém grafu. Kromě těchto spojení byla zjištěna závislost mezi buňkovou výrobou a v oblasti informační infrastruktury velkými daty ($r = 0,326$).

Mechatronické systémy. Tyto systémy využívají robotů, které mohou pomoci s vizualizací ($r = 0,295$) na pracovišti. Roboti mohou být navrženi tak, aby se pohybovali v prostředích, která jsou pro člověka těžko přístupná nebo nebezpečná. Roboty v továrně mohou shromažďovat údaje o efektivitě výrobních procesů a tyto údaje zobrazit v reálném čase jako dynamický graf či diagram. V buňkách mohou roboty pracovat 24/7 bez přestávek, což umožňuje kontinuální provoz ($r = 0,318$). Roboty mohou být naprogramovány tak, aby pracovaly synchronně s ostatními částmi výrobního procesu. Chytré senzory mohou výrazně zlepšit vizualizace tím ($r = 0,310$), že poskytují přesná data v reálném čase, která lze využít k vytváření dynamických, interaktivních a podrobných vizualizačních nástrojů a dashboardů.

8.2.5 Diskuse modelu

Sjednocující model slouží jako koncepční rámec pro rozhodování o zavádění technologií Průmyslu 4.0 do štíhlých výrobních procesů. Je navržen tak, aby byl flexibilní a umožňoval integraci i nových technologií, jakmile se objeví. Přehled vztahů mezi technologiemi a metodami může pomoci podnikům přijímat informovaná rozhodnutí o vývoji v rané fázi zavádění Průmyslu 4.0. Poskytuje návod, které technologie mohou mít největší dopad při implementaci. V literatuře se nicméně objevilo několik modelů, které se na vztahy mezi oběma koncepty (tj. Lean 4.0) zaměřují a pro srovnání je nutné je blíže charakterizovat.

Bibliometrická analýza Alsadi et al. (2023) ukazuje jak konkrétní nástroje štíhlé výroby využívají možností různých technologií Průmyslu 4.0, zejména pokud jde o zlepšení automatizace, monitorování v reálném čase a detekci chyb. Nástroje jako Kanban a SMED využívají výhod Big Data, RFID a Cloud Computingu pro lepší řízení pracovních postupů a rychlejší přejímky, zatímco Jidoka a Andon aplikují data v reálném čase a bezdrátové sítě pro lepší automatizaci a kontrolu kvality. Poka Yoke a TPM používají RFID a sledování v reálném čase k prevenci chyb a podpoře údržby. Podobně Gallo et al. (2021) uvádí přehled, jaké nástroje Průmyslu 4.0 autoři ve svých člancích zmiňují a zda je v nich používají v souvislosti se štíhlou výrobou.

Podobně Shahin et al. (2020) prezentují teoretický koncept potenciálu využití technologií pro štíhlou výrobu. Kanban je podporován cloudovými systémy a RFID pro sledování šarží a řízení nadprodukce, zatímco Poka Yoke a Andon jsou rozšířeny o senzory a data v reálném čase pro kontrolu poruch strojů a zásob. Technologie jako velká data a aktuátory zlepšují řízení kvality prostřednictvím nástrojů jako Poka Yoke a Jidoka. Pokročilé technologie, jako jsou VR/AR, Cloud Computing a AGV, doplňují nástroje Lean, aby optimalizovaly procesy, snížily plýtvání a zvýšily provozní efektivitu. Dále Shahin et al. (2020) uvádějí, jak je tato integrace uvedena v literatuře. Například Big Data podporují Kanban, VSM pro lepší tok a strategické plánování, zatímco RFID pomáhá Poka Yoke a SMED s identifikací a prevencí chyb.

Pereira et al. (2019) provedli systematický literární přehled jak podporují technologie Průmyslu 4.0 a štíhlé metody. Jejich přehledová tabulka ukazuje vyšší frekvence výskytu CPS, IoT, velkých dat, Cloud Computingu a robotiky ve všech štíhlých postupech. Tyto technologie jsou tak základem přechodu tradiční výroby na chytré továrny. Poskytují kritické schopnosti, jako je monitorování v reálném čase, prediktivní údržba, automatizace a rozhodování založené na datech, které jsou nezbytné pro udržení efektivitu a konkurenceschopnosti v moderním výrobním prostředí.

Mayr et al. (2018) se zabývali možnostmi vzájemného doplnění obou konceptů a možnostmi podpory metod štíhlé výroby technologiemi Průmyslu 4.0. V článku popisují koncepční spojení u řady metod na základě recenze akademických i podnikových publikací. Jedná se zejména o Just in Time 4.0, Heijunka 4.0, Kanban 4.0, VSM 4.0, TPM 4.0, SMED 4.0, Poka-yoke 4.0 a vizuální management 4.0. Technologie Průmyslu 4.0 v podstatě přináší do štíhlých procesů schopnost rychlé adaptace na měnící se podmínky a optimalizaci výrobních procesů pomocí pokročilé analýzy dat, senzorů, a robotických systémů.

Wagner et al. (2017) člení technologie Průmyslu 4.0 do tří oblastí: sběr a zpracování dat (senzory, Cloud Computing, velká data, analytika), M2M komunikace (vertikální a horizontální integrace), interakce člověk-stroj (HMI, VR a AR). V tabulce pak uvádí navíc ještě výsledky hodnocení dopadu technologií na metody štíhlé výroby (stupnice od 1 do 3) na základě výsledků workshopu. Nejvlivnějšími technologiemi pro rozvoj principů štíhlé výroby jsou Cloud Computing, velká data a analytika, které významně posilují metody Jidoka, Heijunka, eliminaci plýtvání a principu tahu. Vertikální a horizontální integrace (M2M) navíc zlepšují synchronizaci a standardizaci napříč provozy, zatímco rozšířená realita (AR) pomáhá systému Jidoka, rozvoji týmové práce a bezpečnosti díky lepší interakci člověka se strojem.

Ibrahim & Kumar (2024) ve svém modelu založeném na metodě vícekritériálního rozhodování spojuje metody štíhlé výroby (Kanban, SMED, 5D, Kaizen atd.) s technologiemi Průmyslu 4.0 (CPS, IoT, robotika, Cloud, 3D tisk a další) prostřednictvím jejich vlivu na plýtvání v podnicích (sedm druhů Muda). Model ukazuje, jak lze využít nástroje štíhlé výroby k minimalizaci plýtvání a jak mohou moderní technologie toto úsilí dále posílit. Tento synergický přístup integruje oba koncepty na vyšší úrovni s cílem dosáhnout dynamičtějšího, pohotovějšího a efektivnějšího výrobního prostředí.

Podobně při tvorbě svého modelu použili koncept Muda Satoglu et al. (2017), kteří jej vytvořili na základě vztahu obou koncepcí k plýtvání. Jejich model připomíná žebřík, který symbolizuje postupné zavádění metod štíhlé výroby a následně také technologií Průmyslu 4.0. Podle této teorie by se nejprve mělo uspořádání výrobního systému přeměnit na buněčný výrobní systém, následují metody SMED, kontrola kvality, TPM atd. Kromě toho jsou v modelu uvedeny vazby na jednotlivé technologie, které tyto metody podporují a usnadňují jejich efektivní implementaci.

Na základě literárního přehledu, výsledků rozhovorů a dotazníkového šetření Oláh et al. (2023) prezentují vztahy mezi metodami štíhlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0. Z výsledků vyplývá, že nejcennějšími technologiemi jsou velká data, RFID a simulace. Nicméně autoři poukazují na velké rozdíly mezi rozhovory a výsledky výzkumu v některých oblastech. Dále jsou

porovnány mezi sebou odvětví, které využívají dané metody a technologie. Ukazuje se, že nejvíce jsou oba koncepty implementovány v odvětví informačních technologií.

Florescu & Barabas (2022) propojují oba koncepty prostřednictvím korelačního modelu, který do středu umísťuje prvky, které vytvářejí technologickou hodnotu (propojitelnost, inteligenci a flexibilní automatizaci). Aplikací nových technologií do štíhlých výrobních systémů, které se řídí principy neustálého zlepšování a zvyšování přidané hodnoty snižováním plýtvání, podle autorů dochází také k zásadním proměnám obchodních modelů. Florescu a Barabas následně aplikují model na implementaci obou koncepcí a hlavních principů štíhlé výroby a Průmyslu 4.0. Vzájemná závislost technologií a metod je pak prezentována v korelační tabulce, kde jsou rozvinuty možné aplikace CPS, simulace, robotiky, IoT, Cloud computingu, velkých dat, umělé inteligence a aditivní výroby v metodách štíhlé výroby.

8.3 Teoretické přínosy

Tato habilitační práce má několik teoretických přínosů. Výsledky habilitační práce poukazují na překážky v přijetí a strategické váhání při zavádění štíhlé výroby a Průmyslu 4.0 v podnicích. Byl zjištěn opatrný přístup manažerů při přijímání technologií, a to buď z důvodu nevědomosti či navzdory uvědomění si potenciálních přínosů. To vyvolává otázky ve vztahu k nedostatečnému vzdělávání v oblasti nových technologií. Na druhou stranu může vysvětlení poskytnout teorie šíření inovací (Rogers, 2003), kdy vnímaná složitost a riziko spojené s novými technologiemi mohou zpomalit jejich přijetí.

Habilitační práce rozšiřuje výzkum tím, že empiricky zkoumá roli technologií Průmyslu 4.0 ve spojení s metodami štíhlé výroby. Předchozí literatura ve velké míře popisovala toto spojení až na výjimky spíše teoreticky. Nedostatek empirických studií vyvolával potřebu po dalším výzkumu. Výsledky potvrdily synergický vztah mezi štíhlou výrobou a technologiemi Průmyslu 4.0, přičemž konkrétní metody štíhlé výroby jsou úzce propojeny s pokročilými technologiemi. To podporuje teorii sociotechnické integrace (Emery & Trist, 1960), která naznačuje, že účinná integrace nových technologií vyžaduje současné úpravy sociálních a technických systémů. Sbližování štíhlé výroby a Průmyslu 4.0 poukazuje na potřebu teorie kombinující principy štíhlé výroby (Womack et al., 1990) s teorií digitální transformace (Westerman et al., 2014).

Hlavním teoretickým přínosem je vytvoření sjednocujícího modelu Lean 4.0, který integruje metody štíhlé výroby s technologiemi Průmyslu 4.0 s cílem zvýšit konkurenceschopnost podniku prostřednictvím technologických inovací. Kombinuje čtyři klíčové prvky Průmyslu 4.0 – informační infrastrukturu, pokročilé výrobní technologie, inteligentní sdílení a mechatronické

systemy – které rozšiřují štíhlé výrobní systémy podporou technologicky orientovaného prostředí. Model prostřednictvím korelační analýzy odhaluje silnou vzájemnou závislost mezi řízením kvality a pokročilými výrobními technologiemi, přičemž zdůrazňuje roli digitalizace pro metody sloužící k optimalizaci výroby, bezpečnosti a řízení rizik, statistického a flexibilního řízení. Model slouží jako rámec pro rozhodování o zavádění technologií Průmyslu 4.0 do štíhlých systémů, podporuje provozní efektivitu, snižování plýtvání a neustálé zlepšování.

Tato práce rozšiřuje znalosti o vztahu mezi štíhlou výrobou a Průmyslu 4.0. Jedná o jednu z prvních studií, která tuto problematiku zkoumá v kontextu České republiky. Na rozdíl od dřívějších výzkumů zjištění této práce ukazují, že se oba koncepty v současné době spíše doplňují a mohou mít omezenou schopnost vytvářet konkurenční výhodu izolovaně. Skutečná konkurenční výhoda se projeví, když jsou obě koncepce ve vysoké míře implementovány a integrovány, a mohou společně působit na zlepšení procesů. Současným zkoumáním úrovně Průmyslu 4.0 v podnicích se ukazuje, že lze účinek štíhlé výroby ještě dále podpořit. To potvrzují vytvořené regresní modely, které byly oproti dřívějším studiím rozšířeny o další proměnné (velikost a odvětví podniku), aby byly výsledky průkaznější a umožnilo to jejich zobecnitelnost.

Výzkum přinesl také významné zjištění týkající se významu velikosti podniku a jeho vlivech na implementaci Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby. Větší podniky vykazují vyšší úroveň zavádění technologií Průmyslu 4.0 ve srovnání s menšími podniky. To poukazuje na problémy využitelnosti a dostupnosti zdrojů pro MSP, o nichž se hovoří v teorii úspor z rozsahu (Panzar & Willig, 1981). Významný byl vliv velikosti podniku také na zavádění štíhlé výroby. Ukazuje se, že větší podniky častěji zavádějí standardizované a vizuální postupy řízení. To odpovídá institucionální teorii (DiMaggio & Powell, 1983). Tato teorie předpokládá, že větší podniky čelí většímu institucionálnímu tlaku na dodržování osvědčených postupů a standardů. Naopak menší podniky mohou mít prospěch z užších organizačních struktur, rychlejší a efektivnější komunikace a podpůrných sociálních sítí, které pomáhají sdílet znalosti. Tato zjištění podporují potřebu přizpůsobených strategií pro malé a střední podniky (MSP), aby překonaly omezení zdrojů a dosáhly konkurenční výhody (Mittal et al., 2018).

Různá úroveň digitální transformace napříč administrativními a provozními procesy naznačuje potřebu komplexnějšího přístupu k implementaci Průmyslu 4.0. Podniky by se měly více zaměřit na rozvoj dynamických schopností (Teece, 2018), aby se mohly neustále přizpůsobovat a efektivně integrovat nové technologie. Z tohoto pohledu je vhodné se při implementaci technologií Průmyslu 4.0 zabývat vazbami, které přináší štíhlé principy, zejména eliminace plýtvání, přidaná hodnota či minimalizace zdrojů. Podobně je vhodné zvážit při zavádění štíhlé výroby možnosti, které nabízejí moderní technologie, ačkoliv to nesmí být

v rozporu s těmito principy. Z výsledků totiž vyplynulo, že principy, jako je respekt k zaměstnancům a orientace na zákazníka, jsou více rozšířené, zatímco jiné, jako je oddělení lidí od strojů, jsou méně rozšířené. To odráží teorii sociotechnických systémů (Trist & Bamforth, 1951), která zdůrazňuje vzájemné působení sociálních a technických systémů v efektivitě organizace (Bhamu & Sangwan, 2014). Ukazuje se, že k plnému přijetí filozofie štíhlé výroby je v podnicích nutná kulturní změna.

Tato práce přispívá k výzkumu inovací tím, že zkoumá vliv štíhlé výroby i Průmyslu 4.0 na výkonnost, na kterou již dříve poukázali Buer, Strandhagen & Chan (2018). Nicméně výzkum nezjistil přímou souvislost s finanční výkonností. To poukazuje na význam kontextových faktorů a strategického sladění, jak je uvedeno v modelu strategického sladění (Henderson & Venkatraman, 1993). Ukázalo se, že vzhledem k působení většího množství faktorů bude vhodné v budoucím výzkumu izolovat vlivy technologií na výkonnost (např. prostřednictvím návratnosti investic a dalších ukazatelů). Podobně bude vhodné stanovit kritéria pro efektivitu využití metod štíhlé výroby.

8.4 Praktické přínosy

Výzkum přináší praktické důsledky a aplikace, zejména pro odborníky, kteří se podílejí na zavádění principů Průmyslu 4.0 a štíhlé výroby. V této části se jimi budeme podrobně zabývat.

Z výzkumu vyplynulo, že manažeři váhají při tvorbě strategií zaměřených na Průmysl 4.0. To naznačuje, že podniky se musí zaměřit na překonání hlavních překážek. Z tohoto důvodu doporučuji investice do vzdělávacích programů, které prostřednictvím praktických workshopů a případových studií ukazují hmatatelné přínosy technologií Průmyslu 4.0 (Kiel et al., 2017). Pro jednotlivá odvětví zpracovatelského průmyslu je vhodné přizpůsobit strategii. Například odvětví elektroniky vykazuje vyšší míru zavádění pokročilých technologií, jako je 3D tisk a robotika, což naznačuje, že klíčové jsou strategie specifické pro dané odvětví. Na základě strategie je pak vhodné přizpůsobit implementační plány, což může vést k efektivnějšímu přijetí. I oblasti digitální transformace je vhodné zlepšovat IT infrastrukturu pro podporu automatizovaných procesů a digitální interakci s dodavateli a zákazníky. Štíhlá výroba je podniky přijímána více než Průmysl 4.0. Pro její implementaci je vhodné, aby manažeři upřednostnili při zavádění standardizaci a vizualizaci procesů. V podnicích je důležité zaměřit se na principy štíhlosti, jako je respekt k zaměstnancům a osobní odpovědnost, a budovat tak kulturu neustálého zlepšování.

Zatímco štíhlá výroba již pravděpodobně překonala svůj vrchol, boom kolem digitálních technologií (zejména umělé inteligence) může dále růst. V současné době je vhodné orientovat se v nových trendech a soustředit se na oblast umělé inteligence a systémové integrace. Umělá

inteligence může zvýšit konkurenční výhodu integrací AI pro prediktivní údržbu, kontrolu kvality a provozní optimalizaci. Amarův zákon však říká, že „máme tendenci přeceňovat účinek technologie v krátkodobém horizontu a podceňovat účinek v dlouhodobém horizontu“ (Ratcliffe, 2015). Z tohoto důvodu by výrobní podniky, které ještě nezavedly štihlou výrobu, měly pečlivě zvážit, zda by přechod na Průmysl 4.0 měl být jejich dalším krokem. Digitalizovaný výrobní systém bez fungujících postupů štihlé výroby obvykle zaznamenává jen nepatrné zlepšení provozní výkonnosti.

Dřívější výzkumy zdůrazňovaly, že IT samy o sobě vytvářejí jen omezenou hodnotu a měly by být využívány k podpoře a posílení organizačních schopností a podnikových procesů (Buer et al., 2018). Podobně se ukazuje, že základní systém štihlé výroby bez digitálních řešení již nemusí poskytovat významnou výhodu v oblasti provozní výkonnosti. Výsledky této práce zpochybňují zavedený názor, že štihlá výroba a technologie jsou v praxi neslučitelné. Zjištění zde uvedená ve skutečnosti ukazují opak, že oba tyto koncepty nejen koexistují, ale také se vzájemně posilují a jsou vzájemně závislé. Většina podniků, které přijímají filozofii štihlé výroby, se zapojuje do digitalizace a naopak. Zdá se, že v odvětví zpracovatelského průmyslu se tyto dvě koncepce nepovažují za vzájemně se vylučující nebo protichůdné. Aby bylo dosaženo co největších přínosů, měly by být štihlá výroba a technologie Průmyslu 4.0 využívány souběžně.

Na přechod k vizi Průmyslu 4.0 by se mělo pohlížet jako na postupný proces, v němž by měly být vytvořeny určité předpoklady. Klötzer a Pflaum (2017) tvrdili, že štihlá výroba zůstává základním předpokladem digitalizace výroby. Podobně je ve společnosti Bosch součástí procesu přechodu k Průmyslu 4.0 (Ajaykumar, 2018) zefektivnění procesu jako výsledek štihlé transformace. Až poté se doporučuje tvorba potřebné IT architektury a nasazení nových technologií. Nové technologie mají svůj význam obvykle až po vyřešení hlavních problémů, kterým podniky čelí. Systém štihlé výroby tak může být využíván jako základ, který lze použít pro zavádění nových digitálních technologií do výrobního systému. Není tak vhodné rušit iniciativu štihlé výroby z důvodu sledování příležitostí plynoucích z nově vznikajících digitálních technologií.

Přestože výzkum nezjistil významné přímé finanční přínosy plynoucí z přijetí Průmyslu 4.0 a štihlé výroby, existují obecná doporučení. Podniky by měly nové technologie vnímat jako dlouhodobé investice, které sice nevykazují okamžitou finanční návratnost, ale jsou zásadní pro budoucí konkurenceschopnost. Podniky by měly vyvinout komplexní metriky výkonnosti, které přesahují finanční ukazatele a zahrnují provozní efektivitu, spokojenost zákazníků a inovační schopnosti.

8.5 Omezení výzkumu

Tento výzkum má několik omezení, na která je třeba upozornit. Jedná se zejména o možnost zkreslení odpovědí vycházející z povahy dotazníkových šetření, přesnost a spolehlivost použitých finančních dat, tvorba výběrového souboru (vzorek), nevýhody některých použitých statistických metod a nastavení hodnotících nástrojů.

Pokud jde o výzkum založený na dotazníkovém šetření, je známo několik omezení. Ačkoli byla respondentům zaručena anonymita, v jejich odpovědích se mohou vyskytovat zkreslení. Ta mohou vycházet z odpovědí, kdy může být úroveň implementace hodnocena jako vyšší, než jaká je ve skutečnosti, neboť je sociálně žádoucí. Respondentům nicméně nebylo přislíbena odměna, aby jejich odpovědi vypadaly pozitivněji, než tomu bylo ve skutečnosti. Dotazníkové šetření bylo anonymní, ačkoli respondenti i tak mohli uvést název podniku. Problém může také vycházet z nekonzistence odpovědí z důvodu nedostatečného pochopení otázek, chybné interpretace či nedostatku zájmu a motivace k odpovědím.

Kvalita dotazníkového nástroje vychází z formulace správných otázek, které by neměly být složité, zavádějící či nejednoznačné. Při generalizaci konceptů a jejich interpretaci bylo využito Cronbachovo alpha, které měřilo vnitřní konzistenci měřících škál a spolehlivost položek dotazníku. Přičemž za tradiční spolehlivost se považuje $\alpha \geq 0,70$ (Ventura-León & Peña-Calero, 2020). Spolehlivost položek byla v dotazníku důležitá zejména u částí zaměřené na procesy Průmyslu 4.0 a otázek, které byly předmětem faktorové analýzy, neboť jednotlivé otázky tvoří dohromady vytvořené konstrukty. Tato hranice však není univerzálně použitelná nebo dostatečná ve všech výzkumných kontextech. Je proto vhodné také posouzení mezipoložkové korelační matice (Peterson & Kim, 2013). Významným omezením je samozřejmě také samotný vývoj nových technologií, zejména umělé inteligence, která zaznamenala boom v posledních čtyř letech. Na tuto skutečnost je také v práci upozorněno.

Údaje ve finančních výkazech mohou mít nejrůznější problémy s přesností a spolehlivostí vyplývající z chyb v účetnictví z důvodu nesprávných záznamů, překlepů nebo nepřesnostech. Některé nepřesnosti vyplývají z časových rozdílů, které vznikají zpožděným vykazováním údajů či nesouladu mezi obdobími. Kromě toho mohou být účetní data předmětem manipulace či kreativního účetnictví. Z dostupných dat byly spočteny základní poměrové ukazatele finanční analýzy, které byly následně využity pro hodnocení vlivů štihlé výroby a Průmyslu 4.0 na výkonnost podniků. Výsledky neodhalily významnou závislost mezi těmito proměnnými. Nicméně nebyly dále zkoumány vlivy dalších faktorů, či vliv na jiné výkonnostní ukazatele či provozní výkonnost. To může být otázkou pro budoucí výzkum.

Předpokládá se, že data získaná z dotazníků budou reprezentativní a relevantní pro různé typy podniků. Nicméně podniky nebyly v dotazníkovém šetření rozdělovány, zda mají či nemají zavedenou štihlou výrobu či Průmysl 4.0. Hlavním důvodem byla situace, kdy podnik může využívat některé z metod pro eliminaci plýtvání či moderních technologií. Přesto se nemusí považovat za využívající štihlou výrobu či Průmysl 4.0. Toto subjektivní hodnocení v dotazníku u otázek 2.1 a 3.1 (s odpovědí na škále 1 až 5) úrovně implementace tedy plnilo kontrolní roli.

Ze získaných dotazníků byly vytvořeny dva vzorky, přičemž oba mají podobné složení z hlediska zastoupení podniků dle jejich odvětví a velikosti. Pro rovnoměrné zastoupení podniků ve výzkumném vzorku bylo přihlédnuto k velikosti podniků (přibližně 50 % mikropodniků a malých podniků; 50 % středních a velkých podniků) a odvětví podniků (strojírenská a elektrotechnická výroba 50 %; ostatní podobory zpracovatelského průmyslu 50 %). Složení vzorku zhruba odpovídá tomuto plánovanému rozdělení. Toto rozložení bylo vybráno z důvodu konstrukce hodnotících nástrojů pro úroveň implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Pro přehlednost bylo zastoupení podniků ve vzorku porovnáno se základním souborem, který je dostupný v publikacích a na webu ČSU. Použitý vzorek obsahuje podíl mikro (34,82 %), malých podniků (16,25 %) dohromady 51,07 %, středních (29,98 %) a velkých (18,96 %) podniků. Z hlediska odvětví je to zastoupení podniků ve strojírenství 44,29 %, elektrotechnickém průmyslu 9,87 %, potravinářství 9,87 %, výroby výrobků pro domácnost 12,96 % a ostatní chemická, farmaceutická, plastikářská a nekovová výroba 23,02 % (viz tabulka 2 v metodice).

Pro srovnání ČSU v publikaci „Využívání informačních a komunikačních technologií v podnikatelském sektoru za rok 2022“ (ČSU, 2023b; Tab. 1, str. 75) uvádí strukturu základního souboru za rok 2022 podle velikosti: malé 67,13 %; střední 25,81 %; velké 7,03 % podniky; podle odvětví (po agregaci hodnot jednotlivých podoborů): strojírenský 29 %; elektrotechnický 23,01 %, potravinářský 12,15 %; výroba pro domácnost 27,56 %; ostatní, chemický, plastikářský 12 % průmysl. K sestavení vzorku pomocí software CLAN využívá ČSU vah a jejich kalibraci metodou GREG, kdy směrodatná odchylka ve velikostních skupinách nepřekročila 8 % (dopočtený vzorek pak činil podle velikosti firem: malé 79 %, střední 17 %, velké 4 % podniky). Podobně ČSU uvádí tabulku s počtem subjektů podle NACE dle podoboru C, kde (po agregaci podoborů) strojírenství 29,84 %, elektro 9,48 %, potravinářství 7,04 %, domácí 36,89 %, chemický, plastikový a ostatní 6,39 %.

V práci se vzorkem pracuje primárně s ohledem na odvětví či velikosti podniku, k těm jsou vztaheny jednotlivé výsledky. Samozřejmě mohou být výsledky statistických analýz zkráceny dalšími nezahrnutými faktory (např. délka působení v oboru, typ výroby, a další). Hlavním důvodem je využití Likertových škál u většiny otázek. Tyto škály jsou ve výzkumech často

považovány za ordinální, a proto nebývají jednotlivé otázky vyhodnocovány prostřednictvím průměrů, ale četností jednotlivých odpovědí. Robustnější statistika jako ANOVA je pak používána až na agregované veličiny a konstrukty, které jsou často výsledkem faktorové nebo jiné vícerozměrné metody (Centre of Educational Enhancement and Development, 2024).

Regresní analýza nabízí modelování vztahů mezi proměnnými, čímž poskytuje důležité informace pro rozhodování. Nicméně s touto metodou je spojena také řada nevýhod. Proto byly testovány předpoklady o datech, zejména normalita reziduí, homoskedasticita, velikost vzorku a citlivost na odlehlé hodnoty. Nicméně, tradiční regresní model předpokládá lineární vztah mezi proměnnými, čímž je omezena schopnost zachytit složité nelineární vztahy. V práci byla zjištěna vysoká míra korelace mezi štíhlou výrobou a technologiemi Průmyslu 4.0 (při propočtu indexů). Pokud jsou tyto proměnné silně korelovány mezi sebou (multikolinearita), může to vést k nestabilním odhadům regresních koeficientů a snížení přesnosti regresního modelu. Je tedy důležité zdůraznit, že ačkoli zjištění v této práci prokazují významné vztahy mezi zkoumanými proměnnými, nemusí to nutně znamenat kauzalitu.

Explorativní faktorová analýza (EFA) slouží k identifikaci skrytých struktur v datech, má však také i své nevýhody a omezení. Zejména je citlivá na kvalitu dat, velikost vzorku, multivariační normalitu dat, odlehlé hodnoty či neadekvátní vzorkování mohou vést k nesprávným závěrům. EFA může také poskytnout různé výsledky a interpretaci v závislosti na zvolené rotaci. Matsunaga (2010) uvádí, že by ve faktorové analýze měl být počet latentních faktorů stanoven především na základě teoretických očekávání a konceptualizace cílového konstruktů. V případech, kdy je skutečná povaha konstruktů nejistá nebo se o ní vedou diskuse, je empirické zkoumání prostřednictvím EFA náležitě žádoucí. V takových případech by se výzkumníci neměli spoléhat na Keiserovo-Guttmanovo pravidlo (tj. vlastní číslo $\geq 1,0$). Hayton et al. (2004) uvádějí, že toto pravidlo není optimální pro identifikaci počtu faktorů, protože počet latentních faktorů může nadhodnocovat. Z důvodu lepší interpretovatelnosti výsledků, průběhu sutinového grafu nebylo v habilitační práci toto pravidlo striktně dodrženo. Z tohoto důvodu jsou výsledkem explorativní faktorové analýzy metod štíhlé výroby čtyři latentní faktory (vlastní číslo 0,953), jejich vnitřní konzistence měřená Cronbachovým alfa vykazuje hodnoty vyšší než 0,80. To ukazuje na vhodnou kompozici struktury. Výsledkem faktorové analýzy u technologií Průmyslu 4.0 také čtyři latentní faktory (při vlastním čísle 0,859). V tomto případě je hodnota u dvou latentních faktorů 2 a 3 nižší než 0,70 (avšak vyšší než 0,65). Tyto faktory tak mají diskutabilní úroveň vnitřní konzistence. Nicméně lze konstatovat, že faktor 3 – inteligentní sdílení jako spojení technologií Cloudu, učícího software a umělé inteligence, sdílení dat s dodavateli má své praktické opodstatnění. Faktor 2 – pokročilé výrobní technologie pak dává dohromady

technologie, které jsou v rámci ostatních skupin odlišitelné. Jde o technologie (RFID, 3D tisk, VR, nanotechnologie), které se v podnicích méně využívají a jsou svým způsobem speciální (pokročilejší). Toto přiřazení do konstruktů je proto lépe interpretovatelné a poskytuje snazší konceptualizaci.

Hodnocení úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby bylo založeno na vytvořených indexech PI4 a SV4, které byly sestaveny na základě výsledků faktorové analýzy. Indexy byly zkonstruovány kombinací hodnot jednotlivých faktorů v podnicích, kde faktorové skóre sloužilo jako váhy. Hodnota těchto indexů se pohybuje pro každý podnik v procentním vyjádření od 0 do 100 %. To umožňuje stanovit míru hodnocení úrovně pro vybraný podnik. Tyto ukazatele byly použity k vyhodnocení celkové úrovně implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Index Průmyslu 4.0 (PI4) vychází ze staršího vytvořeného ukazatele VPi4 (Vrchota & Pech, 2019), který také slouží k hodnocení úrovně Průmyslu 4.0 v podnicích. Nicméně PI4 je založen na novějších datech a zahrnuje některé technologie, které VPi4 neobsahoval (zejména 3D tisk a nanotechnologie). Dále byl popis některých technologií rozšířen a aktualizován s ohledem na technologický rozvoj (zejména umělá inteligence, IoT a další). Je třeba konstatovat, že jde čistě o kvantitativní ukazatele, které nepřihlíží k synergickým efektům či propojení jednotlivých metod/technologií. V praxi tak může úroveň 80 % u vybraného podniku znamenat vyšší míru implementace, neboť dané metody/technologie budou úzce provázány. Podobně může i jedna implementovaná metoda/technologie přinést vyšší benefit než implementovaných pět metod/technologií. Součástí dotazníku jsou také dvě otázky na subjektivní hodnocení úrovně implementace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Na toto hodnocení je však nahlíženo spíše jako na kontrolní hodnocení. Nicméně výsledky ukázaly, že tyto hodnoty poměrně silně korelují s vytvořenými indexy.

9 Závěr

Tato habilitační práce se zabývá implementací a integrací štihlé výroby a Průmyslu 4.0 ve zpracovatelském průmyslu. Cílem bylo zhodnotit úroveň implementace a úrovně Průmyslu 4.0 a štihlé výroby v podnicích, propojit tyto koncepce a charakterizovat jejich vzájemný vztah, a posoudit vliv na výkonnost se zaměřením na odvětví zpracovatelského průmyslu. Hlavní cíl byl následně rozdělen na 11 dílčích cílů. Po studiu literatury a přípravy části teoretická východiska byly stanoveny cíle výzkumu, připraveny výzkumné otázky, dotazník a vybrány subjekty ze zpracovatelského průmyslu k dotazníkovému šetření. Data 517 podniků získaná z dotazníkového šetření byla následně analyzována. Kvalitativní výzkum byl doplněn o strukturované rozhovory s manažery 10 podniků.

První oblast výzkumu se vztahovala k Průmyslu 4.0. Dílčí cíl 1 se zaměřoval na charakteristiku využití technologií průmyslu 4.0 v podnicích. Tohoto dílčího cíle bylo dosaženo prostřednictvím dotazníkového šetření. Výsledky ukázaly, že se využívání technologií Průmyslu 4.0 v podnicích vyznačuje opatrným přístupem. Většina manažerů není zcela přesvědčena o výhodách Průmyslu 4.0, což vede k podprůměrné míře implementace. Digitalizace je vedoucí oblastí implementace, zejména v interakcích s dodavateli a zákazníky. Současný trend ukazuje, že zatímco digitalizace postupuje, zavádění pokročilejších technologií Průmyslu 4.0 je stále v počátečních fázích. V rámci dílčího cíle 2 byly jednotlivé technologie Průmyslu 4.0 kategorizovány podle jejich využití v podnicích. Faktorová analýza odhalila čtyři skupiny faktorů: informační infrastruktura (hardware a software nezbytný pro implementaci technologií), pokročilé výrobní technologie (inovace, které přeměňují tradiční továrny na inteligentní), inteligentní sdílení (schopnost podniků využívat data kdekoliv a v reálném čase), mechatronické systémy (integrace mechaniky, elektroniky, software a řídicích systémů do robotů). Dílčí cíl 3 se orientoval na určení míry zavádění a implementace Průmyslu 4.0 a technologií v podnicích. Z výsledků dotazníkového šetření vyplynulo, že se úroveň přijetí v jednotlivých podnicích výrazně liší. Digitalizační procesy mají relativně vyšší míru osvojení, zatímco integrace systémů a pokročilých technologií, jako je umělá inteligence a robotika, je nižší. Prostřednictvím vytvořeného indexu Průmyslu 4.0 (PI4) byla vytvořena metodika pro hodnocení aktuální úrovně zavádění Průmyslu 4.0. Dílčí cíl 4 se zabýval vlivem velikosti a odvětví podniku na implementaci Průmyslu 4.0. Z výsledků statistických analýz vyplynulo, že je vliv obou těchto faktorů signifikantní. Větší podniky investují více do technologií Průmyslu 4.0 a dosahují vyšší úrovně digitalizace, přičemž čelí výzvám v oblasti robotiky. Menší podniky a mikropodniky se potýkají se integrací systémů. Vliv velikosti podniků byl oproti odvětví výraznější. Z hlediska odvětví

výroba elektroniky vykazuje vyšší míru zavádění technologií, zejména v oblasti 3D tisku a robotiky, zatímco výroba spotřebního zboží vykazuje tuto míru nižší.

Druhá oblast výzkumu věnovala pozornost štihlé výrobě. V rámci dílčího cíle 5 byla určena úroveň implementace metod a principů štihlé výroby v podnicích. K dosažení tohoto cíle bylo provedeno dotazníkové šetření. Výsledky naznačily, že úroveň zavádění metod a principů štihlé výroby se v podnicích výrazně liší. Přestože mnoho podniků považuje štihlou výrobu za součást svých strategických cílů, její skutečná implementace je často podprůměrná. Ze sebehodnocení vyplývá, že ačkoli panuje optimismus ohledně budoucího zavádění, značný počet podniků neplánuje v nejbližší době metody štihlé výroby zavést. Zatímco základní principy a metody štihlé výroby, jako je 5S, TQM a ISO 90001, jsou široce přijímány, pokročilejší metody štihlé výroby se uplatňují méně. Podobně podniky vykazují vyšší míru přijetí principů štihlosti, jako je respekt k zaměstnancům, orientace na zákazníka, neustálé zlepšování a angažovanost zaměstnanců. Na druhou stranu je štihlá výroba v současnosti populárnější a v podnicích zpracovatelského průmyslu více zavedena ve srovnání s technologiemi Průmyslu 4.0. Součástí výsledků bylo vytvoření indexu implementace štihlé výroby (SV4), který umožňuje posoudit její aktuální úroveň v podnicích. Dílčí cíl 6 se soustředil na kategorizaci metod štihlé výroby podle jejich aplikace v podnicích pomocí explorativní faktorové analýzy. Metody štihlé výroby lze členit do čtyř skupin: řízení kvality (metody zaměřené na zlepšování a udržování kvality procesů včetně TQM), optimalizace výroby (metody zvyšující efektivitu, rychlost a výkonnost výrobních procesů), řízení bezpečnosti a rizik (metody orientované na přesnost a eliminaci chyb), pružné a statistické řízení procesů (metody zahrnující využití statistických nástrojů a Six Sigma k minimalizaci variability a chyb). Dílčím cílem 7 bylo zhodnotit vliv velikosti a odvětví podniku na implementaci štihlé výroby. Z výsledků statistických analýz vyplývá, že vliv velikosti a odvětví podniku je významný. Větší podniky častěji zavádějí metody štihlé výroby, zaměřují se na vizualizaci procesů, standardizaci a systémy řízení kvality, jako je ISO 9001, zatímco menší podniky a mikropodniky kladou důraz na úctu k zaměstnancům a osobní odpovědnost. Úroveň implementace se v jednotlivých velikostech podniků výrazně liší. Vliv odvětví je méně výrazný. Nicméně odvětví výroby elektroniky vykazuje vyšší míru zavádění pokročilých štihlých metod ve srovnání s technologicky méně náročnými odvětvími, jako je výroba spotřebního zboží.

Poslední oblast výzkumu se týkala konceptu Lean 4.0 a vztahu k finanční výkonnosti. Dílčím cílem 8 bylo hodnocení vztahu mezi metodami štihlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0 v podnicích. Tohoto cíle bylo dosaženo provedením korespondenční, korelační a regresní analýzy. Uvedeny byly příklady a možné kombinace metod a technologií, které se vzájemně doplňují. Z výsledků vyplývá, že tradiční metody štihlé výroby, jako jsou Gemba walk, mapování

hodnotových toků (VSM), Kaizen, 5S, Kanban, TPM a JIT, jsou stále více podporovány a rozšiřovány moderními technologiemi, jako jsou M2M, Internet věcí, Cloud Computing a chytré senzory. I metoda Six Sigma je silně spojena s moderními technologiemi, což naznačuje integrační přístup, kdy se štihlá výroba a Průmysl 4.0 vzájemně doplňují, aby optimalizovaly podnikové procesy. Při plnění dílčího cíle 9 byla dále určena síla vztahu mezi úrovní implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0. K tomu byla využita korelační analýza a vytvořené indexy PI4 a SV4. Analýza ukázala na významnou pozitivní korelaci, což naznačuje, že podniky s vyšší úrovní implementace metod štihlé výroby mají tendenci mít vyšší úroveň implementace technologií Průmyslu 4.0. Korelační koeficienty potvrdily, že zavádění technologií Průmyslu 4.0 může zvýšit účinnost metod štihlé výroby. V rámci regresní analýzy bylo zjištěno, že modely zahrnující faktory odvětví a velikosti překonávaly základní lineární modely. Vyšší spolehlivost pak vykazoval model zdůrazňující vliv indexu PI4 na index SV4. Tato zjištění poskytují důkazy o převažujícím vlivu technologií na metody štihlé výroby. Dále byl posuzován při plnění cíle 10 vliv úrovně implementace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby na finanční výkonnost. K tomu bylo využito korelační analýzy a statistických testů. Výsledky však nevykazovaly žádný statisticky významný vztah mezi úrovní implementace Průmyslu 4.0 (PI4), štihlé výroby (SV4) a ukazateli finanční výkonnosti. To naznačuje, že přínosy štihlé výroby a Průmyslu 4.0 se mohou projevit spíše v provozních ukazatelích než v přímé finanční výkonnosti. Absence významných rozdílů ve finanční výkonnosti mezi různými skupinami podniků uspořádanými podle míry implementace Průmyslu 4.0 a štihlé výroby toto zjištění dále potvrdila. Nakonec byl dílčí cíl 11 zaměřen na praktické využití technologií Průmyslu 4.0 a metod štihlé výroby v podnicích. Prostřednictvím strukturovaných rozhovorů v deseti podnicích bylo zjištěno, že manažeři vnímají pro dlouhodobé přežití a konkurenceschopnost automatizaci a implementaci umělé inteligence. Podniky zavádějí technologie pro sběr a analýzu dat, robotizaci, 3D tisk a systémy ERP jako je SAP. Tyto technologie přinášejí automatizaci v rozhodování a optimalizaci výrobních procesů, zvyšují efektivitu a přesnost, a přispívají k eliminaci plýtvání. Současně se podniky soustředí na školení a rekvalifikaci zaměstnanců, aby zajistily hladký přechod na nové technologie. Metody štihlé výroby, jako jsou Kanban, Kaizen a Just-in-Time, hrají důležitou roli v optimalizaci procesů a zlepšování kvality. Úspěšnost těchto technologií a metod je hodnocena prostřednictvím KPI, které zahrnují efektivitu, produktivitu a spokojenost zákazníků.

Shrnutí přínosů práce

Mezi teoretické přínosy práce patří empirické potvrzení synergického vztahu mezi štihlou výrobou a technologiemi Průmyslu 4.0, podporující teorii sociotechnické integrace. Bylo zjištěno, že oba koncepty se spíše doplňují a vytvářejí konkurenční výhodu při vysoké míře jejich implementace. Tato synergie je pak vyjádřena prostřednictvím sjednocujícího koncepčního

modelu Lean 4.0, který shrnuje všechny důležité vazby štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Práce přináší vhled do vztahu mezi štihlou výrobou a Průmyslem 4.0 v České republice. Studie zdůraznila význam dynamických schopností pro neustálé přizpůsobování a efektivní integraci nových technologií. Výsledky ukazují, že k plnému přijetí filozofie štihlé výroby je důležité také přijetí štihlých principů. Ukázalo se, že větší podniky vykazují vyšší úroveň zavádění technologií, což souvisí s teorií úspor z rozsahu a institucionální teorií. Tato zjištění podporují potřebu přizpůsobených strategií pro malé a střední podniky a význam kontextových faktorů a strategického sladění. Závěry habilitační práce popisují složitý vztah mezi velikostí podniku, strategickými prioritami a zaváděním pokročilých výrobních technologií a štihlých postupů. Naznačují potřebu diferencovaného pochopení faktorů, které jsou hnací silou úspěšné implementace, a teorií, jimiž se může řídit budoucí výzkum v této oblasti.

Z hlediska praktických přínosů habilitační práce identifikovala překážky a strategické váhání manažerů při zavádění štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Z tohoto důvodu bylo doporučeno podnikům vzdělávání v oblasti nových technologií. Podniky by měly zlepšovat IT infrastrukturu pro podporu automatizace a digitální interakce. Štihlá výroba je široce přijímána a její zavádění by mělo zahrnovat v prvním kroku standardizaci a vizualizaci procesů, stejně jako podporu kultury neustálého zlepšování. Pokrok v oblasti umělé inteligence naznačuje, že podniky by měly investovat do AI pro zvýšení konkurenční výhody. IT technologie mají vyšší hodnotu, pokud podporují organizační schopnosti a podnikové procesy, a kombinace štihlé výroby s digitálními technologiemi přináší větší provozní výkonnost. Přejít na Průmysl 4.0 by měl být postupný a začínat implementací štihlé výroby, což je předpokladem pro efektivní digitalizaci. Podniky by měly vnímat nové technologie jako dlouhodobé investice a měly by vyvinout metriky pro měření výkonnosti. Osobní přínos pro vědecké poznání spatřuji ve vytvoření nástrojů pro vlastní hodnocení úrovně štihlé výroby a Průmyslu 4.0. Praktické využití si práce najde také v pedagogické činnosti, zejména rozšíření předmětů Průmyslu 4.0 a Lean management o nové trendy, závěry vyplývající z výzkumu a sjednocující koncepční model Lean 4.0.

Budoucnost štihlé výroby a Průmyslu 4.0 leží na průsečíku obou filozofií a výzev vyplývajících z požadavků udržitelnosti. Zatímco Průmysl 4.0 se zaměřuje na zvyšování produktivity prostřednictvím automatizace, umělé inteligence a optimalizace založené na datech, oblast Lean 4.0 bude ovlivněna trendy, které souvisejí s prosazujícím se konceptem Průmyslu 5.0. To znamená zaměření na člověka a ekologickou udržitelnost, které změní způsob, jakým se štihlá výroba uplatňuje. V příštích 20 až 30 letech se principy Lean 4.0 pravděpodobně posunou od upřednostňování nákladů a efektivity ke snižování uhlíkové stopy, což bude dáno politikami, jako je mechanismus EU pro úpravu uhlíkových hranic (CBAM). Tato transformace může vést

k lokalizovaným výrobním strategiím, protože globální dodavatelské řetězce budou restrukturalizovány, aby splňovaly environmentální předpisy, zejména v Evropě. Navíc s tím, jak budou výrobky díky těmto udržitelným postupům dražší, budou banky a finanční instituce hrát zásadní roli v podpoře průmyslových odvětví. Budoucnost Lean 4.0 bude tedy zahrnovat nejen technologické inovace, ale také orientaci ve složitém ekonomickém a politickém prostředí, které je utvářeno environmentálními obavami a dynamikou mezinárodního obchodu.

Doporučení

Z habilitační práce vyplývá několik doporučení:

Identifikace bariér a překážek. Pro úspěšnou implementaci Lean 4.0 je důležité identifikovat a odstranit klíčové překážky, které brání přijetí technologií a metod. To zahrnuje pochopení konkrétních problémů, kterým podniky čelí, a jejich účinné řešení. Podpora synergického přístupu k zavádění štihlé výroby a Průmyslu 4.0 navíc může využít jejich vzájemných výhod a vytvořit robustnější a integrovanější systém.

Informovanost a školení. Podniky by měly investovat do komplexního školení a programů zvyšujících povědomí o Lean 4.0, aby jej lépe pochopily. Tyto programy by měly být flexibilní a přizpůsobené specifickým potřebám malých a středních podniků. Programy by měly zajistit, aby rozvíjely znalosti potřebné k efektivnímu zavádění pokročilých technologií a štihlých metod.

Platformy pro spolupráci a sdílení znalostí Lean 4.0. Zvýšení podpory pokročilých metod štihlé výroby, jako jsou Kanban a Jidoka, může výrazně zvýšit produktivitu. Podporou zavádění těchto pokročilých metod mohou podniky zefektivnit svůj provoz a zvýšit celkovou efektivitu. Vytvoření platform pro spolupráci mezi podniky může usnadnit sdílení znalostí a přístup k odborným znalostem, což bude přínosem pro menší společnosti při zavádění Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Podpora spolupráce napříč různými odvětvími může navíc vést ke sdílení osvědčených postupů, inovativních řešení a synergií metod štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0, což dále zvýší efektivitu těchto technologií.

Strategické plánování a analýza. Strategie implementace by měly být přizpůsobeny specifickým potřebám a charakteristikám každého podniku, včetně jeho velikosti a odvětví. Vysoce technologicky vyspělá odvětví, jako je elektrotechnika a strojírenství, vyžadují cílenou podporu pro integraci pokročilých technologií a metod štihlé výroby. Naopak méně vyspělá odvětví, jako je výroba domácího zboží, potřebují iniciativy na zvýšení povědomí o výhodách Průmyslu 4.0 a štihlé výroby. Využití pokročilých analytických metod může pomoci identifikovat a pochopit komplexní vztahy mezi metodami štihlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0, a tím optimalizovat proces implementace.

10 Seznam použitých zdrojů

- Abdul Ghafar, A. A., & Mohd Razali, N. (2022). The Significant of Lean Practice on the Sustainability Performance in Automotive Manufacturing Industry. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 6(2), 83–89. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v6i2.8562>
- Abreu-Ledón, R., Luján-García, D., Garrido-Vega, P., & Escobar-Pérez, B. (2018). A meta-analytic study of the impact of Lean Production on business performance. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS*, 200, 83–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.03.015>
- Agarwal, V., Kaul, A., Anchan, V., & Rahul, M. (2024). A Grey-DEMATEL Approach for Analyzing the Challenges for Lean 4.0 in SMEs. In V. K E K, S. Rajak, V. Kumar, R. S. Mor, & A. Assayed (Ed.), *Industry 4.0 Technologies: Sustainable Manufacturing Supply Chains* (s. 61–75). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-4894-9_5
- Aghenta, L. O., & Iqbal, M. T. (2019). Low-Cost, Open Source IoT-Based SCADA System Design Using Thingier.IO and ESP32 Thing. *Electronics*, 8(8), 822. <https://doi.org/10.3390/electronics8080822>
- Ahmed, A., Page, J., & Olsen, J. (2020). Enhancing Six Sigma methodology using simulation techniques: Literature review and implications for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, 11(1), 211–232. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2018-0033>
- Ajaykumar, A. (2018). *Unleashing the Potential of Industry 4.0 in Emerging Markets*. ARC Advisory Group. <https://www.arcweb.com/blog/unleashing-potential-industry-40-emerging-markets>
- Akers, A. P. (2014). *2 second Lean. How to Grow People and Build a Lean Culture*. FastCap Press.
- Akmal, A., Podgorodnichenko, N., Greatbanks, R., & Zhang, J. A. (2022). Does organizational readiness matter in lean thinking practices? An agency perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(11), 1760–1792. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-05-2021-0331>
- Alboukadel, K. (2017). *Machine Learning Essentials: Practical guide in R*. CreateSpace.
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(3), 899–919. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2019.01.006>
- Aleya, L., & Abdel-Daim, M. M. (2020). Advances in nanotechnology, nanopollution, nanotoxicology, and nanomedicine. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 18963–18965. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08800-6>
- Ali, K., & Johl, S. K. (2023). Driving forces for industry 4.0 readiness, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities: Does firm size matter? *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(5), 838–871. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2022-0254>
- Alireza, A., Ismail, Y., & Hojjati, H. M. S. (2011). A study on total quality management and lean manufacturing: Through lean thinking approach. *World Applied Sciences Journal*, 12(9), 1585–1596.
- Alkhoraif, A., Rashid, H., & McLaughlin, P. (2019). Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review. *Operations Research Perspectives*, 6, 100089. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100089>
- AlManei, M., Salonitis, K., & Xu, Y. (2017). Lean Implementation Frameworks: The Challenges for SMEs. *Procedia CIRP*, 63, 750–755. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.170>
- Almasi, M. (2023). Deep Learning and Neural Networks: Methods and Applications. In T. Shanmugam & S. A. Bansal (Ed.), *Cutting-Edge Technologies in Innovations in*

- Computer Science and Engineering* (1. vyd.). San International Scientific Publications. <https://doi.org/10.59646/csebookc8/004>
- Alsadi, J., Antony, J., Mezher, T., Jayaraman, R., & Maalouf, M. (2023). Lean and Industry 4.0: A bibliometric analysis, opportunities for future research directions. *Quality Management Journal*, 30(1), 41–63. <https://doi.org/10.1080/10686967.2022.2144785>
- Altin, I., & Sipahioglu, A. (2021). Simulated Annealing Algorithm for In-Plant Milk-Run System. In D. A. Rossit, F. Tohmé, & G. Mejía Delgadillo (Ed.), *Production Research* (Roč. 1407, s. 187–201). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76307-7_15
- Alves, A. C., Franz-Josef Kahlen, S Flumerfelt, & A-B Siriban-Manalang. (2014). *Lean Production Multidisciplinary: From Operations To Education*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1524.0005>
- Amoozad Mahdiraji, H., Arabzadeh, M., & Ghaffari, R. (2012). Supply chain quality management. *Management Science Letters*, 2(7), 2463–2472. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2012.07.020>
- Anand, G., & Kodali, R. (2010). Analysis of lean manufacturing frameworks. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.1142/S0219686710001776>
- Anvari, A., Zulkifli, N., Yusuff, R. M., Hojjat, S. M. H., & Ismail, Y. A. (2011). A proposed dynamic model for a lean roadmap. *African Journal of Business Management*, 5(16), 6727–6737.
- Argilovski, A., Vasileska, E., Tuteski, O., Kusigerski, B., Jovanoski, B., & Tomov, M. (2024). Bridging the Gap: Qualitative Comparative Analysis of Industry 4.0 and Industry 5.0. *Mechanical Engineering-Scientific Journal*, 42(1), 61–66. <https://doi.org/10.55302/MESJ24421061a>
- Arias-Castro, E. (2022). *Principles of Statistical Analysis: Learning from Randomized Experiments* (1. vyd.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108779197>
- Arif, D. A., & Sofyan, H. (2019). Efektivitas program Pembelajaran Sekolah Sub T-TEP Toyota (Toyota-Technical Education Program) Di SMK Negeri 2 Pengasih. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 1(2), 45–54. <https://doi.org/10.21831/jpvo.v1i2.24557>
- Ashton, K. (2009). That ‘Internet of things’ thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
- Asmae, M., En-Nadi, A., & Herrou, B. (2020). The integration of Lean Manufacturing in Supply Chain: Principles, wastes and tools. *2020 IEEE 13th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management (LOGISTIQUA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/LOGISTIQUA49782.2020.9353896>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Banu Rekha, B., Charushree, S., Divyadharshan, P., Harish Babu, K., & Vasunthra, V. (2023). A Novel Approach in Web Based 3D Virtualization For Healthcare. *2023 International Conference on Bio Signals, Images, and Instrumentation (ICBSII)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICBSII58188.2023.10181074>
- Barcia, K. F., Garcia-Castro, L., & Abad-Moran, J. (2022). Lean Six Sigma Impact Analysis on Sustainability Using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM): A Literature Review. *Sustainability*, 14(5), 5. <https://doi.org/10.3390/su14053051>
- Barrett, M., & Goodell, J. (2022). Lean-Agile Development Tools. In J. Goodell & J. Kolodner, *Learning Engineering Toolkit* (1. vyd., s. 269–278). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003276579-16>
- Bartlett, M. S. (1954). A Note on the Multiplying Factors for Various Chi Square Approximations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 16, 296–298.

- Bauer, W., Schlund, S., Hornung, T., & Schuler, S. (2018). Digitalization of Industrial Value Chains? A Review and Evaluation of Existing Use Cases of Industry 4.0 in Germany. *Logforum*, 14(3), 331–340. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2018.288>
- Belhadi, A., Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Zkik, K., M., D. K., & Touriki, F. E. (2023). A Big Data Analytics-driven Lean Six Sigma framework for enhanced green performance: A case study of chemical company. *Production Planning & Control*, 34(9), 767–790. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1964868>
- Benamer, I., Yahiouche, A., & Ghenai, A. (2021). Deep Learning Environment Perception and Self-tracking for Autonomous and Connected Vehicles. In É. Renault, S. Boumerdassi, & P. Mühlethaler (Ed.), *Machine Learning for Networking* (Roč. 12629, s. 305–319). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70866-5_20
- Bentaha, M. L., Battaia, O., & Dolgui, A. (2015). An exact solution approach for disassembly line balancing problem under uncertainty of the task processing times. *International Journal of Production Research*, 53(6), 1807–1818. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.961212>
- Bhamu, J., & Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: Literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 7. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315>
- Bhutta, M. K. S., Egilmez, G., Chatha, K. A., & Huq, F. (2017). Survey of Lean management practices in Pakistani industrial sectors. *International Journal of Services and Operations Management*, 28(3), 309. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2017.087287>
- Biard, G., & Nour, G. A. (2021). Industry 4.0 Contribution to Asset Management in the Electrical Industry. *Sustainability*, 13(18), 10369. <https://doi.org/10.3390/su131810369>
- Bicheno, J. (2008). *The Lean Toolbox for Service Systems*. Picsie Books.
- Bicheno, J., & Holweg, M. (2009). *The Lean Toolbox. The Essential Guide to Lean Transformation*. PICSIE Books.
- Biňasová, V., Bubeník, P., Rakyta, M., Kasajová, M., & Štaffenová, K. (2023). Industry 4.0 in manufacturing enterprises. *Technológ*, 15(2), 83–86. <https://doi.org/10.26552/tech.C.2023.2.14>
- Bittencourt, V. L., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Lean Thinking contributions for Industry 4.0: A Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 904–909. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.310>
- Bittencourt, V. L., Saldanha, F., Alves, A. C., & Leão, C. P. (2019). Contributions of Lean Thinking Principles to Foster Industry 4.0 and Sustainable Development Goals. In A. C. Alves, F.-J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. B. Siriban-Manalang (Ed.), *Lean Engineering for Global Development* (s. 129–159). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13515-7_5
- Black, Dr. J. T. (2023). Lean manufacturing system and cell design. *Proceeding of Flexible Automation and Integrated Manufacturing 1998*, 167–182. <https://doi.org/10.1615/FAIM1998.150>
- Bláha, Z. S., & Jindřichovská, I. (2006). *Jak posoudit finanční zdraví firmy*. Management Press.
- Bonamigo, A., & Souza, W. D. S. (2023, říjen 27). *LEAN 4.0: AN INTEGRATED ANALYSIS OF LEAN MANUFACTURING AND ADVANCED MANUFACTURING*. ENEGEP 2023 - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, FORTALEZA/CE - BRASIL. https://doi.org/10.14488/ENEGEP2023_TN_ST_399_1955_45625
- Borowski, P. F. (2021). Innovative Processes in Managing an Enterprise from the Energy and Food Sector in the Era of Industry 4.0. *Processes*, 9(2), 381. <https://doi.org/10.3390/pr9020381>
- Boudella, M. E. A., Sahin, E., & Dallery, Y. (2018). Kitting optimisation in Just-in-Time mixed-model assembly lines: Assigning parts to pickers in a hybrid robot–operator kitting system. *International Journal of Production Research*, 56(16), 5475–5494. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1418988>

- Bozgeyikli, R., & Bozgeyikli, L. (2022). *Virtual Reality: Recent Advancements, Applications and Challenges* (1. vyd.). River Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781003340003>
- Brady, D. A., Tzortzopoulos, P., Rooke, J., Formoso, C. T., & Tezel, A. (2018). Improving transparency in construction management: A visual planning and control model. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(10), 1277–1297. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2017-0122>
- Braglia, M., Paco, F. D., & Marrazzini, L. (2023). *A new Lean tool for efficiency evaluation in SMED projects*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2463269/v1>
- Bratovčić, A. (2022). Smart and sustainable food processing sector by integration of the concepts of the technologies behind Industry 4.0. *Aplikacija industrije 4.0 – prilika za novi iskorak u svim industrijskim granama / Application of Industry 4.0 – an opportunity for a new step forward in all industrial branches*, 146–163. <https://doi.org/10.5644/PI2022.202.28>
- Brennen, S. J., & Kreiss, D. (2016). The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy. In K. B. Jensen, E. W. Rothenbuhler, J. D. Pooley, & R. T. Craig (Ed.), *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*. Wiley.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2015). *Druhý věk strojů*. Jan Melvil Publishing.
- Buer, S., Semini, M., Strandhagen, J., & Sgarbossa, F. (2021). The complementary effect of lean manufacturing and digitalisation on operational performance. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 59(7), 7. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1790684>
- Buer, S., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924–2940. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945>
- Burian, P. (2014). *Internet inteligentnich aktivit*. Grada Publishing.
- Camuffo, A., & Micelli, S. (1997). Mediterranean Lean Production Supervisors, Teamwork and New Forms of Work Organization in Three European Car Makers. *Journal of Management & Governance*, 1(1), 103–122. <https://doi.org/10.1023/A:1009957500014>
- Canel, C., Rosen, D., & Anderson, E. A. (2000). Just-in-time is not just for manufacturing: A service perspective. *Industrial Management & Data Systems*, 100(2), 51–60. <https://doi.org/10.1108/02635570010286104>
- Carranza Inga, I., Villayzan Palomino, E., Altamirano, E., & Del Carpio, C. (2021). Improvement Model Based on Four Lean Manufacturing Techniques to Increase Productivity in a Metalworking Company. *2021 The 2nd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, 95–99. <https://doi.org/10.1145/3447432.3447442>
- Cattaneo, L., Rossi, M., Negri, E., Powell, D., & Terzi, S. (2017). Lean Thinking in the Digital Era. In J. Ríos, A. Bernard, A. Bouras, & S. Foufou (Ed.), *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future* (Roč. 517, s. 371–381). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-72905-3_33
- Centre of Educational Enhancement and Development. (2024). *Analysing Likert Scale/Type data*. <https://www.st-andrews.ac.uk/media/ceed/students/mathssupport/Likert.pdf>
- Ciano, M., Dallasega, P., Orzes, G., & Rossi, T. (2021). One-to-one relationships between Industry 4.0 technologies and Lean Production techniques: A multiple case study. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 59(5), 5. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1821119>
- Cifone, F. D., Hoberg, K., Holweg, M., & Staudacher, A. P. (2021). Lean 4.0: How can digital technologies support lean practices? *International Journal of Production Economics*, 241, 108258. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108258>
- Cirani, S., Picone, M., Veltri, L., & Ferrari, G. (2018). *Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards*. Hoboken.

- Coetzee, R., Van Dyk, L., & Van Der Merwe, K. R. (2019). Towards addressing respect for people during lean implementation. *International Journal of Lean Six Sigma*, 10(3), 830–854. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-07-2017-0081>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Cole, N. (1995). How employee empowerment improves manufacturing performance. *Academy of Management Perspectives*, 9(1), 80–80. <https://doi.org/10.5465/ame.1995.9503133511>
- Cooksey, R. W. (2020). *Illustrating Statistical Procedures: Finding Meaning in Quantitative Data*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-2537-7>
- Cozmiuc, D. C., & Pettinger, R. (2021). Consultants' Tools to Manage Digital Transformation: The Case of PWC, Siemens, and Oracle. *Journal of Cases on Information Technology*, 23(4), 1–29. <https://doi.org/10.4018/JCIT.20211001.0a7>
- Červený, L., Sloup, R., & Červená, T. (2022). The Potential of Smart Factories and Innovative Industry 4.0 Technologies—A Case Study of Different-Sized Companies in the Furniture Industry in Central Europe. *Forests*, 13(12), 2171. <https://doi.org/10.3390/f13122171>
- Čihák, M. (2014). *Statistické zpracování dotazníků v SPSS*. Univerzita Hradec Králové, Pedagogická fakulta.
- ČSU. (2008). *Klasifikace ekonomických činností (CZ-NACE) platná od 1. 1. 2008*. <https://www.czso.cz/csu/czso/klasifikace-ekonomickyh-cinnosti-cz-nace-platna-od-1-1-2008>
- ČSU. (2019). *High-tech sektor*. https://www.czso.cz/csu/czso/high_tech_sektor
- ČSU. (2022). *Informační společnost v číslech*. ČSU, Odbor statistik rozvoje společnosti. <https://www.czso.cz/csu/czso/informacni-spolecnost-v-cislech-2022>
- ČSU. (2023a). *Průmyslové Česko na mapě Evropy—Průmyslová výroba v roce 2021 vytvářela 28 % hrubé přidané hodnoty ekonomiky Česka a 20 % ekonomiky zemí EU27*. Kurzy.cz. <https://zpravy.kurzy.cz/751727-prumyslove-cesko-na-mape-evropy-prumyslova-vyroba-v-roce-2021-vytvarela-28--hrube-pridane/>
- ČSU. (2023b). *Využívání informačních a komunikačních technologií v podnikatelském sektoru za rok 2022*. ČSU, Odbor statistik rozvoje společnosti. <https://www.czso.cz/csu/czso/vyuzivani-informacnich-a-komunikacnich-technologii-v-podnikatelskem-sektoru-2022>
- ČSU. (2024). *Vývoj ekonomiky České republiky (číslo publikace 320193-24)*. Český statistický úřad. <https://csu.gov.cz/produkty/vyvoj-ekonomiky-ceske-republiky-1-ctvrtleti-2024>
- ČTK. (2024). *Podmínky v průmyslu se v červnu zhoršily, oslabení trvá 25 měsíců*. České noviny. <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/2538675>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Danut-Sorin, I., Opran, C., & Lamanna, G. (2020). Lean Manufacturing 4.0 of Polymeric Injection Molding Products. *National University of Science & Technology POLITEHNICA Bucharest*, 389(1). <https://doi.org/10.1002/masy.201900109>
- Davies, C., & Greenough, R. M. (2001). *Maintenance survey—Identification of lean thinking within maintenance*. 37–42.
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 1288–1295. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.256>
- De Carvalho, C. P., Machado, M. A. G., De Medeiros, F. A. M., Gomes, F. M., Andrade, H. D. S., & Sampaio, N. A. D. S. (2023). Comparison of financial results of companies with different production systems: A case study of lean manufacturing and industry 4.0.

- Revista de Gestão e Secretariado*, 14(12), 21340–21357.
<https://doi.org/10.7769/gesec.v14i12.3254>
- De Giovanni, P., & Cariola, A. (2021). Process innovation through industry 4.0 technologies, lean practices and green supply chains. *Research in Transportation Economics*, 90, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100869>
- Delgado-Algarra, E. J. (2022). Virtual Reality, 3D Recreations and 3D Printing in Social Sciences Education: Creating and Interacting With Virtual Worlds. In I. R. Management Association (Ed.), *Research Anthology on Makerspaces and 3D Printing in Education* (s. 189–208). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6295-9.ch010>
- Deloitte. (2024). *2024 manufacturing industry outlook*. Deloitte.
<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing/manufacturing-industry-outlook.html>
- Demir, S., & Paksoy, T. (2023). Just-in-Time and Lean Management. In T. Paksoy & M. Deveci, *Smart and Sustainable Operations and Supply Chain Management in Industry 4.0* (1. vyd., s. 223–236). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003180302-11>
- Dennis, P. (2002). *Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System*. Productivity Press.
- Dennis, P., & Shook, J. (2007). *Lean Production Simplified*. Routledge.
- DeSanctis, I., Ordieres Mere, J. B., Bevilacqua, M., & Ciarapica, F. E. (2018). The moderating effects of corporate and national factors on lean projects barriers: A cross-national study. *Production Planning & Control*, 29(12), 972–991.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1494345>
- Dhiravidamani, P., Ramkumar, A., Ponnambalam, S., & Subramanian, N. (2018). Implementation of lean manufacturing and lean audit system in an auto parts manufacturing industry—An industrial case study. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING*, 31(6), 6.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2017.1356473>
- Dilber, B. (2021). *R Applications—Part 4: Nonlinear Regression*. Medium.
<https://medium.com/datasciencearth/r-applications-part-4-nonlinear-regression-7b6d7bcae79>
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147. <https://doi.org/10.2307/2095101>
- DKE. (2023). *German Standardization Roadmap Industrie 4.0. Version 5*. Berlin: DIN e. V.
<https://www.sci40.com/english/german-standardisation-roadmap/>
- Dolák, R., & Suchánek, P. (2015). Lean Company Research in Manufacturing Companies in the Czech Republic. *PROCEEDINGS OF THE 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE: LIBEREC ECONOMIC FORUM 2015*, 36–46.
<https://dSPACE.tul.cz/bitstreams/9a7268a2-cb96-4b2d-a6e6-a3c6af10a904/download>
- Dolák, R., & Wolf, P. (2012). Using ICT for Lean Company Concept Implementation. In D. Vymetal & P. Suchanek (Ed.), *Silesian University Opava* (WOS:000393447800010; s. 75–82).
- Dora, M., Van Goubergen, D., Kumar, M., Molnar, A., & Gellynck, X. (2013). Application of lean practices in small and medium-sized food enterprises. *British Food Journal*, 116(1), 125–141. <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2012-0107>
- Doran, E. J. (2023). Kaizen—A Teamwork Approach to Continuous Improvement. *Proceeding of Flexible Automation and Integrated Manufacturing 1996*, 670–679.
<https://doi.org/10.1615/FAIM1996.700>
- Dowlathshahi, S., & Taham, F. (2009). The development of a conceptual framework for Just-In-Time implementation in SMEs. *Production Planning & Control*, 20(7), 611–621.
<https://doi.org/10.1080/09537280903034305>
- Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis*. Wiley.

- Dubrova, T. A., Ermolina, A. A., & Esenin, M. A. (2019). Innovative Activities of SMEs in Russia: Constraints and Growth Factors. *International Journal of Economics and Business Administration*, VII(Special Issue 2), 26–40. <https://doi.org/10.35808/ijeba/368>
- Efimova, A., & Briš, P. (2022). The Implementation of the Conjunction of Lean Six Sigma and Industry 4.0: A Case Study in the Czech Republic. *Management Systems in Production Engineering*, 30(3), 223–229. <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0028>
- Eilers, P. H. C., & Marx, B. D. (1996). Flexible smoothing with B-splines and penalties. *Statistical Science*, 11(2). <https://doi.org/10.1214/ss/1038425655>
- Emery, F. E., & Trist, E. L. (1960). Socio-technical systems. In C. W. Churchman & M. Verhulst (Ed.), *Management science, models and techniques* (s. 83–97). Pergamon.
- Emiliani, B. (2007). *Real Lean: Understanding the Lean Management System*. The Center for Lean Business Management.
- Enke, J., Glass, R., Kreß, A., Hambach, J., Tisch, M., & Metternich, J. (2018). Industrie 4.0 – Competencies for a modern production system. *Procedia Manufacturing*, 23, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.028>
- Enkel, J., Meister, M., Metternich, J., Genne, M., & Brosche, J. (2017). Der weg zur lean quality 4.0. *ZWF: Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 112(9), 612–615.
- Evropská komise. (2003). *Concerning the Definition of Micro, Small and Medium-Sized Enterprises; Text with EEA Relevance, Notified Under Document Number C (2003) 1422*. Brusel, Belgie.
- Evropská komise. (2023). *Digitalisation in Europe – 2023 edition*. doi: 10.2785/442069. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2023>
- Farias, L. M. S., Santos, L. C., Gohr, C. F., Oliveira, L. C. D., & Amorim, M. H. D. S. (2019). Criteria and practices for lean and green performance assessment: Systematic review and conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 218, 746–762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.042>
- Farokhi, Dr. M., & Seshagiri Rao, D. V. (2016). A Study on Lean Manufacturing in India. *International Journal Of Mechanical Engineering And Information Technology*, 04(11). <https://doi.org/10.18535/ijmeit/v4i11.01>
- Fenner, S., & Netland, T. (2023). Lean service: A contingency perspective. *Operations Management Research*, 16(3), 1271–1289. <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00350-7>
- Ferenhof, H. A. (2020). Toyota Kata Approach—A Way to Mitigate Knowledge Risks in Start-Ups. In S. Durst & T. Henschel (Ed.), *Knowledge Risk Management* (s. 33–47). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35121-2_3
- Fišer, M. (2023). *České firmy zaostávají ve využívání umělé inteligence*. Novinky.cz. <https://www.novinky.cz/clanek/internet-a-pc-software-ceske-firmy-zaostavaji-ve-vyuzivani-umele-inteligence-40448572>
- Florescu, A., & Barabas, S. (2022). Development Trends of Production Systems through the Integration of Lean Management and Industry 4.0. *Applied Sciences*, 12(10), 4885. <https://doi.org/10.3390/app12104885>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Gallo, T., Cagnetti, C., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2021). Industry 4.0 tools in lean production: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 180, 394–403. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.255>
- Galsworth, G. D. (2005). *Visual Systems: Harnessing the Power of Visual Workplace*. Visual-Lean Enterprise Press.
- Gantz, J., & Reinsel, D. (2011). Extracting value from chaos. *IDC IView*, 1142, 1–12.
- Gdoura, R., Houssin, R., Coulibaly, A., & Dhouib, D. (2024). Towards the integration of Lean 4.0 from the design phase of production systems: A new framework. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 15(3), 230–258. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2024.137311>

- Ghaithan, A., Khan, M., Mohammed, A., & Hadidi, L. (2021). Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia. *Sustainability*, *13*(20), 11252. <https://doi.org/10.3390/su132011252>
- Ghiro, L., Restuccia, F., D'Oro, S., Basagni, S., Melodia, T., Maccari, L., & Cigno, R. L. (2021). A Blockchain Definition to Clarify its Role for the Internet of Things. *2021 19th Mediterranean Communication and Computer Networking Conference (MedComNet)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/MedComNet52149.2021.9501280>
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Tseng, M.-L., Grybauskas, A., Stefanini, A., & Amran, A. (2023). Behind the definition of Industry 5.0: A systematic review of technologies, principles, components, and values. *Journal of Industrial and Production Engineering*, *40*(6), 432–447. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2216701>
- Ghouat, M., Haddout, A., & Benhadou, M. (2021). Impact of Industry 4.0 Concept on the Levers of Lean Manufacturing Approach in Manufacturing Industries. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE AND MECHANICAL ENGINEERING*, *18*(1), 1. <https://doi.org/10.15282/ijame.18.1.2021.11.0646>
- Gil-Vilda, F., Yaguee-Fabra, J., & Sunyer, A. (2021). From Lean Production to Lean 4.0: A Systematic Literature Review with a Historical Perspective. *Applied Sciences*, *11*(21), 21. <https://doi.org/10.3390/app112110318>
- Gnoni, M. G., Andriulo, S., Maggio, G., & Nardone, P. (2013). “Lean occupational” safety: An application for a Near-miss Management System design. *Safety Science*, *53*, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.09.012>
- Goel, R., & Singh, R. V. (2014). Lean Manufacturing and Environment. *International journal of engineering and technology*, *6*, 14–20.
- Goh, M., & Goh, Y. M. (2019). Lean production theory-based simulation of modular construction processes. *Automation in Construction*, *101*, 227–244. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>
- Gorsuch, R. L. (2015). *Factor Analysis*. Routledge:
- Grant, K., & Hallam, C. (2016). Team performance in a lean manufacturing operation: It takes the will and a way to succeed. *International Journal of Technology Management*, *70*(2–3), 2–3. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2016.075161>
- Gunasekaran, A., & Kobu, B. (2002). Modelling and analysis of business process reengineering. *International Journal of Production Research*, *40*(11), 2521–2546. <https://doi.org/10.1080/00207540210132733>
- Gupta, B. B. (2024). *Big Data Management and Analytics* (Roč. 01). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/12869>
- Gupta, P., & Kumar, S. (2021). Productivity Improvements in an Indian Automotive OEM using Heijunka, A Lean Manufacturing Approach: A Case Study. In A. Sachdeva, P. Kumar, O. P. Yadav, R. K. Garg, & A. Gupta (Ed.), *Operations Management and Systems Engineering* (s. 161–173). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6017-0_10
- Gyulai, D., & Monostori, L. (2022). Vehicle Routing Approach for Lean Shop-Floor Logistics. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, *41*(1), 1–6. <https://doi.org/10.33927/hjic-2013-0001>
- Hambach, J., Kümmel, K., & Metternich, J. (2017). Development of a Digital Continuous Improvement System for Production. *Procedia CIRP*, *63*, 330–335. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.086>
- Hammer, M., & Champy, J. (2000). *Reengineering—Radikální proměna firmy: Manifest revoluce v podnikání*. Management Press.

- Hashemi, A., & Dowlatshahi, M. B. (2023). Neural Networks and Deep Learning. In A. J. Kulkarni & A. H. Gandomi (Ed.), *Handbook of Formal Optimization* (s. 1–20). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8851-6_13-1
- Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
- Havel, I. M. (1980). *Robotika. Úvod do teorie kognitivních robotů*. Státní nakladatelství technické literatury.
- Hayton, J. C., Allen, D. G., & Scarpello, V. (2004). Factor Retention Decisions in Exploratory Factor Analysis: A Tutorial on Parallel Analysis. *Organizational Research Methods*, 7(2), 191–205. <https://doi.org/10.1177/1094428104263675>
- Heizer, J. H., & Render, B. (2004). *Operations Management*. Pearson, Prentice Hall.
- Helmold, M. (2020). Principles of a Lean Production System. In M. Helmold, *Lean Management and Kaizen* (s. 79–89). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46981-8_9
- Helwig, E. N. (2021). *Nonparametric Regression (Smoothers) in R*. University of Minnesota. <http://users.stat.umn.edu/~helwig/notes/smooth-notes.html>
- Henderson, J. C., & Venkatraman, H. (1993). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*, 32(1), 472–484. <https://doi.org/10.1147/sj.382.0472>
- Himmelsbach, U. B., Wendt, T. M., Hangst, N., Gawron, P., & Stiglmeier, L. (2021). Human–Machine Differentiation in Speed and Separation Monitoring for Improved Efficiency in Human–Robot Collaboration. *Sensors*, 21(21), 7144. <https://doi.org/10.3390/s21217144>
- Hohmann, Ch. (2005). *7, 8, or 9 types of wastes*. http://chohmann.free.fr/lean/9types_wastes.pdf
- Holman, R. (2016). *Ekonomie*. C. H. Beck.
- Holman, R. (2018). *Makroekonomie. Středně pokročilý kurz*. C. H. Beck.
- Hong, P., Yang, M., & Dobrzykowski, D. (2014). Strategic customer service orientation, lean manufacturing practices and performance outcomes An empirical study. *JOURNAL OF SERVICE MANAGEMENT*, 25(5), 5. <https://doi.org/10.1108/JOSM-12-2013-0355>
- Horváth, D., & Szabó, R. Zs. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Hotrawaisaya, Ch., Pakvichai, V., & Sriyakul, T. (2019). Lean Production Determinants and Performance Consequences of Implementation of Industry 4.0 in Thailand: Evidence from Manufacturing Sector. *International Journal of Supply Chain Management*, 8(5), 559–571.
- Hradil, V. (2024). *Průmyslová mizérie pokračuje*. Kurzy.cz. <https://zpravy.kurzy.cz/774800-prumyslova-mizerie-pokracuje/>
- Huntzinger, J. (2007). *Lean Cost Management: Accounting for Lean by Establishing Flow*. Ross Publishing Inc.
- Hurta, M., & Noskiewiczova, D. (2021). Literature Review, Research Issues and Future Perspective of Relation between Industry 4.0 and Lean Manufacturing. *2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCC51557.2021.9454617>
- Husár, J., Hrehova, S., Trojanowski, P., Wojciechowski, S., & Kolos, V. (2023). Perspectives of Lean Management Using the Poka Yoke Method. In V. Ivanov, J. Trojanowska, I. Pavlenko, E. Rauch, & J. Pitel' (Ed.), *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI* (s. 121–131). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32767-4_12
- Hutcheson, G., & Sofroniou, N. (1999). *The Multivariate Social Scientist: Introductory Statistics Using Generalized Linear Models*. Sage Publications.

- Huttunen, H., Seppala, T., Lahteenmaki, I., & Mattila, J. (2019). What Are the Benefits of Data Sharing? Uniting Supply Chain and Platform Economy Perspectives. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3456914>
- Chakraborty, S., & Dey, L. (2023). Virtual and Augmented Reality with Embedded Systems. In S. Chakraborty & L. Dey, *Computing for Data Analysis: Theory and Practices* (s. 75–96). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8004-6_4
- Chakroun, A., Zribi, H., Hani, Y., Elmhamedi, A., & Masmoudi, F. (2022). Facility Layout Design through Integration of Lean Manufacturing in Industry 4.0 context. *Universite de Sfax*, 55(10), 798–803. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.507>
- Chandrayan, B., Solanki, A. K., & Sharma, R. (2019). Study of 5S lean technique: A review paper. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 26(4), 469. <https://doi.org/10.1504/IJQM.2019.099625>
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2018). Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges. *IEEE Access*, 6, 6505–6519. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>
- Chiang, L. H., Braun, B., Wang, Z., & Castillo, I. (2022). Towards artificial intelligence at scale in the chemical industry. *AIChE Journal*, 68(6), e17644. <https://doi.org/10.1002/aic.17644>
- Chiarini, A., Belvedere, V., & Grando, A. (2020). Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 31(16), 1385–1398. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1710304>
- Cho, K.-J., Koh, J.-S., Kim, S., Chu, W.-S., Hong, Y., & Ahn, S.-H. (2009). Review of manufacturing processes for soft biomimetic robots. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 10(3), 171–181. <https://doi.org/10.1007/s12541-009-0064-6>
- Chong, J. Y., & A. Perumal, P. (2020). Conceptual Framework for Lean Manufacturing Implementation in SMEs with PDCA Approach. In Z. Jamaludin & M. N. Ali Mokhtar (Ed.), *Intelligent Manufacturing and Mechatronics* (s. 410–418). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9539-0_40
- Ibrahim, A., & Kumar, G. (2024). Selection of Industry 4.0 technologies for Lean Six Sigma integration using fuzzy DEMATEL approach. *International Journal of Lean Six Sigma*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2023-0090>
- IFR. (2022). *China overtakes USA in robot density according to World Robotics 2022 Report*. <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/china-overtakes-usa-in-robot-density>
- Imai, M. (2005). *Gemba Kaizen: Řizení a zlepšování kvality na pracovišti*. Computer Press.
- Imai, M. (2011). *Kaizen*. Computer Press.
- Ingelsson, P., & Mårtensson, A. (2014). Measuring the importance and practices of Lean values. *The TQM Journal*, 26(5), 463–474. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2012-0047>
- Inuwa, M., & Rahim, S. A. (2022). *Organizational readiness to change to lean manufacturing among manufacturing small and medium enterprises: Mediating effect of customer relations*. 030022. <https://doi.org/10.1063/5.0104081>
- i-SCOOP. (2017). *Industry 4.0 initiatives and evolutions around the world*. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- Islam, T. (2023). Framework for successful problem-solving in lean: A focus group research in malaysian automotive. *MEST Journal*, 11(1), 59–74. <https://doi.org/10.12709/mest.11.11.01.06>
- Iwao, S. (2017). Revisiting the existing notion of continuous improvement (Kaizen): Literature review and field research of Toyota from a perspective of innovation. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 14(1), 29–59. <https://doi.org/10.1007/s40844-017-0067-4>

- Jadeja, S. B., Khandare, S. S., Batish, A., & Patel, D. (2008). Integrating Lean Manufacturing and Six Sigma by Means of Axiomatic Design Principles. *Volume 4: Design and Manufacturing*, 449–455. <https://doi.org/10.1115/IMECE2008-69279>
- Jedhav, L. H., Urgunde, R. K., & Pawar, J. A. (2014). Technology Poka-Yoke system for output shaft assembly of two wheeler. *Engineering*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:110421308>
- Jimeno-Morenilla, A., Azariadis, P., Molina-Carmona, R., Kyratzi, S., & Moulianitis, V. (2021). Technology enablers for the implementation of Industry 4.0 to traditional manufacturing sectors: A review. *Computers in Industry*, 125, 103390. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103390>
- Jirkovský, J., Haratek, V., & Durmek, S. (2011). *Game industry—Vývoj počítačových her a kapitoly z herního průmyslu*. D. A. M. O.
- Jurášková, O., Horňák, P., & et al. (2012). *Velký slovník marketingových komunikací*. Grada Publishing.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2012). *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*. Research Union of the German Government.
- Kagermann, H., Helbig, J., & Wahlster, W. (2013). *High-Tech strategy 2020*. Germany.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, 39(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Kalsoom, T., Ramzan, N., Ahmed, S., & Ur-Rehman, M. (2020). Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0. *Sensors*, 20(23), 6783. <https://doi.org/10.3390/s20236783>
- Kamarul Bahrin, M. A., Othman, M. F., Nor Azli, N. H., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A Review on Industrial Automation and Robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
- Kamble, S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organisational performance in Indian manufacturing companies. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 58(5), 5. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>
- Kanagachidambaresan, G. R., & Bharathi, N. (2023). Digital Twins for Industry 4.0. In G. R. Kanagachidambaresan & N. Bharathi, *Sensors and Protocols for Industry 4.0* (s. 179–196). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-9007-1_6
- Kapil, V., & Prasad, S. (2022). Application of Industry 4.0 Technology and Internet of Things in Power Transmission Protection, Monitoring and Asset Management. *2022 IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/GCAT55367.2022.9972004>
- Kesely, A. (2018). *CZ-NACE, C- Zpracovatelský průmysl*. <http://www.nace.cz/C-zpracovatelsky-prumysl>
- Kessler, E. H. (2013). *Encyclopedia of Management Theory*. SAGE Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781452276090>
- Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K.-I. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740015. <https://doi.org/10.1142/S1363919617400151>
- Kirch, W. (2008). *Encyclopedia of Public Health*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg Springer e-books.
- Kline, P. (1993). *The handbook of psychological testing*. Routledge.
- Klötzer, Ch., & Pflaum, A. (2017). Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain. *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*, 4210–4219. <http://hdl.handle.net/10125/41669>

- Kolberg, D., Knobloch, J., & Zühlke, D. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845–2856. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1223384>
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Kolíbal, Z. (2009). Minulost a budoucnost robotů. *Automa*, 8(5), 5–10.
- Košturiak, J., Boledovič, L., Křišťál, J., & Marek, M. (2010). *Kaizen*. BizBooks.
- Kovač, G., Sawayama, M., Portelas, R., Colas, C., Dominey, P. F., & Oudeyer, P.-Y. (2023). *Large Language Models as Superpositions of Cultural Perspectives*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2307.07870>
- Kracfik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1), 1.
- Kriegel, J. (2022). Prozessoptimierung: Gemba-Walk im Krankenhaus. *Klinik Einkauf*, 04(03), 39–42. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1750898>
- Krishnan, N., Tp, M., Geethanjali, A. N., Kumar, D., Seenu, N., & Balaji, G. (2022). Design and Development of Drone. *2022 IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IBSSC56953.2022.10037366>
- Kubickova, L., Kormanakova, M., Vesela, L., & Jelinkova, Z. (2021). The Implementation of Industry 4.0 Elements as a Tool Stimulating the Competitiveness of Engineering Enterprises. *Journal of Competitiveness*, 13(1), 76–94. <https://doi.org/10.7441/joc.2021.01.05>
- Kumar, S. (2020). *Courageous Leadership: The Missing Link to Creating a Lean Culture of Excellence*. Routledge, Taylor Francis.
- Kumar, S., Marawar, Y., Soni, G., Jain, V., Gurumurthy, A., & Kodali, R. (2023). A hybrid approach to enhancing the performance of manufacturing organizations by optimal sequencing of value stream mapping tools. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(7), 1403–1430. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2022-0069>
- Kusiak, A. (2019). Fundamentals of smart manufacturing: A multi-thread perspective. *Annual Reviews in Control*, 47, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.02.001>
- Laaper, S., & Klefer, B. (2020). *Digital lean manufacturing Industry 4.0 technologies transform lean processes to advance the enterprise*. Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-lean-manufacturing.html>
- Landry, J., & Ahmed, S. A. (2016). Adoption of Leanness in the Manufacturing Industry. *Universal Journal of Management*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.13189/ujm.2016.040101>
- Langlotz, P., Siedler, C., & Aurich, J. C. (2021). Unification of lean production and industry 4.0. *Procedia CIRP*, 99(1), 15–50.
- Lashkari, B., & Musilek, P. (2021). A Comprehensive Review of Blockchain Consensus Mechanisms. *IEEE Access*, 9, 43620–43652. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3065880>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lean Enterprise Institute. (2008). *Lean Lexicon a graphical glossary for Lean Thinkers*. Lean Enterprise Institute.
- Leuschel, R. S. (2020). *Sensei Secrets: Mentoring at Toyota Georgetown*. Align Kaizen.
- Li, W. D., Fuh, J. Y. H., & Wong, Y. S. (2004). An Internet-enabled integrated system for co-design and concurrent engineering. *Computers in Industry*, 55(1), 87–103. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2003.10.010>
- Lie, S. R., & Kusumastuti, R. D. (2021). Process improvement using value stream mapping and lean methodology: A case study application in batch chemical process industry. *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1072(1), 012015.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1072/1/012015>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. K. (2015). *Tak to dělá Toyota: 14 zásad řízení největšího světového výrobce*. Management Press.
- Liker, J. K., & Lamb, T. (2000). *Lean Manufacturing Principles Guide. Version 0.5*. Maritech ASE Project #10. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA450192.pdf>
- Lim, W. M., Gunasekara, A., Pallant, J. L., Pallant, J. I., & Pechenkina, E. (2023). Generative AI and the future of education: Ragnarök or reformation? A paradoxical perspective from management educators. *The International Journal of Management Education*, 21(2), 100790. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2023.100790>
- Ljungblom, M., & Lennerfors, T. T. (2021). The Lean principle respect for people as respect for craftsmanship. *International Journal of Lean Six Sigma*, 12(6), 1209–1230. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2020-0085>
- Lorenz, R., Buess, P., Macuvele, J., Friedli, T., & Netland, T. H. (2019). Lean and Digitalization—Contradictions or Complements? In F. Ameri, K. E. Stecke, G. Von Cieminski, & D. Kiritsis (Ed.), *Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future* (Roč. 566, s. 77–84). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30000-5_10
- Lu, J.-C., Yang, T., & Wang, C.-Y. (2011). A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(3), 211–228. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.551283>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Lv, Z. (2023). Generative artificial intelligence in the metaverse era. *Cognitive Robotics*, 3, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.06.001>
- Ma, J., Wang, Q., & Zhao, Z. (2017). SLAE–CPS: Smart Lean Automation Engine Enabled by Cyber-Physical Systems Technologies. *Sensors*, 17(7), 1500. <https://doi.org/10.3390/s17071500>
- Ma, X., Dong, S., Ma, W., Xue, Y., & Li, J. (2017). Design of a Metronome Based on the Idea of „ANDON”. *2017 Second International Conference on Mechanical, Control and Computer Engineering (ICMCCE)*, 79–82. <https://doi.org/10.1109/ICMCCE.2017.17>
- Macias-Aguayo, J., Garcia-Castro, L., Barcia, K. F., McFarlane, D., & Abad-Moran, J. (2022). Industry 4.0 and Lean Six Sigma Integration: A Systematic Review of Barriers and Enablers. *Applied Sciences*, 12(22), 11321. <https://doi.org/10.3390/app122211321>
- Maemunah, S. (2021). The Implementation Of Lean Manufacturing and Industrial Technology 4.0 On Business Performance. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 2(8), 8. <https://doi.org/10.36418/jist.v2i8.214>
- Mahadevan, G., & Chejarla, K. C. (2023). Lean Management Principles. In G. Mahadevan & K. C. Chejarla, *Lean Management for Small and Medium Sized Enterprises* (s. 9–25). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4340-9_2
- Maldonado-Guzmán, G., Pinzón-Castro, S. Y., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Does the integration of lean production and Industry 4.0 in green supply chains generate a better operational performance? *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(7), 7. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2023-0034>
- Mali, H. R., Chotalia, P. A., Thakker, S., & Gangrade, A. K. (2023). Implementation of Industry 4.0 in Pharmaceutical Sector. In P. Pradhan, B. Pattanayak, H. C. Das, & P. Mahanta (Ed.), *Recent Advances in Mechanical Engineering* (s. 423–433). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9057-0_45

- Manjallore, C., & Dhotre, S. (2023). Conceptual Framework for Lean and Industry 4.0 Implementation in SMEs (Shuriken Framework). *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(1), 317–323. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.48552>
- Marcon, É., Soliman, M., Gerstlberger, W., & Frank, A. G. (2022). Sociotechnical factors and Industry 4.0: An integrative perspective for the adoption of smart manufacturing technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(2), 259–286. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0017>
- Marcondes, G. B., Rossi, A. H. G., & Pontes, J. (2023). Digital Technologies and Lean 4.0: Integration, Benefits, and Areas of Research. In J. C. Gonçalves Dos Reis, F. G. Mendonça Freires, & M. Vieira Junior (Ed.), *Industrial Engineering and Operations Management* (Roč. 431, s. 197–209). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47058-5_16
- Marinič, P. (2022). Industry 4.0 – Analysis of the Industry Sectors in Czech Republic and Slovakia. *EDAMBA 2021 : COVID-19 Recovery: The Need for Speed : Conference Proceedings*, 297–305. <https://doi.org/10.53465/EDAMBA.2021.9788022549301.297-305>
- Markov, K., & Vitliemov, P. (2022). *An approach to design a semi-automated assembly line for the automotive industry implementing the Lean 4.0 concept*. 040015. <https://doi.org/10.1063/5.0099667>
- Martin, P. R., & Patterson, J. W. (2006). Data Sharing in a Multi-Tiered Supply Chain Network. *Supply Chain Forum: An International Journal*, 7(1), 82–92. <https://doi.org/10.1080/16258312.2006.11517160>
- Mařík, V. (2016). *Průmysl 4.0. Výzva pro Českou republiku*. Management Press.
- Masood, T., & Sonntag, P. (2020). Industry 4.0: Adoption challenges and benefits for SMEs. *Computers in Industry*, 121, 103261. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>
- Mathlouthi, S. (2023). Introduction of LEAN Manufacturing in a Tunisian Shipyard. In L. Walha, A. Jarraya, F. Djemal, M. Chouchane, N. Aifaoui, F. Chaari, M. Abdennadher, A. Benamara, & M. Haddar (Ed.), *Design and Modeling of Mechanical Systems—V* (s. 795–804). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14615-2_89
- Matoušek, R., & Osman, R. (2015). *Prostor(y) geografie*. Karolinum Press.
- Matsunaga, M. (2010). How to Factor-Analyze Your Data Right: Do's, Don'ts, and How-To's. *International Journal of Psychological Research*, 3(1), 97–110.
- Maurya, A. (2016). *Lean podnikání. Přejděte od plánu A k plánu, který funguje*. BizBooks.
- Mavropoulos, A., & Nilsen, W. A. (2020). *Industry 4.0 and circular Economy. Towards a wasteless future or a wasteful planet*. John Wiley and Sons.
- Maware, C., & Parsley, D. M. (2023). Can Industry 4.0 Assist Lean Manufacturing in Attaining Sustainability over Time? Evidence from the US Organizations. *Sustainability*, 15(3), 1962. <https://doi.org/10.3390/su15031962>
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2014). *Big Data*. Computer Press.
- Mayr, A., Weigelt, M., Kühn, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M., & Franke, J. (2018). Lean 4.0—A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 72, 622–628. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.292>
- Mazanai, M. (2012). Impact of just-in-time (JIT) inventory system on efficiency, quality and flexibility among manufacturing sector, small and medium enterprise (SMEs) in South Africa. *AFRICAN JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT*, 6(17). <https://doi.org/10.5897/AJBM12.148>
- Mazelan, A. H., Ali, S. A. S., & Huda, M. S. S. (2021). Improving Performance and Process in Food Manufacturing Industry Using Lean Engineering Principles. In M. S. Bahari, A. Harun, Z. Zainal Abidin, R. Hamidon, & S. Zakaria (Ed.), *Intelligent Manufacturing and Mechatronics* (s. 1307–1315). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0866-7_116

- McDonald, R. P. (1985). *Factor Analysis and Related Methods*. Lawrence Erlbaum Associates.
- McKinsey. (2009). *Clearing the Air on Cloud Computing; McKinsey and Company* (McKinsey and Company).
- Medonos, M. (2021). Leanness Level of Manufacturing Companies—A Survey on Lean Manufacturing Implementation. *Acta academica karviniensia*, 21(2), 54–65. <https://doi.org/10.25142/aak.2021.012>
- Medynski, D., Bonarski, P., Motyka, P., Wysoczanski, A., Gnitecka, R., Kolbusz, K., Dabrowska, M., Burduk, A., Pawelec, Z., & Machado, J. (2023). Digital Standardization of Lean Manufacturing Tools According to Industry 4.0 Concept. *APPLIED SCIENCES-BASEL*, 13(10), 10. <https://doi.org/10.3390/app13106259>
- Meyer, H., Fuchs, F., & Thiel, K. (2009). *Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment*. McGraw Hill.
- Miller, J., Wroblewski, M., & Villafuerte, J. (2017). *Kultura Kaizen*. BizBooks.
- Miller, M. L. (2014). *The Coaching Kata*. <https://www.lmmiller.com/coaching-kata/>
- Minh, N. D., Dat, L. Q., Son, N. H., Tuan, P. M., & Toan, N. D. (2017). Application of visual management in small medium enterprises in Vietnam. *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management*, 21(6), 509. <https://doi.org/10.1504/IJEIM.2017.086950>
- Minh, N. D., & Kien, D. (2021). A four-phase framework for Lean implementation in small and medium enterprises. *Management*, 25(1), 259–277. <https://doi.org/10.2478/manment-2019-0069>
- Mista, S., Roy, Ch., & Mukherjee, A. (2021). *Introduction to Industrial Internet of Things*. CRC Press.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194–214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- MMR. (2022). *Přidaná hodnota zpracovatelského průmyslu jako podíl na HDP a na hlavu (na obyvatele)*. Ministerstvo pro místní rozvoj. <https://www.sdg-data.cz/agenda-2030/9/pridana-hodnota-zpracovatelskeho-prumyslu-jako-podil-na-hdp-a-na-hlavu-na-obyvatele>
- Mohammed, I. R., Shankar, R., & Banwet, D. K. (2008). Creating flex-lean-agile value chain by outsourcing: An ISM-based interventional roadmap. *Business Process Management Journal*, 14(3), 338–389. <https://doi.org/10.1108/14637150810876670>
- Mohapatra, B., Tripathy, S., & Singhal, D. (2023). A sustainable solution for lean barriers through a fuzzy DEMATEL methodology with a case study from the Indian manufacturing industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(4), 815–843. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2022-0134>
- Monden, Y. (2012). *TOYOTA Production System An Integrated Approach to Just-In-Time*. CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley.
- Moro, A., & Virgillito, M. E. (2022). Towards the factory 4.0 Convergence and divergence of lean models in Italian automotive plants. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 22(2), 1. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2022.10048321>
- Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2013). A framework for lean manufacturing implementation. *PRODUCTION AND MANUFACTURING RESEARCH-AN OPEN ACCESS JOURNAL*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.1080/21693277.2013.862159>
- Mostoufi, N., & Constantinides, A. (2023). Linear and nonlinear regression analysis. In *Applied Numerical Methods for Chemical Engineers* (s. 403–476). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822961-3.00008-X>
- MPO. (2005). *Zpracovatelský průmysl – D*. Ministerstvo průmyslu a obchodu. <https://www.mpo.gov.cz/assets/dokumenty/26188/26053/291113/priloha024.pdf>

- MPO. (2022a). *Analyzá vyvoje ekonomiky ČR*. Ministerstvo průmyslu a obchodu. https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/rozcestnik/analyticke-materialy-a-statistiky/analyticke-materialy/2023/1/Analyza_vyvoje_ekonomiky_CR_prosinec_2023.pdf
- MPO. (2022b). *Panorama zpracovatelského průmyslu ČR*. Ministerstvo průmyslu a obchodu. <https://portal-statistik.mpo.cz/cz/panorama-interaktivni-tabulka.html>
- Mrabti, A., & Nouri, K. (2023). Smart manufacturing production line connectivity – case study in automotive sector. *ITM Web of Conferences*, 52, 01004. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235201004>
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering*, 182, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.135>
- Muhuri, P. K., Shukla, A. K., & Abraham, A. (2019). Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 78, 218–235. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007>
- Müller, J. M., & Birkel, H. S. (2020). Contributions of Industry 4.0 to lean management within the supply chain operations reference model. *International Journal of Integrated Supply Management*, 13(1), 74. <https://doi.org/10.1504/IJISM.2020.107781>
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K.-I. (2018). What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability. *Sustainability*, 10(1), 247. <https://doi.org/10.3390/su10010247>
- Muniz Junior, J., Moschetto, G. P., & Wintersberger, D. (2023). Industry 4.0 at Brazilian modular consortium: Work, process and knowledge in engine supply chain. *Production*, 33, e20220074. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20220074>
- Mustapić, M., Gregurić, P., Opetuk, T., & Trstenjak, M. (2023). Use of Green Industry 5.0 Technologies in Logistics Activities. *Tehnički glasnik*, 17(3), 471–477. <https://doi.org/10.31803/tg-20230518185836>
- Naeem, M., Ahmad, N., Hussain, S., Nafees, B., & Hamid, A. (2021). Impact of lean manufacturing on the operational performance: Evidence from textile industry. *Humanities & Social Sciences Reviews*, 9(3), 951–961. <https://doi.org/1630557743>
- Nagaich, R. (2022). Lean Concept Implementation Practices in Small and Medium Scale Pharmaceutical Industry- A Case Study. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(1), 213–220. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.39811>
- Najwa, E., Bertrand, R., Yassine, M., Fernandes, G., Abdeen, M., & Souad, S. (2022). Lean 4.0 tools and technologies to improve companies' maturity level: The COVID-19 context. *Procedia Computer Science*, 196, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.007>
- Nedjwa, E., Bertrand, R., & Sassi Boudemagh, S. (2022). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean management tools: A bibliometric analysis. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 16(1), 135–150. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00795-9>
- Nelson, J. (2016). Pull versus Push. In *Becoming a Lean Library* (s. 29–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-779-8.00003-3>
- Nenádál, J., Vykydal, D., Halfarová, P., & Tylečková, E. (2022). Quality 4.0 Maturity Assessment in Light of the Current Situation in the Czech Republic. *Sustainability*, 14(12), 7519. <https://doi.org/10.3390/su14127519>
- Nikolakis, N., Maratos, V., & Makris, S. (2019). A cyber physical system (CPS) approach for safe human-robot collaboration in a shared workplace. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 56, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2018.10.003>
- Norhana Mohd Aripin, Gusman Nawansir, & Suhaidah Hussain. (2023). Developing and validating measurement for lean manufacturing sustenance strategies: The pls-sem approach. *International Journal of Industrial Management*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.15282/ijim.17.1.2023.9221>

- Novotny, E., & Joo (Grace) Ahn, S. (2022). Virtual Reality. In E. Y. Ho, C. L. Bylund, & J. C. M. Van Weert (Ed.), *The International Encyclopedia of Health Communication* (1. vyd., s. 1–5). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119678816.iehc0733>
- Nunes, M. L., Pereira, A. C., & Alves, A. C. (2017). Smart products development approaches for Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, *13*, 1215–1222. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.035>
- Nuno Lopes & Monteiro. (2023). Extreme Makeover in a health center: LEAN methodology applied to clinical practice. *Rural and Remote Health*. <https://doi.org/10.22605/RRH8176>
- Nwaiwu, F., Duduci, M., Chromjakova, F., & Otekhile, C.-A. F. (2020). Assessment of the critical success factors that enable implementation of industry 4.0 concepts in manufacturing companies within the SME sector in the Czech Republic. *Business: Theory and Practice*, *21*(1), 58–70. <https://doi.org/10.3846/btp.2020.10712>
- Nývlt, V. (2015). *Tady možná vyrobí i vašeho nového kolegu. Do klece nebude muset*. Lidové noviny. https://technet.idnes.cz/navstivili-jsme-tovarnu-universal-robots-fjk-/tec_reportaze.aspx?c=A151228_142046_tec_reportaze_nyv
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System*. Productivity Press.
- Ohno, T., & Bodek, N. (2019). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (1. vyd.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Oláh, J., Sztrapkovic, B., Puskás, E., & Martins, V. (2023). An empirical study about the relationship between lean management and industry 4.0. *Acta Montanistica Slovaca*, *27*, 916–928. <https://doi.org/10.46544/AMS.v27i4.07>
- Oneindustry. (2019). *Průmysl*. Lexikon. <https://www.oneindustry.cz/lexikon/prumysl/>
- Ooi, L. L., Teh, S. Y., & Cheang, P. Y. S. (2023). The impact of lean production on sustainable organizational performance: The moderating effect of industry 4.0 technologies adoption. *Management Research Review*, *46*(12), 1802–1836. <https://doi.org/10.1108/MRR-06-2022-0448>
- Ooi, Y. H., Ng, T. C., & Cheong, W. C. (2023). Implementing Industry 4.0 and lean practices for business performance in manufacturing: Case of Malaysia. *International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES*, *10*(3), 143–156. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2023.03.019>
- Ortová, M. (2023). Jak se přeskládá průmysl. *Statistika & My*, *13*(11–12), 22–24.
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, *221*, 107476. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>
- Our World in Data. (2024). *Share of manufacturing in gross domestic product (GDP)*. Data adapted from World Bank and OECD. World Bank. <https://ourworldindata.org/grapher/manufacturing-value-added-to-gdp>
- Pahl, C., Jamshidi, P., & Zimmermann, O. (2018). Architectural Principles for Cloud Software. *ACM Transactions on Internet Technology*, *18*(2), 1–23. <https://doi.org/10.1145/3104028>
- Panbathi, K. K. (2018). *Quick start Guide to Industry 4.0*. CPSIA. www.ICGtesting.com
- Panzar, J. C., & Willig, R. D. (1981). Economies of Scope. *American Economic Review*, *71*, 268–272.
- Papalex, M., Bamford, D., & Dehe, B. (2016). A case study of kanban implementation within the pharmaceutical supply chain. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *19*(4), 239–255. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1075478>
- Papulová, Z., Gažová, A., & Šufliarský, E. (2022). Implementation of Automation Technologies of Industry 4.0 in Automotive Manufacturing Companies. *Procedia Computer Science*, *200*, 1488–1497. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.350>
- Parn, E. A., & Edwards, D. (2019). Cyber threats confronting the digital built environment: Common data environment vulnerabilities and block chain deterrence. *Engineering*,

- Construction and Architectural Management*, 26(2), 245–266.
<https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0101>
- Parviainen, P., Tihinen, M., Kääriäinen, J., & Teppola, S. (2022). Tackling the digitalization challenge: How to benefit from digitalization in practice. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), 63–77.
<https://doi.org/10.12821/ijispm050104>
- Pascu, C. I., Didu, A., & Gheorghe, S. (2020). Study about the Application of Statistical Process Control for Process Quality Improvement in Automotive Industry. *Applied Mechanics and Materials*, 896, 169–174. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.896.169>
- Pascu, C. I., Gheorghe, S., Dumitru, I., Nisipasu, M., & Ciocoi-Troaca, D. (2016). Aspects about Implementation of Lean Manufacturing Principles for Quality Improvement in a Production System for Automotive Industry. *Applied Mechanics and Materials*, 823, 283–288. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.823.283>
- Pastucha, F. (2024). *PMI v červnu: Pokračující pokles výroby*. Deloitte.
<https://www.dreport.cz/blog/pmi-v-cervnu-pokracujici-pokles-vyroby/>
- Patel, P. K. (2015). A Review on use of Mistake Proofing (PokaYoke) Tool in Blow Molding Process. *International Journal of New Research*, 6(5), 20–30.
- Patermann, J. (2022). *Lean. Dilenské řízení*. Grada.
- Pech, M., & Vaněček, D. (2018). Methods of Lean Production to Improve Quality in Manufacturing. *Quality Innovation Prosperity*, 22(2), 2.
<https://doi.org/10.12776/QIP.V22I2.1096>
- Pech, M., & Vaněček, D. (2019). The Role of the Key Enterprise of the Supply Chain in Lean Production. *Proceedings CLC 2018*, 50–55.
- Pech, M., & Vaněček, D. (2022). Exploration of Differences in Managers' Perception of the Industry 4.0 Advantages for Manufacturing Enterprises in the Czech Republic. *Management and Production Engineering Review*, 9–18.
<https://doi.org/10.24425/mper.2022.140872>
- Pech, M., & Vaněček, D. (2023). *Štíhlá výroba*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta.
- Pei, X., & Song, L. (2018). Research on Supplier Evaluation System Based on Lean Accounting. *Proceedings of the 2018 International Conference on Management and Education, Humanities and Social Sciences (MEHSS 2018)*. 2018 International Conference on Management and Education, Humanities and Social Sciences (MEHSS 2018), Hangzhou City, China. <https://doi.org/10.2991/mehss-18.2018.72>
- Pereira, A. C., & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Pereira, A. C., Dinis-Carvalho, J., Alves, A., & Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 can enhance Lean practices. *FME Transactions*, 47(4), 810–822.
<https://doi.org/10.5937/fmet1904810P>
- Pereira, A. C., & Sachidananda, H. (2022). Impact of industry 4.0 technologies on lean manufacturing and organizational performance in an organization. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INTERACTIVE DESIGN AND MANUFACTURING - IJIDEM*, 16(1), 1.
<https://doi.org/10.1007/s12008-021-00797-7>
- Pernica, P. (2008). *Arts logistics*. Oeconomica.
- Peterson, R. A., & Kim, Y. (2013). On the relationship between coefficient alpha and composite reliability. *Journal of Applied Psychology*, 98(1), 194–198.
<https://doi.org/10.1037/a0030767>
- Pett, M. A., Lackey, N. R., & Sullivan, J. J. (2003). *Making Sense of Factor Analysis: The use of Factor Analysis for Instrument Development in Health Care Research*. Sage Publications.
- Pettersen, J. (2009). Defining lean production: Some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, 21(2), 127–142. <https://doi.org/10.1108/17542730910938137>

- Pfeiffer, S. (2016). Robots, Industry 4.0 and Humans, or Why Assembly Work Is More than Routine Work. *Societies*, 6(2), 16. <https://doi.org/10.3390/soc6020016>
- Pieńkowski, M. (2014). Waste measurement techniques for lean companies. *International Journal of Lean Thinking*, 5(1), 1–16.
- Placidi, P., Morbidelli, R., Fortunati, D., Papini, N., Gobbi, F., & Scorzoni, A. (2021). Monitoring Soil and Ambient Parameters in the IoT Precision Agriculture Scenario: An Original Modeling Approach Dedicated to Low-Cost Soil Water Content Sensors. *Sensors*, 21(15), 5110. <https://doi.org/10.3390/s21155110>
- Pöppelbuß, J., & Röglinger, M. (2011). *What makes a useful maturity model? A framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management*. European Conference on Information Systems-ECIS. <https://aisel.aisnet.org/ecis2011/28>
- Powell, D. J. (2024). Artificial intelligence in lean manufacturing: Digitalization with a human touch? *International Journal of Lean Six Sigma*, 15(3), 719–729. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2024-256>
- Prakash, D., & Kumar, C. T. (2011). Implementation of Lean Manufacturing Principles in Auto Industry. *Industrial Engineering Letters*, 1(1), 56–60.
- Prarthana, V., Lavanya, P., Namana, J. J., Nagaditya, L. P., Nagavishnu, H., & Bhargavi, K. (2021). Digital Twin Technology: A Bird Eye View. *2021 Third International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, 1069–1075. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA51532.2021.9545020>
- Prause, M. (2019). Challenges of Industry 4.0 Technology Adoption for SMEs: The Case of Japan. *Sustainability*, 11(20), 5807. <https://doi.org/10.3390/su11205807>
- Price, K., Weaver, J., Tribbett, S. B., & Carpenter, C. (2015). Using the Lean Process to Achieve Skin-to-Skin after Cesarean Births. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, 44, S16–S17. <https://doi.org/10.1111/1552-6909.12682>
- PricewaterhouseCoopers. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise*. 2016 Global Industry 4.0 Survey. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing*, 23, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- Protzman, C., Kerpchar, J., & Whiton, F. (2022). *Sustaining Lean: Creating a Culture of Continuous Improvement* (1. vyd.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781003186090>
- Průša, J. (2019). *Základy 3D tisku s Josefem Průšou*. Prusa Research.
- Queiroz, G. A., Alves Junior, P. N., & Mello, I. C. (2024). Lean 4.0 Deployment Case Studies in UK Industrial Companies: Lessons Learned. In F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, J. C. Sá, M. T. Pereira, & C. M. A. Pinto (Ed.), *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: Establishing Bridges for More Sustainable Manufacturing Systems* (s. 324–331). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38165-2_38
- Qureshi, K. M., Mewada, B. G., Buniya, M. K., & Qureshi, M. R. N. M. (2023). Analyzing Critical Success Factors of Lean 4.0 Implementation in Small and Medium Enterprises for Sustainable Manufacturing Supply Chain for Industry 4.0 Using PLS-SEM. *Sustainability*, 15(6), 6. <https://doi.org/10.3390/su15065528>
- Qureshi, K. M., Mewada, B. G., Kaur, S., & Qureshi, M. R. N. M. (2023). Assessing Lean 4.0 for Industry 4.0 Readiness Using PLS-SEM towards Sustainable Manufacturing Supply Chain. *Sustainability*, 15(5), 5. <https://doi.org/10.3390/su15053950>
- Rabakawi, H., Ramakrishna, H., & Beligar, S. (2013). Thorough Elimination Of Muri, Mura And Muda To Achieve Customer Satisfaction. *International Journal of Innovative research*, 2(5), 1457–1469.

- Radin Umar, R. Z., Tiong, J. Y., Ahmad, N., & Dahalan, J. (2023). Development of framework integrating ergonomics in Lean's Muda, Muri, and Mura concepts. *Production Planning & Control*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2189640>
- Rachid, A. (2016). The Implementation of lean production and quality methods at the shop floor: Case Studies in the household appliance industry. *Qualitas Revista Eletrônica*, 17(2), 132–151.
- Rajnoha, R., Dobrovič, J., & Gálová, K. (2018). The Use of Lean Methods in Central Eastern European Countries: The Case of Czech and Slovak Republic. *Economics & Sociology*, 11(2), 320–333. <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2018/11-2/22>
- Rao, S. K., & Prasad, R. (2018). Impact of 5G Technologies on Industry 4.0. *Wireless Personal Communications*, 100(1), 145–159. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5615-7>
- Raptis, T. P., Passarella, A., & Conti, M. (2019). Data Management in Industry 4.0: State of the Art and Open Challenges. *IEEE Access*, 7, 97052–97093. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929296>
- Ratcliffe, S. (2015). *Oxford essential quotations*. Oxford University Press.
- Rathi, R., Garza-Reyes, A. J., Kaswan, S. M., & Singh, M. (2024). *Lean Six Sigma 4.0 for Operational Excellence Under the Industry 4.0 transformation*. CRC Press.
- Reiss, M. (1993). *Die Rolle der Personalführung im Lean Management: Vom Erfüllungsgehilfen zum Schrittmacher einer Management-Revolution*. <https://doi.org/10.18419/OPUS-5606>
- Rejnek, P. (2016). *Jižní Čechy budou mít své Big Data Centrum*. Jihočeská hospodářská komora. http://www.jhk.cz/download/aktuality_cs/1479894543_cs_tz_22112016_bigdatacentrum.pdf
- Renda, A., Schwaag, S., & Tataj, D. (2021). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17322>
- Rewers, P. (2019). Planning the inflow of products for production levelling. *Machines. Technologies. Materials.*, 13(10), 439–442.
- Ribeiro, V. B., Nakano, D., Muniz Jr., J., & Oliveira, R. B. D. (2022). Knowledge management and Industry 4.0: A critical analysis and future agenda. *Gestão & Produção*, 29, e5222. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e5222>
- Ries, E. (2015). *Lean Startup. Jak budovat úspěšný byznys na základě neustálé inovace*. Bizbooks.
- Rifkin, J. (2014). *The Zero Marginal Cost Society*. Macmillan Publishers.
- Riveros, L. F. R., Tristancho, V. H. B., Sanabria, J. E. S., & Amado, H. D. V. (2022). Digital Twins, Didactic Strategy for Teaching Industrial Automation. *2022 Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (XV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/TAEE54169.2022.9840602>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A Complex View of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), 215824401665398. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations*. Free Press.
- Roche. (2019). *The Nine Pillars of Industry 4.0—Transforming Industrial Production*. Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/article/what-is-industry-4-and-its-nine-technology-pillars>
- Rosen, R., Von Wichert, G., Lo, G., & Bettenhausen, K. D. (2015). About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 567–572. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>
- Roser, Ch. (2018). Lean and Industry 4.0. In *Collected Blog Posts of AllAboutLean* (s. 159–163). AllAboutLean Publishing. <https://www.allaboutlean.com/lean-and-industry-4-0/>
- Rosin, F., Forget, P., Lamouri, S., & Pellerin, R. (2020). Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1644–1661. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1672902>

- Rossi, A. H. G., Marcondes, G. B., Pontes, J., Leitão, P., Treinta, F. T., De Resende, L. M. M., Mosconi, E., & Yoshino, R. T. (2022). Lean Tools in the Context of Industry 4.0: Literature Review, Implementation and Trends. *Sustainability*, 14(19), 12295. <https://doi.org/10.3390/su141912295>
- Rostow, W. W. (1988). *Essays On A Half Century*. Routledge. 10.4324/9780429036750
- Rother, M. (2017). *Toyota Kata. Systematickým vedením lidí k vyjimečným výsledkům*. Grada.
- Rother, M. (2018). *The Toyota Kata Practice Guide*. McGraw Hill.
- Rymaszewska, A. (2014). The challenges of lean manufacturing implementation in SMEs. *BENCHMARKING-AN INTERNATIONAL JOURNAL*, 21(6), 6. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2012-0065>
- Řezanková, H. (2007). *Analyza dat z dotazníkových šetření*. Professional Publishing.
- S & P Global. (2024). *Czech Republic Manufacturing PMI* [Trading Economics]. <https://tradingeconomics.com/czech-republic/manufacturing-pmi>
- Sagiroglu, S., & Sinanc, D. (2013). Big data: A review. *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, 42–47. <https://doi.org/10.1109/CTS.2013.6567202>
- Saha, P., Talapatra, S., Belal, H. M., Jackson, V., Mason, A., & Durowoju, O. (2023). Examining the viability of lean production practices in the Industry 4.0 era: An empirical evidence based on B2B garment manufacturing sector. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 38(12), 2694–2712. <https://doi.org/10.1108/JBIM-01-2023-0029>
- Sahoo, S. (2019). Lean manufacturing practices and performance: The role of social and technical factors. *INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY & RELIABILITY MANAGEMENT*, 37(5), 5. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2019-0099>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *JOURNAL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT-JIEM*, 9(3), 3. <https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Saraswat, P., Agrawal, R., & Rane, S. B. (2024). Technological integration of lean manufacturing with industry 4.0 toward lean automation: Insights from the systematic review and further research directions. *Benchmarking: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2023-0316>
- Sari, E., Marie, I. A., Rani, F., & Satria, R. (2022). Sustainable Manufacturing Performance Enhancement Using Lean Competitive Strategy: A Case Study in Plastic Molding Industry. *Proceedings of the International Conference on Engineering and Information Technology for Sustainable Industry*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3557738.3557842>
- Satoglu, S., Ustunday, A., Cevikcan, E., & Durmusoglu, B. M. (2017). Lean Transformation Integrated with Industry 4.0 Implementation Methodology. *Calisir, F., Camgoz Akdag, H. (eds) Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering*, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71225-3_9
- Saurabha Masurkar, S. S. A. (2015). Lean Manufacturing Achieved by Implanting Kanban at Supplier End. *Industrial Engineering & Management*, 04(04). <https://doi.org/10.4172/2169-0316.1000171>
- Sedláček, J. (2011). *Finanční analýza podniku*. Computer Press.
- Sendler, U. (Ed.). (2018). *The Internet of Things. Industrie 4.0 unleashed*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54904-9>
- Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline*. Currency Doubleday.
- Seyfor. (2024). *Průzkum: České firmy mají ve využívání AI velkou rezervu*. BusinessInfo. <https://www.businessinfo.cz/clanky/pruzkum-ceske-firmy-maji-ve-vyuzivani-ai-velkou-rezervu/>
- Shah, H., Sahoo, S., Rajwadkar, S., Sonavane, J., & Dalvi, A. (2022). Literature Review on Industrial Process Optimization by Lean Manufacturing of Techniques. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(4), 1262–1268. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41424>

- Shah, R., & Ward, P. (2003). Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21(2), 2. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Shah, R., & Ward, P. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 4. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Shahin, M., Chen, F. F., Bouzary, H., & Krishnaiyer, K. (2020). Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: Smart manufacturing for next-generation enterprises. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107(5–6), 2927–2936. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05124-0>
- Shamim, S., Cang, S., Yu, H., & Li, Y. (2017). Examining the Feasibilities of Industry 4.0 for the Hospitality Sector with the Lens of Management Practice. *Energies*, 10(4), 499. <https://doi.org/10.3390/en10040499>
- Sharma, A. (2014). What is lean manufacturing? *International Journal of Sciences*, 3(9), 44–49.
- Shen, W., & Norrie, D. H. (1999). Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey. *Knowledge and Information Systems*, 1(2), 129–156. <https://doi.org/10.1007/BF03325096>
- Schaefer, M., Reichl, S., Ter Horst, R., Nicolas, A. M., Krausgruber, T., Piras, F., Stepper, P., Bock, C., & Samwald, M. (2023). *Large language models are universal biomedical simulators*. <https://doi.org/10.1101/2023.06.16.545235>
- Schein, E. H. (1983). The Role of the Founder in the Creation of Organizational Culture. *Organizational Dynamics*, 12(1), 13–28. [https://doi.org/10.1016/0090-2616\(83\)90023-2](https://doi.org/10.1016/0090-2616(83)90023-2)
- Scheirer, C. J., Ray, W. S., & Hare, N. (1976). The Analysis of Ranked Data Derived from Completely Randomized Factorial Designs. *Biometrics*, 32(2), 429. <https://doi.org/10.2307/2529511>
- Schlink, R. (1982). *Dynamic Memory: A Theory of Reminding and Learning in Computers and People*. Cambridge University Press.
- Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A., & Verl, A. (2015). Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments. *Production Engineering*, 9(1), 143–148. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R.-C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0 - Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. In W. Abramowicz (Ed.), *Business Information Systems* (Roč. 208, s. 16–27). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3_2
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schumacher, S., Hall, R., Bildstein, A., & Bauernhansl, T. (2023). Lean Production Systems 4.0: Systematic literature review and field study on the digital transformation of lean methods and tools. *International Journal of Production Research*, 61(24), 8751–8773. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2159562>
- Schumacher, S. R., Hall, S. R., & Bildstein, A. (2021). *Ganzheitliche Produktionssysteme 4.0: Anforderungen an die Gestaltung von Methoden und Werkzeuge in Ganzheitlichen Produktionssystemen*. Fraunhofer IPA. <http://publica.fraunhofer.de/documents/N-633925.html>
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. Portfolio.
- Sim, S., & Wong, N. (2021). Nanotechnology and its use in imaging and drug delivery (Review). *Biomedical Reports*, 14(5), 42. <https://doi.org/10.3892/br.2021.1418>
- Simic Milas, A., Cracknell, A. P., & Warner, T. A. (2018). Drones – the third generation source of remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(21), 7125–7137. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523832>
- Simmons, A. B., & Chappell, S. G. (1988). Artificial intelligence-definition and practice. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 13(2), 14–42. <https://doi.org/10.1109/48.551>

- Singh, C., Singh, D., & Khamba, J. S. (2023). Assessing Lean Practices in Manufacturing Industries Through an Extensive Literature Review. In X. Li, M. M. Rashidi, R. S. Lather, & R. Raman (Ed.), *Emerging Trends in Mechanical and Industrial Engineering* (s. 779–800). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6945-4_59
- Singh, H., & Singh, B. (2023). The Reflections of Lean Digitalization in Indian MSMEs: A Case Study. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(2), 4311–4323. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.3443>
- Siswaningsih, W., Firman, H., Zackiyah, & Khoirunnisa, A. (2017). Development of Two-Tier Diagnostic Test Pictorial-Based for Identifying High School Students Misconceptions on the Mole Concept. *Journal of Physics: Conference Series*, 812, 012117. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012117>
- Sivarajah, U., Kamal, M. M., Irani, Z., & Weerakkody, V. (2017). Critical analysis of Big Data challenges and analytical methods. *Journal of Business Research*, 70, 263–286. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.001>
- Skaar, J., Bølviken, T., Koskela, L., & Kalsaas, B. T. (2020). *Principles as a Bridge Between Theory and Practice*. 1–12. <https://doi.org/10.24928/2020/0065>
- Skołud, B., Krenczyk, D., & Zemczak, M. (2015). An Idea of the Continuous Flow for Concurrent Multi-Assortment Production. *Applied Mechanics and Materials*, 809–810, 1444–1449. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.809-810.1444>
- Skyplanner. (2024). *Co je to zpracovatelský průmysl?* Skycode. <https://skyplanner.ai/cs/zdroje/co-je-to-zpracovatelsky-prumysl/>
- Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2010). *Operations Management*. Pearson Education Limited.
- Smith, J. G., & Lindsay, J. B. (2014). Mentoring and Coaching. In J. G. Smith & J. B. Lindsay, *Beyond Inclusion* (s. 81–99). Palgrave Macmillan US. https://doi.org/10.1057/9781137385420_7
- Smolka, D., & Papulová, Z. (2022). *Implementation of Automation and Industry 4.0 Technologies in Automotive Manufacturing Companies*. Human Interaction & Emerging Technologies (IHET 2022): Artificial Intelligence & Future Applications. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002812>
- Socconini, L. (2021). *LEAN MANUFACTURING Step by step*. Merge Books.
- Söderberg, R., Wärmefjord, K., Carlson, J. S., & Lindkvist, L. (2017). Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production. *CIRP Annals*, 66(1), 137–140. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Soltero, C., & Boutier, P. (2012). *The 7 Kata: Toyota Kata, Twi, And Lean Training*. CRC Press.
- Sony, M. (2018). Industry 4.0 and lean management: A proposed integration model and research propositions. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 416–432. <https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1540949>
- Soukup, J., Pošta, V., Neset, P., & Pavelka, T. (2022). *Makroekonomie: Moderní přístup*. Management Press.
- Srinidhi, B., & Tayi, G. K. (2004). Just in time or just in case? An explanatory model with informational and incentive effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15(7), 567–574. <https://doi.org/10.1108/17410380410555817>
- Stolarska-Szeląg, E. (2022). Gemba walk in manufacturing companies – implementation process and benefits. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Humanitas Zarządzanie*, 23(3), 63–76. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2178>
- Stone, K. B. (2012). Four decades of lean: A systematic literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 3(2), 112–132. <https://doi.org/10.1108/20401461211243702>
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system.

- International Journal of Production Research*, 15(6), 553–564.
<https://doi.org/10.1080/00207547708943149>
- Sukup, R., Doležalová, G., & Vojtěch, J. (2005). *Odvětvová a profesní struktura pracovníků ve zpracovatelském průmyslu a ostatních odvětvích v ČR v kontextu se sférou vzdělávání*. Národní ústav odborného vzdělávání.
https://www.nuov.cz/uploads/Vzdelavani_a_TP/odvetvova_a_profesni_struktura_pracovniku_05.pdf
- Sun, L., & Zhao, L. (2017). Envisioning the era of 3D printing: A conceptual model for the fashion industry. *Fashion and Textiles*, 4(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40691-017-0110-4>
- Suresh, M., Antony, J., Nair, G., & Garza-Reyes, J. A. (2023). Lean-sustainability assessment framework development: Evidence from the construction industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(15–16), 2046–2081.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2023.2222088>
- Susanty, A., Sumiyati, L., Syaiful, S., & Nihlah, Z. (2022). The impact of lean manufacturing practices on operational and business performances at SMES in the wooden furniture industry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LEAN SIX SIGMA*, 13(1), 1.
<https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2020-0124>
- Svaz průmyslu a dopravy ČR. (2024). *Průmysl v loňském roce celkově poklesl o 0,4 %*.
<https://www.spcr.cz/muze-vas-zajimat/ekonomika-v-cislech/16573-sp-cr-prumysl-v-lonskem-roce-celkove-poklesl-o-0-4>
- Sýkora, O. (2011). *Uplatnění štíhlé výroby v podniku (Disertační práce)*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta.
- Synapsis Consulting. (2024). *Zpracovatelský průmysl*. Synapsis. <http://www.synapsis.cz/dotace-eu/dotace-dle-odvetvi/zpracovatelsky-prumysl/>
- Šrom, J. (2015). *SMED analýza výrobní linky a návrhy na zlepšení pro zkrácení časů přestaveb (bakalářská práce)*. Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně.
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Ullman, J. B. (2019). *Using Multivariate Statistics*. Pearson.
- Taber, K. S. (2018). The Use of Cronbach's Alpha When Developing and Reporting Research Instruments in Science Education. *Research in Science Education*, 48(6), 1273–1296.
<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- Tahir, F., Thappar, R., & Udhas, P. (2022). *Lean Management Process of Sharing Roles and Responsibilities*. <https://doi.org/10.22541/au.166723073.31631715/v1>
- Takacs, A., Rudas, I., Bosl, D., & Haidegger, T. (2018). Highly Automated Vehicles and Self-Driving Cars [Industry Tutorial]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 25(4), 106–112. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2874301>
- Tardio Paulo, R., Nasario, M., Schaefer L, J., & Nara Elpidio, O. (2024). Industry 4.0 and Lean Manufacturing, using the MAUT Method. *Trends in Computer Science and Information Technology*, 9(2), 056–062. <https://doi.org/10.17352/tcsit.000081>
- Teece, D. J. (2018). Dynamic capabilities as (workable) management systems theory. *Journal of Management & Organization*, 24(3), 359–368. <https://doi.org/10.1017/jmo.2017.75>
- Tetteh-Caesar, M. G., Gupta, S., Salonitis, K., & Jagtap, S. (2024). Implementing Lean 4.0: A review of case studies in pharmaceutical industry transformation. *Technological Sustainability*. <https://doi.org/10.1108/TECHS-02-2024-0012>
- Tissir, S., Cherrafi, A., Chiarini, A., Elfezazi, S., & Bag, S. (2023). Lean Six Sigma and Industry 4.0 combination: Scoping review and perspectives. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(3–4), 261–290.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2043740>
- Tjahjono, B., Esplugues, C., Ares, E., & Pelaez, G. (2017). What does Industry 4.0 mean to Supply Chain? *Procedia Manufacturing*, 13, 1175–1182.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>
- Tomek, G., & Vávrová, V. (2014). *Integrované řízení výroby: Od operativního řízení výroby k dodavatelskému řetězci*. Grada.

- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 56(8), 8. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Tortorella, G. L., Giglio, R., & van Dun, D. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *INTERNATIONAL JOURNAL OF OPERATIONS & PRODUCTION MANAGEMENT*, 39(6/7/8), 6/7/8. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2019-0005>
- Tortorella, G. L., Marodin, G. A., Miorando, R., & Seidel, A. (2015). The impact of contextual variables on learning organization in firms that are implementing lean: A study in Southern Brazil. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 78(9–12), 1879–1892. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6791-1>
- Tortorella, G. L., Miorando, R., & Cawley, A. F. M. (2019). The moderating effect of Industry 4.0 on the relationship between lean supply chain management and performance improvement. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(2), 301–301. <https://doi.org/10.1108/SCM-01-2018-0041>
- Tortorella, G. L., Sawhney, R., Jurburg, D., de Paula, I., Tlapa, D., & Thurer, M. (2021). Towards the proposition of a Lean Automation framework Integrating Industry 4.0 into Lean Production. *JOURNAL OF MANUFACTURING TECHNOLOGY MANAGEMENT*, 32(3), 3. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2019-0032>
- Tortorella, G. L., Vergara, L., & Ferreira, E. (2017). Lean manufacturing implementation: An assessment method with regards to socio-technical and ergonomics practices adoption. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGY*, 89(9–12), 9–12. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9227-7>
- Tortorella, G. L., Miorando, R., Caiado, R., Nascimento, D., & Portioli Staudacher, A. (2021). The mediating effect of employees' involvement on the relationship between Industry 4.0 and operational performance improvement. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(1–2), 119–133. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1532789>
- Toyota. (2024a). *Toyota Philosophy. Toyota's founding spirit*. <https://www.toyota-europe.com/about-us/toyota-vision-and-philosophy/toyota-philosophy>
- Toyota. (2024b). *Toyota vision and philosophy Our fundamental values*. <https://www.toyota-europe.com/about-us/toyota-vision-and-philosophy>
- Trakadas, P., Nomikos, N., Michailidis, E. T., Zahariadis, T., Facca, F. M., Breitgand, D., Rizou, S., Masip, X., & Gkonis, P. (2019). Hybrid Clouds for Data-Intensive, 5G-Enabled IoT Applications: An Overview, Key Issues and Relevant Architecture. *Sensors*, 19(16), 3591. <https://doi.org/10.3390/s19163591>
- Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting: An Examination of the Psychological Situation and Defences of a Work Group in Relation to the Social Structure and Technological Content of the Work System. *Human Relations*, 4(1), 3–38. <https://doi.org/10.1177/001872675100400101>
- Tsigkas, A. C. (2013). Basic Principles of Lean Production. In A. C. Tsigkas, *The Lean Enterprise* (s. 43–47). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29402-0_5
- Türkeş, M., Oncioiu, I., Aslam, H., Marin-Pantelescu, A., Topor, D., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: A Perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), 153. <https://doi.org/10.3390/pr7030153>
- Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., & Abdou, K. (2022). Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with Intelligent Products. *Sustainability*, 14(22), 14847. <https://doi.org/10.3390/su142214847>
- Tutak, M., & Brodny, J. (2022). Business Digital Maturity in Europe and Its Implication for Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010027>

- Urban, L., Dubský, J., & Murdza, K. (2011). *Masová komunikace a veřejné mínění*. Grada Publishing.
- Uriarte, A. G., Ng, A. H. C., & Moris, M. U. (2018). Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 25, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.097>
- Vaagen, H., & Ballard, G. (2021). Lean and Flexible Project Delivery. *Applied Sciences*, 11(19), 9287. <https://doi.org/10.3390/app11199287>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A Glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Valach, J. (1999). *Finanční řízení podniku*. Ekopress.
- Valamede, L., & Akkari, A. (2020). Lean Manufacturing and Industry 4.0: A Holistic Integration Perspective in the Industrial Context. *Universidade Presbiteriana Mackenzie*, 63–68. <https://doi.org/10.1109/icitm48982.2020.9080393>
- Valamede, L. S., & Akkari, A. C. S. (2020). Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 5(5), 851–868. <https://doi.org/10.33889/IJMEMS.2020.5.5.066>
- Van Den Berg, V. A. C., & Verhoef, E. T. (2016). Autonomous cars and dynamic bottleneck congestion: The effects on capacity, value of time and preference heterogeneity. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.08.018>
- Váně, J., Kalvas, F., & Basl, J. (2021). Engineering companies and their readiness for Industry 4.0. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1072–1091. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2020-0318>
- Vaněček, D., & Pech, M. (2019). *Operační management*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta.
- Vaněček, D., Sýkora, O., Pražáková, J., Štípek, V., & Kubíček, R. (2013). *Štíhlá výroba*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Ekonomická fakulta.
- Varela, L., Araújo, A., Avila, P., Castro, H., & Putnik, G. (2019). Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *SUSTAINABILITY*, 11(5), 5. <https://doi.org/10.3390/su11051439>
- VDMA, IW Consult, & FIR at RWTH Aachen. (2023). *Industry 4.0 Readiness Online Self-Check for Businesses*. <https://www.industrie40-readiness.de/>
- Veber, J. & et al. (2016). *Management inovací*. Management Press.
- Vebrová, J., & Krajíček, T. (ed.). (2006). *Slovník cizích slov*. Plot.
- Velanganny, P., Jusoh, M. S., Yusuf, D. H. M., & Din, M. S. H. (2021). *Detecting and eliminating non-coating problems in negative photo resist (NPR) industry: A kaizen approach*. 020202. <https://doi.org/10.1063/5.0055620>
- Ventura-León, J., & Peña-Calero, B. N. (2020). The world should not revolve around Cronbach's alpha $\geq .70$. *Adicciones*, 33(4), 369. <https://doi.org/10.20882/adicciones.1576>
- Veza, I., Mladineo, M., & Peko, I. (2015). *Analysis of the Current State of Croatian Manufacturing Industry with regard to Industry 4.0*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>
- Vezzetti, E. (2009). Product lifecycle data sharing and visualisation: Web-based approaches. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 41(5–6), 613–630. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1503-8>
- Vilkas, M., Rauleckas, R., Šeinauskienė, B., & Rutelionė, A. (2021). Lean, Agile and Service-oriented performers: Templates of organising in a global production field. *Total Quality Management & Business Excellence*, 32(9–10), 1122–1146. <https://doi.org/10.1080/14783363.2019.1676639>
- Vinodh, S. (2023). *Lean Manufacturing. Fundamentals, Tools, Approaches, and Industry 4.0 Integration*. CRC Press, Taylor and Francis Group.

- Vinodh, S., Arvind, K. R., & Somanaathan, M. (2011). Tools and techniques for enabling sustainability through lean initiatives. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(3), 469–479. <https://doi.org/10.1007/s10098-010-0329-x>
- Voulgaridis, K., Lagkas, T., & Sarigiannidis, P. (2022). Towards Industry 5.0 and Digital Circular Economy: Current Research and Application Trends. *2022 18th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 153–158. <https://doi.org/10.1109/DCOSS54816.2022.00037>
- Vrchota, J., & Pech, M. (2019). Readiness of Enterprises in Czech Republic to Implement Industry 4.0: Index of Industry 4.0. *Applied Sciences*, 9(24), 5405. <https://doi.org/10.3390/app9245405>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. In M. Tseng, H. Tsai, & Y. Wang (Ed.), *Braunschweig University of Technology* (WOS:000418465500021; Roč. 63, s. 125–131). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- Wahba, G. (1990). *Spline Models for Observational Data*. SIAM.
- Waheed, A., Alharthi, M., Khan, S. Z., & Usman, M. (2022). Role of Industry 5.0 in leveraging the Business Performance: Investigating Impact of Shared-Economy on Firms' Performance with Intervening Role of i5.0 Technologies. *SAGE Open*, 12(2), 215824402210946. <https://doi.org/10.1177/21582440221094608>
- Wai Yie Leong, Joon Huang Chuah, & Boon Tuan Tee (Ed.). (2020). *The Nine Pillars of Technologies for Industry 4.0*. Institution of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1049/PBTE088E>
- Waite, M. (2013). *Oxford English Dictionary*. Oxford University Press.
- Wand, M. P., & Jones, M. C. (1995). *Kernel Smoothing*. Chapman and Hall.
- Wankhede, V. A., Vinodh, S., & Antony, J. (2024). Empirical analysis of key operational characteristics of lean six sigma and Industry 4.0 integration. *The TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2023-0033>
- Wasserman, L. (2006). *All of nonparametric statistics*. Springer.
- Wessling, B. (2024). *IFR: World sets record for operational robots in 2022*. IFR. <https://www.therobotreport.com/ifr-world-sets-record-for-operational-robots-in-2022/>
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- Wikner, J. (2018). An ontology for flow thinking based on decoupling points – unravelling a control logic for lean thinking. *Production & Manufacturing Research*, 6(1), 433–469. <https://doi.org/10.1080/21693277.2018.1528904>
- Wilson, L. (2010). *How to Implement Lean Manufacturing*. McGraw Hill.
- Womack, J. P., & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.
- Womack, J. P., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production, Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1994). From Lean Production to the Lean Enterprise. *Harvard Business Review*, 72(2), 2.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean Thinking—Banish Waste and Create Wealth in your Corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148–1148. <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking*. Free Press.
- Woods, J., Galbraith, B., & Hewitt-Dundas, N. (2022). Network Centrality and Open Innovation: A Social Network Analysis of an SME Manufacturing Cluster. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(2), 351–364. <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2934765>
- Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(1), 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.07.002>

- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 530–535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>
- Yáñez, F. (2017). *The 20 key Technologies of Industry 4.0 and Smart Factories. The Road to the Digital Factory of the Future*. Independently published.
- Yilmaz, A., Dora, M., Hezarkhani, B., & Kumar, M. (2022). Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, *175*, 121320. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121320>
- Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, *56*(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- Zayati, A., Biennier, F., Moalla, M., & Badr, Y. (2012). Towards lean service bus architecture for industrial integration infrastructure and pull manufacturing strategies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *23*(1), 125–139. <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0401-8>
- Żebrucki, Z., & Kruczek, M. (2018). The conditions for the implementation of the lean management concept in the SME sector. *Scientific Papers of Silesian University of Technology. Organization and Management Series*, *2018*(120), 257–272. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2018.120.21>
- Zhao, F. L., Tso, S. K., & Wu, P. S. Y. (2000). A cooperative agent modelling approach for process planning. *Computers in Industry*, *41*(1), 83–97. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(99\)00012-3](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(99)00012-3)
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *59*(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, *3*(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
- Zoubek, M., Simon, M., & Poor, P. (2022). Overall Readiness of Logistics 4.0: A Comparative Study of Automotive, Manufacturing, and Electronics Industries in the West Bohemian Region (Czech Republic). *Applied Sciences*, *12*(15), 7789. <https://doi.org/10.3390/app12157789>

11 Seznam obrázků, tabulek a příloh

11.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Podíl zpracovatelského průmyslu na HDP (1991-2022).....	7
Obrázek 2 Podíl odvětví na přidané hodnotě zpracovatelského průmyslu (%).....	8
Obrázek 3 Pozice odvětví v rámci zpracovatelského průmyslu v roce 2022	9
Obrázek 4 Vývoj PMI indexu v České republice	11
Obrázek 5 Využívání technologií v České republice (2021-2022).....	14
Obrázek 6 Kondratěvovy cykly a průmyslové revoluce.....	22
Obrázek 7 Dvojitá „S“ křivka změn	23
Obrázek 8 Technologie Průmyslu 4.0.....	31
Obrázek 9 Standard ISA-95	32
Obrázek 10 Vztah mezi principy, metodami a nástroji štihlé výroby	45
Obrázek 11 Filozofie Toyoty	46
Obrázek 12 Dům štihlosti	47
Obrázek 13 Kata štihlé výroby	48
Obrázek 14 Vysvětlení metody 3MU (Muri, Mura a Muda).....	51
Obrázek 15 Tradiční a rovnoměrný výrobní program	62
Obrázek 16 Koncept Lean 4.0	70
Obrázek 17 Postup zavádění Lean 4.0	75
Obrázek 18 Vazby mezi výzkumnými otázkami, dílčími cíli a hypotézami	85
Obrázek 19 Vyhodnocení strategického zaměření pro Průmysl 4.0.....	98
Obrázek 20 Vyhodnocení implementace Průmyslu 4.0 (v %).....	99
Obrázek 21 Vyhodnocení digitalizace procesů (v %)	101
Obrázek 22 Vyhodnocení digitalizace životního cyklu (v %).....	101
Obrázek 23 Vyhodnocení integrace systémů.....	102
Obrázek 24 Vyhodnocení automatizace a robotizace.....	103
Obrázek 25 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0.....	104
Obrázek 26 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0 dle velikosti.....	106
Obrázek 27 Souhrnné hodnocení procesních oblastí Průmyslu 4.0 dle odvětví.....	107
Obrázek 28 Relativní četnosti technologií Průmyslu 4.0 (v %)	115
Obrázek 29 Technologie Průmyslu 4.0 podle velikosti podniků.....	116

Obrázek 30 Nejvíce implementované technologie Průmyslu 4.0 podle odvětví.....	119
Obrázek 31 Vyhodnocení strategického zaměření na štihlou výrobu	127
Obrázek 32 Vyhodnocení sebe-hodnocení implementace štihlé výroby (v %).....	128
Obrázek 33 Relativní četnosti principů štihlé výroby	130
Obrázek 34 Nejvíce osvojené principy štihlé výroby podle velikosti podniků	131
Obrázek 35 Nejvíce osvojené principy štihlé výroby podle odvětví	134
Obrázek 36 Relativní četnosti metod štihlé výroby	137
Obrázek 37 Nejvíce implementované metody štihlé výroby podle velikosti podniku .	139
Obrázek 38 Nejvíce implementované metody štihlé výroby podle odvětví.....	141
Obrázek 39 Výsledky korespondenční analýzy pro technologie Průmyslu 4.0	151
Obrázek 40 Výsledky korespondenční analýzy pro metody štihlé výroby	152
Obrázek 41 Výsledky korespondenční analýzy pro metody a technologie	153
Obrázek 42 Vztah indexů technologií Průmyslu 4.0 a štihlé výroby	157
Obrázek 43 Hodnocení vlivu velikosti podniků na indexy SV4 a PI4	158
Obrázek 44 Hodnocení vlivu odvětví podniků na indexy SV4 a PI4.....	158
Obrázek 45 Shluky podle velikosti podniků.....	171
Obrázek 46 Ostatní charakteristiky shluků	172
Obrázek 47 Dopady implementace štihlé výroby a Průmyslu 4.0 na produktivitu	179
Obrázek 48 Sjednocující model Lean 4.0	185
Obrázek 49 Korelační vazby řízení kvality na moderní technologie.....	187
Obrázek 50 Korelační vazby flexibilní a statistické řízení na technologie.....	188
Obrázek 51 Korelační vazby řízení bezpečnosti a rizik na moderní technologie.....	189
Obrázek 52 Korelační vazby optimalizace výroby na moderní technologie	191

11.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Koncepce Průmysl 4.0 celosvětově	26
Tabulka 2 Charakteristika výzkumného vzorku 1	88
Tabulka 3 Charakteristika výzkumného vzorku 2 s finančními údaji	89
Tabulka 4 Metodika výpočtu finančních ukazatelů	97
Tabulka 5 Spolehlivost (reliabilita) položek dotazníku	100
Tabulka 6 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro „digitalizaci procesů“	109
Tabulka 7 Post-Hoc testy pro „digitalizaci procesů“	109

Tabulka 8 Analýza rozptylu pro „digitalizaci životního cyklu“	110
Tabulka 9 Post-Hoc testy pro „digitalizaci životního cyklu“ (n = 507)	111
Tabulka 10 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro „integraci systémů“	111
Tabulka 11 Post-Hoc testy pro „integraci systémů“	112
Tabulka 12 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro oblast „robotizace“	113
Tabulka 13 Post-Hoc testy pro oblast „robotizace a automatizace“	113
Tabulka 14 Kruskal-Wallisův test technologií Průmyslu 4.0 podle velikosti podniku	118
Tabulka 15 Kruskal-Wallisův test technologií Průmyslu 4.0 podle odvětví podniku..	120
Tabulka 16 Extrakce hlavních komponent k technologiím Průmyslu 4.0.....	122
Tabulka 17 Faktorové zátěže k technologiím Průmyslu 4.0.....	122
Tabulka 18 Analýza rozptylu pro souhrnný index PI4	126
Tabulka 19 Post-Hoc testy pro souhrnný index PI4	126
Tabulka 20 Kruskal-Wallisův test principů štihlé výroby k porovnání podle velikosti	132
Tabulka 21 Kruskal-Wallisův test principů štihlé výroby podle odvětví	135
Tabulka 22 Kruskal-Wallisův test metod štihlé výroby podle velikosti podniku.....	140
Tabulka 23 Kruskal-Wallisův test metod štihlé výroby k porovnání podle odvětví	142
Tabulka 24 Extrakce hlavních komponent a vlastní čísla k metodám Štihlé výroby ...	144
Tabulka 25 Faktorové zátěže k metodám štihlé výroby	145
Tabulka 26 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro souhrnný index SV4.....	148
Tabulka 27 Post-Hoc testy pro index SV4.....	149
Tabulka 28 Korelační analýza mezi metodami štihlé výroby a technologiemi.....	155
Tabulka 29 Modely zaměřené na vliv SV4 na PI4	160
Tabulka 30 Modely zaměřené na vliv PI4 na SV4	161
Tabulka 31 Popisné statistiky finančních ukazatelů	167
Tabulka 32 Kruskal-Wallisova ANOVA pro finanční ukazatele	168
Tabulka 33 Korelace technologií Průmyslu 4.0 s finančními ukazateli	170
Tabulka 34 Korelace metod štihlé výroby s finančními ukazateli.....	170
Tabulka 35 Korelační analýza vztahu indexů SV4 a PI4 s finančními ukazateli.....	171
Tabulka 36 Porovnání skupin podniků podle finanční výkonnosti	174
Tabulka 37 Shrnutí výsledků statistických analýz podle velikosti podniku.....	180
Tabulka 38 Rekapitulace výsledků statistických analýz podle odvětví podniku.....	182
Tabulka 39 Spearmanovy korelační koeficienty vztahu indexů PI4 a SV4	186

11.3 Seznam příloh

Příloha 1 – Dotazník

Příloha 2 – Strukturovaný rozhovor

Příloha 3 – Doplnkové neparametrické statistické testy (Hypotéza 2)

Příloha 4 – Testy normality pro a) technologie; b) principy; c) metody; d) finanční ukazatele

Příloha 5 – Post-hoc testy pro technologie (hypotéza 5 a 6) pro a) velikost; b) odvětví

Příloha 6 – Sutinový graf pro a) technologie; b) metody

Příloha 7 – Předpoklady normality a homoskedasticity pro a) index PI4; b) index SV4

Příloha 8 – Doplnkové neparametrické statistické testy pro index PI4 (hypotéza 7)

Příloha 9 – Post-hoc testy pro principy (hypotéza 8 a 9) pro a) velikost; b) odvětví

Příloha 10 – Post-hoc testy pro principy (hypotéza 10 a 11) pro a) velikost; b) odvětví

Příloha 11 – Korespondenční tabulka

Příloha 12 – Spearmanovi korelační koeficienty

Příloha 13 – Vizualizace regresních modelů vlivu a) SV4 na PI4; b) PI4 na SV4

Příloha 14 – Přepis strukturovaných rozhovorů

Příloha 1

DOTAZNÍK

Číslo:.....(nevyplňovat)

CHARAKTERISTIKY PODNIKU

Název podniku

IČO

.....

Sídlo podniku (místo, okres)

Jsme v jisté podobě součástí zahraniční firmy (zakroužkujte)

ANO

NE

Zařad'te zvolený výrobní podnik dle převažujících činností do odpovídající kategorie (zaškrtněte):

- a) strojírenská výroba (převážně kovové výrobky, konstrukce, stroje, zařízení, součástky)
- b) elektrotechnická výroba (počítače, elektrická zařízení a el. součástky aj.)
- c) výroba potravinářského zboží
- d) výroba výrobků pro domácí spotřebu (nábytek, oděvy, doplňky, sportovní potřeby...)
- e) papírenská výroba, chemicko-technologická výroba, výroba nekovových výrobků, plastů

Uveďte hlavní charakteristické výrobky podniku:

.....

Počet pracovníků v podniku: (u mezinárodních společností pouze ve zkoumané části):

.....

1. Strategie

Máte v podniku písemně formulovanou strategii?

ANO

NE

Je Průmysl 4.0 součástí strategie vaší organizace?

ANO

NE

Je štihlá výroba součástí vaší strategie?

ANO

NE

Je udržitelnost součástí strategie vaší organizace?

ANO

NE

2. Průmysl 4.0 a nové technologie

2.1 Posuďte svou organizaci z hlediska implementace Průmyslu 4.0.

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (malý) do 5 (velký).

	1	2	3	4	5
2.1a Plánujete v budoucnu zavádět koncepci Průmyslu 4.0 ve vaší organizaci?					
2.1b Zařadili byste se mezi firmy využívající Průmysl 4.0?					
2.1c Jaká je priorita Průmyslu 4.0 u vedení vaší organizaci?					

2.2 Jaké moderní technologie v organizaci využíváte, nebo plánujete zavádět v dalším roce?

Zakřížkujte v případě, že souhlasíte (výběr jedné z možností, škála 0-3)

	Nemáme	Zavádíme	Máme částečně zavedeno	Máme, funguje skvěle
2.2a IT infrastruktura (rychlost, stabilita)				
2.2b Informační systémy (např. ERP, MES)				
2.2c Máme propojená data (M2M)				
2.2d Využíváme snímače a senzory				
2.2e Máme vhodné lidi (mechatronik, seřizovač, technolog)				
2.2f Mobilní koncová zařízení (tablety, mobily, HMI)				
2.2g Využíváme robotů, robotických paží				
2.2h Sbíráme data				
2.2i Skladujeme data v Cloudu				
2.2j Analyzujeme data				
2.2k Využíváme učící software (machine learning)				
2.2l Dodavatelé mohou využívat naše data (možnosti reakce, predikce)				
2.2m Využíváme virtuální reality (simulace, digitální dvojčata)				
2.2n Využíváme 3D tisk (aditivní výroba)				
2.2o Používáme autonomní vozidla (bez řidiče, vozíky)				
2.2p RFID (radiofrekvenční identifikace)				
2.2q Využíváme nanotechnologií (nové materiály)				

2.3 Jaká je úroveň digitalizace ve vaší organizaci?

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (málo) do 5 (hodně).

	1	2	3	4	5
2.3a Jsme propojeni se zákazníky / odběrateli a procesy probíhají elektronicky					
2.3b Jsme propojeni s dodavateli a procesy probíhají elektronicky					
2.3c Organizační oddělení jsou propojeny a procesy probíhají elektronicky					
2.3d Výpočetní technika (IT) podporuje automatické provádění procesů					
2.3e V organizaci je digitalizována administrativa					

2.4 Úroveň digitalizace životního cyklu výrobku

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (málo) do 5 (hodně).

	1	2	3	4	5
2.4a Navrhujeme nové výrobky a digitalizován je proces jejich návrhu					
2.4b Digitalizován je proces plánování výroby					
2.4c Digitalizováno je vlastní řízení výroby					
2.4d Digitalizovány jsou i některé služby					
2.4e Zákazník si může flexibilně individuálně přizpůsobit produkt					

2.5 Jaká je úroveň integrace systémů?

Uveďte míru integrace systémů od 1 (málo) do 5 (hodně).

	1	2	3	4	5
2.5a Počítačové databáze získávají data z chytrých zařízení					
2.5b Stroje, roboty a zařízení jsou kontrolovány a řízeny přes IT systémy					
2.5c Stroje a zařízení vzájemně komunikují mezi sebou (M2M)					
2.5d Stroje a zařízení komunikují prostřednictvím internetu (IoT – internet věcí)					
2.5e Systémy, zařízení, stroje jsou řízeny autonomně (umělá inteligence)					

2.6 Jaká je úroveň robotizace a automatizace ve vaší organizaci?

Uveďte míru využívání daných typů robotů od 1 (málo) do 5 (hodně).

	1	2	3	4	5
2.6a Úroveň využívání manuálních procesů					
2.6b Robotizace na kolaborativní úrovni (spolupráce robota a člověka)					
2.6c Plná úroveň automatizace a robotizace					
2.6d Procesy využívající umělou inteligenci a strojové učení					
2.6e Plně inteligentní a automatické procesy (chytrá továrna)					

3. Štíhlá výroba

3.1 Posuďte svou organizaci z hlediska implementace štíhlé výroby.

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (malý) do 5 (velký).

	1	2	3	4	5
3.1a Plánujete v budoucnu zavádět štíhlou výrobu ve vaší organizaci?					
3.1b Zařadili byste se mezi firmy využívající štíhlou výrobu?					
3.1c Jaká je prioritou štíhlé výroby u vedení vaší organizaci?					

3.2 Jaké principy štíhlé výroby jsou v organizaci podporovány?

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (malý) do 5 (velký).

	1	2	3	4	5
3.2a Princip snižování ztrát (koncepte MUDA)					
3.2b Princip flexibility (výroba šitá na míru)					
3.2c Princip plynulého toku (continuous flow)					
3.2d Princip standardizace (normování)					
3.2e Princip vizualizace (orientace, vizuální kontrola)					
3.2f Princip tahu (pull princip)					
3.2g Princip transparentnosti (přehlednost, sdílení)					
3.2h Princip zaměření na procesy (využívání procesního managementu)					
3.2i Princip neustálého zlepšování (PDCA nebo DMAIC cyklus)					
3.2j Princip zaškolování formou mentoringu					
3.2k Princip koučování (coaching)					
3.2l Princip nepřetržitého a systematického řešení problémů (např. 5x WHYS)					
3.2m Princip podpory týmové práce					
3.2n Princip bezpečnostní zásady součástí pracovních postupů					

3.2o Princip učící se organizace (best practices)					
3.2p Princip osobní zodpovědnosti					
3.2q Princip usilování o dokonalost					
3.2r Princip zapojení zaměstnanců (empowerment)					
3.2s Princip rozvoje a zpětné vazby dodavatelů					
3.2t Princip oddělení lidí a strojů (person-machine separation)					
3.2u Princip respektu k zaměstnancům					
3.2v Princip dlouhodobého zaměření (strategie, plánování na delší horizont)					
3.2w Princip zaměření na příčiny problémů (Genchi Genbutsu)					
3.2x Princip zaměření na zákazníka (přidaná hodnota)					
3.2y Princip zapojení a integrace zákazníka (do procesu návrhu, výroby ...)					
3.2z Princip vyrovnávání pracovního zatížení (Worklead balance)					

3.3 Jaké metody štihlé výroby v organizaci využíváte, nebo plánujete zavádět příští rok?

Zakřížkujte v případě, že souhlasíte
(výběr jedné z možností, škála 0-3)

	Nemáme	Zavádíme	Máme částečně zavedeno	Máme, funguje skvěle
3.3a Využívání metody přidané hodnoty (VSM)				
3.3b Statistické řízení procesů (diagramy, Six Sigma)				
3.3c Vyrovnávání zatížení výroby (heijunka, nivelizace)				
3.3d Just in Time (JIT)				
3.3e Kanban karty				
3.3f Supermarket (dočasný mezisklad u výrobní linky)				
3.3g Metoda 5S (standardizace pořádku na pracovišti)				
3.3h Úplná/totální výrobní údržba (TPM)				
3.3i Andon (tabule s plánem výroby)				
3.3j Milkrun (systém zásobování mezi sklady a výrobní linkou)				
3.3k Rychlé přeseřízení výrobní linky na jiný výrobní program (SMED)				
3.3l Systém POKA-YOKE (nástroj vyvarování chyb; průběh procesů uzpůsoben tak, aby bylo možné operaci provést pouze jedním způsobem / např. spojení dílů)				
3.3m Záchranná brzda (stop tlačítko na lince)				
3.3n HANEDASHI (třetí ruka, automatické umístění vstupních/hotových dílů do požadované pozice)				
3.3o CHAKU-CHAKU (tokově uspořádaný layout/design výrobní linky do tvaru U)				
3.3p JIDOKA (vybavení automatickými systémy, které detekují či kontrolují chyby ve výrobě)				
3.3q Gemba Walk (průzkumné procházky po pracovišti)				

s cílem odhalit plýtvání, problémy)				
3.3r Vizuálně speciálně označené zóny na pracovišti				
3.3s Využití výrobního taktu ve výrobě				
3.3t Buňkové uspořádání výroby (pracoviště)				
3.3u Tok jednoho kusu ve výrobě (= ideál / výroba v malých dávkách)				

3.4 Jaké doplňkové koncepce v organizaci využíváte, nebo plánujete zavádět v dalším roce?

Zakřížkujte v případě, že souhlasíte (výběr jedné z možností, škála 0-3)

	Nemáme	Zavádíme	Máme částečně zavedeno	Máme, funguje skvěle
3.4a Koncepce TQM (řízení kvality)				
3.4b Koncepce KAIZEN (kontinuální zlepšování)				
3.4c Systém managementu kvality ISO 9001				
3.4d Six Sigma (zlepšování procesů vedoucí k poklesu zmetkovosti na 0,0003%)				
3.4e Klíčové indikátory výkonnosti (KPI)				

3.5 Ve snaze snižovat ztráty se někdy využívá japonská metoda MUDA, kde jsou všechny druhy ztrát rozděleny do různých skupin. Uveďte, na které druhy ztrát se převážně zaměřujete?

Uveďte míru souhlasu s tvrzeními od 1 (malý) do 5 (velký).

	1	2	3	4	5
3.5a Ztráta nadprodukcí (zbytečná výroba)					
3.5b Ztráty v nadměrných zásobách surovin					
3.5c Ztráty v důsledku oprav zmetků					
3.5d Ztráty způsobené zbytečnými pohyby					
3.5e Ztráty při výrobě (např. velký odpad materiálu)					
3.5f Ztráty čekáním – při špatné organizaci práce					
3.5g Ztráty v dopravě (poškození, zbytečné převážení)					
3.5h Ztráty nevyužitím kvalifikace pracovníků					

Příloha 2

Strukturovaný rozhovor

1. Jak vidíte vývoj nových technologií ve vaší oblasti a jaký vliv mají na vaši organizaci?
2. Které nové technologie související s Průmyslem 4.0 jste zavedli v minulém roce nebo které plánujete do budoucna?
3. Můžete popsat situaci, kdy bylo možné využít technologii k odstranění plýtvání ve výrobě?
4. S kterými druhy plýtvání máte podle vás největší problémy?
5. Plánujete v budoucnu zavedení umělé inteligence do stávajících obchodních procesů a business modelu ve vaší organizaci?
6. Jak přistupujete k lidské stránce zavádění technologií, abyste zajistili hladký přechod a souhlas zúčastněných stran?
7. Jaké využíváte metody štíhle výroby: kanban karty, Kaizen zlepšování, zařízení pro detekci chyb, Just in Time dodávky, vizualizační prvky (obrazovky, barevné značení atd.), vyrovnavání zatížení (heijunka), pravidelné doplňování materiálu, záchranou brzdu, rychlé přeseřízení strojů, preventivní údržba atd.
8. Mají ve vaší firmě tyto metody podle vašeho názoru možnosti uplatnění a proč?
9. Mohli byste uvést faktory, které mají vliv u vás v organizaci na rozhodnutí o využití nové technologie do praxe?
10. Můžete se podělit o příklad specifických metrik nebo KPIs (klíčových ukazatelů výkonnosti), které používáte k hodnocení vlivu technologií na vaši organizaci?

Příloha 3

Doplňkové statistické testy (Hypotéza H₂)

pro kapitolu 5.2.6 Vliv velikosti a odvětví na Digitalizaci životního cyklu

Výsledky neparametrických testů (pro srovnání)

DV: FAC1t - non-parametric

Data (n) = 511

D = 0.999

Tabulka 40 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro „digitalizaci životního cyklu“

	Df	Suma čtverců	H	p	Sign.
Obor	4	162047.000	7.299	0.121	
Velikost	3	785311.000	35.375	0.000	***
Obor : velikost	12	258906.000	11.663	0.473	
Rezidua	497	10206037.000			

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 4

Shapiro-Wilkův Test normality

a) Pro technologie

Tabulka 41 Výsledky Shapiro-Wilkova Testu normality pro technologie

Proměnná	<i>W</i>	<i>p</i>
IT infrastruktura	0,777	0,000
Informační systémy	0,774	0,000
Propojená data (M2M a IoT)	0,797	0,000
Roboty, robotické paže	0,702	0,000
Mobilní koncová zařízení	0,828	0,000
Snímače a senzory	0,807	0,000
Kvalifikovaní lidé	0,801	0,000
Sběr dat (Big Data)	0,817	0,000
Skladování dat v Cloudu	0,764	0,000
Analýza dat (BDA)	0,822	0,000
Učící software a umělá inteligence	0,654	0,000
Sdílení dat s dodavateli	0,655	0,000
Virtuální realita, digitální dvojčata	0,565	0,000
Autonomní vozidla	0,399	0,000
Aditivní výroba (3D tisk)	0,668	0,000
Nanotechnologie	0,598	0,000
Radiofrekvenční identifikace	0,579	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

b) Principy štihlé výroby

Tabulka 42 Výsledky Shapiro-Wilkova Testu normality pro principy

Proměnná	<i>W</i>	<i>p</i>
Muda	0,846	0,000
Flexibilita	0,872	0,000
Plynulý tok	0,866	0,000
Standardizace	0,870	0,000
Vizualizace	0,863	0,000
Princip tahu	0,812	0,000
Transparentnost	0,876	0,000
Procesní zaměření	0,867	0,000
PDCA	0,848	0,000
Mentoring	0,863	0,000
Coaching	0,835	0,000

Řešení problémů	0,812	0,000
Týmová práce	0,883	0,000
Bezpečnostní zásady	0,859	0,000
Učící organizace	0,859	0,000
Osobní zodpovědnost	0,873	0,000
Usilování pro dokonalost	0,888	0,000
Empowerment	0,885	0,000
Rozvoj zpětné vazby	0,889	0,000
Oddělení lidí a strojů	0,814	0,000
Respekt k zaměstnancům	0,836	0,000
Dlouhodobé zaměření	0,872	0,000
Příčiny problémů	0,875	0,000
Zaměření na zákazníka (přidaná hodnota)	0,829	0,000
Integrace zákazníka	0,879	0,000
Vyrovňávání pracovního zařízení	0,868	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

c) Pro metody štlhlé výroby

Tabulka 43 Výsledky Shapiro-Wilkova Testu normality pro metody

Proměnná	<i>W</i>	<i>p</i>
TQM	0,775	0,000
Kaizen	0,762	0,000
ISO 90001	0,741	0,000
Six Sigma	0,685	0,000
KPI	0,753	0,000
VSM	0,709	0,000
Statistické metody	0,702	0,000
Heijunka	0,681	0,000
JIT	0,748	0,000
Kanban	0,592	0,000
Supermarket	0,718	0,000
5S	0,806	0,000
TPM	0,782	0,000
Andon	0,774	0,000
Milkrun	0,676	0,000
SMED	0,739	0,000
Poka-yoke	0,681	0,000
Záchranná brzda	0,727	0,000
Hanedashi	0,567	0,000
Chaku-chaku	0,578	0,000
Jidoka	0,633	0,000
Gemba walk	0,789	0,000

Vizualizace	0,795	0,000
Výrobní takt	0,752	0,000
Buňková výroba	0,773	0,000
Tok jednoho kusu	0,783	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

d) Pro indexy SV4 a PI4

Tabulka 44 Výsledky Shapiro-Wilkova Testu normality pro indexy SV4 a PI4

Proměnná	<i>N</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
SV4	517	0,981	0,000
PI4	517	0,905	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

e) Pro finanční ukazatele

Tabulka 45 Výsledky Shapiro-Wilkova Testu normality pro finanční ukazatele

Proměnná	<i>N</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
Zadlužení	245	0,780	0,000
ROE	245	0,192	0,000
ROA	245	0,808	0,000
ROCE	245	0,765	0,000
ROS	244	0,882	0,000
Nákladovost	245	0,913	0,000
ROI	245	0,619	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 5

Doplňkové statistické testy (Hypotéza H₅)

pro kapitolu 5.3.2 Vliv velikosti a odvětví na využívání technologií

Tabulka 46 Post-hoc testy technologií Průmyslu 4.0 podle velikosti podniku

Technologie	Skupiny	z	p	Sig.
IT infrastruktura	mikro – střední	4,536	0,000	***
	mikro – velký	5,685	0,000	***
	malý – střední	2,793	0,031	*
	malý – velký	4,276	0,000	***
Informační systémy	mikro – střední	6,304	0,000	***
	mikro – velký	7,164	0,000	***
	malý – střední	5,202	0,000	***
	malý – velký	6,223	0,000	***
Propojená data (M2M a IoT)	mikro – střední	4,688	0,000	***
	mikro – velký	6,948	0,000	***
	malý – střední	2,737	0,037	*
	malý – velký	5,559	0,000	***
	střední – velký	3,084	0,012	*
Roboty, robotické paže	mikro – střední	4,331	0,000	***
	mikro – velký	8,100	0,000	***
	malý – střední	3,555	0,002	**
	malý – velký	8,023	0,000	***
	střední – velký	4,785	0,000	***
Snímače a senzory	mikro – střední	4,039	0,000	***
	mikro – velký	5,774	0,000	***
	malý – střední	3,466	0,003	**
	malý – velký	5,504	0,000	***
Kvalifikovaní lidé	mikro – střední	3,230	0,007	**
	mikro – velký	5,751	0,000	***
	malý – velký	5,162	0,000	***
	střední – velký	3,235	0,007	**
Sběr dat (Big Data)	mikro – střední	3,808	0,001	**
	mikro – velký	5,016	0,000	***
	malý – velký	3,768	0,001	**
Skladování dat v Cloudu	mikro – velký	4,048	0,000	***
	malý – velký	4,335	0,000	***
Analýza dat (BDA)	mikro – střední	3,134	0,010	*
	mikro – velký	3,956	0,000	***

	malý – střední	3,038	0,014	*
	malý – velký	3,955	0,000	***
Učící software a umělá inteligence	mikro – střední	2,936	0,020	*
	mikro – velký	4,377	0,000	***
	malý – velký	3,947	0,000	***
Sdílení dat s dodavateli	mikro – velký	4,718	0,000	***
	malý – velký	5,405	0,000	***
	střední – velký	3,443	0,003	**
Virtuální realita, digitální dvojčata	mikro – velký	2,715	0,040	*
Autonomní vozidla	mikro – velký	3,250	0,007	**
	malý – velký	2,783	0,032	*
Aditivní výroba (3D tisk)	mikro – velký	3,019	0,015	*
	malý – velký	3,772	0,001	**
Nanotechnologie	malý – velký	3,161	0,009	**
Radiofrekvenční identifikace	mikro – velký	4,548	0,000	***
	malý – velký	4,268	0,000	***

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 47 Post-hoc testy technologií Průmyslu 4.0 podle odvětví podniku

Technologie	Skupiny	<i>z</i>	<i>p</i>	Sig.
IT infrastruktura	strojírenská - elektrotechnická výroba	3,039	0,024	*
	elektrotechnická výroba - potravinářství	3,998	0,001	**
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,530	0,004	**
Propojená data (M2M a IoT)	strojírenství - výroba pro domácí spotřebu	2,914	0,036	*
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,823	0,048	*
Roboty, robotické paže	strojírenství - výroba pro domácí spotřebu	3,521	0,004	**
	nekov, plast, chem. výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,306	0,009	**
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,230	0,012	*
Snímače a senzory	strojírenství - výroba pro domácí spotřebu	3,070	0,021	*
	nekov, plast, chem. výroba - výroba pro domácí spotřebu	4,260	0,000	***
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,447	0,006	**
Kvalifikovaní lidé	strojírenství - výroba pro domácí spotřebu	3,242	0,012	*
Sběr dat (Big Data)	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,986	0,028	*
Aditivní výroba (3D tisk)	strojírenská - elektrotechnická výroba	3,462	0,005	**
	nekov, plast, chem. výroba - elektrotechnická výroba	3,905	0,001	**
	elektrotechnická výroba - potravinářství	4,701	0,000	***
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	4,324	0,000	***
Radiofrekvenční identifikace	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,982	0,029	*

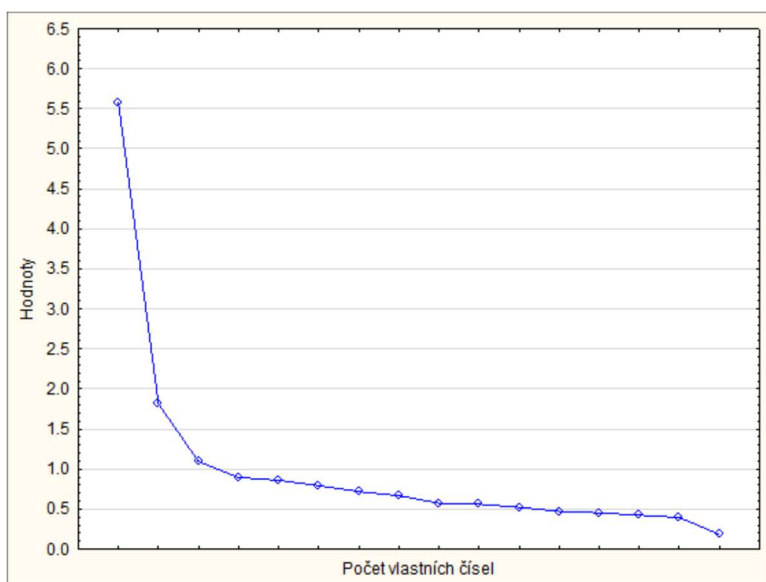
Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 6

Sutinový graf explorační faktorové analýzy pro:

a) technologie

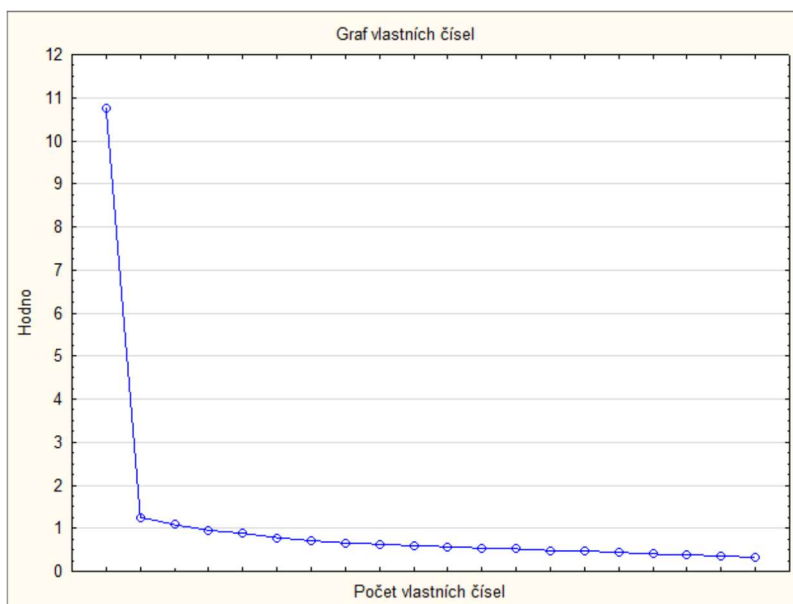
Obrázek 53 Sutinový graf pro technologie Průmyslu 4.0



Zdroj: vlastní zpracování

b) metody štihlé výroby

Obrázek 54 Sutinový graf pro metody štihlé výroby



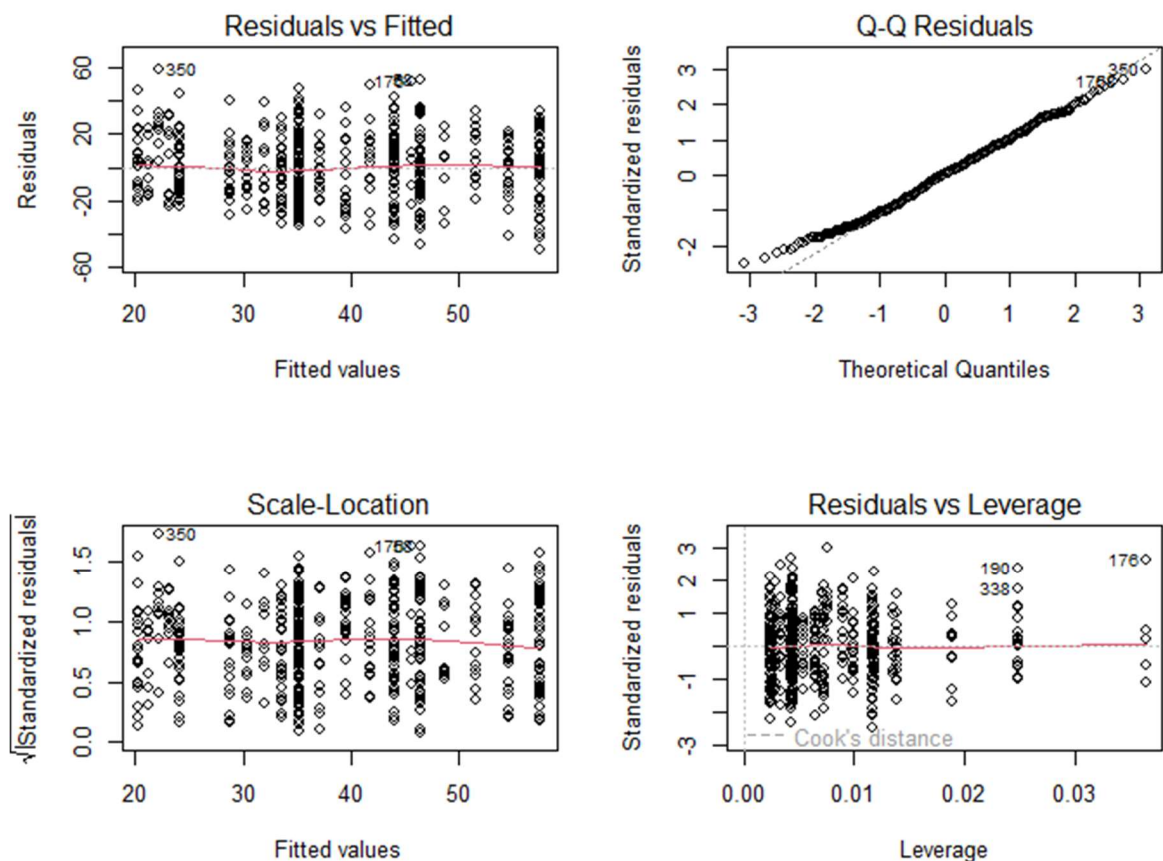
Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 7

Hodnocení předpokladů normality a homoskedasticity pro:

a) Index PI4

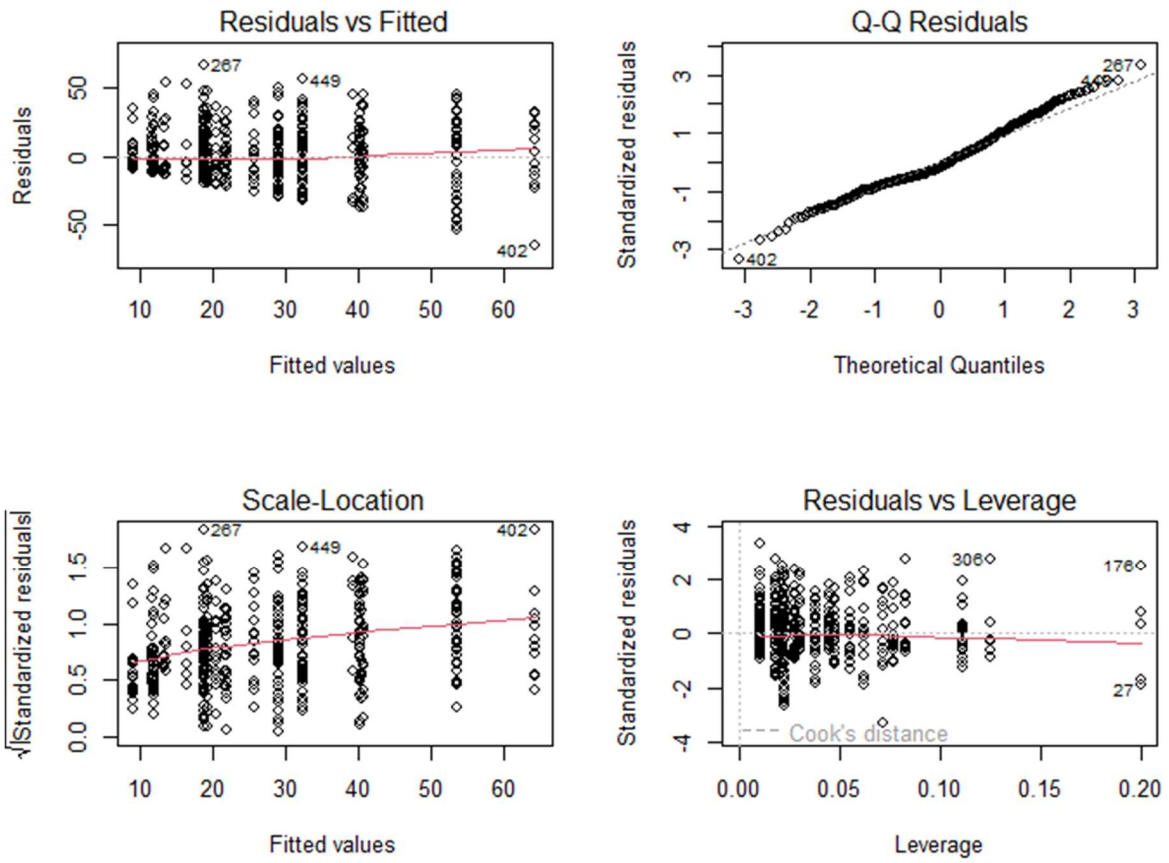
Obrázek 55 Hodnocení předpokladů ANOVA u indexu PI4



Zdroj: vlastní zpracování

b) Index SV4

Obrázek 56 Předpoklady ANOVA u celkového hodnocení implementace Indexu SV4



Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 8

Doplňkové statistické testy (Hypotéza H₇)

Pro kapitolu 5.3.5 Celkové hodnocení úrovně Průmyslu 4.0 (index PI4)

Výsledky neparametrické ANOVA

DV: PI4p

Data (n) = 517

D = 0.999

Tabulka 48 Výsledky Scheirer–Ray–Hare testu pro hodnocení úrovně Průmyslu 4.0

	Df	Suma čtverců	H	p
Obor	4	342782.000	15.361	0.004
Velikost	3	2179077.000	97.649	0.000
Obor : velikost	12	267301.000	11.978	0.447
Rezidua	497	8490127.000		

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 49 Post-hoc testy hodnocení úrovně Průmyslu 4.0

Srovnání	Z	p	p upravené
mikro - střední	-6,066	0,000	0,000
malý - střední	-4,810	0,000	0,000
mikro - velký	-9,008	0,000	0,000
malý - velký	-8,321	0,000	0,000
střední - velký	-4,010	0,000	0,000
Elektrotechnická výroba - potravinářství	2,942	0,003	0,033
Strojírenství – výroba pro domácnost	3,920	0,000	0,001
Výroba nekovových výrobků atd. - výroba pro domácnost	3,516	0,000	0,004
Elektrotechnická výroba - výroba pro domácnost	4,529	0,000	0,000

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 9

Doplňkové Post-hoc testy pro principy podle velikosti podniku (Hypotéza H₈) a podle odvětví podniku (Hypotéza H₉)

b) podle velikosti podniku

Tabulka 50 Post-hoc testy principů štlé výroby podle velikosti podniku

Principy	Skupina	z	p	Sig.
Princip snižování ztrát	mikro - velké	6,206	0,000	***
	malé - velké	5,464	0,000	***
	střední - velké	4,442	0,000	***
Princip flexibility	mikro - velké	3,350	0,005	**
	střední - velké	3,206	0,008	**
Princip plynulého toku	mikro - střední	3,807	0,001	**
	mikro - velké	6,564	0,000	***
	malé - velké	5,819	0,000	***
	střední - velké	3,566	0,002	**
Princip standardizace	mikro - střední	4,102	0,000	***
	mikro - velké	7,720	0,000	***
	malé - střední	3,335	0,005	**
	malé - velké	7,628	0,000	***
	střední - velké	4,588	0,000	***
Princip vizualizace	mikro - velké	5,332	0,000	***
	malé - velké	4,409	0,000	***
	střední - velké	3,794	0,001	**
Princip tahu (pull)	mikro - střední	3,869	0,001	**
	mikro - velké	6,787	0,000	***
	malé - střední	3,052	0,014	*
	malé - velké	6,527	0,000	***
	střední - velké	3,758	0,001	**
Princip transparentnosti	mikro - střední	3,343	0,005	**
	mikro - velké	5,252	0,000	***
	malé - velké	4,556	0,000	***
Princip zaměření na procesy	mikro - střední	3,556	0,002	**
	mikro - velké	6,609	0,000	***
	malé - střední	3,134	0,010	*
	malé - velké	6,725	0,000	***
	střední - velké	3,881	0,001	**
Princip neustálého zlepšování	mikro - střední	3,116	0,011	*
	mikro - velké	6,452	0,000	***
	malé - velké	5,757	0,000	***

	střední- velké	4,162	0,000	***
Princip zaškolování mentoringem	mikro - střední	4,496	0,000	***
	mikro - velké	6,094	0,000	***
	malé - střední	3,039	0,014	*
	malé- velké	5,018	0,000	***
Princip koučování	mikro - střední	3,615	0,002	**
	mikro - velké	5,556	0,000	***
	malé - velké	4,520	0,000	***
Princip osobní zodpovědnosti	mikro - střední	2,759	0,035	*
	mikro - velké	6,001	0,000	***
	malé - velké	6,422	0,000	***
	střední - velké	4,018	0,000	***
Princip podpory týmové práce	mikro - střední	2,666	0,046	*
	mikro - velké	4,684	0,000	***
	malé - velké	3,268	0,007	**
Princip bezpečnostních zásad	mikro - střední	3,628	0,002	**
	mikro - velké	6,367	0,000	***
	malé- velké	5,399	0,000	***
	střední - velké	3,527	0,003	**
Princip učící se organizace	mikro - velké	5,287	0,000	***
	malé - velké	5,181	0,000	***
	střední - velké	3,502	0,003	**
Princip zapojení zaměstnanců	mikro - velké	3,162	0,009	**
Princip zpětné vazby dodavatelů	mikro - velké	3,262	0,007	**
	malé - velké	2,843	0,027	*
Princip oddělení lidí a strojů	mikro - střední	2,970	0,018	*
	mikro- velké	5,082	0,000	***
	malé - střední	2,972	0,018	*
	malé - velké	5,408	0,000	***
	střední - velké	2,737	0,037	*
Princip respektu k zaměstnancům	mikro - velké	2,748	0,036	*
Princip dlouhodobého zaměření	mikro - střední	3,001	0,016	*
	mikro - velké	5,301	0,000	***
	malé - velké	4,555	0,000	***
	střední - velké	2,957	0,019	*
Princip zaměření na příčiny	mikro - velké	3,553	0,002	**
	malé- velké	4,231	0,000	***
Princip zaměření na zákazníka	mikro - velké	3,366	0,005	**
	malé- velké	2,796	0,031	*
Princip vyrovňování pracovního zatížení	mikro - velké	4,957	0,000	***
	malé - velké	4,739	0,000	***
	střední - velké	3,350	0,005	**

Zdroj: vlastní zpracování

b) podle odvětví

Tabulka 51 Post-hoc testy principů štihlé výroby podle odvětví podniku

Principy	Skupina	z	p	Sig.
Princip flexibility	elektrotechnická výroba – potravinářská výroba	2,826	0,047	*
Princip standardizace	elektrotechnická výroba – výroba výrobků pro domácí spotřeb	3,283	0,010	*
Princip řešení problémů	elektrotechnická výroba – výroba výrobků pro domácí spotřeb	3,182	0,015	*
Princip respektu k zaměstnancům	potravinářská výroba – výroba výrobků pro domácí spotřeb	3,303	0,010	*
Princip dlouhodobého zaměření	strojírenství – elektrotechnická výroba	2,893	0,038	*
	elektrotechnická výroba – výroba výrobků pro domácí spotřeb	3,062	0,022	*

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 10

Doplňkové Post-hoc testy pro principy podle velikosti podniku (Hypotéza H₁₀) a podle odvětví podniku (Hypotéza H₁₁)

a) Velikost podniku

Tabulka 52 Post-hoc test metod štihlé výroby k porovnání podle velikosti podniku

	Skupiny	z	p	Sig.
Koncepce TQM	mikro - střední	5,930	0,000	***
	mikro - velký	7,612	0,000	***
	malý - střední	4,500	0,000	***
	malý - velký	6,544	0,000	***
Koncepce KAIZEN	mikro - střední	3,830	0,001	***
	mikro - velký	8,008	0,000	***
	malý - střední	3,083	0,012	*
	malý - velký	8,043	0,000	***
	střední - velký	5,206	0,000	***
Systém ISO 9001	mikro - malý	3,071	0,013	*
	mikro - střední	6,620	0,000	***
	mikro - velký	8,014	0,000	***
	malý - střední	4,482	0,000	***
	malý - velký	6,259	0,000	***
Six Sigma	mikro - malý	3,758	0,001	***
	mikro - střední	6,550	0,000	***
	mikro - velký	3,058	0,013	*
	malý - střední	6,372	0,000	***
	malý - velký	3,601	0,002	**
Metoda VSM	mikro - velký	4,681	0,000	***
	malý - velký	4,522	0,000	***
	střední - velký	3,092	0,012	*
Statistické řízení procesů	mikro - střední	4,473	0,000	
	mikro - velký	7,342	0,000	
	malý - střední	3,843	0,001	
	malý - velký	7,223	0,000	
	střední - velký	3,763	0,001	
Heijunka (nivelizace)	mikro - střední	3,054	0,014	
	mikro - velký	5,582	0,000	
	malý - velký	5,337	0,000	
	střední - velký	3,225	0,008	
Just in Time (JIT)	mikro - střední	3,098	0,012	
	mikro - velký	5,133	0,000	

	malý - velký	3,547	0,002	
	střední - velký	2,662	0,047	
Kanban	mikro - velký	5,422	0,000	
	malý - střední	3,240	0,007	
	malý - velký	6,615	0,000	
	střední - velký	3,684	0,001	
Supermarket	mikro - střední	3,701	0,001	
	mikro - velký	6,852	0,000	
	malý - střední	3,564	0,002	
	malý - velký	7,233	0,000	
	střední - velký	4,010	0,000	
Metoda 5S	mikro - střední	5,039	0,000	
	mikro - velký	8,609	0,000	
	malý - střední	3,276	0,006	
	malý - velký	7,619	0,000	
	střední - velký	4,629	0,000	
TPM	mikro - střední	3,424	0,004	
	mikro - velký	6,613	0,000	
	malý - střední	3,971	0,000	
	malý - velký	7,604	0,000	
	střední - velký	4,025	0,000	
Andon	mikro - střední	2,830	0,028	
	mikro - velký	4,982	0,000	
	malý - velký	5,120	0,000	
	střední - velký	2,769	0,034	
Milkrun	mikro - střední	4,196	0,000	
	mikro - velký	6,251	0,000	
	malý - střední	3,484	0,003	
	malý - velký	5,916	0,000	
	střední - velký	2,797	0,031	
SMED	mikro - velký	4,142	0,000	
	malý - velký	5,296	0,000	
	střední - velký	3,055	0,014	
Poka-yoke	mikro - střední	2,667	0,046	
	mikro - velký	6,690	0,000	
	malý - střední	3,075	0,013	
	malý - velký	7,729	0,000	
	střední - velký	4,908	0,000	
Záchranná brzda	mikro - střední	2,976	0,018	
	mikro - velký	5,229	0,000	
	malý - střední	2,902	0,022	
	malý - velký	5,515	0,000	
	střední - velký	2,900	0,022	
Hanedashi	mikro - velký	4,981	0,000	
	malý - velký	4,944	0,000	

	střední - velký	3,534	0,002	
Chaku-chaku	mikro - velký	4,556	0,000	
	malý - střední	2,679	0,044	
	malý - velký	4,931	0,000	
Jidoka	mikro - střední	3,807	0,001	
	mikro - velký	5,762	0,000	
	malý - střední	3,568	0,002	
	malý - velký	5,831	0,000	
	střední - velký	2,643	0,049	
Gemba Walk	mikro - střední	3,968	0,000	
	mikro - velký	5,095	0,000	
	malý - střední	2,951	0,019	
	malý - velký	4,328	0,000	
Vizualizace	mikro - střední	5,293	0,000	
	mikro - velký	8,325	0,000	
	malý - střední	3,829	0,001	
	malý - velký	7,491	0,000	
	střední - velký	4,036	0,000	
Výrobní takt	mikro - střední	3,482	0,003	
	mikro - velký	6,626	0,000	
	malý - velký	6,266	0,000	
	střední - velký	3,979	0,000	
Buňkové uspořádání	mikro - střední	2,756	0,035	
	mikro - velký	5,682	0,000	
	malý - velký	5,126	0,000	
	střední - velký	3,653	0,002	
Tok jednoho kusu	mikro - velký	3,038	0,014	

Zdroj: vlastní zpracování

b) odvětví

Tabulka 53 Post-hoc testy metod štíhlé výroby k porovnání podle odvětví podniku

	Skupiny	z	p	Sig.
Koncepte TQM	strojírenská výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,906	0,037	*
	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	2,907	0,037	*
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,018	0,025	*
Koncepte Kaizen	strojírenská výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,947	0,032	*
	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	3,536	0,004	**

	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,876	0,001	**
Systém ISO 9001	strojírenská výroba - výroba pro domácí spotřebu	6,010	0,000	***
	nekov., plast, chem. výroby - potravinářská výroba	2,823	0,048	*
	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	5,952	0,000	***
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	5,271	0,000	***
Statistické řízení procesů	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	2,976	0,029	*
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	2,869	0,041	*
Kanban	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,198	0,014	*
Záchranná brzda	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	3,027	0,025	*
	potravinářská výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,088	0,020	*
Jidoka	nekov., plast, chem. výroby - výroba pro domácí spotřebu	2,989	0,028	*
	elektrotechnická výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,436	0,006	**
	potravinářská výroba - výroba pro domácí spotřebu	3,474	0,005	**

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 11

Tabulka 54 Přehled četností výskytu úplné implementace metod štihlé výroby a technologií Průmyslu 4.0 pro výpočet korespondenční analýzy

	IT	IS	M2M	Roboty	Mobily	Senzory	Lidi	Data	Cloud	Analýza	Učící soft, AI	Sdílení	VR, sim	Auto	3D	Nano	RFID
TQM	83	61	58	35	55	56	73	59	51	60	26	22	15	19	27	20	17
Kaizen	60	41	40	27	34	42	56	49	38	47	19	17	17	19	28	20	16
ISO	129	113	73	52	86	84	109	102	71	90	29	28	17	11	51	17	25
Six Sigma	37	33	28	21	20	33	43	26	20	24	16	11	13	17	14	11	13
KPI	87	69	60	44	51	63	80	68	55	66	29	28	22	21	35	21	20
VSM	23	19	14	11	15	18	26	19	12	20	5	6	4	5	10	7	5
Statistika	26	20	18	18	17	25	25	24	20	25	13	11	8	5	9	9	7
Heijunka	19	15	15	10	15	16	24	14	18	17	14	10	8	6	10	11	7
JIT	50	34	31	25	37	39	56	33	31	41	23	15	11	14	23	15	17
Kanban	30	23	13	15	17	16	25	19	16	22	12	10	7	8	13	8	9
Supermarket	44	30	26	22	29	36	43	34	23	34	14	14	12	11	19	12	7
5S	65	52	40	33	42	47	66	51	38	51	21	21	15	14	22	21	19
TPM	42	33	39	24	38	36	51	39	31	40	20	18	12	12	21	14	15
Andon	53	33	37	27	42	42	56	41	38	47	26	20	16	13	20	16	17
Milkrun	46	29	30	28	37	36	45	38	34	41	18	20	16	8	18	9	7
SMED	43	36	27	23	36	36	44	35	31	37	16	17	11	7	12	8	6
Poka-Yoke	33	28	25	21	27	32	39	31	24	31	18	15	12	9	14	12	11
Záchranná brzda	103	72	61	46	75	88	105	78	62	84	33	24	24	26	38	26	28
Hanedashi	25	20	15	17	19	23	26	16	16	19	14	13	7	10	8	11	7
Chaku-Chaku	27	21	22	16	18	24	30	19	18	21	9	8	8	8	11	9	9
Jidoka	28	23	19	19	22	32	31	22	19	25	12	12	8	8	10	9	10
Gemba Walk	61	41	40	27	44	46	55	46	41	53	22	16	14	14	34	17	15
Vizualizace	76	60	55	40	60	65	72	67	51	65	29	26	19	15	33	21	23
Takt	47	41	37	31	38	42	51	45	32	44	18	13	12	11	24	16	17
Buňky	60	44	35	30	46	48	61	47	37	49	17	11	12	15	29	20	17
Tok 1 kusu	50	36	31	16	37	33	49	33	34	37	17	13	12	11	24	17	13

Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 12

Tabulka 55 Přehled Spearmanových korelačních koeficientů mezi metodami štihlé výroby a technologiemi Průmyslu 4.0

	IT	IS	M2M	Roboty	Mobily	Senzory	Lidi	Data	Cloud	Analýza	Učící soft, AI	Sdílení	VR, sim	Auto	3D	Nano	RFID
TQM	0.250	0.191	0.315	0.279	0.130	0.228	0.263	0.217	0.194	0.249	0.207	0.185	0.142	0.048	0.064	0.124	0.167
Kaizen	0.126	0.131	0.221	0.187	0.029	0.151	0.157	0.288	0.163	0.262	0.239	0.232	0.213	0.175	0.153	0.218	0.165
ISO	0.130	0.325	0.114	0.230	0.086	0.123	0.127	0.296	-0.009	0.128	-0.050	0.119	0.040	0.018	0.261	0.016	0.177
Six Sigma	0.081	0.162	0.257	0.344	0.039	0.295	0.290	0.116	-0.005	0.001	0.289	0.075	0.231	0.221	0.060	0.069	0.206
KPI	0.097	0.128	0.226	0.264	0.009	0.165	0.154	0.301	0.166	0.232	0.270	0.290	0.153	0.122	0.104	0.175	0.061
VSM	0.087	0.147	0.088	0.145	0.109	0.129	0.186	0.071	0.041	0.135	0.166	0.245	0.192	-0.013	0.166	0.252	0.142
Statistika	0.190	0.136	0.212	0.347	0.059	0.260	0.188	0.231	0.222	0.221	0.284	0.312	0.270	-0.039	0.179	0.099	0.114
Heijunka	0.094	0.074	0.230	0.265	0.054	0.133	0.267	0.075	0.218	0.186	0.399	0.167	0.226	-0.001	0.204	0.120	0.055
JIT	0.068	0.067	0.141	0.255	0.095	0.144	0.235	0.126	0.124	0.239	0.253	0.128	-0.001	0.031	0.064	0.099	0.281
Kanban	0.164	0.136	0.127	0.158	0.097	0.112	0.216	0.312	0.069	0.249	0.243	0.174	0.000	0.119	0.110	0.067	0.255
Supermarket	0.085	0.081	0.175	0.187	0.141	0.236	0.191	0.230	0.065	0.237	0.251	0.225	0.101	-0.023	0.087	0.288	0.018
5S	0.096	0.215	0.186	0.230	0.123	0.196	0.287	0.251	0.133	0.275	0.250	0.290	0.233	-0.064	0.046	0.226	0.104
TPM	0.122	0.138	0.296	0.206	0.154	0.224	0.239	0.303	0.239	0.243	0.238	0.272	0.134	0.144	0.206	0.190	0.134
Andon	0.139	-0.039	0.210	0.241	0.215	0.252	0.213	0.125	0.188	0.211	0.457	0.277	0.271	0.038	-0.032	0.072	0.159
Milkrun	0.158	-0.004	0.166	0.252	0.215	0.241	0.239	0.300	0.232	0.293	0.223	0.289	0.359	-0.061	0.166	0.155	-0.060
SMED	0.127	0.153	0.191	0.278	0.230	0.183	0.162	0.162	0.249	0.293	0.295	0.208	0.191	-0.222	0.025	0.179	0.067
Poka-Yoke	0.002	0.098	0.214	0.245	0.134	0.177	0.221	0.250	0.176	0.245	0.358	0.286	0.149	0.039	0.048	0.315	0.263
Záchrana brzda	-0.005	-0.008	0.130	0.187	0.134	0.210	0.163	0.195	0.168	0.204	0.236	0.136	0.221	0.174	0.086	0.130	0.098
Hanedashi	0.205	0.187	0.233	0.259	0.174	0.262	0.093	0.146	0.197	0.199	0.207	0.314	0.016	0.203	-0.042	0.265	0.151
Chaku-Chaku	0.137	0.192	0.378	0.322	0.146	0.242	0.191	0.218	0.278	0.162	0.181	0.134	0.078	0.143	0.144	0.191	0.263
Jidoka	0.030	0.129	0.117	0.231	0.201	0.319	0.155	0.210	0.168	0.232	0.180	0.321	-0.006	-0.057	0.174	0.196	0.397
Gemba Walk	0.060	0.064	0.176	0.152	0.174	0.205	0.181	0.200	0.197	0.288	0.253	0.085	0.116	0.131	0.325	0.122	0.076
Vizualizace	0.129	0.142	0.258	0.295	0.182	0.310	0.241	0.276	0.258	0.286	0.278	0.322	0.240	0.080	0.186	0.223	0.102
Takt	0.051	0.160	0.204	0.357	0.104	0.244	0.226	0.368	0.146	0.260	0.212	0.251	0.212	0.072	0.176	0.288	0.301
Buňky	0.166	0.172	0.168	0.318	0.228	0.246	0.260	0.326	0.174	0.287	0.234	0.216	0.109	0.213	0.198	0.298	0.139
Tok 1 kusu	0.107	0.109	0.130	0.198	0.120	0.130	0.190	0.134	0.154	0.192	0.257	0.185	0.154	0.023	0.150	0.321	0.132

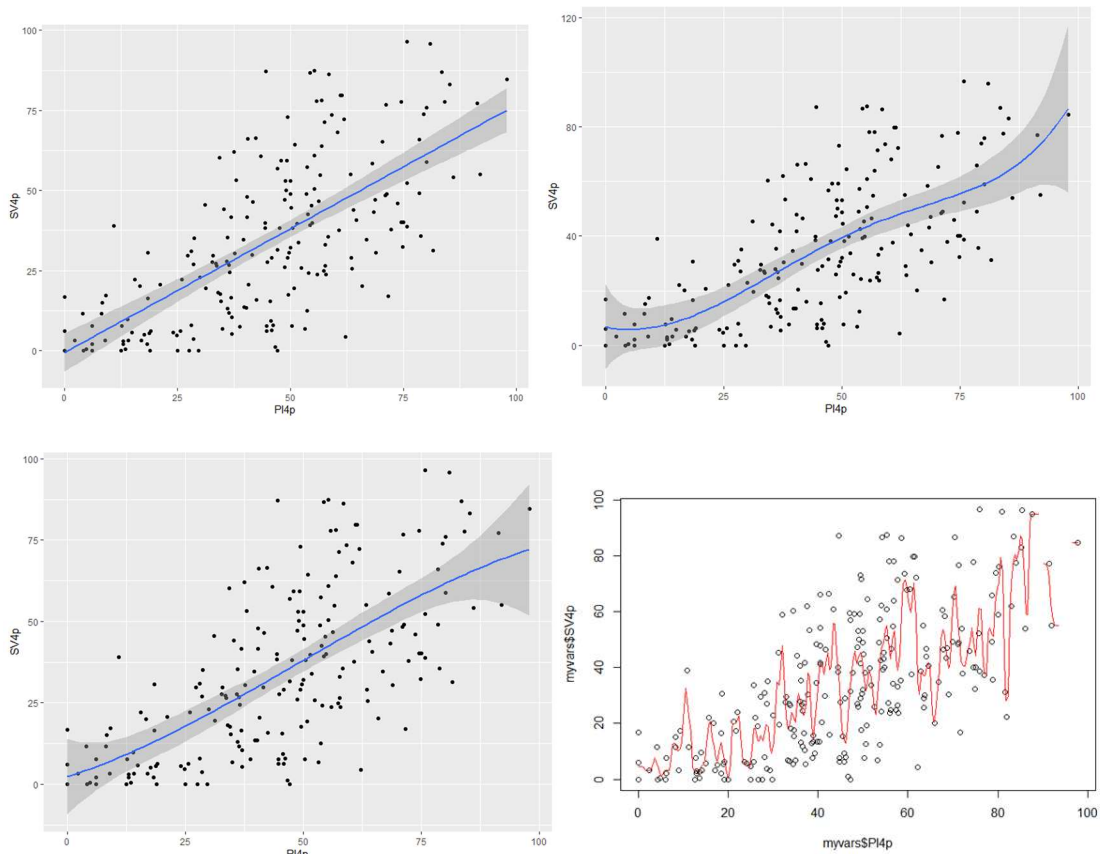
Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 13

Vizualizace regresních modelů

a) Vliv SV na PI4

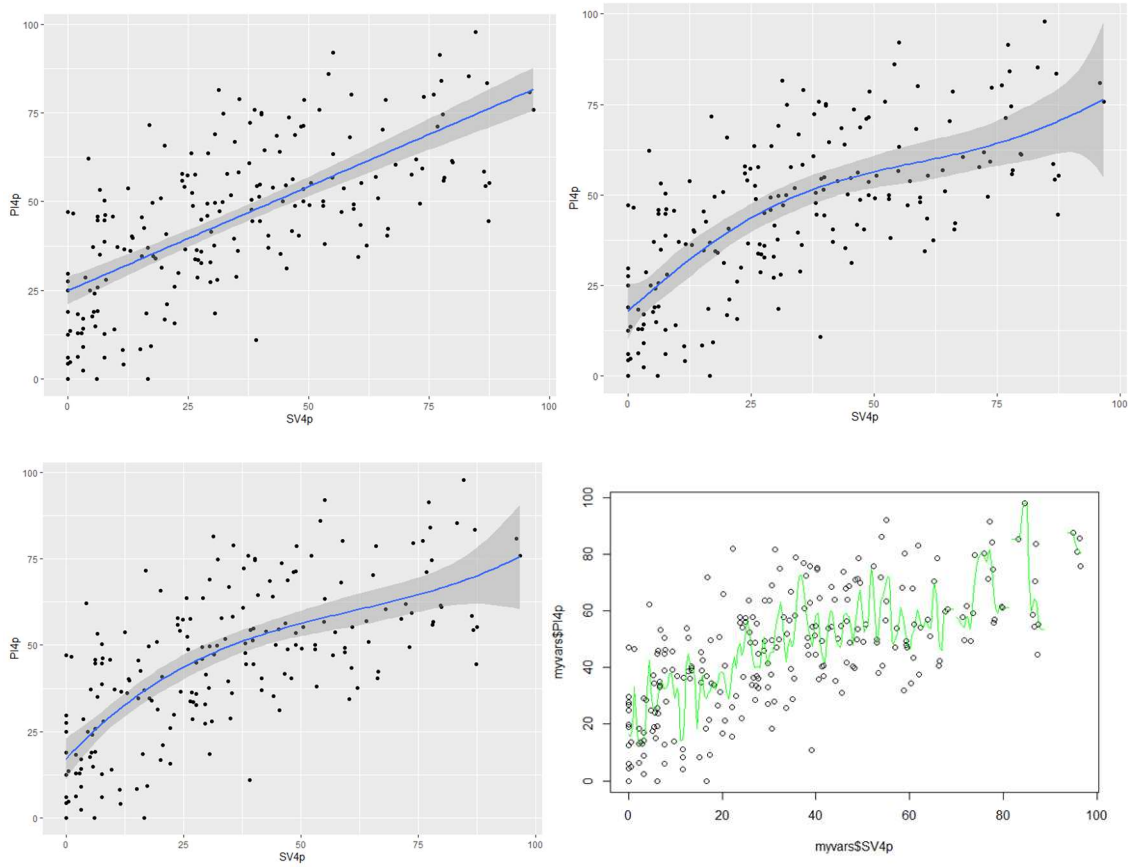
Obrázek 56 Modely vliv SV na PI4 (a: lineární, b: polynomický, c: spline, d: kernel smoothing)



Zdroj: vlastní zpracování

b) Vliv PI4 na SV4

Obrázek 57 Modely zaměřené na vliv PI4 na SV4 (a: lineární, b: polynommický, c: spline, d: kernel smoothing)



Zdroj: vlastní zpracování

Příloha 14

Přepis rozhovorů s manažery podniků. z důvodu zachování anonymity podniků byla v textu použita místo názvu podniků písmena.

Názvy podniků jsou uvedeny pouze v přehledu.

1. Jak vidíte vývoj nových technologií ve vaší oblasti a jaký vliv mají na vaši organizaci?

Podnik A Nové technologie, zejména automatizace a umělá inteligence, se uplatňují v Evropě stále více. Cílem je automatizace výrobních procesů, omezení lidských chyb a zvýšení efektivity díky autonomnímu provozu. Tento posun řeší omezení lidských zdrojů a zvyšuje konkurenceschopnost. v minulosti firmy přesouvaly továrny do míst, jako je Česká republika, kvůli levnější pracovní síle, ale s tím, jak se tato nákladová výhoda snižuje, i německé továrny zavádějí více automatizace. Automatizované systémy mohou pracovat nepřetržitě bez přestávek, na rozdíl od lidských pracovníků, kteří potřebují odpočinek. v odděleních plánování se vyvíjejí systémy, které kopírují lidské rozhodování na základě dat a nabízejí konzistentní a neemotivní výsledky, což může být výhodné.

V současné době jsou systémy navrženy tak, aby samostatně optimalizovaly výrobní procesy, ale stále vyžadují lidský vstup pro konečná rozhodnutí. Očekává se však, že budoucí systémy budou tato rozhodnutí plně automatizovat analýzou uložených dat a autonomní identifikací optimálních cest. Ačkoli existují obavy, zejména u starších generací, ze ztráty zaměstnání v důsledku automatizace, tyto obavy mohou být přehnané. Se stárnutím pracovní síly a bez výrazné migrace bude stále potřeba pracovníků. Automatizace může udržitelně pohánět hospodářský a společenský rozvoj, i když bude vyžadovat průběžnou rekvalifikaci a rozvoj dovedností. Celoživotní vzdělávání a přizpůsobivost s vývojem pracovních pozic nezbytné.

S rozvojem automatizace a umělé inteligence se zvýší nároky na úřady práce a podporu rekvalifikačních kurzů. Noví pracovníci, kteří přicházejí na trh práce ze škol, často potřebují další školení na pracovišti, aby získali plnou kvalifikaci. s nárůstem automatizace se některé pracovní pozice mohou stát nadbytečnými, což si vyžádá rekvalifikaci na jiné role. Obavy, že starší pracovníci budou čelit masivní nezaměstnanosti, jsou však pravděpodobně přehnané. Posun k automatizaci je pozitivním směrem, což dokládá výrazný technologický pokrok za posledních dvacet let. Budoucnost představují systémy, které dokážou samostatně analyzovat data a vytvářet efektivnější řešení než současné manuální metody, jako jsou Excel a Power BI. Rychlost implementace bude záviset na finančních investicích a restrukturalizaci, ale snaha probíhá, zejména v procesech plánování.

Podnik B Vývoj nových technologií je pro naši výrobu naprosto klíčový. Vývojem nových technologií se zabýváme aktivně a průběžně. Hlavním cílem je navyšování efektivity ve výroбах, snižování prostojů a minimalizace odpadů.

Podnik C Bez zavedení nových technologií žádná průmyslová firma dlouhodobě nepřežije. Kdo nebude intenzivně pracovat na jejich implementaci bude rychle ztrácet konkurenční výhody. v naší firmě již teď ovlivňují každodenní chod firmy a do budoucna budou pronikat stále hlouběji do všech našich procesů.

Podnik D Naše společnost využívá nové technologie již na začátku samotné výroby, kdy jednotlivé rozměry skel prochází optimalizací, kde výsledek samotné optimalizace je rozvržení řezu jednotlivých skel za účelem snížení ztrátových odřezků.

Podnik E Já to spíše beru ze svého know-how nebo z nějakých porad s lidmi, kde vidíme všichni nějaké ty úspory nebo naopak prostory na zlepšení. Následně to mapujeme, jak to bude v budoucnu, kolik nám to zabere času a jaký z toho bude výsledek. Následně tu pozici začneme stínovat, abychom vypočítali nějaké úspory. Nástroje obecně nepoužívám, za mě je to spíše o nějakým tom know-how.

Podnik F Novou zavedenou technologií v oboru je rezervační systém - pomáhá zdokonalení rezervací jejich hostů. Přímé rezervace, kterou chtějí zamezit rezervaci do jiných portálů, které jim berou zisky.

Podnik G Zaváděné nové technologie musí obsahovat prvky automatizace a robotizace s omezením lidských zdrojů vzhledem ke stavu pracovního trhu a kvalifikace potencionálních pracovníků. Řízení technologie pomocí software – manipulace s díly a produkty pomocí identifikace QR nebo čárových kódů.

Podnik H Zavedení IA hraje velkou roli v mé oblasti práce (environmentální normy a dodržování právních předpisů a efektivita) od automatizace dokumentace / zpracování velkého množství dokumentů v různých jazycích na jedno kliknutí, jejich rozdělení a standardizace bez potřeby externích konzultantů až po nalezení efektivity ve výrobním procesu, která šetří energii a snižuje naši uhlíkovou stopu.

Podnik I Velmi klíčový parametr, neboť technologie se velice ženou dopředu.

Podnik J Vidím to jako výzvu a příležitost k neustálému růstu – zvyšování produktivity, kvality a lepším službám pro naše zákazníky.

2. Které nové technologie související s Průmyslem 4.0 jste zavedli v minulém roce nebo které plánujete do budoucna?

Podnik A V loňském roce jsme nové technologie plně nezavedli, ale v současné době probíhá integrace systému MS. Tento systém se připojuje k výrobním linkám a shromažďuje data v reálném čase ze všech výrobních stanic. v současné době je náš systém SAP udržován lidským vstupem a nezískává automaticky data z robotů. Nový systém MS bude založen na cloudu, bude přímo napojen na řídicí jednotky zařízení a bude schopen načítat data online.

Například když vyrábíme dávku 200 jednotek, vidíme v systému aktualizace až po dokončení celé dávky a jejím zapsání operátorem, což může trvat až 5 hodin. Systém MS však sleduje každou jednotku při průchodu senzory nebo při každém zdvihu stroje a poskytuje okamžité aktualizace. To nám umožňuje sledovat stav výroby v reálném čase bez čekání na ruční aktualizace. Plánujeme také implementovat německý plánovací systém vyvinutý společností ASAP, který pomůže automatizovat některé úkoly, které v současnosti vykonávají lidé. Tento přístup integruje online sběr dat z výroby s dynamickým plánovacím systémem schopným s těmito daty pracovat. Do budoucna chceme během příštích tří let přejít na nový systém SAP HANA, který je v souladu s principy Průmyslu 4.0. Tyto kroky budou určovat naši budoucnost, ale v současné době se soustředíme na implementaci nového výrobního systému.

Podnik B Zavedli jsme systém „umělého vidění“ = Artificial vision, který umožňuje zkontrolovat výsledné parametry výrobku bez lidského zásahu.

Podnik C V loňském roce jsme hodně pracovali na digitalizaci dokumentů a procesů s tím spojených. Strojově vytěžujeme data z faktur a dodacích listů, na některých výrobních pracovištích zobrazujeme výkresovou dokumentaci ve 3D podobě. Pořídili jsme si první průmyslovou 3D tiskárnu s technologií SLS. v letošním roce instalujeme první robotické pracoviště pro automatizaci procesu svařování a broušení spojovacích hřidel. Dál budeme pokračovat ve digitalizaci podpůrných procesů.

Podnik D Trend průmyslu 4.0 v naší společnosti zavádět nechceme, i přes to že se v našem oboru objevují firmy, které nahradili téměř polovinu svých zaměstnanců stroji, jelikož tyto technologie stále nedokáží nahradit lidskou sílu tak, aby byla produkce stejně a rychlá a kvalitní.

Podnik E Jsou to data z naší interní K2 což je náš informační systém. Každý proces měříme a koukáme na výstupy každý týden. Vidíme, jak si vedeme jestli se ta hodnota mění nebo nemění, zda jsme v daném procesu efektivní a kde je ten největší přínos. Kde se naopak musíme zlepšovat, což řešíme na poradách.

Podnik F Jednatelka je pro zavedení nových technologií a mají v jejím oboru gastronomie a hotelnictví velmi pozitivní vliv.

Podnik G Zavádíme především identifikace procesů, dílů, materiálů a produktů pomocí čárových a QR kódů napojených na procesní řízení v informačním systému. Integrace hardware typu tablet, čtečky kódů a terminálové stanice na všech klíčových bodech výrobních a realizačních procesů.

Podnik H V posledních letech jsme vyvinuli více než 40 technologií pro naši divizi Prestige Beauty, která rychle roste a v roce 2022 dosáhne obratu 1,2 miliardy eur. Jednou z našich nejnovějších inovací je Hourglass Red 0. Jedná se o první veganskou alternativu k nejčastěji používanému červenému pigmentu v barevné kosmetice - červenému karmínu, který se získává ze samic brouků a na výrobu jedné jediné rtěnky je potřeba až 1 000 brouků. Celou věc jsme přeformulovali pomocí výpočetních modelů. Vývoj trval našim vědcům tři roky, ale plánujeme, že tento proces bude otevřený, aby stejnou technologii mohli použít i ostatní. Perfektně to zapadá do trvalého závazku společnosti Hourglass k ochraně zvířat.

Podnik I Zavedení ERP systému → zefektivnění úkonu od zákaznického servisu po expedici.

3. Můžete popsat situaci, kdy bylo možné využít technologii k odstranění plýtvání ve výrobě?

Podnik A Jednou z klíčových oblastí, na kterou se v současné době zaměřujeme, je logistika, konkrétně špaldová logistika, která zahrnuje zásobování výrobních linek. Naším cílem je přejít od tradičních transakcí ke špičkovým automatizovaným procesům. v tomto novém systému se úkoly načítají automaticky a obsluha je nasměrována, kam má konkrétní jednotky přepravit. Tento posun minimalizuje potřebu lidského dohledu a kontroly. Přecházíme na nový systém Kanban, který automatizuje spouštění signálů na základě tempa výroby, čímž výrazně snižuje zapojení člověka. v současné době operátoři dostávají seznam úkolů, které musí splnit, a pokud některý úkol není splněn, celý proces se zastaví. Nový systém Kanban bude automatizovat řízení předchozích fází výroby, čímž potenciálně eliminuje potřebu operátora v rámci určitých pracovních postupů. To zahrnuje přeskupení výrobních linek blíže k sobě a úpravu uspořádání pracovišť tak, aby byla zajištěna bezproblémová integrace. Kromě toho jsme zavedli nové zobrazovací tabule v oblasti expedice, které poskytují informace v reálném čase přímo zaměstnancům. Tato změna eliminuje potřebu pracovníků vyhledávat pokyny v kancelářích, což zefektivňuje proces a snižuje zpoždění. Cílem těchto snah je zvýšit efektivitu logistiky a výroby zrychlením přenosu informací a minimalizací lidských chyb.

Podnik B Systém „umělého vidění“ = Artificial vision nepustí vadný výrobek dále do procesu. Tento výrobek je zastaven, identifikován a již „nevstupuje“ jako nekvalitní výrobek do dalšího procesu.

Podnik C Například zavedení řízeného skladu hotových výrobků vedlo k výraznému zvýšení skladových kapacit a snížení manipulačních časů. Nebo s pomocí 3D tisku zavádíme v podstatě bezodpadovou výrobu, kdy zbytkový plastový prach je z téměř 100% recyklován pro další výrobu.

Podnik D Jak již bylo zmíněno, při procesu řezání konkrétních rozměrů z větších formátů skel, již využívá technologii optimalizace řezu. Pro představu tento proces je, jako kdybychom se snažili vystříhnout různé tvary z papíru A4 a snažily bychom se eliminovat množství nevyužitých odstřížků.

Podnik E My jsme tomu otevření. Máme tu svářečího robota, který plně nahradí pracovní místo, ale úplně se nám to ekonomicky zatím nevyplatí, jsme buď to na nule nebo v mínusu. Ale chceme pořizovat i dalšího robota, takže jak říkám, jsme tomu otevření. Budeme zavádět RFID štítky na zboží, kde to projede speciální bránou a my hned budeme vidět co je to za produkty. Tímto směrem se chceme posouvat a modernizovat.

Podnik F Firma potřebuje, aby u nich efektivně pracovali zaměstnanci a hosti byli rychle obslouženi - zavedení tabletů k rychlejší obsluze hostů. Urychlení a zdokonalení obsluhy zákazníků.

Podnik G Zavedli jsme například optimalizační software na krácení šestimetrového materiálů. Počítač na základě výrobní dávky optimalizuje nakrájené díly, tak že prořez kles z 20% na 6%.

Podnik H Využíváme umělou inteligenci k identifikaci alternativních složek, které mohou posílit odolnost našeho dodavatelského řetězce, učinit naše receptury udržitelnějšími a nákladově efektivnějšími a zjednodušit je snížením počtu složek, aniž by to mělo vliv na kvalitu nebo účinnost výrobku. Optimalizací našich konstrukčních a výrobních procesů pomocí virtuálních simulací, automatizovaných pracovních postupů a rozhodování na základě dat uvolňujeme novou úroveň efektivity našich operací, což zase uvolňuje místo našim odborníkům, kteří se mohou soustředit na poskytování úderných inovací.

Podnik I Zefektivnění času skladníků a obchodních zástupců.

Podnik J Implementace elektrického momentového klíče.

4. S kterými druhy plýtvání máte podle vás největší problémy?

Podnik A V našich provozech se vyskytuje několik druhů plýtvání, zejména v logistice. Neefektivní interní doprava, jako je přesun zboží kvůli nevhodným skladovým pozicím nebo špatnému plánování uspořádání, má za následek zbytečně dlouhé vzdálenosti mezi skladovacími a výrobními stanicemi. Zanedbávání údržby navíc vede k prostojům strojů, protože špatně udržované zařízení nefunguje optimálně. Další kritickou oblastí je tok informací; navzdory snahám o digitalizaci logistických a výrobních procesů se stále spoléhá na komunikaci v papírové podobě. Postupně zavádíme více elektronických a vizuálních nástrojů, jako jsou nové zobrazovací tabule, které operátorům poskytují informace v reálném čase a snižují potřebu ruční aktualizace. Cílem těchto iniciativ je minimalizovat plýtvání v celém výrobním a dodavatelském řetězci optimalizací přepravních tras, správnou údržbou zařízení a zlepšením efektivity informačních toků.

Podnik B Defekty = nekvalita, Čekání = waiting.

Podnik C Nejvíce bojujeme s plýtváním ve výrobě v oblasti zbytečných pracovních pohybů a následné manipulace. Také v administrativě vidíme ještě hodně prostoru, jak procesy zrychlit a zautomatizovat.

Podnik D Mezi největší druhy plýtvání rozhodně patří zmetkovost, jelikož ve výrobě je plýtvání eliminováno již zmíněnou optimalizací. Nejčastější zmetkovost vzniká lidskou chybou, a to v podobě například špatného zpracování rozměrů či požadovaného složení při příjmu zakázky nebo přímo ve výrobě při špatné manipulaci se sklem.

Podnik E Problém je v kapacitě zaměstnanců, potřebujeme lidi, které nemáme. Sice si něco naplánujeme, ale nemá to kdo dělat. A zároveň nějaké nechut' od zaměstnanců něco měnit, i když jim to ušetří spoustu námahy a času.

Podnik F Plýtvání potravin = řešení pomocí sezonních potravin, menu nebo jsou jídelní lístky upraveny podle sezonních potravin. Čas využití zaměstnanců = menší využití mimo sezónu, když nejsou zákazníci, posílají se zaměstnanci domu -> uzavření dohody s firmou (zaměstnanci si čas odpracovávají buď o víkendech nebo v sezóně).

Podnik G Obecně se zabýváme obalovým materiálem. Hledáme způsoby zpracování vrácení obalových materiálů, které lze používat opakovaně a tudíž se nemusí při jednorázovém použití vyhodit.

Podnik H Celosvětově se téměř třetina potravin určených k lidské spotřebě vyhodí a velká část z nich vzniká při výrobě potravin. Jedním z klíčových poznatků bylo, že je důležité přesně určit, kde dochází k plýtvání potravinami, a učinit z hledání řešení prioritu pro každého člena výrobního týmu. Díky tomu jsme v roce 2022 zaznamenali urychlené snížení plýtvání potravinami ve všech našich výrobních výživy a zmrzliny.

Podnik I Ztráta času nad nedigitalizovanými úkony.

Podnik J Nadvýroba jako příčina ostatních druhů plýtvání, nadměrný transport.

5. Plánujete v budoucnu zavedení umělé inteligence do stávajících obchodních procesů a business modelu ve vaší organizaci?

Podnik A U v našem obchodním modelu, zejména v rámci logistických procesů a dodavatelského řetězce, existuje mnoho příležitostí pro automatizaci a integraci umělé inteligence. Například každé ráno zákazníci kontrolují, co chtějí odeslat v následujících 32 hodinách, a ověřují zásoby, což je úkol, který v současné době zvládají dotazovací funkce v systému SAP. Tento proces však lze plně automatizovat. Podobně lze data pro plánování výroby, jako jsou časy zahájení a ukončení, porovnávat s požadavky zákazníků pomocí systému MES, aby se zajistilo včasné dodání, čímž se eliminuje potřeba ručních kontrol a koordinace. Kromě toho může umělá inteligence autonomně generovat a odesílat oznámení dopravcům, čímž zajistí, že k expedici bude připraveno správné množství. Tato automatizace se může rozšířit i na dodavatele, kde systém může automaticky přebírat materiály na základě výrobních plánů, zasílat zprávy EDI a optimalizovat nakládku kamionů pro jejich plné využití. Když dodavatelé dodají zboží, systém může automaticky odsouhlasit přijaté položky s objednávkami a generovat reklamace nesrovnalostí, čímž se sníží potřeba lidského dohledu. Zpočátku bude tendence na tyto systémy pečlivě dohlížet, ale jak poroste důvěra v jejich přesnost, manuálních kontrol bude ubývat. Umělá inteligence dokáže tyto logistické úkoly zvládnout efektivněji a přesněji než lidé, takže celý proces bude rychlejší a spolehlivější.

Podnik B Zatím neplánujeme (nemám úplné informace).

Podnik C ANO, nejlépe s vytrénováním AI přímo pro naše firemní prostředí ve formě jakéhosi „asistenta“.

Podnik D V budoucnu neplánujeme zavedení umělé inteligence, ale věříme, že jednoho dne bude umělá inteligence umět přijmout a zpracovat zakázky rychleji a s menší pravděpodobností možných překlepů.

Podnik E Řešíme to tady hodně, zkoušeli jsme to především v HR kde to usnadní proces nabírání pracovníků. Za mě je nejdůležitější umět se té umělé inteligence zeptat. v budoucnu věřím, že se nás to dotkne více, ale v tuto dobu jen okrajově. Dostáváme školení od IT právě na správné příkazy pro umělou inteligenci.

Dle mého to má největší přínos při plánování výroby. A to od samotné objednávky přes zaplánování výroby a celkově aby byla ta výroba co nejefektivnější a ideálně za co nejmíň nákladů.

Podnik F Ano, určitě bude firma chtít zavést umělou inteligenci – nejlépe do reklam hotelu.

Podnik G Zatím se tímto fenoménem moc nezabýváme.

Podnik H Společnost využívá nové interní online tržiště talentů FLEX Experiences, které pomáhá zaměstnancům posouvat hranice jejich kariéry pomocí platformy s umělou inteligencí, která v reálném čase identifikuje personalizované volné příležitosti napříč firmou. Přístupem k této platformě mohou zaměstnanci společnosti Podnik H pracovat na projektech po malou nebo velkou část času, zvyšovat hloubku svých odborných znalostí stávající dovednosti nebo budovat nové dovednosti a zkušenosti. Díky síle umělé inteligence jsou lidem navrhovány příležitosti, které odpovídají jejich profilu a aspiracím, a zároveň je zajištěn plný přehled o všech příležitostech dostupných globálně ve všech oblastech podniku, což v konečném důsledku demokratizuje a zprůhledňuje způsob, jakým společnost rozvíjí talenty. Společnost otevírá novou laboratoř IA v Torontu. Nově otevřená laboratoř AI Horizon3 využívá sílu umělé inteligence a lidské vynalézavosti k podpoře inovací a rychlému růstu napříč firmou. Laboratoř se zaměří na 3 oblasti s cílem maximalizovat dopady. K podpoře růstu a inovací bude využita nová generace IA a datové modely. Na široké spektrum projektů budou nájímány talenty světové úrovně

Podnik I Věřím, že nás k tomu vývoj technologií donutí.

6. Jak přistupujete k lidské stránce zavádění technologií, abyste zajistili hladký přechod a souhlas zúčastněných stran?

Podnik A To jsou dva klíčové aspekty, které musíme zvážit. Na jedné straně může implementace umělé inteligence (AI) a optimalizace procesů vést ke snížení lidské práce, což potenciálně vylučuje lidský faktor. Proto je zásadní předem strategicky posoudit dopad těchto

změn na pracovní sílu. To zahrnuje vyhodnocení, zda dojde k minimalizaci lidských zdrojů, nebo zda bude nutné propouštění. Cílem našeho přístupu je přemístit pracovníky v rámci organizace znovu využít, nikoli je zcela ztratit. Udržení kvalifikovaných zaměstnanců je nezbytné i při zavádění umělé inteligence, aby byl zachován lidský rozměr našich činností.

Je důležité nepřijmout bezohledný přístup, kdy AI jednoduše nahradí lidi bez ohledu na ně. Přejít by měl být spravedlivý a humánní a měl by zahrnovat pečlivé plánování a komunikaci s dotčenými zaměstnanci. Vyhodnocujeme potenciální dopady na zaměstnance a zapojujeme se do dlouhodobých rozvojových projektů, jejichž realizace může trvat šest měsíců až rok. Zaměstnanci jsou v průběhu celého procesu informováni a zapojeni a ti, kteří budou nové systémy obsluhovat, projdou potřebným školením.

Pokud nový systém vytlačí zaměstnance, aktivně hledáme jiné pozice v rámci organizace, kde lze využít jejich dovednosti. Cílem je najít pro tyto pracovníky vhodné pozice a zajistit, aby pro společnost zůstali cenným přínosem, a ne aby byli propuštěni. Tento holistický přístup zajišťuje, že implementace umělé inteligence a automatizace je vyvážená a ohleduplná k lidské pracovní síle.

Podnik B Zavádění změn v jakékoliv formě je o komunikaci. Dobrá komunikace zajistí dobrý přechod na jiné nebo úplně nové technologie, pokud lidé mají šanci pochopit, proč se změna dělá.

Podnik C Často komunikujeme o připravovaných změnách. Zaměstnancům se snažíme vysvětlit, že nové technologie neznamenají ohrožení jejich pracovního místa. Zároveň pracujeme na zvyšování kvalifikací našich lidí, tak aby tyto změny dobře zvládli.

Podnik E Nejdůležitější je se s těmi lidmi o tom bavit. Řekneme jim plusy a mínusy, co jim to vlastně přinese. A to vede k pozitivním ohlasům, samozřejmě jsou různí lidé a většinou ti starší, prostě ty změny rádi nemají. Ale jakmile bychom jim to nevysvětlili a rovnou zavedli, tak se s tím nevyrovnají nikdy. To je za mě důležité.

Podnik F Firma má velmi pozitivní přístup k zavedení technologií a aby zajistila hladký přechod, musí zaškolit zaměstnance, aby věděli jak mají pracovat s umělou inteligencí.

Podnik G Vzhledem k vyčerpanému trhu práce toto není zásadní problém. Obecně pracujeme s podstavem potřebných pracovníků, takže každá technologie, která ušetří lidskou práci je příznivě akceptována.

Podnik H V dnešním světě neexistuje práce na celý život. Automatizace ve výrobě stále postupuje a lidé ve všech odvětvích se musí učit novým dovednostem v závislosti na vývoji technologií, ekonomiky a pracovních míst. Budoucnost práce je však mnohem víc než jen vztah mezi technologiemi a lidmi. Jde o zcela nové způsoby práce, o potřebu sounáležitosti a o vytváření hodnot - pro jednotlivce i pro organizaci. Naším cílem je rekvalifikovat nebo zvýšit kvalifikaci našich zaměstnanců pomocí dovedností vhodných pro budoucnost. Děláme to tak, že je podporujeme v aktivním vytváření individuálního plánu Future-Fit. Plán Future-

fit je rozvojový rámec, který podporuje zaměstnance v budování dovedností v souladu s jejich cílem, blahobytem a vůdčím chováním.

Podnik I Školení zaměstnanců.

Podnik J Nepřístupujeme. Technologii vyzkoušíme a pokud to funguje, tak implementujeme. Lidé nemají rádi změny.

7. Jaké využíváte metody štíhle výroby: kanban karty, kaizen zlepšování, zařízení pro detekci chyb, just-in-time, vizualizační prvky (obrazovky, barevné značení atd.), vyrovnávání zatížení (heijunka), pravidelné doplňování materiálu, záchranou brzdu, rychlé přeseřízení strojů, preventivní údržba atd.

Podnik A V podstatě vše, co jste zmínil, se dotýká různých aspektů naší činnosti, od výroby až po expedici. Zavádíme například nové signalizační tabule s červenými, oranžovými a zelenými indikátory a pro doplňování zásob v rámci minimálních a maximálních limitů používáme systémy Kanban s automatizovanými systémy doplňování. Součástí precizního řízení výroby jsou také činnosti SMED. Tyto snahy jsou součástí naší optimalizační strategie.

Ačkoli nepřijímáme každý jednotlivý proces komplexně, zavádíme kombinaci strategií přizpůsobených našim potřebám. Společnosti jako Bosch a Podnik A mají specializovaná oddělení zaměřená na optimalizaci, často označovaná jako oddělení štíhlé výroby. Ve společnosti Bosch se jedná o tzv. provozní systém BP, který je zodpovědný za optimalizaci procesů. My máme podobnou strukturu známou jako FACT, která standardizuje procesy v rámci společnosti Podnik A Automotive. Tento systém zajišťuje, že každý závod dostává pokyny k optimalizaci a standardizaci procesů, které jsou monitorovány a vyhodnocovány.

I když zpočátku nemusíme realizovat všechny kroky, naše ústřední vedení a oddělení štíhlé výroby nás podporují v tom, abychom postupně přijímali další koncepty štíhlé výroby. To zahrnuje optimalizaci procesů, minimalizaci zásob, zlepšení procesů dodávek a zajištění plných nákladních vozů namísto částečných. Tyto snahy jsou čtvrtletně vyhodnocovány centrálou a od každé divize se očekává průběžné zlepšování v průběhu pětiletého cyklu. Každé čtvrtletí je kladen důraz na dosahování lepších výsledků a na větší sladění našich procesů s principy štíhlosti, které předpokládá centrální kancelář.

Podnik B Kanban karty, kaizen zlepšování, vizualizační prvky (obrazovky, barevné značení atd.), pravidelné doplňování materiálu, rychlé přeseřízení strojů.

Podnik C 5S, vizualizace, optimalizace a ergonomie pracoviště, TPM na některých linkách.

Podnik D Kanban, Kaizen, Vizualizace, záchraná brzda, přeseřízení atd.

Podnik E Ano, zabýváme se tu tím, máme na to vypsání workshopy kde se snažíme vyhledat plýtvání a nějak ho regulovat.

Podnik F Stálé zlepšování - využívání KAIZENU, jiný systém podle majitelky nemá smysl, co se gastronomie a jejího hotelu týče.

Podnik G Významným ekonomickým přínosem pro úsporu nákladů je objednávání a dodávání materiálů v režimu just-in-time. Na tomto principu propojujeme s dodavateli odběratelsko-dodavatelské procesy a snažíme se mít zásoby právě včas, kdy začínáme zakázku zpracovávat. Výsledkem je rapidní snížení skladových zásob, ve kterých nejsou zbytečně uložené finanční zdroje. Pro rychlé zorientování v dodávaných zásobách a materiálech je opět dokonalé využití identifikace pomocí čteček čárových a QR kódů a propojení na informační systém.

Podnik H Jsem si vědom Kaizen a preventivní údržby, ale určitě je toho víc.

Podnik I Pravidelné doplňování skladů, Just in time (drahé zboží), kaizen, ERP systém, vizualizační prvky.

Podnik J Kaizen, SMED, vizualizační prvky, poka-yoke.

8. Mají ve vaší firmě tyto metody podle vašeho názoru možnosti uplatnění a proč?

Podnik A Nedokážu určit jediný projekt, kde bychom použili všechny metody optimalizace, ale různé strategie se určitě uplatňují v různých oblastech. Například jsme v expedici instalovali neonové tabule, abychom zefektivnili nakládací procesy a zlepšili přehled. Ve výrobě jsme zavedli koncová světla pro sledování operací a doplňování zásob. Konkrétní příklad zahrnuje použití senzorů k udržení kvality během výroby. Dříve se stávalo, že při použití nového nástroje padaly díly na pásový dopravník často nerovnoměrně, což vedlo k tomu, že se v krabicích objevovala různá množství. Tato nesrovnalost měla za následek stížnosti zákazníků. Nyní senzorové systémy detekují nesrovnalosti v počtu dílů a v případě nesouladu spustí červené světlo a zastaví výrobní linku. To vyžaduje, aby obsluha problém zkontrolovala a opravila, čímž se zlepší kontrola kvality. I když se nejedná o čistě štihlou praxi, výrazně zlepšuje řízení kvality. Uvidíte, že z toho, co jste zmínili, existuje řada implementovaných strategií. Každá z nich přispívá k celkové optimalizaci našich procesů, i když ne všechny jsou součástí jednoho jednotného projektu.

Podnik B Ano, určitě mají. Jde o nástroje k eliminaci plýtvání.

Podnik C Jen částečně, jsme zakázková výroba a ne všechny metody štihlé výroby jsou u nás plně použitelné.

Podnik D Kanban karty jsou používány pro přehledné řazení již zpracovaných zakázek.

Kaizen metoda se u nás objevuje v podobě častých nápadů na zlepšení různých výrobních kroků. Metodu just in time nepoužíváme z důvodu různorodosti zakázek Vizualizační prvky – Lidé, co dávají dohromady podklady pro výrobu, barevně zvýrazňují na výrobních plánech dané změny, aby se pracovník ve výrobě nemusel pročitat „černobílým“ papírem ale aby na první pohled viděl důležité změny

Záchranná brzda jako „šňůra vedená přes celou výrobu“ se u výrobní linky nenachází, ale tam, kde hrozí největší riziko, se nachází pohybová čidla, která zajišťují automatické zastavení linky v případě, že dá například pracovník ruku na místo, kde mu hrozí nebezpečí. Dále se samozřejmě v okolí těchto míst nachází „SOS“ tlačítko stop.

Věci jako pravidelné doplňování, seřizování strojů, a preventivní údržba jsou naprosto samozřejmé věci, bez kterých by výroba nemohlo plynule fungovat, proto se zde nacházejí lidé, kteří toto mají přímo v náplni práce.

Podnik F Ve firmě se využívá KAIZEN v kuchyni v gastronomii novými zařízeními – konvektomat (ušetří čas jedné osoby), který pracuje po celou noc.

Podnik G Určitě má cenu sledovat všechny trendy této problematiky a postupně je zavádět tam, kde to má smysl.

Podnik H Tyto aplikace z oddělení bezpečnosti, zdraví a životního prostředí mají zásadní význam pro budování kultury bezpečnosti a předcházení incidentům.

Podnik I Uplatnění mají na zefektivnění chodu firmy.

Podnik J Ano. Eliminace úzký míst, rychlejší zaškolení zahraničních pracovníků.

9. Mohli byste uvést faktory, které mají vliv u vás v organizaci na rozhodnutí o využití nové technologie do praxe?

Podnik A V této souvislosti je prvořadá efektivita výrobních zdrojů. Vždy zvažujeme náklady a návratnost investic, protože jako společnost jsme závislí na tom, co vyděláme. Při zavádění nových systémů nebo procesů, a to i těch, které jsou určeny k vývoji, posuzujeme jejich nákladovou efektivitu a potenciální dobu návratnosti. Pokud se nám podaří dosáhnout návratnosti investice do roku a půl, představuje to jasný finanční přínos.

Kromě toho iniciativy zaměřené na budoucí efektivitu, jako je umělá inteligence a systémy řízení kvality, trvale vedou ke zvýšení efektivitu a kvality. Snížením lidského faktoru, který může vnášet chyby, zvyšujeme celkovou kvalitu. Lidské chyby, jako je například ponechání nesprávného dílu v dávce, lze zmírnit pomocí automatizace.

Zaměřujeme se tedy na klíčové aspekty: efektivitu, náklady, kvalitu, návratnost investic a optimalizaci procesů. To jsou hlavní kritéria, která hodnotíme při rozhodování o zavádění nových systémů nebo technologií.

Podnik B ROI – každá investice do technologie musí mít prokazatelnou návratnost

Safety = zlepšení prostředí, bezpečnosti práce

Snížení pracovního zatížení, zlepšení podmínek pro práci

Podnik C Náklady, časová náročnost implementace, předpokládané přínosy.

Podnik D Záleží, o jaké technologie se jedná, jelikož buď může jít o technologie které nějakým způsobem obohacují náš produkt tudíž je žádán zákazníkem. Anebo může jít o technologii která nám může šetřit čas, snižovat náklady nebo zvyšovat bezpečnost našich zaměstnanců.

Podnik F Zákazníci, hosté restaurace a hotelu – konkurenceschopnost. Ten, kdo firmě zvyšuje žebříček jsou zákazníci.

Podnik G Hlavní vlivy jsou konkurenceschopnost a reagování na nízkou nezaměstnanost.

Podnik H Zlepšení efektivity.

Podnik I Řídící orgán, finanční důvody.

Podnik J Finance.

10. Můžete se podělit o příklad specifických metrik nebo KPIs (klíčových ukazatelů výkonnosti), které používáte k hodnocení vlivu technologií na vaši organizaci?

Podnik A V podstatě všechna oddělení se podílejí na zavádění různých klíčových ukazatelů výkonnosti (KPI), které měří jejich efektivitu. Každé oddělení ve společnosti má svůj vlastní soubor KPI. v případě logistiky je jedním z klíčových ukazatelů, na který se zaměřujeme, efektivita obrátu zásob. v současné době patří náš závod v této oblasti k nejlepším v Evropě. Trvalo nám přibližně dva a půl až tři roky, než jsme optimalizovali naše dodávky, výrobní procesy, velikost šarží, přepravu a četnost dodávek.

Díky tomu jsme snížili průměrné zásoby z 18 dnů na 11 až 13 dnů, což je významný úspěch. Toto zlepšení je přímým důsledkem zavedení metod štíhlé výroby. Když se porovnáme s ostatními evropskými závody, trvale se řadíme mezi nejlepší. Náš pokrok pravidelně čtvrtletně vyhodnocujeme s centrálou v Kanadě, kde nám kanadské závody často slouží jako měřítko a dosahují úrovně zásob až 9 dní. To pro nás představuje vysoký standard, o který se snažíme usilovat. Abychom se dále zlepšovali, zaměřujeme se na zavádění systémů Kanban, restrukturalizaci výrobních linek a optimalizaci výrobních dávek a procesů.

Cílem je zefektivnit výrobní proces, zkrátit dobu, kterou výrobek stráví v různých fázích, a tím minimalizovat stav zásob. Kanadské závody v tomto přístupu vynikají, a proto jsou dávány za příklad. I když v současné době dosahujeme výkonnosti na úrovni středně úspěšných kanadských závodů, naším cílem je dosáhnout nejvyšší úrovně. Tento příklad jasně demonstruje dopad metodik štíhlé výroby na specifické KPI jednotlivých oddělení.

Podnik B Produktivita, Uptime (časové využití strojní kapacity), Zmetkovitost, odpady, OEE.

Podnik C Žádné specifické metriky nepoužíváme. Základními ukazateli jsou především produktivita práce a s tím spojená návratnost investice.

Podnik D Jako měřítko bychom pravděpodobně uvedli počet vyrobených kusů za jednu pracovní směnu, nebo procenta o která se sníží odpad při řezání skla.

Podnik F Výše zisku, pokud je zisk vyšší můžou zlepšovat veškeré zařízení, jídelničky atd. Hodnocení hostů - na Googlu, portálech, papírové výtisky.

Podnik G To je širší problematika. Naším oborem je výroba a montáž oken a dveří, atd. Vyrábíme tedy v halách ve výrobním závodě. Montujeme výrobky ve stavebních objektech – obecně domy. Výrobky tedy balíme a převážíme. Montéři je instalují u zákazníka. Jako příklad zaváděné technologie je digitální předávací protokol. Montážník po ukončené montáži přistoupí se zákazníkem k předání namontovaných výrobků. Elektronický předávací protokol ho provede od prvního výrobku po poslední a pomocí zatrhávání odsouhlasí dohodnuté parametry na základě kupní smlouvy. Každé zamontované okno je v rámci tohoto protokolu vyfotografováno a uloženo na disk. Je-li všechno schváleno = předáno, tak zákazník v tabletu protokol podepíše. Montážník zadá „odeslat“ a protokol je načten k zakázce. Informační systém automaticky vytvoří fakturu, kterou automaticky odešle na email zákazníka. Než montážník opustí stavbu, tak má zákazník fakturu v emailu. To je jen malý příklad, na jehož principu zavádíme ve firmě optimalizace všech dalších procesů.

Podnik H Nelze sdílet.

Podnik I Rychlost vytvoření objednávky, Rychlost expedice od packingu po zabalení.

Podnik J Ne – interní záležitost.